

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



Evaluación del Comportamiento de la Superficie Piezométrica de un Acuífero de Manto Libre en la Macro Plaza de la Ciudad de Monterrey N. L.

POR

LUIS ALDO FUENTES CONDADO

Tesis Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener

El Título

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN.

Buenavista, Saltillo, Coahuila México, abril del 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



Evaluación del Comportamiento de la Superficie Piezométrica de un Acuífero de Manto Libre en la Macro Plaza de la Ciudad de Monterrey N. L.

POR

LUIS ALDO FUENTES CONDADO

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR

Asesor Principal

Dr. FERNANDO AUGUSTO VILLARREAL REYNA

Coasesor

ING. FLORENTINO AYALA VÁZQUEZ

Coasesor

M.C. LUIS RODRIGUEZ GUTIÉRREZ
ANTONIO NARRO

Dr. LUIS SAMANIEGO MORENO

Coordinación de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila México
Coordinación de Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

A dios por permitirme la vida en conjunto de mi familia agradeciéndole cada vez más los logros obtenidos con el paso de tiempo que tú nos prestas.

A mi país y mi querida “ALMA MATER” Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por darme la oportunidad de cumplir con una meta más, concluyendo así mi carrera profesional, disfrutando de esta institución y apoyo y acobijo en sus instalaciones.

A mis padres María Condado de Félix y Catarino Fuentes Moratilla en compañía de mis hermanos Diana, Iván Moisés, Fabián, Gustavo, Emmanuel, quienes con su apoyo incondicional económico y moral hacen posible este logro dándome la confianza que se une a un logro más como familia.

A mi asesor de tesis Dr. Fernando Augusto Villarreal Reina, por haberme permitido llevar a cabo este proyecto, gracias por su tiempo, dedicación, esmero y paciencia en este trabajo, de la misma manera por sus cátedras recibidas en el salón de clases y fuera de la institución.

Al Ing. Florentino Ayala Vásquez por su apoyo incondicional y de la misma manera a la dirección de proyectos, operaciones y saneamiento de Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey N.L. Por el material y asesoría técnica para la ejecución de este trabajo.

Al Dr. Juan Manuel Rodríguez Martínez jefe del departamento de hidrología subterránea, de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por su cooperación es la realización de este documento.

Al M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez por su contribución a este trabajo ya que fue necesaria y fundamental para la elaboración de esta investigación.

A la Dra. Rosa Elvira Valdez Ramos quien por su abundante apoyo logre la redacción de este documento.

Al Ing. Esteban Ibarra Macías y David Fernando Jiménez Briones estudiantes de la maestría de la Universidad Autónoma de Nuevo León que con su apoyo de los datos de niveles, se logró conformar la malla del comportamiento del acuífero monterrey.

A mis maestros que día a día en mi vida universitaria fueron forjando mi persona enseñándome los mejores conocimientos para estar preparado como profesional, en especial a los maestros de Riego y Drenaje, por todas sus clases impartidas en cada materia, esta formación me servirá para enfrentar “el mundo real” (Fernando A. Villarreal R.)

A la Dra. Manuelita Bolívar Duarte por su más sincero cariño que me brindo en clases como maestro y por supuesto no descartar el apoyo moral y dedicación para conmigo.

A mis amigos que siempre estuvieron conmigo durante mi estancia en la universidad, la ayuda y orientación de su experiencia en la vida y sabiduría en el momento oportuno, que sin esperarlos siempre ahí estuvieron dándome la mano. M.C. Lino Ramírez Pérez, M.C. Lucina Gómez Pérez, Norberto Ramírez Pérez y a mi primo Rafael Condado de Jesús.

A mi compañero y amigo Juan Herrera Aguilar por su tiempo, dedicación, apoyo durante la realización de este documento, compartiendo la vida universitaria en nuestra Alma mater.

A los compañeros amigos y hermanos del módulo #3 con quienes compartir gran parte de la vida universitaria, Edgardo, Oliver, Jesús Alberto, Juan Manuel, Ricardo Zayit, Pablo y Dámaso.

Y no puedo descartar a quien siempre me acompañó ayudándome de muchas e inimaginables maneras, regalándome su tiempo y apoyo incondicional cada momento, Camelia G. M.

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico a mis padres quienes me han acompañado en cada momento, que gracias a todos sus esfuerzos, sacrificios, paciencia, consejos, haciendo de mí una mejor persona, finalmente he concluido mis estudios satisfactoriamente, a mis hermanos que han sido un buen ejemplo a seguir haciendo todo lo que es necesario para obtener este logro, que a pesar de regaños siempre los consejos me fueron abundantes y certeros para mi vida profesional logrando así un escalón más para enfrentar la vida real.

A ti hermano Fabián que gracias a tu inquietud fuiste el pionero del hogar, al lograr una carrera profesional dándonos así la muestra de que las cosas se pueden hacer a pesar de carecer de muchas cosas impulsándonos a todos tu hermanos a seguir luchando por ser alguien mejor cada día. Y a ti hermanita e Iván quien para cada uno de nosotros tus hermanos fuiste el cimiento para la construcción de nuestras vidas.

Familia

“FUENTES CONDADO”

María Condado de Félix

Catarino Fuentes Moratilla

Diana

Iván moisés

Fabián

Gustavo

Luis Aldo

Emmanuel

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iv
INTRODUCCIÓN	8
Breve contexto situacional	8
ANTECEDENTES HISTÓRICOS	8
Fundación de la ciudad de nuestra señora de Monterrey	9
El lugar	10
Jurisdicción	10
Situación actual	11
UBICACIÓN DEL PROYECTO	12
Objetivo general	13
Objetivos específicos	13
MÉTODO	14
VARIABLES	14
MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS	14
HIPÓTESIS	15
MARCO TEÓRICO	15
Perspectiva Geológica y Morfológica.	15
Geología histórica y regional	16
Geomorfología del valle de Monterrey	17
Cuerpos montañosos:	18
Geomorfología y expansión urbana	19
CUENCAS Y FORMACIONES	20
La gran cuenca Río Bravo	21
Formación Méndez	22
Léxico estratigráfico de México 2	23
LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE MÉXICO 3	24
Hidrología subterránea	25
Principios considerados de la Hidrología subterránea	25
Principio "Interferencia entre Pozos"	25
Tipos de acuíferos.	25
Ley de Darcy	28
Acuífero libre.	30
Acuífero libre con drenaje diferido (rendimiento retardado)	33

PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE LAS ROCAS	33
Porosidad	34
Tipos de porosidad	36
Conductividad hidráulica	39
Transmisividad	40
Coeficiente de almacenamiento	41
Factor de goteo	42
ECUACIONES DE FLUJO	43
Régimen permanente	43
Régimen transitorio	44
METODOLOGÍA	44
Métodos de análisis para acuíferos libres	44
Aspectos generales	44
Método de Neumann (Ajuste de curvas)	46
Generalidades.	46
Procedimiento	47
Observaciones	48
Pruebas de aforo y bombeo	49
Objetivos de Pruebas de bombeo	50
Ejecución de las pruebas	53
Prueba de aforo a caudal escalonado discontinuo.	53
Prueba de aforo a Caudal Escalonado Continuo	55
OCURRENCIA Y PROSPECCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.	57
Medición del caudal de aforo	58
Medición del nivel de agua	58
Curva característica del pozo	58
Tipo de acuífero y curvas características	59
DESARROLLO DEL TRABAJO	60
RESULTADOS Y CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	75

INTRODUCCIÓN

Breve contexto situacional

La ciudad de Monterrey capital del estado de Nuevo León se fundó hace 403 años en lo que en esa época era el escurrimiento superficial del río Santa Catarina, así mismo con esa fisiografía y conformación rocosa se generó una paleoruta del mismo canal natural ya que con el tiempo geológicamente se estructuró una terraza aluvial impermeable con base en lutitas calcáreas, presentando oquedades o fallas que generaron los afloramientos a lo que los españoles llamaron los “Ojitos de Santa Lucía”, recurso hídrico que proviene de la recarga en la meseta de la Huasteca. Con el transcurso de los años, el hombre desvió el curso natural del río construyendo una vialidad de tráfico vehicular múltiple y compleja llamada Constitución- Morones Prieto.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El pueblo de Santa Lucía en 1577

Tras de establecer la villa de Santiago de Saltillo, Alberto del Canto avanzó al noreste, hacia el Valle de Extremadura (actual valle de Monterrey), donde asentó en 1577 el pueblo de Santa Lucía, junto a los ojos de agua del mismo nombre. La jerarquía de “pueblo” hace suponer que Santa Lucía fue un lugar habitado únicamente por indígenas. Del Canto descubrió también las minas de San Gregorio (Cerralvo) y las de Trinidad (Monclova), unas y otras en ese año de 1577. Esta primera incursión colonizadora a la región nororiental de la Nueva España fue, a decir del historiador Wigberto Jiménez Moreno, una penetración a manera de cuña que tocó los tres lugares señalados. De Santa Lucía casi nada se sabe, salvo que se localiza dentro de la jurisdicción de la Nueva Vizcaya – que era parte de un área política cuyo alcalde mayor era el propio Alberto del Canto – y que su existencia fue muy efímera debido a que en 1578 la Real Audiencia de Guadalajara dictó orden de aprehensión en contra de Del Canto.

En el tiempo de la llegada de Alberto del Canto (1582 – 1587) residía en la costa un poblador importante: Luis de Carvajal. Era alcalde mayor de Tampico y, junto con Francisco de Puga y otros, había hecho jornadas de descubrimiento hacia las minas del Mazapil, localizadas al sur de Saltillo.

Su conocimiento de la región lo movió a convenir con Felipe II, en 1579, la conquista y pacificación de un inmenso cuadro de 200 leguas por lado que había de llamarse Nuevo Reino de León. En esta extensión territorial Carvajal fundó, en las minas de san Gregorio, la ciudad de León (Cerralvo) y, sobre el pueblo de Santa Lucía, la villa de San Luis, ambas en 1582.

Fundación de la ciudad de nuestra señora de Monterrey

La fundación de Monterrey tiene como antecedentes las exploraciones colonizadoras al noreste de la Nueva España: el paso de Alvar Núñez Cabeza de Vaca por territorio de Nuevo León hacia 1535 y las posibles entradas de fray Andrés de Olmos (1554), Andrés de Ocampo (1552) y fray Pedro de Espinareda (1566) no dejaron huella permanente. Consignaremos, por su importancia, la realizada por Alberto del Canto en 1577, comisionado por gobernador de la Nueva Vizcaya, Martín López de Ibarra.

Diego de Montemayor, (1596), uno de los más valiosos de los compañeros de del Canto, primero, y de Carvajal, después, tuvo que abandonar el reino. Se alejó acariciando la posibilidad de volver, y casi diez años después envió a Juan Pérez de los Ríos con algunos compañeros a “amparar la jurisdicción” más tarde entró con doce familias, con las cuales fundó, el 20 de septiembre de 1596, la Ciudad Metropolitana de Nuestra Señora de Monterrey, honrando al noveno virrey de la Nueva España, don Gaspar de Zúñiga y Acevedo, conde de Monterrey. El cronista Alonso de León expresa que de Montemayor procedió “guiado por una honrada ambición” dio aviso a España y en 1599 otorgó a de Montemayor el nombramiento de gobernador y capitán general, antes de este año nunca se “autonombró gobernador”, como opinan algunos historiadores. Solo usó el cargo de tesorero y el de “justicia mayor y teniente de gobernador”. Este se constata en los documentos

más antiguos que se conservan en el volumen 1 de ramo Civil del Archivo Municipal de Monterrey. En la primera escritura del volumen 1 de protocolos del mismo archivo, el día primero de noviembre de 1599, aparece ya usando el título de gobernador.

El lugar

Monterrey es una de las escasas ciudades mexicanas de cuya fundación se levantó un acta. De su lectura se desprenden referencias importantes. En primer término, que el lugar conserva el nombre de valle de Extremadura, siendo puesto y lugar apacible, sano y de buen temple y buenos árboles frutales de nogales y otras frutas, muchos montes y pastos, ríos y ojos de agua manantiales. El fundador puso a la naciente ciudad bajo la advocación de la “Santa y Limpia concepción y anunciación de nuestra señora” y, “siendo así como es cabecera todo este reino”, le dio el rango de metropolitana.

Jurisdicción

Por el sureste, Monterrey tuvo en el siglo XVIII una notable disminución. En su jurisdicción, que por esa zona llegaba hasta el río Ramos, fue creada por el gobernador Conde de Penalva, en 1730 la alcaldía mayor del valle del Huajuco, en la antigua hacienda establecida casi 100 años atrás por Diego Rodríguez de Montemayor. Por el poniente, los términos de la ciudad llegaban hasta la cuesta de los muertos, en los límites de Coahuila. El mismo gobernador conde de Penalva creó en 1730 la alcaldía mayor de pesquería grande (Villa de García) que comprendió la Rinconada, los muertos y otras; y el mismo año dio la misma categoría política a la hacienda de Santa Catarina, que temporalmente formó una sola alcaldía con la hacienda de San Pedro. Esta pasó de nuevo a pertenecer a Monterrey, hasta su destitución municipal en 1882. Ya en el siglo XIX se separó de Monterrey por el norte la estancia de San Nicolás de las Garza, al ser erigida en municipalidad en 1830, lo mismo que otras dos municipalidades; Pesquería China en 1844 y Apodaca en 1851.

Situación actual

El desarrollo complejo de la ciudad industrial más importante del país, el crecimiento urbano y el incremento de la población **generó el abatimiento de los niveles superficiales del agua de escurrimiento**. Sin embargo conserva su estructura original en lo que hoy se conoce como la Macro Plaza, y que comprende en una gran infraestructura urbana continua a no más de 7.0 metros de profundidad a un acuífero libre que no ha dejado de aportar aproximadamente 370 l/s.

Como parte del plan maestro de desarrollo del transporte Metro en la ciudad de Monterrey se planteó la construcción de la línea 3 de dicho transporte público Metrorrey. Esta línea comenzará en la zona extrema de maniobras de la actual línea 2 que termina aproximadamente 174 m. después de la estación Zaragoza. La línea 3 tendrá 273 m. en túnel, el cual finalizará aproximadamente 70 m. antes de llegar a la calle Naranja para inmediatamente dar paso a la sección en cajón la cual tendrá una longitud de 305 m. que finaliza sobre la avenida Constitución.

Todo esto ocurrirá sobre el antiguo lecho del río Santa Catarina o Paleoruta, o sea será una construcción en medios saturados por lo cual se requiere construir una batería de pozos para generar un abatimiento frontal hasta lograr un punto de humedad permisible de obra civil.

Esto generaría un abatimiento en todo el acuífero de la Macro plaza ya que actualmente el organismo “Agua y Drenaje de Monterrey” bombea a través de 6 Pozos un gasto que inyecta a la red de agua potable urbano.

UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se desarrolla en la ciudad de Monterrey N, L en la Macro plaza en las calles de Padre Mier y Dr. Coss tomando como base 6 pozos del organismo operador de agua y drenaje de Monterrey. En el acuífero 1906 Área metropolitana de Monterrey

La intención es elaborar una prueba de bombeo a 150 metros de distancia de estos pozos para determinar tanto su transmisividad, como su pendiente de abatimiento dado la propiedad de malos elementos físico – mecánicos medidos.

NIVELES 2013-2014	UBICACIÓN	COORDENADAS	
NOMBRE DE LA INSTALACION		X	Y
METRORREY I (PTE)	Padre Mier c/c Zuazua y Dr. Coss, centro de Mty.	368618	2839533
METRORREY II (PTE)	Padre Mier c/c Zuazua y Dr. Coss, centro de Mty.	368602	2839533
METRORREY III (PTE)	Padre Mier c/c Zuazua y Dr. Coss, centro de Mty.	368582	2839535
METRORREY II (OTE)	Padre Mier c/c Dr. Coss y Diego de Montemayor, centro de Mty.	368662	2839497
METRORREY I (OTE.)	Padre Mier c/c Dr. Coss y Diego de Montemayor, centro de Mty.	368636	2839504
MACRO PLAZA I	Allende c/c Zuazua y Dr. Coss, Centro de Mty.	368653	2839747

Tabla No. 1 Ubicación geo referenciada de los pozos de la Macro plaza de Monterrey, N. L.

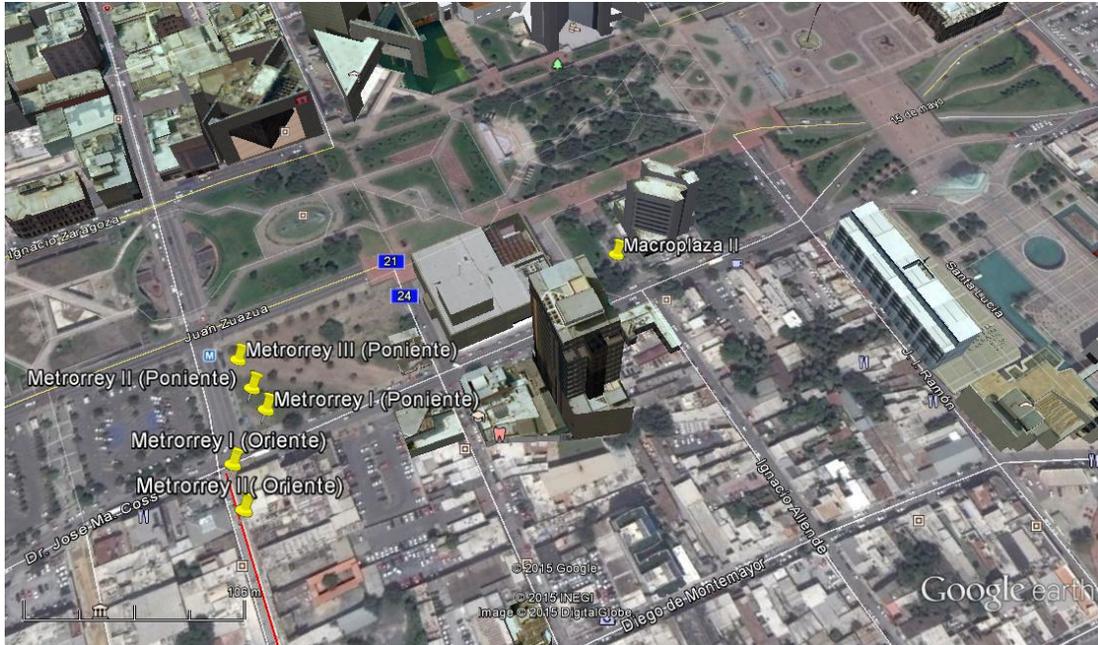


Imagen No. 1 ubicación de nombre de pozos Macro plaza de Monterrey, N. L.

Objetivo general

Por lo anteriormente expuesto, el presente trabajo tiene como objetivo monitorear el comportamiento del nivel dinámico del acuífero de la “Macro plaza” de Monterrey, y su efecto antes y después del abatimiento inducido por la obra civil Metrorrey 3.

Objetivos específicos

Determinar la evolución de la configuración de la superficie Piezométrica de los diferentes periodos (antes, durante y después del bombeo inducido del metro 3) para determinar los límites de abatimiento y recuperación.

Definir las condiciones de explotación a que se ha sometido el acuífero en los últimos 3 años.

Comprobar la dirección del flujo subterráneo.

Conocer el efecto que ejerce el coeficiente de Transmisividad en la forma, profundidad, extensión del cono de presión con los gastos que operan estos pozos urbanos, así como su traslape y superposición.

MÉTODO

El método es directo: medición de la superficie del nivel del agua utilizando una sonda en tiempo, fecha y condiciones paralelas al bombeo de abatimiento de los pozos del metro 3.

Construcción de una malla en tercera dimensión sobre su comportamiento utilizando una herramienta computacional (SURFER), además apoyada en un dibujo estadístico en AUTOCAD. Usando el principio de Theis se elabora un cono de abatimiento de la zona.

Este estudio permitirá tener una visión más amplia de las condiciones en que se encuentra el acuífero y observar su comportamiento con respecto a los nuevos pozos de inducción de abatimiento del metro.

VARIABLES

Las variables que se medirán serán nivel estático, gasto de extracción, tiempo de prueba, tiempo de recuperación, graficar estos niveles geo referenciados y con respecto al nivel del mar, así como la construcción de curvas del mismo valor.

MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS

Los materiales y equipos requeridos son los siguientes:

- Geo – radar
- Perforadora de golpe (Estudios previos)
- Máquina de aforo
- Estación total
- GPS
- Cámara fotográfica
- Roto martillo
- Máquina perforador de rotación (Sultana Perforaciones) para hacer los pozos de abatimiento
- Máquina para soldar tubo de ademe

- Tubería de ademe de 8" en acero lisa y ranurada a 3/16"
- Grava de 1/2" – 3/4" para dejar firme el ademe y como sistema de filtrado en el pozo
- Tubería de PVC de 20 y 24"
- 1 conjunto de arrancadores termo-magnéticos
- 3 plantas generadoras de corriente 200 KVA
- Conjunto de herramienta
- 6 bombas sumergibles de 50 hp, bombas sumergibles Serie KOR Altamira
- Tubería de PVC 4 pulgadas para columna
- 46 pozos de observación de monitoreo de 2 pulgadas de PVC

HIPÓTESIS

Dado el cono de abatimiento que se pretende inducir en un acuífero libre y los materiales que lo constituyen (acarreo y aluviones), el nivel dinámico de los pozos actualmente funcionando para Agua y Drenaje de Monterrey se verán abatidos con la misma intensidad, dado su cercanía e interconexión, así mismo por estar montados en la misma plataforma aluvial y estar en la línea de abastecimiento del acuífero.

MARCO TEÓRICO

Perspectiva Geológica y Morfológica.

De acuerdo con Barbarín-Castillo el valle de Monterrey se ubica en la transición de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental hacia la provincia de la llanura costera del golfo de México. Es en esta región donde la cadena montañosa de la sierra madre oriental cambia su rumbo estructural al pasar de una dirección sur sureste a otra claramente este oeste, dando lugar a un rasgo tanto geológico como morfológico comúnmente conocido como la "curvatura de Monterrey".

Geología histórica y regional

Los mares cubrieron amplias porciones del noreste de México durante fines del paleozoico y principios del mesozoico (de 350 a 250 millones de años). De esas edades provienen los afloramientos de las rocas más antiguas de esta parte del país. Esquistos (rocas originadas por cambios de presión y temperatura en rocas preexistentes), rocas volcánicas del carbonífero al pérmico de Aramberri.

La litología del noreste de México muestra una importante interrupción, que hace suponer que del periodo triásico al jurásico medio, los mares se retiraron dejando la corteza expuesta a la erosión. Esto explica la falta de afloramientos de rocas pertenecientes a dicho periodo.

El rápido avance de los mares al inicio del jurásico superior ocurrió en un tiempo de movimientos antecedentes de la corteza continental. La combinación de eventos propició en algunas partes, la formación de varias lagunas donde la evaporación dio lugar a los depósitos salinares (yesos y anhidrita, ambos sulfatos de calcio) como los de Minas Viejas (Galeana N.L.) que hoy son parte de la base de la sierra madre oriental en una amplia porción del noreste de México Michielbac D. (1987)

El avance de los mares durante este mismo periodo cubre nuevamente el noreste de México. El aporte de material cococirental, combinado con una escasa circulación de las aguas, formando la sedimentación de lodos en los fondos de los mares. Dichos lodos dieron lugar después de haber sufrido los procesos de litificación a rocas arcillosas conocidas como lutitas del latín. “La Casita” hace aproximadamente 152 millones de años.

A partir del inicio del cretácico inferior, hace alrededor de 140 millones de años, los mares cubrían prácticamente todo el norte de México. Periodo de avance y retroceso de las aguas, propiciaron alternadamente condiciones de mares tranquilos y someros hasta profundos, de este periodo proviene la secuencia de rocas sedimentarias carbonatadas, tales como las unidades alternadas de calizas y lutitas de las formaciones Taraises, Tamaulipas.

En este periodo se inició un proceso que involucró fuerzas de compresión, así como el gradual levantamiento de las capas sedimentarias acumuladas con anterioridad. Este proceso conocido como la “**orogenia laramídica**” dio origen a una de las provincias geológicas más importantes de México: la sierra madre oriental. Paralelo a este evento se produjo además el hundimiento gradual del golfo de México, que continúa aún en la actualidad” Padilla y Sánchez, R.J. (1982 p. 93 -103).

Durante la orogenia Laramídica todo el material depositado durante el mesozoico y edades anteriores sufrió deformaciones, con plegamiento y fallamiento a causa de las fuerzas compresivas. De este proceso surgieron estructuras anticlinales y sinclinales, que con el tiempo se manifestarían geomorfológicamente como crestas y valles, respectivamente.

Finalmente, durante el cuaternario el proceso más importante en la delineación de rasgos geológicos y fisiográficos ha sido la erosión. Mediante ésta, las partes elevadas de la sierra han proporcionado el material depositado como relleno dentro de los valles intramontañosos.

Geomorfología del valle de Monterrey

En la actualidad, la zona metropolitana de Monterrey ocupa tres diferentes regiones fisiográficas: a) el valle, b) montañas de mediana altura y c) montañas de gran altura.

El valle de Monterrey corresponde geológicamente a la provincia de la planicie costera del golfo de México, y dentro de él se localiza el lugar de la fundación histórica de la ciudad así como lo que hoy llamamos su primer cuadro y centro comercial.

Las montañas de mediana altura se hallan distribuidas en forma dispersa dentro del valle y en buena medida han servido para acotar la creciente mancha urbana de Monterrey. Dichos cuerpos montañosos son: la loma larga, el cerro del obispado, el cerro de El Topo Chico, que son estructuras anticlinales, y la Loma Linda, un cuerpo sinclinal denominado Del Penal. Todas estas elevaciones fueron formadas durante la orogenia laramídica hace 66 millones de años.

Cuerpos montañosos:

- Loma Larga: lutitas de la fm. Parras del cretácico superior, contemporáneas a la fm. San Felipe pero formadas en un mar de muy escasa profundidad.
- Cerro del el Obispado: lutitas de la fm. Parras/san Felipe.
- Cerro de El Topo: fundamentalmente capas gruesas de calizas de la fm. Tamaulipas superior/Aurora.
- Loma Linda: lutitas de las formaciones Méndez/Difunta y San Felipe/Parras. Esta loma es el sinclinal Del penal.

Las montañas de gran altura forman tres flancos naturales para la ciudad. Estas son: la sierra de Las Mitras, la sierra de La Silla y el frente norte de la sierra Madre Oriental o anticlinal de Los Muertos. La secuencia litológica que presentan estos cuerpos montañosos es bastante más amplia y diversificada que en las montañas de mediana altura. El más sencillo de ellos en este aspecto es la sierra de las Mitras, que al oeste del valle de Monterrey muestra afloramientos de rocas que van desde la fm Tamaulipas inferior/Cupido (cretácico inferior) hasta el techo estratigráfico regional representado por las lutitas de la fm Méndez/Difunta (cretácico superior) y los aluviones del cuaternario.

El límite sureste del valle de Monterrey lo forma la sierra de La Silla, que da a la ciudad el símbolo geomorfológico que la distingue en el mundo: el Cerro de La Silla. Entre ésta y la Sierra Madre Oriental existe un valle intramontañoso conocido como el cañón de El Huajuco. La sierra de La Silla, frente a Monterrey, presenta una sección estratigráfica que va desde el jurásico superior, con la fm. La Casita, hasta el cretácico superior representado por la fm. Méndez/Difunta.

La sierra de los muertos es la cadena montañosa al frente de la Sierra Madre Oriental, en colindancia con el valle de Monterrey. En el flanco norte de esta anticlinal se hallan ubicadas la meseta de El Chipinque y las diversas colonias que gozan de una sobrevista de la ciudad. La sección estratigráfica tipo de la sierra Madre Oriental en el área de Monterrey consiste de una secuencia de rocas que

van de la fm. Minas Viejas (jurásico superior) hasta los aluviones y conglomerados del cuaternario.

Geomorfología y expansión urbana

Monterrey se fundó en la cercanía de las fuentes de agua de la región, al igual que todo tipo de asentamientos humanos en el mundo. Aprovechando la adecuada topografía del valle, los pobladores utilizaron la superficie para su explotación agropecuaria y como medio geográfico de localización urbana.

Por más de tres siglos el valle de Monterrey pudo satisfacer en su superficie los requerimientos de espacio demandados por una población siempre en aumento. Durante este tiempo, la mancha urbana se encontraba separada por amplios llanos y labores agrícolas.

A partir de la segunda mitad del presente siglo, los núcleos poblacionales disminuyeron dramáticamente la distancia que los separaba, dando origen al surgimiento de una zona metropolitana.

El auge industrial, la disponibilidad de empleos y el aumento en el nivel de vida ofrecido por la ciudad atrajeron a gran cantidad de inmigrantes de otras regiones del país, lo que produjo una rápida expansión de la mancha urbana.

A partir de 1960, las faldas y cumbres de las montañas de mediana altura empezaron a ser urbanizadas en forma intensa; ejemplos de este desarrollo son los casos de Loma Larga y el cerro de El Obispado, proceso luego seguido con la Loma Linda y el cerro de El Topo chico (Muñoz, H.B., 1988: 2).

En la actualidad la mancha urbana ha invadido las faldas y taludes de las montañas de gran altura; se trata en realidad de una actitud de desafío a la naturaleza, ya que es evidente la inestabilidad de los escarpes en gran parte de las zonas ya pobladas.

Con seguridad la mancha urbana continuará su crecimiento. Para su planeación es necesario evaluar los riesgos, cada vez mayores, de los deslizamientos y los movimientos en masa, que en las sierras pueden ser de grandes dimensiones. Dicha evaluación debe hacerse con el rigor técnico necesario para evitar o disminuir

al mínimo posibles accidentes debidos a las características geológicas de las montañas; es el caso de los derrumbes en las edificaciones, que ya han acontecido en varias ocasiones.

CUENCAS Y FORMACIONES

La cuenca del río San Juan es un sistema hidrológico que incluye agua superficial y subterránea, y actúa como un sistema de drenaje natural que, en buen estado, ayuda a incrementar la disponibilidad y calidad del agua y protege a la ciudad contra inundaciones; la cuenca del río San Juan brinda estos beneficios a los más de 5 millones de personas que la habitan.



Imagen No. 2 Cuenca del río San Juan.

Con una extensión de más de 32 mil kilómetros cuadrados atraviesa los estados de Coahuila, donde se ubica un 35% de la cuenca, Nuevo León con un 60% y desemboca en el Río Bravo en Tamaulipas, donde apenas se encuentra un 5% de la cuenca.

En los últimos 20 años, la zona metropolitana de Monterrey pasó de tener 2.6 millones de habitantes a 4.1 millones, un crecimiento del 53.25%. La presión hídrica de una ciudad con esta población y crecimiento es muy fuerte, y más aún por ser una de las principales ciudades de México en actividad económica, y estar ubicado

en una región con relativamente baja disponibilidad de agua, por lo que resulta obvio que una de las principales acciones para asegurar el permanente crecimiento económico y social de Monterrey es proteger sus fuentes de agua.

Siendo el Parque Nacional Cumbres de Monterrey (PNCM), que está dentro de la cuenca del río San Juan, la principal fuente de agua que abastece al área metropolitana de Monterrey, se enfocan los esfuerzos a impactar positivamente a la parte centro y norte del PNCM por su gran aportación al agua superficial y subterránea.

La gran cuenca Río Bravo



Imagen No. 3 Gran cuenca Río Bravo

El sistema hidrológico que representa la cuenca del río San Juan, es una subcuenca de un sistema mucho más grande que comienza en EEUU y termina en el Golfo de México, a este sistema se le conoce como la cuenca del Río Bravo.

Cuenta con una superficie total de 457,275 km² (226.275 km² corresponden a México y 231.000 km² a EUA) y en México abarca parte de los estados de Coahuila, Durango, Chihuahua, Tamaulipas y Nuevo León; mientras que por la parte estadounidense se extiende por los estados de Colorado, Nuevo México y Texas.

De acuerdo al tratado de aguas firmado en 1944, las aguas de las cuencas de los ríos Bravo, Colorado y Tijuana se comparten entre los dos países y para cada cuenca existen criterios específicos respecto a la distribución del agua.

La cuenca del río Bravo es una de las ocho cuencas transfronterizas que tiene México, su tamaño y posición fronteriza entre los dos países, estados y municipios, generan importantes retos en su gestión y conservación.

Formación Méndez

Data del Cretácico Tardío (Campaniano-Maastrichtiano)

Referencia: Jeffreys (1910) in Palmer, R.H., 1927, Geology of Eastern Hidalgo and adjacent parts of Vera Cruz, Mexico:

American Association of Petroleum Geologist Bulletin, 11(12), 1173-1220.

Historia nomenclatura de la unidad

Jeffreys (1910) (en Palmer, 1927) fue el primer autor en nombrar esta unidad como lutita Méndez para las rocas que sobreyacen a la Formación San Felipe. Más tarde, Dumble (1915 en Santamaría-Orozco et al., 1990) utiliza el nombre de lutita Papagayos, para estas mismas rocas, en alusión a la Sierra Papagayos ubicada al oeste de Ramones, Nuevo León. Posteriormente, Belt (1925) menciona que los términos Méndez y Papagayos han sido utilizados indistintamente para las rocas que afloran en el Distrito Tampico; asimismo, agrega que dadas las evidencias disponibles ambas unidades son equivalentes, por lo que considera conveniente que se abandone el nombre de Papagayos. Bonet y Carrillo-Bravo (1961) interpretan que las rocas definidas por Erben (1956) como formación Paltotecoya (Tithoniano superior), presentan características litológicas y relaciones estratigráficas que permiten incluirlas dentro de la Formación Méndez. Finalmente, Aguayo-Camargo y Kanamori (1976), propusieron en la región de Tampico al miembro Tamuín, correspondiente a la parte media de la unidad. Localidad tipo: Se encuentra ubicada a 300 m al este de la estación Méndez, en el estado de Veracruz,

sobre el ferrocarril Tampico-San Luis Potosí (Carrillo-Bravo, 1971). Descripción litológica: En la primera descripción hecha por Jeffreys (1910 en Palmer, 1927), menciona que esta unidad consiste de un **depósito uniforme de lutita gris-azul** de varios metros de espesores, con borde interno arcilloso a semi-margoso; toda la secuencia consiste de marga y algunas capas irregulares de arenisca y caliza. Dumble (1915) describe a esta unidad (lutita Papagayos) como capas de lutita de color azul o negro con limo y arcilla, su color intemperizado es café, amarillo o blanco. De Golyer (1915 en Palmer, 1927) menciona que consiste de capas que gradan hacia abajo a la Formación San Felipe y conforma una serie de lutita gris a verde, marga y arcilla, escasamente contiene capas de arenisca y caliza. Por otro lado, Muir (1936) describió a esta unidad como capas gruesas masivas de lutita de color rojizo, con intemperismo semi-esferoidal y algunos fragmentos subangulares; en algunos niveles las capas llegan a ser delgadas.

Léxico estratigráfico de México 2

Nigra (1951) menciona que los afloramientos de esta unidad consisten de caliza arcillosa, de color azul-gris a gris-amarillento, fracturada, con frecuentes intercalaciones de marga y lutita calcárea dura y quebradiza. Wilson et al. (1955) señalan que esta unidad está representada por estratos gruesos de lutita gris oscura poco carbonosa que sobresalen entre otros estratos más delgados de caliza, lutita calcárea y grauvaca que alternan con ellos. Bondelos (1956) describe a esta unidad como una sucesión de capas uniformes de lutita calcárea de color gris verdoso o gris azulado, hacia la cima de la unidad se encuentran capas rojas. Pessagno (1969) señala que la Formación Méndez incluye limolita y mudstone calcáreo variando el color de gris claro a café, blanco y rojo. Carrillo-Bravo (1971), describe esta unidad como lutita y marga de color gris y gris verdoso, en capas medianas y gruesas, que con frecuencia alternan con capas delgadas de bentonita blanca.

Espesores: Muir (1936) menciona que el espesor de la Formación Méndez es muy irregular, y reporta 300 m en su localidad tipo. Por otro lado, en el área de Jaumave

afloran más de 100 m, mientras que en la región de San Nicolás-La Concha y Sinclinal de Valles varía de 150 a 300 m; y en la margen sureste de la Plataforma Valles-San Luis Potosí (sur-sureste de Aquismón) varía de 500 a poco más de 1000 m (Carrillo-Bravo, 1971). Otros autores mencionan que en general los espesores reportados donde aflora la Formación Méndez varían de 100-600 m (Santamaría-Orozco et al., 1990); mientras que Suter (1990) menciona que es difícil estimar el espesor de la formación, a causa del plegamiento interno, el cual es muy usual; hacia el poniente de Ahuatitlán se considera un espesor de entre 300 a 400 m y en Tamazunchale, al norte del río Moctezuma 500 m, en el flanco Este Inferior de la Cabalgadura de Lobo-Ciénega, donde la cima de la formación está cortada por una falla, su espesor mide 250 m.

LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE MÉXICO 3

Los sedimentos de esta unidad rellenan a la mayoría de los sinclinales que se encuentran en el frente este de la Sierra Madre Oriental (Carrillo-Bravo, 1971). López Ramos (1979) menciona que la mejor exposición de esta unidad se encuentra al sur de la Sierra de San Carlos; asimismo, registra su presencia en el Sinclinal del Gavilán en La Unión. PEMEX (1988) señalan que la Formación Méndez se encuentra ampliamente distribuida reportándose al sur de la Península de Tamaulipas, en el frente oriental de la Sierra Madre Oriental y en el frente norte de la Sierra de Chiapas; asimismo, se ha registrado su presencia en el subsuelo de las cuencas Tampico-Misantla, Burgos, Veracruz y del Sureste. Relaciones estratigráficas: El límite superior es transicional y concordante con la caliza Velasco en la Sierra de El Abra (Santamaría-Orozco et al., 1990) y Península de Tamaulipas, mientras que en la Sierra de Chiapas y Cuenca del Sureste es transicional con la Lutita Nanchital; por otro lado, en la Cuenca de Tampico-Misantla subyace a la formación El Abra (PEMEX, 1988). El límite inferior de manera general es transicional y concordante con la Formación San Felipe (PEMEX, 1988); asimismo, se encuentra en discordancia con la Formación El Abra (Carrillo-Bravo, 1971; PEMEX, 1988; Santamaría-Orozco et al., 1990). Cabe mencionar que en la Cuenca

del Sureste el contacto inferior está definido por un hiato sobre sedimentos del Cretácico Inferior, o bien localmente ausente al sur-suroeste de Villahermosa Tabasco (PEMEX, 1988).

Hidrología subterránea

Principios considerados de la Hidrología subterránea

Principio “Interferencia entre Pozos”

Cuando el cono de abatimiento generado por la operación de un pozo se extiende lateralmente hasta alcanzar a otro pozo vecino, el nivel del agua de éste experimenta un abatimiento adicional al provocado por su propia operación; a su vez, el segundo pozo puede inducir un efecto semejante en el primero.

En otras palabras, ambos se interfieren mutuamente, y de aquí se da el fenómeno en el ambiente hidrológico conocido con el nombre de **“Interferencia entre pozos”**. Análogamente, si varios pozos próximos entre sí operan durante largos intervalos de tiempo, sus conos de abatimiento se superponen y en cada uno de ellos los demás generan un abatimiento cuya magnitud depende del espaciamiento, características constructivas y régimen de operación de los pozos.

Pueden estar tan cercanos que su interferencia no es notoria dando la imagen de ser un abatimiento frontal y no el de un cono.

Tipos de acuíferos.

En el subsuelo, el agua se puede encontrar bajo una amplia gama de condiciones, desde el agua que circula libremente, hasta el agua que se encuentra formando parte de la estructura de las rocas.

Generalmente se distinguen tres grandes zonas, la no – saturada, la franja capilar y la zona saturada.

La primera se extiende desde la superficie del terreno hasta donde comienza la denominada franja capilar. Esta franja es una zona de transición entre las zonas no saturadas y la saturada, su superficie es irregular y su posición varía al cambiar el

nivel freático. La parte superior contiene numerosos espacios de aire que pueden representar un obstáculo al movimiento descendiente del agua. El límite inferior de la franja capilar es la superficie freática, punto donde se alcanza la saturación total.

La superficie freática es la separación entre la franja capilar y la zona saturada o de aguas subterráneas. Es también la superficie definida por los niveles de agua en los pozos perforados en acuífero no confinados. En otras palabras, es la superficie saturada de un terreno no confinado, sobre la cual la presión hidrostática es igual a la atmosférica.

La zona situada por debajo de la superficie freática se le llama zona de saturación y al agua que contiene esta zona se le denomina “agua subterránea”.

Dentro de la zona saturada se encuentran diversas formaciones o unidades geológicas que presentan un comportamiento geológico peculiar, debido a sus características petrofísicas, mismas que determinan un comportamiento hidráulico diverso, de esta forma, en la zona saturada se pueden clasificar los tipos de acuíferos, en función de su capacidad para transmitir, ceder o almacenar agua:



Imagen No. 3 Distribución vertical del agua en el subsuelo

Acuíferos. Unidades geológicas saturadas de agua que pueden transmitir dicho fluido en cantidades significativas y de las cuales es económicamente factible extraerlo. A este grupo lo forman los depósitos de arenas y las rocas fracturadas.

Acuitardo. Unidades geológicas que a pesar de contar con una baja permeabilidad, puede transmitir o ceder cantidades considerables de agua a escala regional, aunque no con la facilidad de un acuífero. estas formaciones no son aptas para el emplazamiento de captaciones, sin embargo, en condiciones especiales permiten la recarga vertical a un acuífero. Las arcillas limos así las arenosas pueden comportarse como acuitardo.

Acuicludo. Unidades geológicas que conteniendo agua en su interior, no la transmiten y por lo tanto no es posible extraer agua de manera apreciable. Dentro de este grupo se encuentran las arcillas.

Acuifugo. Unidades geológicas que no contienen agua, ni la pueden transmitir. Dentro de este grupo se encuentran las rocas cristalinas no-alteradas (granitos) y las rocas metamórficas sin foliación.

Desde el punto de vista hidráulico de manera estrictamente teórica, existen tres tipos de acuíferos: confinados, semiconfinados y libres, sin embargo, en la práctica se ha observado que el tipo de acuífero puede variar en el tiempo, principalmente debido a la fuerte extracción que de ellos se hace mediante diversas captaciones (Pozos, norias, etc.). Al principio de la extracción algunos acuíferos se comportan como confinados y, gradualmente, se van transformando en semiconfinado después de cierto tiempo. Otros al inicio se manifiestan como confinados o semiconfinados y posteriormente se convierten en libres, sobre todo cuando el bombeo excesivo abate la superficie piezométrica por debajo del techo del acuífero.

Ley de Darcy

La ley de Darcy es una de las bases más importantes en el análisis de comportamiento y movimiento del agua en el subsuelo. De acuerdo a esta ley, el flujo de un fluido a través de un medio poroso, es directamente proporcional a la pérdida de carga y un coeficiente k , e inversamente proporcional al trayecto recorrido (ver figura 1).de tal forma que:

Ecuación No. 1 La ley de Darcy se expresa como:

$$Q = KiA \quad (1.1)$$

O bien

$$Q = V = Ki \quad (1.2)$$

Donde:

Q = Gasto ($m^3/día$)

K = constante de proporcionalidad ($m/día$).

i = Gradiente hidráulico (adimensional).

A = Área transversal perpendicular al flujo (m^2)

V = Velocidad de flujo ($m/día$), también conocida como “Velocidad de Darcy”.

El coeficiente k de la ley de Darcy, es una constante que depende de las propiedades del medio poroso y del fluido.

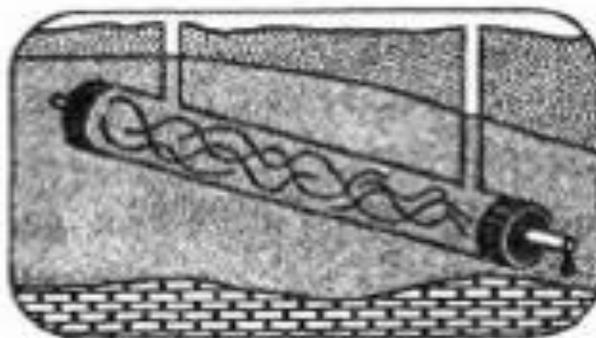


Figura No. 1 Instrumento experimental que ilustra la Ley de Darcy.

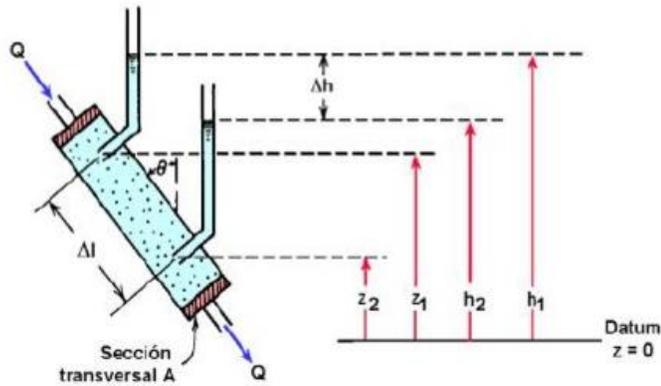


Figura No. 2 Instrumento experimental que ilustra la Ley de Darcy.

Debido a que en este trabajo no se trata ningún otro fluido que no sea el agua, K se define como “coeficiente de permeabilidad”.

De lo anterior se desprende que K representa la cantidad de agua que atraviesa una succión unitaria, perpendicular a la dirección del flujo, bajo un gradiente unitario, por lo que sus unidades son de longitud / tiempo (m/día) sin embargo, no debe confundirse con la velocidad.

MATERIAL	k (m/día)
Arcilla	10^{-5} a 10^{-7}
Limo	10^{-1}
Arena Fina	10^{-1} a 10^0
Arena Media	10^0 a 10^2
Grava	10^3

Tabla No. 2 Muestra algunos valores de permeabilidad para diferentes tipos de materiales.

La ley de Darcy no es válida en todos los casos del flujo de agua, ésta es válida sólo para flujo laminar, pero no para flujo turbulento, tal y como sucede en calizas kársticas o en basaltos fracturados.

Por analogía con el flujo en tuberías, se define un número de Reynolds (Nr) para el medio poroso y es un indicador de tipo de flujo que se presenta en los fluidos. En caso de existir duda respecto al tiempo de flujo, laminar o turbulento, el número de Reynolds puede emplearse como un criterio para distinguirlos.

Ecuación No. 2 Número de Reynolds se expresa

$$Nr = \rho (Vd/\mu)$$

Donde:

P = densidad del fluido

V = velocidad específica

d = dimensión del poro

μ = viscosidad del fluido

Experimentalmente se ha demostrado que la ley de Darcy es válida para un número de Reynolds menor a 1 ($Nr < 1$) y no ocasiona errores considerables con $Nr=10$. Fuera de estos valores, no es aplicable; afortunadamente la mayoría de los flujos de agua subterránea ocurren $Nr = 1$, por lo cual es aplicable en casi todos los casos, situación que engloba la gran importancia de dicha ley. Solamente en casos especiales o situaciones específicas, como espacios abiertos en las rocas, de dimensiones muy grandes, gradientes hidráulicos fuertes, o que se analiza el fluido en la vecindad de un pozo trabajando, los criterios de flujo laminar y la ley de Darcy no son aplicables.

Acuífero libre.

Por ser de importancia para este trabajo analizaremos el acuífero libre que es el que se presenta en nuestro estudio y por ser el típico acuífero montado en terrazas aluviales.

Un acuífero se considera libre cuando presenta como el límite superior la superficie freática y como límite inferior una unidad del tipo de Acuícludo (impermeables).

Este tipo de acuíferos funciona como conductos abiertos y su espesor varía en el tiempo, con las fluctuaciones de la superficie freática.

Un acuífero libre presenta ciertas ventajas con respecto a los otros tipos de acuíferos:

Cede volúmenes de agua muchos mayores por cada metro de abatimiento del nivel del agua.

Presenta mejores condiciones de recarga, por estar totalmente abierto a la superficie en su límite superior.

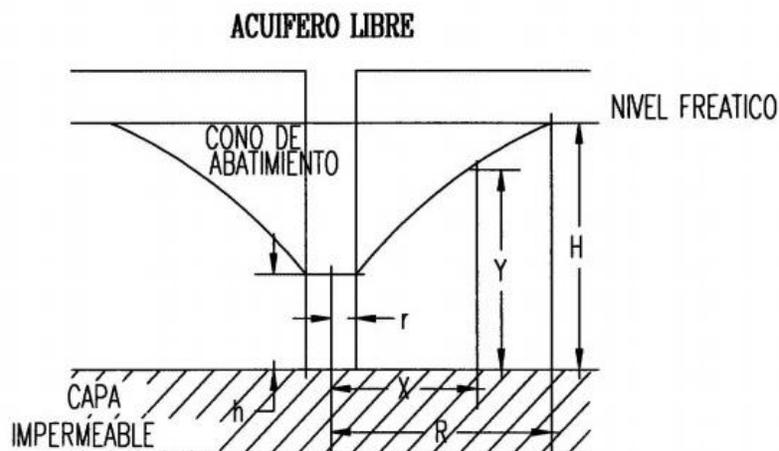


Figura No. 3 Acuífero Libre

No obstante, su gran desventaja respecto a los demás acuíferos es su alto nivel de susceptibilidad a la contaminación proveniente de la superficie del terreno, ya sea por infiltración directa de sustancias líquidas peligrosas y/o por la lixiviación de materiales contaminantes localizados en la superficie del terreno, tales como fertilizantes, desechos sólidos (basura), etc.

Las características principales de los acuíferos libres se mencionan a continuación:

- En su mayoría contienen agua sin presión, debido a que cuentan con una superficie libre y con comunicación directa con la atmósfera (La presión sobre la superficie freática es equivalente a la presión atmosférica).
- La profundidad del acuífero, la temperatura del agua, su mineralización y su caudal están sometidos a fluctuaciones sistemáticas que ocurren todos los meses, durante el transcurso de los años.

- La recarga se produce debido a:
 - La infiltración de las precipitaciones atmosféricas.
 - la infiltración de las aguas de los ríos, lagos y canales.
 - la condensación de los vapores de agua dentro del terreno.
 - la recarga procedente de otros acuíferos (colgados, superiores o laterales)

- Se localizan en casi todas partes, por lo común, asociados a depósitos no-consolidados de edad cuaternaria, se forman en los macizos rocosos situados entre los ríos, en los aluviones antiguos y actuales Valles fluviales, en los conos de Deyección de pie de monte y en la zona de meteorización de las rocas fisuradas.

- Son fácilmente accesibles a la explotación, debido a que se encuentran a poca profundidad misma situación que puede permitir el acceso de sustancias contaminantes.

- El agua contenida en los acuíferos libres se encuentra en movimiento constante, desplazándose bajo la influencia de la fuerza de gravedad, de los lugares donde el nivel es más alto, hacia donde es más bajo. cabe subrayar que el movimiento del agua está determinado no por la posición de la capa impermeable, sino por la posición de la superficie de depresión, y siempre se ha dirigido hacia el lugar de drenaje del horizonte acuífero. Así pues, las capas impermeables son una condición Imprescindible para la formación del acuífero libre, pero no determinan la dirección del movimiento del agua.

TIPO DE MATERIAL	VELOCIDAD (m/día)
Gravas	2.0 - 3.5
Arenas de grano grueso	1.5 - 2.0
Arenas de grano fino y arenas arcillosas	0.5 - 1.0
Arcillas	0.1 - 0.3

Tabla No. 3 Muestra la velocidad de movimiento del agua en materiales no consolidados.

Acuífero libre con drenaje diferido (rendimiento retardado)

Cuando el acuífero libre se encuentra formado por capas de material granular grueso, intercaladas con capas de Arenas finas o con limo, con una conductividad hidráulica sensiblemente menor que el cuerpo principal del acuífero, pero no lo suficiente para considerarlas semipermeables, se presenta un caso particular del acuífero, denominado acuífero libre con drenaje diferido.

En general, se caracterizan por localizarse en Materiales sedimentarios no-consolidados, bien graduados y de manera normal, es decir el acuífero, lo forma en sentido descendente arena fina y arcilla, arena gruesas y medias, arena gruesa y grava y por último, grava, cantos y bloques que son depósitos típico de un ambiente fluvial.

Bajo estas condiciones, la capa de granulometría fina que sobreyace al acuífero, presenta un flujo cuya componente vertical es importante, por lo que no se le puede considerar como semiconfinado, pero tampoco libre, ya que presenta un comportamiento intermedio.

Los acuíferos semilibres o libres con retardo, no se puede considerar como libres en sentido estricto, y debido a que su comportamiento hidráulico es diferente.

PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE LAS ROCAS

Las propiedades hidráulicas de las rocas y depósitos no consolidados determinan de manera importante la cantidad de agua que pueden almacenar, transmitir y ceder. Dichas propiedades dependen de diversos factores geológicos, tanto de índole genético como la granulometría y la composición mineralógica y posteriores a su Génesis, entre estos factores destacan la compactación, cementación, fracturamiento, erosión, intemperismo, etc.

En este trabajo se hace énfasis en aquellas propiedades que determinan, permiten y/o limitan el movimiento del agua dentro de un acuífero.

Porosidad

La porosidad se define como el volumen de vacíos y poros que existen en un material por unidad de volumen, específicamente se establece como la relación que existe entre el volumen que ocupan dichos espacios vacíos y el volumen total que ocupa el material expresada en porcentaje, es decir:

Ecuación No. 3 La porosidad se expresa

$$n = (\%) = (V_v/V_t) * 100$$

Donde:

n = porosidad (adimensional).

V_v = volumen de espacios vacíos en el material (cm³)

V_t = volumen total del material (cm³)

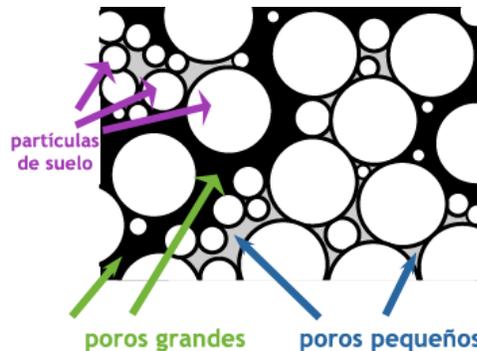


Imagen No. 4 Porosidad

La porosidad generalmente se expresa en fracciones decimales o en porcentaje y siempre es menor que la unidad, o si ha sido expresada en porcentaje menor que 100%.

En vista de que en la zona saturada los espacios están completamente llenos de agua, la porosidad también resulta ser una medición de agua que el material geológico contiene por unidad de volumen.

En rocas y materiales consolidados se distinguen dos tipos de porosidades.

Primaria: generada cuando la roca se formó, y una secundaria, desarrollada después de su formación, como resultado de procesos diagenéticos y/o tectónicos.

Las fracturas en las rocas se orientan en varias direcciones, las cuales cortan la roca en bloques. En teoría, la porosidad primaria de una roca o materiales consolidados es cero y su matriz es impermeable.

En los materiales clásticos existen diversos factores que controlan la porosidad, entre ellos destacan, distribución granulométrica, grado de compactación, forma de los granos, etc. En términos generales se establece, que entre mayor es el tamaño medio del grano, tanto mayor es la porosidad. Asimismo se establece que los materiales mal clasificados o uniforme son menos porosos que los bien clasificados o bien graduados (poco intervalo de tamaño de grano), debido a que las partículas más chicas ocupan los espacios entre los de mayor dimensión. El tipo de empaquetado de los granos también influye en la porosidad.

La compactación es uno de los procesos más importantes en la producción del volumen de espacios vacíos en los materiales clásticos, ya que provoca un acomodo estrecho de los granos, principalmente cuando la forma de dichos granos se presenta para tal fenómeno. De tal forma la porosidad de los materiales clásticos decrece al aumentar la profundidad a la que se encuentran, debido principalmente, a la compactación provocada por el peso del material sobreyacente.

Dentro de los materiales no-consolidados, se puede clasificar a la porosidad en primaria, generada al momento de formación de la roca, y secundaria producida como resultado de procesos geológicos y tectónicos que afectan a dichos materiales después de su formación.

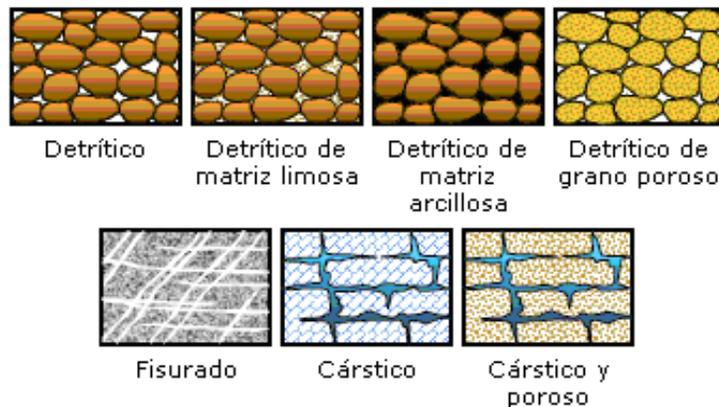


Imagen No. 5 Tipos de porosidad

Tipos de porosidad

La doble porosidad es un término que se refiere a la coexistencia, en un mismo material rocoso, de porosidad primaria y secundaria en cantidades significativas, lo que resulta en características hidráulicas peculiares, las cuales favorecen notablemente al movimiento del agua en el subsuelo.

MATERIALES	n (%)
Depósitos no consolidados	
Arcilla	40 - 70
Limo	35 - 50
Arena	25 - 50
Grava	25 - 40
Rocas	
Arenisca	5-20
Caliza	0- 20
Caliza kárstica	5-50
Lutita	5-10
Basalto Fracturado	5-50
Rocas cristalinas	0 - 5
Rocas cristalinas fracturadas	0 -10

Tabla No. 4 Establecen valores de porosidad para materiales no-consolidados y rocas. De los datos mostrados establecen que el valor de la porosidad es inversamente proporcional al tamaño de las partículas.

Las arenas, en general, tienen una porosidad inferior a la que se presenta en las arcillas, sin embargo forman verdaderos acuíferos, mientras que las arcillas dan lugar a acuitardos, esto es debido a la estructura molecular de estos materiales.

Permeabilidad

La permeabilidad es una de las propiedades hidráulicas de las formaciones rocosas, cuya relevancia en la Geo hidrología es importante, debido a que es la responsable fundamental, junto con el gradiente hidráulico, de la velocidad con que circula el agua en el subsuelo a través de las formaciones.

La permeabilidad es una propiedad que depende de factores inherentes al origen y Génesis de las rocas que forman los acuíferos, algunos de estos son:

- Tamaño y forma de los granos
- Distribución granulométrica
- Tamaño y forma de los poros
- Orientación y arreglo de la partículas
- Grado de compactación
- Nivel de cementación
- Densidad de fracturamiento
- Abertura de fracturamiento
- Nivel de descomposición química. etc.

En general se establece una relación directa entre el tamaño de las partículas y su permeabilidad, de tal forma que cuando menor es el tamaño de las partículas, menor es su permeabilidad debido a que su área de contacto con el agua es elevada y su resistencia al flujo es alta; por ello es que materiales de grano fino, por ejemplo arcillas, son poco permeables.

Generalmente la permeabilidad suele aumentar conforme aumenta el tamaño del grano de las formaciones, es por ello que una forma común de expresar la permeabilidad, es a través del tamaño medio de los materiales que constituyen las formaciones.

Ecuación No. 4 Coeficiente de permeabilidad (K)

$$K = Cd^2 \quad (4)$$

En donde:

K = Coeficiente de permeabilidad

C = Factor de forma

d = tamaño medio de los granos del acuífero

Es común medir la permeabilidad en Darcys (10^{-8} cm/s) o en unidades de velocidad (cm/s).

En rocas consolidadas o compactadas, la permeabilidad depende de la porosidad secundaria (tamaño de abertura), pero principalmente de la interconexión entre los espacios abiertos. La meteorización y el fracturamiento son aspectos fundamentales para incrementar la permeabilidad, ya se ha fragmentado la masa rocosa, ensamblando los espacios abiertos, etc.

Por lo anterior se puede concluir la estrecha relación que existe entre la porosidad y la permeabilidad, es decir, una permeabilidad elevada indica la existencia de una porosidad fuerte, aun cuando una porosidad alta no indica una buena permeabilidad. (Tabla 5)

MATERIAL	POROSIDAD (%)	PERMEABILIDAD (Darcys)
Arcilla	45	5×10^5
Arena	35	5×10^1
Grava	25	5×10^3
Grava y arena	20	5×10^2
Arenisca	15	5×10^0
Calizas y esquistos	5	5×10^{-2}
Cuarcita y Granito	1	5×10^{-4}

Tabla No. 5 Relación entre porosidad y permeabilidad

Conductividad hidráulica

Se conoce como conductividad hidráulica (K) a la cantidad de agua que circula a través de una sección de área unitaria normal al sentido del flujo, bajo un gradiente hidráulico unitario. El cociente de proporcionalidad K está inmerso en la ley de Darcy. Si en dicha ley se adopta que el gradiente hidráulico sea igual a uno ($i = 1$), entonces $V = k$, lo cual indica que la conductividad hidráulica es numérica y dimensionalmente igual a la velocidad de Darcy, cuando el gradiente hidráulico equivale a la unidad. De tal forma que K presenta unidades de velocidad y se expresa en unidades de longitud por unidad de tiempo (m/día, m/hr, m/s, cm/s, etc.).

La conductividad hidráulica es una propiedad que caracteriza cuantitativamente la permeabilidad de los acuíferos y depende de las Características del fluido y del medio poroso a través del cual circula, de tal forma, que algunas propiedades del fluido como peso específico, viscosidad Dinámica y temperatura, influyen en el valor de k , al igual que el tamaño medio de los espacios abiertos $n(D)$, estratificación, empaquetamiento, disposición de los granos, distribución de tamaño, etc. considerados a través del factor de la forma (C) y la porosidad. Así por ejemplo, en lo que respecta a variaciones en las propiedades físicas del agua, resulta que el agua salada circula con mayor velocidad que la dulce, por ser más densa y el agua caliente fluye más rápido que la fría, por ser menos viscosa. Es importante considerar estos factores sobre todo al relacionarlo con problemas de contaminación, principalmente en la migración de hidrocarburos pesados.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (m/día)
Materiales no consolidados	
arcilla	$10^{-3} - 10^{-8}$
Arcilla débilmente arenosa	$10^{-1} - 10^{-2}$
Arcilla arenosa	$10^{-1} - 1$
Arena arcillosa	0.5 - 1.0
Arena de grano fino	1 - 5
Arena de grano medio	5 - 15
Arena de grano grueso	15 - 50
Arena con grava	5 - 100
Grava	100 - 200
Arcilla Arena y grava mezcladas	$10^{-3} - 10^{-4}$
Rocas	
Arenisca	$10^{-3} - 1$
Roca carbonatada con porosidad secundaria	$10^{-2} - 1$
Lutita	10^{-7}
Rocas Sólidas	$< 10^{-5}$
Rocas fracturadas	3×10^2
Rocas volcánicas	10^3

Tabla No. 6 Valores aproximados de magnitud de la conductividad hidráulica en diversos materiales y rocas.

Transmisividad

La Transmisividad es una de las propiedades de mayor relevancia de los acuíferos, esta determina directamente el rendimiento de los aprovechamientos hidráulicos. A través de ella se puede calcular la cantidad de agua que puede proporcionar un acuífero por una sección de interés determinada o estimar el rendimiento probable de una captación.

En general, la capacidad transmisora de un acuífero se representa por medio del coeficiente de transmisividad y su valor es el resultado de multiplicar la conductividad hidráulica del acuífero y el espesor saturado con que cuenta.

Ecuación No. 5 Transmisividad

$$T = Kb$$

En donde:

T = Transmisividad del acuífero

K = conductividad hidráulica del acuífero

b = espesor saturado del acuífero

La Transmisividad se define como la cantidad de agua que circula a través de una sección vertical de un metro de anchura y de altura igual de espesor saturado del acuífero, afectado por un gradiente hidráulico cuyo valor es igual a 1.

La Transmisividad tiene dimensiones de longitud al cuadrado sobre tiempo y se expresa en $m^2/día$ o cm^2/s .

El valor de la T es uno de los resultados principales de las pruebas de bombeo, además puede estimarse por medio de la conductividad hidráulica del acuífero o deducida a través de trazadores aplicados en el acuífero.

Coeficiente de almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento es un concepto que determina la capacidad que tiene un acuífero, para almacenar o ceder agua, misma que depende de manera directa, tanto de las características físicas del agua, como de las condiciones petrofísicas hidráulicas del acuífero, y de las presiones a las que se encuentra sometida el agua (Presión intersticial o de poro) y las partículas granulares (presión intergranular o efectiva), que en general se considera constante, salvo que sean modificadas de manera artificial. Así por ejemplo, si el nivel de agua desciende, la presión intersticial disminuye y la intergranular aumenta y las moléculas del agua se expanden, provocando que la roca se comprima o compacte.

Al contrario si el nivel aumenta, la presión intersticial aumenta y la intergranular disminuye, provocando que las moléculas de agua se compriman y la roca se expanda. Por lo anterior, las rocas que forman un acuífero, ceden o retienen cierta cantidad de agua, según ascienda o descienda el nivel del agua subterránea.

El coeficiente de almacenamiento (S) se define como la cantidad de agua que libera (o toma) una columna del acuífero, de sección horizontal unitaria y altura igual a su espesor saturado, cuando la carga hidráulica desciende (o asciende) una unidad. Por lo anterior S, es un coeficiente adimensional.

El coeficiente de almacenamiento en acuíferos confinados, varía entre 10^{-2} y 10^{-5} , intervalo muy reducido y de los valores pequeños, debido a que la compresión afecta muy poco a los materiales que los forman y el volumen de agua es pequeño. Sin embargo cuando el acuífero es libre, una cantidad adicional de agua es cedida (o retenida) por el vaciado (o llenado) de los espacios abiertos, dicha cantidad está representada por el rendimiento específico del material que forma el acuífero libre. En general, se establece que el coeficiente de almacenamiento para acuíferos libres varía entre 5×10^{-2} y 3×10^{-1} , prácticamente equivalente al rendimiento específico de los mismos.

De lo anterior se infiere que un acuífero libre proporciona mucho más agua, por unidad de abatimiento, que un acuífero confinado, aun cuando ambos estén geológicamente compuestos por el mismo material que presenten dimensiones idénticas y por ello que la baja capacidad de almacenamiento de los acuíferos confinados, es una de sus principales desventajas.

Factor de goteo

Ecuación No. 6 Factor de goteo (B)

$$B = \sqrt{(Kb/\alpha Sy)}$$

En donde:

B = factor de goteo

K = conductividad hidráulica

b = espesor del acuífero libre a través de la cual se presenta el goteo

$1/\alpha$ = índice de retardo de Boulton (constante empírica)

S_y = coeficiente de almacenamiento del retardo.

El factor de goteo se presenta en acuíferos libres con gastos diferidos y puede ser comparable al factor de drenaje presente en los acuíferos semiconfinados. De esta forma un valor grande de B , indica la existencia de un drenaje rápido. Este parámetro tiene dimensiones de longitud y se expresa en metros.

Cuando B tiende al infinito, el gasto instantáneo es liberado del abatimiento del nivel freático al iniciarse el bombeo, fenómeno que indica de la existencia de un acuífero libre sin gasto diferido.

ECUACIONES DE FLUJO

Régimen permanente

El flujo en régimen permanente es independiente del tiempo. El medio a través del cual el agua se mueve al ser bombeada, no cambia con el tiempo. el flujo en régimen permanente se presenta, cuando el acuífero bombeado presenta recarga proveniente de fuentes externas, las cuales pueden ser la precipitación pluvial (lluvia), drenaje a través de los acuitardos, ya sea dentro o fuera de los acuíferos explotados o de cuerpos abiertos de agua con los cuales se tenga conexión hidráulica o se tenga contacto directo. En la práctica se dice que un flujo en régimen permanente es alcanzado, y los cambios en el nivel del agua en el pozo de bombeo y los piezómetros de observación son tan pequeños, conforme pasa el tiempo, como para no ser medibles, ni apreciables, de tal forma que pueden ignorarse. Conforme el bombeo continúa, el nivel del agua puede descender más adelante, no obstante el gradiente hidráulico inducido durante el resto del bombeo puede no cambiar. En otras palabras, el flujo hacia el pozo a alcanzar un régimen pseudopermanente.

En pozos perforados en acuíferos fracturados, el término flujo en régimen pseudopermanente es empleado para el flujo existente a nivel de Interporos, desde la matriz hacia las fracturas. Este flujo ocurre en respuesta a la diferencia de cargas

hidráulicas presentes en la matriz y las fracturas. Cuando la variación especial en el gradiente de recarga hidráulico en la matriz es ignorado, el flujo a través de las fracturas, es diferente hacia el pozo de bombeo, en radial y en régimen transitorio

Régimen transitorio

El régimen transitorio se presenta al momento de iniciar el bombeo, Hasta que el flujo del régimen permanente es alcanzado. Consecuentemente, si se tiene un acuífero de dimensiones infinitas, horizontal, completamente confinado, de espesor constante, al ser bombeado de forma constante, el flujo transitorio se mantendrá indefinidamente. En la práctica el flujo es considerado de régimen transitorio, mientras que se presenten y sean medibles cambios en el nivel del agua, tanto en el pozo de bombeo, como en los piezómetros de observación, o en otras palabras, en tanto que la variación del gradiente hidráulico sea apreciable y pueda ser medido.

METODOLOGÍA

Métodos de análisis para acuíferos libres

Aspectos generales

El bombeo dentro de un acuífero libre provoca una evacuación del agua y crea un cono de abatimiento del nivel freático. Conforme el bombeo continúa, el cono se expande y profundiza en el flujo hacia el pozo presentando componentes verticales cada vez más fuertes.

Algunas de las diferencias básicas entre un acuífero libre y un confinado cuando se someten a bombeo son:

Primero. Un acuífero confinado no se “vacía” durante el bombeo, más bien se mantiene saturado, aun cuando el bombeo crea una deformación en la superficie Piezométrica de cada forma descendente.

Segundo. El agua producida por un pozo en un acuífero confinado proviene de la expansión de ésta, dentro del acuífero, debido al cambio en el estado de esfuerzos en la región del acuífero.

Tercero. El flujo hacia el pozo en un acuífero confinado se debe a una fuerte componente horizontal, si el pozo es totalmente penetrante, es decir, la componente vertical de flujo es mínimo.

En un acuífero libre, el nivel del agua en los piezómetros cercanos a un pozo de bombeo se comporta de acuerdo a la ecuación de Theis.

El ajuste de curvas de Neumann es uno de los métodos que permite determinar las conductividades hidráulicas horizontal y vertical, coeficiente de almacenamiento y la capacidad específica del campo.

Bajo condiciones favorables y en ciertos intervalos de tiempo, los métodos empleados para acuíferos confinados, se pueden emplear en acuíferos libres, por ejemplo el método de Theis. El método de Thiem - Dupuit se emplea en acuíferos libres cuando el flujo en los pozos es transitorio.

Los métodos presentados para este trabajo cumplen las hipótesis siguientes:

- El acuífero es libre.
- Se considera de extensión infinita.
- El acuífero es homogéneo y de espesor uniforme, principalmente en el área de prueba.
- La superficie freática se encuentra de forma horizontal antes del bombeo.
- El acuífero es bombeado a caudal constante.
- El pozo es de penetración total.

En la práctica, el efecto de flujo en la zona saturada de un nivel freático de respuesta tardía, se considera despreciable.

Aún que se supone que por hipótesis un acuífero presenta un espesor uniforme, esta condición difícilmente es cierta. Un valor correcto en este sentido, tomando como base la dimensión del abatimiento en los pozos al bombear, es la aplicada por Jacob, quien propone una corrección en este sentido:

Ecuación No. 7 Descenso o abatimiento corregido

$$S' = S - (S^2/2D)$$

Donde:

S' = descenso o abatimiento corregido

S = descenso o abatimiento observado

D = Espesor saturado

Según Neuman, la corrección de Jacob es aplicable estrictamente para los periodos tardíos de descenso registrados en las pruebas, los cuales caen dentro de la curva de Theis.

Método de Neumann (Ajuste de curvas)

Generalidades.

Neuman desarrolló una teoría sobre la respuesta tardía del nivel freático al bombear un pozo, la cual se basa sobre parámetros físicos de Los Pozos en un acuífero libre.

Neuman considera el acuífero como un sistema comprensible y el nivel freático como un límite de dicho sistema, pero en movimiento. Reconoce la existencia de componentes de flujo en sentido vertical y establece que la solución del descenso del nivel es una función de la distancia (r). Matemáticamente. Neuman simuló la respuesta tardía del nivel freático, considerando el cociente de almacenamiento S_A y el factor de campo S_y como constantes.

Ecuación No. 8 Ecuación de Abatimiento de Neuman:

$$s = \left(\frac{Q}{4\pi kD} \right) W(u_A, u_B, \beta) \quad (8)$$

Para condiciones iniciales de tiempo de bombeo, la ecuación, 8 se reduce a la siguiente:

$$s = \left(\frac{Q}{4\pi kD} \right) W(u_A, \beta) \quad (8.1)$$

Donde:

$$u_A = r^2 S_A / 4kDt \quad (8.2)$$

S_A = volumen instantáneo de agua almacenada, liberada por unidad de superficie y por unidad de abatimiento.

Para condiciones avanzadas de tiempo, la ecuación 8 se reduce a la expresión 8.3

$$s = \left(\frac{Q}{4\pi kD} \right) W(u_B, \beta) \quad (8.3)$$

Donde:

$$u_B = r^2 S_Y / 4kDt \quad (8.4)$$

$$\beta = r^2 K_v / D^2 K_h \text{ (parámetro de Neuman)} \quad (8.5)$$

Donde:

K_v = conductividad hidráulica para el flujo vertical (m/día)

K_h = conductividad hidráulica para el flujo horizontal (m/día)

Para acuíferos isotrópicos $K_v = K_h$ y $\beta = r^2 / D^2$.

El método de ajuste de curvas de Neuman puede emplearse si se supone que las siguientes hipótesis son satisfechas:

- El acuífero puede ser isotrópico o anisotrópico.
- El flujo en dirección del pozo es transitorio.
- La influencia de la zona no-saturada sobre el abatimiento es despreciable.
- $S_Y / S_A > 10$
- Los Pozos de bombeo y observación son de penetración total.
- El diámetro de Los pozos de observación y de bombeo se consideran pequeños.

Procedimiento

- Se elabora la familia de curvas de Neuman graficando sobre el papel logarítmico $W(u_A, u_B, \beta)$ vs $1/u_A$ y $1/u_B$ para intervalos prácticos de valores de β . En la parte izquierda se forman las curvas tipo A [$W(u_A, \beta)$ vs $1/u_A$] y en la porción derecha de las curvas tipo B [$W(u_B, \beta)$ vs $1/u_B$]
- En otro papel logarítmico se forma una curva con los datos observados en la misma escala, graficando los valores de abatimiento (s) y sus correspondientes tiempos (t), para cada pozo de observación, una distancia determinada (r) del pozo de bombeo.

- Se comparan la parte de la Gráfica que contiene los datos iniciales del bombeo con alguna de las curvas tipo A. se anota un valor β seleccionando la curva tipo A.
- Se selecciona un punto arbitrario (A) sobre la porción traslapada de las dos gráficas y se anotan los valores de s , t , $1/u_A$ y $W(u_A, \beta)$ para este punto.
- Se sustituyen estos valores en las ecuaciones 8.1 y 8.2 y conociendo Q y r , se calcula D y S_A . Se traslapa el dato observado en la curva hasta que alcance la curva de datos observados en su tramo tardío y caiga sobre una curva tipo B con el mismo valor de β , seleccionando en las curvas tipo A.
- Se traslada el dato observado en la curva hasta que alcance la curva de datos observados en su tramo tardío y caída sobre una curva de tipo B con el mismo valor de β , seleccionado en las curvas tipo A.
- Selecciona un punto arbitrario B en la sobreimposición de gráficas y se anotan los valores de s , t , $1/u_B$, y $W(u_B, \beta)$ para este punto.
- Se substituyen los datos anteriores en las ecuaciones 8.3 y 8.4, y conociendo Q y r , se calcula $K_h D$ y S_y los dos calculados deben proporcionar valores aproximadamente iguales de $K_h D$.
- A partir de $K_h D$ y del valor inicial conocido del espesor saturado del acuífero (D), se calcula el valor de K_h .
- Se substituyen los valores numéricos de K_h , β , D y r en la ecuación 8.5, y se calcula K_v
- Se repite el procedimiento con los datos de abatimiento observados en el pozo que puede ser válido. Los resultados calculados deben ser aproximadamente iguales.

Observaciones

Teóricamente, los efectos del almacenamiento y vaciado del agua se incrementan con el tiempo, de tal forma que el almacenamiento final es igual a $S_A + S_Y$. Sin embargo, en situaciones en donde el efecto de respuesta tardía del nivel freático

responde de forma clara. Se pueden despreciar $S_A < S_Y$ y la influencia S_A en periodo de tiempo prolongados.

Pruebas de aforo y bombeo

Las pruebas experimentales y prácticas que se realizan a los pozos como aprovechamientos hidráulicos son dos:

Prueba de aforo

Prueba de bombeo

Las pruebas anteriores se llevan a cabo en el orden mencionado, aun cuando no necesariamente de manera consecutiva, ya que en algunos pozos sólo se realiza la primera, esto sin duda debido a que la prueba de aforo es una operación que se debe realizar para determinar el caudal óptimo y niveles de operación de los pozos.

La prueba de bombeo se realiza sólo con fines de investigación, cuando se requiere determinar propiedades hidráulicas de los acuíferos.

Cada una de las pruebas tiene una finalidad y de ellas pueden obtenerse datos acerca de las características hidráulicas de funcionamiento de los pozos y del acuífero que explotan.

Las pruebas de bombeo son las más complicadas de ejecutar, principalmente por los requerimientos técnicos y materiales necesarios para realizarlas. Con una prueba de bombeo, también llamada prueba de acuífero, puede obtenerse información que permite determinar los siguientes aspectos:

- Transmisividad del acuífero.
- Coeficiente de almacenamiento.
- Características del acuífero (semi-confinamiento, recarga, drenaje diferido).
- Presencia y situación de límites (barreras impermeables, fallas, líneas de recarga, etc.)
- Geometría y características hidrodinámicas del sistema acuífero.
- Con una prueba de aforo, también denominada prueba de Pozo, se puede obtener la siguiente información:

- Determinación de la transitividad puntual en el entorno de pozo y su gasto crítico.
- Pérdidas de carga coma tanto en el pozo como en el acuífero.
- Abatimiento del nivel estático en función del gasto.
- Eficiencia del pozo.
- Gasto óptimo de explotación del pozo.

El objetivo de realizar estas pruebas es llegar a conocer adecuadamente el funcionamiento de los pozos del acuífero, con el fin de explotar a este último adecuadamente. Dicha explotación puede examinarse a partir de dos puntos de vista.

Objetivos de Pruebas de bombeo

Objetivo General:

Punto de vista a nivel regional, interesa saber dónde y cuánta agua es posible extraer de un acuífero y cuáles son las consecuencias de esta explotación; para saber lo anterior, se emplean las pruebas de bombeo.

Objetivo Particular:

Interesa saber cuáles son las mejores condiciones de explotación de un pozo. Para saberlo, es necesaria información específica concerniente a su aprovechamiento, la cual sólo puede obtenerse a través de una prueba de aforo.

La prueba de aforo es la principal herramienta disponible para el estudio del comportamiento de los pozos, así como la predicción de caudales, tanto crítico como recomendable, y obtención de valores preliminares representativos de las características de los acuíferos, de esta forma, las pruebas de aforo permiten conocer las características de un pozo y parcialmente el comportamiento hidráulico del acuífero, en la zona inmediata al pozo, estas pruebas representan un complemento a las pruebas de bombeo.

El objetivo esencial consiste en construir experimentalmente, mediante métodos gráficos, La curva características del aprovechamiento. Aun cuando las pruebas de aforo no son costosas, requieren de una correcta planificación para no cometer errores lamentables que después impidan una adecuada interpretación.

Para el caso específico de este estudio se interpretó una prueba de bombeo general con sus respectivas pruebas de aforo específicas del punto en observación.

El objetivo esencial de las pruebas de bombeo es la construcción experimental; de las curvas características de los pozos, estas adoptan formas rectilíneas y parabólicas y son solución empírica de la fórmula de Dupuit, para diferentes casos.

Esta práctica mecánica hidráulica debe cumplir con esquematizar a través de una gráfica el flujo de agua hacia los pozos.

- Establece un régimen del equilibrio del cono de abatimiento.
- El agua y la roca son incompresibles.
- Las superficies equipotenciales del flujo son planas, lo que significa que la velocidad horizontal del agua es constante sobre una misma vertical.
- La ecuación de Darcy es válida, lo que significa que la velocidad es proporcional al gradiente hidráulico.
- La componente vertical de la velocidad es despreciable en comparación con la Componente horizontal.
- El medio es homogéneo e isotrópico.
- El radio de influencia del pozo es constante en el tiempo.

A continuación se describen los desarrollos teóricos de la ecuación para obtener las curvas características.

En el caso de nuestro estudio

Partiendo de la ecuación de Darcy se tiene lo siguiente;

$$Q = KIS \quad (1.1)$$

Donde:

$Q = \text{Gasto (m}^3/\text{día)}$

$K = \text{Conductividad Hidráulica}$

$I = dy/dx \text{ (gradiente hidráulico)}$

$S = 2\pi xy \text{ (superficie)}$

Ecuación N0. 9 Acuífero libre:

Resulta

$$Q = K (dy/dx) 2\pi xy \quad (9.1)$$

Despejando

$$Q (dx/x) = K dy 2\pi y \quad (9.2)$$

Integrando

$$Q \ln x = \pi K y^2 + \text{cte} \quad (9.3)$$

Sustituyendo x e y de la ecuación 9.1, por r , R , h y H

$$Q \ln r = \pi K h^2 + \text{cte} \quad (9.4)$$

$$Q \ln R = \pi K H^2 + \text{cte} \quad (9.5)$$

Despejando e igualando las ecuaciones 9.4 y 9.5, resulta

$$Q \ln r - \pi K h^2 = Q \ln R - \pi K H^2 \quad (9.6)$$

Agrupando términos similares

$$Q \ln R/r = \pi K (H^2 - h^2) \quad (9.7)$$

Despejando Q se obtiene

$$Q = \pi K (H^2 - h^2) 1 (\ln R/r) \quad (9.8)$$

En donde

$$(H^2 - h^2) = (H - h) (H + h) \quad (9.9)$$

Si $\Delta = H-h$; o sea $h = H - \Delta$

Sustituyendo, resulta

$$H - (H - \Delta) [H + (H - \Delta)] = \Delta (2H - \Delta) \quad (9.10)$$

Sustituyendo la ecuación 9.10 en la 9.8

$$Q = \pi K [\Delta (2H - \Delta)] 1 (\ln R/r) \quad (9.11)$$

Si además se tiene que

$$\pi K_1 (\ln R/r) = 1.366 K_1 (\log R/r) = C \quad (9.12)$$

Al sustituir la ecuación 9.12 en la 9.11, resulta

$$Q = C \Delta (2H - \Delta) \quad (9.13)$$

Es decir

$$Q = -C \Delta^2 + C \Delta 2H \quad (9.14)$$

Ecuación cuya forma general es:

$$Y = a X^2 - a b x \quad (9.15)$$

La ecuación corresponde a una función parabólica de segundo grado, que puede ser resuelta por el método gráfico, al construir experimentalmente la curva característica caudal abatimiento, con los datos obtenidos de las pruebas de bombeo

Para realizar las pruebas se deben emplear bombas que permitan variar el caudal de extracción, las impulsadas por motores de combustión interna, son las más utilizadas, en especial las de acopio directo, no obstante que en ocasiones sufren derivas en el número de revoluciones, principalmente producto de cambios en las condiciones externas, por ello se deben vigilar que existan facilidades para su instalación.

Ejecución de las pruebas

En general se consideran dos tipos de pruebas de aforo, Prueba de Aforo o Caudal Escalonado Discontinuo y Prueba de Aforo Caudal Escalonado Continuo, cada una se aplica de acuerdo a las condiciones en cada Pozo. Si durante el desarrollo de un pozo, se registró que el tiempo de recuperación del nivel estático del agua subterránea es el mismo orden que el tiempo de bombeo, la prueba a aplicar es discontinua; En caso que dicha recuperación sea de un orden mayor, entonces efectúa una prueba escalonada continúa.

Prueba de aforo a caudal escalonado discontinuo.

Con los datos obtenidos durante el desarrollo del pozo se determina el caudal mínimo posible (Q_{min}), de acuerdo a la capacidad de la bomba y el caudal máximo

(Q_{max}); se establecen cuando menos cuatro caudales de prueba distintos, tan diferentes como sea posible dentro del ámbito $Q_{min} - Q_{max}$. Conviene que los caudales o escalones, no sean muy próximos, ni tampoco muy separados. La distribución de caudales en progresión geométrica es una buena práctica, es conveniente establecer los de forma que el último escalón se ubique cercano al cabo al máximo alcanzado en la etapa de desarrollo o incluso por encima de este.

Los caudales a pesar de ser crecientes de manera escalonada, son constantes en cada intervalo del tiempo. Antes de iniciar un nuevo escalón, se debe permitir que el nivel estático del agua se recupere por lo menos en un 90%. En ocasiones no es necesario que la duración de los escalones sea igual en tiempo, debido a que la estabilidad se puede lograr en momentos diferentes para caudales distintos. Este tipo de prueba es muy larga por las esperas en la recuperación.

Se tabulan los valores del caudal (Q), abatimiento (S) y caudal específico (Q/S), correspondientes a cada uno de los escalones de prueba, resultado de graficar las lecturas de abatimiento del nivel del agua y caudal de extracción. Con los valores representativos de los escalones de prueba, se elaboran las gráficas caudales contra abatimiento y caudal específico contra abatimiento, ambas se realizan en el campo.

Se identifican las posibles anomalías presentes durante la ejecución de la prueba, de acuerdo al comportamiento de las curvas gráficas, determinando el origen en la variación, posibles fuentes de error o establecimiento de un desarrollo de pozo defectuoso.

Se determina el caudal crítico del pozo (Q_c) por inspección de la curva caudal contra abatimiento.

Gráfica principalmente para acuíferos libres.

Se ubica el caudal recomendable del pozo (Q_r), entre el 75% y 80% del caudal crítico obtenido.

Gráfica de una Prueba de Aforo a Caudal Escalonado Discontinuo

Prueba de aforo a Caudal Escalonado Continuo

Esta prueba es más rápida en su ejecución en comparación con lo anterior, debido a que al transcurrir cada periodo de observación, el bombeo no se suspende en espera de que el nivel estático se recupere, sino que se incrementa el caudal de bombeo al escalón siguiente.

Los pasos generales a seguir en este tipo de prueba son los siguientes.

Determina el gasto mínimo y Máximo a partir de la capacidad de la bomba, de la respuesta del acuífero y los valores aplicados durante el desarrollo del pozo. Al igual que en la prueba anterior, se establecen cuando menos cuatro caudales de prueba dentro del $Q_{\min} - Q_{\max}$. Los caudales deben estar a intervalos bien diferenciados, quedando el último escalón alrededor del caudal máximo alcanzando en la etapa de desarrollo o incluso por encima de éste.

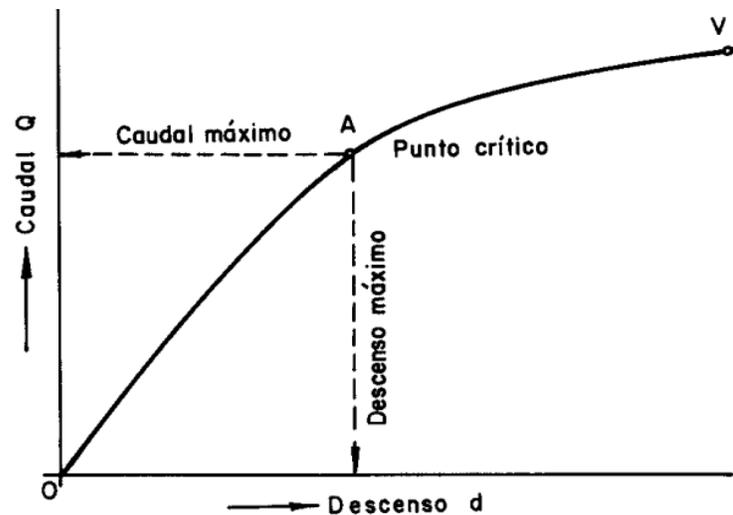
Cada uno de los caudales seleccionamos se aplica de manera constante hasta que el nivel M acuífero se estabilice, posteriormente a este, se incrementa al segundo caudal, hasta que el nivel dinámico vuelva a estabilizarse y así hasta cubrir los caudales o escalones predeterminados. Se recomienda Probar con tantos caudales distintos como sea posible, considerando que deben estar bien diferenciados.

Se tabulan los valores del caudal (Q), abatimiento (S) y caudal específico (Q/S) de cada uno de los escalones probados y son datos de las gráficas elaboradas para cada escalón, tomadas de las lecturas de abatimiento, nivel de agua y caudal de extracción. Con los valores representativos de cada escalón de prueba (Q , s y Q/S), se elaboran las gráficas caudales contra abatimiento y caudal específico contra abatimiento. La elaboración de estas gráficas se realiza en el sitio de prueba.

Se identifican las posibles anomalías durante la ejecución de la prueba, por la inspección de las gráficas, estableciendo las fuentes de error.

Se obtiene en el caudal crítico del pozo (Q_c) por inspección de la gráfica caudal contra abatimiento, localizado en el punto de máxima curvatura de la gráfica (principalmente en acuíferos libres).

Se ubica el caudal recomendable (Q_r), entre el 75% y el 80% del caudal crítico obtenido.



Gráfica No. 1 curva (d o abatimiento-Q). Caudal máximo y punto crítico

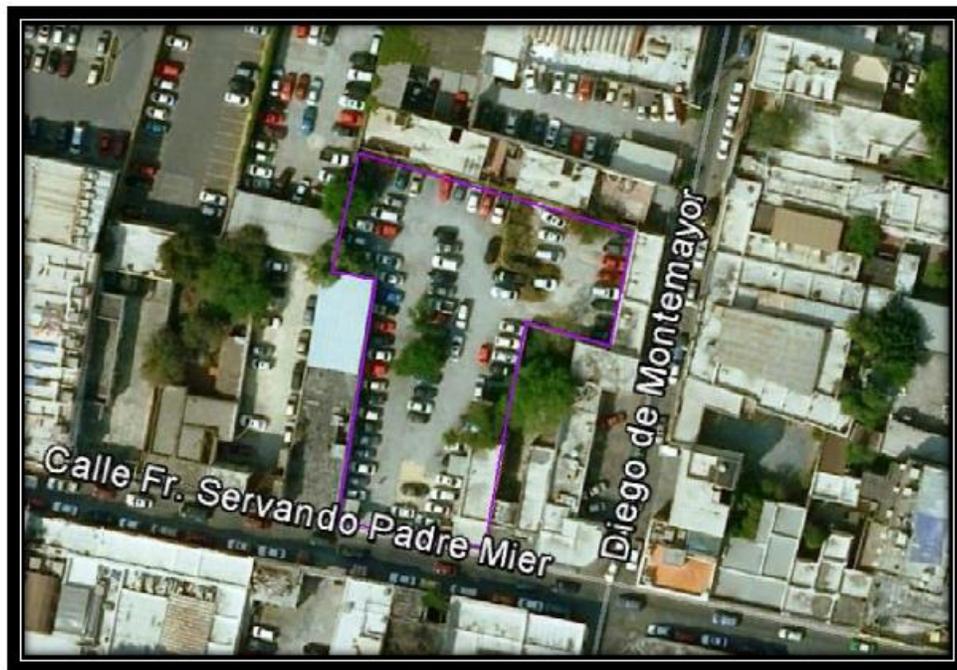


Imagen No. 6 Localización del área de investigación Metrorrey, prueba de bombeo.

OCURRENCIA Y PROSPECCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

Brinkmann (1964) La cantidad de agua subterránea depende de la cantidad de poros y grietas que existan en el material almacenante, porcentaje de poros y grietas.

Material	Volúmenes de los poros %	Volúmenes de las grietas
Arena y grava	25-40	-----
Arenisca porosa	10-20	-----
Arenisca compacta, caliza	1-5	0.5-1.0
Granito	0.5-1.0	0.5-1.0

Tabla No. 7 Volumen de poros y grietas en diferentes materiales

Bowen (1980). Los espacios entre las rocas y materiales pueden ser muy variados. Dependiendo de la amplitud y constitución de estos espacios tenemos 2 grupos de rocas.

- 1.- Conductoras de agua subterránea. Tienen muchos poros y grietas, que pueden absorber grandes cantidades de agua para luego dejarlas fluir con rapidez
- 2.- Acumuladoras de agua subterránea, apenas si están rotas, lo que las hacen que no las dejen correr el agua y la almacenen

Kazmann (1975). Todo material que proporcione agua en cantidad hasta cierto grado se le considera un Acuífero. Y su recarga es base para su clasificación, ya que depende de si se alimenta de la precipitación o de la infiltración desde una corriente o un lago.

La mayoría de los acuíferos se encuentran emplazados en materiales no consolidados, principalmente rocas y arenas dichas formaciones no consolidadas son las más productivas. Estas consisten en arenas limpias y gruesas, mientras más gruesas, mas es la productividad del acuífero.

Medición del caudal de aforo

En las pruebas de bombeo se debe disponer de un sistema que permita medir el caudal bombeado y apreciar sus variaciones. En general, son preferibles los sistemas continuos de medición del caudal; los mejores son los vertedores rectangulares, cuando se desean medir caudales grandes y los vertedores triangulares cuando los caudales son pequeños. Existen vertedores portátiles que pueden ser instalados en el lugar que se necesite.

Un sistema de medición discontinuo, o quizás el más utilizados por ser práctico, es el basado en el tiempo de llenado de un recipiente de capacidad conocida. El recipiente debe tardarse en llenar más de 10 segundos a fin de tener precisión en las mediciones.

Medición del nivel de agua

Para medición de los niveles de agua subterránea, deben emplearse dispositivos que permitan medir los niveles con error menor de 1 centímetro y en ocasiones menor que 0.2 centímetros. Los dispositivos de medida de niveles recomendados son los que no sólo permiten medir con precisión los descensos, sino también con rapidez.

Entre los dispositivos manuales, los más cómodos son las sondas (medidores) eléctricas, tanto de un hilo como de 2. Los medidores por golpeteo sobre la superficie del agua pueden ser útiles si la persona que lo maneja es hábil. Sin embargo no son útiles en los pozos aforados, debido al ruido de la bomba.

Curva característica del pozo

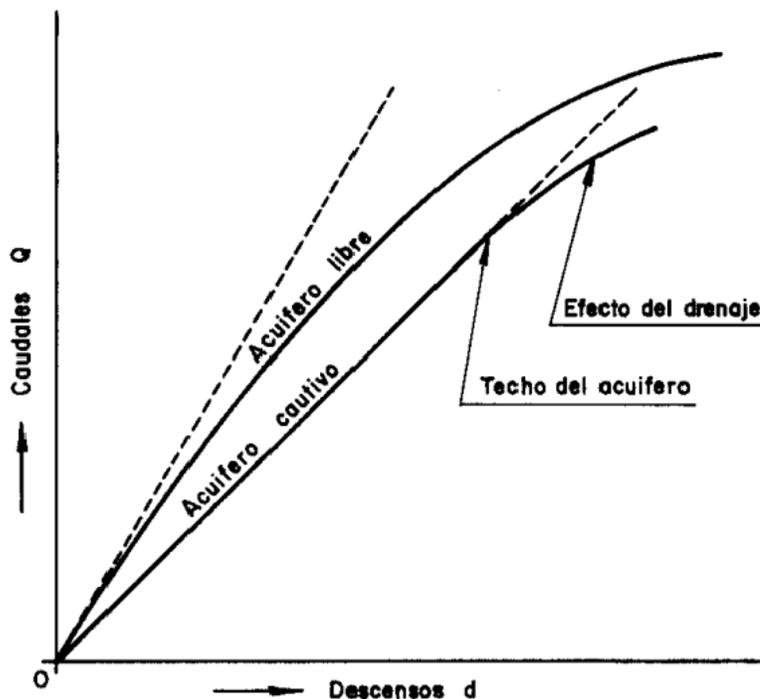
Uno de los resultados fundamentales de las pruebas de aforo, es la obtención de datos para elaborar la curva característica del aprovechamiento; está resulta de la relación gráfica existente entre el caudal y el descenso medido en el nivel de agua

subterránea en el pozo de prueba. También reciben este nombre las relaciones gráficas entre los caudales específicos y el ambiente para cada uno.

Se trata de curvas que caracterizan una captación determinada, siempre y cuando los niveles regionales de agua subterránea o el coeficiente de almacenamiento no sufran variaciones importantes.

Tipo de acuífero y curvas características

El acuífero es libre, el abatimiento del nivel ocasiona una disminución de transmisividad y por lo tanto el ritmo de crecimiento del descenso es mayor que el del caudal. El comportamiento de esta curva corresponde a una parábola de segundo grado que pasa por el origen, del eje paralelo al eje de caudales



Gráfica No. 2 Curvas características teóricas (d - Q). Para acuíferos funcionando como libres y cautivos.

Aunque la inspección visual de las curvas características proporciona una importante y rápida información sobre las características de los pozos, es preciso obrar con prudencia al momento de interpretadas.

La interpretación de los datos de una prueba de aforo y Bombeo. Por ende de una curva característica, debe ser hecha por un especialista con suficientes conocimientos de hidráulica subterránea, que conozca la estructura geológica del acuífero y los detalles sobre la realización del ensayo.

DESARROLLO DEL TRABAJO

Una interpretación realizada con base en una serie de recetas o por una persona con escasos conocimientos o que no preste atención a las peculiaridades y aparentes anomalías, puede conducir a Valoraciones poco realistas.

Sondeos de exploración Fisiográfica de la Universidad Autónoma de Nuevo León en el área de estudio. De acuerdo a Villarreal Reyna (2013).

Ubicación	Sondeo Número	Profundidad en Mts.	Espesor	Material
Calle padre Mier entre las calles de Dr. Jose Ma Coss y Diego de Montemayor	Sondeo 1	20.20	0.8	Grava cementada
		21.0	5.6	Grava cementada con Boleos aislados
Calle padre Mier entre las calles. Francisco Mina y Francisco Naranjo	Sondeo 2	13.0	1.70	Grava Parcialmente cementada
Calle padre Mier entre las calles. Diego Montemayor y francisco Mina	Sondeo 3	13.85 15.30 16.20	1.45 0.90 0.90	Grava parcialmente cem. Grava parcialmente cem. Con boleos Grava parcialmente cem

Tabla No. 8 sondeos de exploración fisiográfica del área de estudio.

Sondeo	Prueba Número	Profundidad de ensaye Mts	Módulo Presiómetro Kg/Cm ²	Tipo de Material
SPM-1	1	2.70	59.70	Arcilla limosa café claro
SPM-1	2	7.50	192.83	Arcilla de baja Plasticidad café
SPM-1	3	12.50	154.89	Arena arcillo-Limosa café con grava
SPM-1	4	17.50	160.38	Grava arcillo-Limosa café con arena
SPM-2	1	2.30	123.43	Arcilla de baja Plasticidad
SPM-2	2	4.50	157.55	Arcilla Limosa
SPM-2	3	9.60	138.89	Arcilla de baja Plasticidad
SPM-2	4	13.80	212.92	Grava Arcillosa
SPM-2	5	16.0	275.58	Grava Arcillosa
SPM-3	3	6.20	129.59	Arena Bien graduada con limo gris y grava
SPM-3	4	8.0	139.99	Grava limosa con arena
SPM-3	5	12.20	326.92	Grava mal graduada con limo café y arena
SPM-3	6	15.0	357.64	Almendrilla arcillosa

Tabla No. 9 Prueba de presión de Menard (SPM). Departamento de geotecnia, facultad de ingeniería civil.

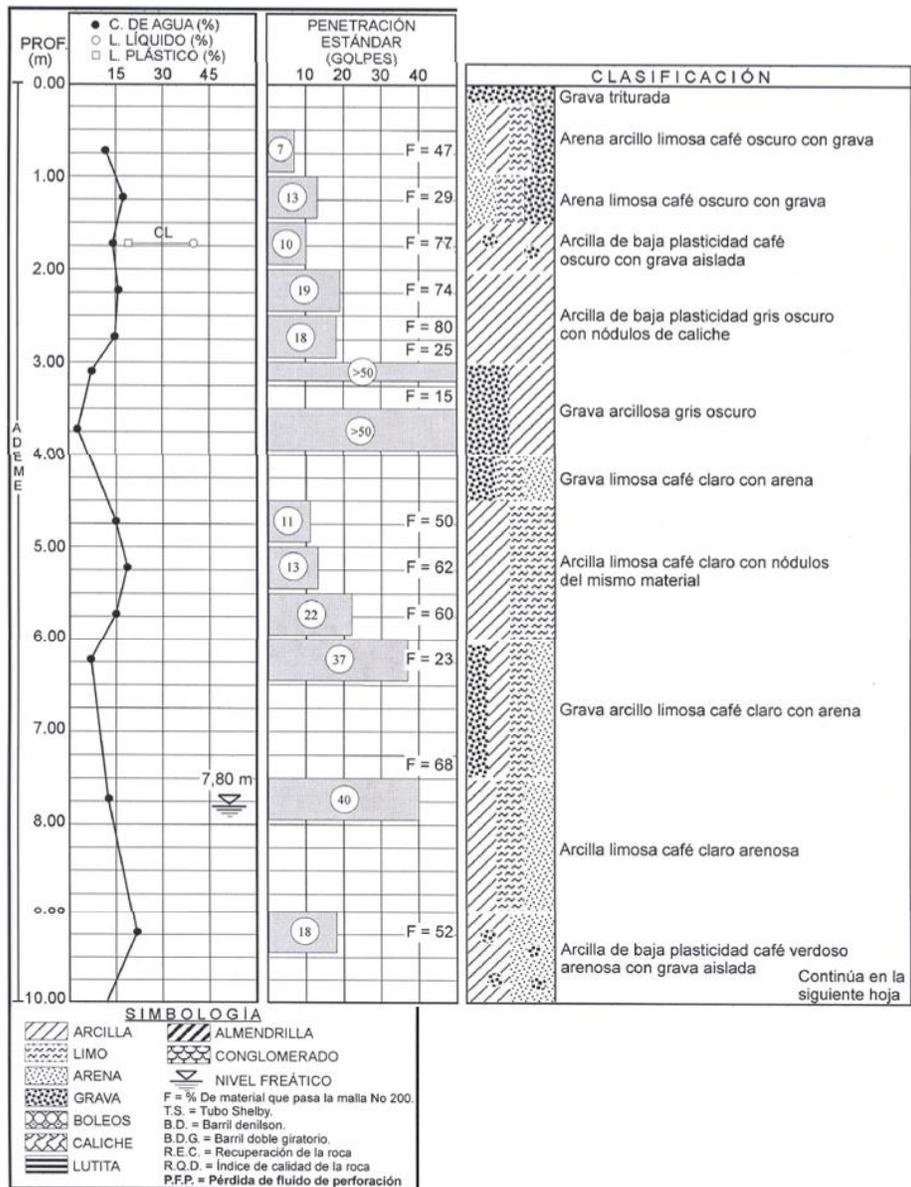
RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Basados en la hipótesis original

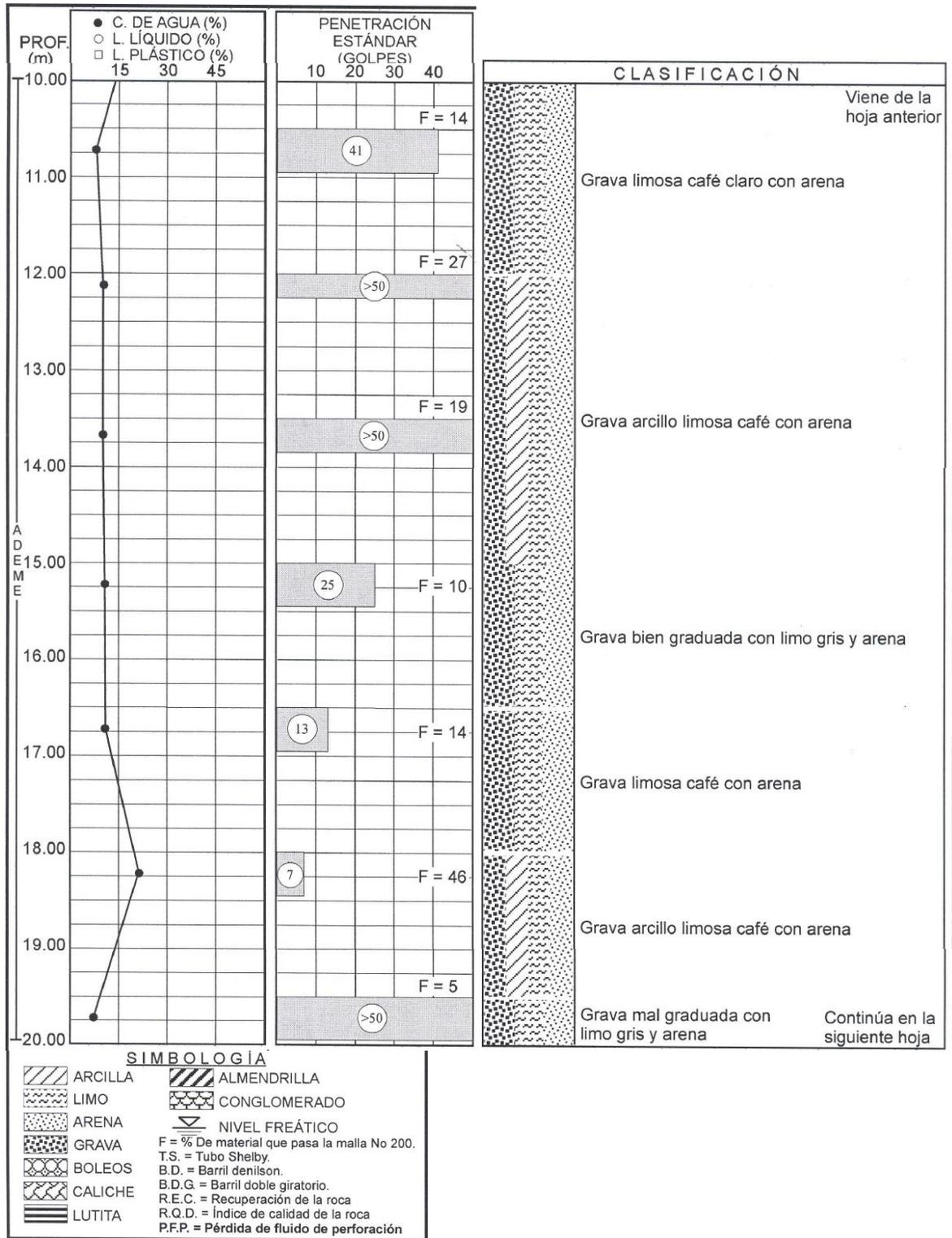
A.- El bombeo inducido por las obras del metro línea 3 (Metrorrey 3) con el objetivo de abatimiento del nivel dinámico en acuífero metropolitano número 1906, repercutió con la misma intensidad a los pozos de la Macro plaza y de todo el centro de Monterrey ya que se encuentran muy cerca y no se logra definir su pendiente de abatimiento, mostrando la hipótesis del ing. Vargas de ser un acuífero superficial y presentar un abatimiento frontal, donde casi no se define su cono.

B.- Es un acuífero libre en medio granular (detríticos) Ya que los Acuíferos Detríticos son aquellos en los que el agua circula a través de los poros (huecos) que existen entre los granos de un volumen de arena y grava.

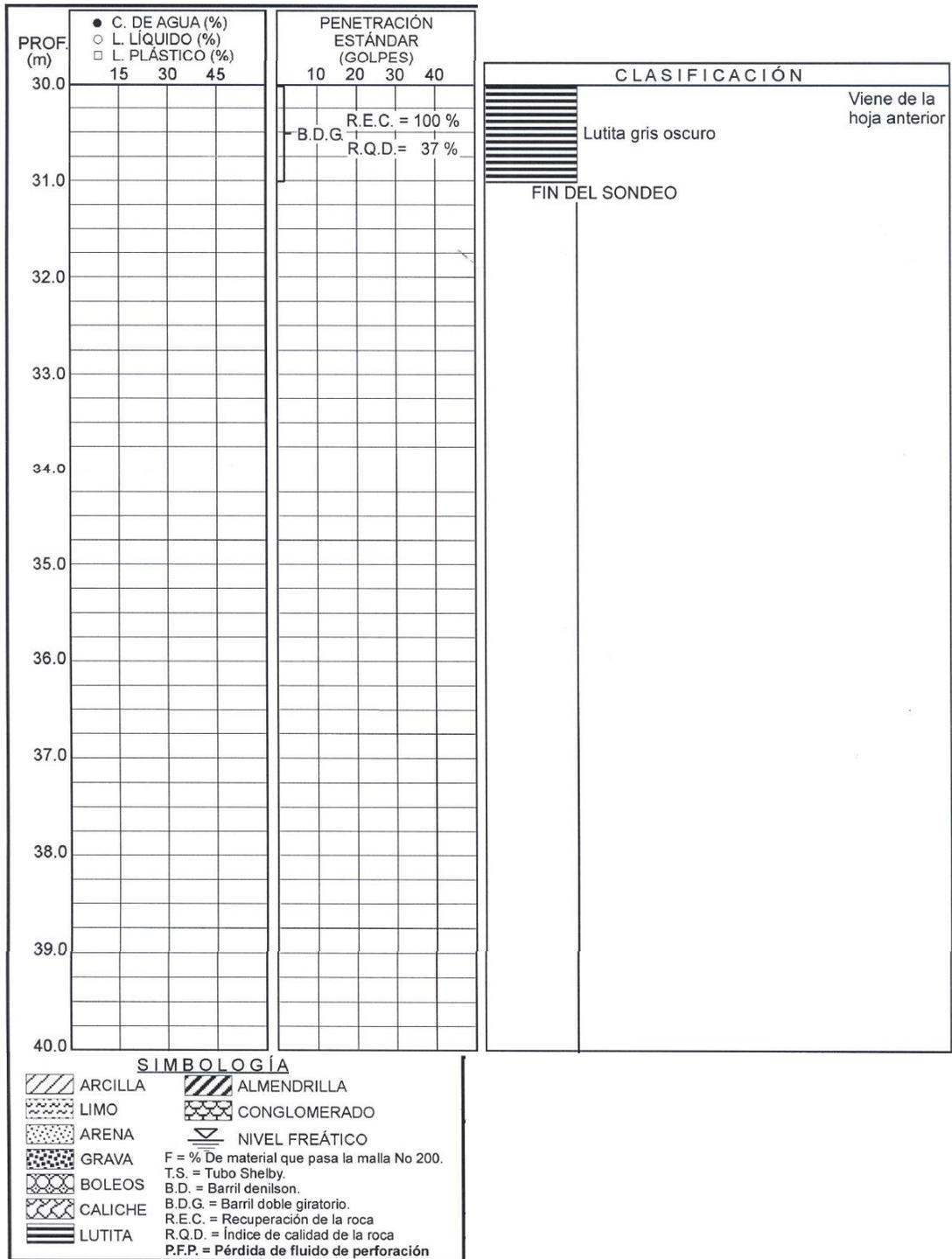
Este tipo de acuíferos son característicos en zonas cercanas a montañas compuestas por granitos y rocas similares. Como los acarrees de aluviones en la ciudad de Monterrey, como lo muestra el análisis granulométrico de los sondeos (solo se muestra el sondeo No. 1, para observar los sondeos restantes ir a anexos pagina 75 a 99



Sondeo No. 1 **Coordenadas UTM:** 368760.723 m E, 2839519.826 m N
Domicilio: Av. Fr Servando Teresa de Mier entre calles Dr. José Ma. Coss y Diego de Montemayor Nuevo León.
Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.
Departamento de Geotecnia



Sondeo No. 1 **Coordenadas UTM:** 368760.723 m E, 2839519.826 m N
Domicilio: Av. Fr Servando Teresa de Mier entre calles Dr. José Ma. Coss y Diego de Montemayor Nuevo León.
Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.
Departamento de Geotecnia



Sondeo No. 1

Coordenadas UTM: 368760.723 m E, 2839519.826 m N

Domicilio: Av. Fr Servando Teresa de Mier entre calles Dr. José Ma. Coss y Diego de Montemayor Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Departamento de Geotecnia

C.- Está montado en una terraza aluvial o plataforma como lo muestra la tabla página 68 de la resistencia de los monitoreos de profundidad, especialmente lutitas que genera que el escurrimiento, recarga sea horizontal. (Solo se muestra la tabla No. 1, para observar tablas restantes ir a anexos página 100 a 109

Profundidad	Fecha	Clave de Muestra	Descripción	Fotografías de muestras	
1	03-02-2013	PB1-M1	Material de relleno		
2	04-02-2013	PB1-M2	Grava calcárea en matriz limo arcillosa		
3	04-02-2013	PB1-M3			
4	04-02-2013	PB1-M4	Arcillas con fragmentos calcáreos		
5	05-02-2013	PB1-M5			
6	05-02-2013	PB1-M6			
7	05-02-2013	PB1-M7			
8	05-02-2013	PB1-M8			
9	05-02-2013	PB1-M9	Arcilla		
10	05-02-2013	PB1-M10			
11	06-02-2013	PB1-M11	Grava calcárea en matriz limosa		
12	06-02-2013	PB2-M12			
13	06-02-2013	PB1-M13			
14	06-02-2013	PB1-M14			
15	06-02-2013	PB1-M15			
16	07-02-2013	PB1-M16	Grava calcárea arenosa		
17	07-02-2013	PB1-M17			
18	07-02-2013	PB1-M18	Grava calcárea subredondeada en matriz limo arcillosa		
19	07-02-2013	PB1-M19			
20	07-02-2013	PB1-M20			

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA.

INFORME DE RESULTADOS DEL ESFUERZO A COMPRESION AXIAL EN NUCLEOS DE ROCA.

DIRECCION: Av. Churubusco No. 495. Colonia Fierro.
Monterrey Nuevo León.

FECHA: 2013/03/15

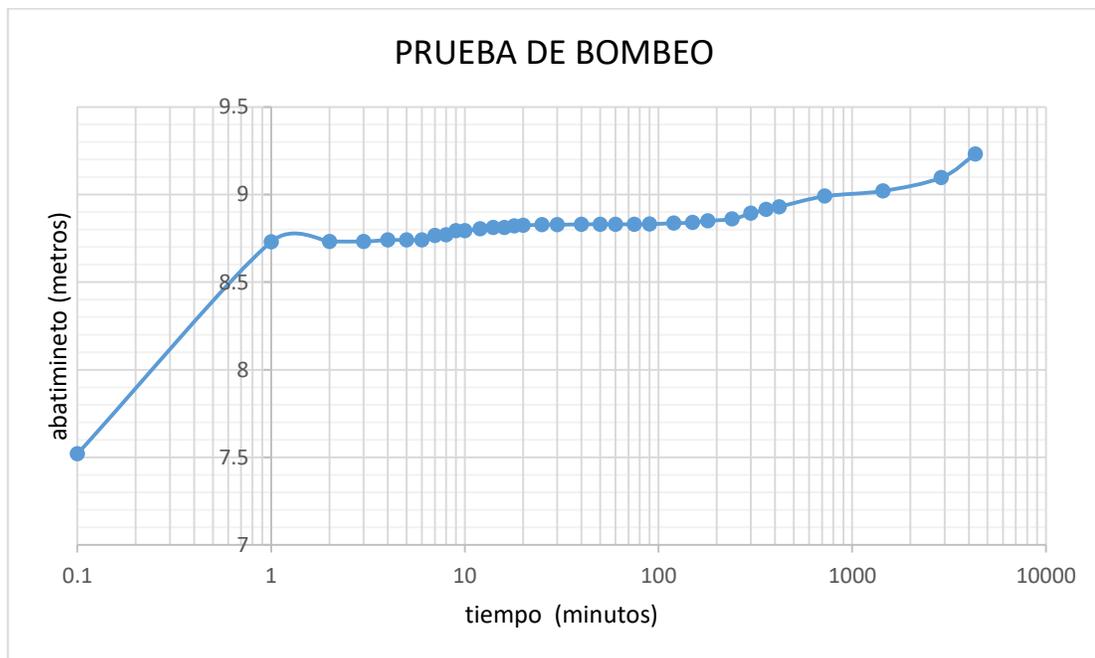
Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Tabla No: 1

Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad D, = (m)	Diámetro \varnothing = (cm)	Altura h = (cm)	Masa w = (gr)	Carga Ultima P = (kg)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa Vol. ρ_m = (kg/m ³)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
1	23	30.00-31.00	5.17	10.46	558.3	850	21.0	219.6	2,542.5	40.5	3.97
1	23	30.00-31.00	5.17	40.51	532.1	900	21.0	850.4	626	42.9	4.20
2	16	22.50-24.00	5.19	10.05	531.0	250	21.2	212.6	2,497.5	11.8	1.16
2	16	22.50-24.00	5.18	10.46	553.0	600	21.1	220.4	2,508.7	28.5	2.79
2	16	22.50-24.00	5.19	10.76	566.2	310	21.2	227.6	2,487.3	14.7	1.44
3	21	24.00-25.00	5.15	10.26	515.0	750	20.8	213.7	2,409.7	36.0	3.53
3	21	24.00-25.00	5.18	10.19	523.0	650	21.1	214.7	2,435.4	30.8	3.02
3	21	24.00-25.00	5.15	10.15	589.0	1,100	20.8	211.4	2,785.8	52.8	5.18

D.- De la prueba de aforo se desprende que es un acuífero superficial dado a la pendiente de la curva en un aforo escalonado.

(Solo se muestra la gráfica, para observar tablas de valores ir a anexos, pagina No. 110 y 111



Grafica No. 3 Prueba de bombeo previo a la construcción de túnel de la obra Metrorrey 3.

Para observar los cálculos de los incisos E, I, J. ir a anexos página 112 y 114

E.- De la prueba de bombeo se desprende que tiene un Coeficiente de almacenamiento (s) de 2.8×10^{-1}

F.- El caudal específico de la prueba (Lps/) fue de 112.9

G.- Que el radio de influencia de la prueba fue de 27.54 mts

H.- La conductividad Hidráulica o Permeabilidad fue de 3.66×10^{-3} cm/seg

I.- El Coeficiente de permeabilidad fue de 3.25×10^{-3} cm/seg.

J.- Presento un flujo de agua subterránea inducido por una carga del gradiente Hidráulico local o regional con un sentido del flujo Suroeste-Noreste, tal como lo comprueba los piezómetros del centro de la plaza de monterrey, (Zaragoza y Padre Mier, Los condominios, El Seven, El rio Santa Catarina)

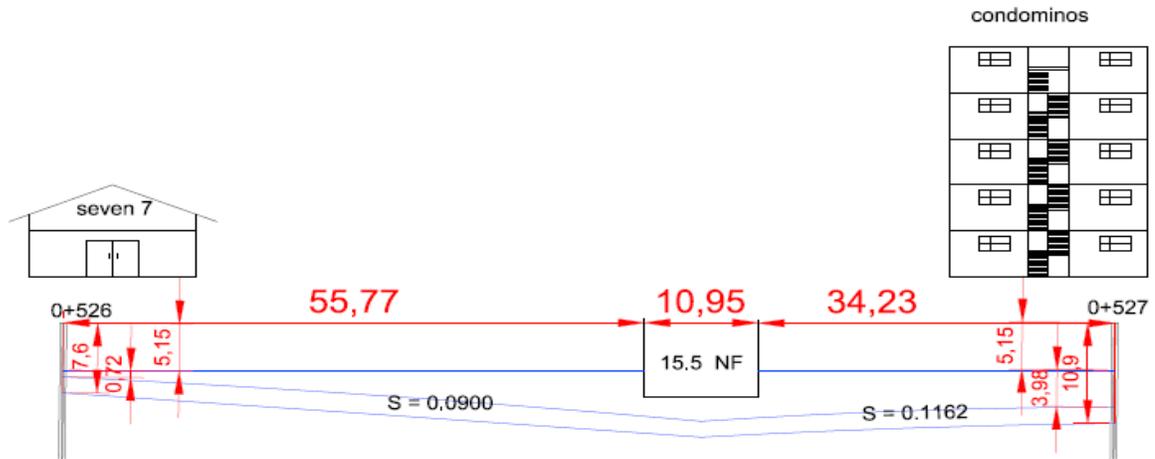


Figura No. 3 Ubicación de piezómetros y pendientes del cono de abatimiento.

K.- Todos estos resultados nos llevan a finiquitar que el acuífero en medios granulares está estrechamente relacionado con depósitos aluviales del cuaternario.

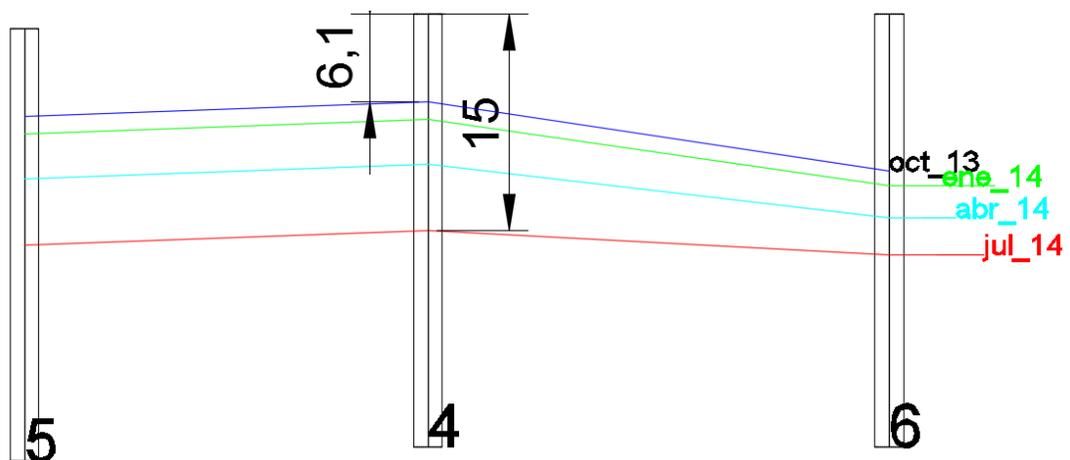


Figura No. 4 muestra principalmente el nivel del agua antes de empezar el proyecto y durante el mismo, en su punto de máximo abatimiento requerido para la construcción del túnel.

Agosto/2014

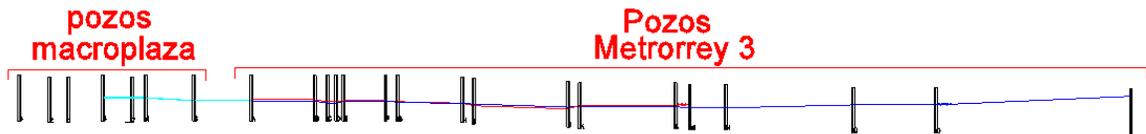
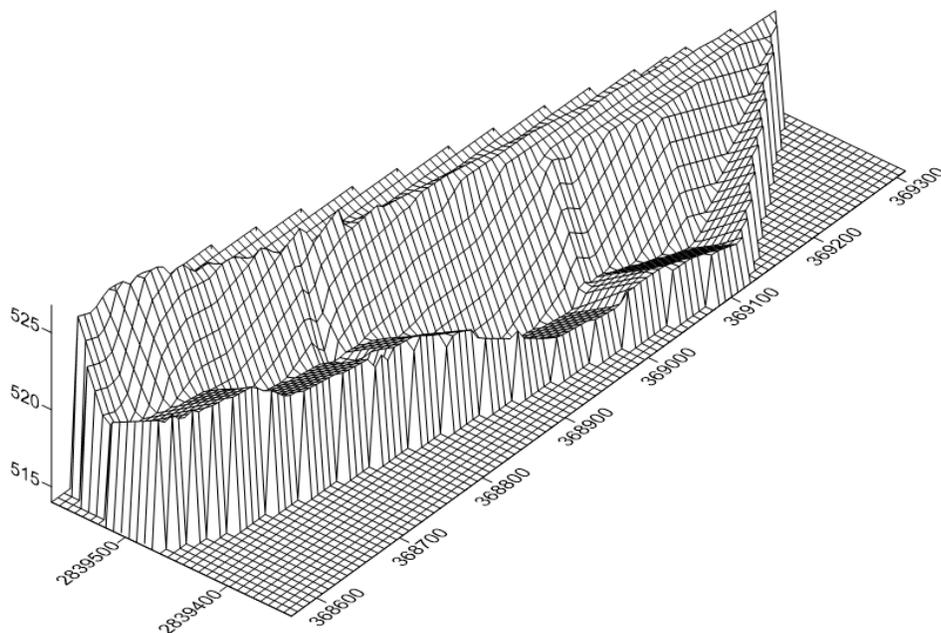


Figura No. 5 Perfil de elevación en los pozos Macro plaza y Padre Mier en punto máximo de abatimiento.

M.- La distancia entre pozos tanto de operación como de la prueba era menor al doble del radio de influencia (60 mts), generando que los conos de abatimiento se traslaparan formando un abatimiento frontal.

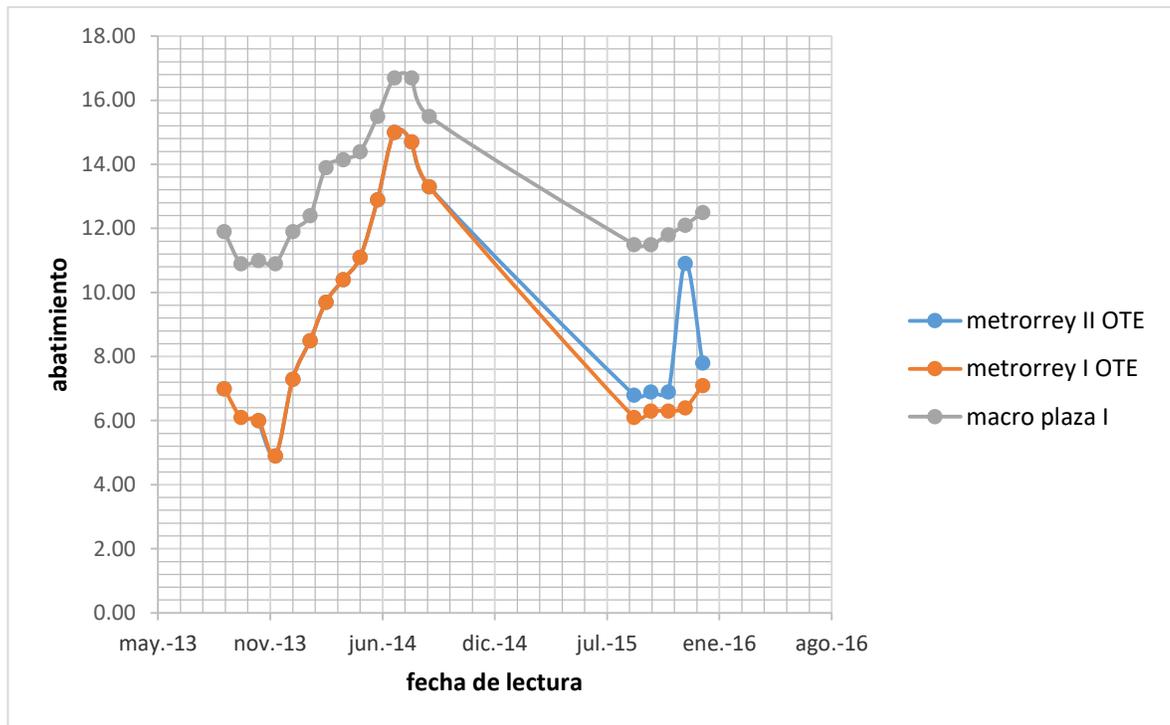
La siguiente grafica es el conjunto de resultados del proyecto de los niveles que se estuvieron sondeando durante el bombeo de los pozos de línea metrorrey 3 en la calle Padre Mier.

Muestra la forma superficial del nivel del agua, dando forma al cono de abatimiento frontal en toda la calle, afectando con la misma intensidad el abatimiento en los pozos de la macro plaza.



Grafica No. 4 Forma que tuvo el cono de abatimiento frontal en calle padre Mier.

Para observar los datos de niveles freáticos de grafica 4 y 5 ir a anexos pág. 114 y 115



Grafica No. 5 comportamiento de elevaciones de la superficie del nivel freático en el cono de abatimiento calle Padre Mier.

RECOMENDACIONES

Este trabajo cumple con la hipótesis planteada ya que los datos del estudio previo coinciden en gran proporción con los datos medidos y directos, esto puede servir de una herramienta para los estudios previos en la agricultura provocados por recargas regionales en acuíferos superficiales y detríticos

La metodología de la evaluación de los conos de abatimiento en acuíferos superficiales detríticos pueden ser usados en problemas similares de drenaje agrícola para construir las obras de excedentes en recargas horizontales con plataformas muy superficiales especialmente en aluviones y acarreo montañosos.

Los aspectos básicos comprendidos y aplicados en la universidad sobre hidrología subterránea (ecuación de Darcy, Theis y Jacob.) pueden aplicarse con toda seguridad ya que los estándares de porosidad, transmisividad, y conductividad en acuíferos superficiales contra el testigo o datos medidos y reales justifican una alta eficiencia en la viabilidad de un proyecto hídrico.

Se recomienda que la construcción de obra civil hidráulica en medios saturados contemplen plenamente la teoría de Velasco sobre abatimiento frontal y continuo, que puedan provocar un porcentaje de humedad (debajo del 10%) sean ratificados con testigos reales o muestreos múltiples de campo, ya que puede existir la duda de que dichos acuíferos estén interconectados, este trabajo solo describe a un mismo acuífero con recarga horizontal regional montados en una plataforma de lutitas, donde el concreto y el armado de acero puedan fraguar durante el abatimiento inducido,

Una nueva área que puede explorar el ingeniero agrónomo en irrigación dada las nuevas tecnologías y herramientas de monitoreo de abatimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1963, determination of the coefficient of transmissibility from measurements of residual drawdown in a bailed well in methods of determining permeability, transmissibility, and drawdown: U. S. geol. Survey water-supply paper 1536-I, p. 293.

1963a, type curves for the solutions of single boundary problems in shortcuts and special problems in aquifer tests: u.s. geol. Survey water-supply paper 1545-C, p. 45-47.

1963b, electric analog of three dimensional flow to wells and its application to unconfined aquifers: U.S. geol. Survey water-supply paper 1536-H, 38 p.

1973, aquifer simulation model for use on disk supported small computer systems: Illinois state water survey circ. 114, 21 p.

Abastecimiento De Agua y Alcantarillado Ernest W Steel Editorial Gustavo Gili Reimpreso Junio 2012

Boulton, N S., 1954 The drawdown of the water table under nonsteady conditions near a pumped well in an unconfined formation: Proc. Civil Engineers (British), p. 564-579

Cooper, H. H., and Jacob, C. E., 1946, A generalized graphical method of evaluating formation constants and summarizing well-field history: am. Geophys. Union Trans., v. 27, no. 4, Aug. 1946, p. 526-534.

- Cooper, H. H., Bredehoeft, J. D., and Papadopoulos, S. S., 1967, Response, of a finiter diameter well to an instantaneuous chrrge of water: water Resources Research, v. 3, no. 1.
- Darcy, Henri, Les fontaines publiques de la ville de Dijon (The water Supply of Dijon): Paris, Victor Dalmont, 647 p.
- Drainage Engineering James N. Luthin Civil Engineering University Of California, Davis Re Impreso Por Libreria Del Congreso De Los Estados Unidos 2012
- Dupuit, Jules, 1863, Etudes Théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux courantes (Theoretical and practical studies on the movement of running water): Paris, Carilion-Geory et V. Dalmont, 275 p.
- Groundwater Resource Evaluation Serie Mc Graw Hill In Water Resources And Environmental Engineering 2013 Geology And Geophysics University Of Minnesota
- Hantush, M. S., and Jacob, C. E., 1955, Nonsteady radial flow in an infinite leaky aquifer: Am. Geophys. Union Trans., v. 36, no. 1, p. 95.
- Hydraulics George E. Russell Henry Holt And Company, Inc Reimpreso Por Cambridge Masachusetts Institute of Technology Quinta Edición New York Marzo 2012
- Jacob, C. E., 1946, Radial flow in a leaky artesian aquifer: Am. Geophys. Union Trans., v. 27, no. 2, p. 198.
- Jacob, C. E., and Lohman, S. W., 1952, Nonsteady flow to a well of constant drawdown in an extensive aquifer: Am. Geophys. Union Trans., v. 33, no
- Papadopoulos, S. S., and cooper, H H 1967 drawdown in a well of large diameter: water resources research, v. 3, no. 1.
- Patten, e. p., 1965, design, construction and se of electric analog models, in wood, L. A., and gabrysch, R. K., analog model study of ground water in the Houston district, texas: texas
- Peaceman, D. W., and rachford, H. H., 955 the numerical solution of parabolic and elliptic differential equations: jour.soc. indust. Appl. Math., v. 3, no1. March, 1955.
- Pinter, g. f., and bredehoft, j. d., 1968, applications of digital computer for aquifer evaluation: watr resources research, v. 4, no. 5, p. 1069-1093.
- Prickett, t. a., and lonnquist, g. c., 1971, selected digital computer techniques for groundwater resource evaluation: Illinois state water survey bull. 55, 62 p.
- Remson, Irwin, appel, c. a., and webster, r. a., 1965, ground water models solved by digital computer: jour. Hydr. Div., am. Soc. Civil engineers, v. 91, no. HY3, p. 133-147.
- Remson, Irwin, hornberger, g. m., and molz, f. j., 1971, numerical methods in ground water hydrology: new York, wiley interscience divicion, john wiley and sons, 389 p.
- Rubin, Jacob, 1968, theoretical analysis of two dimensional transient flow of water in unsaturated and partly unsaturated soils: soil sci. soc. America proc., v. 32, no. 5, p. 607-615.

Skibitzke, h. e., 1960, electronic computers as an aid to the analysis of hydrologic problems: internat. Assoc. scientific hydrol. Pub. 52, comm. Subterranean waters, gentbrugge, Belgium, p. 347.

Slichter, C.S., 1899, theoretical investigation of the motion of ground waters: U.S. geol. Survey, 19th ann. Rept., pt. 2, p. 295.

Stallman, R. W., 1956, numerical analysis of regional water levels to define aquifer hydrology: AM. Geophys. Union trans., v. 37, no. 4, p. 451-460.

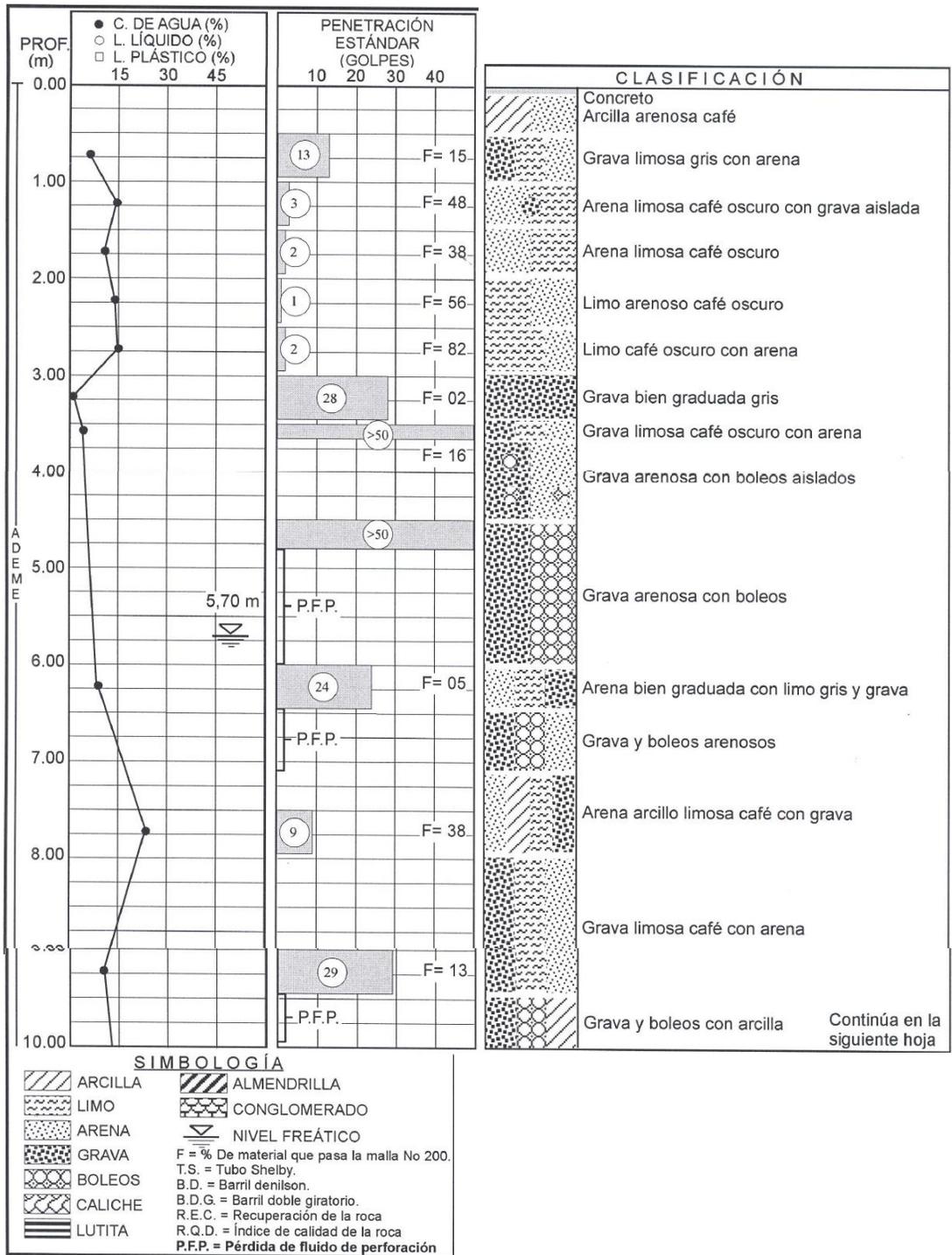
Techniques of water-resources investigations

Theis, C.V., 1935, the relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground water storage: am. Geophys. Union trans., pt. 2, aug. 1935, p. 519-524.

Thiem, Gunther, 1906, hydrologische methoden (hydrologic methods) : Leipzig, J. M. gebhardt, 56 p.

Water Well Technology Field Principles Of Exploration Drilling And Development Of Ground Water And Other Select Minerals Michael D. Campbell, Jay H Lehr Mc GrawHill Book Company 2012

ANEXOS

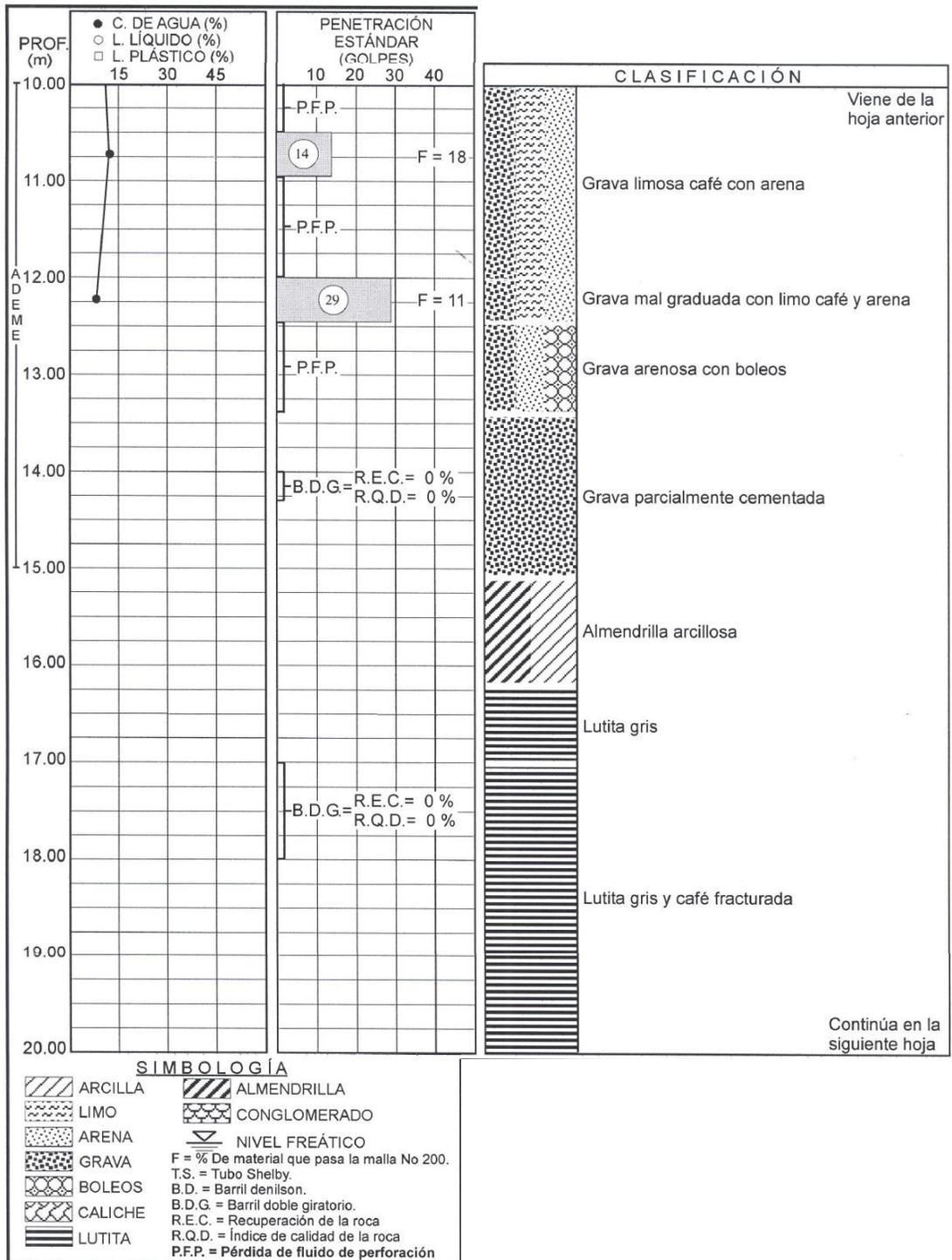


Sondeo No. 2

Coordenadas UTM: 369014.560 m E, 2839403.240 m N

Domicilio: Av. Fr Servando Teresa de Mier entre calles Fco. Mina y Fco. Naranjo
Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.
Departamento de Geotecnia

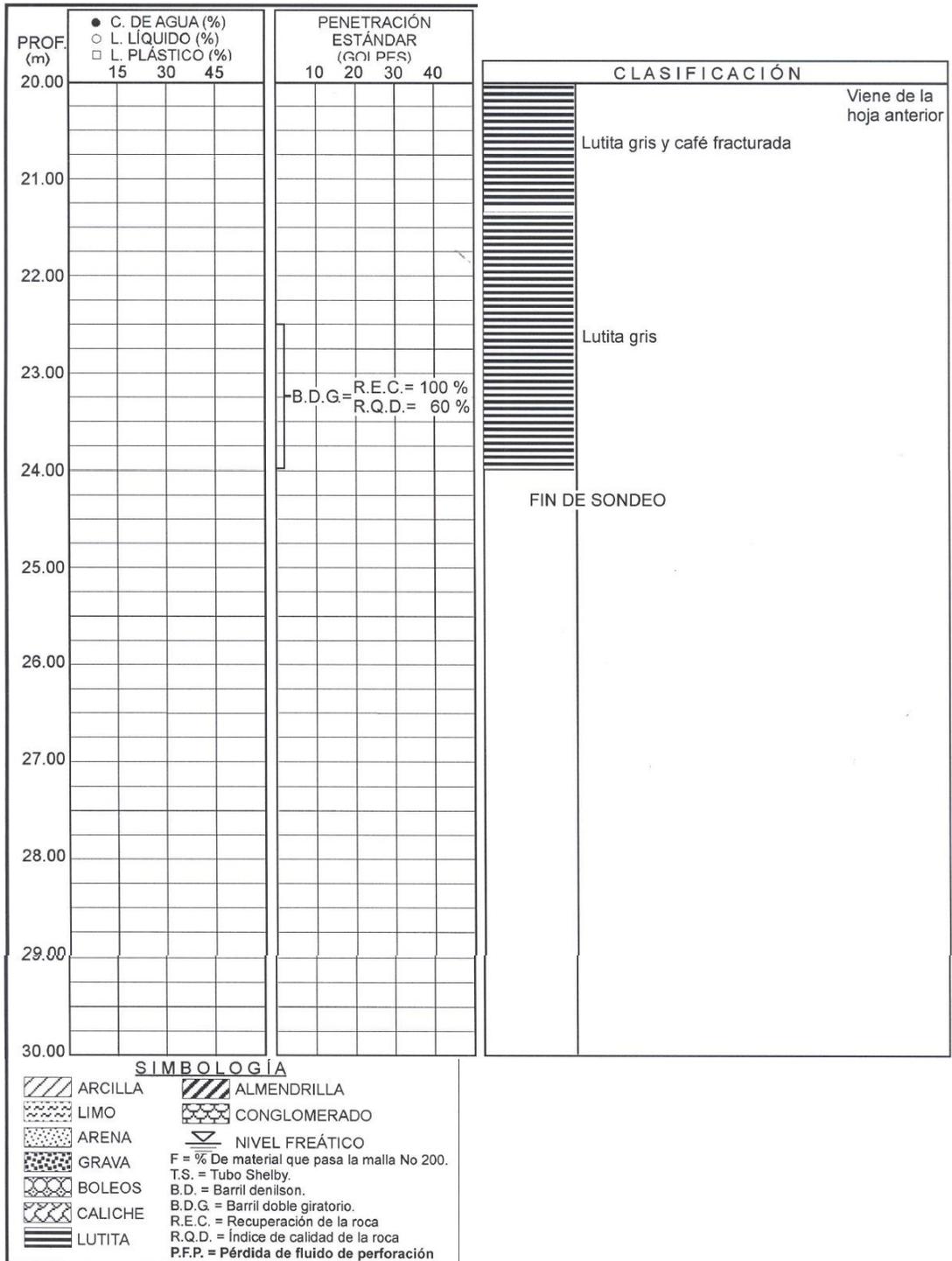


Sondeo No. 2

Coordenadas UTM: 369014.560 m E, 2839403.240 m N

Domicilio: Av. Fr Servando Teresa de Mier entre calles Fco. Mina y Fco. Naranjo Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil. Departamento de Geotecnia

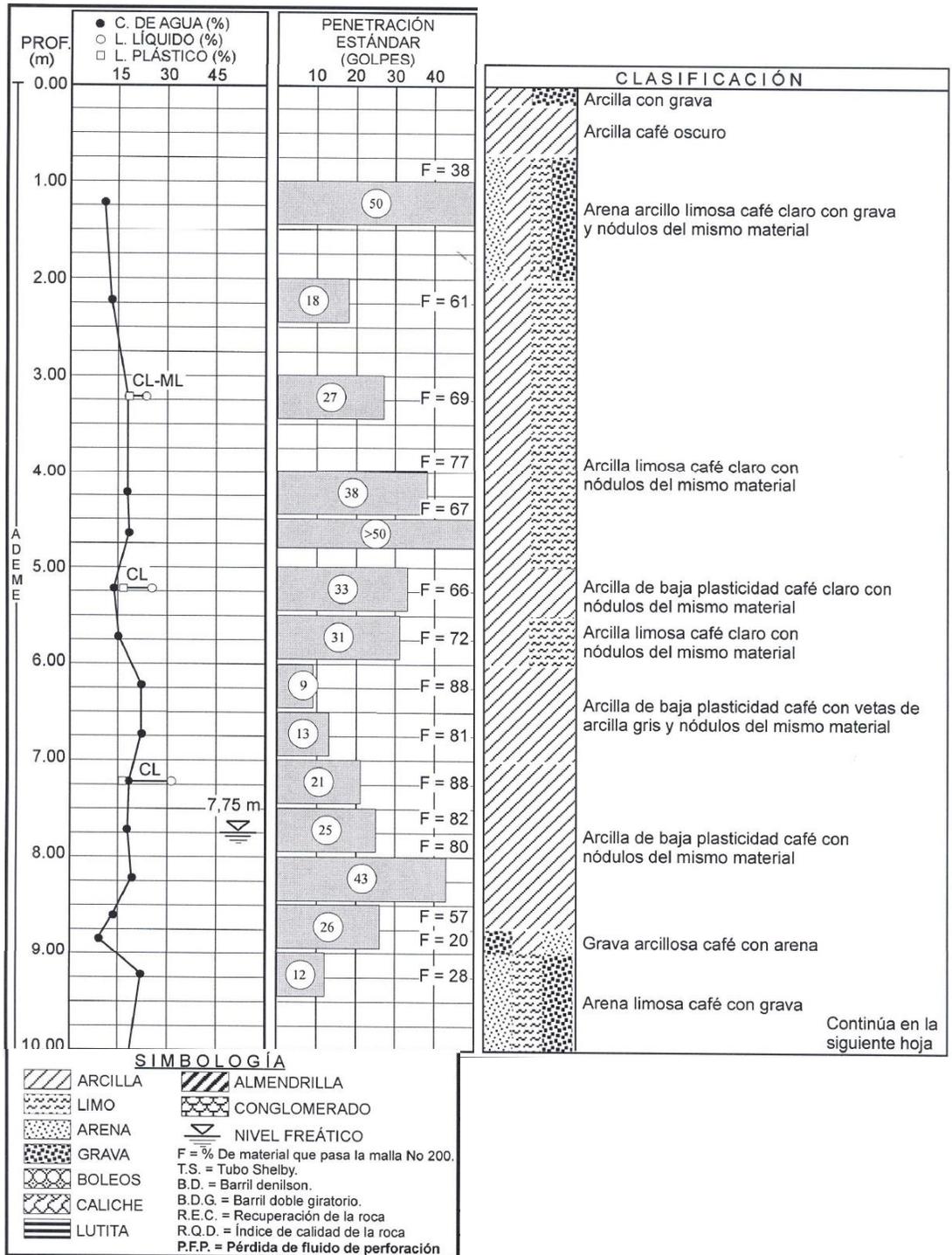


Sondeo No. 2

Coordenadas UTM: 369014.560 m E, 2839403.240 m N

Domicilio: Av. Fr Servando Teresa de Mier entre calles Fco. Mina y Fco. Naranjo
Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.
Departamento de Geotecnia



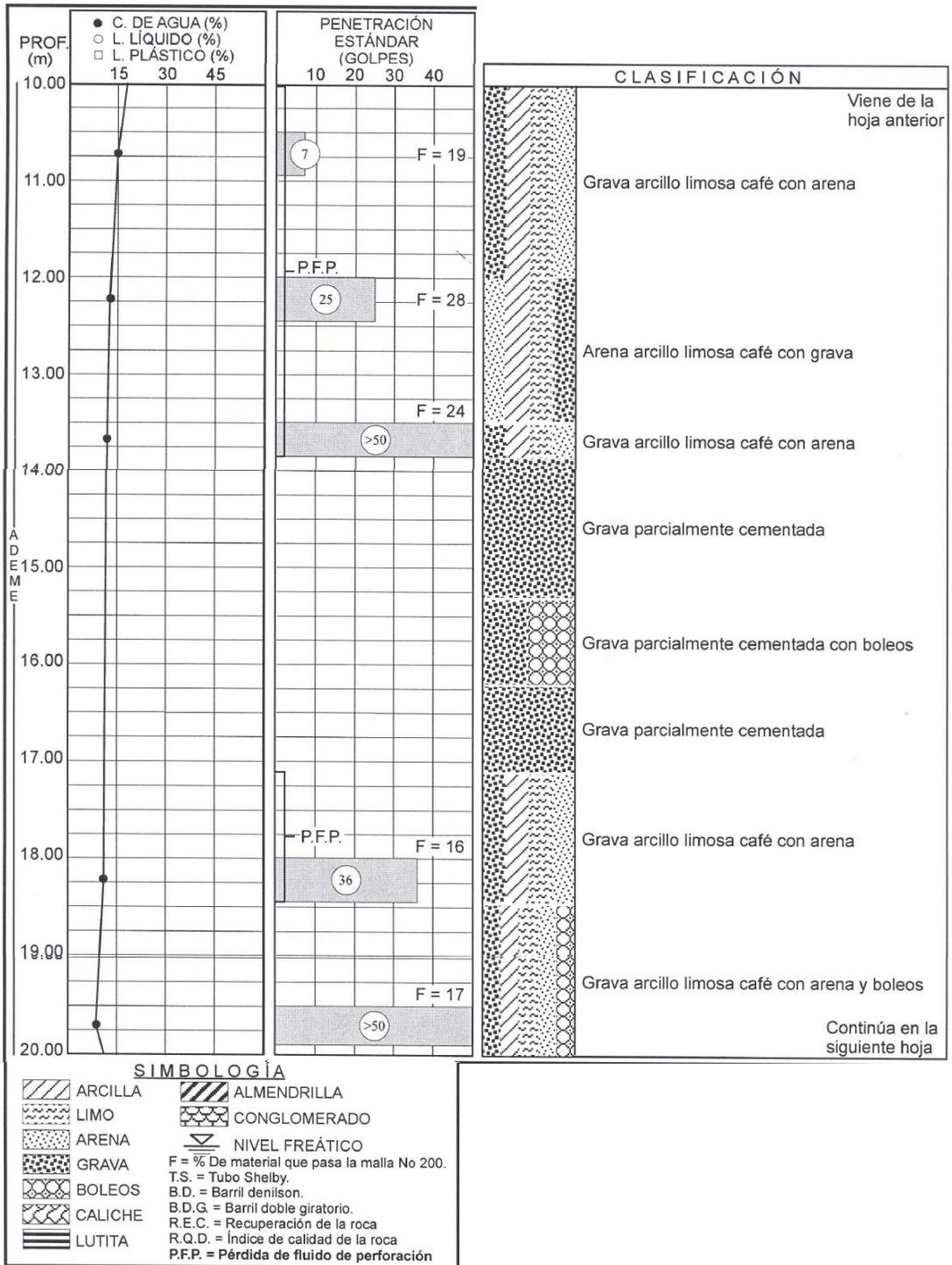
Sondeo No. 3

Coordenadas UTM: 368820.424 m E, 2839446.032 m N

Domicilio: Av. Fr Servando Teresa de Mier entre calles Francisco Mina y Florencio Antillón. Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Departamento de Geotecnia

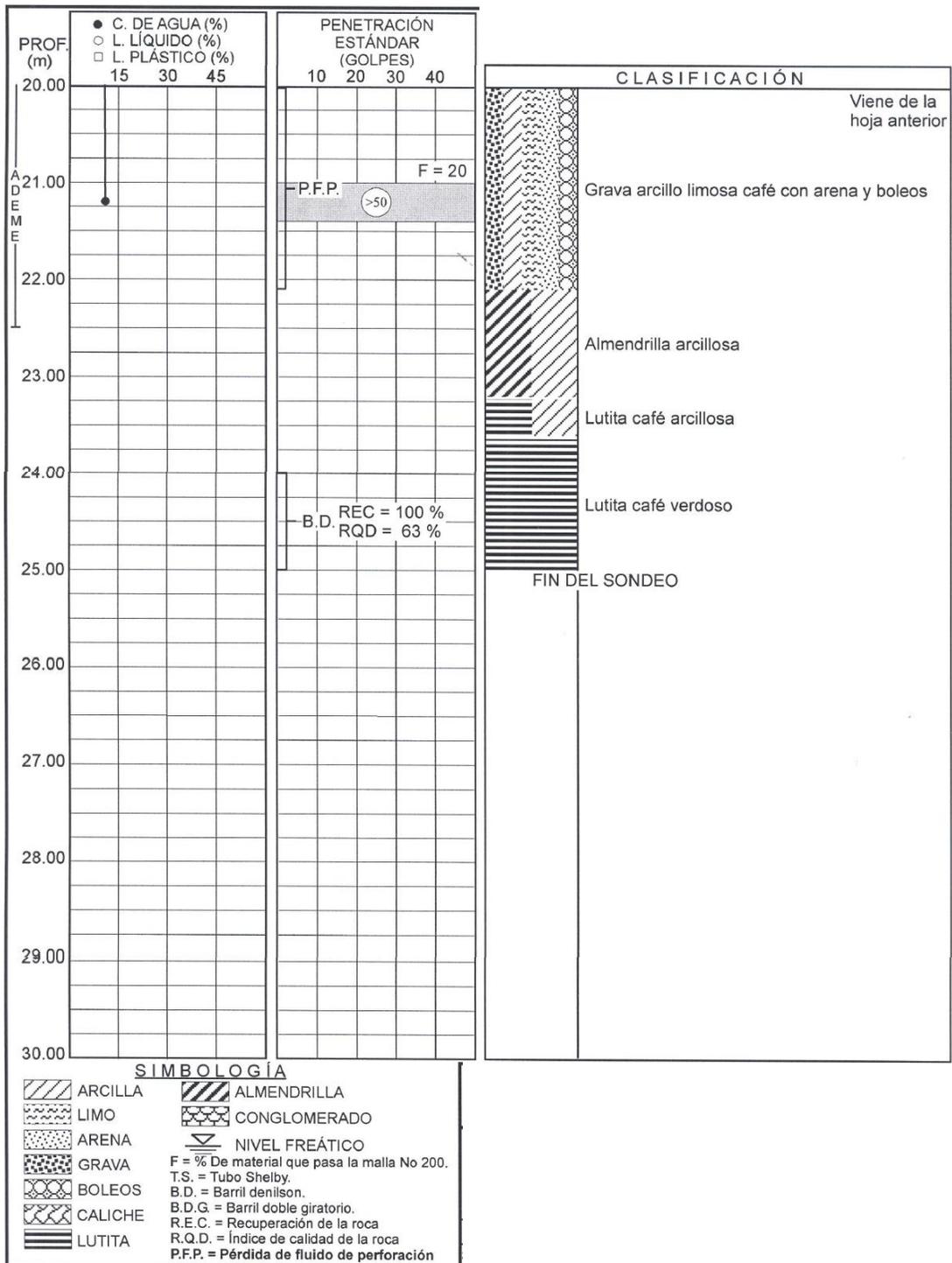


Sondeo No. 3

Coordenadas UTM: 368820.424 m E, 2839446.032 m N

Domicilio: Av. Fr Servando Teresa de Mier entre calles Francisco Mina y Florencio Antillón.
Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.
Departamento de Geotecnia

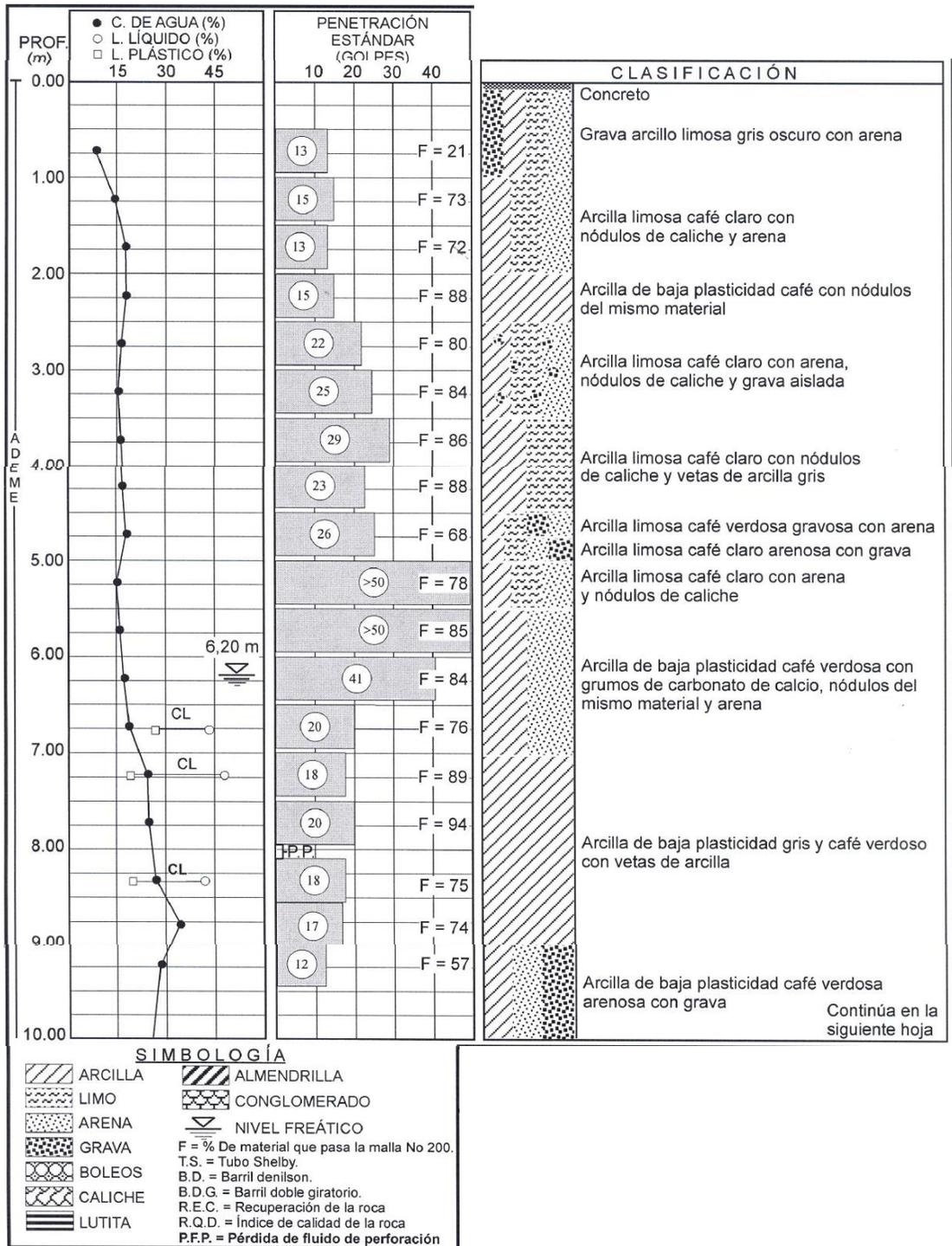


Sondeo No. 3

Coordenadas UTM: 368820.424 m E, 2839446.032 m N

Domicilio: Av. Fr Servando Teresa de Mier entre calles Francisco Mina y Florencio Antillón.
Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.
Departamento de Geotecnia



Sondeo No. 4

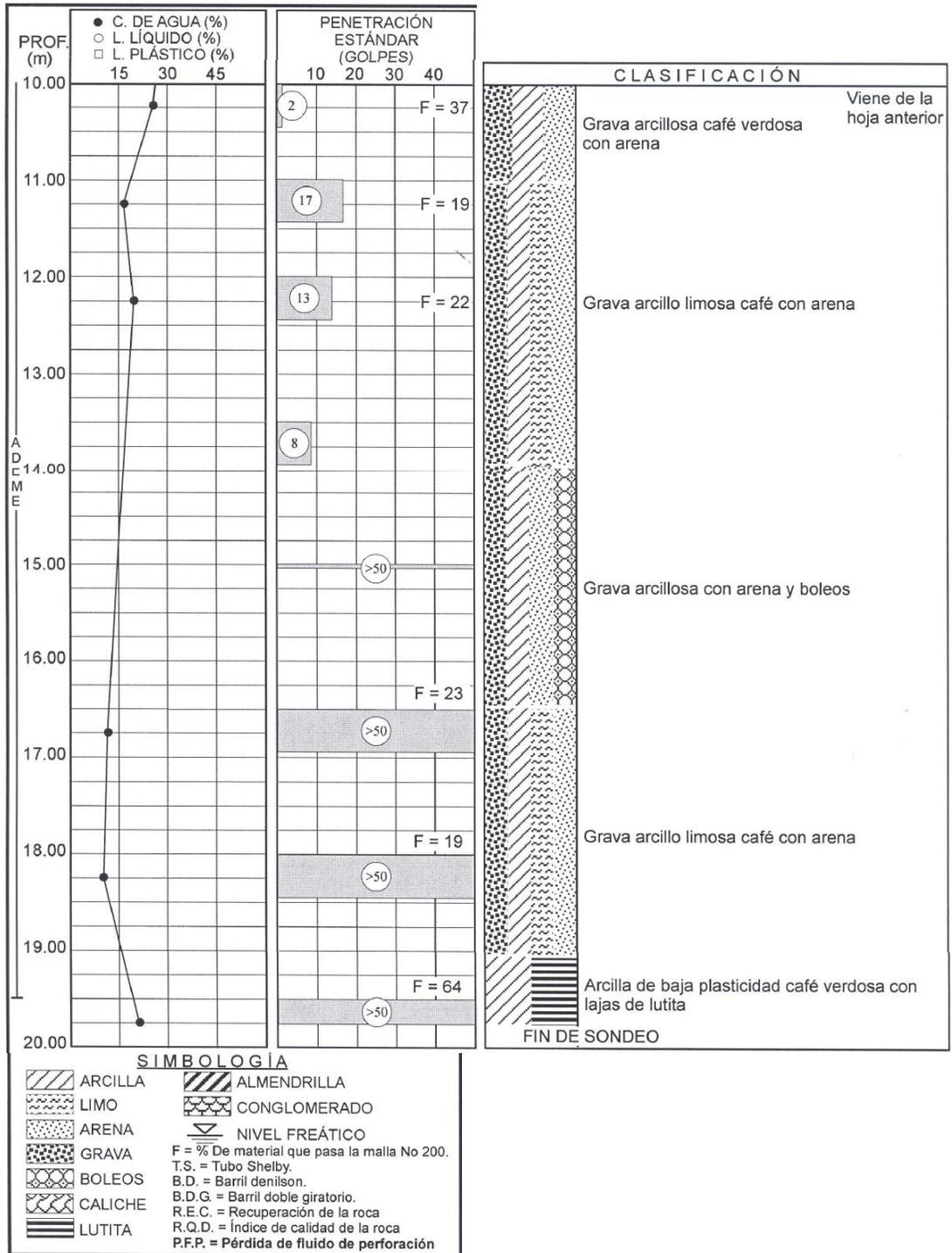
Coordenadas UTM: 368948.108 m E, 2839434.328 m N

Domicilio: Av. Fr Servando Teresa de Mier entre calles Francisco Mina y Francisco Naranjo.

Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Departamento de Geotecnia

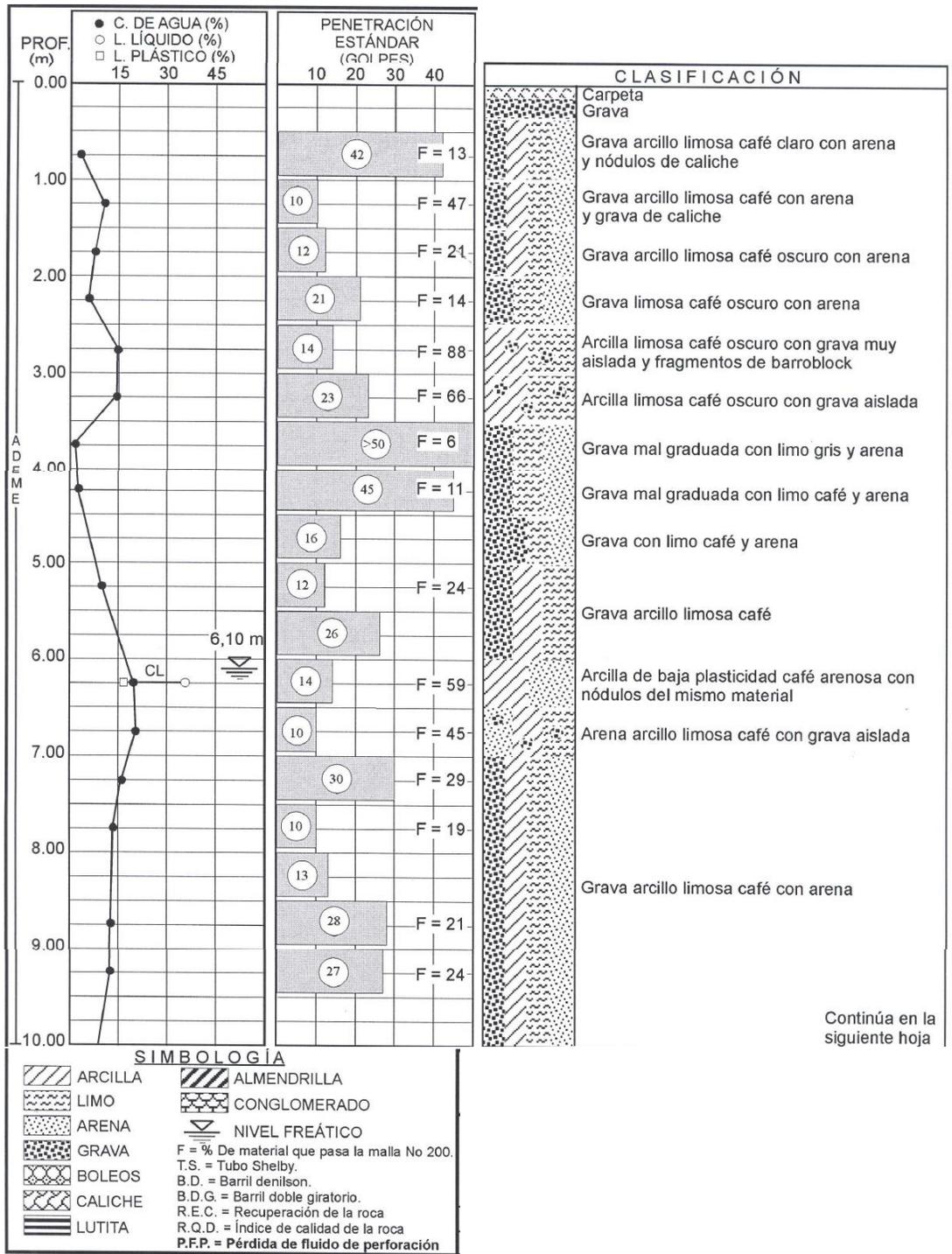


Sondeo No. 4

Coordenadas UTM: 368948.108 m E, 2839434.328 m N

Domicilio: Av. Fr Servando Teresa de Mier entre calles Francisco Mina y Francisco Naranjo. Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil. Departamento de Geotecnia



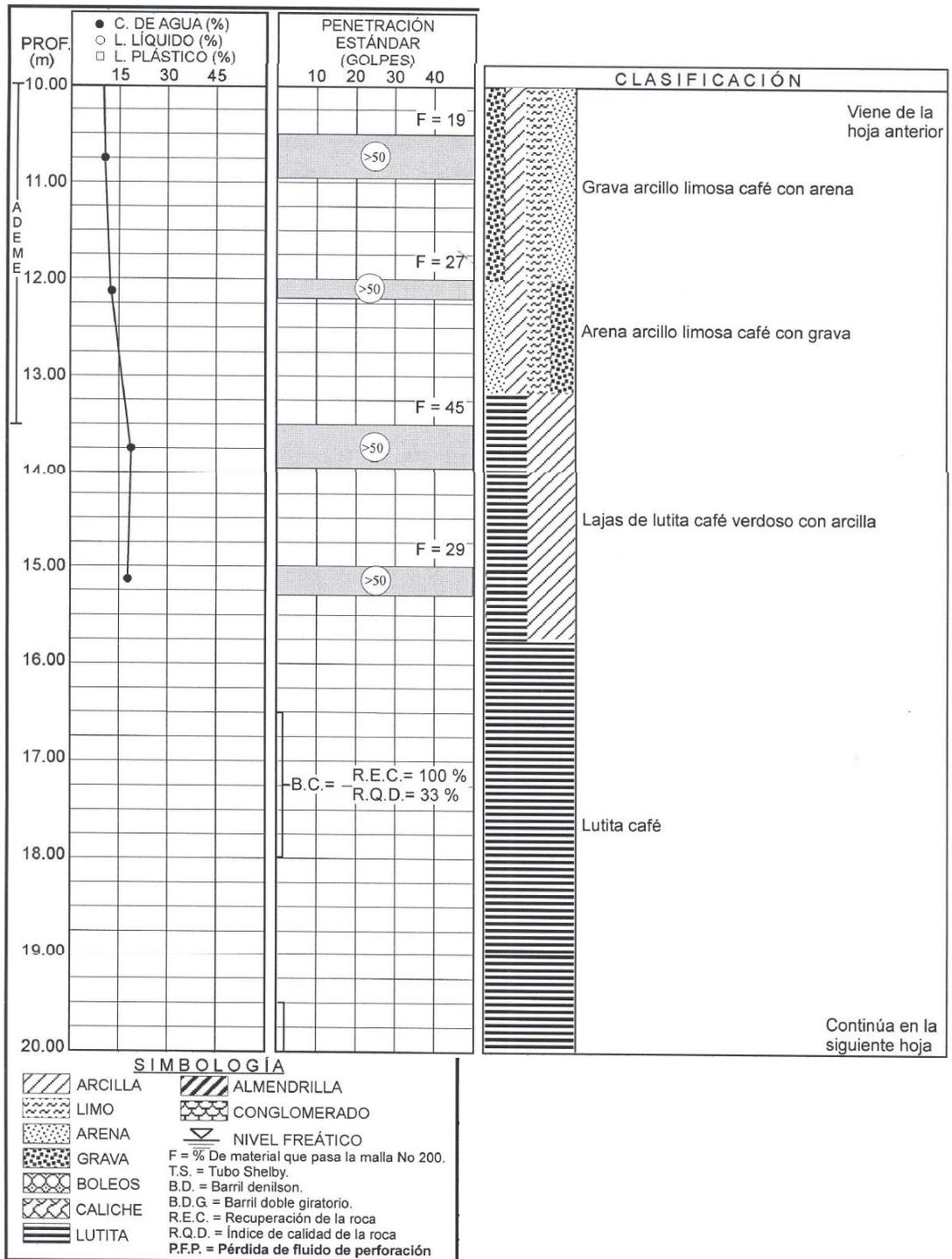
Continúa en la siguiente hoja

Sondeo No. 5

Coordenadas UTM: 369104.898 m E, 2839396.362 m N

Domicilio: Av. Fr Servando Teresa de Mier entre calles Francisco Naranjo y Florencio Antillón. Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil. Departamento de Geotecnia



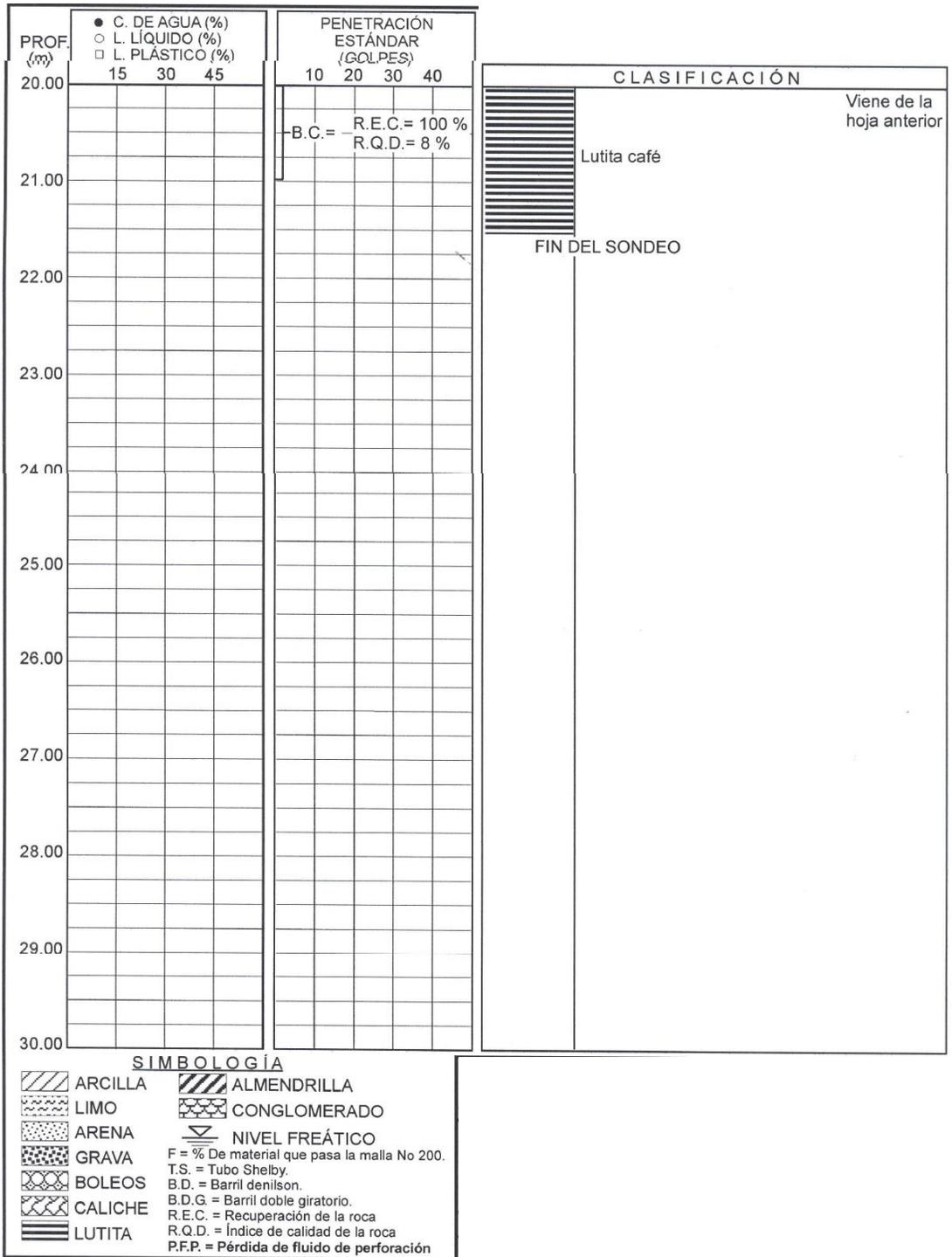
Sondeo No. 5

Coordenadas UTM: 369104.898 m E, 2839396.362 m N

Domicilio: Av. Fr Servando Teresa de Mier entre calles Francisco Naranjo y Florencio Antillón. Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Departamento de Geotecnia

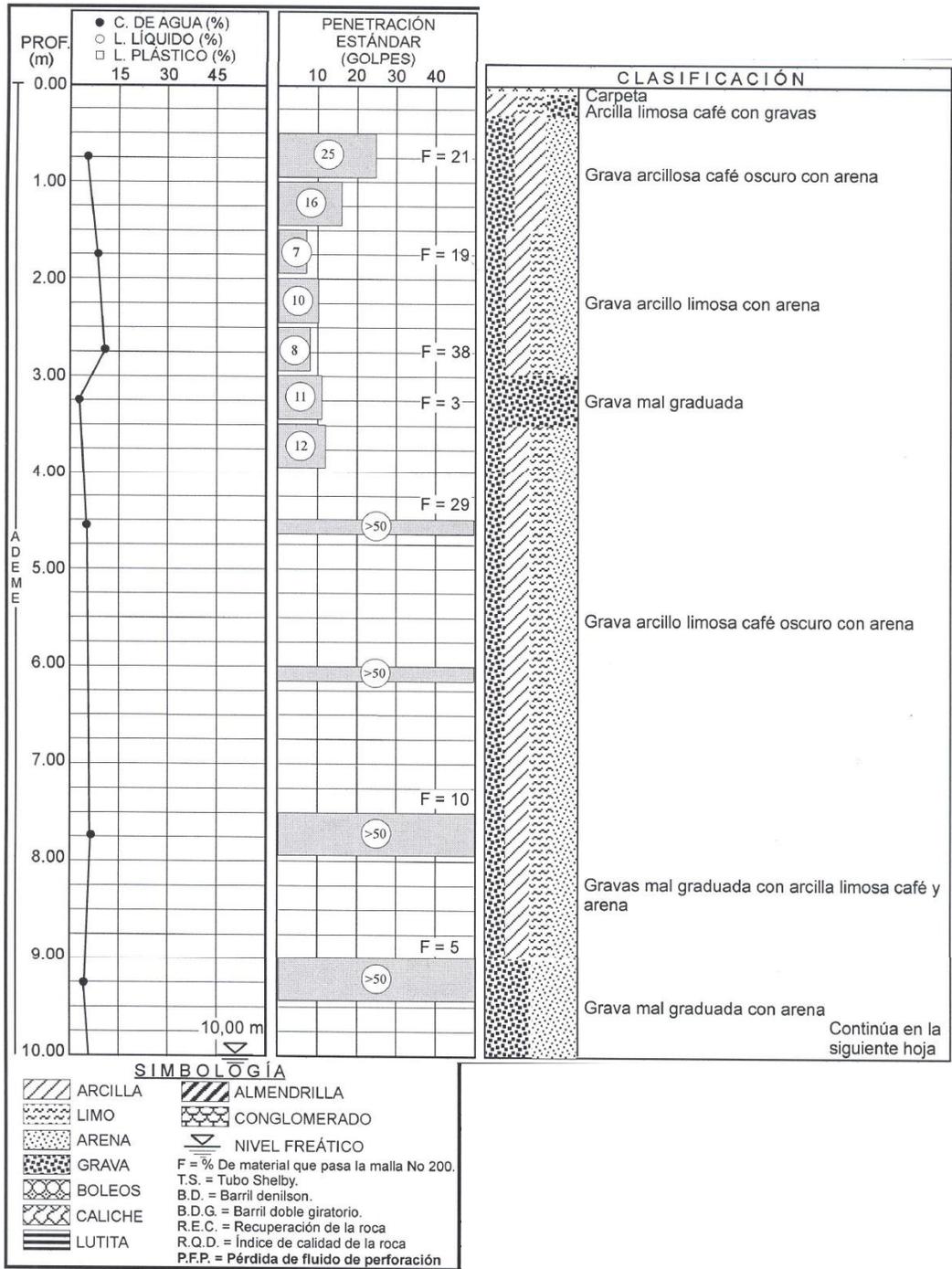


Sondeo No. 5

Coordenadas UTM: 369104.898 m E, 2839396.362 m N

Domicilio: Av. Fr Servando Teresa de Mier entre calles Francisco Naranjo y Florencio Antillón.
 Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.
 Departamento de Geotecnia



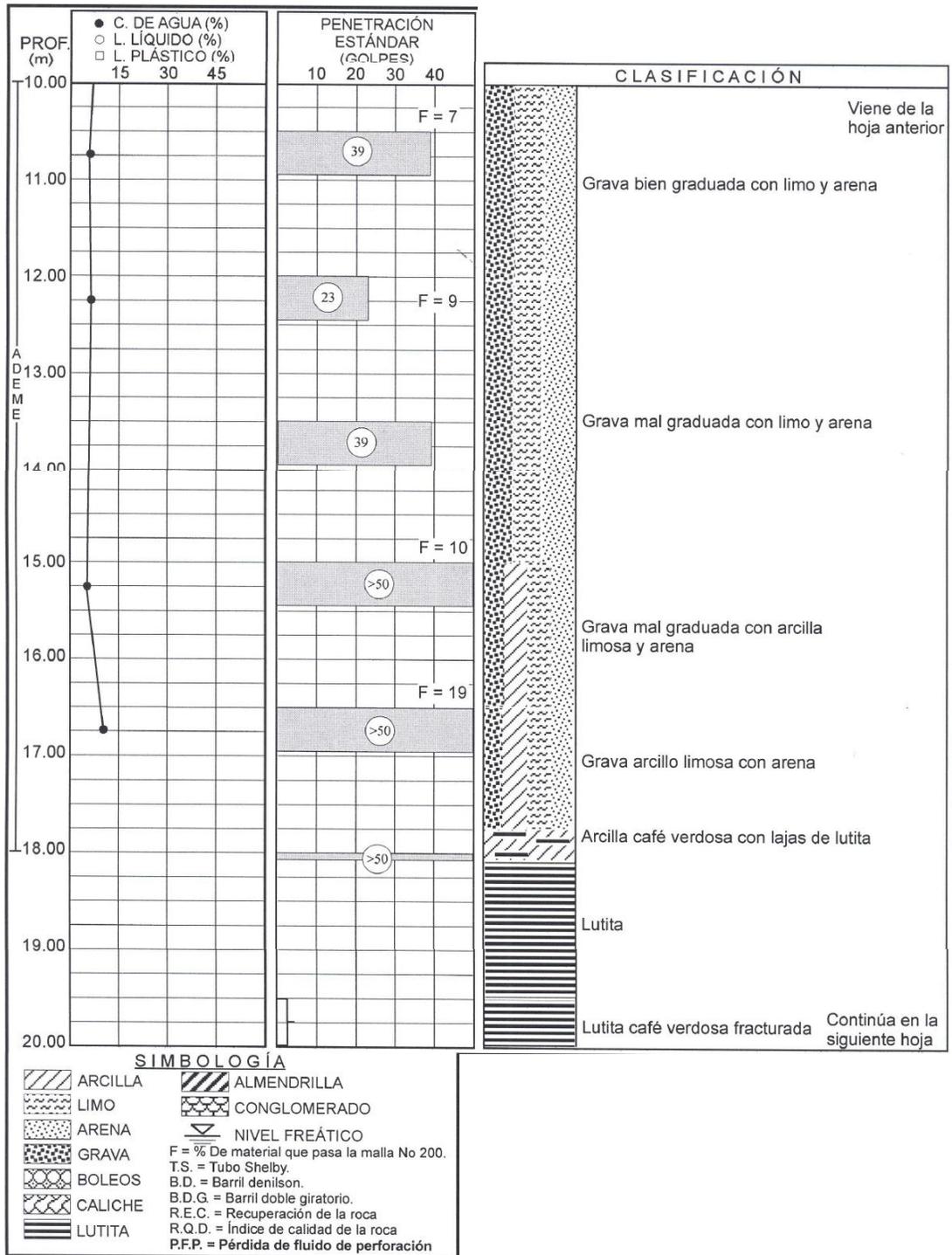
Sondeo No. 6

Coordenadas UTM: 369261.314 m E, 2839403.443 m N

Domicilio: Av. Constitución entre la Av. Fr Servando Teresa de Mier y Av. Félix Uresti Gómez. Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Departamento de Geotecnia

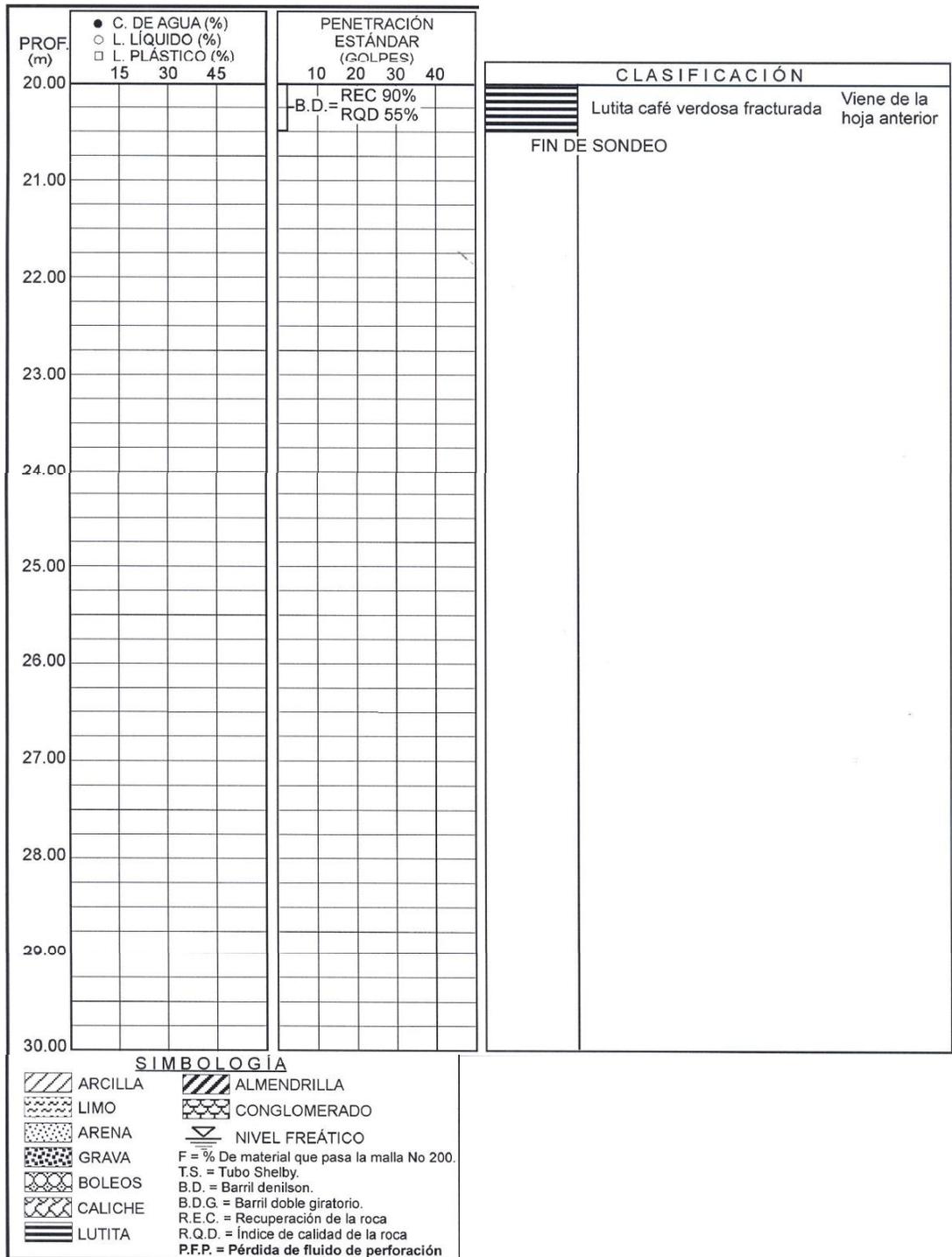


Sondeo No. 6

Coordenadas UTM: 369261.314 m E, 2839403.443 m N

Domicilio: Av. Constitución entre la Av. Fr Servando Teresa de Mier y Av. Félix Uresti Gómez. Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil. Departamento de Geotecnia



Sondeo No. 6

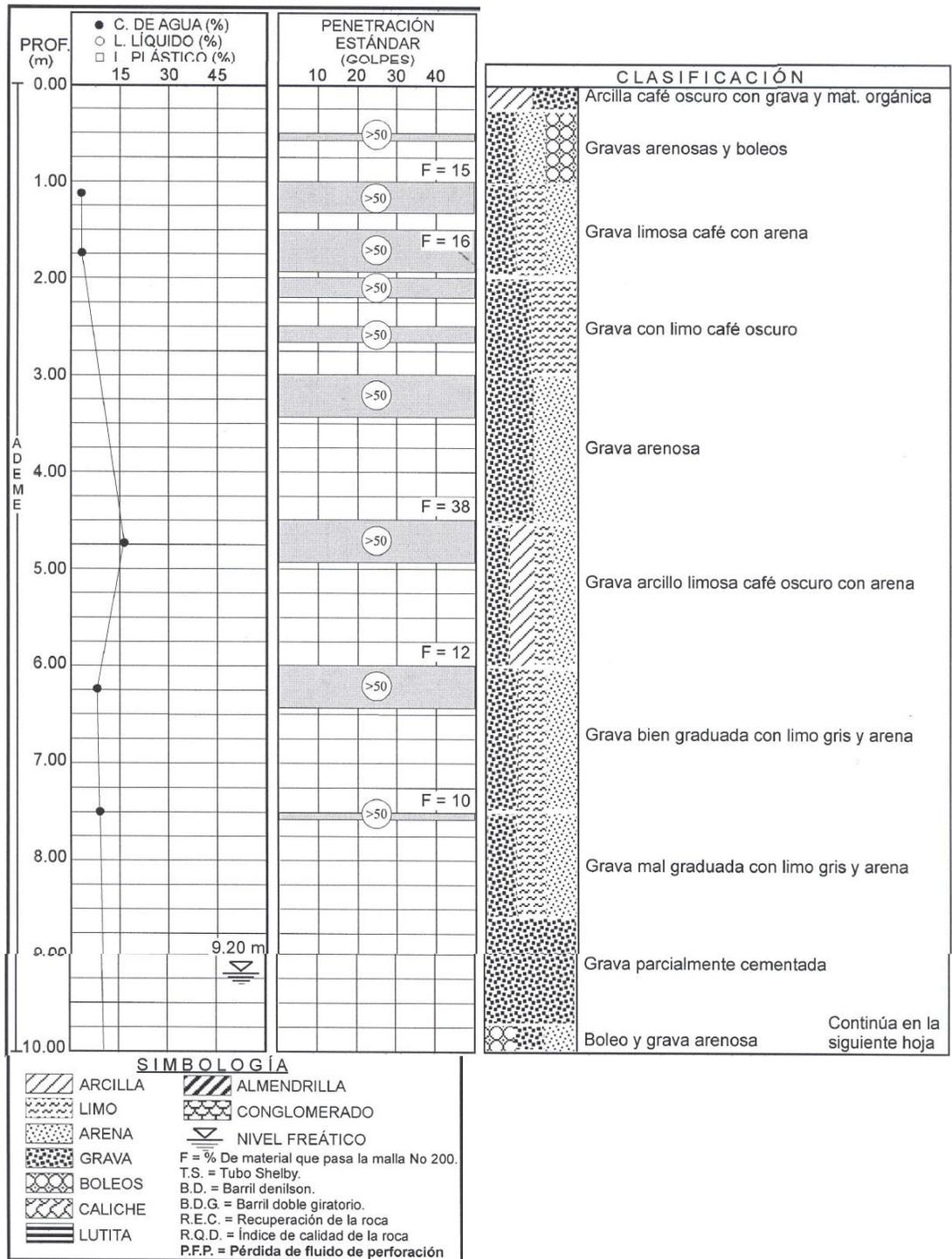
Coordenadas UTM: 369261.314 m E, 2839403.443 m N

Domicilio: Av. Constitución entre la Av. Fr Servando Teresa de Mier y Av. Félix Uresti Gómez.

Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Departamento de Geotecnia

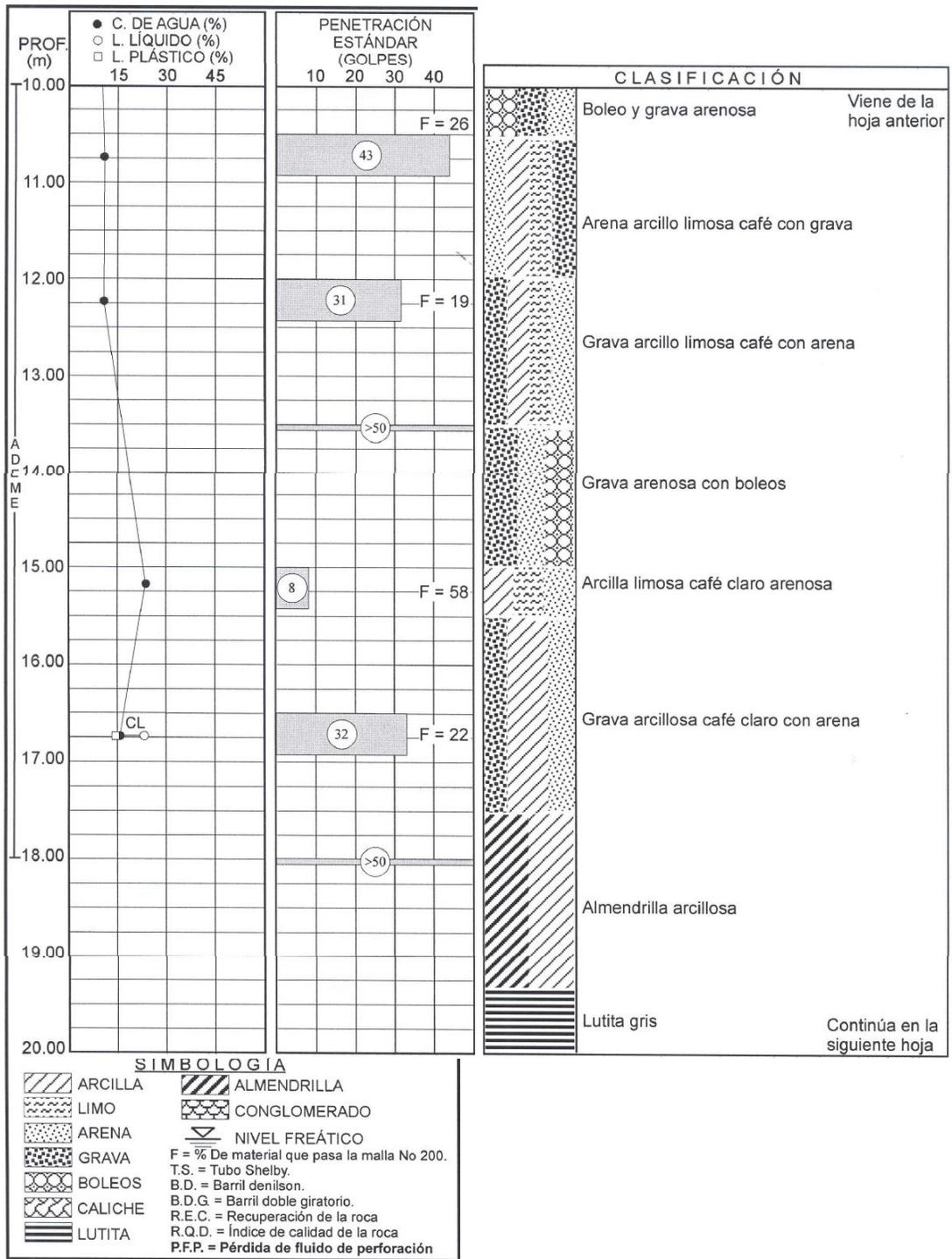


Sondeo No. 7

Coordenadas UTM: 369404.698 m E, 2839490.421 m N

Domicilio: Av. Constitución entre la Av. Fr Servando Teresa de Mier y Av. Félix Uresti Gómez.
Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.
Departamento de Geotecnia

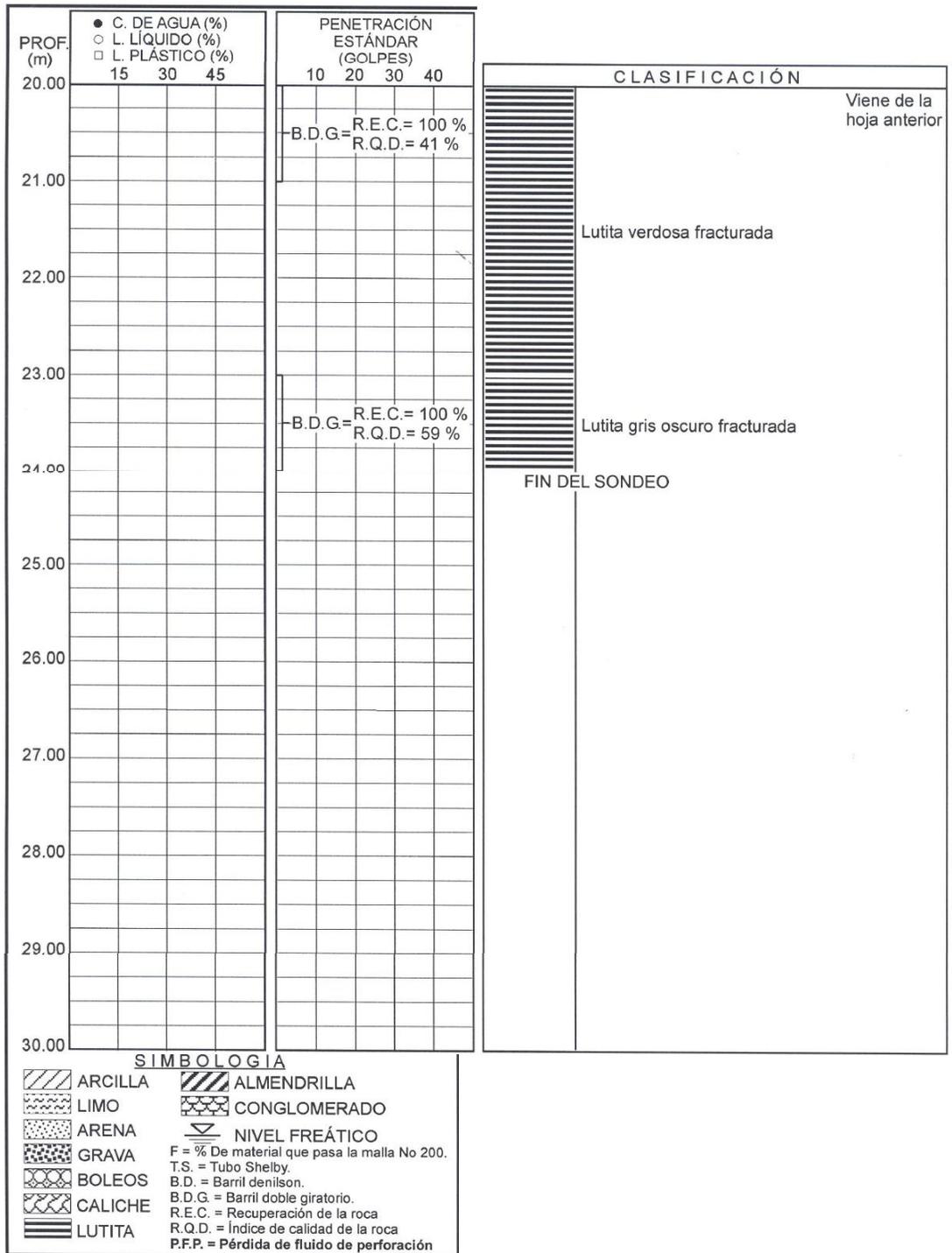


Sondeo No. 7

Coordenadas UTM: 369404.698 m E, 2839490.421 m N

Domicilio: Av. Constitución entre la Av. Fr Servando Teresa de Mier y Av. Félix Uresti Gómez. Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil. Departamento de Geotecnia



Sondeo No. 7

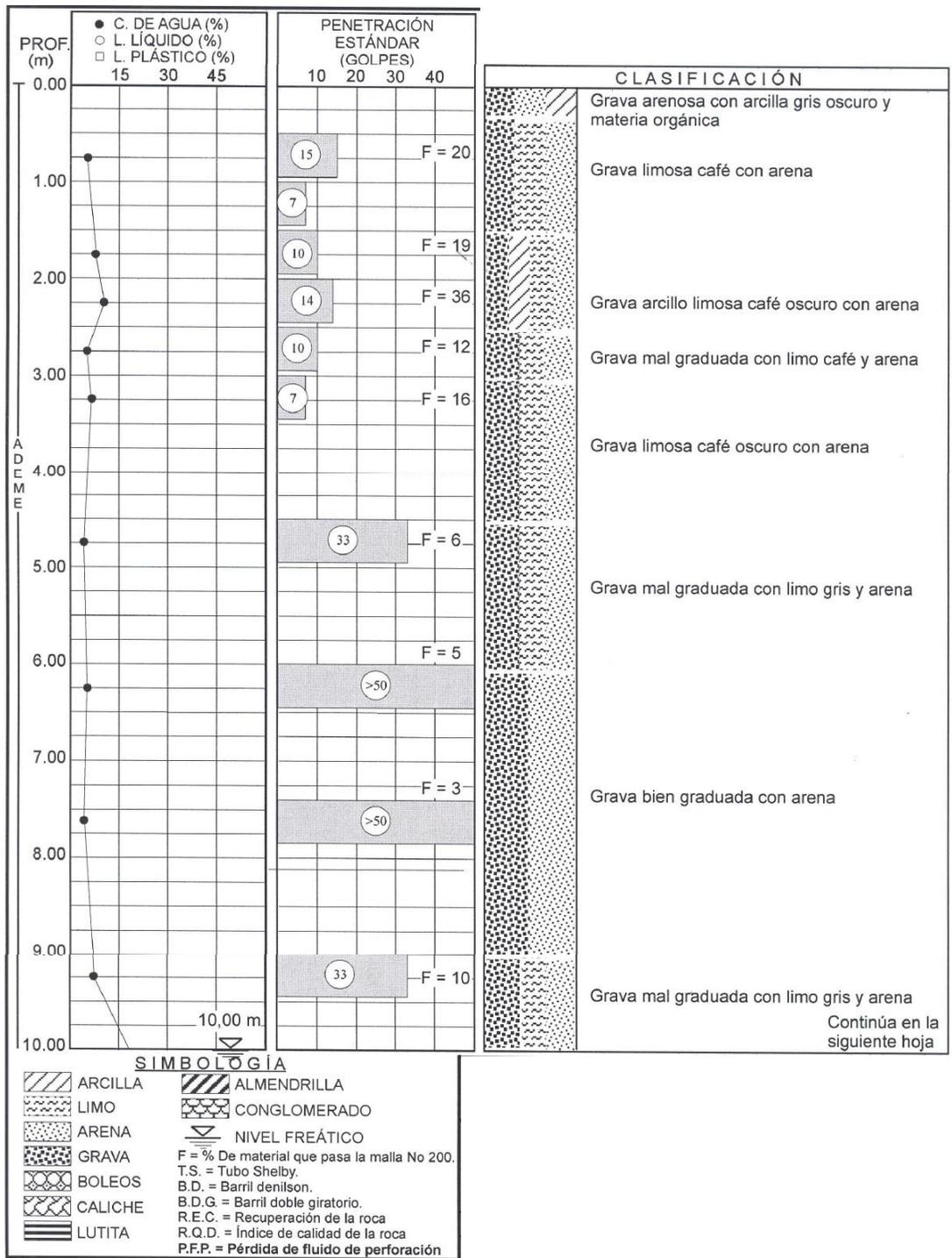
Coordenadas UTM: 369404.698 m E, 2839490.421 m N

Domicilio: Av. Constitución entre la Av. Fr Servando Teresa de Mier y Av. Félix Uresti Gómez.

Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Departamento de Geotecnia



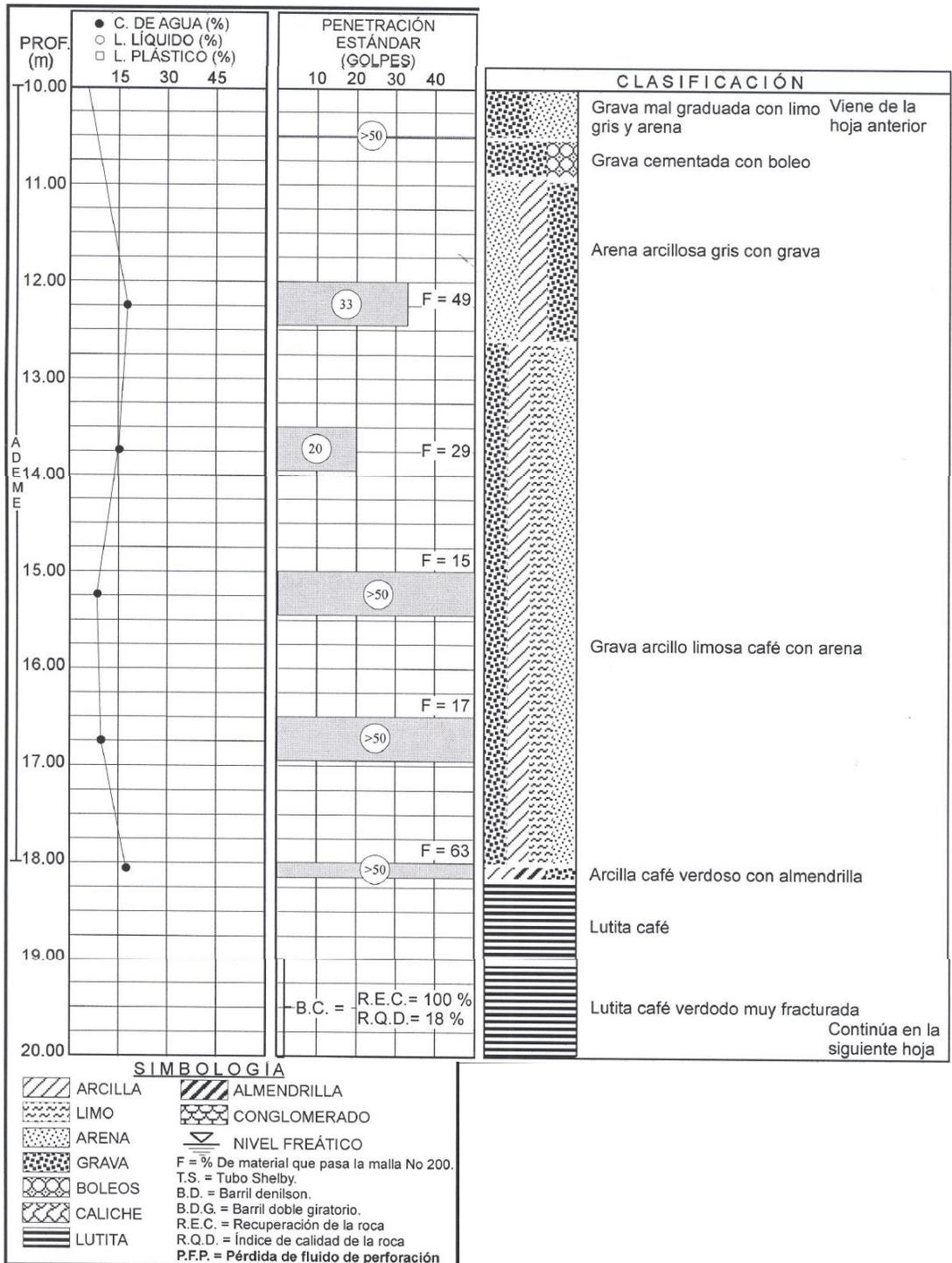
Sondeo No. 8

Coordenadas UTM: 369543.640 m E, 2839581.866 m N

Domicilio: Av. Constitución entre la Av. Fr Servando Teresa de Mier y Av. Félix Uresti Gómez. Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Departamento de Geotecnia

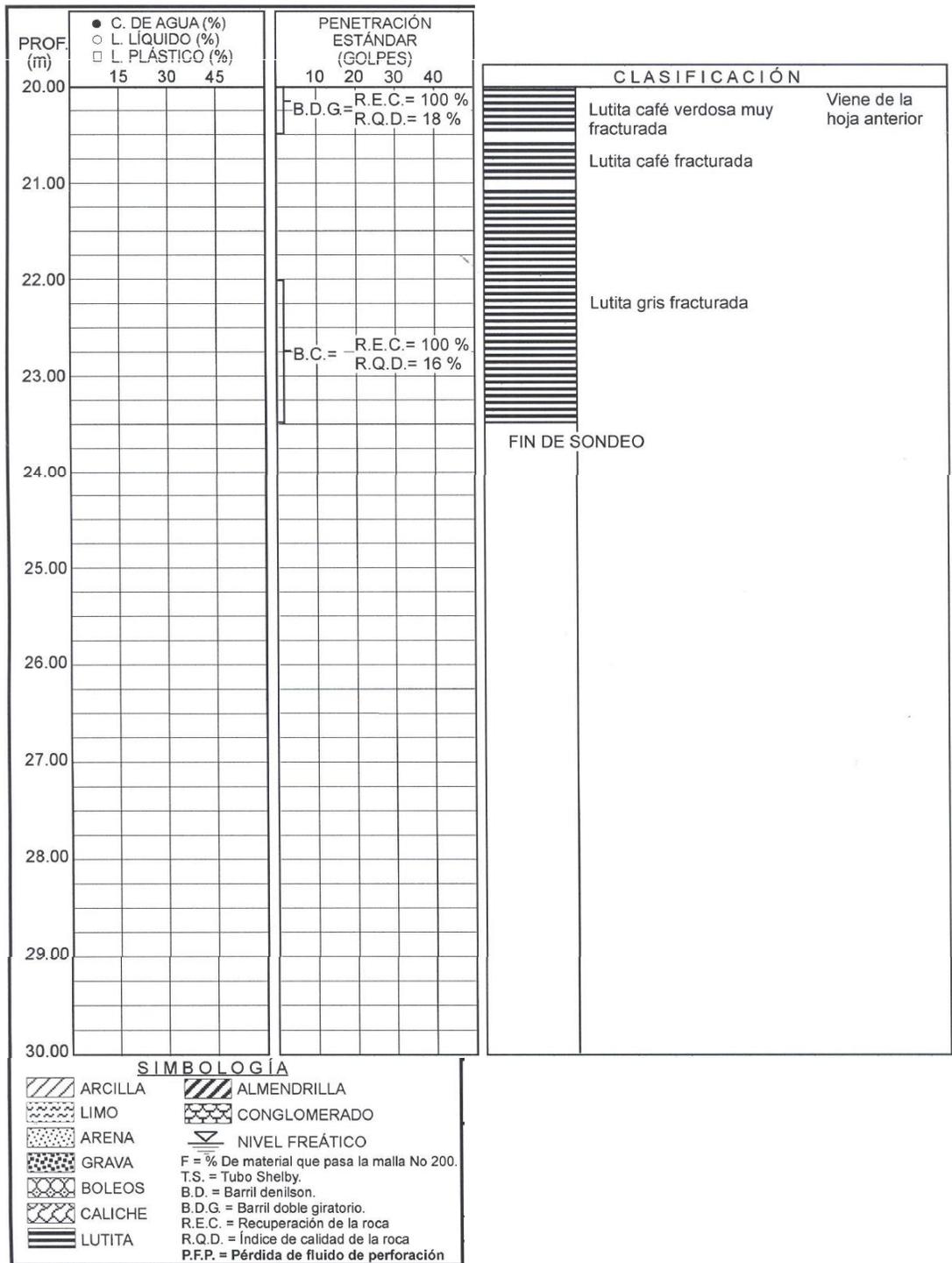


Sondaje No. 8

Coordenadas UTM: 369543.640 m E, 2839581.866 m N

Domicilio: Av. Constitución entre la Av. Fr Servando Teresa de Mier y Av. Félix Uresti Gómez.
Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.
Departamento de Geotecnia

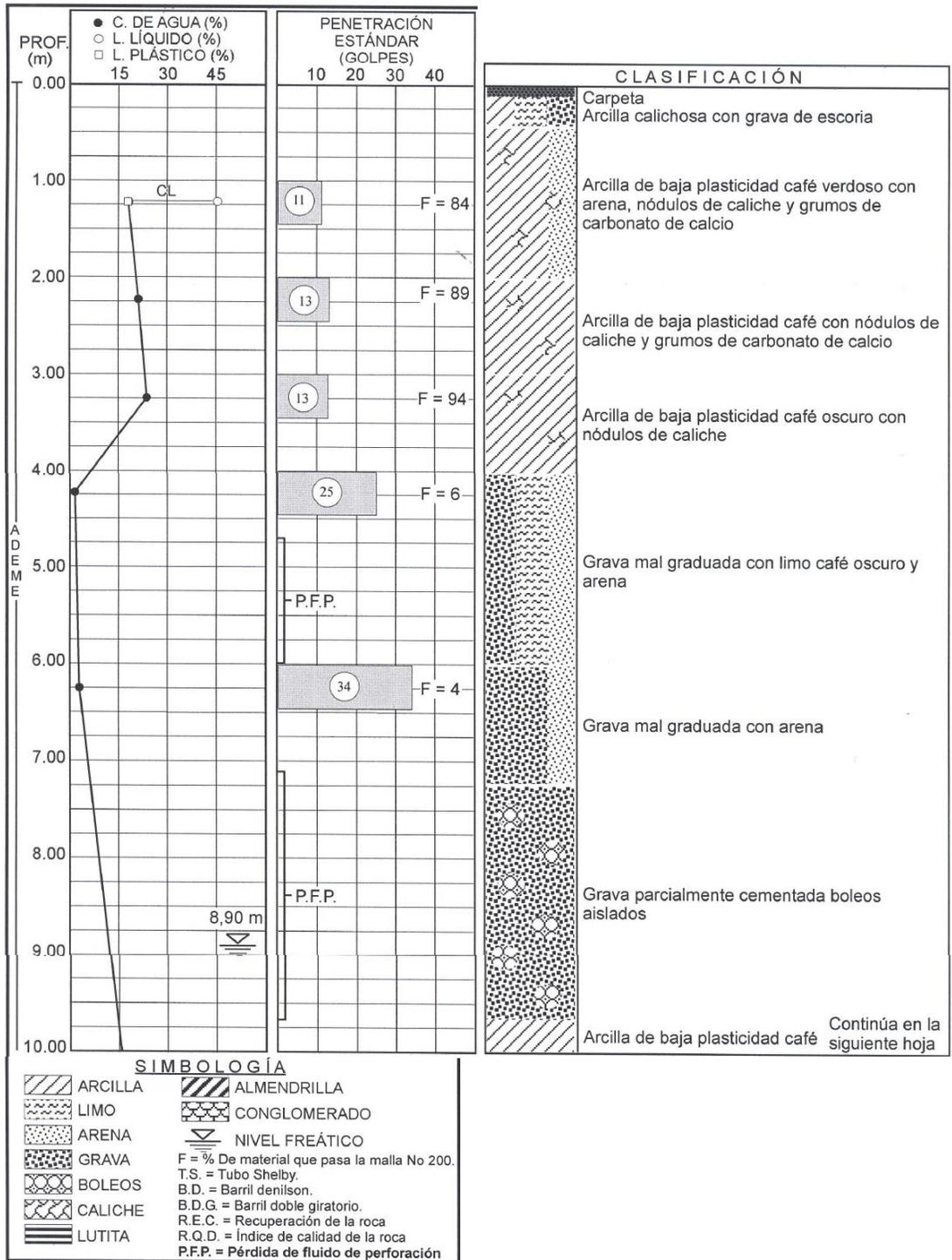


Sondeo No. 8

Coordenadas UTM: 369543.640 m E, 2839581.866 m N

Domicilio: Av. Constitución entre la Av. Fr Servando Teresa de Mier y Av. Félix Uresti Gómez. Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil. Departamento de Geotecnia



Sondeo No. 9

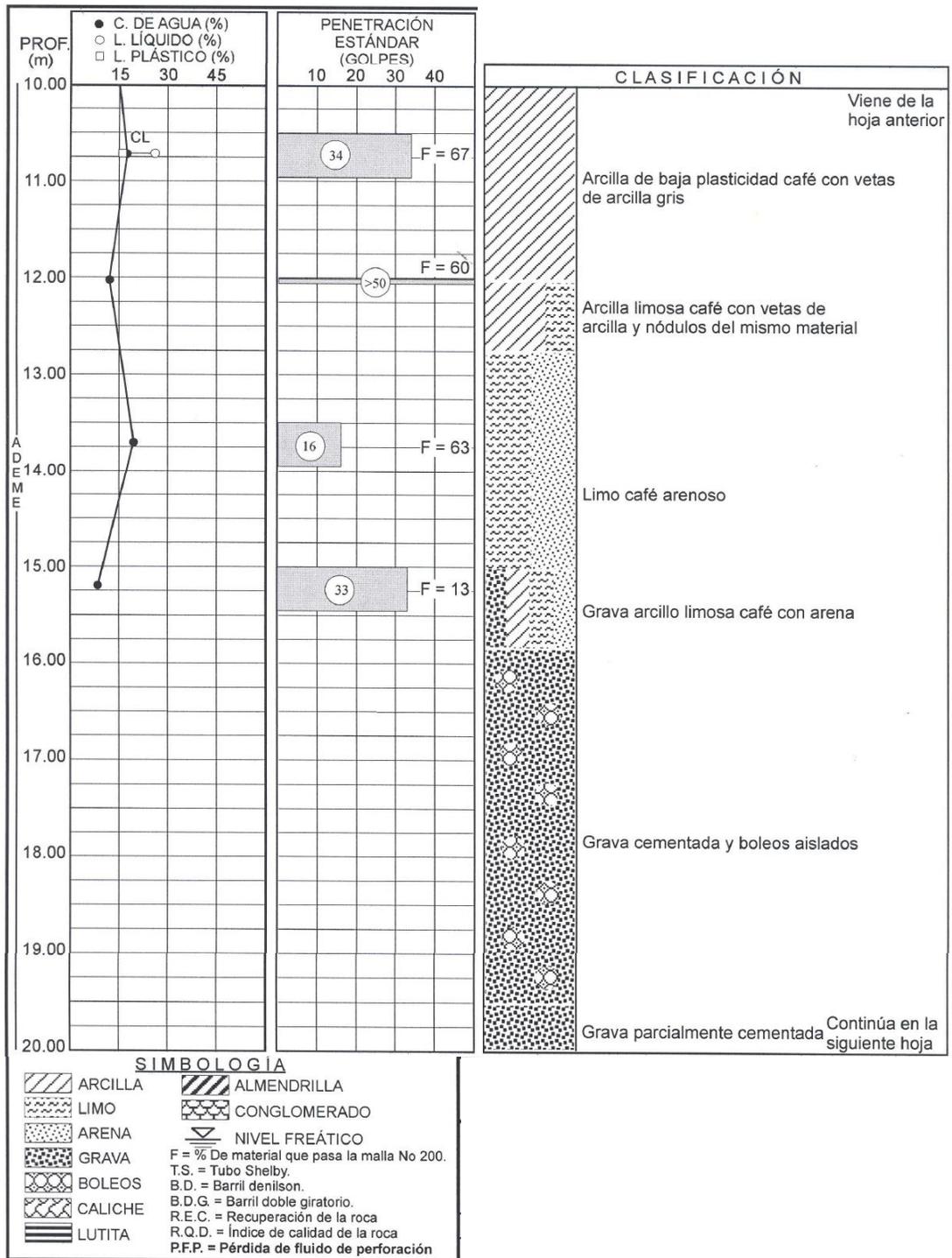
Coordenadas UTM: 369651.546 m E, 2839745.533 m N

Domicilio: Av. Félix Uresti Gómez entre Constitución y Florencio Antillón.

Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Departamento de Geotecnia



Sondeo No. 9

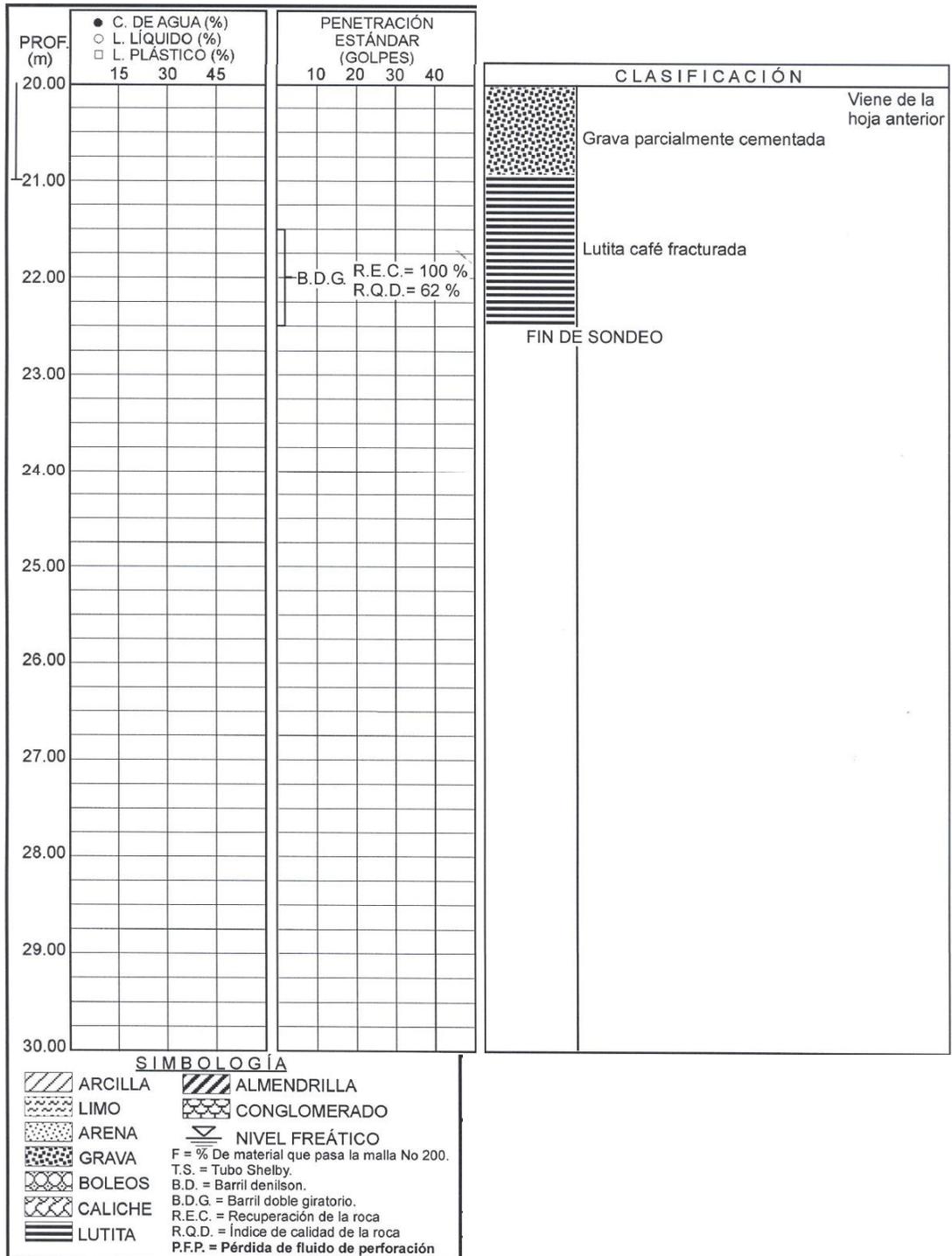
Coordenadas UTM: 369651.546 m E, 2839745.533 m N

Domicilio: Av. Félix Uresti Gómez entre Constitución y Florencio Antillón.

Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Departamento de Geotecnia



Sondeo No. 9

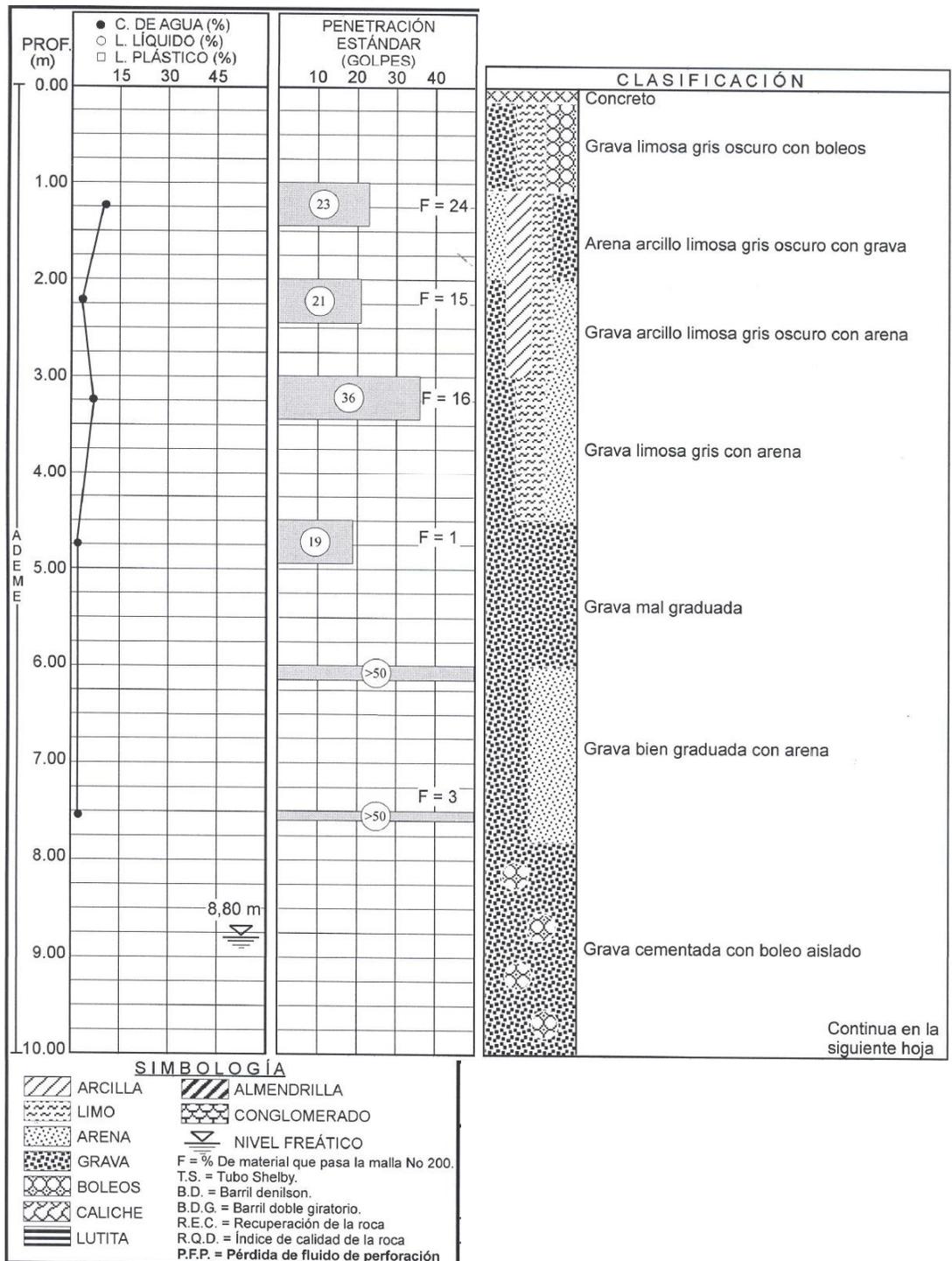
Coordenadas UTM: 369651.546 m E, 2839745.533 m N

Domicilio: Av. Félix Uresti Gómez entre Constitución y Florencio Antillón.

Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Departamento de Geotecnia



Sondeo No. 10

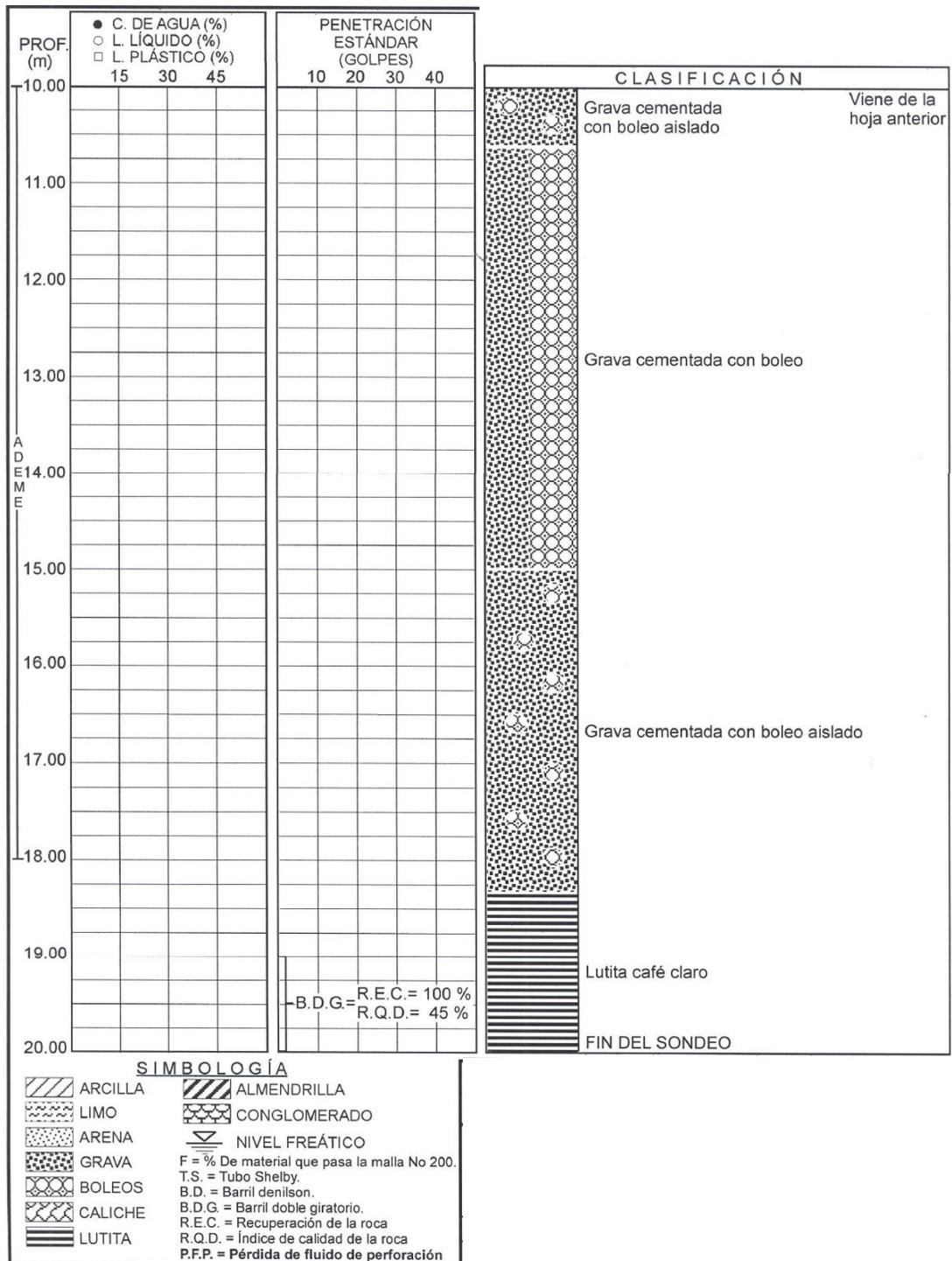
Coordenadas UTM: 369685.815 m E, 2839996.002 m N

Domicilio: Av. Félix Uresti Gómez entre Constitución y Florencio Antillón.

Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Departamento de Geotecnia



Sondeo No. 10

Coordenadas UTM: 369685.815 m E, 2839996.002 m N

Domicilio: Av. Félix Uresti Gómez entre Constitución y Florencio Antillón.

Nuevo León.

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Departamento de Geotecnia

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA.

INFORME DE RESULTADOS DEL ESFUERZO A COMPRESION AXIAL EN NUCLEOS DE ROCA.

DIRECCION: Av. Churubusco No. 495. Colonia Fierro.
Monterrey Nuevo León.

FECHA: 2013/03/15

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Tabla No: 2

Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad D _r = (m)	Diámetro Ø = (cm)	Altura h = (cm)	Masa w = (gr)	Carga Ultima P = (kg)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa Vol. γ _m = (kg/m ³)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
5	23	16.50-18.00	5.23	9.80	517.7	538	21.5	210.5	2,459.0	25.0	2.46
5	23	16.50-18.00	5.23	9.71	489.2	760	21.5	208.6	2,345.2	35.4	3.47
6	18	19.50-20.50	5.14	8.26	460.9	567	20.7	171.4	2,689.1	27.3	2.68
6	18	19.50-20.50	5.14	11.05	539.8	986	20.7	229.3	2,354.3	47.5	4.66
7	16	20.00-21.00	5.18	9.64	497.9	1,050	21.1	203.2	2,450.8	49.8	4.89
7	16	20.00-21.00	5.18	8.51	419.2	1,000	21.1	179.3	2,337.4	47.5	4.65
7	17	23.00-24.00	5.20	10.14	529.3	900	21.2	215.3	2,457.9	42.4	4.16
7	17	23.00-24.00	5.18	10.05	506.6	800	21.1	211.8	2,391.9	38.0	3.72

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA.

INFORME DE RESULTADOS DEL ESFUERZO A COMPRESION AXIAL EN NUCLEOS DE ROCA.

DIRECCION: Av. Churubusco No. 495. Colonia Fierro.
Monterrey Nuevo León.

FECHA: 2013/03/15

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Tabla No: 3

Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad D, = (m)	Diámetro \varnothing = (cm)	Altura h = (cm)	Masa w = (gr)	Carga Ultima P = (kg)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa Vol. $\gamma_m =$ (kg/m ³)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
9	10	21.50-22.50	4.95	10.07	451.9	400	19.2	193.8	2,331.9	20.8	2.04
9	10	21.50-22.50	5.00	10.21	484.5	300	19.6	200.5	2,416.8	15.3	1.50
10	7	19.00-20.00	5.05	8.16	363.9	505	20.0	163.4	2,226.5	25.2	2.47
10	7	19.00-20.00	5.06	9.05	431.0	550	20.1	182.0	2,368.3	27.4	2.68
12	18	20.00-21.00	5.20	9.80	484.4	1,000	21.2	208.1	2,327.5	47.1	4.62
12	18	20.00-21.00	5.20	9.77	485.1	500	21.2	207.5	2,338.0	23.5	2.31
14	22	32.00-33.00	4.83	9.62	417.9	450	18.3	176.3	2,370.9	24.6	2.41

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA.

INFORME DE RESULTADOS DEL ESFUERZO A COMPRESION AXIAL EN NUCLEOS DE ROCA.

DIRECCION: Av. Churubusco No. 495. Colonia Fierro.
Monterrey Nuevo León.

FECHA: 2013/03/15

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Tabla No: 4

Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad D, = (m)	Diámetro \varnothing = (cm)	Altura h = (cm)	Masa w = (gr)	Carga Ultima P = (kg)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa Vol. γ_m = (kg/m ³)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
15	16	31.00-	5.19	9.78	509.6	1,460	21.2	206.9	2,463.0	69.0	6.77
15	16	31.00-	5.15	10.38	518.9	640	20.8	216.2	2,399.8	30.7	3.01
16	17	30.00-	5.23	10.10	523.2	1,540	21.5	217.0	2,411.3	71.7	7.03
16	18	33.00-	5.23	10.19	525.7	1,100	21.5	218.9	2,401.4	51.2	5.02
16	18	33.00-	5.25	10.10	527.4	1,430	21.6	218.6	2,412.2	66.1	6.48
18	19	30.00-	5.27	10.39	581.9	3,260	21.8	226.6	2,567.6	149.5	14.66
18	19	30.00-	5.27	10.53	514.8	980	21.8	229.7	2,241.3	44.9	4.41

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA.

INFORME DE RESULTADOS DEL ESFUERZO A COMPRESION AXIAL EN NUCLEOS DE ROCA.

DIRECCION: Av. Churubusco No. 495. Colonia Fierro.
Monterrey Nuevo León.

FECHA: 2013/03/15

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Tabla No: 5

Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad D, = (m)	Diámetro Ø = (cm)	Altura h = (cm)	Masa w = (gr)	Carga Ultima P = (kg)	Área (cm ²)	Volume n (cm ³)	Masa Vol. $\gamma_m = (kg/m^3)$	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
19	21	20.00-21.00	5.16	8.44	383.7	640	20.9	176.5	2,174.00	30.6	3
19	21	20.00-21.00	5.03	9.4	446	840	19.9	186.8	2,387.70	42.3	4.15
19	21	20.00-21.00	5.39	9.79	489.1	1,140	22.8	223.4	2,189.50	50	4.9
21	19	23.00-24.00	5.18	10.15	516.6	1,080	21.1	213.9	2,415.1	51.2	5.03
22	15	18.00-19.00	5.18	10	527.2	1,350	21.1	210.7	2,501.60	64.1	6.28
22	16	20.50-22.00	5.09	10.1	534	1,750	20.3	205.5	2,598.30	86	8.43
22	16	20.50-22.00	5.16	10.32	558.9	1,850	20.9	215.8	2,589.80	88.5	8.68
22	16	20.50-22.00	5.12	10.55	569.3	2,400	20.6	217.2	2,621.00	116.6	11.43

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA.

INFORME DE RESULTADOS DEL ESFUERZO A COMPRESION AXIAL EN NUCLEOS DE ROCA.

DIRECCION: Av. Churubusco No. 495. Colonia Fierro.
Monterrey Nuevo León.

FECHA: 2013/03/15

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Tabla No: 6

Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad D, = (m)	Diámetro Ø = (cm)	Altura h = (cm)	Masa w = (gr)	Carga Ultima P = (kg)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa Vol. γm = (kg/m ³)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
23	18	21.00-22.00	5.19	9.86	489.5	1,040	21.2	208.6	2,346.70	49.2	4.82
23	18	21.00-22.00	5.19	9.84	490.2	900	21.2	208.2	2,354.80	42.5	4.17
24	9	13.00-14.00	5.20	7.87	398.5	1,520	21.2	167.1	2,384.30	71.6	7.02
26	8	21.00-22.00	5.16	9.14	439.1	880	20.9	191.1	2,297.40	42.1	4.13
26	8	21.00-22.00	5.18	9.82	475.2	980	21.1	206.9	2,296.20	46.5	4.56
27	9	22.00-23.00	5.22	9.75	524.6	2,100	21.4	208.7	2,514.20	98.1	9.62
27	9	22.00-23.00	5.25	9.76	531.8	800	21.6	211.3	2,517.00	37	3.62

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA.

INFORME DE RESULTADOS DEL ESFUERZO A COMPRESION AXIAL EN NUCLEOS DE ROCA.

DIRECCION: Av. Churubusco No. 495. Colonia Fierro.
Monterrey Nuevo León.

FECHA: 2013/03/15

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Tabla No: 7

Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad D, = (m)	Diámetro \varnothing = (cm)	Altura h = (cm)	Masa w = (gr)	Carga Ultima P = (kg)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa Vol. $\gamma_m = (\text{kg}/\text{m}^3)$	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
28	10	23.00-24.00	5.24	9.85	544.6	2,000	21.6	212.4	2,563.8	92.7	9.09
28	10	23.00-24.00	5.24	10.18	562.0	2,750	21.6	219.5	2,560.0	127.5	12.51
28	10	23.00-24.00	5.23	10.23	558.1	2,750	21.5	219.8	2,539.5	128.0	12.55
29	13	24.00-25.00	5.21	10.05	566.1	2,105	21.3	214.3	2,642.2	98.7	9.68
29	13	24.00-25.00	5.20	9.81	552.1	2,320	21.2	208.3	2,650.0	109.2	10.71
29	13	24.00-25.00	5.21	10.16	571.4	3,685	21.3	216.6	2,638.0	172.9	16.95
29	14	29.00-30.00	5.18	10.37	579.0	1,690	21.1	218.5	2,649.4	80.2	7.86
29	14	29.00-30.00	5.18	10.31	558.0	1,850	21.1	217.3	2,568.2	87.8	8.61
29	14	29.00-30.00	5.19	10.22	564.1	2,070	21.2	216.2	2,609.0	97.8	9.60

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA.

INFORME DE RESULTADOS DEL ESFUERZO A COMPRESION AXIAL EN NUCLEOS DE ROCA.

DIRECCION: Av. Churubusco No. 495. Colonia Fierro.
Monterrey Nuevo León.

FECHA: 2013/03/15

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Tabla No: 8

Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad D, = (m)	Diámetro \emptyset = (cm)	Altura h = (cm)	Masa w = (gr)	Carga Ultima P = (kg)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa Vol. γ_m =	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
30	8	21.00-22.00	5.23	10.19	529.9	3,670	21.5	218.9	2,420.6	170.8	16.75
30	8	21.00-22.00	5.23	10.14	558.8	3,270	21.5	217.8	2,565.2	152.2	14.93
30	8	21.00-22.00	5.23	10.04	538.7	3,950	21.5	215.7	2,497.6	183.9	18.03
31	11	23.00-24.00	5.12	11.97	580.0	331	20.6	246.4	2,353.4	16.1	1.58
31	12	26.00-27.00	5.12	12.64	597.0	626	20.6	260.2	2,294.0	30.4	2.98
32	2	19.00-20.00	5.21	9.81	488.5	1,200	21.3	209.1	2,335.8	56.3	5.52
32	2	19.00-20.00	5.21	11.09	530.2	1,000	21.3	236.4	2,242.6	46.9	4.60
32	2	19.00-20.00	5.21	11.29	560.0	1,000	21.3	240.7	2,326.6	46.9	4.60

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA.

INFORME DE RESULTADOS DEL ESFUERZO A COMPRESION AXIAL EN NUCLEOS DE ROCA.

DIRECCION: Av. Churubusco No. 495. Colonia Fierro.
Monterrey Nuevo León.

FECHA: 2013/03/15

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Tabla No: 9

Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad D, = (m)	Diámetro \varnothing = (cm)	Altura h = (cm)	Masa w = (gr)	Carga Ultima P = (kg)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa Vol. γ_m = (kg/m ³)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
33	6	19,50-20,50	4.71	10.73	431.6	908	17.4	187.0	2,308.6	52.1	5.11
34	18	19.00-20.00	5.19	10.11	441.1	660	21.2	213.9	2,062.3	31.2	3.06
34	18	19.00-20.00	5.19	8.66	509.5	814	21.2	183.2	2,781.0	38.5	3.77
35	17	23.00-24.00	5.09	9.08	414.6	705	20.3	184.8	2,244.0	34.6	3.40
35	18	24.00-25.00	5.16	11.95	593.3	1,897	20.9	249.9	2,374.2	90.7	8.90
35	18	24.00-25.00	5.16	10.64	519.6	1,576	20.9	222.5	2,335.3	75.4	7.39

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA.

INFORME DE RESULTADOS DEL ESFUERZO A COMPRESION AXIAL EN NUCLEOS DE ROCA.

DIRECCION: Av. Churubusco No. 495. Colonia Fierro.
Monterrey Nuevo León.

FECHA: 2013/03/15

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Tabla No: 10

Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad D, = (m)	Diámetro \varnothing = (cm)	Altura h = (cm)	Masa w = (gr)	Carga Ultima P = (kg)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa Vol. γ_m = (kg/m ³)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
36	15	16.00-17.00	5.22	10.45	535.2	1,809	21.4	223.6	2,393.1	84.5	8.2
36	16	19.00-20.00	5.24	10.56	532.3	730	21.6	227.7	2,337.4	33.9	3.3
36	16	19.00-20.00	5.23	7.45	384.6	1,417	21.5	160.0	2,403.0	66.0	6.4
37	17	18.00-19.00	5.20	10.42	527.0	1,600	21.2	221.3	2,381.5	75.3	7.3
37	17	18.00-19.00	5.21	10.29	527.2	1,150	21.3	219.4	2,403.2	53.9	5.2
37	17	18.00-19.00	5.21	10.35	519.0	1,350	21.3	220.7	2,352.1	63.3	6.2
38	19	23.00-24.00	5.21	9.94	492.4	850	21.3	211.9	2,323.6	39.9	3.9
38	19	23.00-24.00	5.20	10.40	583.5	4,600	21.2	220.9	2,641.9	216.6	21.24

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA.

INFORME DE RESULTADOS DEL ESFUERZO A COMPRESION AXIAL EN NUCLEOS DE ROCA.

DIRECCION: Av. Churubusco No. 495. Colonia Fierro.
Monterrey Nuevo León.

FECHA: 2013/03/15

Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.

Tabla No: 11

Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad D, = (m)	Diámetro \varnothing = (cm)	Altura h = (cm)	Masa w = (gr)	Carga Ultima P = (kg)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Masa Vol. $\gamma_m =$ (kg/m ³)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
39	13	13.50-15.00	5.21	10.13	554.8	8,100	21.3	216.0	2,569.0	379.9	37.26
39	13	13.50-15.00	5.21	9.92	541.9	5,400	21.3	211.5	2,562.4	253.3	24.84
39	13	13.50-15.00	5.21	10.23	561.0	3,500	21.3	218.1	2,572.3	164.2	16.10
39	14	20.50-22.00	5.23	10.02	549.8	5,500	21.5	215.3	2,554.1	256.0	25.11
39	14	20.50-22.00	5.23	10.45	575.9	5,400	21.5	224.5	2,565.3	251.4	24.65
39	14	20.50-22.00	5.23	9.80	542.2	7,350	21.5	210.5	2,575.4	342.1	33.55
40	15	25.00-26.00	5.17	10.58	543.9	1,250	21.0	222.1	2,448.9	59.5	5.84
40	15	25.00-26.00	5.19	11.78	617.0	1,400	21.2	249.2	2,475.8	66.2	6.49
40	15	25.00-26.00	5.17	10.51	538.9	2,450	21.0	220.6	2,442.5	116.7	11.44
41	22	27.00-28.00	5.18	10.13	534.2	800	21.1	213.5	2,502.3	38.0	3.72
41	22	27.00-28.00	5.19	10.11	520.4	1,050	21.2	213.9	2,433.1	49.6	4.87

Análisis de abatimiento

Fecha: 02/03/2013 **Coordenadas UTM:** X= 368757.358 Y=2839532.441 Z=530.031

Localización: Padre Mier #885 **Diámetro:** 10 pulgadas

Fecha inicio: 02/03/2013 **Hora de inicio:** 11:20 am

Fecha término: 05/03/2013 **Hora de término:** 11:20 am

		GASTO:	112.9 Ips		N.E.	7.52 m	
Fecha	Hora	Tiempo de lectura	Tiempo acumulado (minutos)	No.	Distancia en sonda (metros)	Nivel dinámico (metros)	Características del agua / Gasto Q (Ips)
02/03/2013	11:20	00:00	0	1	0	7.52	
02/03/2013	11:21	00:01	1.00	2	1.21	8.73	140
02/03/2013	11:22	00:01	2.00	3	1.212	8.732	
02/03/2013	11:23	00:01	3.00	4	1.212	8.732	
02/03/2013	11:24	00:01	4.00	5	1.22	8.74	
02/03/2013	11:25	00:01	5.00	6	1.22	8.74	
02/03/2013	11:26	00:01	6.00	7	1.22	8.74	
02/03/2013	11:27	00:01	7.00	8	1.246	8.766	
02/03/2013	11:28	00:01	8.00	9	1.25	8.77	
02/03/2013	11:29	00:01	9.00	10	1.273	8.793	
02/03/2013	11:30	00:01	10.00	11	1.273	8.793	
02/03/2013	11:32	00:02	12.00	12	1.284	8.804	
02/03/2013	11:34	00:02	14.00	13	1.291	8.811	
02/03/2013	11:36	00:02	16.00	14	1.291	8.811	

Fecha	Hora	Tiempo de lectura	Tiempo acumulado (minutos)	No.	Distancia en sonda (metros)	Nivel dinámico (metros)	Características del agua / Gasto Q (l/s)
02/03/201	11:38	00:02	18.00	15	1.3	8.82	
02/03/201	11:40	00:02	20.00	16	1.304	8.824	
02/03/201	11:45	00:05	25.00	17	1.307	8.827	
02/03/201	11:50	00:05	30.00	18	1.307	8.827	
02/03/201	12:00	00:10	40.00	19	1.31	8.83	
02/03/201	12:10	00:10	50.00	20	1.31	8.83	
02/03/201	12:20	00:10	60.00	21	1.31	8.83	136.5
02/03/201	12:35	00:15	75.00	22	1.31	8.83	
02/03/201	12:50	00:15	90.00	23	1.311	8.831	
02/03/201	13:20	00:30	120.00	24	1.316	8.836	132.13
02/03/201	13:50	00:30	150.00	25	1.32	8.84	
02/03/201	14:20	00:30	180.00	26	1.33	8.85	124.8
02/03/201	15:20	01:00	240.00	27	1.34	8.86	
02/03/201	16:20	01:00	300.00	28	1.372	8.892	121.6
02/03/201	17:20	01:00	360.00	29	1.394	8.914	119.71
02/03/201	18:20	01:00	420.00	30	1.41	8.93	122.28
02/03/201	23:20	05:00	720.00	31	1.47	8.99	118.51
03/03/201	11:20	12:00	1440.00	32	1.5	9.02	117.63
04/03/201	11:20	24:00	2880.00	33	1.576	9.096	114.58
05/03/201	11:20	24:00	4320.00	34	1.71	9.23	112.9

Los resultados obtenidos en la prueba de bombeo de larga duración (72 horas) en el pozo, se estableció el comportamiento hidráulico del acuífero en la zona de estudio fueron determinados totalmente, se logró definir la presencia de un acuífero libre en medio granular.

Para la obtención de datos fue necesario aplicar las ecuaciones de Theis, Jacob y Cooper las cuales se desarrollan continuación.

$$s_p = \left(\frac{Q}{4\pi T} \right) (W(u))$$

Donde:

s_p = descenso medido (m)

Q = Caudal ($m^3/día$)

T = Transmisibilidad en ($m^2/día$)

Para determinar T se utilizó la ecuación de **Jacob** la cual es igual a:

$$T = \frac{Q}{4\pi S} * \log(2.25x T \cdot t) / r^2 S$$

Donde $T = 31.48$

A partir de la ecuación de **Theis** con un gasto específico de 113 l/s se obtiene el valor de $W(u)$:

$$Q = \frac{4\pi T S \rho}{W(u)} \text{ por lo tanto } W(u) = \frac{4\pi T S \rho}{Q}$$

$$W(u) = \frac{(3.85)(4)(3.14)(31.48)}{9763.2} = 0.15$$

Basándonos en los valores de $W(u)$ correspondientes a valores de u para ser utilizados en la fórmula (Custodio y Llamas 1975) se obtuvo el siguiente valor de: $u = 1.2 \times 10^{-2}$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Despejando el coeficiente de almacenamiento

$$S = \frac{4uTt}{r^2}$$

r = radio del pozo

S = coeficiente de almacenamiento se obtuvo después de realizar los cálculos mediante la ecuación de **Theis**.

t = tiempo

T = Transmisibilidad

$$S = \frac{4uTt}{r^2} = \frac{(4)(1.21 \times 10^{-10})(31.48)(3)}{4^2} = 2.8 \times 10^{-1}$$

La conductividad hidráulica promedio es del orden de 3.17 m/día, equivalente a 3.66×10^{-3} cm/seg.

Coeficiente de permeabilidad, k: velocidad de descarga de agua en condiciones de flujo

Laminar a través de un área transversal unitaria de un medio poroso bajo un gradiente hidráulico unitario y en condiciones estándar de temperatura (normalmente 20°C). El coeficiente de permeabilidad, k, es diferente a la permeabilidad del medio, K, y en su determinación debe tomarse en cuenta la viscosidad (μ), el peso unitario del fluido, γ , a más de la permeabilidad del medio, K, de acuerdo con la ecuación:

$k = \gamma K / \mu$ (Normas ASTM D2434, D5084 D5126). Cf. Permeabilidad.

Si se aplica el criterio que establece la NOM ASTM D 2434, D5084 y D 5126. El coeficiente de permeabilidad (Cf) de acuerdo a la ecuación: $k = \gamma K / \mu$

$K = \gamma k / \mu$, despejando $k = K \mu / \gamma$

Donde:

$\gamma = 0.997044$ gr/cm³; 9.97×10^{-1} gr/ cm³ .Densidad del agua

$\mu =$ Viscosidad del agua (0.88)gr/seg.cm

$K = 3.66 \times 10^3$ cm/seg

El acuífero en medios granulares está estrechamente relacionado con depósitos aluviales del cuaternario, la recarga de este acuífero es de carácter regional. En la parte sur poniente del Cañón de la Huasteca se observa muy claramente el abanico aluvial, en contacto con las rocas del Cretácico Inferior.

Año y Mes de lectura	Metrorrey I PTE	Metrorrey II PTE	Metrorrey III PTE	Metrorrey II OTE	Metrorrey I OTE	Macro Plaza I	
2013	Sep		9.00	7.00	7.00	11.90	
	Oct		7.60	8.10	6.10	6.10	10.90
	Nov	7.30		9.30	6.00	6.00	11.00
	Dic	7.10		8.10	4.90	4.90	10.90
2014	Ene	8.40		9.20	9.70	9.70	13.90
	Feb	8.40	8.80	9.20	8.50	8.50	13.50
	Mar	11.60	11.40	11.80	9.70	9.70	13.90
	Abr	12.55	12.10	12.50	10.40	10.40	14.15
	May	13.50	12.80	13.20	11.10	11.10	14.40
	Jun	15.50	14.50	14.80	12.90	12.90	15.50
	Jul	17.80	13.65	16.70	15.00	15.00	16.70
	Ago	16.70	14.17	16.50	14.70	14.70	16.60
	Sep	15.80	14.70	15.00	13.30	13.30	15.50
2015	Sep	7.70	8.20	8.70	6.10	6.80	11.50
	Oct	8.00	8.40	8.80	6.30	6.90	11.50
	Nov	8.00	8.50	9.00	6.30	6.90	11.80
	Dic	8.50	9.00	9.50	6.40	10.91	12.10
2016	Ene	8.90	9.40	9.90	7.10	7.80	12.50

Niveles de pozos Macro Plaza

Propiedad de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey L. P. D. y dirección de proyectos, Operaciones y Saneamiento.

En esta tabla se muestra los niveles recuperados que son 2013 y medio año del 2014, el resto del año 2014 es el máximo abatimiento que hubo en los pozos

Y los meses que se muestran del 2015 y 2016 son niveles que ya están recuperados nuevamente

	14-18 jul 14	21-24 jul 14	28 jul - 1 ago 14	4 - 8 ago 14	11-15 ago 14
TUNEL MONTEM-DR. COSS	16.08	17.02	17.00	16.83	16.84
CALLE D. MONTEMAYOR	17.47	18.07	18.26	18.36	18.30
TUNEL F-1 PONIENTE	16.79	17.09	17.02	16.82	16.83
TUNEL F-2 ORIENTE	17.38	17.85	17.68	17.13	17.13
LUMBRERA LADO SUR	17.32	17.53	17.25	17.00	17.50
TUNEL F-2 JAVIER MINA	18.09	17.97	16.95	16.87	16.81
TUNEL F-3 PONIENTE	14.73	no lectura	15.73	15.82	16.00
CAJON 1 TIPO 2	no lectura	no lectura	15.46	14.23	14.07
CAJON 2 TIPO 6	no lectura	no lectura	11.52	10.97	12.68

**Propiedad de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey L. P. D. y
dirección de proyectos, Operaciones y Saneamiento.**

Niveles por semana del máximo abatimiento que se tuvo, que son en los meses julio agosto