1. Introducción

Como parte de los estudios requeridos para la actualización del plan regulador del cantón de Belén, la Municipalidad de Belén y la Universidad de Costa Rica firmaron un contrato en el año 2008 para que la Universidad realizara un estudio con el objetivo de determinar las zonas de protección de los pozos siete pozos municipales utilizados en el abastecimiento de agua potable para consumo humano y además determinar la vulnerabilidad, amenaza y el riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas del cantón de Belén.

1.1 Objetivos estratégicos:

1) Determinar las zonas de protección de los pozos de captación de la Municipalidad de Belén
2) Determinar el mapa de vulnerabilidad hidrogeológica, mapa de amenaza a la contaminación (carga contaminante) y definir el mapa de riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas
3) Proponer medidas de protección en las áreas de alto riesgo a la contaminación

1.2 Actividades realizadas:

- ✓ Revisión de la información disponible en la Municipalidad de Belén, SENARA, INEC, Area Rectora del Ministerio de Salud de Belén, y la Biblioteca de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica
- ✓ Solicitud de permisos de acceso a las propiedades privadas para realizar las pruebas de infiltración y recolectar las muestras de suelo
- ✓ 21 pruebas de infiltración, tres por pozo
- ✓ Clasificación geotécnica de los suelos en los alrededores del cada pozo
- ✓ Recopilación y análisis de los pozos registrados en el SENARA
- ✓ Digitalización de la información en ARCVIEW
- ✓ Mapa de vulnerabilidad usando el método GOD, mapa de amenaza y mapa de riesgo
- ✓ Delimitación de las zonas de protección de los siete pozos municipales y recomendaciones

1.3 Insumos brindados por la Municipalidad de Belén

- ✓ Información de los IFAS (Coterra, 2008) y sus mapas respectivos, así como también sobre los pozos de abastecimiento, y estudios previos, incluyendo los estudios del SENARA sobre aspectos geológicos e hidrogeológicos del cantón de Belén

- ✓ Información de las patentes de las industrias, comercios, talleres y otras que se consideradas como fuentes potenciales de contaminación, así como documentación de la Unidad de Gestión Ambiental

- ✓ Solicitud de los permisos para el acceso a las propiedades donde se realizaron las pruebas de infiltración y se recolectaron las muestras de suelo para los análisis geotécnicos.

2. Trabajos realizados

2.1 Generalidades

Según el contrato firmado entre la Municipalidad de Belén y la Universidad de Costa Rica para realizar el estudio hidrogeológico para la actualización del plan regulador para el cantón de Belén, primeramente se realizó la recopilación de la información facilitada por la Municipalidad de Belén y el SENARA sobre los aspectos geológicos, e hidrogeológicos del cantón, así como el detalle de los pozos en estudio, y la información de las patentes de industrias, comercios y talleres. Se coordinó con el Ing. José Zumbado para obtener los permisos de acceso a las propiedades privadas para la realización de las pruebas de infiltración y toma de muestras de suelos. Como parte de los trabajos de campo, se realizaron tres pruebas de infiltración utilizando el método de doble anillo alrededor de cada pozo, 21 en total. Así mismo se recolectaron y analizaron las muestras de suelos representativas de los alrededores de cada pozo. A partir de la información de pozos del SENARA, se generaron los mapas potenciométrico (isofreáticas) para los acuíferos de Barva y Colima Superior. Toda esta información se incorporó en Arcview para generar los mapas de vulnerabilidad, fuentes potenciales a la contaminación y riesgo a la contaminación, así como también para la definición de las zonas de protección de los pozos utilizados por la Municipalidad para el abastecimiento público.

Además se contactó al INEC y al Ministerio de Salud de Belén para obtener información sobre la ubicación de los comercios, industrias y otras actividades en el cantón, esta información se complementó con el levantamiento de campo para ubicar las fuentes potenciales de contaminación. A partir de los datos geológicos, hidrogeológicos, y de las fuentes potenciales se construyeron los mapas de vulnerabilidad, amenaza y riesgo a la contaminación del agua subterránea del cantón de Belén y se definieron las zonas de protección de los pozos que actualmente se utilizan para el abastecimiento público.

2.2 Hidrogeología del cantón de Belén

El cantón de Belén se ubica sobre distintos materiales volcánicos, muchos de los cuales tienen la capacidad de almacenar y transmitir agua, en otras palabras de formar acuíferos. Los acuíferos más importantes presentes en la zona son: Colima Inferior, Colima Superior y Barva. El acuífero Colima Inferior, es el más profundo, está compuesto de flujos de lava andesíticos principalmente, con espesores de hasta 190 metros, los cuales fueron depositados sobre rocas terciarias, Echandi (1981); este acuífero se ubica en el Miembro Belén de la Formación Colima SENARA-BGS, (1985), la cual fue redefinida por Denyer & Arias, (1991) como Formación Lavas Intracañón.

El acuífero Colima Superior corresponde con el miembro Linda Vista definido por Echandi (1981), está formado por brechas lávicas con un núcleo central denso con espesores entre 25-40 y se separa del Colima Inferior por medio del miembro Ignimbritas de Puente Mulas (ibid). El acuífero más superficial, el Barva, se hospeda en la formación geológica del mismo nombre, la cual está compuesta por coladas andesíticas y andesítico-basálticas que pueden alcanzar espesores entre 10 y 80 metros, Echandi (1981). Debido a que la Formación Barva termina en los alrededores del cantón de Belén, en algunos pozos no está presente, y en su lugar aparece la Formación Avalancha Ardiente, está constituida por depósitos de pómez, ceniza, lapilli y bloques Denyer & Arias (1991), inicialmente definida por Fernández (1968 en Sprechman 1984) como la Formación Tiribí; funciona como un acuitardo debido a que tiene un potencial acuífero mucho menor, Echandi (1981).

El estudio de estas formaciones se ha realizado en gran medida gracias a la información de los pozos, muchos perforados mediante el estudio del SENARA-BGS, (1985), además existe información de pozos privados y de uso público como los que tiene la Municipalidad de Belén. En la sección 3.3 se muestra la correlación de los pozos municipales con las formaciones geológicas descritas en esta sección.

2.3 Resultados

2.3.1 Zona no saturada (Suelos)

Debe indicarse que todos los análisis de los suelos se realizaron en el laboratorio de Geotecnia e Hidrogeología de la Escuela Centroamericana de Geología, bajo la supervisión del M.Sc. Rolando Mora Chinchilla, quien es el profesional responsable de dicho laboratorio. Las muestras de suelos se recolectaron a profundidades entre 0,4 y 1,5 metros, estas muestras fueron envueltas en papel parafina y colocadas en bolsas plásticas debidamente rotuladas, luego se trasladaron al laboratorio mencionado donde se realizaron los análisis respectivos, debe indicarse que las muestras se llevaron el mismo día de la recolección al laboratorio para evitar posibles pérdidas de humedad. Dentro de los parámetros medidos se tienen: contenido de humedad, gravedad específica, porosidad, análisis granulométrico y límites de Atterberg (líquido, plástico), a partir de estas dos últimas características los suelos fueron clasificados según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el resumen de las características principales se muestra en la Tabla 1, el detalle de los análisis se presenta en el Anexo A y la ubicación de los puntos de muestreo se muestran en la Fig. 1. Se observa que los suelos se clasifican como limos a limoarenosos de alta plasticidad, se trata de suelos residuales producto de la meteorización de rocas volcánicas tales como tobas, ignimbritas y lavas. El detalle de los resultados de campo se presenta en el anexo A y en la Tabla 1 se las resumen las características principales. A partir de las observaciones de campo y el mapa geológico de los IFAS, se asocian con tobas o bien con lavas.

Tabla 1 Resumen de las principales características físico-mecánicas del cantón de Belén

Muestra	***Ubicación***	***Profundidad (m)***	***Indice Plasticidad***	***Gravedad específica***	***Cont. Humedad***	***Porosidad %***	***Tipo de suelo***
Belén 1	518026 218440	0,46	19,9	2,38	37,6	47,2	Limo elástico arenoso de alta plasticidad (MH)
Belén 2	518310 218366	0,54	27,4	2,66	51,4	61,4	Limo elástico(MV) de plasticidad muy alta
Belén 3	518454 218390	1,5	17,1	2,66	57,23	60,4	Limo elástico(MH) de plasticidad alta
Belén 4	519277 216985	0,9	22	2,64	35	48,3	Limo elástico(MH) de plasticidad alta
Belén 5	518597 217140	1	33,6	2,52	48,5	56,4	Limo elástico(MV) de plasticidad muy alta
Belén 6	517438 219650	1	28,4	2,66	86,57	71,9	Limo elástico(ME) de plasticidad extremadamente alta
Belén 7	518690 217831	1	24	2,62	52,31	61,7	Limo elástico(MH) de plasticidad alta
Belén 8	517782 219169	0,93	15,6	2,83	53	58,5	Limo elástico (MV) de plasticidad alta
Belén 9	517771 219113	1	25,8	2,74	45,89	55,3	Limo elástico (MV) de plasticidad muy alta
Belén 10	518690 217831	1,1	15,7	2,76	38,89	57,5	Limo elástico con arena de alta plasticidad (MH)

2.3.2 Pruebas de Infiltración

Se realizaron 3 pruebas de infiltración en los alrededores de los pozos de abastecimiento de la Municipalidad (Tabla 2), en total se ejecutaron 21 prueba de infiltración utilizando el método de doble anillo, la ubicación de los sitios se muestra en la Fig. 1.

Tabla 2 Pozos Municipales utilizados para el abastecimiento público, Belén

Código de pozo	***Nombre***	***Coordenadas***
AB-1711	Tanques Elevados	518496/218282
AB-1276	Don Chico	517900/218470
AB-2208	Los Mangos	517389/219403
AB-823	Ribera Nuevo	517335/219631
AB-817	Doña Rosa	518410/217010
AB-668	Doña Claudia	518590/217900
AB-845	Parque Residencial	518950/217040

Fuente: Concesa, (1997)

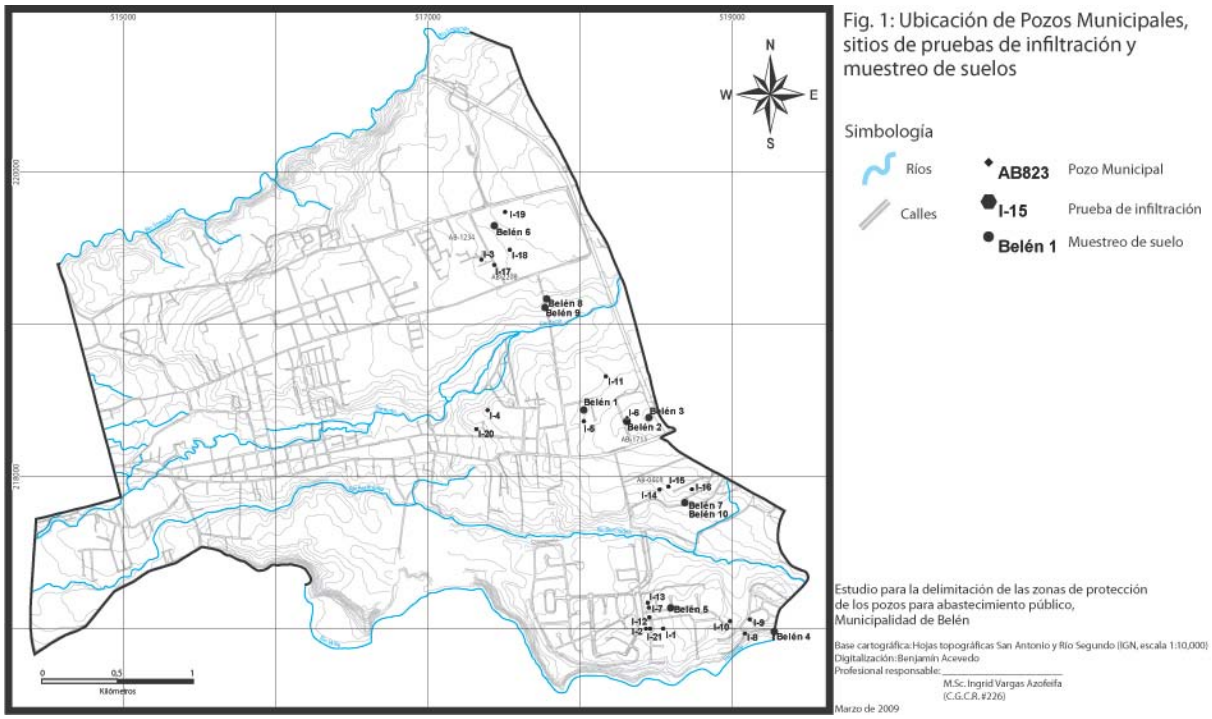


Fig. 1: Ubicación de Pozos Municipales, sitios de pruebas de infiltración y muestreo de suelos

Este método consiste en introducir dos anillos metálicos en el suelo, tal y como se muestra en la Fig. 2, una vez colocados los anillos en el suelo hasta las profundidades indicadas, se llena con agua el anillo externo para saturar la zona alrededor del anillo interno, luego se coloca una regla verticalmente en el anillo interior y se fija en un extremo, con el propósito de registrar los descensos en el nivel del agua y así establecer la tasa de infiltración del agua en el suelo, la prueba tiene una duración de dos horas. Para realizar las pruebas se removió la capa de materia orgánica, así como los rellenos artificiales, para asegurarnos de ubicar los anillos en el suelo residual, Foto #1.

En general, se observan valores relativamente bajos, menores a 1m/día, sin embargo existen otros altos de hasta 8,6 m/día (Anexo B), esto se debe posiblemente a la presencia de macroporos por fracturas relictas en los perfiles de meteorización.

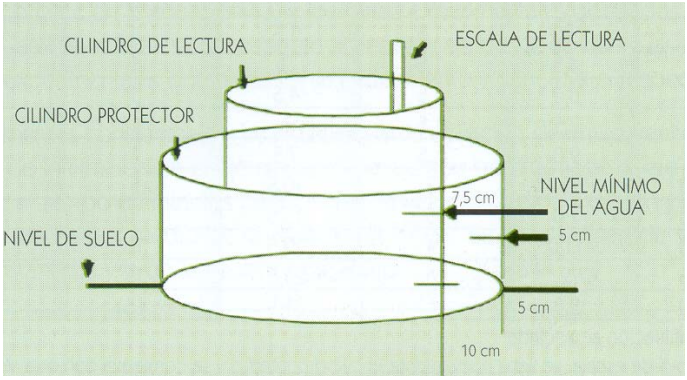


Fig. 2 Esquema ilustrativo del método de doble anillo. Tomado de Henríquenez & Cabalceta, (1999)

Foto #1. Prueba de infiltración I-5, ubicada 100 metros al este del pozo Don Chico.

Tabla 3 Pruebas de infiltración realizadas en los alrededores de los pozos municipales, cantón de Belén

Prueba	***Coordenadas Norte / Este***	***Velocidad Inf. (m/día)***	***Profundidad (m)***
I-1	217004 / 518546	7.2	0.2
I-2	219627 / 518434	0.02	0.3
I-3	219428 / 517354	7.0	0.43
I-4	218440 / 517394	8.6	0.3
I-5	218366 / 518026	3.7	0.46
I-6	218390 / 518310	0,14	0.54
I-7	217142 / 518454	7.6	0.55
I-8	216971 / 519084	1.4	0.25
I-9	217065 / 519115	7.05	0.15
I-10	218498 / 518987	5.3	0.34
I-11	218661 / 518171	1.7	0.32
I-12	217080 / 518457	0.04	0.3
I-13	217174 / 518446	0.06	0.17
I-14	217920 / 518524	0.03	0.25
I-15	217937 / 518581	0.97	0.20
I-16	219650 / 518736	0.01	0.20
I-17	219392 / 517438	0.3	0.17
I-18	219492 / 517539	0.4	0.26
I-19	219740 / 517509	1	0.59
I-20	218316 / 517320	4.4	0.52
I-21	217004 / 518462	0.01	0.67

2.3.3 Zona saturada, Red de flujo (mapa potenciométrico)

En Costa Rica es común encontrar pozos en los que la rejilla (zona ranurada de la tubería que permite la entrada de agua del acuífero al pozo) se localiza en varios acuíferos, en otras palabras permite la entrada de agua de diferentes niveles. Esta situación dificulta el análisis del flujo de agua subterránea, especialmente cuando se requiere evaluar un acuífero en particular. En este estudio se revisaron los

datos de todos los pozos del cantón de Belén y se separaron los pozos que captan el acuífero Barva, de los que captan el acuífero Colima, a partir de esta información se construyeron el mapa potenciométrico donde se indican las líneas equipotenciales (isofreáticas) para ambos acuíferos. La Fig. 3 muestra la superficie potenciométrica para el acuífero Barva, donde se observa una dirección regional del agua subterránea hacia el suroeste, con un gradiente hidráulico promedio de 0.2.

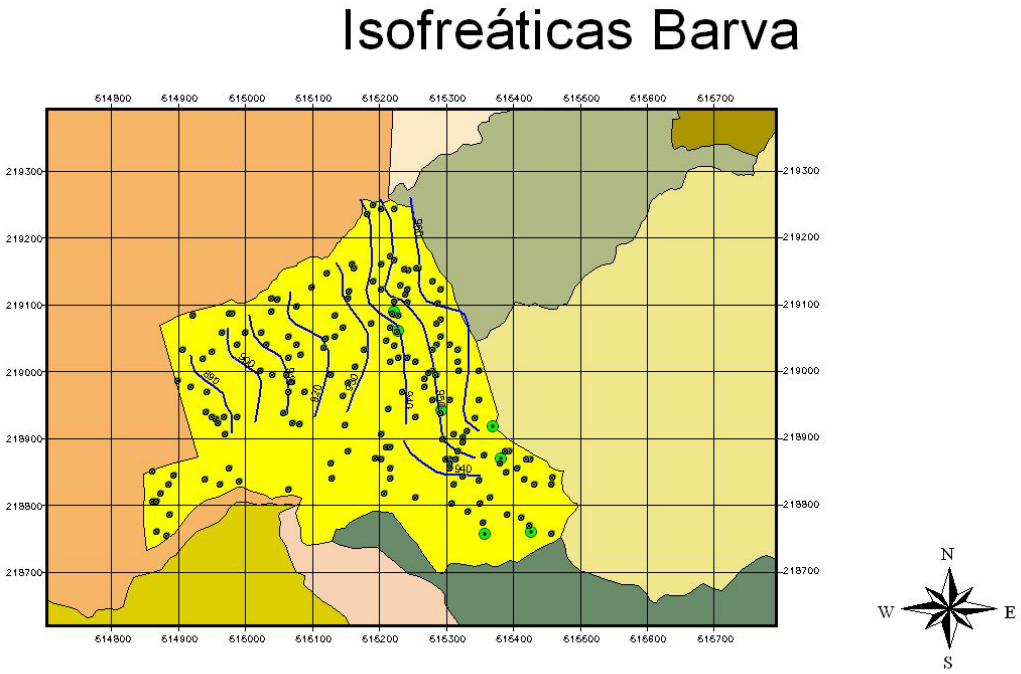


Fig. 3 Mapa potenciométrico (isofréaticas) del acuífero Barva, cantón de Belén, en amarillo se muestran los límites del cantón, los puntos negros indican pozos en el área. Basado en los datos de pozos del SENARA, 2008

En el caso del acuífero Colima Superior las equipotenciales (isofreáticas) indican que el flujo regional es hacia el oeste (Fig. 4), y el gradiente hidráulico promedio es de 0.1, ligeramente menor que el del acuífero sobreyaciente.

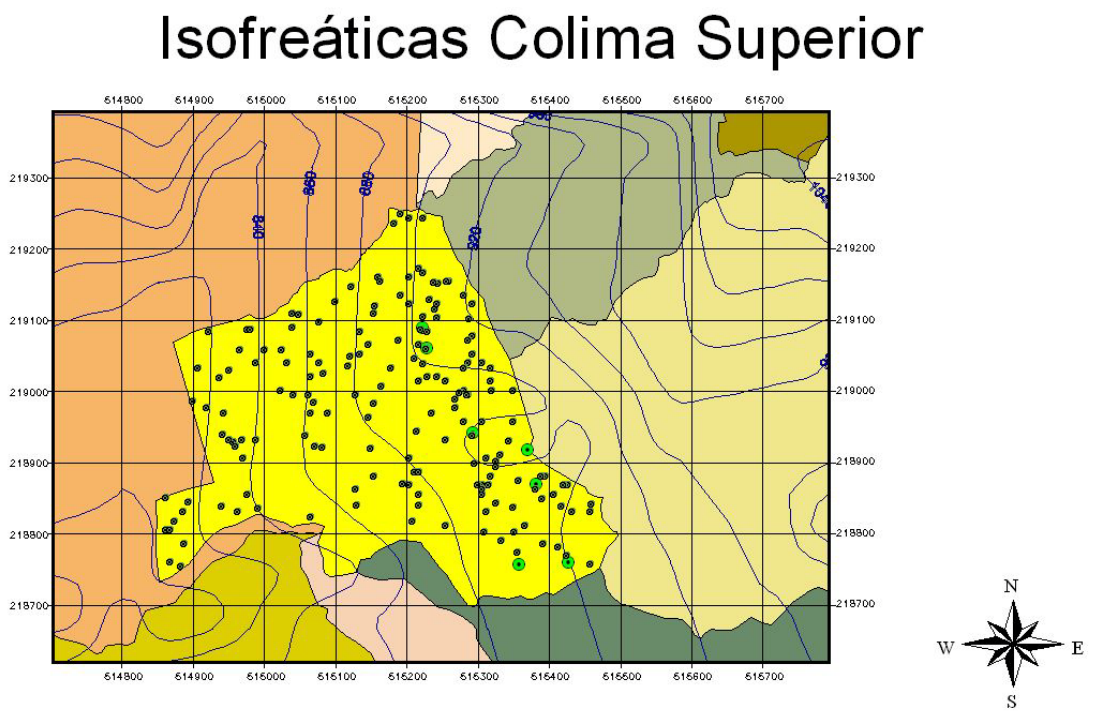


Fig. 4 Mapa potenciométrico (isofréaticas) del acuífero Colima Superior, cantón de Belén, en amarillo se muestran los límites del cantón, los puntos negros indican pozos en el área. Basado en los datos de pozos del SENARA, 2008

3. *Análisis del riesgo a la contaminación del agua subterránea*

3.1 Definiciones y metodologías utilizadas

Los análisis de vulnerabilidad se usan ampliamente desde los años 80 (Haertle, 1983; Aller at al., 1987; Foster e Hirata, 1988 en Foster el al., 2002) para evaluar la susceptibilidad del acuífero a ser afectado por la contaminación antrópica. Otros términos relacionados también comenzaron a usarse en los 80, tales como carga contaminante y riesgo de contaminación del agua subterránea.

Por vulnerabilidad se entiende, la sensibilidad que presenta un acuífero a contaminarse con una carga aplicada en superficie Foster, (1987), y está en función de las características propias de los estratos geológicos que se distribuyen verticalmente desde la superficie del terreno hasta el acuífero en cuestión. Existen

diferentes métodos para mapear la vulnerabilidad, en este estudio se utilizó el índice de vulnerabilidad GOD definido por Foster, (1987) como función de:

Grado de confinamiento hidráulico del acuífero en consideración (acuífero libre, confinado, etc)

Ocurrencia del sustrato que se encuentra por encima del acuífero (zona no saturada), con respecto a los tipos de rocas y el grado de consolidación, lo que determina la capacidad de atenuación de los contaminantes

Distancia al agua determinada como, la profundidad al nivel del agua en Acuíferos no confinados o bien la profundidad al techo de los acuíferos confinados.

La Fig. 5 ilustra esquemáticamente el método y sus componentes. Debe aclararse que el método GOD asume que los contaminantes se encuentran en la superficie o muy cerca de esta, es por esta razón que Foster et al, (2002) indican que cuando se quiere analizar el peligro debido a descargas de contaminantes profundas como en el caso de pérdidas de grandes tanques de almacenamiento enterrados,

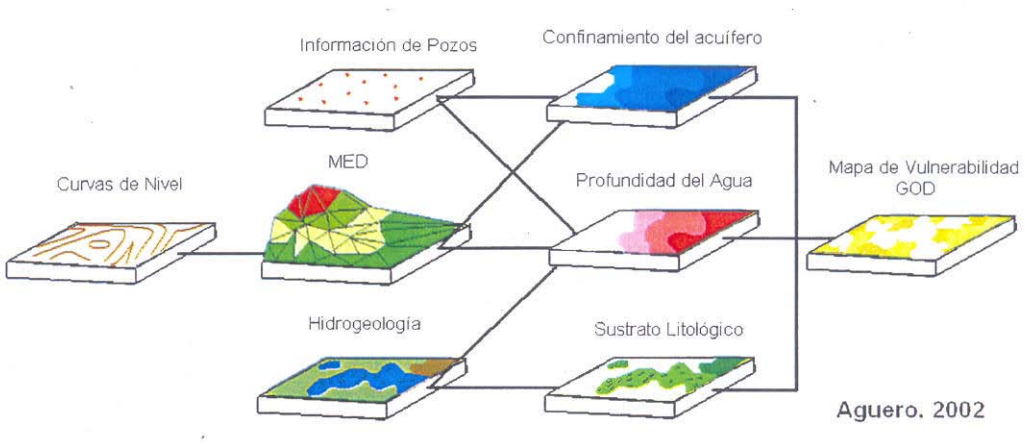


Fig. 5 Esquema del método GOD

lixiviados de rellenos sanitarios, descargas de efluentes a canteras y pozos mineros, así como también en sitios en donde puedan ocurrir derrames de contaminantes orgánicos sintéticos inmiscibles densos (DNAPLs), esta metodología no debería se utilizada, ese caso deberán realizarse investigaciones in situ para determinar las opciones apropiadas.

Foster & Hirata (1988) definen el riesgo como la probabilidad de que las aguas subterráneas se contaminen en un nivel inaceptable por las actividades humanas que se desarrollan en la superficie del terreno. El riesgo es por lo tanto, el resultado de la interacción entre la vulnerabilidad del acuífero y la carga contaminante. Foster et al., (2002) aclaran que debido a que existen otras áreas de evaluación del riesgo a la salud humana o animal y a los ecosistemas, ahora el riesgo es definido como el resultado del peligro adaptado a la escala de impacto, de manera que cuando hay impacto probado en la salud humana entonces se habla de riesgo; sin embargo en este trabajo se utiliza el riesgo como sinónimo de peligro. La Fig. 6 muestra un esquema de la metodología utilizada para el análisis del riesgo a la contaminación para el cantón de Belén.

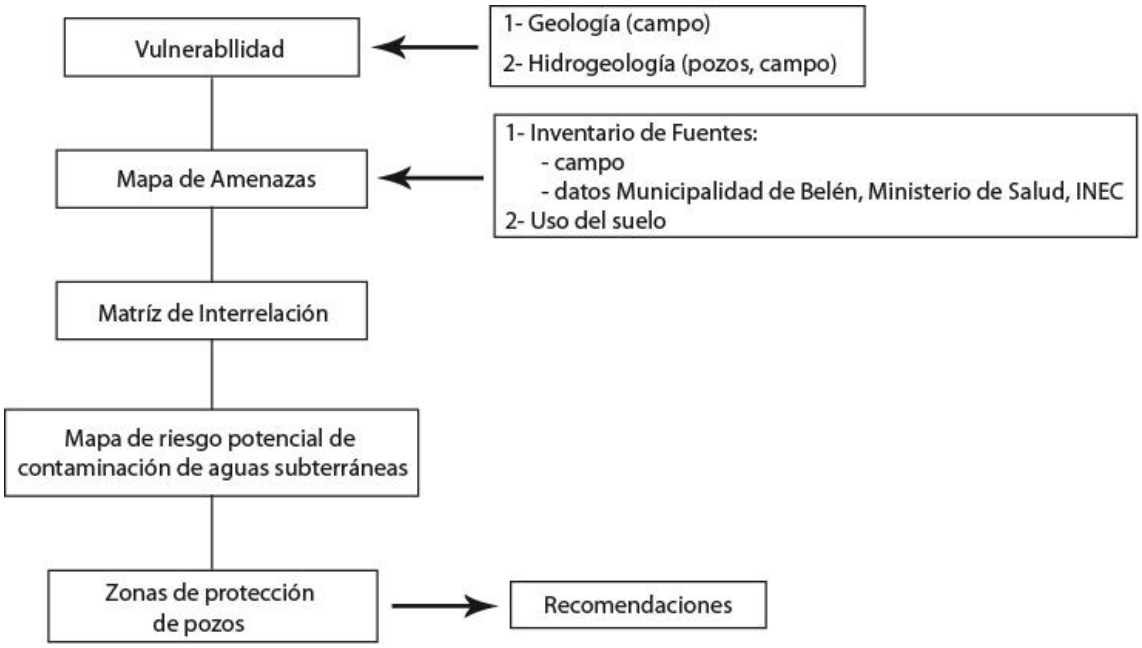


Fig. 6 Metodología para el análisis del riesgo a la contaminación de aguas subterráneas, cantón de Belén. I. Vargas, 2009.

La carga contaminante se denomina a los contaminantes producidos por las actividades humanas; para determinar la carga se requiere conocer el tipo de contaminante, la intensidad de la contaminación (concentraciones en el efluente o lixiviado), la forma en que el contaminante es descargado en el subsuelo, así como también la duración de la carga contaminante Foster et al., (2002). La Tabla 4 resume las características químicas y los índices de peligrosidad para distintas actividades industriales, está información sirvió de base en este trabajo para determinar la carga contaminante en el cantón de Belén. La estimación de la carga no es un trabajo fácil, ya que existen diversas fuentes de contaminación y siempre habrá una incertidumbre con las cantidades de contaminantes estimadas, con respecto a los tipos de contaminantes no siempre se conocen, es por eso que se deben utilizar diferentes fuentes de información para realizar el inventario de fuentes.

En este trabajo se realizó un inventario general, sin embargo se requiere de un trabajo de detalle, donde se contabilicen los volúmenes de aguas residuales generadas así como su composición y el sitio en donde se descarga, ya sea planta de tratamiento, río, quebrada, etc. Parte de este trabajo ya se está realizando en la Unidad de Gestión de la Municipalidad de Belén, y es muy importante que continúe, ya que las actividades son dinámicas y se requiere de un monitoreo constante, principalmente de las actividades las más peligrosas.

3.2 Determinación de la vulnerabilidad, amenaza y el riesgo a la contaminación del agua subterránea en el cantón de Belén

Para la determinación de los índices de vulnerabilidad, la amenaza y el riesgo a la contaminación del agua subterránea en el cantón de Belén, se realizó primero el mapa geológico escala 1:10 000, debido a que el mapa existente era muy general y no representaba en muchos casos lo observado en el campo. Además se solicitó información sobre los pozos existentes en el cantón de Belén al SENARA, a partir de esta información se afinó el mapa geológico y se determinó la profundidad del agua subterránea en la zona de estudio, así como también las principales

Tabla 4 Resumen de las características químicas e índices de peligro para actividades industriales comunes (Tomado de Foster et al, 2002)

Tipo de Industria	Indice de Peligro de Mazurek (1_9)	uso relativo del agua	carga salina	carga de nutrientes	carga orgánica	hidrocarburos	patógenos fecales	metales pesados	orgánicos sintéticos	Índice de contaminación Potencial del Agua Subterranea (1-3)
Hierro y Acero	6	**	•	•	••	••	•	••	••	2
Procesamiento de Metales	8	*	•	•	•	•	•	•••	•••	3
Talleres Mecánicos	5-8	*	•	•	•	•••	•	•••	••	3
Metales no Ferrosos	7	*	•	•	•	•	•	•••	•	2
Minerales no Metalicos	3-4	**	•••	•	•	•	•	•	•	1
Refinerías de Petróleo y Gas	7-8	*	•	••	•••	•••	•	•	••	3
Productos Plásticos	6-8	**	•••	•	••	••	•	•	•••	3
Productos de Caucho	4-6	*	••	•	••	•	•	•	••	2
Sustancias Químicas Orgánicas	3-9	**	••	•	••	•••	••	••	•••	3
Sustancias Químicas Inorgánicas	6-9	**	••	•	•	•	•	•••	•	.
Farmacéuticos	6-9	***	•••	••	•••	•	••	•	•••	3
Carpínteria	2-4	*	••	•	••	•	•	•	••	1
Pulpa y Papel	6	***	•	••	••	•	•	•	••	2
Jabón y Detergente	4-6	**	••	•	••	••	••	•	•	2
Fábricas Textiles	6	***	••	••	•••	•	•	•	••	2
Curtiduría	3-8	**	•••	••	••	•	•	••	•••	3
Alimentos y Bebidas	2-4	**	••	•••	•••	•	•••	•	•	1
Pesticidas	5-9	**	••	•	•	•	•	•	•••	3
Fertilizantes	7-8	*	•••	•••	•	••	•	•	••	2
Azucar y Alcohol	2-4	**	•••	•••	•••	••	•	•	•	2
Termoeléctricas	–	***	•	•	•	•••	•	•••	••	2
Eléctricos y Electrónicos	5-8	*	•	•	•	•••	•	••	•••	3

• baja

•• moderada

••• alta } probabilidad de concentraciones problemáticas en líquidos y/o efluentes de procesos

Indice de contaminación potencial del agua subterránea: probabilidad de concentraciones problemáticas en líquidos y/o efluentes de procesos. Fuente: BNA, 1975; DAME, 1981; Hackman, 1978; Luin y Starkenburg, 1978; Nemerow, 1963 y 1971; Mazurek, 1979; US-EPA, 1977 y 1980 y WHO, 1982 y otros informes menores no publicados. (en Foster et al, 2002).

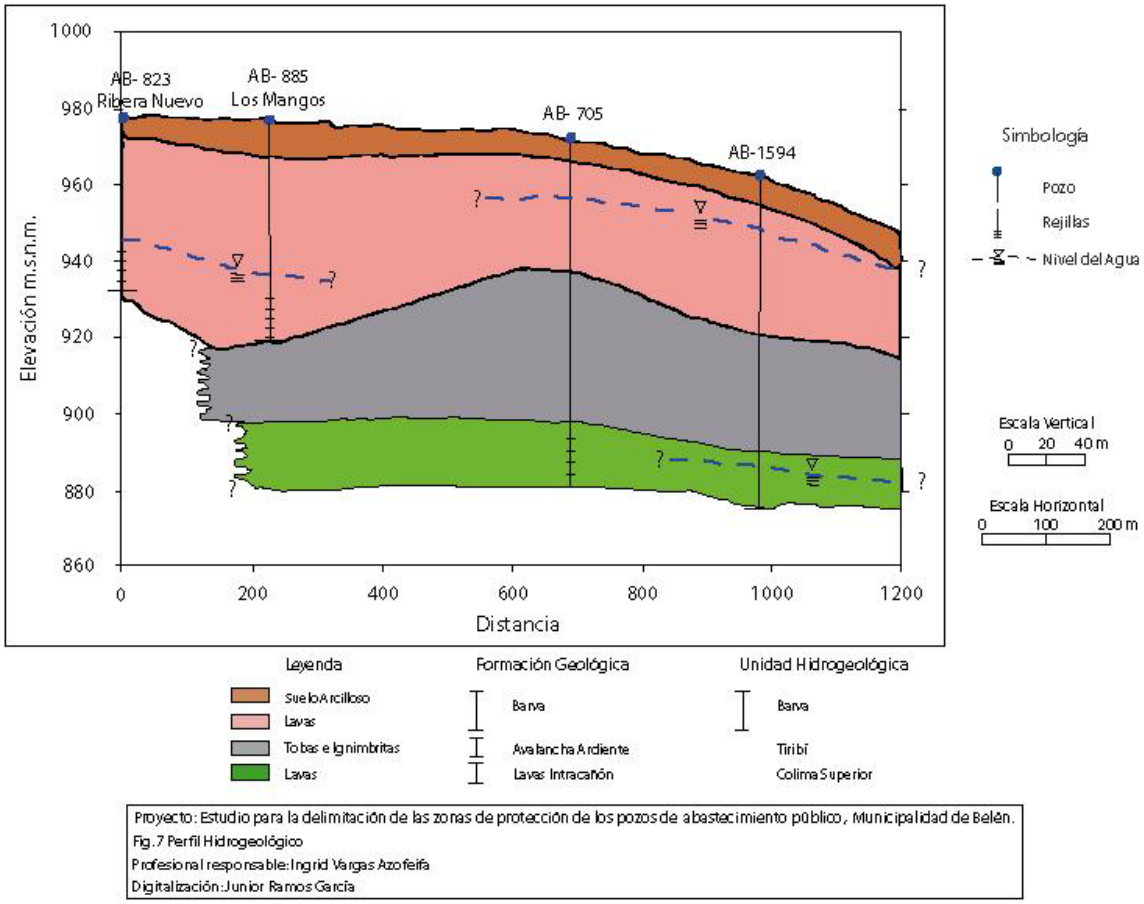
características de los acuíferos existentes en la zona. Sumado a lo anterior, se consideraron los resultados de las pruebas de infiltración realizadas en este estudio y finalmente se construyeron los mapas de vulnerabilidad, amenaza y riesgo a la contaminación del cantón de Belén.

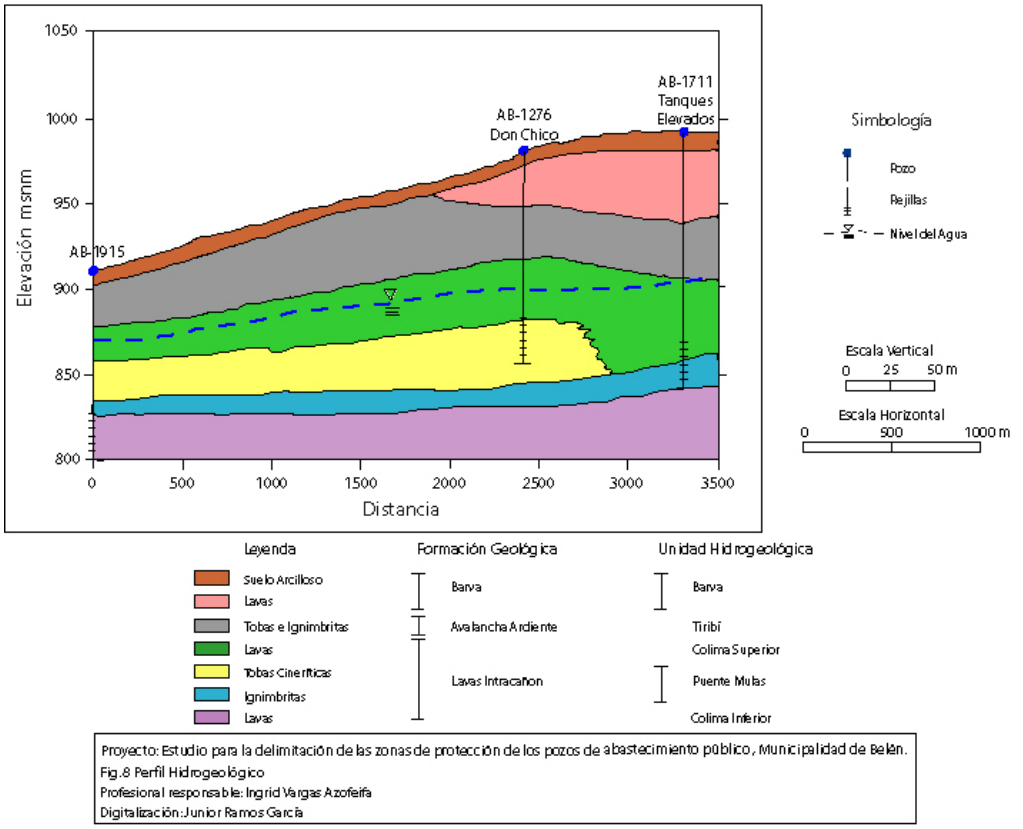
3.2.1 Análisis de la Vulnerabilidad del cantón de Belén

El Mapa 1 (contratapa) muestra los índices de vulnerabilidad en el cantón varían entre valores extremos, medios, bajos, esto se debe principalmente que la profundidad del agua subterránea, al tipo de acuífero y al espesor de rocas o suelos que cubren los acuíferos de la zona. Un 28.2 % del cantón presenta vulnerabilidad extrema, en la zona norte y central del cantón, específicamente en la parte norte del distrito Rivera, y una parte del distrito Asunción y San Antonio, esta condición se debe a que en esta zona la profundidad del agua es muy cercana a la superficie (< 5metros). Un 2.8 % del área del cantón presenta una vulnerabilidad alta, un 16.4 % de la superficie tiene vulnerabilidad media y en un 53 % la vulnerabilidad es baja.

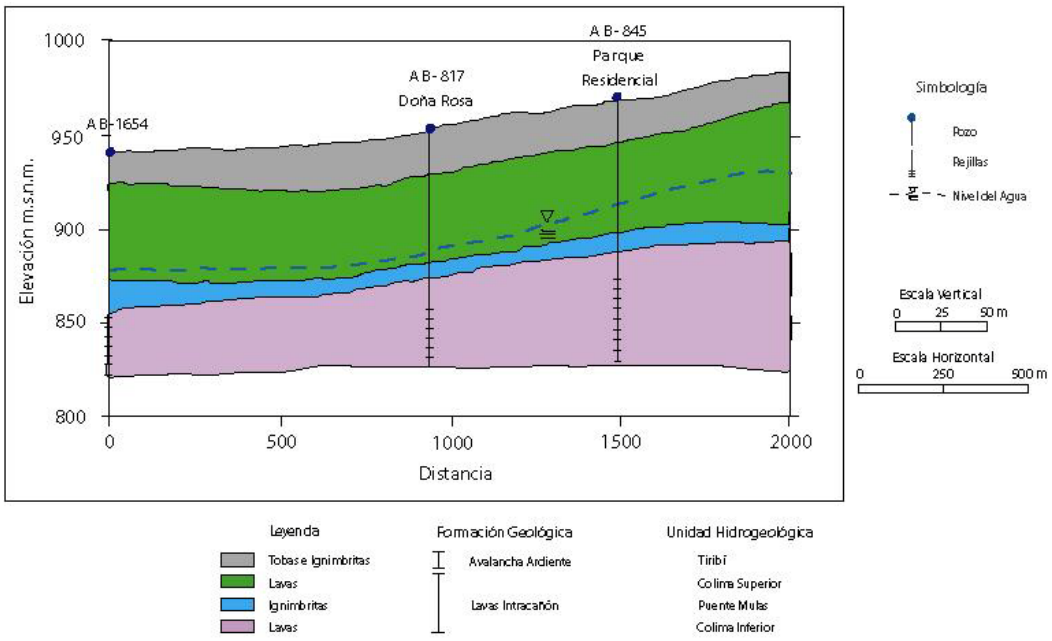
Las Figs. 7, 8 y 9 muestran perfiles hidrogeológicos generalizados para la zona de estudio. En la Fig. 7 se observa que la cobertura de protección que tiene el acuífero Barva en los alrededores del pozo Los Mangos (AB-885), es de 10 metros de suelo arcilloso, seguido por 30 metros de lavas, y considerando que la profundidad del agua es en promedio a los 20 - 50 metros, por lo tanto la vulnerabilidad es baja; en el caso de la Fig. 8 se muestra una situación similar para los pozos Don Chico (AB-1276) y el de los Tanques Elevados (AB-1711). En la Fig. 9 se observa que en la zona en donde se ubican los pozos Doña Rosa (AB-817) y Parque Residencial (AB-845) ya no está presente el acuífero Barva, en este caso se tienen las tobas de la Avalancha Ardiente (conocida como Fm. Tiribí) con un espesor promedio de 15 metros sobreyaciendo al acuífero Colima Superior e Inferior; en esa zona el acuífero Colima Superior tiene una vulnerabilidad baja debido a la profundidad del agua, sin embargo la vulnerabilidad aumenta hacia el sur debido a la variación en los niveles del río Virilla y a que el

acuífero descarga directamente en el cañón del río, razón por la cual en los márgenes de este, la vulnerabilidad es alta.





Proyecto: Estudio para la delimitación de las zonas de protección de los pozos de abastecimiento público, Municipalidad de Belén.
Fig.8 Perfil Hidrogeológico
Profesional responsable: Ingrid Vargas Azofeifa
Digitalización: Junior Ramos García



Proyecto: Estudio para la delimitación de las zonas de protección de los pozos de abastecimiento público, Municipalidad de Belén.
Fig.9 Perfil Hidrogeológico C
Profesional responsable: Ingrid Vargas Azofeifa
Digitalización: Junior Ramos García

De acuerdo con la Tabla 5 definida por el SENARA (2006) dependiendo de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos, existen restricciones para el desarrollo de actividades dentro de las que se incluyen actividades urbanísticas, agrícolas, comerciales, industriales, entre otras. Dichos condicionamientos se resumen a continuación:

Zonas de Vulnerabilidad extrema: no se debe permitir viviendas unifamiliares, sin alcantarillado; sistemas urbanísticos y condominios sin alcantarillado y sin planta de tratamiento; sistemas urbanísticos y condominales con alcantarillado y planta de tratamiento; no se debe permitir hoteles y similares para hospedaje. Así mismo no se deben permitir actividades ganaderas tales como: ganadería extensiva, sistemas semi intensivas de producción de ganado, ambas según carga animal de acuerdo con la clasificación del MAG, así como tampoco sistemas intensivos de producción de ganado, granjas porcinas, avícolas y lecheras. Además no se deben permitir sistemas de producción agrícola, tales como: café, caña de azúcar, tomate, fresas, etc. No se deben permitir actividades comerciales, industriales y depósitos, los detalles se indican en la Tabla 5.

Zonas de Vulnerabilidad alta, se pueden permitir viviendas unifamiliares siempre y cuando las densidades de población sean inferior a 25 hab/ha o lotes de 2000 metros cuadrados, esto con el objetivo de que no se impermeabilice más de un 20% del área. En cuanto a los sistemas urbanísticos y condominales sin alcantarillado y sin planta de tratamiento se puede dar siempre y cuando se diseñe un sistema apropiado de eliminación de excretas y aguas servidas, respetando el máximo establecido (< 20%) de impermeabilización. En el caso de sistemas urbanísticos y condiminales con alcantarillado y planta de tratamiento, se pueden permitir densidades inferiores a 50 hab/ha o lotes de 1000 metros cuadrados, sin sobrepasar la impermeabilización del 20 %. Se puede permitir ganadería extensiva y semi extensiva siempre y cuando se utilicen agroquímicos de muy baja toxicidad, persistencia y movilidad; las fincas pueden ser orgánicas o conservacionistas. Los sistemas intensivos de producción de ganado, granjas porcinas, avícolas, lecheras y otros se permiten siempre y cuando se cuente con

Tabla 5 MATRIZ DE CRITERIOS DE USO DEL SUELO SEGÚN LA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS SEGÚN SENARA, 2006

ACTIVID. PRODUCTIVAS	VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO Y DE FUENTES DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO			
Desarrollo urbanístico	***EXTREMA***	***ALTA***	***MEDIA***	***BAJA***
Vivienda unifamiliar (sin alcantarillado)	No se debe permitir	Se puede permitir sujeto a diseño apropiado de sistema de eliminación de excretas y aguas servidas. La densidad de población debe ser inferior a 25 hab/ha o lotes de 2000 metros cuadrados. El área de impermeabilización por hectárea no debe sobrepasar el 20%.	Se puede permitir sujeto a diseño apropiado de sistema de eliminación de excretas y aguas servidas. La densidad de población debe ser inferior a 75 hab/ha o lotes de 650 metros cuadrados. El área de impermeabilización por hectárea no debe sobrepasar el 30%.	Se puede permitir sujeto a diseño apropiado de sistema de eliminación de excretas y aguas servidas.
Sistemas urbanísticos y condominales sin alcantarillado y sin planta de tratamiento	No se debe permitir	Se puede permitir sujeto a diseño apropiado de sistema de eliminación de excretas y aguas servidas. La densidad de población debe ser inferior a 25 hab/ha o lotes de 2000 metros cuadrados. El área de impermeabilización por hectárea no debe sobrepasar el 20%. En todos los casos, la SETENA solicitara el estudio hidrogeológico detallado, vulnerabilidad y riesgo y análisis de SENARA.	Se puede permitir sujeto a diseño apropiado de sistema de eliminación de excretas y aguas servidas. La densidad de población debe ser inferior a 75 hab/ha o lotes de 650 metros cuadrados. El área de impermeabilización por hectárea no debe sobrepasar el 30%. En todos los casos, la SETENA solicitara el estudio hidrogeológico detallado, vulnerabilidad y riesgo y análisis de SENARA.	Se puede permitir sujeto a diseño apropiado de sistema de eliminación de excretas y aguas servidas.
Sistemas urbanísticos y condominales con alcantarillado y planta tratamiento	No se debe permitir	Se puede permitir con densidades inferiores a 50 hab/ha o lotes de 1000 metros cuadrados. El área de impermeabilización por hectárea no debe sobrepasar el 20%.	Se puede permitir con densidades inferiores a 150 hab/ha o lotes de 330 metros cuadrados. El área de impermeabilización por hectárea no debe sobrepasar el 30%.	Se puede permitir sujeto a diseño apropiado de sistema de eliminación de excretas y aguas servidas.

Hoteles y similares para hospedaje.	No se debe permitir	Se puede permitir sujeto a manejo de efluentes con planta de tratamiento. El área de impermeabilización por hectárea no debe sobrepasar el 20%. El numero de habitaciones no debe exceder una carga equivalente a 50 personas por hectárea.	Se puede permitir sujeto a manejo de efluentes con planta de tratamiento. El área de impermeabilización por hectárea no debe sobrepasar el 30%. El numero de habitaciones no debe exceder una carga equivalente a 150 personas por hectárea.	Se puede permitir sujeto a diseño apropiado de sistema de eliminació de excretas y aguas servidas.
Actividad Ganadera	***EXTREMA***	***ALTA***	***MEDIA***	***BAJA***
Ganadería Extensiva (Carga animal según clasificación del MAG)	No se debe permitir	Se puede permitir siempre que se utilicen agroquímicos de muy baja toxicidad, persistencia y movilidad. Debe de contar con potreros mejorados, protección de nacientes, pozos y cursos de agua de acuerdo a la legislación vigente y contar con practicas de conservación de suelos.	Se puede permitir siempre que se utilicen agroquímicos de muy baja toxicidad, persistencia y movilidad. Debe de contar con potreros mejorados, protección de nacientes, pozos y cursos de agua de acuerdo a la legislación vigente y contar con practicas de conservación de suelos.	Se puede permitir pero al menos deb de contar con potreros mejorados, protección de nacientes, pozos y cursos de agua de acuerdo a la legislación vigente y contar con practicas de conservación de suelos
Sistemas semi intensivas de producción de ganado (carga de animales según clasificación del MAG)	No se debe permitir	Se puede permitir siempre que se utilicen agroquímicos de muy baja toxicidad, persistencia y movilidad. Debe de contar con plan de manejo de los remanentes y aguas. Las fincas pueden ser orgánicas o conservacionistas. Uso de biodigestores, lombricultura y sistemas de tratamiento de aguas residuales. reforestación y protección de nacientes de acuerdo con la legislación, recuperación de áreas degradadas, diseño y mantenimiento de caminos y evacuación de aguas y diseño y protección de taludes.	Se puede permitir siempre que se utilicen agroquímicos de muy baja toxicidad, persistencia y movilidad. Debe de contar con plan de manejo de los remanentes y aguas. Las fincas pueden ser orgánicas o conservacionistas. Uso de biodigestores, lombricultura y sistemas de tratamiento de aguas residuales. reforestación y protección de nacientes de acuerdo con la legislación, recuperación de áreas degradadas, diseño y mantenimiento de caminos y evacuación de aguas y diseño y protección de taludes.	Se puede permitir pero al menos deb de contar con potreros mejorados, protección de nacientes, pozos y cursos de agua de acuerdo a la legislación vigente y contar con practicas de conservación de suelos

Sistemas intensivos de producción de ganado, granjas porcinas, avícolas, lecherías y otros	No se debe permitir	Se puede permitir pero debe de contar con plan de manejo de los remanentes y aguas que asegure descargas con una calidad de aguas de acuerdo con el reglamento de vertidos. Uso de biodigestores, lombricultura y lagunas de oxidación u otros sistemas. La SETENA solicitara estudio hidrogeológico detallado, vulnerabilidad y riesgo y el análisis por parte del SENARA.	Se puede permitir pero debe de contar con plan de manejo de los remanentes y aguas que asegure descargas con una calidad de aguas de acuerdo con el reglamento de vertidos. Uso de biodigestores, lombricultura y lagunas de oxidación u otros sistemas. La SETENA solicitara estudio hidrogeológico detallado, vulnerabilidad y riesgo y el análisis por parte del SENARA.	Se permite, pero debe de contar co plan de manejo de los remanentes y aguas que asegure descargas con u calidad de aguas de acuerdo con e reglamento de vertidos.

un plan de manejo de los remanentes y aguas que asegure descargas con una calidad de acuerdo con el reglamento de vertidos.

Zonas de Vulnerabilidad media: en esta categoría se puede permitir viviendas unifamiliares dependiendo del diseño del sistema de eliminación de excretas, y con una densidad inferior a 75 hab/ha o lotes de 650 metros cuadrados, el área de impermeabilización debe ser inferior al 30%. En cuanto a sistemas urbanísticos y condominales sin alcantarillado y sin planta de tratamiento, se puede permitir si se presenta un diseño apropiado de eliminación de excretas. La densidad de población en este caso es similar al de las viviendas unifamiliares. Para el caso de los sistemas urbanísticos y condominales con alcantarillado y planta de tratamiento se permiten en densidades inferiores a 150 hab/ha o lotes de 330 metros cuadrados. En cuanto a la actividad ganadera, se permite la ganadería extensiva y semi extensiva siempre y cuando se utilicen agroquímicos de muy baja toxicidad, persistencia y movilidad; las fincas pueden ser orgánicas o conservacionistas. En lo que se refiere a la industria, se permite según el tratamiento de efluentes y al almacenamiento adecuado de sustancias peligrosas. Para mayor detalle de esta zona ver la Tabla 5.

Zonas de Vulnerabilidad baja: en cuanto a esta clasificación se permiten prácticamente todas las actividades, siempre y cuando se tomen las medidas preventivas del caso, para mayor detalle puede verse la Tabla 5.

3.2.2 Determinación de la amenaza a la contaminación del agua subterránea en el cantón de Belén

Para la determinación de la amenaza se realizó un inventario de las fuentes potenciales de contaminación del cantón, para este se efectuó un levantamiento de campo de las posibles fuentes de contaminación con GPS, esta información se complementó con la información de patentes municipales, documentos de la Unidad de Gestión Ambiental, Ministerio de Salud, y el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). Finalmente, a partir de toda esta información, se generó una tabla con la información más relevante y con las coordenadas de los sitios y posteriormente de

implementó en el programa ARCVIEW para el análisis del riesgo. Tal y como se observa en la Fig. 10, las actividades que se desarrollan en el cantón son variadas, sin embargo debe indicarse que un 26% son talleres mecánicos, 19% son gasolineras y autoconsumos, es importante indicar que aunque existen solo tres gasolineras en Belén, según la Dirección General de Transporte y Comercialización de Combustibles (DGTCC) del MINAET, existen 26 autoconsumos (Anexo D) con permiso para almacenar 1000L de combustibles (bunker, gasolina, diesel), los usos son para alimentar plantas térmicas, transporte, etc. Debe recalcarse que si bien es cierto, algunas de las industrias tienen permiso de la (DGTCC), se estima que la cantidad real de sitios en donde se almacena combustible puede duplicarse, sin embargo este dato debe corroborarse en un futuro. Las salas de belleza alcanzan un 18%, actividad que ocupa el tercer lugar en la frecuencia. En los salones de belleza se utiliza gran cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas tales como tintes, decolorantes, jabones, etc, los cuales descargan directamente a los sistemas pluviales y posteriormente a los ríos. En orden de frecuencia le siguen las fábricas de alimentos y bebidas, en un 7%, las fábricas de productos plásticos en un 4%, sin embargo existe industria muy peligrosa y variada cuyo número de establecimientos es uno o dos en el cantón.

Las fuentes potenciales de contaminación del agua subterránea se pueden clasificar como difusas, puntuales y lineales. Las fuentes difusas son áreas extensas en donde se generan cargas de contaminantes que pueden afectar la calidad del agua subterránea, tales como pesticidas, fertilizantes, nitratos, y microorganismos patógenos; las zonas agrícolas en donde hay cultivos perennes y las zonas urbanas en donde se utiliza tanque séptico como sistema de tratamiento de las aguas de excreta, son ejemplos de fuentes de contaminación difusa. Las fuentes puntuales se dan por actividades industriales ya que generan una carga hidráulica que puede lixiviar los contaminantes hacia los acuíferos Pankow, et al, (1984), otro ejemplo son las lagunas de efluentes, gasolineras o autoconsumos, sitios de disposición de residuos sólidos, y sitios de extracción minera debido a que modifican el sistema de flujo y aumenta la vulnerabilidad de los acuíferos ya que remueven las capas superiores de suelos y rocas que los cubren Foster, et al, (2002).

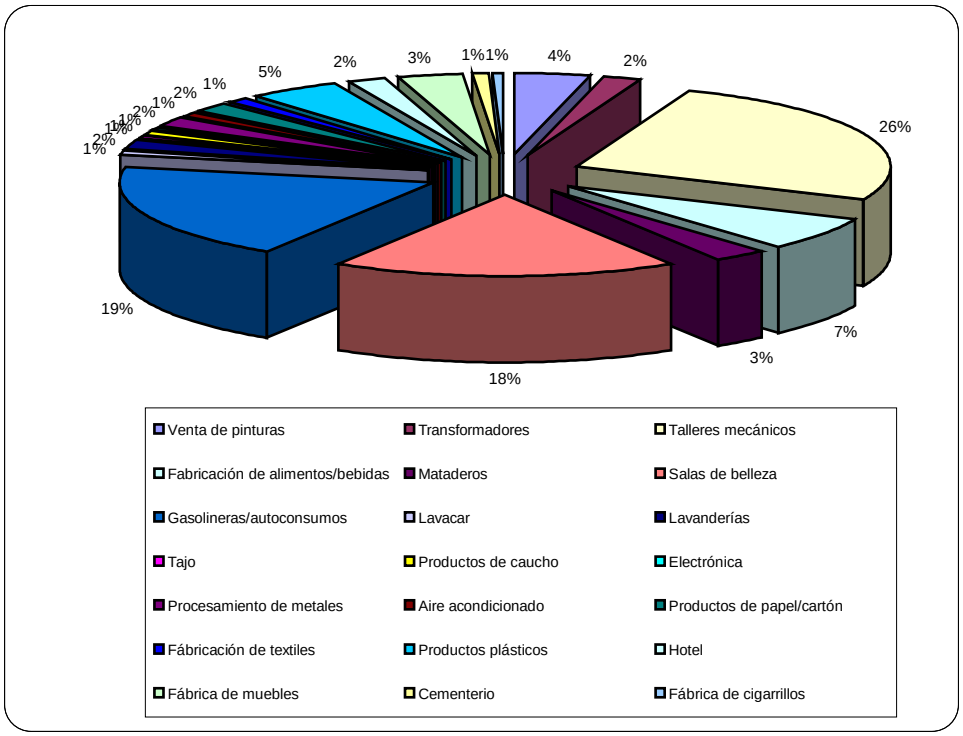


Fig. 10 Fuentes potenciales de contaminación de aguas subterráneas del cantón de Belén

Como fuentes potenciales de contaminación lineal en el cantón se tinene los ríos así como también las tuberías que conducen aguas negras y residuales. Durante el trabajo de campo realizado, se detectaron malos olores, presencia de residuos sólidos en distintos sitios de la quebrada Seca y el río Bermúdez, llama la atención que durante todas las visitas realizadas a la zona de estudio, el color del agua siempre fue café oscuro debido al arrastre de sólidos disueltos y en distintos sitios como por ejemplo cerca del puente del bulevar de la ciudad Cariari, se observaron tuberías descargando a aguas residuales directamente en al río Bermúdez. Además los mismos vecinos del cantón comentaron en distintos momentos, las molestias sufridas debido a los malos olores debido a la contaminación. Esta situación ha sido expuesta desde hace varios años por otros estudios, como ejemplo se menciona el estudio realizado por Geotécnica en 1998, para el estudio del alcantarillado sanitario de la GAM contratado por el AyA, donde menciona contaminación de compuestos del nitrógeno, debido a las actividades agrícolas, industriales y a la descarga de aguas negras en estos dos ríos.

A pesar de que en Belén se utilizan tanques sépticos como el principal sistema de tratamiento de aguas de excretas, existen sitios en donde las excretas se descargan directamente en los ríos. Debido a la contaminación de los ríos Bermúdez y la quebrada Seca, estos ríos se pueden catalogar como fuentes lineales de contaminación. El Mapa 2 (contratapa) muestra el Mapa de fuentes potenciales de contaminación del agua subterránea en Belén.

3.2.3 Determinación del riesgo a la contaminación del agua subterránea en el cantón de Belén

Es importante indicar que el riesgo depende en primer lugar de la vulnerabilidad intrínseca y esta a su vez es el resultado de la ponderación de las condiciones geológicas e hidrogeológicas del cantón de Belén, o bien de las condiciones naturales, las cuales no se pueden mejorar, mientras que la amenaza si puede cambiar ya que depende del uso actual de la tierra, entonces el riesgo obtenido en este estudio representa las condiciones actuales y si existiera algún cambio de uso debe recalcularse nuevamente el riesgo.

El Mapa 3 (contratapa), Riesgo a la contaminación del agua subterránea del cantón de Belén, se obtuvo sobreponiendo el mapa de índices de vulnerabilidad, el mapa de amenaza. La Tabla 6 muestra la matriz utilizada para obtener el riesgo. Como se observa en el Mapa 3, el riesgo a la contaminación del agua subterránea en el cantón de Belén es variable y se clasifica de la siguiente forma:

Riesgo Bajo: se presenta en zonas en donde los usos actuales de la tierra no indican una contaminación significativa y la vulnerabilidad a la contaminación es baja.

Riesgo Medio: en esta categoría se encuentran los usos de la tierra que podrían causar contaminación del agua subterránea, cuando la vulnerabilidad es media y alta.

Riesgo Alto: se localiza en zonas en donde la vulnerabilidad es extrema, alta o media y los usos de la tierra representan un peligro alto de contaminación del agua subterránea.

Tabla.6 Matriz para la valoración del riesgo de contaminación en aguas subterráneas (SENARA, 2006)

AMENAZA	Vulnerabilidad: Muy Baja	Baja	Media	Alta	Extrema
Muy Baja	RB	RB	RB	RB	RA
Baja	RB	RB	RB	RM	RA
Media	RB	RB	RM	RA	RA
Alta	RB	RM	RA	RA	RA
Extrema	RM	RA	RA	RA	RA

RB	Riesgo Bajo
RM	Riesgo Medio
RA	Riesgo Alto

A partir del Mapa 3 se observa que el riesgo a la contaminación del agua subterránea en el cantón de Belén es alto en las zonas norte y este principalmente, así como también el la franja del cañón del río Virilla. Los valores altos de riesgo en zonas con vulnerabilidad baja se deben a la presencia de fuentes potenciales peligrosas, tales como las actividades industriales. La zona central del cantón posee un riesgo medio, y los extremos suroeste y sureste del cantón presentan riesgos bajos gracias a la combinación de vulnerabilidades bajas y el uso de la tierra para residencias.

4. Delimitación de las zonas de protección de los pozos utilizados por la Municipalidad de Belén para el abastecimiento público

Existen diferentes metodologías para delimitar las zonas de protección de pozos de abastecimiento público. USEPA (1993) agrupa los métodos en: radio arbitrario fijo, radio calculado fijo, formas simplificadas, métodos analíticos, a partir del mapeo hidrogeológico y por medio de modelos numéricos. Considerando el tipo y la calidad de la información existente y generada en este estudio para el cantón de Belén, para la definición de las zonas de protección se realizaron cálculos analíticos, así como también Se tomó en cuenta la información hidrogeológica.

El método del radio arbitrario fijo se utilizó para definir zonas de protección de pozos municipales (ibid). Dicho método consiste en calcular para un tiempo definido, el radio del cono de abatimiento generado por el bombeo en un pozo. Los parámetros que se requieren son, el caudal (Q), t=2 años, n (porosidad), b (espesor), la fórmula es la siguiente:

$$R= (Qt/\pi nb)\ ½$$

Por su parte el método analítico requiere de los siguientes parámetros: conductividad hidráulica, el espesor saturado, el gradiente hidráulico y el mapa potenciométrico, posteriormente se utilizan las fórmulas indicadas:

$$X_0 = \frac{-Q}{(2\pi K\ b)}$$

$$Y_0 = \frac{\pm Q}{(2K\ b)i}$$

Donde; X_0 es la distancia desde el pozo o naciente hasta el punto de estancamiento, el cual se ubica aguas debajo de este, Y_0 es el ancho máximo de la zona de captura o de protección, el contorno de esta línea encierra las líneas de flujo que aportan agua al pozo o naciente, fuera de esta zona las líneas de flujo no influyen en el pozo o naciente de interés. Además Q= caudal, k= conductividad hidráulica, b= espesor saturado, i= gradiente hidráulico, π =3,1416.

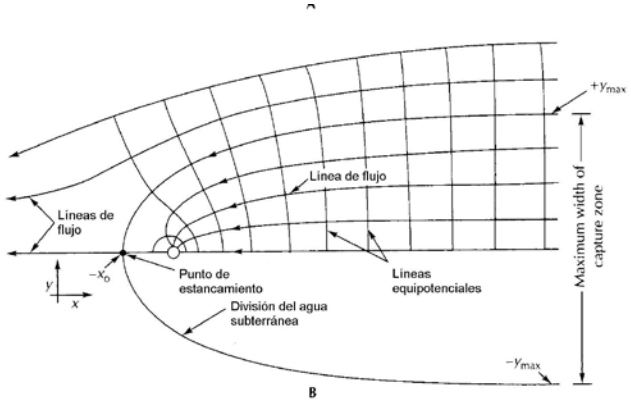


Figura 11 : Zona de protección de un pozo o naciente, método de Todd, (1980 en US EPA, 1993)

Así a partir de la información de las pruebas de bombeo de los pozos municipales se obtuvieron los parámetros hidráulicos, los cuales se resumen en la Tabla 7. El detalle de las columnas de los pozos se muestra en la Fig. 12, donde se observa que los pozos AB-817, AB-1711, captan el acuífero Colima Inferior, sin embargo la información de varios pozos no es completa. A partir de toda esta información, así como también de los mapas potenciométricos (Fig. 3 y 4) se definió el área de protección de cada pozo.

Tabla 7 Parámetros hidráulicos según pruebas de bombeo realizadas por Concesa, 1997

Pozo	***Nombre***	***Prof. (m)***	***N.E. (m)***	***Transmisibidad (m2/día)***	***Caudal (l/s)***
AB-1711	Tanques Elevados	150	96,83	4480	22,7
AB-1276	Don Chico	128	82,73	4392	12,5
AB-885	Los Mangos	57	33,63	2253	11,4
AB-823	Ribera Nuevo	125	31,94	574	7,33
AB-817	Doña Rosa	130	73,52	2534	10,58
AB-668	Doña Claudia	?	76,18	No determinado	6,67
AB-845	Parque Residencial	132	62,46	No determinado	6,4-18,3

Para este estudio se aplicó una combinación de los radios fijos y la ecuación analítica de flujo uniforme subterráneo explicada anteriormente, según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (1993). Como la ecuación del método de flujo uniforme se aplica para acuíferos homogéneos, pero según la información descrita en los pozos en la zona se tienen distintas capas de rocas, algunas de las cuales están fracturadas, se considera que si se combinan los radios fijos y el método analítico las zonas serán más adecuadas ya que se aproximan a medios heterogéneos. El procedimiento se basa en definir las zonas de protección con el método de la ecuación analítica y posteriormente rotar 20 grados el eje del flujo, a ambos lados de la zona delimitada y combinar estas áreas en una sola tal y como se muestra en la Fig. 13 y 14.

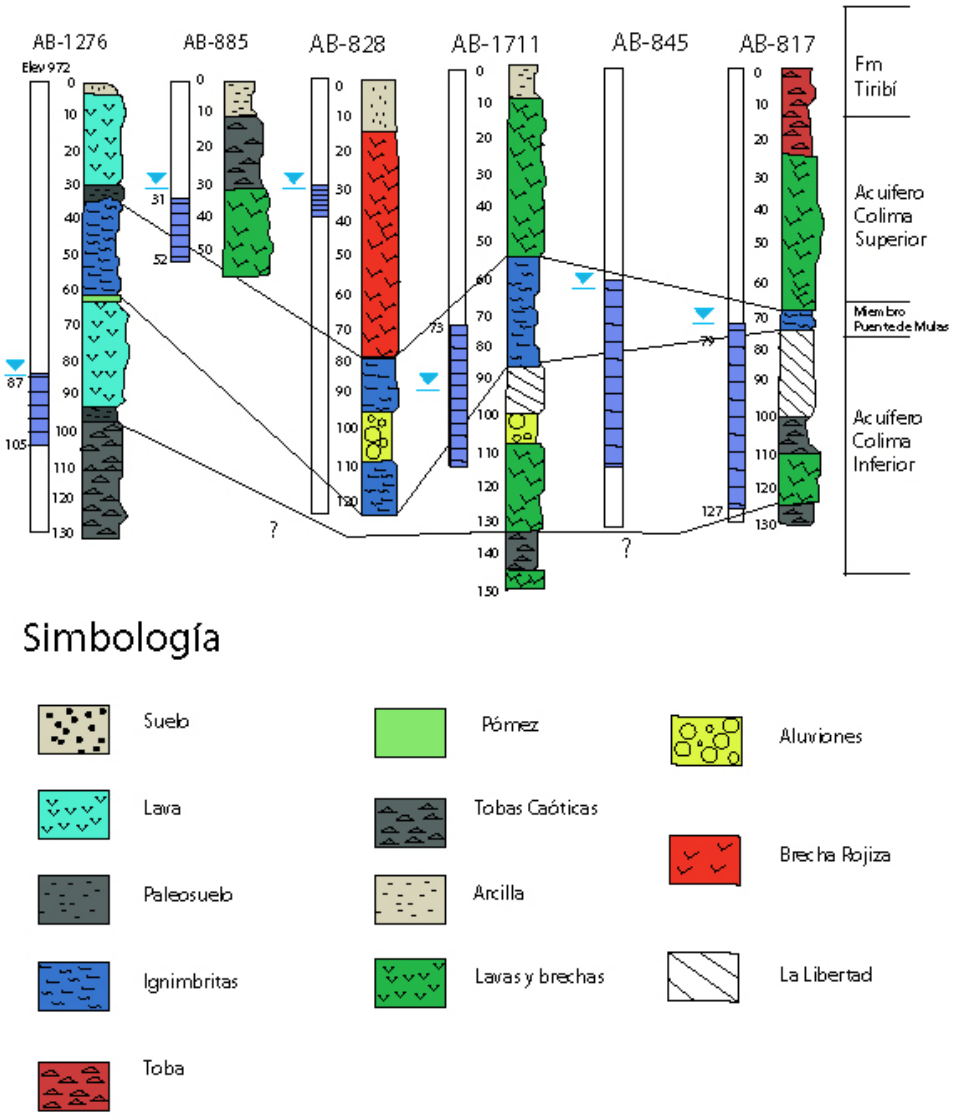


Fig. 12 Detalle de la geología de los pozos municipales, cantón de Belén. Basado en los datos de pozos del SENARA, 2008

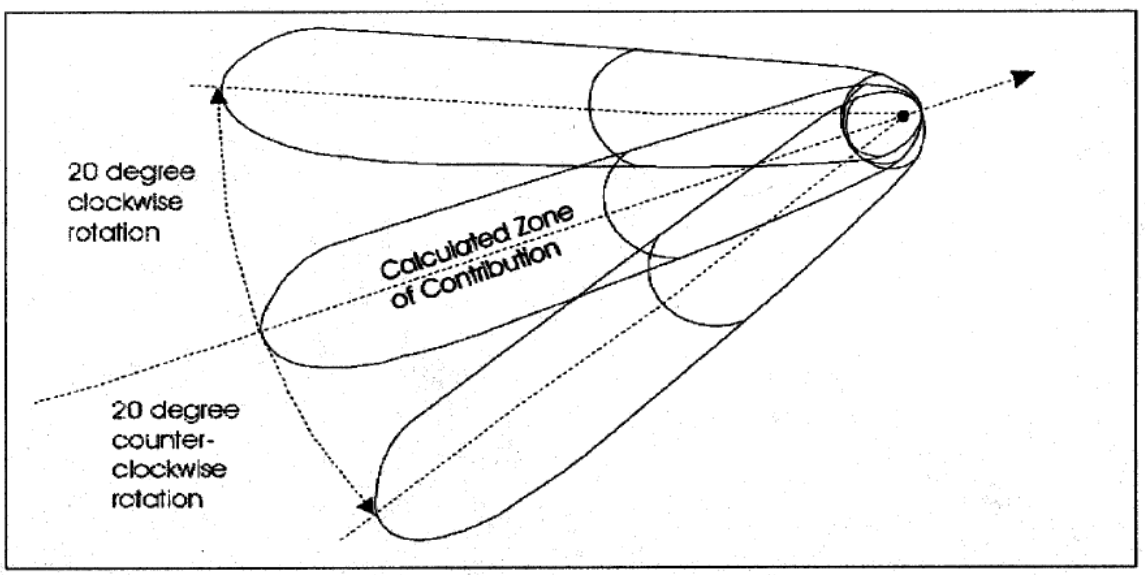


Fig. 13 Diagrama (rotación del eje del flujo de aguas subterráneas (Spayd & Johnson 2003)

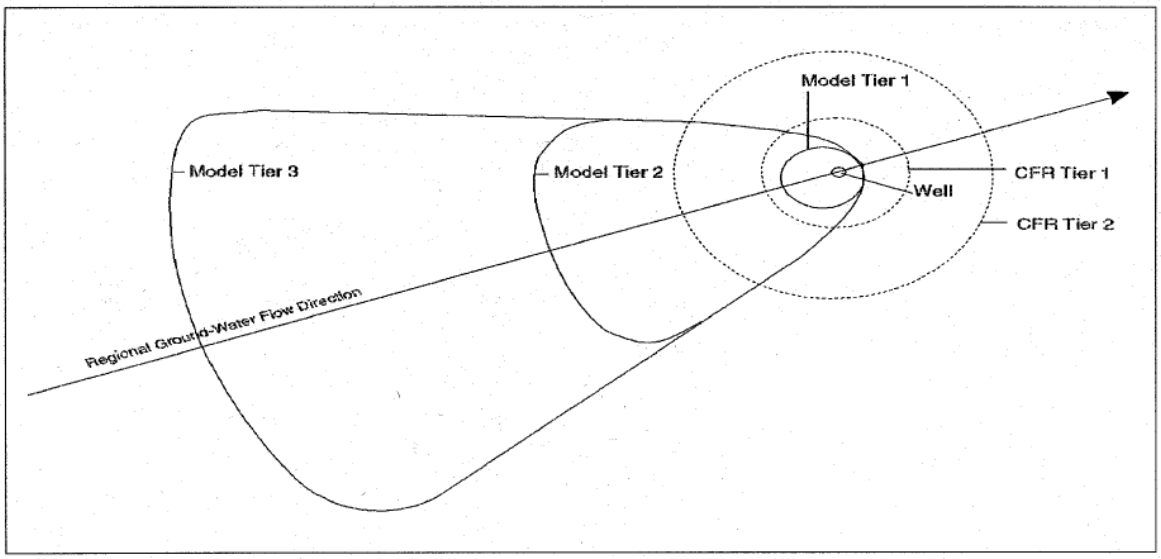


Fig .14 Delimitación de las zonas de protección (Spayd & Johnson 2003)

Por último para la determinación de las isócronas, en el caso de pozos de bombeo, se puede calcular por la ecuación de radio fijo, ecuación de Jacob, métodos analíticos o numéricos, se consideró que para el acuífero Barva la distancia mínima debe ser 40 metros, esto aplica para los pozos de Los Mangos y Ribera Nuevo, mientras que para los pozos de los acuíferos Colima, la propuesta es de 34 metros (pozos Tanques Elevados, Don Chico, Doña Rosa, Doña Claudia y Parque Residencial. Tal y como se observa en el Mapa 4, todas las zonas de protección quedan dentro del cantón de Belén a excepción de los Tanques Elevados, AB-1711, por lo que debe coordinarse con el municipio vecino para tomar las medidas preventivas del caso.

La Tabla 8 resume los datos utilizados para definir las zonas de protección de los pozos de abastecimiento de agua potable de la Municipalidad de Belén y las zonas delimitadas en este estudio se muestran en el Mapa 4 (adjunto), debe aclararse que en este mapa también se muestran las zonas de protección de los manantiales que utiliza la Municipalidad para el abastecimiento público, dichas zonas fueron definidas por un estudio realizado por Arredondo en 1995.

Tabla 8 Datos utilizados para definir las zonas de protección de los pozos de abastecimiento público de la Municipalidad de Belén

X	Y	POZO	CODIGO	Q Prueba l/s	Q Max.	Q m3/d	T (m^2/d)	Rejilla	Espesor B (m)	Acuífero captado	K (m/d)	gradiente
518496	218282	Tanques elevados	AB-1711	22.70	40.00	3456.00	4480.00	73-113	40.00	Colima Sup.	112.00	0.059
517900	218470	Don Chico	AB-1276	12.50	12.00	1036.80	4392.00	87-105	18.00	Colima Sup.	244.00	0.059
517389	219403	Los Mangos	AB-885	11.40	14.00	1209.60	2253.00	31-52	21.00	Barva	107.29	0.033
518410	217010	Doña Rosa	AB-817	10.58	20.00	1728.00	2534.00	79-127	48.00	Colima Inf.	52.79	0.027
518590	217900	Doña Claudia	AB-668	6.67	6.67	576.29	2500.00	75-100	25.00	Colima Sup.	100.00	0.059
518950	217040	Parque Residencial	AB-845	6.67	22.00	1900.80	4000.00	76-117	41.00	Colima Sup.	97.56	0.014
517330	219620	Ribera Nuevo	AB-823	15.00	7.00	604.80	574.00	52-77	26.00	Barva-Colima Sup.	22.08	0.026

Zona 1: zona de protección absoluta

En esta zona el radio de protección es de 40 metros para los pozos de Los Mangos y Ribera Nuevo, mientras que para los pozos conocidos como Tanques Elevados, Don Chico, Doña Rosa, Doña Claudia y Parque Residencial, la zona de protección absoluta es de 34 metros (Mapa 4). Dentro de esta área de protección no debe permitirse ningún tipo de actividad que genere un riesgo por bacteria y virus esto según Spayd & Johnson (2003). Dentro de las actividades que no se deben permitir están: actividades pecuarias (chancheras, lecherías, corrales, etc), ningún tipo de explotación de canteras, evacuación de aguas negras o servidas, disposición de residuos sólidos (basura), talleres, bodegas de químicos, lagunas o plantas de tratamiento, gasolineras y autoconsumos, aplicación de agroquímicos ni ningún tipo de construcción tales como casas de habitación, urbanizaciones, hoteles.

Zona 2: zona de protección inmediata

Se trata del área con forma cónica indicada en el Mapa 4 la cual indica la zona de los 2 años, o sea delimita la zona en donde un contaminante podría llegar al pozo en un tiempo menor o igual a los 2 años, por lo que debe protegerse. Se determinó por medio del método del radio fijo. El uso del suelo en esta zona debe enfocarse de manera que se evite el riesgo por contaminantes químicos (USEPA, 2003), aunque también deben minimizarse los riesgos por bacterias y virus. En esta área se recomienda una densidad de población baja o bien que no supere los 69 habitantes por hectárea, según lo establecido en el Plan Regulador de Belén, INVU, 1994).

Se recomienda que no se instalen industrias, actividades pecuarias, ni plantas de tratamiento de ningún tipo.

Es importante indicar que los parámetros utilizados para zonificar la vulnerabilidad son distintos a los utilizados para definir las zonas de protección de los pozos; de esta forma aunque las zonas de protección de los pozos se encuentren en zonas de vulnerabilidad baja, las zonas que prevalecen son las zonas definidas en esta sección (Zona 1 y Zona 2).

5. Conclusiones y recomendaciones para la protección del agua subterránea en el cantón de Belén

5.1 Conclusiones

A partir del análisis de la vulnerabilidad se determinó que el 53% del cantón de Belén tiene una vulnerabilidad baja, sin embargo el 48% restante tiene una vulnerabilidad entre media alta y extrema por lo que es importante proteger en algún grado estas zonas, para lo cual se recomienda la aplicación de la matriz de criterios de uso del suelo según la vulnerabilidad a la contaminación. Es importante aclarar que si bien es cierto los pozos de abastecimiento público de la Municipalidad se ubican en zonas de vulnerabilidad baja, no existe garantía alguna de que en el futuro estos no se contaminen, ya que la cubierta de las distintas capas geológicas aumenta el tiempo que tardarían los contaminantes en viajar verticalmente, sin embargo en algún momento podría llegar tanto vertical como lateralmente a través de zonas preferenciales de flujo debido a las heterogeneidades del medio. La vulnerabilidad obtenida es función de la profundidad del agua subterránea, el tipo de acuífero, así como también de las distintas rocas y suelos que cubren los acuíferos, de esta manera la zona norte y oeste del cantón presenta la mayor vulnerabilidad (extrema) debido al tipo de acuífero y a la poca profundidad a la que se encuentra el agua subterránea con respecto al nivel del suelo.

Debido que el análisis del riesgo incorpora no solo la vulnerabilidad sino también la amenaza, y en el cantón de Belén las fuentes potenciales de contaminación son muy variadas y en algunos casos peligrosas como la mayor parte de las industrias existentes, el riesgo a la contaminación del agua subterránea en la zona es alto, en gran parte del territorio, aunque también existen las zonas con riesgo medio y bajo, al sur, suroeste y sureste.

Se definieron las zonas de protección para los siete pozos de abastecimiento de la Municipalidad de Belén, sin embargo es importante tomar en cuenta que aunque se defina e incorpore en el plan regulador Belén la zonificación desde el punto de vista

hidrogeológica así como también las zonas de protección de los pozos de abastecimiento público en la zona este limítrofe del cantón existen gran cantidad de actividades industriales que potencialmente también podrían generar contaminación hacia las aguas subterráneas. Lo ideal sería que todos los cantones vecinos también se comprometan en tomar acciones para la protección del recurso hídrico.

5.2 Recomendaciones

Para las áreas de protección de los pozos se recomienda únicamente los usos de pastos y árboles propios de la zona, no se debe permitir ningún tipo de actividad industrial, ni tanques sépticos cercanos ni descargas de efluentes en los alrededores de los pozos.

Se recomienda establecer piezómetros o pozos de observación (monitoreo) aguas arriba de los pozos de explotación para detectar a tiempo cualquier posible pluma de contaminación antes de que llegue a los pozos de abastecimiento. Así como también recomienda continuar con el monitoreo permanente de la calidad del agua subterránea.

Debe mejorarse el sistema de alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial para evitar las descargas directas en los ríos del cantón de aguas servidas. De la misma manera debe monitorearse las industrias pequeñas y las grandes para evitar las descargas de efluentes en los ríos de la zona.

De acuerdo con la Tabla 5 definida por el SENARA (2006) dependiendo de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos, existen restricciones para el desarrollo de actividades dentro de las que se incluyen actividades urbanísticas, agrícolas, comerciales, industriales, entre otras. Dichos condicionamientos se resumen a continuación, para mayor detalle se debe consultar la Tabla 5:

Zonas de Vulnerabilidad extrema: no se debe permitir viviendas unifamiliares, sin alcantarillado; sistemas urbanísticos y condominios sin alcantarillado y sin planta de tratamiento; sistemas urbanísticos y condominales con alcantarillado y planta de tratamiento; no se debe permitir hoteles y similares para hospedaje. Así mismo no se deben permitir actividades ganaderas tales como: ganadería extensiva, sistemas semi intensivas de producción de ganado, ambas según carga animal de acuerdo con la clasificación del MAG, así como tampoco sistemas intensivos de producción de ganado, granjas porcinas, avícolas y lecheras. Además no se deben permitir sistemas de producción agrícola, tales como: café, caña de azúcar, tomate, fresas, etc. No se deben permitir actividades comerciales, industriales y depósitos, los detalles se indican en la Tabla 5.

Zonas de Vulnerabilidad alta, se pueden permitir viviendas unifamiliares siempre y cuando las densidades de población sean inferior a 25 hab/ha o lotes de 2000 metros cuadrados, esto con el objetivo de que no se impermeabilice más de un 20% del área. En cuanto a los sistemas urbanísticos y condominales sin alcantarillado y sin planta de tratamiento se puede dar siempre y cuando se diseñe un sistema apropiado de eliminación de excretas y aguas servidas, respetando el máximo establecido (< 20%) de impermeabilización. En el caso de sistemas urbanísticos y condiminales con alcantarillado y planta de tratamiento, se pueden permitir densidades inferiores a 50 hab/ha o lotes de 1000 metros cuadrados, sin sobrepasar la impermeabilización del 20 %. Se puede permitir ganadería extensiva y semi extensiva siempre y cuando se utilicen agroquímicos de muy baja toxicidad, persistencia y movilidad; las fincas pueden ser orgánicas o conservacionistas. Los sistemas intensivos de producción de ganado, granjas porcinas, avícolas, lecheras y otros se permiten siempre y cuando se cuente con un plan de manejo de los remanentes y aguas que asegure descargas con una calidad de las aguas de acuerdo con el reglamento de vertidos. Con respecto a las actividades agrícolas se pueden permitir siempre y cuando se utilicen agroquímicos de muy baja toxicidad, persistencia y movilidad (ver detalle en la Tabla 5). En estas áreas no se deben permitir actividades industriales de clase A, se permiten otras actividades

dependiendo del tratamiento de efluentes y al almacenaje de sustancias peligrosas, para más detalle debe revisarse la Tabla 5.

Zonas de Vulnerabilidad media: en esta categoría se puede permitir viviendas unifamiliares dependiendo del diseño del sistema de eliminación de excretas, y con una densidad inferior a 75 hab/ha o lotes de 650 metros cuadrados, el área de impermeabilización debe ser inferior al 30%. En cuanto a sistemas urbanísticos y condominales sin alcantarillado y sin planta de tratamiento, se puede permitir si se presenta un diseño apropiado de eliminación de excretas. La densidad de población en este caso es similar al de las viviendas unifamiliares. Para el caso de los sistemas urbanísticos y condominales con alcantarillado y planta de tratamiento se permiten en densidades inferiores a 150 hab/ha o lotes de 330 metros cuadrados. En cuanto a la actividad ganadera, se permite la ganadería extensiva y semi extensiva siempre y cuando se utilicen agroquímicos de muy baja toxicidad, persistencia y movilidad; las fincas pueden ser orgánicas o conservacionistas. En lo que se refiere a la industria, se permite según el tratamiento de efluentes y al almacenamiento adecuado de sustancias peligrosas. Para mayor detalle de esta zona ver la Tabla 5.

Zonas de Vulnerabilidad baja: en cuanto a esta clasificación se permiten prácticamente todas las actividades, siempre y cuando se tomen las medidas preventivas del caso, para mayor detalle puede verse la Tabla 5.

Profesional responsable:

M.Sc. Ingrid Vargas Azofeifa,
Geól. #226, C.G.C.R.
iazofeifa@geologia.ucr.ac.cr
tel.2511-5769 / fax.2234-2347

6. Bibliografía

Arredondo, S; 1995: Delimitación de zonas de protección a los acuíferos en el área de influencia del cantón de Belén, Heredia, Costa Rica. SENARA.

Concesa, Consultores Centroamericanos en Ingeniería, S.A.; 1997: Pruebas de bombeo. Municipalidad de Belén.

COTERRA, S.A; 2008: Indices de fragilidad ambiental (IFAs) del cantón de Belén.

Denyer & Arias; 1991: Estratigrafía de la región central de Costa Rica. Revista Geológica de América Central. (12): 1-59.

Echandi, E.; 1981: Unidades volcánicas de la vertiente norte de la cuenca del Río Virilla. Tesis de Licenciatura, Escuela Centroamericana de Geología. Univ. Costa Rica. 123 Págs.

Fernández, M; 1968 en Sprechman, P. (ed.) 1984: Manual de Estratigrafía de Costa Rica. Vol 1: Estratigrafía. 320 págs.

Foster, S; 1987: Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. Proceedings of international conference: Vulnerability of soil and groundwater to pollutants. Países Bajos.

Foster, S. & Hirata, R.; 1988: Groundwater pollution risk assessment: a metodology using available data. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual. Perú.

Foster, S. & Hirata, R; 1992: Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas, una metodología basada en datos existentes. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS. 81 págs.

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D Elia, M., Paris, M; 2002: Protección de la calidad del agua subterránea: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Banco Mundial. 115 págs.

Geotecnia, 1998: Estudio de alcantarillado sanitario de la Gran Area Metropolitana, (GAM). Inf. Final-Etapa I. Vol.1 Resumen de los estudios realizados.

Henríquenez, C. & Cabalceta, G; 1999: Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. Univ. Costa Rica. 111 págs.

Pankow, J., Johnson, R., Houck, J., Brillante, S., Bryan, W.; 1984: Migration of chlorophenolic compound at the chemical waste disposal site at Alkali Lake, Oregon. 1, Site description and groundwater flow. Ground water 22(5): 593-601.

Rodríguez; 1994: Normas para el cálculo de tiempos de tránsito entre los drenajes de tanques sépticos y las fuentes de agua subterránea. DEP-RH-94-049, AyA.

SENARA; 2008: Base Nacional de pozos. Area de Aguas Subterráneas.
SENARA-BGS; 1985: Mapa hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica.

SENARA; 2006: Tabla de Vulnerabilidad hidrogeológica. Acuerdo de Junta Directiva del SENARA, sesión # 239-06. Set. 2006.

Spayd, S. y Johnson, S; 2003: Guidelines for delineation of wellhead protection areas in New Jersey, USA. New Jersey Geological Survey. Open file report OFR 03-1.

U.S. EPA; 1993: Wellhead protection a guide for small communities. Seminar Publication. EPA/625/R-93/002. U.S. Environmental Protection Agency. P.144.

U.S. EPA; 2001: Protocol, delineation of wellhead Protection areas for Municipal groundwater supply wells under direct influence of surface water. Oct. 2001. PIBS4168e.

ANEXO A
ANALISIS GEOTECNICOS (SUELOS)

PROPIEDADES FISICAS DE LOS SUELOS
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA

Proyecto: Municipalidad de Belén *Fecha:* :22/10/08
Lugar: Belén *Ejecutó:* L. M. R. M.

Datos:

Muestra No:	Belén 1	Belén 2	Belén 3	Belén 4	Belén 5	Belén 6	Belén 7	Belén 8	Belén 9	Belén 10
Gravedad específica:	2.38	2.66	2.66	2.64	2.52	2.66	2.62	2.83	2.74	2.76
Peso húmedo [g]:	36.85	39.82	40.82	36.42	52.53	34.35	39.58	39.14	37.48	32.05
Volumen [cm3]:	21.33	25.64	24.67	19.6	30.49	24.64	25.52	23.19	21.62	20.46
Contenido de humedad [%]:	37.60	51.4	57.23	35	48.5	86.57	52.31	53.00	45.89	38.72
Propiedades:										
Peso unit. húmedo [kN/m3]:	16.94	15.23	16.23	18.22	16.90	13.67	15.21	16.55	17.00	15.36
Peso unit. seco [kN/m3]:	12.31	10.06	10.32	13.50	11.38	7.33	9.99	10.82	11.65	11.07
Peso unit. sat. [kN/m3]:	16.95	16.08	16.25	18.23	16.91	14.38	16.04	16.56	17.08	16.72
Peso unit. sólidos [kN/m3]	23.34	26.09	26.09	25.89	24.71	26.09	25.69	27.75	26.87	27.07
Relación de vacíos :	0.90	1.59	1.53	0.93	1.29	2.56	1.61	1.41	1.24	1.36
Porosidad [%]:	47.2	61.4	60.4	48.3	56.4	71.9	61.7	58.5	55.3	57.5
Grado de saturación [%]:	99.9	85.8	99.7	99.8	99.8	90.0	86.3	99.9	98.6	76.0

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Muestra : Belén 1
Proyecto: Municipalidad de Belén
Localiz.: Belén (518026/218440)

Prof. [m]: 0.46
Fecha: :08/09/08
Perforac.:
Ejecutó: L. M., R.M.

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]:	36.85
Peso del suelo + peso de parafina [g]:	41.38
Peso de parafina [g]:	4.53
Volumen de parafina [cm3]:	5.03
Peso sumergido de parafina y suelo [g]:	15.02
Volumen de suelo + parafina [cm3]:	26.36
Volumen de suelo [cm3]:	21.33
Peso unitario húmedo del suelo [kN/m3]:	16.95
Peso unitario seco del suelo [kN/m3]:	11.96

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]:	59.92
Peso suelo seco + recipiente [g]:	47.61
Peso del recipiente [g]:	18.04
Peso del agua [g]:	12.31
Peso del suelo seco [g]:	29.57
Contenido de humedad [%]:	41.63
Gravedad específica	2.38

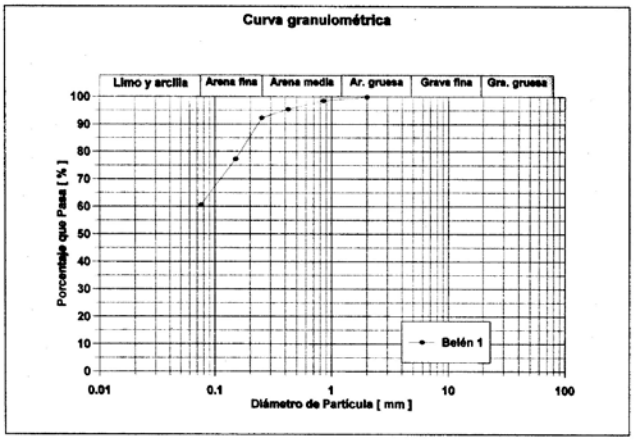
ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseñó R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Municipalidad de Belén
Localización: Belén (518026/218440)
Descripción:

Realizado por: L.M., R.M.
Observación: Vía húmeda

Investigador: Rolando Mora
Muestra: Belén 1
Profundidad: 0.46 m.
Fecha : :08/09/08
Peso inic. [g]: 348.92

Tamiz No	Diámetro [mm]	Peso retenido [g]	% retenido	% que pasa
2"	50.800		0.00	100.00
1 1/2"	38.100		0.00	100.00
1 1/4"	31.500		0.00	100.00
1"	25.400		0.00	100.00
3/4"	19.000		0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	100.00
3/8"	9.500		0.00	100.00
4	4.750		0.00	100.00
10	2.000		0.00	100.00
20	0.850	4.69	1.34	98.66
30	0.600		0.00	98.66
40	0.425	10.86	3.11	95.54
50	0.300		0.00	95.54
60	0.250	11.00	3.15	92.39
80	0.180		0.00	92.39
100	0.150	52.22	14.97	77.42
200	0.075	58.22	16.69	60.73
270	0.053		0.00	60.73
325	0.045		0.00	60.73
FONDO		211.83	60.73	
	total:	348.82	100.00	



Pérdida de material [g] : 0.10
Pérdida de material [%] : 0.03

D60 [mm]:
D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 0.00
Porcentaje de arena gruesa: 0.00
Porcentaje de arena media: 4.46
Porcentaje de arena fina: 34.81
Porcentaje de finos: 60.73
100.00

Coef. de uniformidad, Cu :
Coef. de concavidad, Cc :

Límite líquido (wl%): 52.0
Límite plástico (wp%): 32.2
Indice de plasticidad: 19.8

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

Limo elástico arenoso (MH) de plasticidad alta

LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

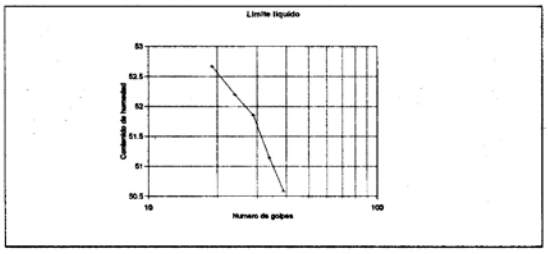
Muestra : Belén 1
Proyecto Municipalidad de Belén
Técnico: L.M., R.M.
Secado: Al aire libre

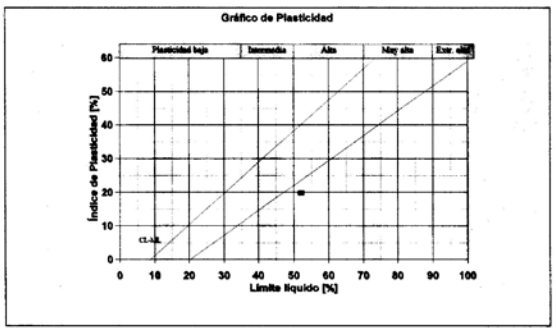
Perfor.:
Sitio: Belén (518026/218440)
Prof. (m): 0.46
Fecha: 08/09/08
Responsa Rolando Mora

LIMITE LIQUIDO [%]:	52.0				
No. de lata	31	8	28	12	2
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	56.92	52.41	57.53	55.19	55.54
Peso del suelo seco + lata [g] :	43.94	39.00	44.08	40.80	41.03
Peso de la lata [g] :	18.28	12.78	18.14	13.23	13.48
Peso del suelo seco [g]:	25.66	26.22	25.94	27.57	27.55
Peso del agua [g] :-	12.98	13.41	13.45	14.39	14.51
Contenido de Humedad % :	50.6	51.1	51.9	52.2	52.7
Número de golpes :	39	34	29	24	19

LIMITE PLASTICO [%] :	32.2		
No. de lata :	20	11	22
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	8.75	9.27	8.85
Peso del suelo seco + lata [g] :	7.66	8.03	7.75
Peso de la lata [g] :	4.29	4.22	4.27
Peso del suelo seco [g]:	3.37	3.81	3.48
Peso del agua [g] :	1.09	1.24	1.10
Contenido de humedad [g]:	32.3	32.5	31.6

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 19.9
CLASIFICACION (BSI) : Limo de alta plasticidad (MH)





DETERMINACION DEL PESO UNITARIO
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Muestra : Belén 2
Proyecto: Municipalidad de Belén
Localiz.: Belén (518310/218366)

Prof. [m]: 0.54
Fecha: :09/09/08
Perforac.:
Ejecutó: L.M., R.M.

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]:	39.82
Peso del suelo + peso de parafina [g]:	42.32
Peso de parafina [g]:	2.50
Volumen de parafina [cm3]:	2.78
Peso sumergido de parafina y suelo [g]:	13.90
Volumen de suelo + parafina [cm3]:	28.42
Volumen de suelo [cm3]:	25.64
Peso unitario húmedo del suelo [kN/m3]:	15.23
Peso unitario seco del suelo [kN/m3]:	10.06

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]:	52.43
Peso suelo seco + recipiente [g]:	40.57
Peso del recipiente [g]:	17.51
Peso del agua [g]:	11.86
Peso del suelo seco [g]:	23.06
Contenido de humedad [%]:	51.43

Gravedad específica 2.66

R. Mora

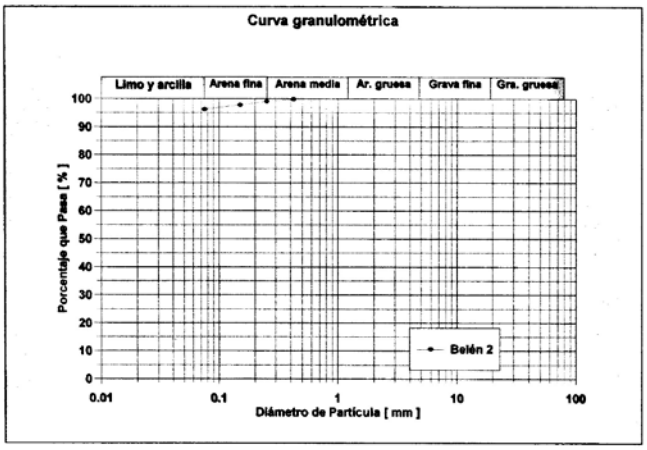
ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseñó R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Municipalidad de Belén
Localización: Belén (518310/218366)
Descripción:

Investigador: Rolando Mora
Muestra: Belén 2
Profundidad: 0.54 m.
Fecha : :09/09/08
Peso inic. [g]: 391.82

Realizado por: L.M., R.M.
Observación: Vía húmeda

Tamiz No	Diámetro [mm]	Peso retenido [g]	% retenido	% que pasa
2"	50.800		0.00	100.00
1 1/2"	38.100		0.00	100.00
1 1/4"	31.500		0.00	100.00
1"	25.400		0.00	100.00
3/4"	19.000		0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	100.00
3/8"	9.500		0.00	100.00
4	4.750		0.00	100.00
10	2.000		0.00	100.00
20	0.850		0.00	100.00
30	0.600		0.00	100.00
40	0.425		0.00	100.00
50	0.300		0.00	100.00
60	0.250	3.13	0.80	99.20
80	0.180		0.00	99.20
100	0.150	4.82	1.23	97.97
200	0.075	6.17	1.57	96.40
270	0.053		0.00	96.40
325	0.045		0.00	96.40
FONDO		377.70	96.40	
	total:	391.82	100.00	



Pérdida de material [g] :	0.00	D60 [mm]:	
Pérdida de material [%] :	0.00	D30 [mm]:	
		D10 [mm]:	
Porcentaje de grava:	0.00	Coef. de uniformidad, Cu :	
Porcentaje de arena gruesa:	0.00	Coef. de concavidad, Cc :	
Porcentaje de arena media:	0.00		
Porcentaje de arena fina:	3.60	Límite líquido (wl%):	78.7
Porcentaje de finos:	96.40	Límite plástico (wp%):	51.4
	100.00	Indice de plasticidad:	27.3

R. Mora

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

Limo elástico (MV) de plasticidad muy alta

LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

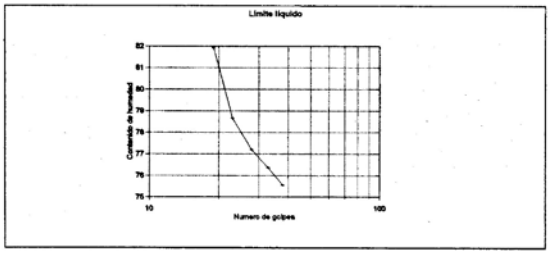
Muestra : Belén 2
Proyecto Municipalidad de Belén
Técnico: L.M., R.M.
Secado: Al aire libre

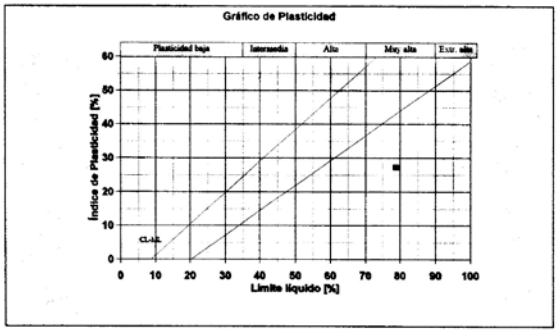
Perfor.:
Sitio: Belén (518310/218366)
Prof.(m) : 0.54
Fecha: :09/09/08
Responsa Rolando Mora

LIMITE LIQUIDO [%]:	78.7				
No. de lata	11	20	18	2	5
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	52.54	51.80	53.35	52.90	54.61
Peso del suelo seco + lata [g] :	37.98	37.07	38.45	37.09	37.66
Peso de la lata [g] :	18.71	17.78	19.15	16.99	16.97
Peso del suelo seco [g]:	19.27	19.29	19.30	20.10	20.69
Peso del agua [g] :	14.56	14.73	14.90	15.81	16.95
Contenido de Humedad % :	75.6	76.4	77.2	78.7	81.9
Número de golpes :	38	33	28	23	19

LIMITE PLASTICO [%] :	51.4		
No. de lata :	3	5	2
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	9.82	10.70	9.70
Peso del suelo seco + lata [g] :	7.89	8.47	7.84
Peso de la lata [g] :	4.06	4.17	4.25
Peso del suelo seco [g]:	3.83	4.30	3.59
Peso del agua [g] :	1.93	2.23	1.86
Contenido de humedad [g]:	50.4	51.9	51.8

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 27.4
CLASIFICACION (BSI) : Limo de plasticidad muy alta (MV)





DETERMINACION DEL PESO UNITARIO
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Muestra : Belén 3
Proyecto: Municipalidad de Belén
Localiz.: Belén (518454/218390)

Prof. [m]: 1.50
Fecha: :09/09/08
Perforac.:
Ejecutó: L.M., R.M.

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]:	40.82
Peso del suelo + peso de parafina [g]:	42.79
Peso de parafina [g]:	1.97
Volumen de parafina [cm3]:	2.19
Peso sumergido de parafina y suelo [g]:	15.93
Volumen de suelo + parafina [cm3]:	26.86
Volumen de suelo [cm3]:	24.67
Peso unitario húmedo del suelo [kN/m3]:	16.23
Peso unitario seco del suelo [kN/m3]:	10.32

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]:	53.40
Peso suelo seco + recipiente [g]:	40.10
Peso del recipiente [g]:	16.86
Peso del agua [g]:	13.30
Peso del suelo seco [g]:	23.24
Contenido de humedad [%]:	57.23
Gravedad específica	2.66

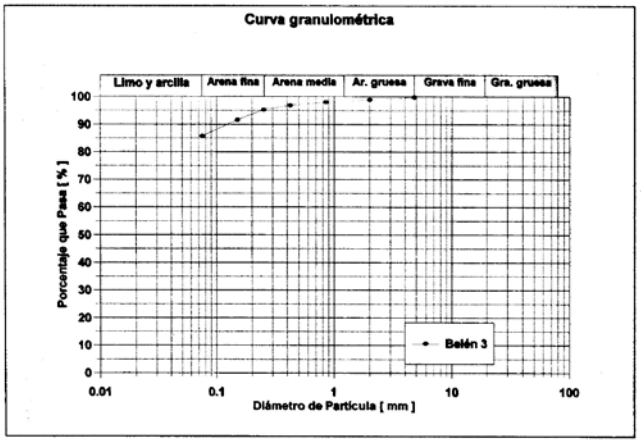
ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseñó R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Municipalidad de Belén
Localización: Belén (518454/218390)
Descripción:

Realizado por: L.M., R.M.
Observación: Vía húmeda

Investigador: Rolando Mora
Muestra: Belén 3
Profundidad: 1.5 m.
Fecha : :09/09/08
Peso inic. [g]: 310.14

Tamiz No	Diámetro [mm]	Peso retenido [g]	% retenido	% que pasa
2"	50.800		0.00	100.00
1 1/2"	38.100		0.00	100.00
1 1/4"	31.500		0.00	100.00
1"	25.400		0.00	100.00
3/4"	19.000		0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	100.00
3/8"	9.500		0.00	100.00
4	4.750		0.00	100.00
10	2.000	3.00	0.97	99.03
20	0.850	2.70	0.87	98.16
30	0.600		0.00	98.16
40	0.425	3.50	1.13	97.03
50	0.300		0.00	97.03
60	0.250	4.84	1.56	95.47
80	0.180		0.00	95.47
100	0.150	11.56	3.73	91.75
200	0.075	18.22	5.87	85.87
270	0.053		0.00	85.87
325	0.045		0.00	85.87
FONDO		266.32	85.87	
	total:	310.14	100.00	



Pérdida de material [g] : 0.00
Pérdida de material [%] : 0.00

D60 [mm]:
D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 0.00
Porcentaje de arena gruesa: 0.97
Porcentaje de arena media: 2.00
Porcentaje de arena fina: 11.16
Porcentaje de finos: 85.87
100.00

Coef. de uniformidad, Cu :
Coef. de concavidad, Cc :

Límite líquido (wl%): 56.0
Límite plástico (wp%): 38.9
Indice de plasticidad: 17.1

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

Limo elástico (MH) de plasticidad alta

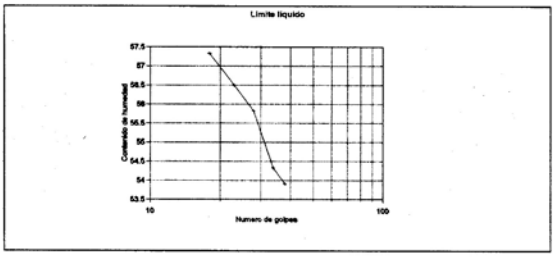
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

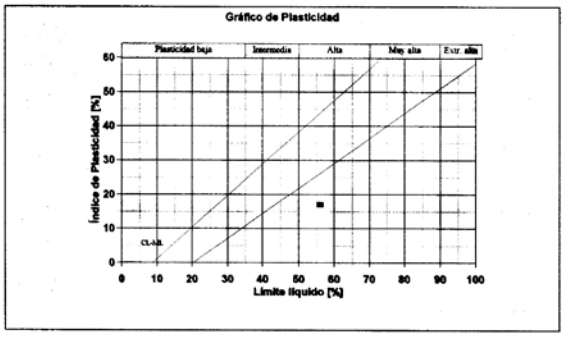
Muestra : Belén 3
Proyecto Municipalidad de Belén
Técnico: L.M., R.M.
Secado: Al aire libre

Perfor.:
Sitio: Belén (518454/218390)
Prof.(m): 1.5
Fecha: :09/09/08
Responsa Rolando Mora

LIMITE LIQUIDO [%]:	56.0				
No. de lata	41	30	14	13	3
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	52.72	55.41	57.24	54.25	58.18
Peso del suelo seco + lata [g] :	38.93	42.18	41.39	39.34	41.65
Peso de la lata [g] :	13.35	17.83	13.00	12.95	12.82
Peso del suelo seco [g]:	25.58	24.35	28.39	26.39	28.83
Peso del agua [g] :	13.79	13.23	15.85	14.91	16.53
Contenido de Humedad % :	53.9	54.3	55.8	56.5	57.3
Número de golpes :	38	34	28	23	18



LIMITE PLASTICO [%] :	38.9		
No. de lata :	19	16	10
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	9.91	7.77	9.92
Peso del suelo seco + lata [g] :	8.29	6.20	7.79
Peso de la lata [g] :	4.09	2.16	2.35
Peso del suelo seco [g]:	4.20	4.04	5.44
Peso del agua [g] :	1.62	1.57	2.13
Contenido de humedad [g]:	38.6	38.9	39.2



INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 17.1
CLASIFICACION (BSI) : Limo de alta plasticidad (MH)

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Muestra : Belén 4
Proyecto: Municipalidad de Belén
Localiz.: Belén (519277/216985)

Prof. [m]: 0.90
Fecha: :16/09/08
Perforac.:
Ejecutó: L.M., R.M.

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]:	36.42
Peso del suelo + peso de parafina [g]:	39.34
Peso de parafina [g]:	2.92
Volumen de parafina [cm3]:	3.24
Peso sumergido de parafina y suelo [g]:	16.50
Volumen de suelo + parafina [cm3]:	22.84
Volumen de suelo [cm3]:	19.60
Peso unitario húmedo del suelo [kN/m3]:	18.23
Peso unitario seco del suelo [kN/m3]:	10.38

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]:	57.60
Peso suelo seco + recipiente [g]:	41.22
Peso del recipiente [g]:	19.56
Peso del agua [g]:	16.38
Peso del suelo seco [g]:	21.66
Contenido de humedad [%]:	75.62

Gravedad especifica 2.64

R. Mora

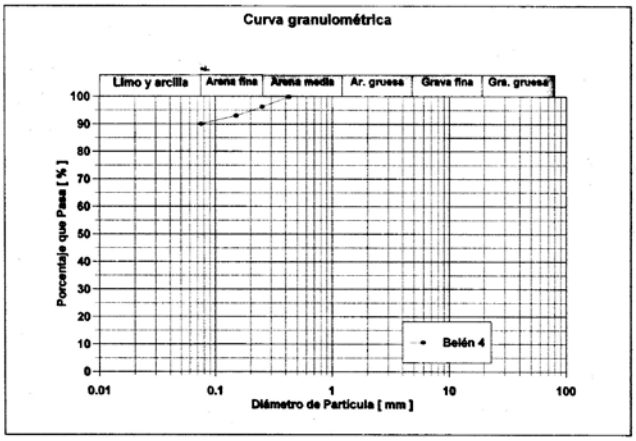
ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseñó R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Municipalidad de Belén
Localización: Belén (519277/216985)
Descripción:

Realizado por: L.M., R.M.
Observación: Vía húmeda

Investigador: Rolando Mora
Muestra: Belén 4
Profundidad: 0.9 m
Fecha : :16/09/08
Peso inic. [g]: 298.84

Tamiz No	Diámetro [mm]	Peso retenido [g]	% retenido	% que pasa
2"	50.800		0.00	100.00
1 1/2"	38.100		0.00	100.00
1 1/4"	31.500		0.00	100.00
1"	25.400		0.00	100.00
3/4"	19.000		0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	100.00
3/8"	9.500		0.00	100.00
4	4.750		0.00	100.00
10	2.000		0.00	100.00
20	0.850		0.00	100.00
30	0.600		0.00	100.00
40	0.425		0.00	100.00
50	0.300		0.00	100.00
60	0.250	10.86	3.63	96.37
80	0.180		0.00	96.37
100	0.150	9.76	3.27	93.10
200	0.075	8.88	2.97	90.13
270	0.053		0.00	90.13
325	0.045		0.00	90.13
FONDO		269.34	90.13	
	total:	298.84	100.00	



Pérdida de material [g] :	0.00	D60 [mm]:	
Pérdida de material [%] :	0.00	D30 [mm]:	
		D10 [mm]:	
Porcentaje de grava:	0.00	Coef. de uniformidad, Cu :	
Porcentaje de arena gruesa:	0.00	Coef. de concavidad, Cc :	
Porcentaje de arena media:	0.00		
Porcentaje de arena fina:	9.87	Límite líquido (wl%):	53.5
Porcentaje de finos:	90.13	Límite plástico (wp%):	31.5
	100.00	Indice de plasticidad:	22.0

R. Mora

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

Limo elástico (MH) de plasticidad alta

LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

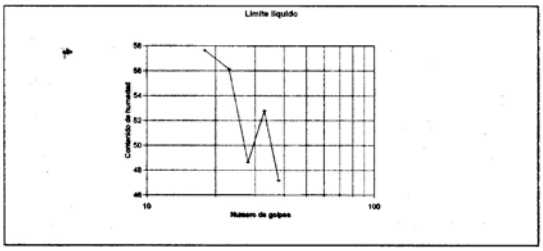
DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

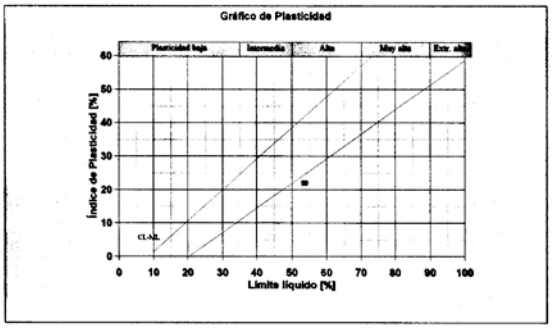
Muestra : Belén 4
Proyecto Municipalidad de Belén
Técnico: L.M., R.M.
Secado: Al aire libre

Perfor.:
Sitio: Belén (519277/216985)
Prof.(m): 0.9
Fecha: :16/09/08
Responsa: Rolando Mora

LIMITE LIQUIDO [%]:	53.5				
No. de lata	28	2	29	12	8
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	56.00	54.88	51.04	54.30	56.20
Peso del suelo seco + lata [g] :	43.86	40.58	40.24	39.53	40.32
Peso de la lata [g] :	18.13	13.49	18.04	13.22	12.77
Peso del suelo seco [g]:	25.73	27.09	22.20	26.31	27.55
Peso del agua [g] :.	12.14	14.30	10.80	14.77	15.88
Contenido de Humedad % :	47.2	52.8	48.6	56.1	57.6
Número de golpes :	38	33	28	23	18
LIMITE PLASTICO [%] :	31.5				
No. de lata :	11	24	3		
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	8.62	8.66	8.79		
Peso del suelo seco + lata [g] :	7.58	7.59	7.66		
Peso de la lata [g] :	4.22	4.26	4.06		
Peso del suelo seco [g]:	3.36	3.33	3.60		
Peso del agua [g] :	1.04	1.07	1.13		
Contenido de humedad [g]:	31.0	32.1	31.4		

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 22.0
CLASIFICACION (BSI) : Limo de alta plasticidad (MH)





RMora

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Muestra : Belén 5
Proyecto: Municipalidad de Belén
Localiz.: Belén (518597/217140)

Prof. [m]: 1.00
Fecha: :01/10/08
Perforac.:
Ejecutó: L.M., R.M.

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]:	52.53
Peso del suelo + peso de parafina [g]:	53.32
Peso de parafina [g]:	0.79
Volumen de parafina [cm3]:	0.88
Peso sumergido de parafina y suelo [g]:	21.95
Volumen de suelo + parafina [cm3]:	31.37
Volumen de suelo [cm3]:	30.49
Peso unitario húmedo del suelo [kN/m3]:	16.89
Peso unitario seco del suelo [kN/m3]:	10.86

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]:	52.94
Peso suelo seco + recipiente [g]:	40.09
Peso del recipiente [g]:	16.98
Peso del agua [g]:	12.85
Peso del suelo seco [g]:	23.11
Contenido de humedad [%]:	55.60
Gravedad específica	2.52

RMora

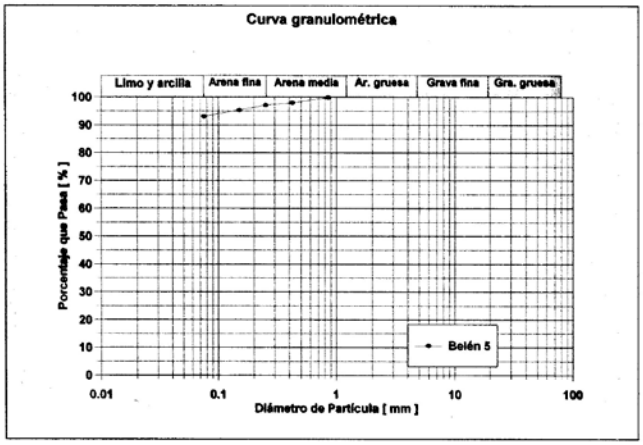
ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseñó R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Municipalidad de Belén
Localización: Belén (518597/217140)
Descripción:

Realizado por: L.M., R.M.
Observación: Vía húmeda

Investigador: Rolando Mora
Muestra: Belén 5
Profundidad: 1.0 m
Fecha : :01/10/08
Peso inic. [g]: 484.16

Tamiz No	Diámetro [mm]	Peso retenido [g]	% retenido	% que pasa
2"	50.800		0.00	100.00
1 1/2"	38.100		0.00	100.00
1 1/4"	31.500		0.00	100.00
1"	25.400		0.00	100.00
3/4"	19.000		0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	100.00
3/8"	9.500		0.00	100.00
4	4.750		0.00	100.00
10	2.000		0.00	100.00
20	0.850		0.00	100.00
30	0.600		0.00	100.00
40	0.425	9.17	1.89	98.11
50	0.300		0.00	98.11
60	0.250	4.18	0.86	97.24
80	0.180		0.00	97.24
100	0.150	8.49	1.75	95.49
200	0.075	11.04	2.28	93.21
270	0.053		0.00	93.21
325	0.045		0.00	93.21
FONDO		451.28	93.21	
	total:	484.16	100.00	



Pérdida de material [g] : 0.00
Pérdida de material [%] : 0.00
D60 [mm]:
D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 0.00
Porcentaje de arena gruesa: 0.00
Porcentaje de arena media: 1.89
Porcentaje de arena fina: 4.90
Porcentaje de finos: 93.21
100.00

Coef. de uniformidad, Cu :
Coef. de concavidad, Cc :

Límite líquido (wl%): 81.6
Límite plástico (wp%): 48.0
Indice de plasticidad: 33.6

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

Limo elástico (MV) de plasticidad muy alta

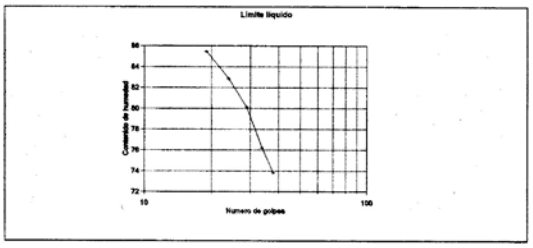
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

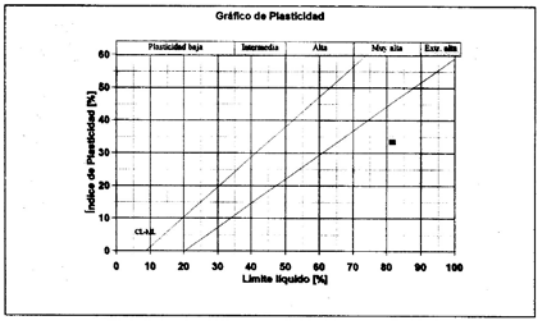
Muestra : Belén 5
Proyecto Municipalidad de Belén
Técnico: L.M., R.M.
Secado: Al aire libre

Perfor.:
Sitio: Belén (518597/217140)
Prof.(m): 1
Fecha: :01/10/08
Responsa Rolando Mora

LIMITE LIQUIDO [%]:	81.6				
No. de lata	21	15	6	22	23
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	52.28	51.80	54.12	53.43	50.43
Peso del suelo seco + lata [g] :	37.39	36.34	38.92	36.56	34.96
Peso de la lata [g] :	17.22	16.06	19.95	16.20	16.86
Peso del suelo seco [g]:	20.17	20.28	18.97	20.36	18.10
Peso del agua [g] :	14.89	15.46	15.20	16.87	15.47
Contenido de Humedad % :	73.8	76.2	80.1	82.9	85.5
Número de golpes :	38	34	29	24	19



LIMITE PLASTICO [%] :	48.0		
No. de lata :	22	6	20
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	7.63	8.98	8.58
Peso del suelo seco + lata [g] :	6.54	7.46	7.18
Peso de la lata [g] :	4.26	4.28	4.29
Peso del suelo seco [g]:	2.28	3.18	2.89
Peso del agua [g] :	1.09	1.52	1.40
Contenido de humedad [g]:	47.8	47.8	48.4



INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 33.6
CLASIFICACION (BSI) : Limo de plasticidad muy alta (MV)

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Muestra : Belén 6
Proyecto: Municipalidad de Belén
Localiz.: Belén (517438/219650)

Prof. [m]: 1.00
Fecha: :15/10/08
Perforac.:
Ejecutó: L.M., R.M.

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]:	34.35
Peso del suelo + peso de parafina [g]:	40.40
Peso de parafina [g]:	6.05
Volumen de parafina [cm3]:	6.72
Peso sumergido de parafina y suelo [g]:	9.04
Volumen de suelo + parafina [cm3]:	31.36
Volumen de suelo [cm3]:	24.64
Peso unitario húmedo del suelo [kN/m3]:	13.67
Peso unitario seco del suelo [kN/m3]:	7.33

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]:	48.33
Peso suelo seco + recipiente [g]:	33.37
Peso del recipiente [g]:	16.09
Peso del agua [g]:	14.96
Peso del suelo seco [g]:	17.28
Contenido de humedad [%]:	86.57

Gravedad especifica 2.66

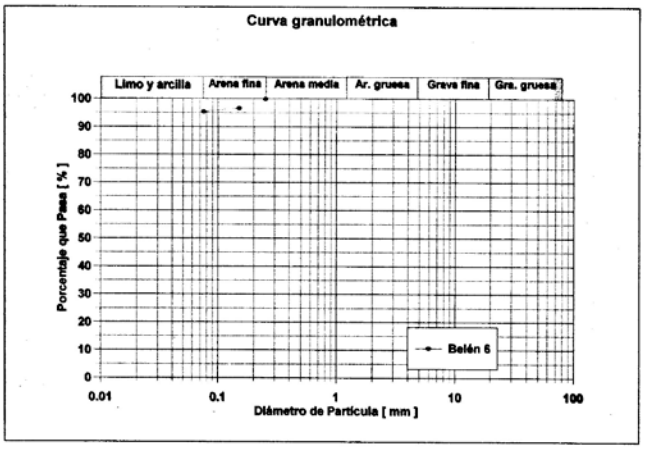
ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseñó R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Municipalidad de Belén
Localización: Belén (517438/219650)
Descripción:

Realizado por: L.M., R.M.
Observación: Vía húmeda

Investigador: Rolando Mora
Muestra: Belén 6
Profundidad: 1.0 m
Fecha : :15/10/08
Peso inic. [g]: 254.71

Tamiz No	Diámetro [mm]	Peso retenido [g]	% retenido	% que pasa
2"	50.800		0.00	100.00
1 1/2"	38.100		0.00	100.00
1 1/4"	31.500		0.00	100.00
1"	25.400		0.00	100.00
3/4"	19.000		0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	100.00
3/8"	9.500		0.00	100.00
4	4.750		0.00	100.00
10	2.000		0.00	100.00
20	0.850		0.00	100.00
30	0.600		0.00	100.00
40	0.425		0.00	100.00
50	0.300		0.00	100.00
60	0.250		0.00	100.00
80	0.180		0.00	100.00
100	0.150	8.41	3.30	96.70
200	0.075	3.14	1.23	95.47
270	0.053		0.00	95.47
325	0.045		0.00	95.47
FONDO		243.16	95.47	
	total:	254.71	100.00	



Pérdida de material [g] :	0.00	D60 [mm]:	
Pérdida de material [%] :	0.00	D30 [mm]:	
		D10 [mm]:	
Porcentaje de grava:	0.00	Coef. de uniformidad, Cu :	
Porcentaje de arena gruesa:	0.00	Coef. de concavidad, Cc :	
Porcentaje de arena media:	0.00		
Porcentaje de arena fina:	4.53	Límite líquido (wl%):	90.2
Porcentaje de finos:	95.47	Límite plástico (wp%):	61.8
	100.00	Indice de plasticidad:	28.4

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

Limo elástico (ME) de plasticidad extremadamente alta

LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

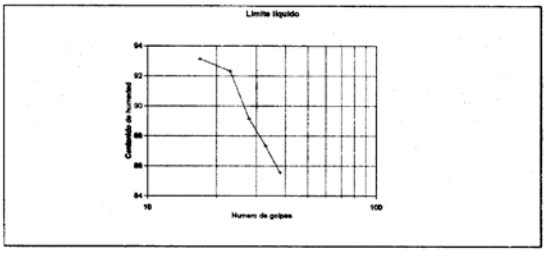
Muestra : Belén 6
Proyecto Municipalidad de Belén
Técnico: L.M., R.M.
Secado: Al aire libre

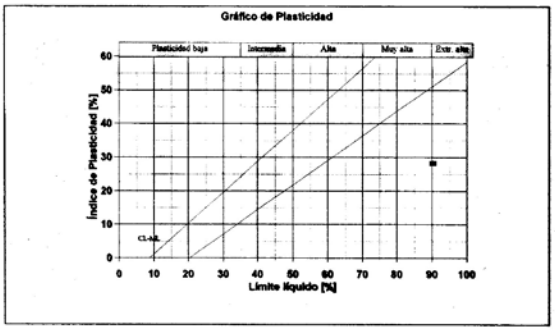
Perfor.:
Sitio: Belén (517438/219650)
Prof.(m): 1
Fecha: :15/10/08
Responsa Rolando Mora

LIMITE LIQUIDO [%]:	90.2				
No. de lata	31	4	16	12	9
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	51.03	53.30	53.06	53.66	52.94
Peso del suelo seco + lata [g] :	35.93	34.68	37.20	36.58	34.89
Peso de la lata [g] :	18.28	13.36	19.41	18.08	15.51
Peso del suelo seco [g]:	17.65	21.32	17.79	18.50	19.38
Peso del agua [g] :	15.10	18.62	15.86	17.08	18.05
Contenido de Humedad % :	85.6	87.3	89.2	92.3	93.1
Número de golpes :	38	33	28	23	17

LIMITE PLASTICO [%] :	61.8		
No. de lata :	4	16	2
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	9.14	6.92	9.21
Peso del suelo seco + lata [g] :	7.28	5.12	7.32
Peso de la lata [g] :	4.32	2.17	4.25
Peso del suelo seco [g]:	2.96	2.95	3.07
Peso del agua [g] :	1.86	1.80	1.89
Contenido de humedad [g]:	62.8	61.0	61.6

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 28.4
CLASIFICACION (BSI) : Limo de plasticidad extremadamente alta (ME)





R. Mora

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Muestra : Belén 7
Proyecto: Municipalidad de Belén
Localiz.: Belén (518690/217831)

Prof. [m]: 1.00
Fecha: :15/10/08
Perforac.:
Ejecutó: L.M., R.M.

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]:	39.58
Peso del suelo + peso de parafina [g]:	45.51
Peso de parafina [g]:	5.93
Volumen de parafina [cm3]:	6.59
Peso sumergido de parafina y suelo [g]:	13.40
Volumen de suelo + parafina [cm3]:	32.11
Volumen de suelo [cm3]:	25.52
Peso unitario húmedo del suelo [kN/m3]:	15.21
Peso unitario seco del suelo [kN/m3]:	9.99

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]:	47.83
Peso suelo seco + recipiente [g]:	37.98
Peso del recipiente [g]:	19.15
Peso del agua [g]:	9.85
Peso del suelo seco [g]:	18.83
Contenido de humedad [%]:	52.31
Gravedad específica	2.62

R. Mora

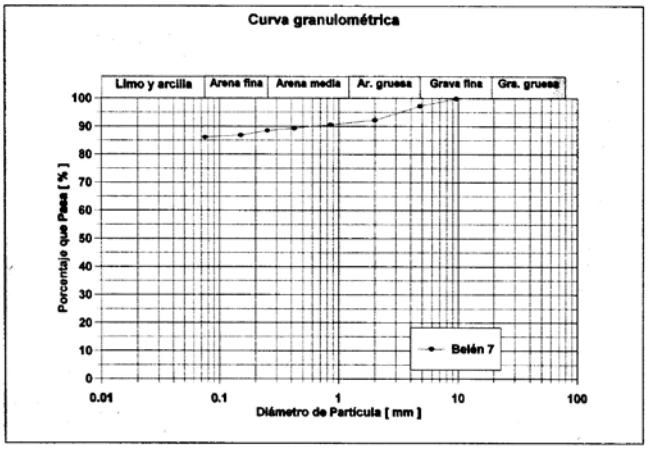
ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseñó R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Municipalidad de Belén
Localización: Belén (518690/217831)
Descripción:

Realizado por: L.M., R.M.
Observación: Vía húmeda

Investigador: Rolando Mora
Muestra: Belén 7
Profundidad: 1.0 m
Fecha : :15/10/08
Peso inic. [g]: 267.86

Tamiz No	Diámetro [mm]	Peso retenido [g]	% retenido	% que pasa
2"	50.800		0.00	100.00
1 1/2"	38.100		0.00	100.00
1 1/4"	31.500		0.00	100.00
1"	25.400		0.00	100.00
3/4"	19.000		0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	100.00
3/8"	9.500		0.00	100.00
4	4.750	6.97	2.60	97.40
10	2.000	13.48	5.03	92.37
20	0.850	4.72	1.76	90.60
30	0.600		0.00	90.60
40	0.425	3.09	1.15	89.45
50	0.300		0.00	89.45
60	0.250	2.18	0.81	88.64
80	0.180		0.00	88.64
100	0.150	4.54	1.69	86.94
200	0.075	1.78	0.66	86.28
270	0.053		0.00	86.28
325	0.045		0.00	86.28
FONDO		231.10	86.28	
	total:	267.86	100.00	



Pérdida de material [g] : 0.00
Pérdida de material [%] : 0.00

D60 [mm]:
D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 2.60
Porcentaje de arena gruesa: 5.03
Porcentaje de arena media: 2.92
Porcentaje de arena fina: 3.17
Porcentaje de finos: 86.28
100.00

Coef. de uniformidad, Cu :
Coef. de concavidad, Cc :

Límite líquido (wl%): 68.9
Límite plástico (wp%): 44.9
Indice de plasticidad: 24.0

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

Limo elástico (MH) de plasticidad alta

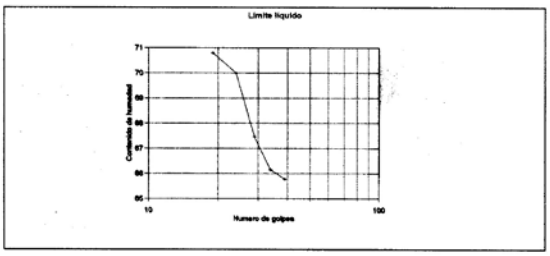
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

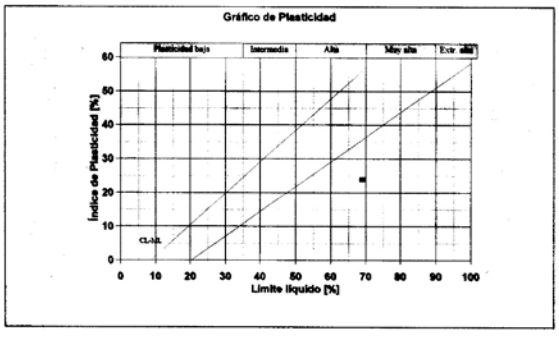
Muestra : Belén 7
Proyecto Municipalidad de Belén
Técnico: L.M., R.M.
Secado: Al aire libre

Perfor.:
Sitio: Belén (518690/217831)
Prof.(m): 1
Fecha: 15/10/08
Responsa: Rolando Mora

LIMITE LIQUIDO [%]:	68.9				
No. de lata	18	20	23	21	24
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	54.26	52.80	49.55	53.66	50.35
Peso del suelo seco + lata [g] :	40.32	38.86	36.38	38.66	36.41
Peso de la lata [g] :	19.13	17.79	16.86	17.23	16.72
Peso del suelo seco [g]:	21.19	21.07	19.52	21.43	19.69
Peso del agua [g] :	13.94	13.94	13.17	15.00	13.94
Contenido de Humedad % :	65.8	66.2	67.5	70.0	70.8
Número de golpes :	39	34	29	24	19



LIMITE PLASTICO [%] :	44.9		
No. de lata :	20	5	3
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	9.15	9.67	9.58
Peso del suelo seco + lata [g] :	7.64	7.97	7.86
Peso de la lata [g] :	4.28	4.16	4.06
Peso del suelo seco [g]:	3.36	3.81	3.80
Peso del agua [g] :	1.51	1.70	1.72
Contenido de humedad [g]:	44.9	44.6	45.3



INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 24.0
CLASIFICACION (BSI) : Limo de alta plasticidad (MH)

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Muestra : Belén 8
Proyecto: Municipalidad de Belén
Localiz.: Belén (517782/219169)

Prof. [m]: 0.93
Fecha: :22/10/08
Perforac.:
Encargado: L.M , R. M.

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]:	39.14
Peso del suelo + peso de parafina [g]:	40.44
Peso de parafina [g]:	1.30
Volumen de parafina [cm3]:	1.44
Peso sumergido de parafina y suelo [g]:	15.81
Volumen de suelo + parafina [cm3]:	24.63
Volumen de suelo [cm3]:	23.19
Peso unitario húmedo del suelo [kN/m3]:	16.56
Peso unitario seco del suelo [kN/m3]:	10.75

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]:	55.22
Peso suelo seco + recipiente [g]:	41.48
Peso del recipiente [g]:	16.05
Peso del agua [g]:	13.74
Peso del suelo seco [g]:	25.43
Contenido de humedad [%]:	54.03
Gravedad específica	2.83

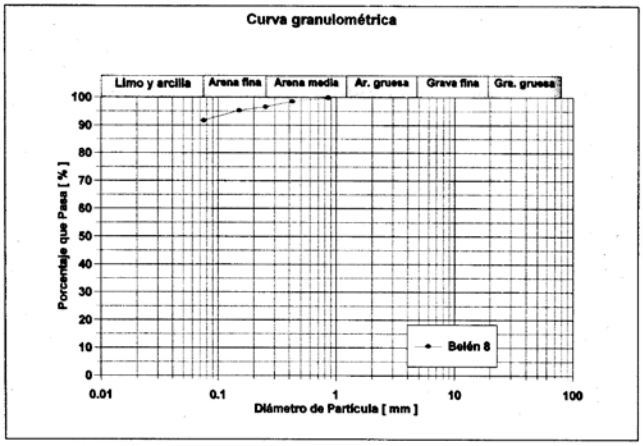
ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseñó R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Municipalidad de Belén
Localización: Belén (517782/219169)
Descripción:

Realizado por: L.M., R.M.
Observación: Vía húmeda

Investigador: Rolando Mora
Muestra: Belén 8
Profundidad: 0.93 m
Fecha : :22/10/08
Peso inic. [g]: 341.82

Tamiz No	Diámetro [mm]	Peso retenido [g]	% retenido	% que pasa
2"	50.800		0.00	100.00
1 1/2"	38.100		0.00	100.00
1 1/4"	31.500		0.00	100.00
1"	25.400		0.00	100.00
3/4"	19.000		0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	100.00
3/8"	9.500		0.00	100.00
4	4.750		0.00	100.00
10	2.000		0.00	100.00
20	0.850		0.00	100.00
30	0.600		0.00	100.00
40	0.425	4.70	1.37	98.63
50	0.300		0.00	98.63
60	0.250	6.58	1.92	96.70
80	0.180		0.00	96.70
100	0.150	4.50	1.32	95.38
200	0.075	12.36	3.62	91.77
270	0.053		0.00	91.77
325	0.045		0.00	91.77
FONDO		313.68	91.77	
	total:	341.82	100.00	



Pérdida de material [g] :	0.00	D60 [mm]:	
Pérdida de material [%] :	0.00	D30 [mm]:	
		D10 [mm]:	
Porcentaje de grava:	0.00	Coef. de uniformidad, Cu :	
Porcentaje de arena gruesa:	0.00	Coef. de concavidad, Cc :	
Porcentaje de arena media:	1.37		
Porcentaje de arena fina:	6.86	Límite líquido (wl%):	63.9
Porcentaje de finos:	91.77	Límite plástico (wp%):	48.3
	100.00	Indice de plasticidad:	15.6

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

Limo elástico (MH) de plasticidad alta

LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

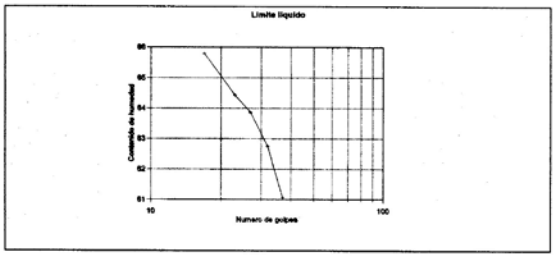
Muestra : Belén 8
Proyecto Municipalidad de Belén
Técnico: L.M., R.M.
Secado: Al aire libre

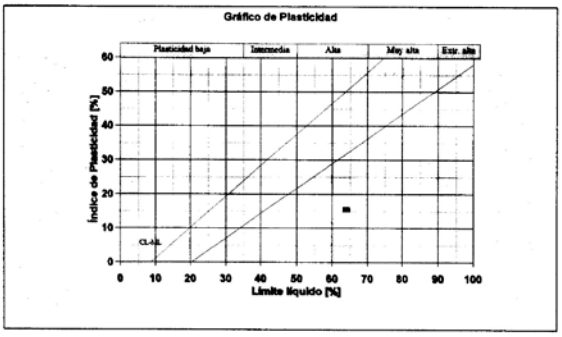
Perfor.:
Sitio: Belén (517782/219169)
Prof.(m): 0.93
Fecha: :22/10/08
Responsa Rolando Mora

LIMITE LIQUIDO [%]:	63.9				
No. de lata	22	13	1	24	16
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	51.62	54.16	50.26	54.35	53.59
Peso del suelo seco + lata [g] :	38.19	39.67	37.27	39.60	40.03
Peso de la lata [g] :	16.20	16.58	16.93	16.71	19.42
Peso del suelo seco [g]:	21.99	23.09	20.34	22.89	20.61
Peso del agua [g] :.	13.43	14.49	12.99	14.75	13.56
Contenido de Humedad % :	61.1	62.8	63.9	64.4	65.8
Número de golpes :	37	32	27	23	17

LIMITE PLASTICO [%] :	48.3		
No. de lata :	9	20	19
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	8.67	10.41	7.93
Peso del suelo seco + lata [g] :	7.24	8.40	6.71
Peso de la lata [g] :	4.32	4.29	4.11
Peso del suelo seco [g]:	2.92	4.11	2.60
Peso del agua [g] :	1.43	2.01	1.22
Contenido de humedad [g]:	49.0	48.9	46.9

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 15.6
CLASIFICACION (BSI) : Limo de alta plasticidad (MH)





DETERMINACION DEL PESO UNITARIO
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Muestra : Belén 9
Proyecto: Municipalidad de Belén
Localiz.: Belén (517771/219113)

Prof. [m]: 1.00
Fecha: :22/10/08
Perforac.:
Encargado: L.M , R. M.

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]:	37.48
Peso del suelo + peso de parafina [g]:	39.36
Peso de parafina [g]:	1.88
Volumen de parafina [cm3]:	2.09
Peso sumergido de parafina y suelo [g]:	15.65
Volumen de suelo + parafina [cm3]:	23.71
Volumen de suelo [cm3]:	21.62
Peso unitario húmedo del suelo [kN/m3]:	17.00
Peso unitario seco del suelo [kN/m3]:	11.65

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]:	53.54
Peso suelo seco + recipiente [g]:	41.75
Peso del recipiente [g]:	16.06
Peso del agua [g]:	11.79
Peso del suelo seco [g]:	25.69
Contenido de humedad [%]:	45.89

Gravedad específica 2.74

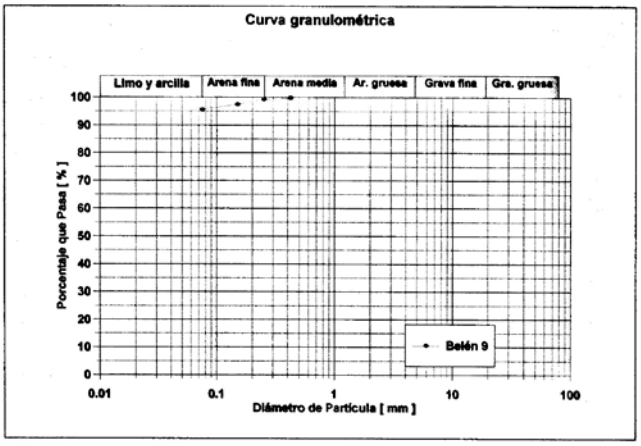
ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseñó R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Municipalidad de Belén
Localización: Belén (517771/219113)
Descripción:

Realizado por: L.M., R.M.
Observación: Vía húmeda

Investigador: Rolando Mora
Muestra: Belén 9
Profundidad: 1.0 m
Fecha : :22/10/08
Peso inic. [g]: 369.91

Tamiz No	Diámetro [mm]	Peso retenido [g]	% retenido	% que pasa
2"	50.800		0.00	100.00
1 1/2"	38.100		0.00	100.00
1 1/4"	31.500		0.00	100.00
1"	25.400		0.00	100.00
3/4"	19.000		0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	100.00
3/8"	9.500		0.00	100.00
4	4.750		0.00	100.00
10	2.000		0.00	100.00
20	0.850		0.00	100.00
30	0.600		0.00	100.00
40	0.425		0.00	100.00
50	0.300		0.00	100.00
60	0.250	2.18	0.59	99.41
80	0.180		0.00	99.41
100	0.150	6.50	1.76	97.65
200	0.075	7.10	1.92	95.73
270	0.053		0.00	95.73
325	0.045		0.00	95.73
FONDO		354.13	95.73	
	total:	369.91	100.00	



Pérdida de material [g] : 0.00
Pérdida de material [%] : 0.00

D60 [mm]:
D30 [mm]:
D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 0.00
Porcentaje de arena gruesa: 0.00
Porcentaje de arena media: 0.00
Porcentaje de arena fina: 4.27
Porcentaje de finos: 95.73
100.00

Coef. de uniformidad, Cu :
Coef. de concavidad, Cc :

Límite líquido (wl%): 74.6
Límite plástico (wp%): 48.7
Indice de plasticidad: 25.9

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

Limo elástico (MV) de plasticidad muy alta

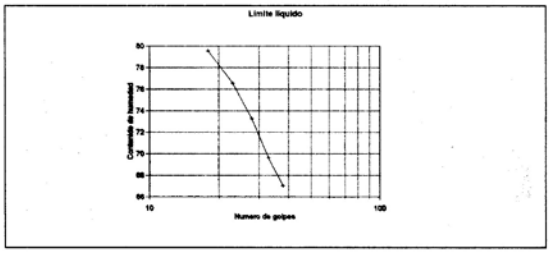
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

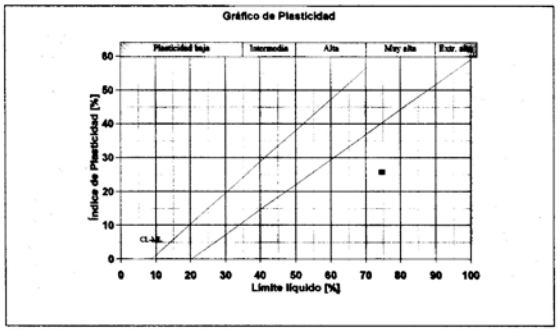
Muestra : Belén 9
Proyecto Municipalidad de Belén
Técnico: L.M., R.M.
Secado: Al aire libre

Perfor.:
Sitio: Belén (517771/219113)
Prof.(m): 1
Fecha: :22/10/08
Responsa Rolando Mora

LIMITE LIQUIDO [%]:	74.6				
No. de lata	12	4	2	18	9
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	51.37	50.70	54.69	52.52	53.11
Peso del suelo seco + lata [g] :	38.01	37.92	38.74	38.05	36.45
Peso de la lata [g] :	18.08	19.57	16.97	19.15	15.51
Peso del suelo seco [g]:	19.93	18.35	21.77	18.90	20.94
Peso del agua [g] :	13.36	12.78	15.95	14.47	16.66
Contenido de Humedad % :	67.0	69.6	73.3	76.6	79.6
Número de golpes :	38	33	28	23	18



LIMITE PLASTICO [%] :	48.7		
No. de lata :	18	2	22
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	9.12	9.02	8.69
Peso del suelo seco + lata [g] :	7.42	7.46	7.25
Peso de la lata [g] :	3.97	4.26	4.26
Peso del suelo seco [g]:	3.45	3.20	2.99
Peso del agua [g] :	1.70	1.56	1.44
Contenido de humedad [g]:	49.3	48.7	48.2



INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 25.8
CLASIFICACION (BSI) : Limo de plasticidad muy alta (MV)

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Muestra : Belén 10
Proyecto: Municipalidad de Belén
Localiz.: Belén (518690/217831)

Prof. [m]:
Fecha: :22/10/08
Perforac.:
Encargado: L.M , R. M.

Peso unitario

Peso del suelo húmedo [g]:	32.05
Peso del suelo + peso de parafina [g]:	34.01
Peso de parafina [g]:	1.96
Volumen de parafina [cm3]:	2.18
Peso sumergido de parafina y suelo [g]:	11.37
Volumen de suelo + parafina [cm3]:	22.64
Volumen de suelo [cm3]:	20.46
Peso unitario húmedo del suelo [kN/m3]:	15.36
Peso unitario seco del suelo [kN/m3]:	11.07

Contenido de humedad

Peso suelo húmedo + recipiente [g]:	55.99
Peso suelo seco + recipiente [g]:	45.93
Peso del recipiente [g]:	19.95
Peso del agua [g]:	10.06
Peso del suelo seco [g]:	25.98
Contenido de humedad [%]:	38.72

Gravedad específica 2.76

R. Mora

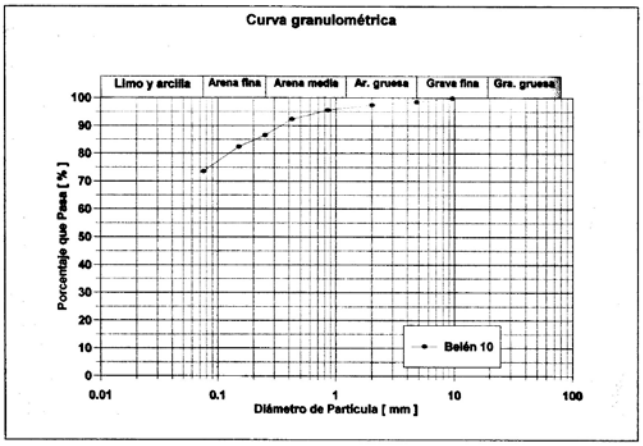
ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseñó R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Municipalidad de Belén
Localización: Belén (518690/217831)
Descripción:

Realizado por: L.M., R.M.
Observación: Vía húmeda

Investigador: Rolando Mora
Muestra: Belén 10
Profundidad: 1.0 m
Fecha : :22/10/08
Peso inic. [g]: 352.72

Tamiz No	Diámetro [mm]	Peso retenido [g]	% retenido	% que pasa
2"	50.800		0.00	100.00
1 1/2"	38.100		0.00	100.00
1 1/4"	31.500		0.00	100.00
1"	25.400		0.00	100.00
3/4"	19.000		0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	100.00
3/8"	9.500		0.00	100.00
4	4.750	4.69	1.33	98.67
10	2.000	4.01	1.14	97.53
20	0.850	6.63	1.88	95.65
30	0.600		0.00	95.65
40	0.425	11.44	3.24	92.41
50	0.300		0.00	92.41
60	0.250	19.90	5.64	86.77
80	0.180		0.00	86.77
100	0.150	14.97	4.24	82.52
200	0.075	31.28	8.87	73.66
270	0.053		0.00	73.66
325	0.045		0.00	73.66
FONDO		259.80	73.66	
	total:	352.72	100.00	



Pérdida de material [g] :	0.00	D60 [mm]:	
Pérdida de material [%] :	0.00	D30 [mm]:	
		D10 [mm]:	
Porcentaje de grava:	1.33	Coef. de uniformidad, Cu :	
Porcentaje de arena gruesa:	1.14	Coef. de concavidad, Cc :	
Porcentaje de arena media:	5.12		
Porcentaje de arena fina:	18.75	Límite líquido (wl%):	52.5
Porcentaje de finos:	73.66	Límite plástico (wp%):	36.8
	100.00	Indice de plasticidad:	15.7

R. Mora

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

Limo elástico con arena (MH) de plasticidad alta

LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

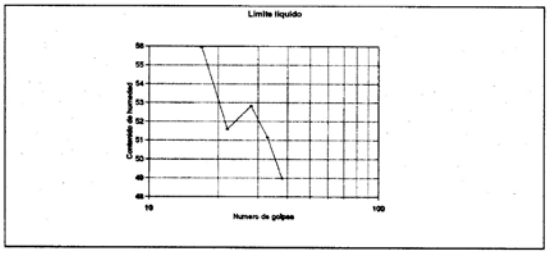
DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

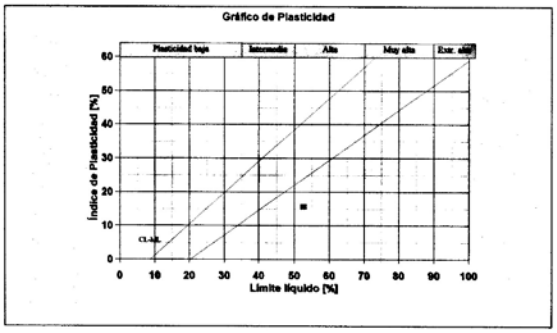
Muestra : Belén 10 *Perfor.:*
Proyecto Municipalidad de Belén *Sitio:* Belén (518690/217831)
Técnico: L.M., R.M. *Prof.(m):* 1
Secado: Al aire libre *Fecha:* :22/10/08
Responsa Rolando Mora

LIMITE LIQUIDO [%]:	52.5				
No. de lata	10	7	5	20	8
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	52.26	52.40	52.09	52.09	52.96
Peso del suelo seco + lata [g] :	40.83	40.40	39.95	40.10	40.82
Peso de la lata [g] :	17.50	16.94	16.97	16.86	19.12
Peso del suelo seco [g]:	23.33	23.46	22.98	23.24	21.70
Peso del agua [g] :	11.43	12.00	12.14	11.99	12.14
Contenido de Humedad % :	49.0	51.2	52.8	51.6	55.9
Número de golpes :	38	33	28	22	17

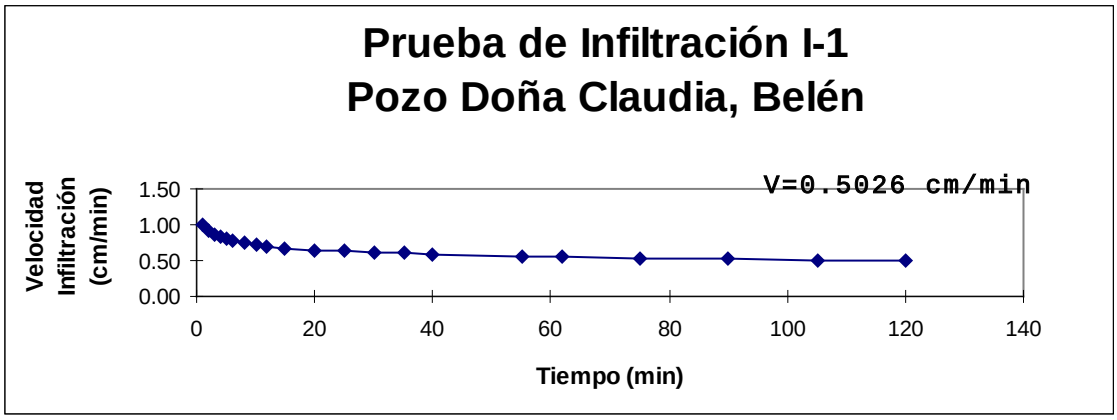
LIMITE PLASTICO [%] :	36.8		
No. de lata :	24	3	5
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	10.05	9.01	9.38
Peso del suelo seco + lata [g] :	8.50	7.68	7.97
Peso de la lata [g] :	4.25	4.06	4.18
Peso del suelo seco [g]:	4.25	3.62	3.79
Peso del agua [g] :	1.55	1.33	1.41
Contenido de humedad [g]:	36.5	36.7	37.2

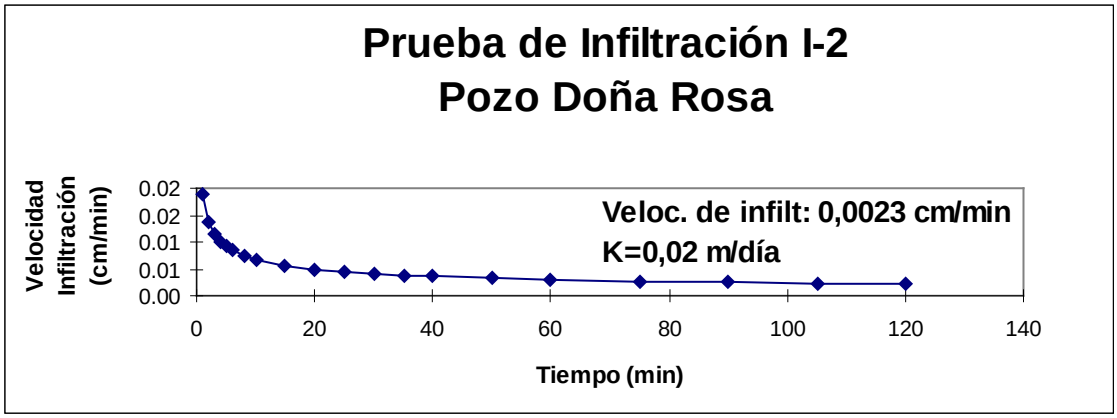
INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 15.7
CLASIFICACION (BSI) : Limo de plasticidad alta (MH)

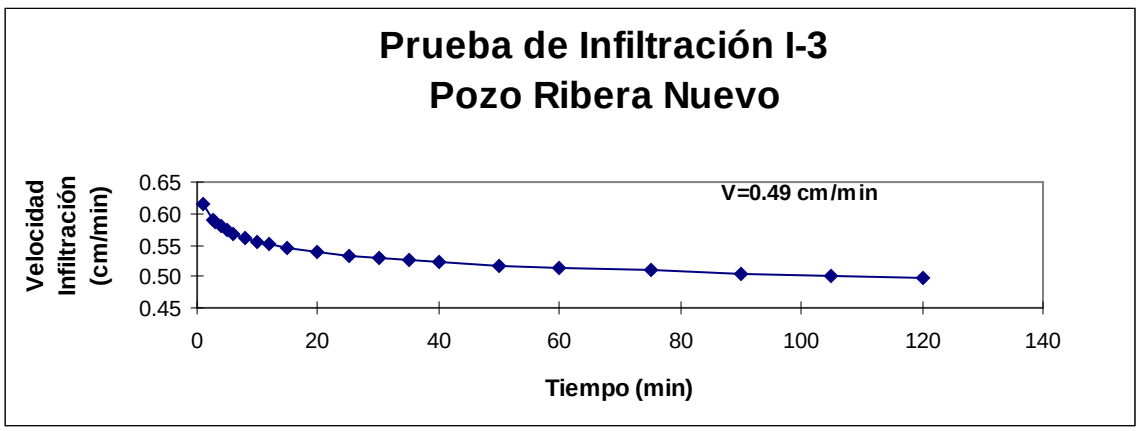


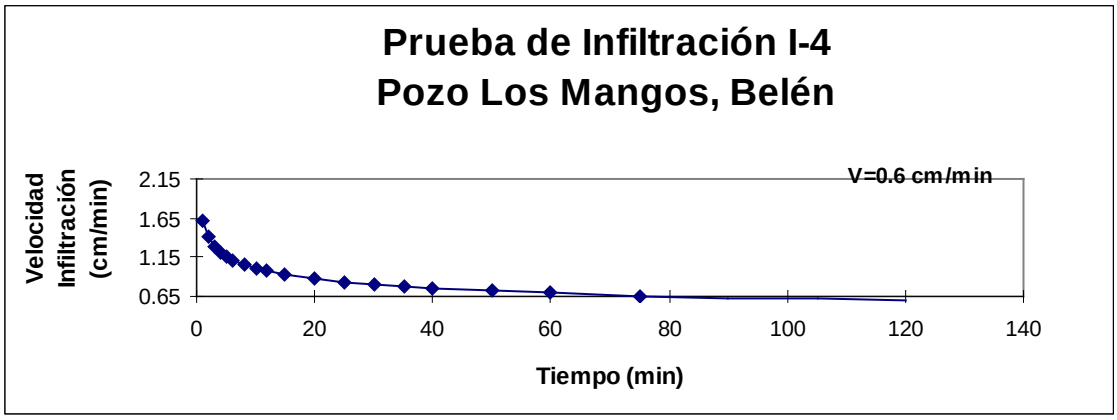


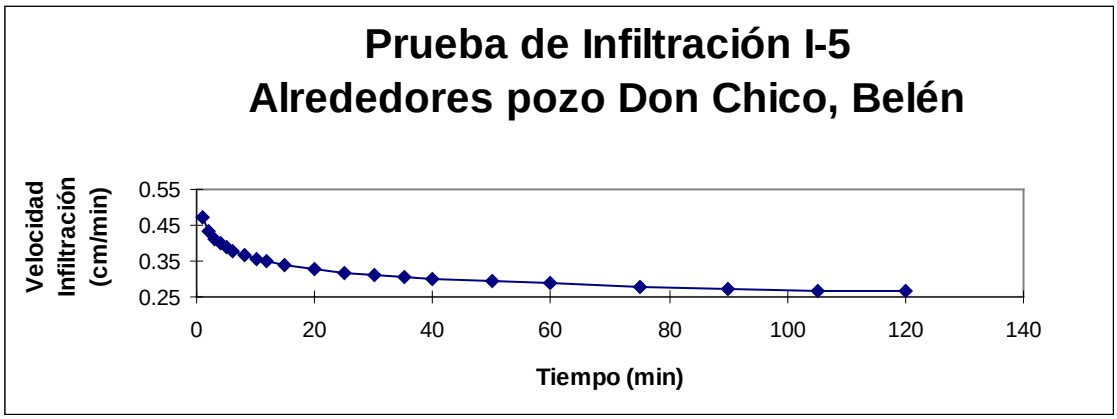
ANEXO B
GRAFICOS DE LAS PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

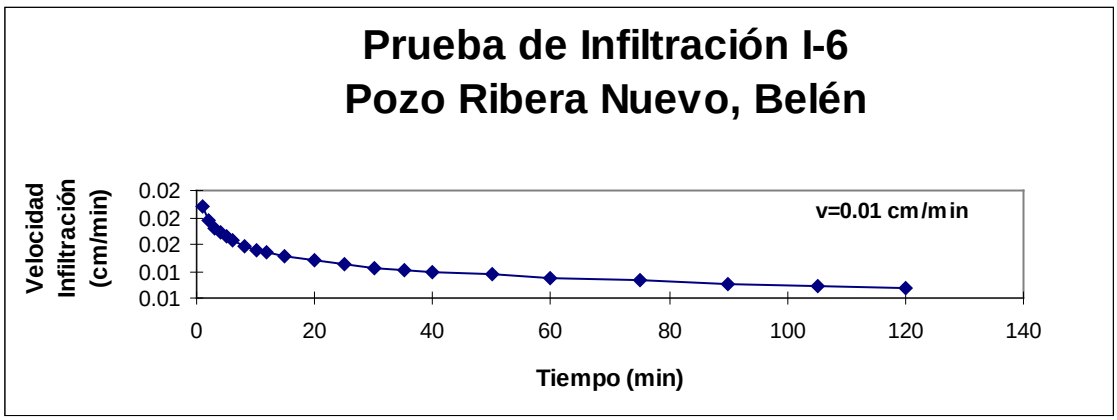

Prueba de Infiltración I-1
Pozo Doña Claudia, Belén
V=0.5026 cm/min
Velocidad Infiltración (cm/min)
1.50
1.00
0.50
0.00
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

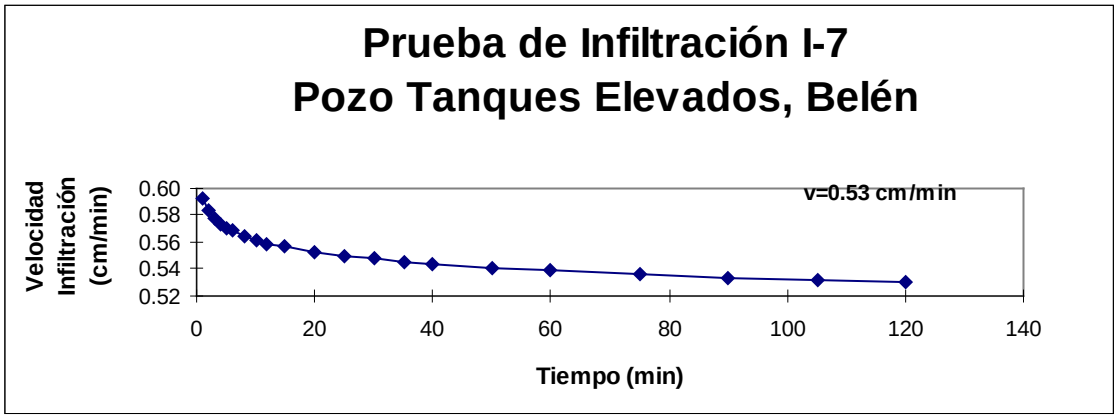

Prueba de Infiltración I-2
Pozo Doña Rosa
Veloc. de infilt: 0,0023 cm/min
K=0,02 m/día
Velocidad Infiltración (cm/min)
0.02
0.02
0.01
0.01
0.00
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

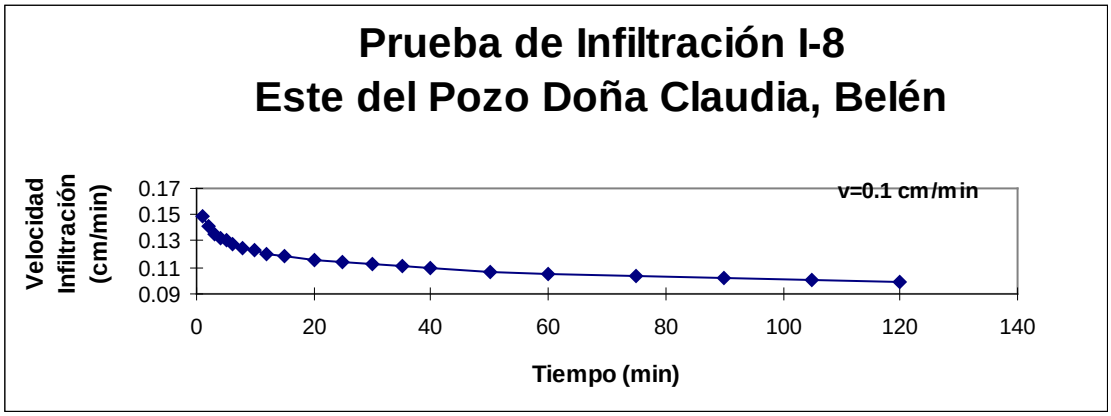

Prueba de Infiltración I-3
Pozo Ribera Nuevo
V=0.49 cm/min
Velocidad Infiltración (cm/min)
0.65
0.60
0.55
0.50
0.45
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

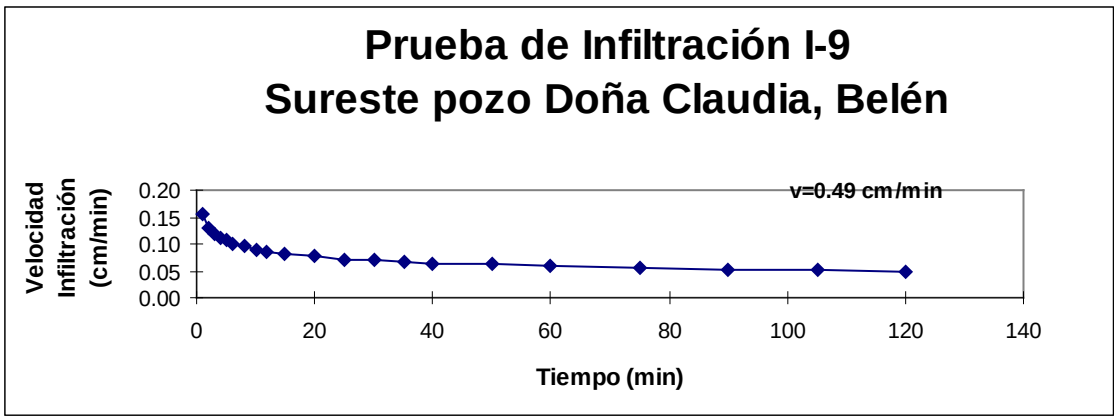

Prueba de Infiltración I-4
Pozo Los Mangos, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
V=0.6 cm/min
2.15
1.65
1.15
0.65
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

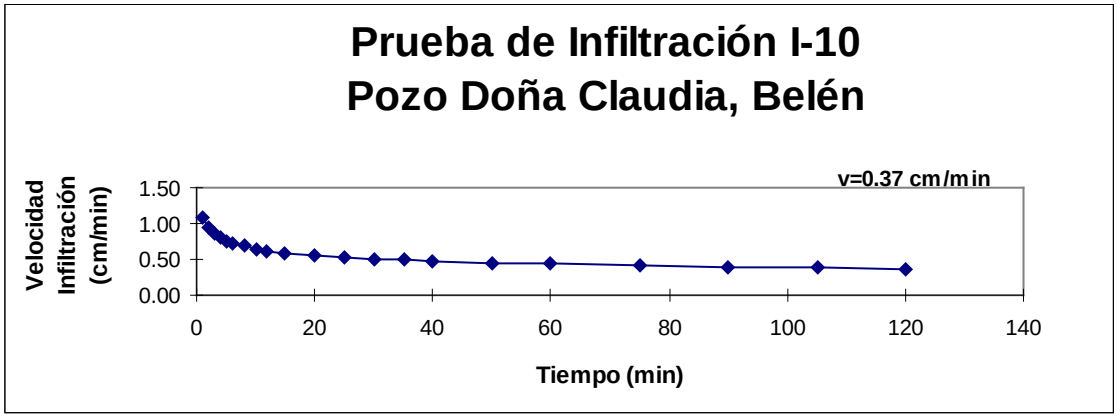

Prueba de Infiltración I-5
Alrededores pozo Don Chico, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
0.55
0.45
0.35
0.25
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

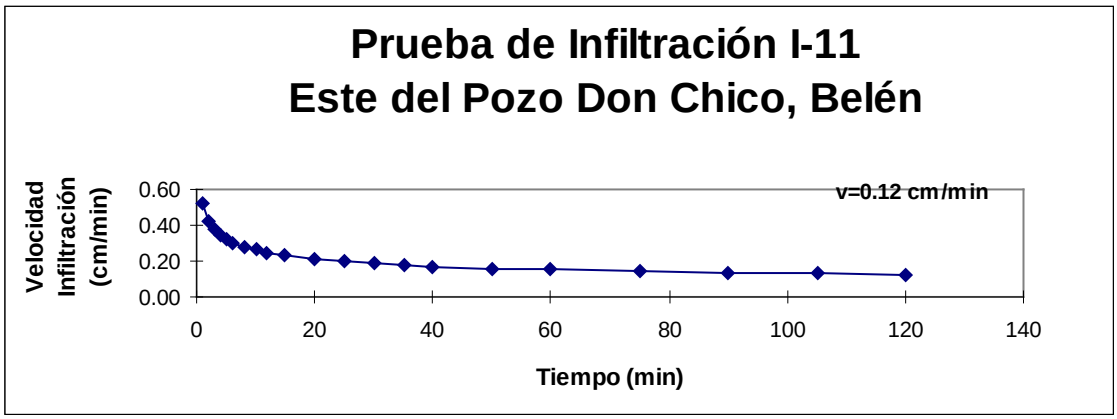

Prueba de Infiltración I-6
Pozo Ribera Nuevo, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
v=0.01 cm/min
0.02
0.02
0.02
0.01
0.01
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

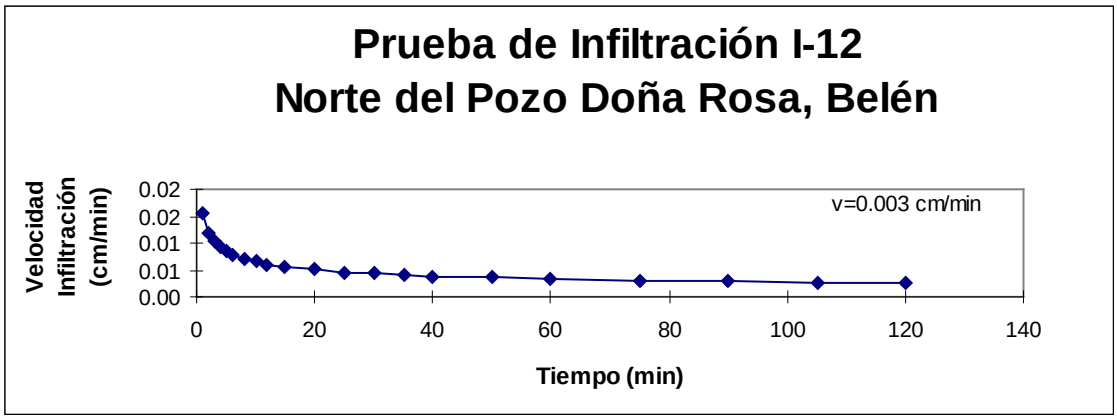

Prueba de Infiltración I-7
Pozo Tanques Elevados, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
0.60
0.58
0.56
0.54
0.52
v=0.53 cm/min
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

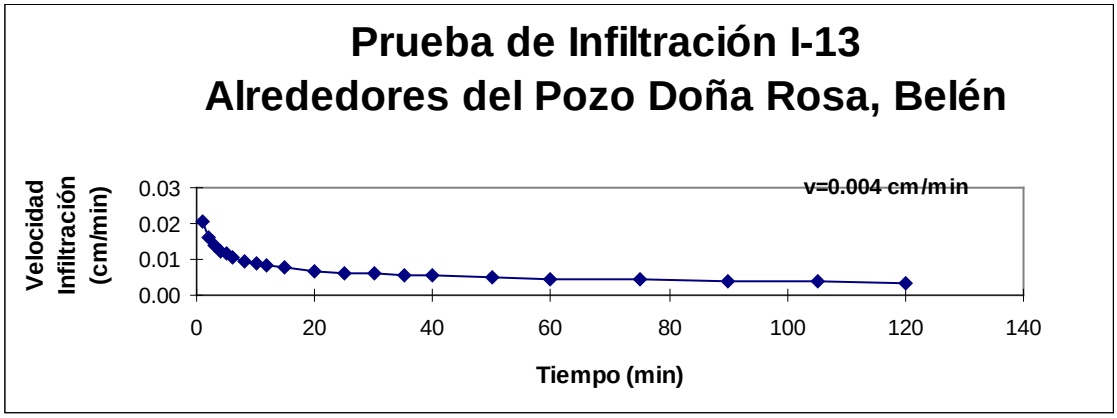

Prueba de Infiltración I-8
Este del Pozo Doña Claudia, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
0.17
0.15
0.13
0.11
0.09
v=0.1 cm/min
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

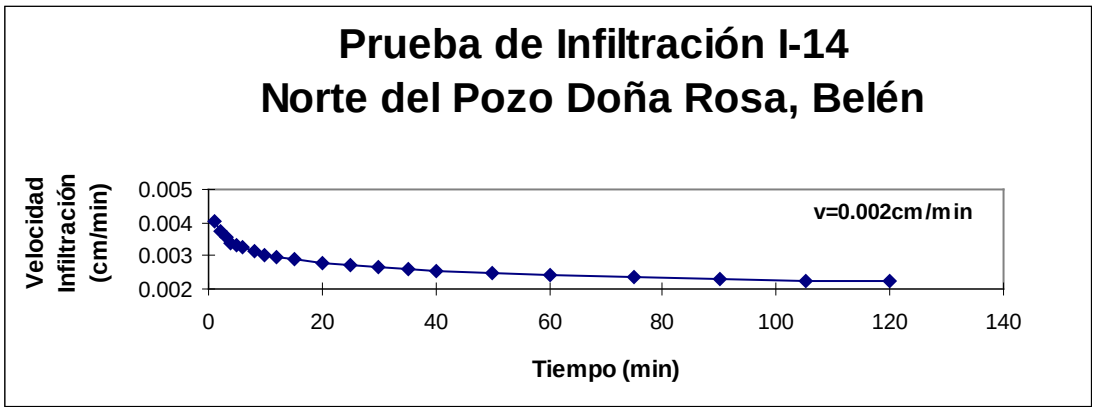

Prueba de Infiltración I-9
Sureste pozo Doña Claudia, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
v=0.49 cm/min
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

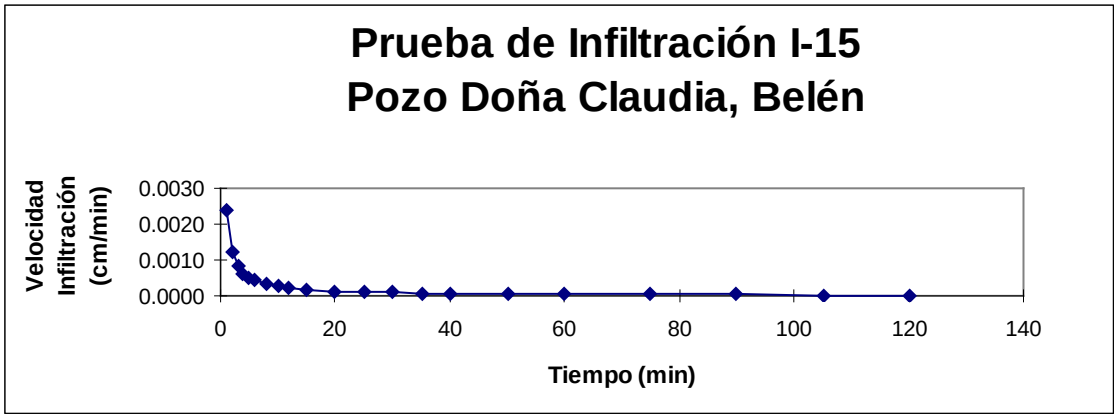

Prueba de Infiltración I-10
Pozo Doña Claudia, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
v=0.37 cm/min
1.50
1.00
0.50
0.00
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

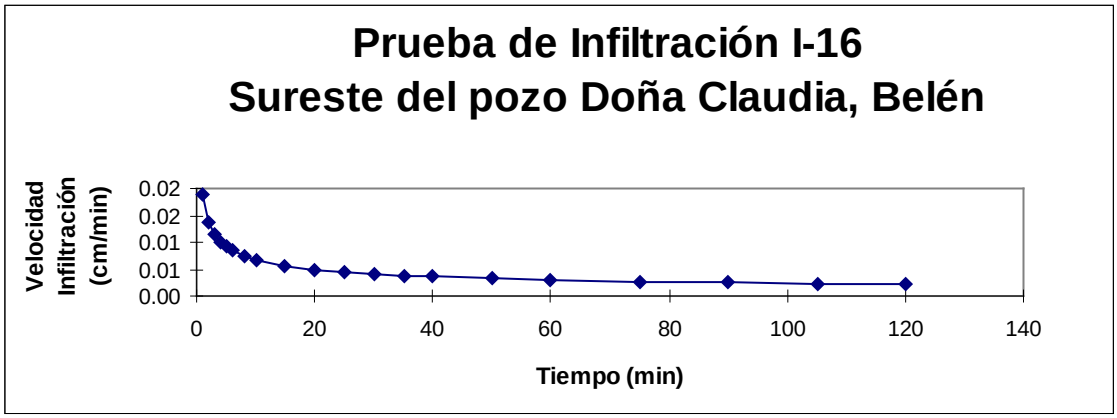

Prueba de Infiltración I-11
Este del Pozo Don Chico, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
v=0.12 cm/min
0.60
0.40
0.20
0.00
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

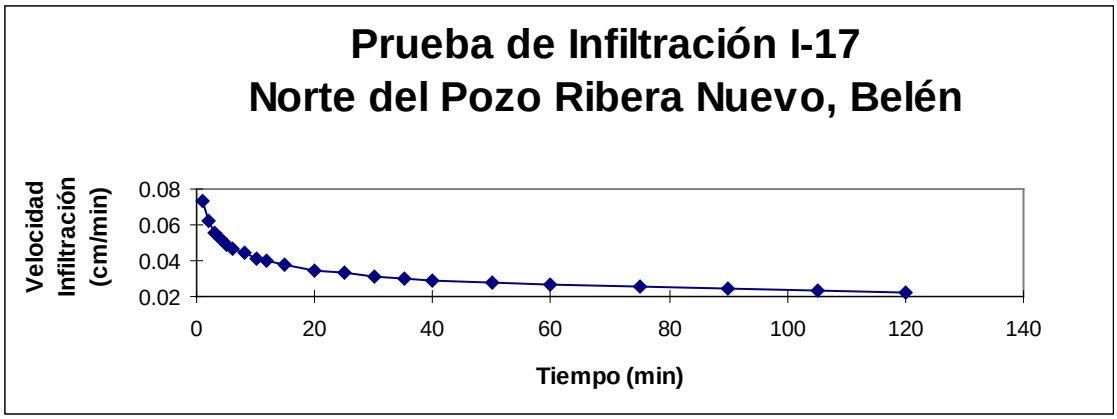

Prueba de Infiltración I-12
Norte del Pozo Doña Rosa, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
v=0.003 cm/min
0.02
0.02
0.01
0.01
0.00
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

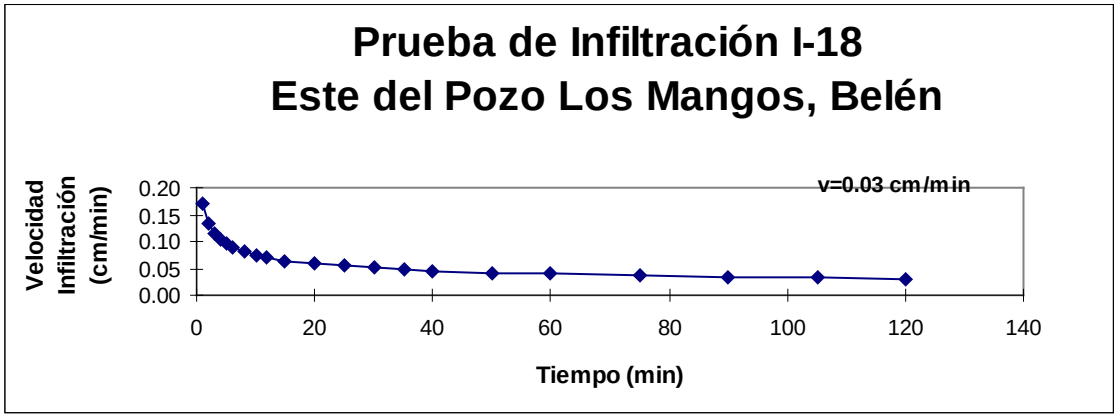

Prueba de Infiltración I-13
Alrededores del Pozo Doña Rosa, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
v=0.004 cm/min
0.03
0.02
0.01
0.00
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

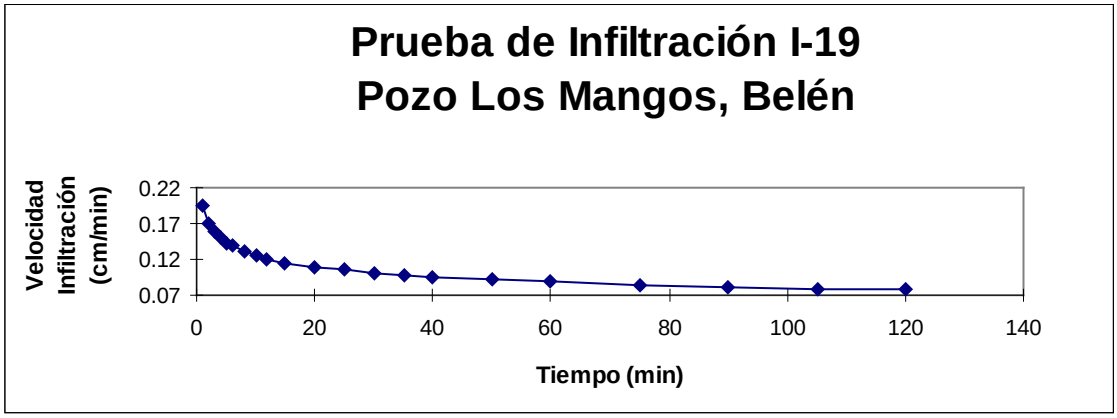

Prueba de Infiltración I-14
Norte del Pozo Doña Rosa, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
v=0.002cm/min
0.005
0.004
0.003
0.002
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

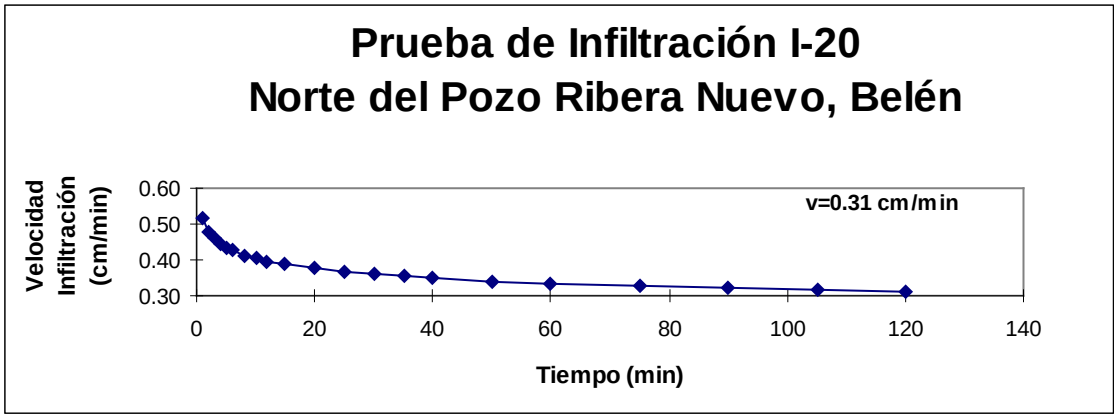

Prueba de Infiltración I-15
Pozo Doña Claudia, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
0.0030
0.0020
0.0010
0.0000
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

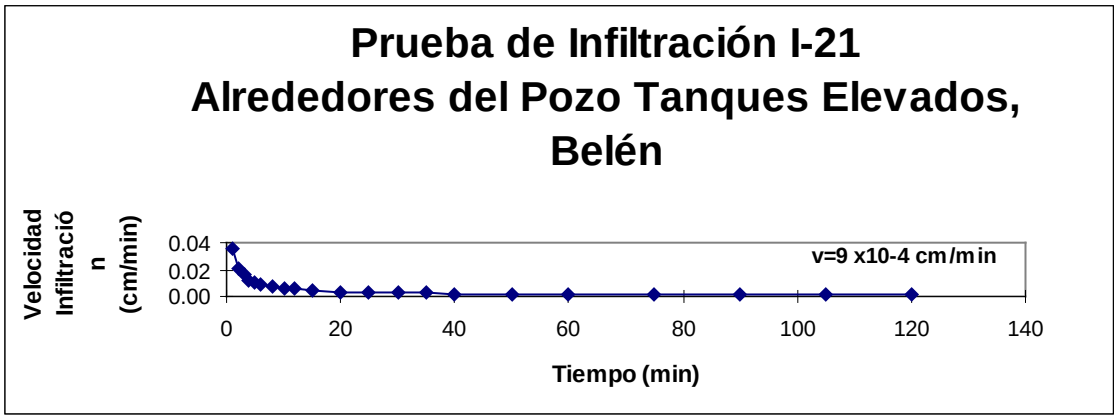

Prueba de Infiltración I-16
Sureste del pozo Doña Claudia, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
0.02
0.02
0.01
0.01
0.00
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)


Prueba de Infiltración I-17
Norte del Pozo Ribera Nuevo, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
0.08
0.06
0.04
0.02
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)


Prueba de Infiltración I-18
Este del Pozo Los Mangos, Belén
v=0.03 cm/min
Velocidad Infiltración (cm/min)
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)


Prueba de Infiltración I-19
Pozo Los Mangos, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
0.22
0.17
0.12
0.07
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)


Prueba de Infiltración I-20
Norte del Pozo Ribera Nuevo, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
0.60
0.50
0.40
0.30
v=0.31 cm/min
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)


Prueba de Infiltración I-21
Alrededores del Pozo Tanques Elevados, Belén
Velocidad Infiltración (cm/min)
0.04
0.02
0.00
v=9 x10-4 cm/min
0
20
40
60
80
100
120
140
Tiempo (min)

ANEXO C
INVENTARIO DE LAS FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN, CANTON DE BELEN

ANEXO D
LISTA DE AUTOCONSUMOS INCRITOS EN LA DGTCC DEL MINAET

Lista de autoconsumos inscritos ante la DGTCC-MINAET, 2008

Número	Expediente de MINAET	Nombre
1	74	Corporación Pipasa, S.A.
2	110	Florida Productora, Planta de Cerveza
3	114 A	Sin información
4	114 B	Sin información
5	238	Unilever de C.A. S.A.
6	251	Corrugados Belén
7	255 a	Bridgestone Firestone de Costa Rica S.A.
8	255 b	Bridgestone Firestone de Costa Rica S.A.
9	307	Sin información
10	311	Fashions textils and finishes, S.A.
11	322	Componentes Intel de Costa Rica, S.A.
12	324	Kimberly Clark Costa Rica, Ltda.
13	371	Autobuses Barrantes y Araya, Ltda..
14	448	Alimentos del Trópico, C.R. S.A.
15	501	Centro Internacional de Inversiones, S.A.
16	524	Agencia Naviera Centroamericana S.A.
17	553	Sin información
18	561 A	Sin información
19	617	Corporación Pipasa, S.A.
20	620	Olympic Fibers S.A.
21	659	Tabacalera Costarricense S.A.
22	664	Juan Manuel Abarca Quesada
23	688	Servidada S.A.
24	704	Kripton S.A.
25	736	Sin información
26	815	Concentrados para animales S. A.