



**POSGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS HÍDRICAS PCH (CON MENCIÓN AMBIENTAL)**

“Especialización en Contaminación de Aguas Subterráneas” (ECASub). Tesina Postgrado “Contaminación de aguas subterráneas”

**TESIS: ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL Y REMEDIACIÓN PASIVA DE UN SITIO AFECTADO POR LA PURGA DE UN GASODUCTO DE MEDIA PRESIÓN. CASO DE ESTUDIO FG-28, LAS HERAS SANTA CRUZ.**



0	15/12/2015	TESIS FINAL	AUTOR. Lic. Eduardo Chocan	DIRECTOR: DR. Mario Grizinik	
REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARÓ	REVISÓ	APROBÓ

## CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	3
2	ABSTRACT.....	3
3	OBJETO.....	4
4	ALCANCE.....	4
5	UBICACIÓN.....	5
6	INSTALACIONES EN SITIO FG-28 Y AREA INMEDIATA DE INFLUENCIA.....	8
7	ANTECEDENTES PREVIOS, ESTUDIOS AMBIENTALES.....	12
8	MEDIO FISICO.....	15
9	CARACTERIZACION AMBIENTAL.....	21
10	ANALISIS DE RIESGO.....	39
11	ALTERNATIVAS DE REMEDIACION.....	46
12	REMEDIACION AMBIENTAL.....	46
13	MONITOREO AMBIENTAL Y CIERRE.....	49
14	CONCLUSIONES.....	58
15	AGRADECIMIENTOS.....	59
16	BIBLIOGRAFIA.....	60
16	ANEXOS.....	62

## **1 INTRODUCCIÓN**

Se presenta el caso de estudio de un incidente ambiental registrado en la Estancia Santa Eulalia del Yacimiento Los Perales, FG-28 (UELH YPF, Santa Cruz), en el mes de diciembre del año 1999, dónde se comprobó la afectación del recurso hídrico subterráneo por pérdidas e infiltraciones en el sistema de purgas del gasoducto cercano (detectando no hermeticidad de las mismas vinculado a problemas constructivos).

Uno de los sitios con evidencia de afectación en el recurso agua subterránea por gasolina o condensado de gas, es el FG-28.

La empresa toma acciones, previo acuerdo con las Autoridades Provinciales , primero denunciando el incidente a las Autoridades de Aplicación y posteriormente realizando relevamientos e inspecciones, implementación de acciones correctivas propuestas bajo presentación de cronograma , tarea de cierre de válvula purga del gasoducto de media presión, pruebas de estanqueidad, pruebas hidráulicas en las cámaras, impermeabilización de cámaras de purga de los gasoductos, muestreos de agua y suelo , estudios hidrogeológicos realizados por la Facultad de Ciencias Naturales UNPSJB , caracterizaciones ambientales, saneamientos, remediación (extracción de Fase líquida no acuosa (FLNA ) , y monitoreos (freatímetros de control), desde 2000 a 2008, caracterización definitiva realizada en el año 2012 por una consultora ambiental.

Se aplican técnicas de investigación combinadas (métodos directos e indirectos) en el predio de emplazamiento de la purga FG-28 con el objetivo de actualizar la información existente, identificar un modelo conceptual que realmente permitiese explicar las reapariciones de producto, identificar la cadena de riesgo ambiental, los patrones de transporte de los compuestos y el grado de afectación en los recursos agua subterránea y suelo, así como extraer conclusiones pertinentes y establecer las bases para la toma de decisiones futuras con el objetivo final de reparar y/o mitigar la afectación ambiental identificada en este sitio.

Posteriormente, a partir del año 2103 hasta finales del año 2015, se procede a la remediación y seguimiento (monitoreo), con presentación de informes mensuales, trimestrales y anuales a la Autoridad de aplicación (Secretaria Medio Ambiente de la Provincia de Santa Cruz).

## **2 ABSTRACT**

The case study of an environmental incident at the Estancia Santa Eulalia Los Perales Oil field, FG-28 (UELH YPF, Santa Cruz), in December 1999, where the effect on groundwater resources are found is presented losses and infiltrations in the system purges the nearest pipeline (not detecting tightness of the same constructive problems linked to).

Methodological description of an impacted site is made, from the environmental characterization to the remediation and monitoring.

It is a collection of background work, presentation of results, interpretation and conclusions.

### **3 OBJETO**

Descripción metodológica de un sitio impactado , desde la caracterización ambiental hasta la remediación y monitoreo.

Es un trabajo de recopilación de antecedentes, presentación de resultados, interpretación y conclusiones .

Tanto la información obtenida en estudios previos como en la registrada en la presente investigación , plantearon una serie de interrogantes, que pudieron ser resueltos a partir del planteo de un Modelo Conceptual coherente para el sitio (ya elaborado), con el cuál se logró realizar una propuesta de remediación pasiva para el lugar afectado.

Se analizó e interpretó toda la información, con la finalidad de concluir sobre la efectividad de las tareas de remediación que se llevaron a cabo.

Además presentar este caso complejo como un caso de estudio que podría ser aplicado en otras situaciones de afectación similares.

### **4 ALCANCE**

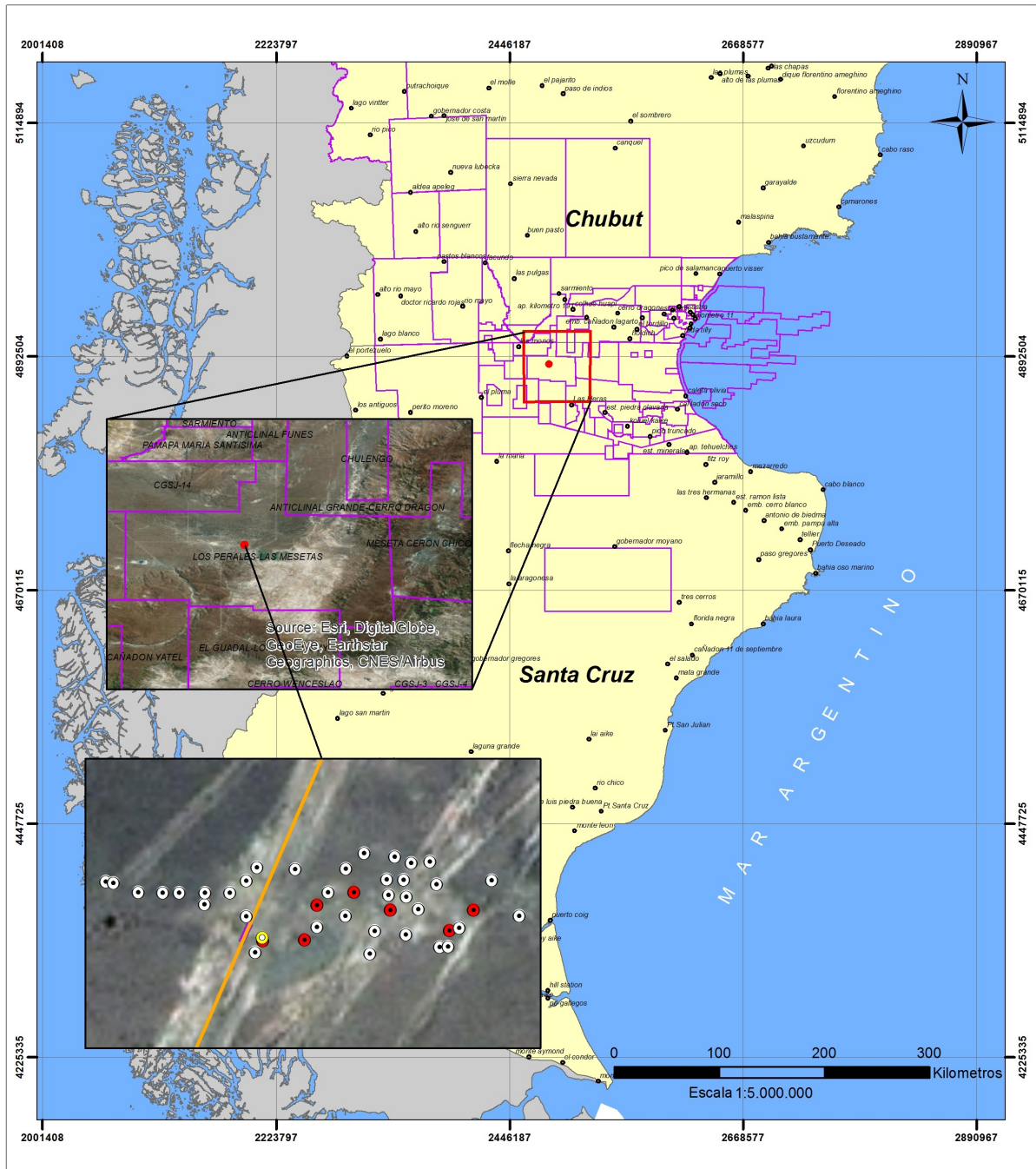
La caracterización y remediación aquí presentada, contempla el alcance de los siguientes objetivos, a saber:

- Identificar para el sitio en investigación la litología y estructura del terreno, así como los niveles acuíferos presentes.
- Conocer el funcionamiento hidrogeológico de los niveles más someros del subsuelo y su relación con las aguas superficiales así como determinar los patrones de flujo de las aguas subterráneas.
- Conocer el alcance e intensidad de la afectación en los recursos suelo e hídrico subterráneo, así como su capacidad de movilidad y dispersión.
- Establecer el Modelo Conceptual de sitio que permitiera explicar la real situación del predio y establecer las bases de toma de decisiones futuras, como las propuestas de alternativas de Remediación y monitoreos

## **5 UBICACIÓN**

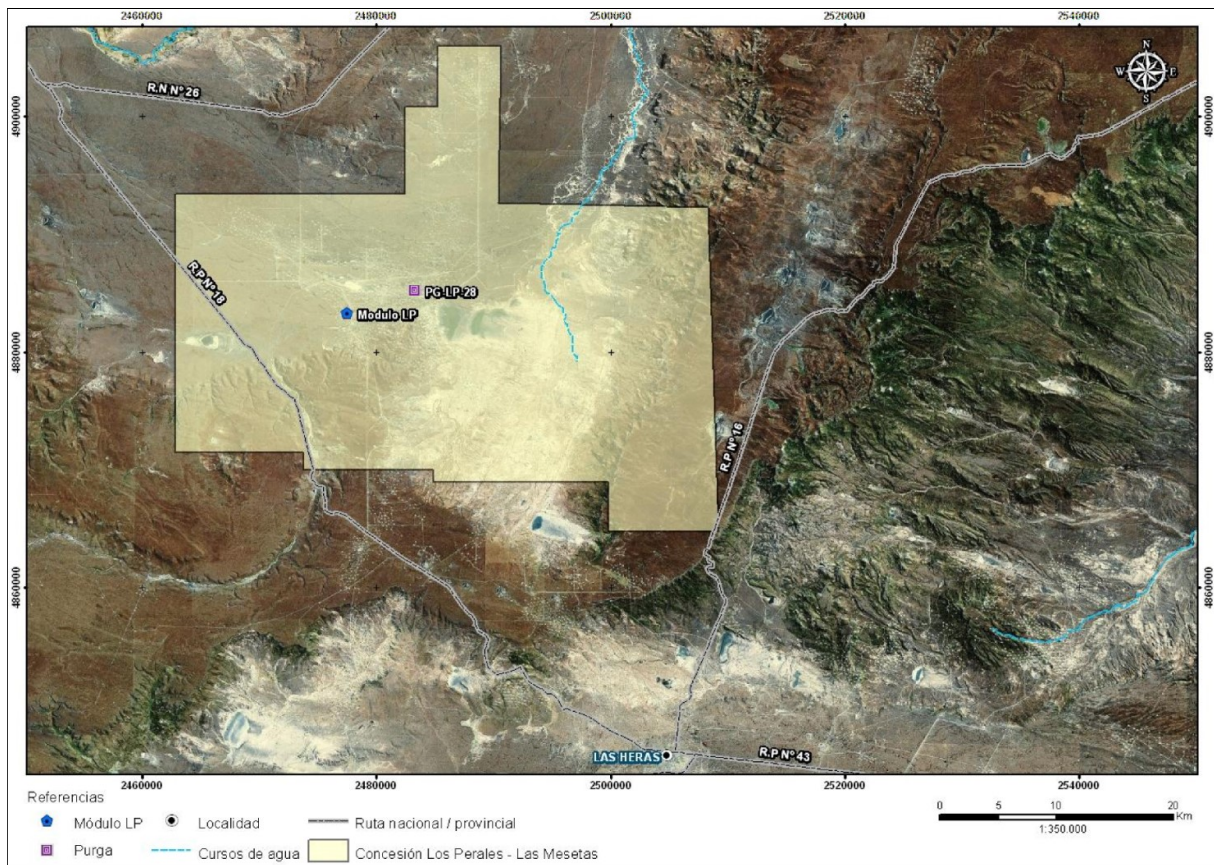
El área del caso de estudio (de influencia a la Purga FG28), corresponde a uno de los siete (7) sitios problema identificados por YPF S.A a lo largo de la traza del gasoducto de media presión Los Perales-Loma del Cuy ubicado en los yacimientos Los Perales-Las Mesetas y el Guadal-Loma del Cuy, al NO de la ciudad de Las Heras, Provincia de Santa Cruz.

El sitio se emplaza más específicamente a 6 kilómetros al NE del Módulo correspondiente al Yacimiento Los Perales y a 1.8 kilómetros al NO de la Unidad Deshidratadora LP-03. El detalle de su ubicación se muestra en la figura 1.

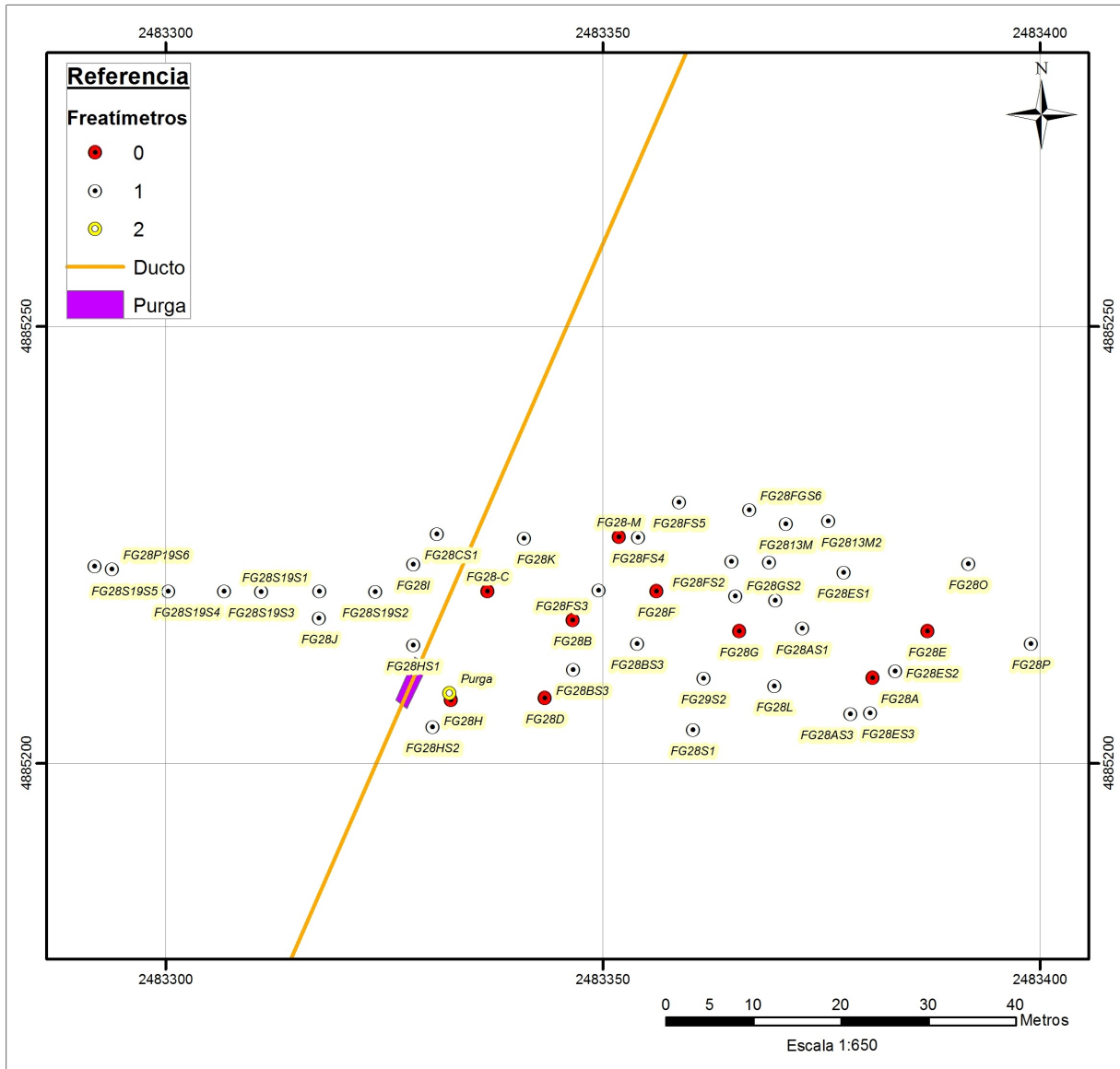


**Fig.1. Mapa de ubicación del sitio en relación a la Provincia y el yacimiento.**

La imagen mostrada a continuación (Figura 2), presenta el mapa regional de ubicación relativa del sitio en relación a centros poblados y las rutas tanto nacionales como provinciales.



**Figura. 2.** Mapa regional de ubicación relativa del sitio.



**Figura .3.** Mapa de ubicación de sondeos de suelos y freatímetros realizados durante la caracterización.

## **6 INSTALACIONES EN SITIO FG-28 Y AREA INMEDIATA DE INFLUENCIA**

El sitio de emplazamiento de la purga “FG-28” aquí en investigación, se encuentra rodeado de gran cantidad de instalaciones de superficie propias de la actividad hidrocarburífera asociadas a extracción y pretratamiento de crudo, así como de instalaciones de transporte vinculadas a la movilización de las corrientes hidrocarburos y gas.

En el bajo donde se emplaza la purga (válvula), de gasoducto de media presión “FG-28”, se registraron las siguientes instalaciones:



Boca de succión del sistema de purga: a menos de 1 metro al W del camino secundario de yacimiento que atraviesa el predio en investigación, se registró la existencia de la boca aérea (para camión de vacío) de extracción de condensado de gasoducto vinculada a la trampa del sistema de gas soterrada e instalada por YPF S.A luego de la erradicación de la cámara existente a mediados de 2001.

Pozos de control (freatímetros). En el sitio se registraron nueve (9) pozos freáticos, perforados e instalados durante los estudios de “caracterización preliminar” y “extracción de producto” desarrollados a comienzos de la década del 2000 (2001/2002), todos activos, identificados y con candado.

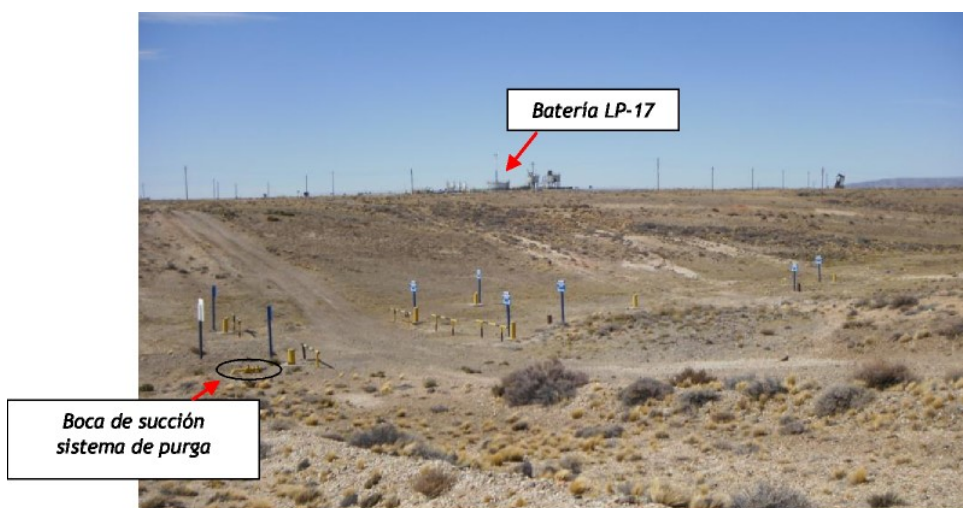
Dos de los citados freáticos (FG28-H y FG28-C) se emplazan al W del camino secundario de yacimiento paralelos a la boca de succión del sistema de purga, mientras que los restantes 7 (FG28-B,FG28D,FG-28,FG28-G,FG28-F,FG28-A,FG28-E) se ubican al E del mencionado camino secundario, en las inmediaciones del eje del cañadon pendiente abajo de la purga de gasoducto.

Instalaciones de transporte: se registró la existencia de 5/6 instalaciones de transporte de hidrocarburo y gas en servicio, entre las que pueden mencionarse, 3 líneas de conducción de petróleo, desde los pozos de extracción LP- 105,LP- 138 y LP.a-83 hacia la batería LP- 17.

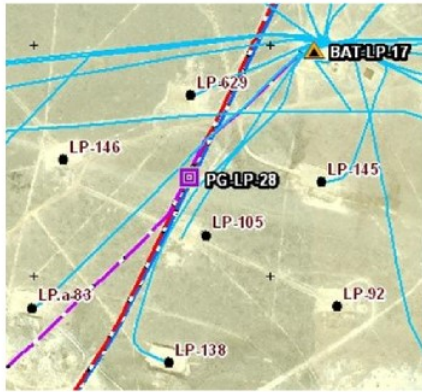
1/2 gasoducto(s) de media presión, que conecta(n) el empalme de la planta de tratamiento PT-LP-03/Planta Dewpoint con la planta compresora de gas PCG-EC-02.

1 gasoducto entre la batería LP- 17 y la planta compresora de gas EC-03.

A continuación se presenta el resumen del relevamiento fotografico realizado en el sitio, mientras que los mapas siguientes (Figuras 3 y 4), presentan el detalle de las instalaciones registradas y de interés en este estudio.



**Fig.4.** Mapa de instalaciones de superficie en el entorno a la purga de gasoducto FG-28.



- Líneas de conducción
- Líneas de gas
- Líneas de gas
- Líneas de gas

Fuente: Geodatabase YPF S.A



Vista de detalle de la boca de succión del sistema de purga

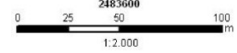


Extracción del líquido condensado por parte de uno de los contratistas de YPF S.A



Referencias

- Pozo
- Purga
- Freatímetros preexistentes
- Gasoducto (PT-LP-03 / DEWPOINT a PCG-EC-02)
- Gasoducto (BAT-LP 17 - PCG-EC-03)



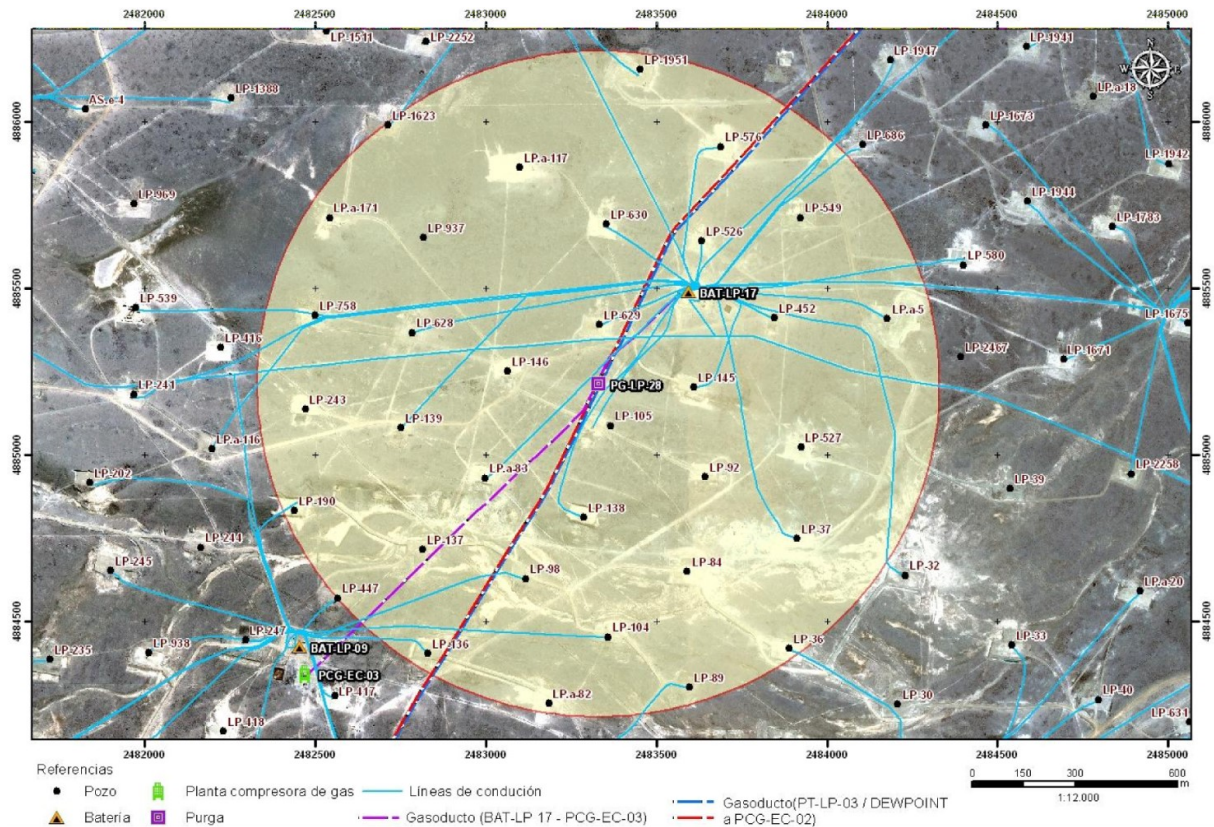
**Fig.5** Mapa de detalle de instalaciones existentes en el sitio de emplazamiento de la purga FG-28, vinculados a transporte de gas y monitoreo de superficie freática.

### **6.1 AREA INMEDIATA DE INFLUENCIA**

En el entorno al sitio de emplazamiento de la purga FG-28 del gasoducto de media presión LP-LC y con un radio de influencia relevado de 1.000 metros a partir del mismo, se registraron las siguientes instalaciones a saber,

- Pozos de extracción. El área cuenta con más de 30 pozos de extracción de crudo, cuatro de los cuales se emplazan a menos de 300 metros de distancia del sitio aquí investigado (pozo: LP105 hacia el SE, pozo LP-145 hacia el E, pozo LP-169 al N y pozo LP-146 al NW).
- Instalaciones de transporte. Por tratarse de un área de explotación petrolera, en el entorno al sitio se registraron varias líneas de conducción de petróleo de los pozos de extracción activos hacia las instalaciones de superficie instaladas en el área. No registrando líneas de conducción de gas ni gasoductos adicionales a las ya mencionados en el ítem precedente del informe.
- Instalaciones de superficie. La única instalación de superficie registrada en el entorno de influencia establecido corresponde la Batería LP-17, receptora de la gran mayoría de las líneas de petróleo mencionadas en párrafos anteriores.

A continuación, se muestra una imagen de las intalaciones de superficie en el entorno de la purga del gasoducto FG-28



**Fig. 6.** Mapa de instalaciones de superficie en el entorno a la purga de gasoducto FG-28

## 7 ANTECEDENTES PREVIOS, ESTUDIOS AMBIENTALES

A continuación se presenta un compendio cronológico de las acciones previas encaradas específicamente para el sitio FG-28:

1- *Caracterización preliminar y establecimiento del modelo conceptual* realizada por Malinow e Hidroar (junio 2002).

2- *Análisis de riesgo* realizado por Hidroar (Malinow e Hidroar S.A 2002).

3- *Acciones correctivas*: sustitución cámara purga por cañería purga y remediación (extracción por vacío del FLNA, entre los meses Diciembre 2002 y Febrero 2003). El método de extracción implementado fue el sistema conocido como “Dual Phase Vacuum Extraction”, en los featímetros FG28-H, FG28-F, FG28-G de 4.5 m profundidad.

4- *Análisis y evaluación de la situación ambiental al 2009* (Malinow): Durante los meses de noviembre y diciembre del 2009, la empresa Malinow a pedido de YPF S.A, realizó un estudio de revisión/evaluación de antecedentes y actualización de la Situación Ambiental en el acuífero freático de los sitios del gasoducto LP-LC.

5-Monitoreos y muestreos (UNPSJB junto a otras entidades y laboratorios): entre los años 2001 y 2009, realizaron una serie de campañas de verificación de niveles (agua/FLNA) y tomas de muestras de agua en los nueve pozos preexistentes.

6-Muestreo puntual de suelo: desarrollado durante la etapa de construcción de algunos de los pozos asociados al estudio de “Caracterización preliminar”.

7-Antecedentes 2012-Estudio de Caracterización realizado por JMB ingeniería ambiental.

En esta etapa de caracterización preliminar y establecimiento del modelo conceptual, lo importante para destacar fué:

-Se obtuvo el conocimiento litológico del subsuelo (a través de la perforación de 4 freáticos), de la ZNS (zona no saturada), y ZS (zona saturada)

-Se conocieron los niveles del NF (nivel freático), y se detectaron espesores de FLNA en 2 freáticos (FG-28 y FG-28 C)

-Se determinó el sentido de flujo subterráneo que es coincidente con el rumbo del cañadón (WNW-ESE).

-Se obtuvo la velocidad media del medio subterráneo, detectándose una importancia relativa en la dinámica vertical del agua pese a la lentitud de la transferencia.

-Se caracterizó el producto en Fase Libre No Acuosa (FLNA) correspondería a gasolina.

-En las muestras de agua analizadas, se referencia la presencia de alta concentración de HTP (2490 mg/L) y BTEX (benceno: 1,36mg/L, tolueno: 0,99 mg/L, Etilbenceno: 1,20 mg/L y xileno: 5,05 mg/L), en 2 freáticos. No encontrando compuestos orgánicos volátiles tampoco detectando concentraciones de hidrocarburos polinucleares y compuestos semi-volátiles.

-Con respecto a la analítica de suelo se indica una concentración de hidrocarburos en fase residual del orden de 200 mg/Kg, la no detección de BTEX en suelo (salvo benceno en la posición del freático FG28-C (0,0 19 mg/kg)) así como tampoco compuestos orgánicos volátiles.

- Monitoreos posteriores a la remediación de los años 2002-2003, no se detectó presencia de fase líquida no acuosa(FLNA) en ninguno de los freáticos existentes, pero si presencia de HTP( hidrocarburos totales

disueltos en agua), en todos los freáticos del sitio (9 freáticos), así como concentraciones de BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, m,p-oxileno) en cuatro de los nueve pozos existentes.

-Monitoreos realizados hasta el año 2009, en el total de los pozos preexistentes en el predio (9) se registró la aparición de FLNA o Hidrocarburos disueltos en agua incluso después de la finalización de las tareas de extracción de producto (remediación)

Las tablas siguientes, muestran el compendio de los resultados obtenidos en dichas campañas.

HTP (mg/L)

		<i>Caracterización preliminar</i>		<i>Monitoreo post extracción</i>			
	<b>Id pozo</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2005</b>	<b>2007</b>	<b>2009</b>
	<b>FG 28</b>	---	---	3,17	<0,5	0,8	234,6
	<b>FG 28 A</b>	---	---	1,16	<0,5	---	<0,2
	<b>FG 28 B</b>	---	<1	--	<0,5	---	<0,2
	<b>FG 28 C</b>	---	2.490	9,74	2,5	---	---
	<b>FG 28 D</b>	---	---	1,04	<0,5	---	0,6
	<b>FG 28 E</b>	---	---	39,4	<0,5	---	<0,2
	<b>FG 28 F</b>	---	---	8,31	<0,5	---	
	<b>FG 28 G</b>	---	---	1,74	<0,5	---	<0,2
	<b>FG 28 H</b>	---	---	55,4	4,8	---	---

**Tabla 1**

<b>Espesor FLNA (m)</b>												
	<i>Caracterización preliminar</i>		<i>Maniobra de extracción</i>						<i>Monitoreo post extracción</i>			
<b>Id pozo</b>												
<b>FG 28</b>	0,9	0,84	0,485	0,1	irid.	irid.	0	0	0	S/D	0,8	0,01
<b>FG 28 A</b>			0	0	0	0	0	0	0			0
<b>FG 28 B</b>			0	0	0	0	0	0	0			0,001
<b>FG 28 C</b>			0,035	0	irid.	0	0	0	0	S/D		0,075
<b>FG 28 D</b>			0	0	0	0	0	0	0			0
<b>FG 28 E</b>			0	0	0	0	0	0	0			0
<b>FG 28 F</b>			0	0	0	0	0	0	0			0,47
<b>FG 28 G</b>			0	0	0	0	0	0	0			0
<b>FG 28 H</b>			0	0	0	0	0	0	0	S/D		0,62

**Tabla 2**

## **7.1 Análisis de riesgo a la salud humana**

Entre las principales conclusiones que fueron expuestas en el análisis de riesgo realizado por Malinow e Hidroar, estarían:

- En las condiciones de uso existentes (2002), el riesgo toxicológico a la salud humana solamente existiría por inhalación de vapores provenientes de la Fase Soluble No Acuosa (en este caso Benceno, Tolueno, Etilbenceno), para los trabajadores que se afectasen a las tareas de excavación.
- En función de las propiedades hidrogeológicas del sitio y sus condiciones de uso (2002), no existirían vías de exposición vinculadas con el agua subterránea.
- El riesgo de migración de los contaminantes en agua subterránea, los valores hallados en relación al volumen de agua contaminada, a la permeabilidad y gradiente hidráulico específico y el factor de retardación para los compuestos investigados, indicarían una movilización que puede clasificarse como nula. (la tasa máxima de transporte para el sitio FG-28 fue calculada en  $1.6 \cdot 10^{-5}$  m/año).
- El riesgo del sitio fue calculado rango 3. Este resultado que surgió de la presencia de un foco activo de contaminación, se vio reflejado en los resultados de los Screening level y el cálculo de riesgo efectuado.
- Las concentraciones de BTEX,( Benceno, Tolueno y Etil-benceno), presentes en los suelos saturados con gasolina, excedieron a los valores hallados para las condiciones de exposición establecidas.

## **8 MEDIO FISICO**

### **8.1 GEOLOGIA REGIONAL**

La zona en estudio se encuentra en depósitos aterrazados asignados al Plioceno (Sciutto, 2000), sobre sedimentitas terciarias de la Formación Patagonia parcialmente cubiertos por depósitos coluviales y aluviales correspondientes al Holoceno.

Los depósitos de gravas aterrazados alcanzan un gran desarrollo areal en la región y están constituidos por conglomerados gruesos, con escasa matriz arenosa a areno-limosa, clastos subredondeados a subangulosos, de diámetros variables, generalmente prolados y en ocasiones imbricados indicando la dirección de flujo.

Las terrazas fluviales y fluvio-glaciares, ya descriptas por Feruglio (1949), y los procesos erosivos ocurridos desde el Terciario Medio y Superior y durante el Cuaternario, son los principales modeladores del paisaje de la región que comprende la zona en estudio. El origen de estos depósitos mesetiformes se vincula al derretimiento

de masas glaciares en la región del lago Buenos Aires (Beros et al., 1988), y grandes cursos de agua con escaso encauzamiento.

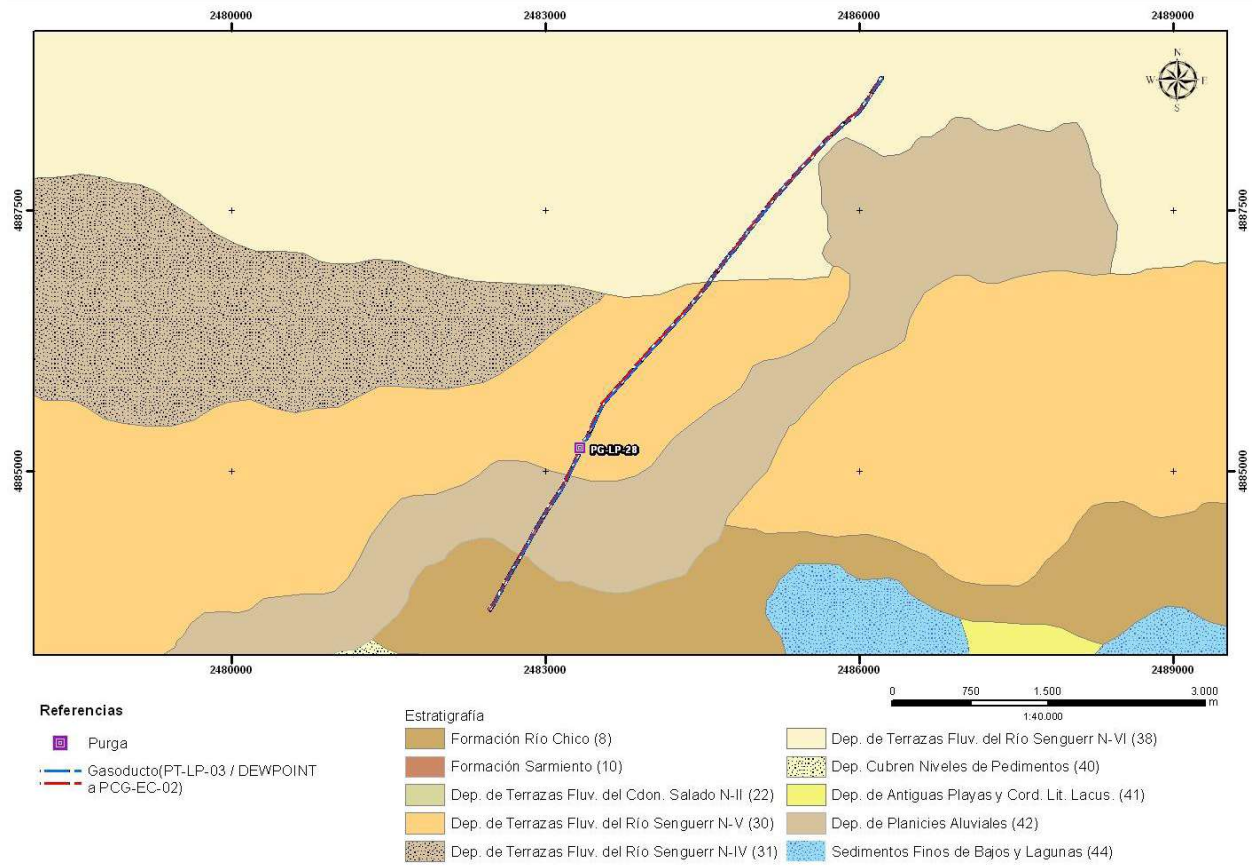
Los cursos fluviales y fluvio-glaciares circularon por zonas bajas limitados por altos topográficos, conformados generalmente por anticlinales constituidos por sedimentitas cretácicas y del Terciario Inferior y Medio, erosionando en el fondo y depositando su carga clástica. Los depósitos aterrazados glaci-fluviales o los que constituyen niveles de pedimentos que descienden de los mismos suprayacen en discordancia a rocas sedimentarias cretácicas y terciarias.

La Formación Patagonia está constituida por arcillitas, tobas, areniscas finas a medianas y conglomerados bioclásticos, con bancos de coquinas grises bien consolidadas hacia el tope de la unidad y que forman cornisas características. Son secuencias de sedimentitas con participación de episodios volcánicos piroclásticos intercalados.

Los depósitos aluviales y coluviales indiferenciados (Holoceno) desde el punto de vista genético son los sedimentos recientes de mayor expresión arial corresponden a los depósitos de llanura aluvial. Se trata de sedimentos conformados por gravas y arenas de selección regular, que presentan intercalaciones delgadas de pelitas y en algunos casos se hallan entre mezclados con la misma matriz arenosa. Se caracterizan por que cubren en forma indistinta los estratos de la Formación Sarmiento, como los vinculados con la Formación Patagonia. Estos materiales gruesos suelen estar cubiertos por detritos finos del tipo limo-arcillosos de origen hidro-eólicos. Estos niveles aterrazados son producto del ascenso del relieve que provocó la erosión parcial que rellenaban el antiguo valle del cañadón. Dentro de estos depósitos modernos se encuentran también los sedimentos finos (limos y arcillas) que cubren el fondo de las lagunas y bajos.

A continuación se presenta el mapa geológico del área de estudio





**Fig.7.Mapa geológico local.**

Localmente el área de estudio se emplaza sobre un pequeño cañadón labrado sobre el denominado nivel IV de las Terrazas Fluviales del Río Senguerr; el cual se abre hacia el cañadón Salado, ubicado en proximidad.

Los niveles de terraza se hallan constituidos por arenas finas a gruesas, gravas, limos y arcillas. De manera subyacente se hallan los depósitos de la Fm. Río Chico (Terciario inferior, Paleoceno superior) constituidos por bancos de areniscas grises a castañas con intercalación de tobas varicolores y arcillas

**8.2 GEOMORFOLOGIA**

Los procesos erosivos ocurridos durante el Cuaternario, son los principales modeladores del paisaje de la región que comprende el sitio del proyecto. Del estudio de la geomorfología en el sitio en investigación y su región aledaña, se reconocen principalmente las siguientes unidades: *niveles de terrazas, pedimentos y cañadones.*

**Niveles de terrazas:** estos depósitos son de aspecto mantiforme o mesetiforme, y se presentan de manera escalonada. Son el resultado de depósitos fluviales con progresiva pérdida de energía y capacidad de carga, vinculados al derretimiento de masas glaciares. Los niveles aterrazados evidencian cambio en el nivel de base

del sistema fluvial que le dio origen. Conforman extensas planicies o mesetas rodeadas por zonas más bajas producto de los procesos de erosión diferencial. Su desarrollo principal es en dirección Oeste-Este.

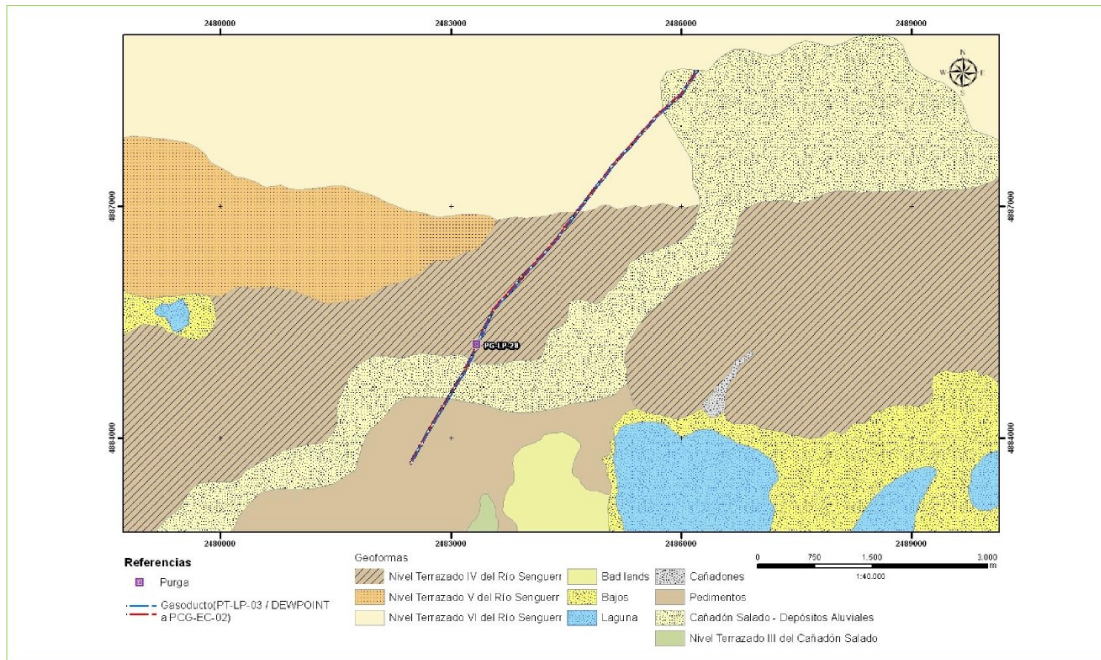
**Cañadones:** son producto de la erosión hídrica sobre las rocas friables que constituyen las terrazas fluviales, los depósitos de agradación y las sedimentitas infrayacentes. Se originan a partir de cárcavas en los bordes de terraza, que se van profundizando y ampliando por el proceso de erosión retrocedente. Posteriormente se generan cañadones menores o secundarios que convergen hacia los principales generando una red de drenaje con diseño dendrítico.

**Pedimentos:** son superficies de erosión con ligera pendiente, desarrolladas en los flancos de las mesetas.

hacia una zona topográficamente más baja. Se generan a partir de la saturación con agua y desestabilización de los sedimentos en los bordes de terrazas fluviales en climas semiáridos. Estos materiales son transportados por el fluido erosionando y transportando el terreno formándose una superficie plana de baja pendiente denominada pedimento.

Posteriormente se depositan sobre esa superficie ,depósitos aluviales están constituidos por materiales detríticos modernos transportados por cursos fluviales y que conforman rellenos de los cauces, cañadones, bajos y planicies de inundación. Son acumulaciones de granulometría variada que incluye bloques, gravas, arenas finas a gruesas, limos y arcillas. La procedencia de los sedimentos corresponde a las zonas alledañas y más elevadas como las terrazas, mientras que los cañadones conforman la base a partir de la cual se depositan los sedimentos aluviales que conforman esta unidad geomorfológica. La granulometría del depósito está ligada a la energía del medio fluvial y la pendiente del lugar. En general son de baja consolidación y potencias variables. Su edad geológica corresponde al Holoceno. Se encuentran conformando el relleno del cañadón las granulometrías más gruesas y con arcillas de decantación en las zonas de baja pendiente. Los depósitos arcillosos en las zonas con baja pendiente topográfica generan humedales denominados mallines.

La geomorfología, la litología y el clima interactúan estrechamente en la distribución hidrológica de la región. Las escasas precipitaciones invernales, de agua y nieve, se infiltran con facilidad favorecidas por la litología que compone la parte más elevada (terrazas y cañadones) de estos niveles de composición gravo-arenosa, generando niveles acuíferos que se describen en la sección Hidrogeología del presente documento.



**Fig.8. Mapa geomorfológico local.**

### **8.3 HIDROGEOLOGIA LOCAL**

El área de estudio se ubica dentro de la provincia hidrogeológica definida por Auge (2003) como Patagonia Extra-Andina, desarrollada al Este del ámbito cordillerano hasta la costa del Océano Atlántico. Una de las principales características que definen esta provincia hidrogeológica es su relieve predominante mesetiforme, conformado por cuerpos de terrazas fluvio-glaciares y, en menor proporción, mesetas basálticas. Ambos tipos de roca poseen una buena capacidad de infiltración de las escasas aguas provenientes de las precipitaciones, lo cual responde a la baja pendiente del terreno y a la aceptable permeabilidad que poseen las gravas y las rocas volcánicas (porosidad primaria y secundaria, respectivamente).

Otra de las características predominantes de esta región es su escasa precipitación y alta evapotranspiración. La zona de estudio se caracteriza por poseer un déficit hídrico anual de unos 500 mm. El valor de la precipitación media para el período 1921 -2002 es de 228 mm/año mientras que la evapotranspiración potencial calculada por el método de Thornthwaite-Matter (1957) es de 727 mm/año. Estos parámetros están calculados con las estadísticas climáticas provenientes de la estación meteorológica Comodoro Rivadavia perteneciente a la red del Servicio Meteorológico Nacional.

En lo referente a la hidrogeología subterránea Castrillo *et al.* (1984) realizaron un estudio regional en el SE de la Provincia de Chubut con el objetivo de reconocer e identificar las unidades acuíferas en la zona. Este estudio permitió definir tres grandes unidades denominadas *Complejo de Acuíferos Inferiores*, *Acuitardo Sarmiento* y *Acuífero Multiunitario Superior*.

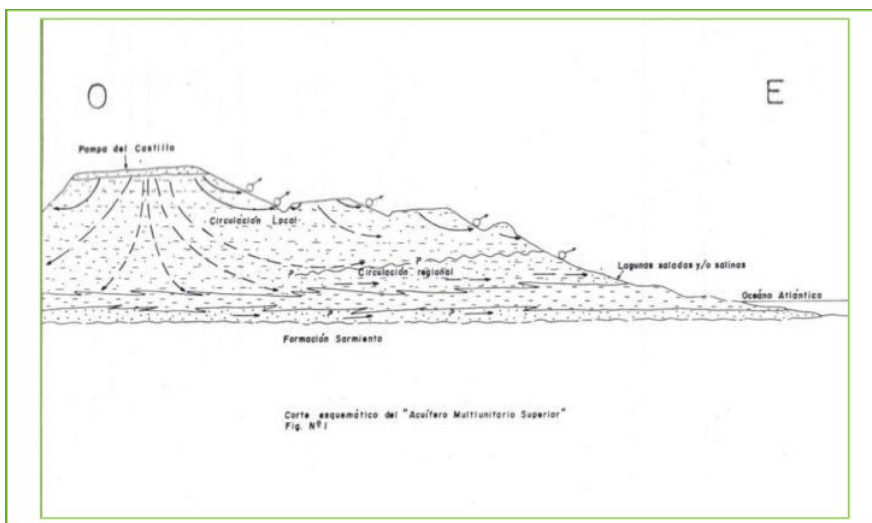
El principal sistema acuífero de la región corresponde al “Multiunitario Superior” que abarca las unidades hidroestratigráficas que suprayacen a la Formación Sarmiento, abarcando las Formaciones Chenque (o

Patagonia), Formación Santa Cruz, Rodados Patagónicos y los sedimentos modernos. Esta unidad constituye un sistema con varias capas acuíferas incluyendo al nivel freático.

Según la sucesión hidroestratigráfica definida por Castrillo está conformado por un conjunto de sedimentos piro y epiclásticos con intercalaciones lenticulares de naturaleza arcillosa. Reúne a las Formaciones Chenque, Santa Cruz, Rodados Patagónicos y sedimentos más modernos, con una capacidad de recibir, alojar y transmitir agua que tiende a disminuir desde los niveles superiores hacia los últimos 50 o 60 m. de la Formación Patagonia. Posee una gran extensión, e incluso con características similares se distribuye en el Noreste de la provincia de Santa Cruz.

Regionalmente, en el área las nevadas producen la mayor recarga del sistema de aguas subterráneas. La granulometría de los niveles fluviales de terrazas provoca un limitado escurrimiento superficial, lo que favorece a la infiltración de las escasas lluvias. Las precipitaciones no son constantes y presentan variaciones plurianuales, de tal modo que durante ciclos de altas precipitaciones se incrementan las reservas subterráneas y descienden durante los períodos secos.

El flujo subterráneo se produce desde los niveles de terrazas hacia los cañadones, presentando en la circulación local y regional principalmente hacia el Este. En base al comportamiento del flujo subterráneo es posible reconocer a nivel regional tres áreas o zonas bien diferenciadas: una zona de recarga producida por nevadas y precipitaciones, coincidente con los sitios topográficos más elevados; una zona de descarga coincidente con los sectores topográficamente más bajos representados por áreas de mallines; y una zona intermedia entre la recarga y la descarga, donde se produce la conducción del flujo.



**Fig.9. Modelo esquemático de recarga del Acuífero Multiunitario Superior (tomado de CASTRILLO et al.; 1984)**

Según el modelo hipotético descrito por Castrillo et al (1984) la recarga para las dos unidades superiores (acuífero libre y semiconfinado) sería de tipo autóctona (Flujo Local mostrado en la siguiente figura); es decir, se produciría a través de la infiltración de las precipitaciones pluvionivales que se concentran durante el final de la temporada invernal. Por ello, el espesor saturado del acuífero freático se encuentra fuertemente condicionado a la tasa de recarga anual.

El agua acumulada en los poros de los depósitos de las terrazas circula lentamente hasta alcanzar las zonas de descargas naturales, representadas por manantiales o vertientes localizados o fajas alineadas que coincidentes con los lugares de quiebre de pendiente o cortes topográficos abruptos. Según Castrillo et al (1984) las aguas que circulan a través del “flujo local” son bicarbonatadas sódicas con bajo contenido salino.

Localmente la circulación de aguas subterráneas en la zona se produce principalmente en los materiales de relleno de cañadón y en los niveles más permeables de la Formación Río Chico. La dirección de flujo preferencial de las aguas subterráneas someras en el sitio es Oeste-Este, hacia el Cañadón Salado

## **9 CARACTERIZACION AMBIENTAL**

La metodología utilizada para realizarla, fue la siguiente:

- Previo al inicio de tareas caracterización: Investigación de información histórica, relevamiento del entorno del sitio afectado y censo de los Freatímetros preexistentes.
- Adquisición de datos:
- Etapa de investigación indirecta (geofísica).
- Etapa de investigación directa (sondeos de suelos y freáticos).
- purgado y muestreo de los pozos preexistentes.
- purgado y muestreo de los pozos realizados durante la caracterización ambiental (2012).
- ensayos de caracterización del medio subterráneo.
- nivelación topográfica.
- analítica en los recursos agua y suelo.
- caracterización de FLNA.
- finalmente interpretación de resultados y diagnóstico.

### **9.1 INVESTIGACION RELEVAMIENTO Y CENSO FREATICOS EXISTENTES**

Previo al desarrollo de las tareas enmarcadas en el estudio de caracterización del sitio por JMB, se realizó un análisis exhaustivo de la documentación histórica y actual suministrada por YPF S.A, con el objetivo de conformar la información de base para la formulación del modelo conceptual preliminar.

También se realizó el análisis del entorno del sitio de emplazamiento de la Purga “FG28”; con el objetivo de determinar los distintos usos de suelo, la disposición de instalaciones de superficie y transporte, identificar potenciales puntos o zonas de afectación y potenciales fuentes adicionales a la ya enunciada por antecedentes. Se determinó un radio de influencia de 1000 (mil) mts.

Asimismo, un relevamiento e inspección de los freáticos existentes, con el objetivo de verificar el estado de las instalaciones, actualizar la información de base (existente hasta el 2009) y corroborar la afectación en el recurso hídrico subterráneo por FLNA.

Dicha campaña incluyó el registro fotográfico de la instalación en general, la verificación de la actividad de los pozos preexistentes, la medición de nivel estático y profundidad de los pozos, la determinación de presencia y espesor aparente de FLNA (en caso de corresponder) y la medición de parámetros de campo como pH, conductividad y temperatura del agua subterránea.

Las mediciones del nivel estático, presencia de FLNA y profundidad de pozos se realizaron mediante el empleo de una sonda de interfase marca Solinst® 122, mientras que las determinaciones de parámetros de campo (realizado sobre aquellos pozos sin FLNA) se llevaron a cabo con un medidor multirango de conductividad y pH, marca HANNA, modelos HI9033 y HI9126 respectivamente, provisto este último de sensor de temperatura. Adicionalmente y con el fin de verificar visualmente la presencia o ausencia de afectación en el recurso hídrico subterráneo por FLNA, se tomaron muestras mediante bailers descartables (vol 1 Litro).

La tabla 3 muestra el detalle de parte de la información registrada en la campaña de censo (Febrero 2012).

**Datos registrados durante el censo de pozos. Purga FG-28**

Purga	Freatímetro	ESTADO			PARAMETROS HIDROLÓGICOS			
		AC/IN	Diámetro (m)	Profundidad pozo (mbbp)	Altura FLNA (mbbp)	Nivel de agua (mbbp)	Espesor FLNA (m)	
FG28	1	FG28-E	Activo	0,11	5	0	2,72	0
	2	FG28-A	Activo	0,11	11,195	0	2,52	0
	3	FG28-G	Activo	0,11	5,28	0	3,26	0
	4	FG28-F	Activo	0,11	5	3,26	3,705	0,45
	5	FG28-B	Activo	0,11	4,475	3,215	3,235	0,02
	6	FG28	Activo	0,11	3,95	0	2,975	0
	7	FG28-D	Activo	0,11	8,69	0	3,44	0
	8	FG28-C	Activo	0,11	5	3,46	3,52	0,06
	9	FG28-H	Activo	0,11	4,98	2,96	3,9	0,94

**Tabla 3**

Como puede verse, de los nueve (9) freáticos preexistentes, se registró la afectación en el recurso agua subterránea en cuatro (4), con espesores aparentes entre 0,02 m y 0,94 m.

La imagen mostrada a continuación (Fig.9), presenta el registro fotográfico de los dos pozos con mayores espesores aparentes registrados (FG28-H y FG28-F).



*Espesor aparente de FLNA registrado en el pozo FG28-H, ubicado a menos de un metro del sistema de purga instalado (espesor total registrado: 0,94 m)*



*Espesor aparente de FLNA registrado en el pozo FG28-F (espesor aparente total registrado: 0,45 m)*

**Fig.10**

La información obtenida durante el censo de los pozos, permitió la programación de las campañas de purgado y muestreo a desarrollar posteriormente.

## **9.2 ETAPA DE INVESTIGACION INDIRECTA-GEOFISICA**

Con el objetivo de reconstruir en este sitio la geometría del subsuelo potencialmente afectado por hidrocarburos, se realizó un estudio de tomografía eléctrica multielectrodo (investigación por métodos indirectos).

La investigación por métodos indirectos en este sitio fue planteada de forma tal que permitiese la adquisición de datos tanto de resistividad eléctrica del subsuelo mediante tomografía, como de cargabilidad a través de la polarización inducida; dicha combinación de técnicas dejó alumbrar eventuales acumulaciones de compuestos sensibles a cargas polares en este caso asimilables a “contaminantes”.

La Prospección geofísica, método indirecto e interpretativo, al contrastarlo con los métodos directos, no resultó ser un método apropiado para aportar información confiable y útil, además de alto costo, por lo cual no se lo presenta en esta tesina.

## **9.3 ETAPA DE INVESTIGACION DIRECTA-SONDEOS DE SUELOS Y FREATIMETROS**

Para verificar la potencial afectación del recurso suelo (ZNS=Zona no saturada), por condensado de gasoducto o compuestos volátiles, en el período comprendido entre los días 05 de marzo y 18 de mayo de 2012 se realizó una campaña de sondeos manuales en el predio de emplazamiento de la purga FG-28, cuya profundidad de investigación se estipuló en la franja comprendida entre la altura natural del terreno y el comienzo de la zona saturada entre los dos y cuatro metros.

Las campañas de sondeo fueron llevadas a cabo mediante el empleo de barrenos manuales de diámetro estándar acondicionados para los distintos tipos de suelo.

La grilla de sondeos establecida abarcó un total de **28 puntos**, distribuidos en el área de estudio, para un total de 72,3 metros lineales de sondeo en investigación, y en cada uno de ellos, se realizó una descripción litológica cada 0,5 m que permitió conocer los diferentes estratos existentes en el suelo, verificar la profundidad del nivel freático y monitorear las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en la zona no saturada, así como garantizar la toma de muestras para las determinaciones analíticas correspondientes.

La siguiente imagen presenta su ubicación en el sitio (Fig 11).



**Fig.11.Imágen google earth con detalle grilla de sondeos de suelo caracterización del sitio FG-28.**

Sobre cada uno de los puntos de sondeos manual con profundidades superiores al metro, se tomaron muestras de suelo con fines analíticos según los siguientes criterios:

Sobre aquellos estratos donde se registraron concentraciones en campo de compuestos orgánicos volátiles



(VOCs) superiores a 30 ppm y/o percepciones organolépticas de consideración, se tomaron muestras para las determinaciones de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) y BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, m,p-oxileno); considerando un máximo de dos muestras por sondeo.

En caso de no registrar concentraciones de VOCs a lo largo del perfil, y para el caso de la determinación de BTEX, se fijó la profundidad de toma de muestra en 2 y 3 metros (en caso de corresponder).

Sobre los dos máximos de concentración de VOCs registrados en el campo para la totalidad del sitio, se realizaron además las determinaciones de hidrocarburos aromáticos polinucleares (PHAs), hidrocarburos discriminados en fracción alifática y aromática y Fracción de carbono orgánico (FOC).

Cada 0.5 m, se describió litología (litotipos); Clasificación según resistividad; Profundidad superficie freática; concentración de compuestos volátiles in situ (mediciones PID), y analítica según corresponda (suelo-agua).

En total se realizaron **332 determinaciones analíticas** sobre la matriz suelo, conformadas por 25 determinaciones de hidrocarburos totales de petróleo, 1 discriminación por cadenas de carbono de HTP (6 cadenas), 34 determinaciones de BTEX (discriminadas en 5 parámetros), 3 discriminaciones de hidrocarburos aromáticos (7 cadenas carbonadas), 3 discriminaciones de Hidrocarburos alifáticos (6 cadenas de carbono), 3 determinaciones de hidrocarburos aromáticos polinucleares (discriminados en 16 compuestos), 3 determinaciones de carbono orgánico y aproximadamente 41 determinaciones de humedad.

### **Perforacion de freatímetros**

Las perforaciones se realizaron a rotación en seco, con un diámetro nominal de 152 mm y el empleo de un equipo hoyador vertical; el método de perforación permitió la aplicación de la técnica *head-space*, el reconocimiento litológico por metro y la verificación de las características organolépticas del material extraído

La misma permitió incrementar la información referida a litología y afectación en la zona no saturada (obtenida parcialmente en los sondeos de prospección y antecedentes) e instalar puntos de monitoreo de las aguas subterráneas.

Durante la campaña, se perforaron 9 pozos, 3 con el objeto de estudiar la zona no saturada y 6 con el objeto de instalar freatímetros que permitirán la evaluación de afectación en el recurso agua subterránea; para un equivalente a **53,5 ml de perforación.(ml: metros lineales).**

Una vez alcanzada la zona saturada, la perforación de los pozos entubados continuó superando las variaciones de nivel freático (estipuladas para el sitio por antecedentes en 1 metro) hasta la profundidad donde pudiese comprobarse fehacientemente la existencia de un estrato arcilloso de elevada plasticidad que actuara como sello del acuífero y como barrera a la progresión vertical de la afectación.

El diseño final de los pozos se ajustó en cada caso a las características litológicas registradas y a la profundidad del nivel freático. Los pozos fueron construidos con cañería de PVC reforzado clase 6 de 4" de diámetro (110 mm), con uniones ensambladas y remachadas sin la utilización de pegamentos y fondo fijo hermético. La longitud de la sección filtrante contempló las variaciones en nivel freático informadas por antecedentes,

permitiendo el ingreso de agua del acuífero para la máxima y mínima oscilación establecida en 1 metro respectivamente.

La columna se completó con tubería ciega hasta la superficie del terreno (más una revancha de entre 30 y 60 cm), dotada de tapón estanco en su extremo superior. El espacio anular enfrentado con el horizonte saturado fue rellenado de grava silícea adecuadamente calibrada y limpia de finos en toda la zona enfrentada al filtro (prefiltro). La empaquetadura de grava habrá de cerrarse superiormente con un sello bentonítico hasta la superficie del terreno.(Fig.12)

La tabla 4 presenta la ubicación geográfica, ubicación con respecto a la grilla de georeferenciación empleada en este estudio y profundidad final de perforación para cada uno de los pozos

	ID sondeo	Coordenadas del sistema de geo-referenciación mostrado en los planos		Coordenadas geográficas		Profundidad de perforación (m)	Profundidad del NF al momento de la construcción (mbnt)
		X	Y	Latitud	Longitud		
1	FG28I	14,7	26	46° 11,0' 8,5" S	69° 12,0' 57,3" W	8	4,0
2	FG28J	3,9	19,3	46° 11,0' 8,6" S	69° 12,0' 57,9" W	8	4,0
3	FG28K	24,2	36	46° 11,0' 8,1" S	69° 12,0' 57,1" W	9	7,0
4	FG28L	50,2	20	46° 11,0' 8,9" S	69° 12,0' 55,7" W	8	3,0
5	FG28M	34,1	37	46° 11,0' 9,0" S	69° 12,0' 57,2" W	7	3,25
6	FG28P	89,4	23,9	46° 11,0' 8,6" S	69° 12,0' 54,0" W	5	2,50
7	FG28P1954	- 10,1	24,1	46° 11,0' 8,4" S	69° 12,0' 58,5" W	3	4,0
8	FG28P1956	- 20,1	24,1	46° 11,0' 8,4" S	69° 12,0' 59,1" W	0,5	N/A
9	FG28P1957	- 25,1	24,1	46° 11,0' 8,3" S	69° 12,0' 59,1" W	5	4,0

N/A: No aplica

Tabla 4

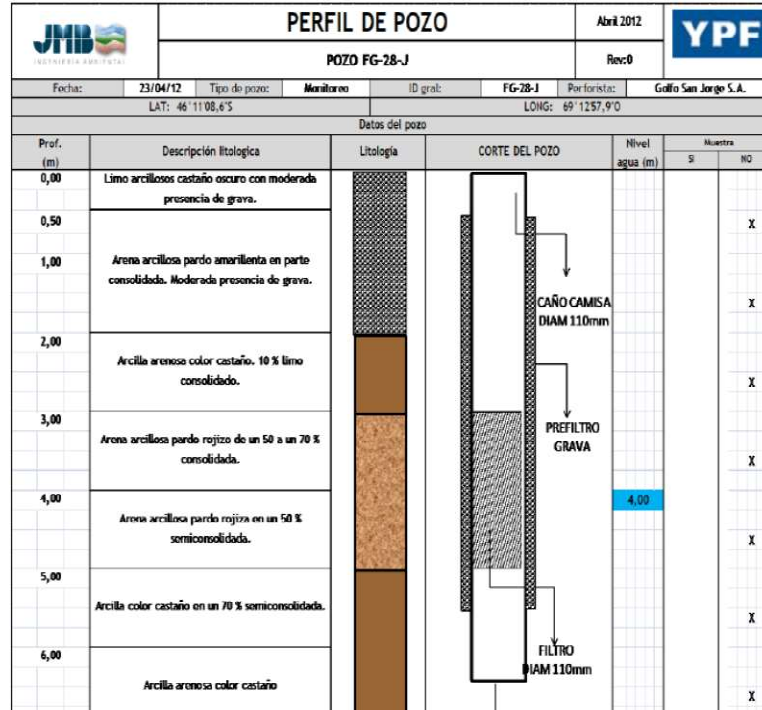


Fig.12. Perfil de un freaticómetro del sitio FG-28.

### Mediciones head space e impacto organoléptico

Durante las campañas de sondeo manual y perforación mecánica desarrolladas en el predio de emplazamiento de la purga FG-28, se realizó el registro en campo de la concentración de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en suelo cada 50 cm y 1 metro respectivamente sobre el perfil de sondeo; así como el seguimiento del impacto organoléptico asociado al producto en investigación.

Los registros de dichos compuestos en la zona No saturada, permitieron la determinación de las profundidades de toma de muestra con fines analíticos, como queda de manifiesto en ítems precedentes (toma de muestra del recurso suelo).

Las determinaciones se realizaron mediante el empleo de un fotoionizador con sensores de celdas electroquímicas (PID), previamente calibrado.

### 9.4 Purgado y muestreo de los Freaticómetros preexistentes.

Sobre los 9 freaticómetros preexistentes en el predio de emplazamiento de la purga “FG-28”, se desarrolló una campaña de purgado y muestreo, con el objetivo de determinar el grado de afectación del recurso hídrico subterráneo por FLNA y/o compuestos de la actividad hidrocarburífera en forma disuelta.

El purgado, se realizó con el objetivo de retirar los fluidos estancados en los freáticos y asegurar la proveniencia de agua del acuífero en el momento de la toma de muestras, garantizando así, la representatividad de las mismas para su posterior traslado y análisis en laboratorio.

Las tareas de purgado se realizaron manualmente mediante el empleo de bailers descartables, debido a las características constructivas de los pozos, los relativamente pequeños volúmenes de purga y la presencia de FLNA y sólidos en suspensión, que condicionaban el empleo de equipos de bombeo, garantizando además la menor movilidad de componentes en el acuífero.

Como criterio de purgado se estableció la extracción de un mínimo de tres volúmenes de columna de agua y/o la estabilización de parámetros medidos en campo, el volumen de agua a purgar se estimó en función de los datos constructivos de cada pozo y el nivel estático determinado durante el censo de los mismos.

Luego de garantizar un período de estabilización de 24 horas en los freáticos posterior al purgado se realizó una campaña de muestreo

Para la campaña de muestreo se utilizaron bailers descartables, se constataron niveles de agua, presencia y espesores aparentes de FLNA y se verificaron parámetros de campo correspondientes a cada muestra de agua.

#### **9.5 Purgado y muestreo de los freáticos construidos en 2012 por la consultora ambiental.**

La consultora realizó 6 freáticos: pozos FG 28-I; FG28-J; FG28-K; FG28-L; FG28-M y FG28-P

Se realizó el desarrollo enérgico de los mismos mediante el empleo de bailers manuales, removiendo el agua estancada y sedimento depositado que pudiese estar obturando la sección filtrante, hasta lograr la producción de agua clara proveniente del acuífero.

Durante el desarrollo se extrajeron volúmenes de líquido en un equivalente a 3 volúmenes de columna de agua, calculados de acuerdo a los datos constructivos del pozo y el nivel estático medido al comienzo de las tareas.

Una vez finalizado el desarrollo de los pozos, se procedió al purgado manual mediante el empleo de bailers descartables, para lo cual, se adoptó el mismo criterio utilizado para el purgado de freáticos preexistentes, garantizando un mínimo de 3 volúmenes evacuados y registrando la evolución de parámetros *in-situ* (pH, Conductividad y Temperatura).

Finalizadas las tareas de purgado, se procedió al muestreo de los mismos asegurando previamente un tiempo de recarga natural mínimo de 24 horas.

En total se tomaron cuatro (4) muestras de agua subterránea (*freatómetro construido*: FG28-P, FG28-J, FG28-K, FG28-I) y una (1) muestra de FLNA (fase Libre no acuosa) (*freatómetro construido*: FG28-M, con un espesor aparente de 0,34 m al momento de la toma de muestra).

La tabla 5 muestra el detalle de la analítica realizada sobre cada una de las muestras de agua y FLNA tomadas en este caso:

Analítica aplicada sobre las muestras de agua/FLNA. Pozos construidos al 2012

ID	Analítica en agua					Analítica FLNA				
	HTP	BTEX	HC Alifáticos discriminados	HC Aromáticos discriminados	HC Polinucleares (PAHS)	Cor.N° at. de c. (nC6 a nC38)	BTEX	Densidad	Viscosidad	Pistano /Fitano
FG28-I	X	X								
FG28-J	X	X	X	X						
FG-K	X	X			X					
FG28-L	<i>Muestra NO tomada, debido a la baja recuperación del pozo</i>									
FG28-P	X	X								
FG28-M						X	X	X	X	X

**Tabla 5**

En la totalidad de las muestras de agua tomadas sobre los pozos construidos, se analizó HTP y BTEX; sobre aquellas muestras que presentaron concentraciones de estos parámetros superiores al límite de cuantificación de la técnica analítica empleada se realizaron discriminaciones por cadenas de carbono (*Hidrocarburos aromáticos, Hidrocarburos alifáticos*).

Las técnicas analíticas empleadas, los límites de detección y cuantificación de muestras de agua y FLNA, corresponden a los pedidos por especificación técnica.

### 9.6 Ensayos de caracterización de medio subterráneo

Con el objeto de determinar la permeabilidad (conductividad hidráulica) horizontal local de los estratos en torno a los pozos preexistentes en el sitio FG-28 y determinar el espesor real, conductividad y transmisividad de fase libre no acuosa; se realizaron ensayos de caracterización del medio subterráneo de tipo “Slug test” y “bail down”.

Los mismos se basan en el registro continuo de la recuperación de nivel de agua y/o FLNA, luego de generar un pulso negativo (descenso abrupto). en la columna líquida.

Adicionalmente, se realizó el registro periódico de las variaciones de los niveles de fluido (agua/FLNA) en cada uno de los pozos, con el objeto de identificar la potencial relación entre el descenso del nivel de agua y el incremento de espesor aparente de producto, así como constatar la baja velocidad de flujo informada en antecedentes.

La siguiente tabla 6 resume la principal información obtenida como resultado de los slug test (Cálculo coeficiente de permeabilidad).

ID Pozo	K Final (m/día)
FG28	0,0020
FG28-A	0,0020
FG28-D	0,0020
FG28-E	0,0007
FG28-G	0,0020
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,00 17</b>

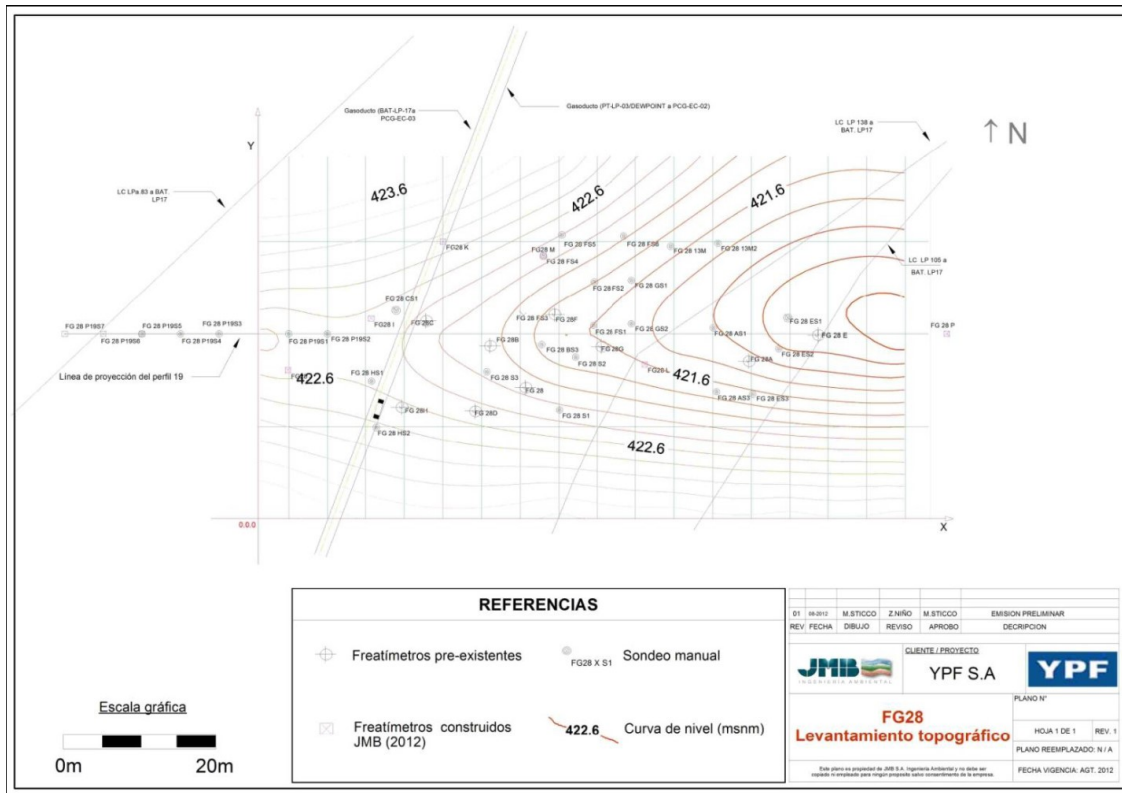
**Tabla 6**

### **9.7 Nivelación topográfica**

Se realizó un levantamiento topográfico del sitio de emplazamiento de la purga FG-28, mediante el empleo de un nivel óptico automático (20 x de aumento) y una mira, tomando como punto de referencia el punto 0,0 mostrado en la totalidad de los mapas del presente capítulo (*punto de intercepción entre los ejes imaginarios de los perfiles S-N y W-E de la grilla de georeferenciación definida para esta investigación*).

Las lecturas registradas fueron realizadas sobre una mira de 5 metros de longitud graduada en decímetros, sobre el hilo medio del lente.

Muy importante disponer de esta información para poder realizar los respectivos mapas equipotenciales.



**Fig.13. Mapa de levantamiento topográfico**

## MONITOREO DE NIVELES

Desde Febrero a Junio 2012, se realizó el seguimiento de la variabilidad de los niveles de agua y espesor aparente de fase libre (en caso de corresponder) de la totalidad de los pozos

### 9.8 Analítica en los recursos agua y suelo

Se presenta solo una síntesis de los resultados analíticos obtenidos en las muestras tomadas en los recursos agua subterránea y zona no saturada del suelo.

Asimismo se presentan los correspondientes mapas de detalle de analítica en suelo y agua subterránea.

De los resultados analíticos de las muestras tomadas en el recurso agua, es para destacar lo siguiente:

En el freatímetro FG28-D, se obtuvieron valores anómalos de BTEX (mg/l): Benceno: 0.011; Tolueno: 0.242 etilbenceno: 0.191; xileno: 1.08 y o-xileno: 0.645.

En el FG28-G, también valores anómalos de BTEX (mg/l): : etilbenceno: 0.011; xileno: 0.026

En el FG28-B: HTP (mg/l) : >nC8 a nC10: 12.1; >nC10 a nC12: 26.7 y o-xileno: 0.098. HC Alifáticos (mg/l) : > nC8 a nC10: 6.2 > nC10 a nC12: 15.4. También HC Aromáticos (mg/l): > nC10 a nC12: 6.3

En el FG28-C: HTP(mg/l) >nC8 a Nc10:9.7; >nC10 a Nc12: 10.3 y valores anómalos en BTEX(mg/l): Benceno: 0.033; Tolueno:0.015; xileno:2.28 y o-xileno:1.02.

FG28-J: HTP (mg/l) > nC6 a nC8:17.2 y > nC8 a Nc10: 5.3. Anómalos en BTEX (mg/l): Etilbenceno:0.015; m,p-xileno:0.071 y o-xileno:0.093 e HCAlifáticos (mg/l): > nC6 a nC8:14.5

### MAPAS DE DETALLE ANALITICA EN SUELO

A continuación se presentan los planos de detalle del área en investigación **con los máximos de concentración** registrados en el recurso suelo para los parámetros HTP, BTEX.

Para una mayor comprensión de la información presentada se hacen las siguiente aclaraciones:

- Debido a un criterio conservativo, el área afectada mostrada en los planos refleja la situación a la *profundidad de mayor afectación registrada* (sumatoria de áreas desde el nivel de terreno hasta 2.8 metros bajo nivel de terreno).
- Las concentraciones reportadas de HTP corresponden a la *máxima concentración registrada por sondeo*.
- Las concentraciones reportadas de BTEX en suelo *corresponden a la sumatoria de lo parámetros constituyentes* (Benceno, Tolueno, etil-benceno, m,p-o xileno). x En ningún caso se graficaron las concentraciones inferiores al límite de cuantificación

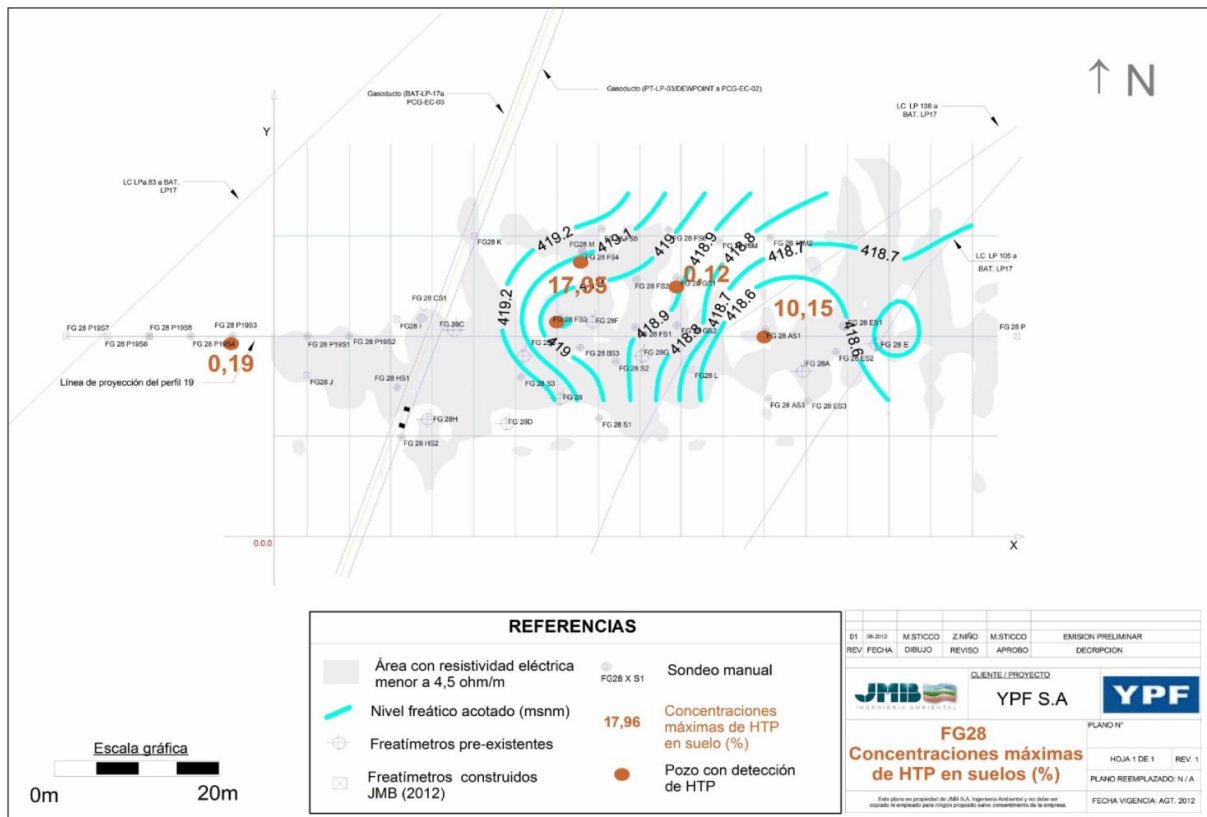
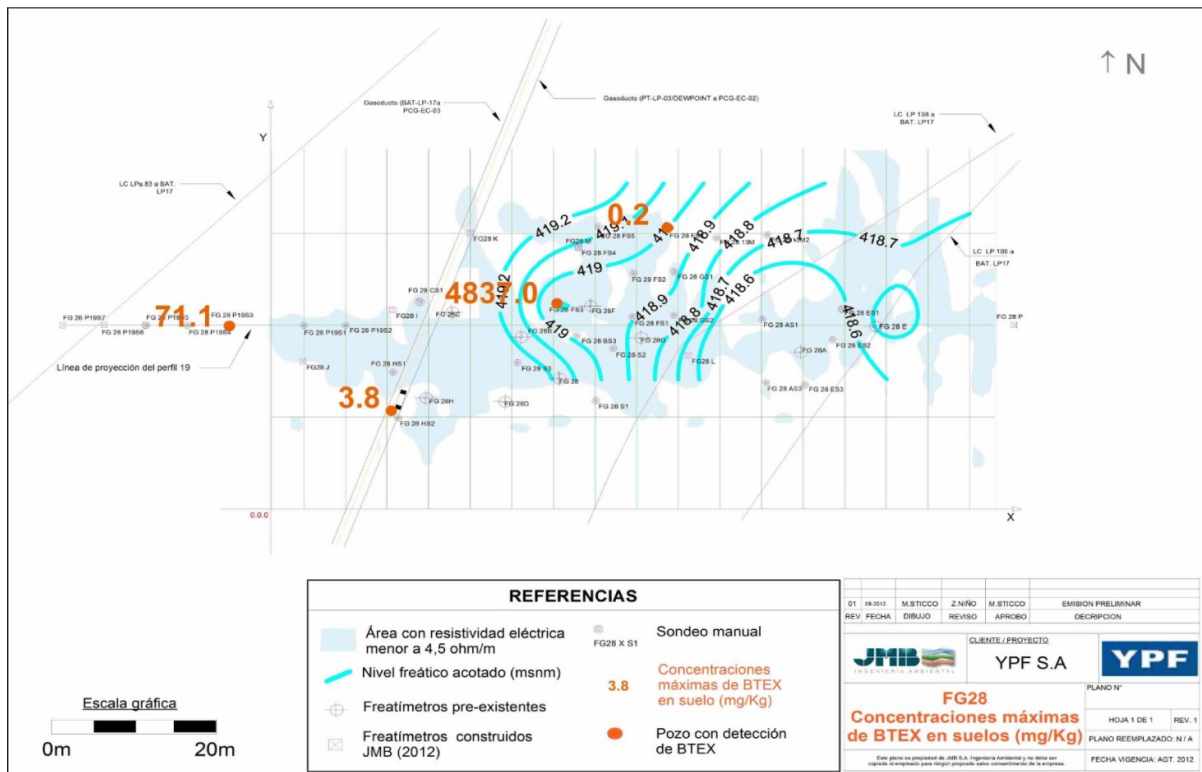


Fig.14. Mapa de concentraciones máximas de HTP en suelos (%).





**Fig.15. Mapa de concentraciones máximas de BTEX en suelos (mg/kg).**

### MAPAS DE DETALLE ANALITICA EN AGUA SUBTERRANEA

A continuación se presentan los planos de detalle del área en investigación **con los máximos de concentración** registrados en el recurso agua subterránea para los parámetros HTP, BTEX.

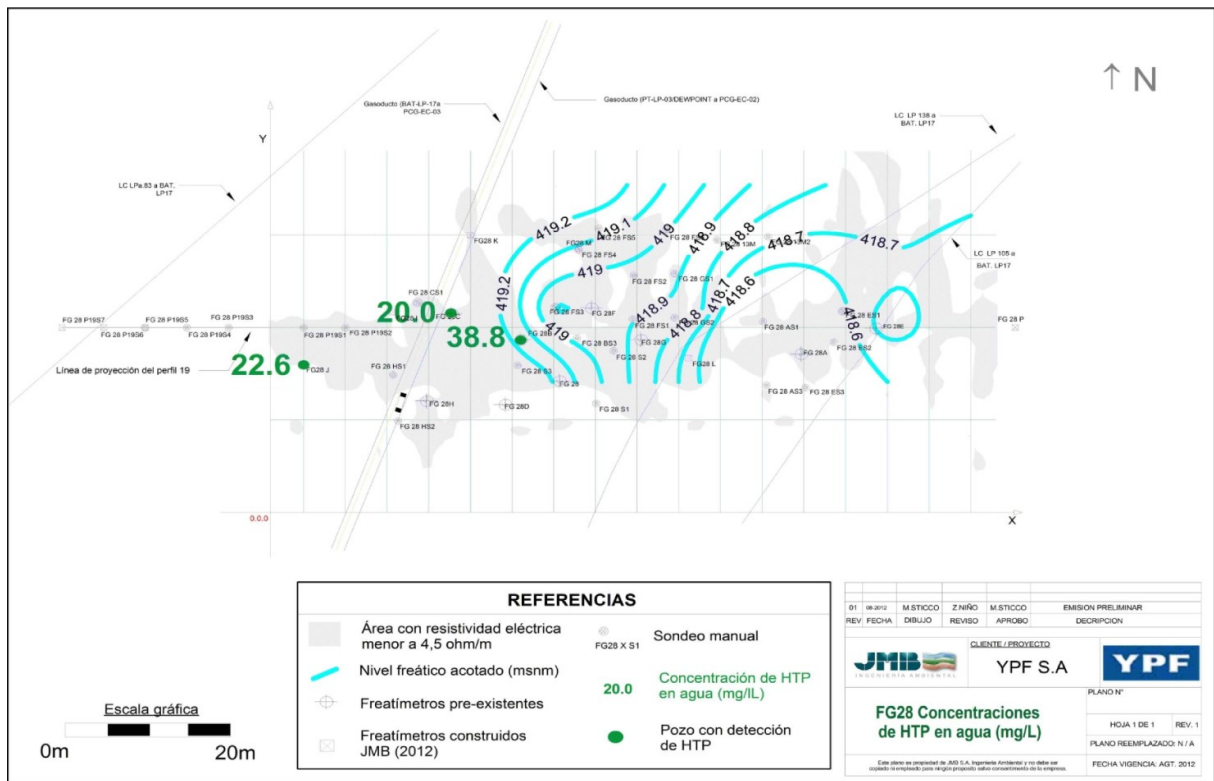


Fig.16. Mapa de concentraciones máximas de HTP en agua (mg/l).

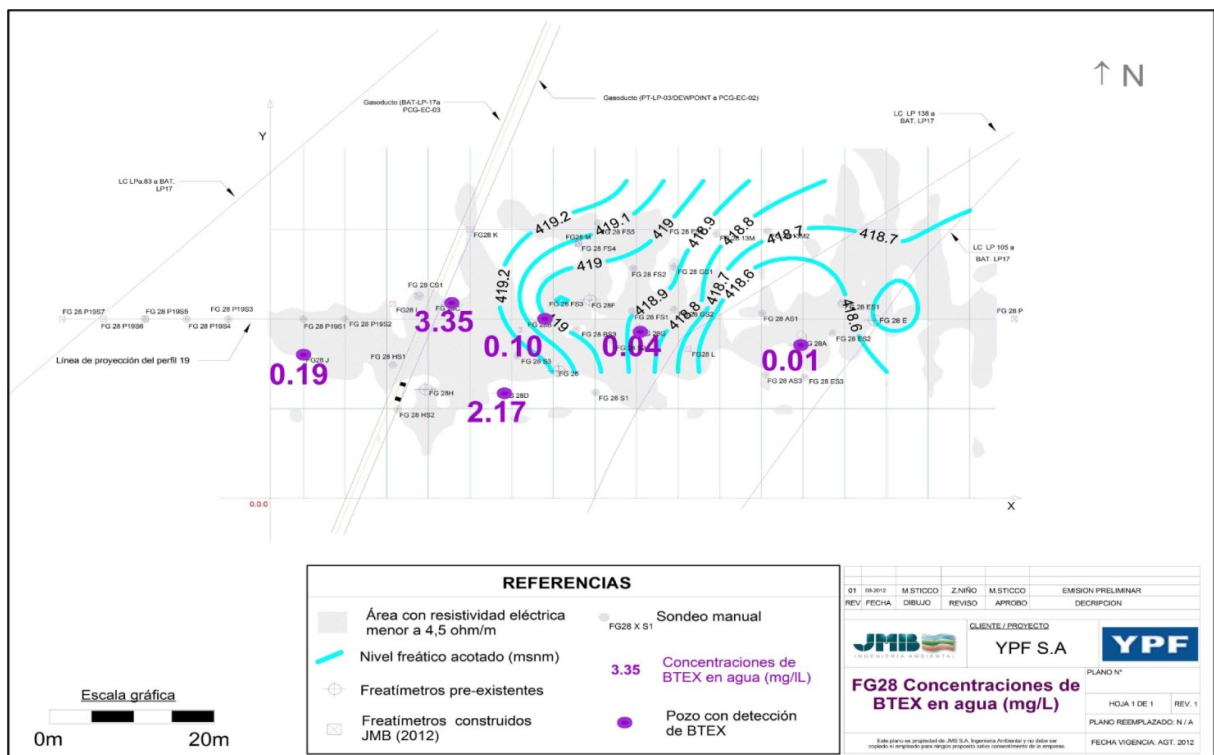


Fig.17. Mapa de concentraciones máximas de BTEX en suelos (mg/L).

## 9.9 Caracterización de FLNA

Los resultados analíticos obtenidos de las muestras de FLNA extraídas de los Freatímetros preexistentes y los construidos en 2012, se corresponden con gasolina.

Se presentan un protocolo de análisis de producto y un cromatograma, en el cual se puede observar picos altos en C6; hasta C12 .(ANEXO 1).

Los valores de BTEX, se obtuvieron altos en tolueno, entre 270 y 638 mg/l

Los valores de Densidad a 20°C(g/cm<sup>3</sup>), obtenidos tanto de FLNA de fratímetros preexistentes como los realizados en 2012, dieron valores entre 0,7455 y 0,78 g/cm<sup>3</sup>.

Los valores de Viscosidad a 25°C (cSt), se obtuvieron valores entre 0,147 y 8,6 cSt.

## 9.10 Interpretación de resultados y diagnóstico

El resultado final arrojó la presencia de FLNA en 4 freáticos, los cuales fueron muestreados para caracterizar el producto.

FREATÍMETRO	FG28-B	FG28-F	FG28-H	FG28-M
Espesor FLNA (m)				
(25-06-2012)	0,006	0,42	0.206	0.210

Se calculó una velocidad horizontal del flujo subterráneo casi nula (en el orden de 10 cm por año) y un predominio de las fluctuaciones verticales sobre las horizontales de la superficie de la freática.

La FLNA se halló en 4 freáticos de los 15 presentes. En agua subterránea se halló Benceno en concentraciones muy bajas solo en 2 freáticos: FG28-C (0,033ppm) y FG28-D (0,011ppm).

La recuperación de FLNA es muy baja, lo que descartó la implementación de un sistema activo de bombeo.

No existe riesgo a la salud humana asociado al escenario actual tanto para suelo como para agua subterránea.

La aparición de FLNA en algunos pozos de monitoreo pueden deberse a la incorporación de hidrocarburo en fase libre en tránsito en la ZNS, al momento de la remediación, o bien como producto de la movilización de hidrocarburo retenido en el suelo en fase “irreductible” que ante variaciones en las condiciones naturales (humedad del suelo, infiltración, ascenso freático, temperatura estival), habría adquirido capacidad para moverse hasta el medio saturado.

Las características litológicas de la ZNS y ZS, conformadas por sedimentos de granulometría fina (arcilitas y Tobas de la formación Río Chico), y de baja permeabilidad, le confieren al medio cierta dificultad para evaluar las vías y tiempos de tránsito del sistema multifásico agua/hidrocarburo, pero resultaría verosímil la posible reaparición de FLNA

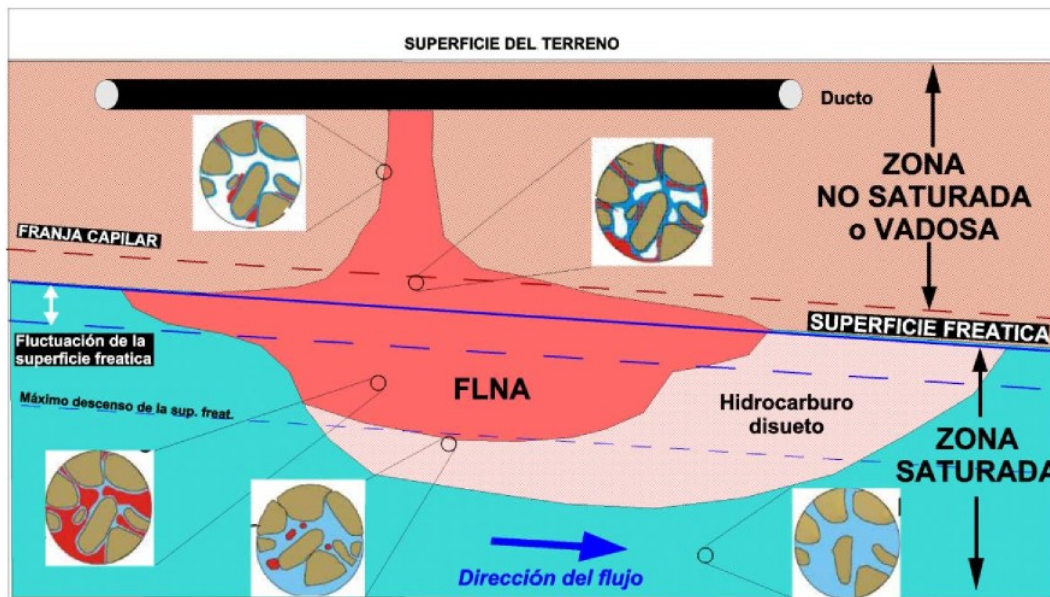
El producto en Fase Líquida No Acuosa (FLNA) correspondería a gasolina.

La circulación de aguas subterráneas en la zona se produce principalmente en los materiales de relleno de cañadón y en los niveles más permeables de la Formación Río Chico. La dirección de flujo de las aguas subterráneas someras en el sitio es Oeste-Este, hacia el Cañadón Salado.

La fuente de la afectación correspondería a una fuga de producto (FLNA) en la cámara de purga del gasoducto, difusa en el espacio y accidental o episódica en el tiempo. Se registró afectación en baja proporción en suelos y afectación en agua subterránea por FLNA. No se descarta el aporte proveniente de gasoductos cercanos.

Se planteó el modelo de saturación para interpretar el transporte de los hidrocarburos en el medio poroso (ZNS), que reemplaza al “modelo de flotación” aceptado anteriormente en el ámbito técnico. El modelo de flotación planteaba que la FLNA en el subsuelo se hallaría flotando sobre la superficie freática tal como si ésta fuera un lago o cuerpo estanco de agua con limitada interacción del medio poroso.

El modelo de saturación (que posee un mejor ajuste conceptual y matemático con la realidad de este sitio) interpreta que el hidrocarburo se halla distribuido en el espacio poroso del suelo en forma discontinua (formando “bolsones” microscópicos), a diferencia del agua que tiende a ocupar la totalidad de los poros en forma continua en la zona saturada del subsuelo. La siguiente figura sintetiza este modelo:



**Fig.18. Modelo de saturación. ( Charbeneau, R. J.2007).**

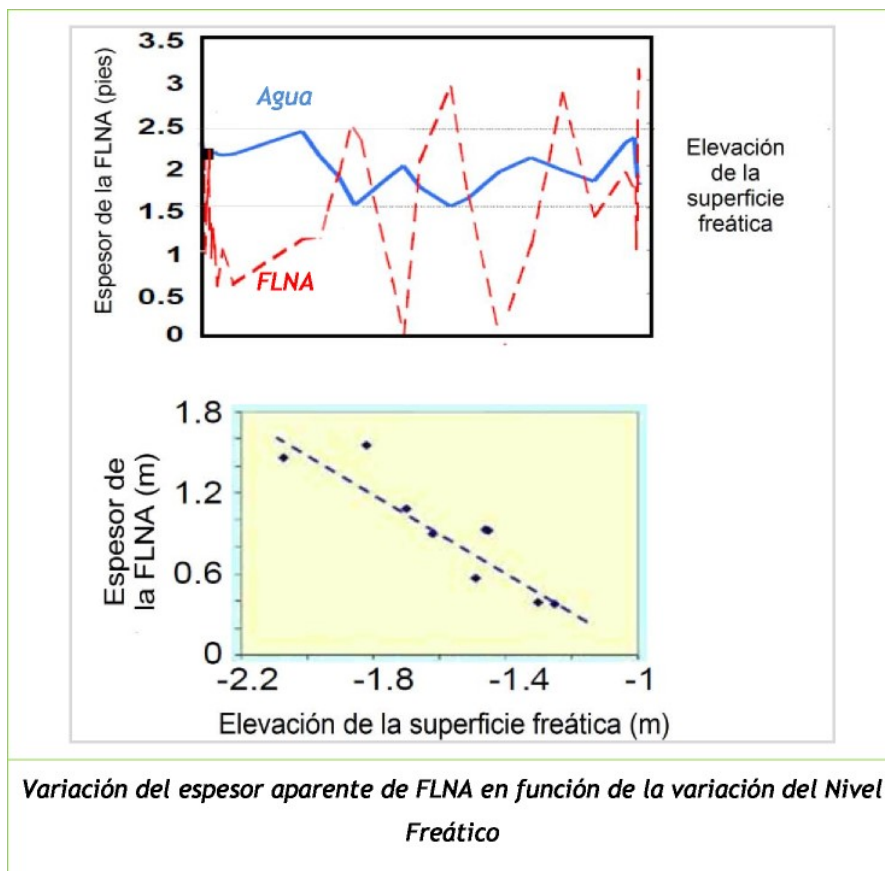
Este modelo de transporte de la FLNA se origina a partir de una fuga de producto de una instalación subterránea o aérea que conduce y/o almacena hidrocarburos, estableciéndose ese sector como el foco de la afectación. El movimiento posee características semejantes a la del transporte de agua con algunas limitaciones (viscosidad, densidad, tensión superficial, etc.) que tienden a retardar la velocidad del transporte. Los hidrocarburos paulatinamente saturan parcialmente los poros de la zona no saturada del suelo (es decir el volumen de poros del suelo existentes entre la superficie del terreno o la zona de la fuga y la superficie de la capa freática). Una vez que el espacio poroso del suelo se encuentra completamente saturado de líquidos (agua e hidrocarburos) se inicia el proceso de infiltración propiamente dicho, que en una primera etapa es principalmente vertical descendente hasta alcanzar alguna “barrera”, las cuales pueden ser solo dos: la superficie de la freática o un estrato arcilloso. A partir de esta instancia el proceso (saturación + infiltración) posee una dirección sub horizontal el cual es controlado por la inclinación (gradiente hidráulico) de la superficie de la freática o la inclinación del techo de una capa de arcilla (cuerpo de baja permeabilidad que impide el descenso del producto).

Si la tasa (velocidad) de ingreso vertical de hidrocarburo hacia el subsuelo es inferior a la velocidad horizontal, la geometría de la FLNA será semejante a una pluma (elipse alargada), en el caso inverso (velocidad vertical mayor a la velocidad horizontal) la geometría esperada será circular.

Las variaciones de los espesores aparentes de FLNA registrados a lo largo del tiempo en el interior de los pozos existentes en el sitio FG-28 (2001 a 2012), se produjeron a partir del modelo de saturación, el cual demuestra que los descensos de la superficie freática generan un aumento del espesor aparente.

Este fenómeno se produce por el cambio de presiones ya que se pasa de una interfase agua-hidrocarburo a una interfase aire-hidrocarburo, presentada esta ultima menores presiones que la que las primeras, de este modo se facilita el ingreso del hidrocarburo al interior de los pozos ya que la ausencia momentánea del agua (ya que la misma está en un nivel más profundo), elimina el “obstáculo” que impedía en el estado anterior la movilización del hidrocarburo. En el sitio se han detectado variaciones de los niveles de la superficie freática de más de 1 metro a amplitud. Por eso se explica la reaparición del producto luego de una remediación, es decir que el descenso del nivel de la superficie freática ocurrido durante los períodos más secos de los años posteriores al proceso de remediación han facilitado la removilización de los hidrocarburos que se hallaban antes por debajo de la superficie de la freática.

Las siguientes figuras representan dos formas de visualizar dichas variaciones.



**Fig.19. Variación de espesor aparente de FLNA en función de la variación del nivel freático.**

**(Lundegard, P.D. and B.S. Mudford. 1998. y Sale, T.2001)**

Como se puede apreciar los espesores aparentes de FLNA disminuyen cuando se produce el ascenso de la superficie freática y tienen un comportamiento inverso cuando la superficie desciende.

## **10 ANÁLISIS DE RIESGO**

Para determinar la presencia de riesgo se utilizó la norma **ASTM E 1739-95 (2010)** “Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites”. La misma describe el proceso RBCA (Análisis cuantitativo de riesgo), y enfatiza su utilización en derrames de petróleo y sus derivados. Para la misma se utilizaron valores genéricos de la zona donde se ubica el sitio de interés asumiendo valores “por defecto” en aquellos parámetros que no pudieron ser obtenidos de manera directa.

La metodología utilizada aplica principios y métodos reconocidos a nivel internacional y en particular el procedimiento RBCA (Risk Based Corrective Action) estandarizado por ASTM (American Society for Testing and Materials) en los documentos guía E1739 y E2081.

El Análisis de Riesgo se ha desarrollado utilizando el software RBCA Tool Kit for Chemical Releases.

Para las diversas etapas de aplicación en el proceso de validación del riesgo, se han utilizado los parámetros geológicos, hidrogeológicos y ambientales tomados de la información proveniente de la etapa de Caracterización.

El Modelo Conceptual del Sitio (MCS) es la base de la aplicación del Análisis de Riesgo sitio específico y es elaborado considerando la documentación e información obtenida durante los estudios realizados anteriormente en el sitio.

Según la Norma IRAM 29597, se define:

**Modelo conceptual.** Integración e interpretaciones de la información del sitio que generalmente incluye aspectos concernientes a las características físicas, químicas, al transporte y del receptor presente en un sitio específico.

Un modelo conceptual se usa para describir integralmente las fuentes y los compuestos químicos de interés en el ambiente y los riesgos asociados para lugares particulares en un sitio, tanto en el presente como en el futuro, según corresponda.

**Modelo conceptual de sitio con FLNA liviana (MCSF).** Modelo conceptual que describe las propiedades físicas, la composición química, la ocurrencia, y el contexto geológico del cuerpo de FLNA liviana del cual se pueden generar los cálculos de flujo, riesgo, y acción de remediación potencial. El MCS es un modelo conceptual dinámico, activo que cambia a lo largo del tiempo a medida que se obtiene nuevo conocimiento o como resultado de procesos naturales diseñados alterando las condiciones del cuerpo de FLNA liviana, del agua subterránea y de la pluma en fase gaseosa. El MCS se puede presentar en forma de texto o figuras, o ambas.

El mismo está descrito en los tópicos anteriores: geología; hidrogeología; , los hallazgos de afectación y límites de la misma, receptores reales y potenciales, medios afectados, etc).

A continuación se detallan los tres principales componentes que constituyen la elaboración del Análisis de Riesgo:

<b>FUENTE</b>	<b>TRANSPORTE</b>	<b>RECEPTOR</b>
---------------	-------------------	-----------------

En el año 2012, la consultora ambiental contratada, realizó un análisis cuantitativo del riesgo, considerando estos 3 principales componentes.

Dichas normas técnicas de ASTM son una guía para la acción correctiva basada en riesgos, un proceso de toma de decisiones coherentes para la evaluación y respuesta, basado en la protección de la salud de los seres humanos. Estas normas presentan una serie de pasos para determinar la concentración de contaminantes que no tendrían efectos negativos sobre la salud humana, a fin de asegurar la aplicación de acciones correctivas apropiadas.

A través del mismo, ha sido posible determinar los Niveles Objetivo Sitio Específicos (Site Specific Target Levels, SSTL) para una serie de compuestos encontrados en el sitio, los que fueron seleccionados luego de la comparación de las concentraciones reportadas por los laboratorios tanto en la matriz suelo como en la matriz agua subterránea, con los requisitos legales propuestos como Niveles guía en la legislación de referencia.

Los cálculos de Niveles Objetivo Sitio Específicos (SSTL) han sido realizados considerando el riesgo individual y acumulado derivado de la presencia contemporánea de todos los compuestos de interés. Asimismo, se tuvo en cuenta la activación simultánea de todas las vías de exposición definidas: contacto dérmico, ingestión de partículas de suelo, inhalación de vapores/partículas outdoor provenientes del suelo o agua subterránea.

El proceso RBCA se implementa por medio de un método dividido en niveles, que incluye niveles de recolección y análisis de datos cada vez más específicos. Al evaluar cada nivel, se realiza la comparativa con los resultados, se evalúan y se decide si se justifica un análisis más específico del sitio o no.

En este caso particular y con el fin de definir el Modelo Conceptual, fueron utilizadas las concentraciones de los compuestos de interés surgidos de los muestreos y análisis químicos de suelo y agua subterránea realizados directamente durante la etapa de caracterización.

Se procedió a realizar un comparativo de las concentraciones registradas en suelo y en agua subterránea con los requisitos legales propuestos como Niveles Guía establecidos por el Decreto 831/93 reglamentario de la Ley Nacional N° 24.051 y en el Decreto 3.316/2004 de la Provincia de Santa Cruz.



Básicamente el comparativo con la legislación permite:

- Identificar los compuestos de interés vinculados al sitio que estén incluidos en la legislación.
- Seleccionar los compuestos de interés para evaluar el riesgo en aquellos que superen los valores guía de la legislación ambiental identificada, considerando que en general dichos valores representan el máximo nivel de riesgo potencial para cualquier sitio.

Para las diversas etapas de aplicación en el proceso de validación del riesgo, se han utilizado los parámetros geológicos, hidrogeológicos y ambientales tomados de la información proveniente de la etapa de Caracterización.

La metodología de ASTM prevé el pasaje a niveles de análisis sucesivos, caracterizados por una mayor cantidad de información sitio específica, con el consecuente abandono de las hipótesis genéricas conservativas asumidas en el primer paso.

Hay 3 niveles: Nivel 1 (TIER 1); Nivel 2 (TIER ), y Nivel 3 (TIER 3), siendo el Nivel 3 el que permite una valoración sitio-específica de mayor detalle. Utiliza modelos numéricos y análisis probabilísticos que permiten considerar la heterogeneidad del sistema y generalizar la geometría de la fuente afectada y de las condiciones del entorno.

Los otros 2 , utilizan modelos analíticos que son simplificados y son más limitados, ya que descuidan aspectos del sistema ambiental real.

El primer paso para la elaboración del MCS (Modelo Conceptual del sitio), es individualizar la naturaleza del sitio en estudio, el uso de suelo actual y futuro. Para esto es analizada toda la documentación disponible en relación al sitio, al fin de identificar los receptores en la elaboración del Análisis de Riesgo.

En base a las investigaciones realizadas es reconstruida la secuencia litológica representativa, se determina una profundidad media y una dirección de flujo del agua subterránea. Asimismo son identificados los cursos de agua superficiales y las relativas distancias, direcciones de escurrimiento y presencia de pozos explotación de agua (en caso de existir).

Cabe mencionar que en elaboración del Modelo Conceptual del Sitio se ha aplicado el Principio precautorio emanado del Derecho Ambiental, tanto a nivel provincial, nacional como internacional, por el cual se establece que *“falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente”*.

Este principio precautorio fue además tenido en cuenta toda vez que se mencione el concepto técnico del “peor escenario” y/o el término “conservativo”, es decir que en los casos que se detectaban distintas concentraciones de los compuestos críticos en el suelo y agua, se utilizó el valor MAXIMO como representativo de toda el área fuente de la contaminación. En relación a los posibles receptores se consideró a los de mayor vulnerabilidad y riesgo con frecuencias de exposición sobredimensionadas a las condiciones reales, de este modo se cubre la limitada certeza científica absoluta, tal como lo define el Principio precautorio.

### **10.1 Características del sitio**

Empleando como base la información obtenida de la Caracterización, se ha reconstruido la geología y la hidrogeología del área de estudio. En base a esta información, **el tipo de suelo en la zona no saturada se ha asimilado a un sedimento areno arcilloso (Clayey Sand).**

### **10.2 Fuentes y compuestos de interés**

Se ha realizado la comparación de las concentraciones halladas en el sitio con los niveles guía o normas de referencia.

Si bien las cadenas hidrocarburadas no están contempladas en la legislación aplicable, fueron consideradas para el presente Análisis de Riesgo debido a que en algunos puntos se encontraron concentraciones superiores al límite de cuantificación del método (LCM) analítico utilizado.

Se consideró incluso un área mucho mayor con sectores que no presentan afectación.

Siguiendo el principio de máxima conservación se ha considerado como valor de concentración representativo de una sustancia en la fuente al valor analítico máximo encontrado en el sitio, tanto para la matriz suelo como para la matriz agua.

### **10.3 Escenarios propuestos y receptores de los compuestos de interés**

En la presente elaboración han sido considerados **los seres humanos como potenciales receptores de los compuestos de interés.**

Para las diferentes tareas y actividades que se realizan actualmente en el predio en estudio, se han propuesto 3 (tres) escenarios, correspondiendo cada uno de ellos a un tipo de receptor identificado (recorredor de yacimiento, supervisor de instalaciones y operario del camión de extracción de condensado). Asimismo y como posible uso futuro (temporal) fue propuesto un cuarto escenario denominado “potencial” vinculado a posibles tareas de saneamiento a desarrollar en el predio por medio de excavación de suelo.

Los cuales fue considerados que está vinculado al riesgo potencial originado por la inhalación de vapores provenientes del suelo y la inhalación de vapores provenientes del agua subterránea, siendo el de mayor frecuencia de exposición el recorredor de yacimiento.

Para el cuarto escenario denominado potencial por su probabilidad de ocurrencia se consideró al denominado “*Trabajador vinculado a la excavación de suelo*” correspondiente al escenario potencial a desarrollarse durante la etapa de saneamiento.

Con respecto a la ingestión de agua subterránea, si bien se encontró afectación de la misma, dicha vía de exposición no ha sido considerada ya que en el área de estudio no existen pozos de extracción de agua subterránea para consumo. No obstante si se han considerados los riesgos vinculados a la inhalación de vapores provenientes de la misma.

En relación a la FLNA, la misma fue considerada como foco activo de hidrocarburos y fuente primaria de estos compuestos al medio suelo, agua y aire.

#### **10.4 Parámetros sitio específico**

Como se ha mencionado anteriormente, para las diversas fases del proceso de ponderación del riesgo, han sido utilizados parámetros geológicos, hidrogeológicos y ambientales obtenidos a partir de la información obtenida durante las actividades de caracterización del sitio.

En los casos en los cuales no haya sido posible realizar mediciones directas de los parámetros necesarios para la utilización del software RBCA , se ha optado por la opción más conservativa (“el peor escenario”).

A continuación, en el siguiente cuadro resumen, se presentan los parámetros considerados para la elaboración análisis de riesgo, tanto para el suelo como para el agua subterránea.

PARÁMETRO	U.M.	VALOR	SITIO ESPECIFICO / BIBLIOGRAFÍA
<u>SUELO</u>			
Nivel del agua subterránea	m	3,65	Sitio específico
Espesor de la franja capilar	m	0,79	Sitio específico
Mínima profundidad de afectación (Top)	m	2	Sitio específico
Máxima profundidad de afectación (Bottom)	m	3,65	Sitio específico
Largo de la fuente paralelo a la dirección del viento	m	100	Sitio específico
Porosidad Total	adim.	0,35	Sanders, 1998
Contenido de agua en la zona no saturada	adim.	0,19	Sitio específico
Contenido de agua en la franja capilar	adim.	0,342	Database RBCA
Contenido de aire en la zona no saturada	adim.	0,16	Calculado
Contenido de aire en la franja capilar	adim.	0,008	Calculado
Densidad seca	kg/l	1,7	Database RBCA
Conductividad hidráulica vertical	cm/d	0,03	Sitio específico
Permeabilidad al vapor	m <sup>2</sup>	1 E-05	Database RBCA
Fracción de carbono orgánico suelo no saturado	adim.	0,037	Sitio específico
pH suelo no saturado	adim.	6,8	Database RBCA
<u>ÁGUA SUBTERRÁNEA</u>			
Largo de la fuente perpendicular a la dirección de flujo	m	100	Sitio Especifico
<u>AIRE</u>			
Altura de la zona de mezcla	m	2	Database RBCA
Velocidad del viento	m/s	6,97	Sitio Especifico

Fig.19.Parámetros de suelo y agua subterránea.

### 10.5 Vías de exposición y modelos de transporte

En la presente elaboración han sido identificadas las siguientes vías de exposición potencialmente activas:

- Contacto dérmico
- Ingestión de partículas de suelo
- Inhalación de vapores/partículas *outdoor* provenientes del suelo o agua subterránea.

### 10.6 Receptor humano

En el presente Análisis de Riesgo se ha considerado como límite de aceptabilidad del riesgo cancerígeno igual a  $1 \times 10^{-5}$  para cada sustancia individual y para el riesgo acumulado. (1 caso en 100.000 personas).

Se generan unas tablas (con la analítica del sitio), donde se muestran los riesgos generados a partir de las concentraciones presentes en cada uno de los escenarios considerados (tanto para condiciones de uso actual como para el escenario de uso potencial).

Compuesto	Receptores On-Site			
	Inhalación de Aire Outdoor		Exposición directa con el suelo	
	Cancerígeno	No Cancerígeno	Cancerígeno	No Cancerígeno

Al considerar la existencia de los compuestos en conjunto, dichos valores de SSTL individuales pueden superar el riesgo acumulado.

### 10.7 Consideraciones finales

El Análisis de Riesgo, elaborado según la metodología RBCA del ASTM, ha permitido determinar los niveles objetivo sitio específicos (*Site Specific Target Levels*, SSTL) para los compuestos químicos de interés definidos para cada uno de los escenarios considerados. Dichos valores de SSTL tienen en cuenta el cumplimiento del riesgo tanto individual como acumulado para las vías de exposición consideradas en cada uno de escenarios definidos.

Para los 3 escenarios proyectados en las condiciones de uso actual (denominados 1, 2 y 3) no se ha identificado riesgo para las vías de exposición consideradas.

Para el escenario planteado como “potencial” (Escenario 4) es decir trabajadores expuestos en las tareas de excavación en el sector afectado por hidrocarburos, durante 90 (noventa) días con 8 (ocho) horas de trabajo diario a las siguientes vías de exposición:

- Contacto dérmico en suelo
- Ingestión de partículas de suelo

- Inhalación de vapores provenientes del suelo
- Inhalación de vapores provenientes del agua subterránea

Se identificó que supera el nivel de aceptabilidad de riesgo acumulado en relación al contacto directo con el suelo e inhalación outdoor, calculando como valor objetivo para la reducción del riesgo para el contenido de hidrocarburos totales en suelo una concentración de 9,06% p/p.

Asimismo, se recomienda, que durante las tareas de excavación se tomen precauciones mínimas, a fin de eliminar o reducir considerablemente la exposición a los compuestos químicos de interés hallados en el sitio.

## **11 ALTERNATIVAS DE REMEDIACION**

A pesar de que no existió la necesidad desde el punto de vista de la salud humana (explicitado en el apartado 9.10), se propuso la extracción de FLNA mediante métodos pasivos hasta que la curva de recuperación se haga asintótica.

Los métodos pasivos recomendados, fueron: “skimmers” y/o “recuperación manual, o vector móvil”, ajustable a la tasa de recuperación que arroje cada uno de los pozos.

Debido a que la recuperación de FLNA es muy baja, lo que descartaría la implementación de un sistema activo de bombeo.

Se propuso realizar medición de nivel freático de manera periódica e ir incorporando en el plan de recuperación aquellos pozos que presenten FLNA y de manera opuesta, descartando aquellos que ya no la presenten.

Se elaboraron informes mensuales y trimestrales con los avances en la recuperación de FLNA, que permitió evaluar el método de extracción y cuantificar el volumen recuperado.

## **12 REMEDIACION AMBIENTAL**

Las extracciones fueron realizadas mediante tecnologías pasivas como ser bailers de 1 lt de capacidad.

Se iniciaron en el año 2013 (13/06/13), y finalizaron el 22/06/15, obteniéndose 102.3 lts de FLNA prácticamente en los primeros 6 meses del año 2103.



Es imposible la extracción del 100%, debido a la física del medio subterráneo, fundamentalmente a las fuerzas de tensión, ejercida por los sólidos del medio y el líquido, sucede de la misma manera que en la extracción primaria y secundaria de un yacimiento petrolero, donde solo se obtiene o recupera un 40% del volumen total de HC almacenado en el reservorio.

Se determinó, a partir de los monitoreos del sitio, que hay una dinámica entre FLNA y las variaciones del NE (nivel estático), efecto que favorece a la estabilidad de la pluma y a la disminución de potencial movilidad. Comprobándose la aparición de espesores de FLNA cuando el NE baja, y disminución de espesor de FLNA, cuando el NE sube.

La remediación fue efectiva parcialmente, ya que solo se extrajo producto del pozo, pero la columna o perfil de saturación permanece debido a la presencia de FLNA por debajo de su saturación residual, y un contenido de FLNA móvil no extraíble por métodos de extracción físicos.

El perfil de saturación responde a la teoría “de la aleta de tiburón”, no a la teoría antigua “del panqueque”, donde se creía que la FLNA era producto sobrenadante y en forma continua con saturación total en todos los sectores de la pluma. No todo el espesor medido de FLNA es 100%, quizás en la parte superior pero a medida que vamos profundizando, se va diluyendo y aumenta el porcentaje de agua.

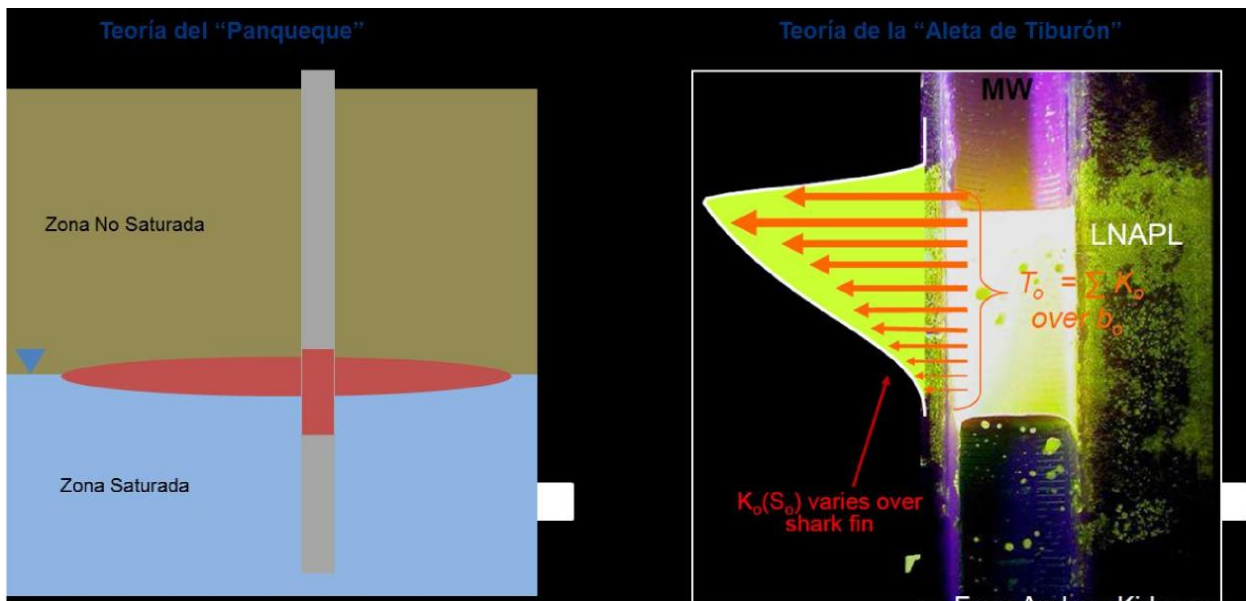


Fig.19. Gráficas de las teorías del “Panqueque” y la teoría “aleta de tiburón”. (Charbeneau, R. J. 2007 y Lundegard, P.D. and B.S. Mudford. 1998.)



### 13 MONITOREO AMBIENTAL Y CIERRE

A la red de freaímetros preexistente se le adicionó 6 pozos de monitoreo, conformando una red de 15 puntos de monitoreo.

El monitoreo consistió en un seguimiento sistemático de los puntos de control, a los efectos de detectar la presencia de FLNA para intervenir. Este seguimiento permite tener una alerta temprana ante la posible aparición de FLNA.

Durante las tareas de relevamiento realizadas en el último trimestre de trabajo (que culminó el 22/06/15), no se observó la presencia de FLNA (fase líquida no acuosa) en ninguno de los puntos de control.

Inmediatamente después de las mediciones iniciales se procedió a bombear los freaímetros existentes, previo a al muestreo. En el laboratorio, se analizó la presencia Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP) y BTEX (benceno, tolueno, tilbenceno y xilenos).

Todos los datos fueron volcados en una planilla de campo (fecha, mediciones de niveles iniciales) y luego en una planilla de desarrollo en la que también se agregan otros detalles observados (fecha, hora de inicio y finalización, mediciones de niveles iniciales y finales).

#### **Mediciones de agua subterránea y FLNA**

En la Tabla 9, expuesta a continuación, se observan los niveles medidos en todos los freaímetros del sitio. No se observó FLNA en ninguno de los puntos de control

	Nivel Agua (mbnp)
	22/06/2015
FG28	3,198
FG28-A	2,754
FG28-B	3,527
FG28-C	3,445
FG28-D	3,659
FG28-E	2,786
FG28-F	3,460
FG28-G	3,338
FG28-H	3,294
FG28-I	3,499
FG28-J	3,392
FG28-K	4,205
FG28-L	3,563
FG28-M	3,765
FG28-P	2,665

**\*Tabla 9. Niveles medidos en los freaímetros del sitio FG-28 al presente trimestre.**

A continuación, se presentan 6 gráficas donde pueden observarse los niveles medidos de la profundidad del nivel freático y de la profundidad de la interfase nivel freático-FLNA en los pozos FG28-D, FG28-F, FG28-H y FG28-M en los sucesivos monitoreos.

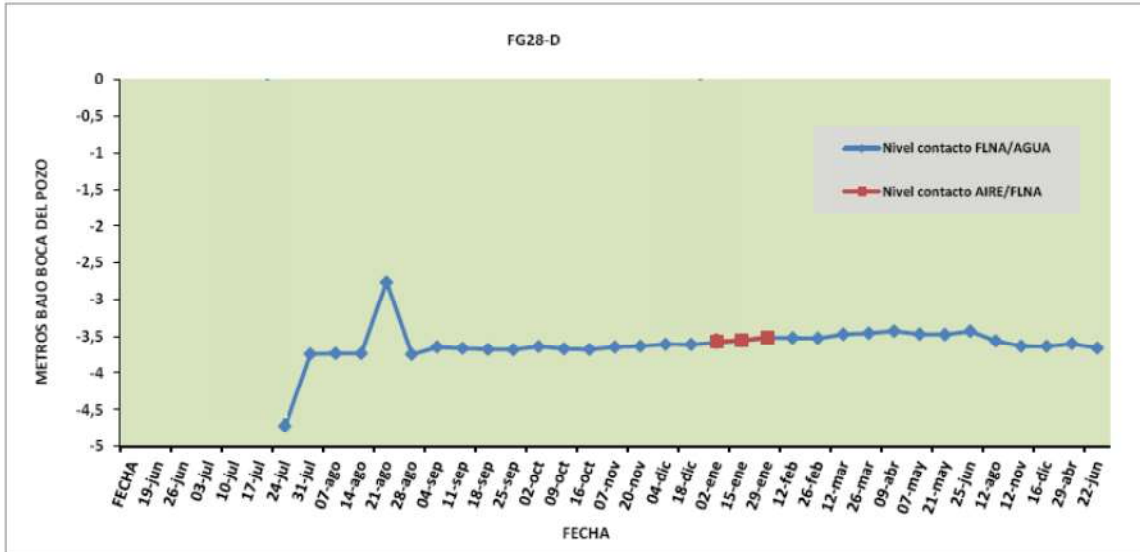


Gráfico 1: Variación del nivel AIRE/FLNA, y FLNA/AGUA en el freaímetro FG28-D.

Fig.20.Variación del nivel AIRE/FLNA y FLNA/AGUA en el freaímetro FG28-D Inf.Oilms).

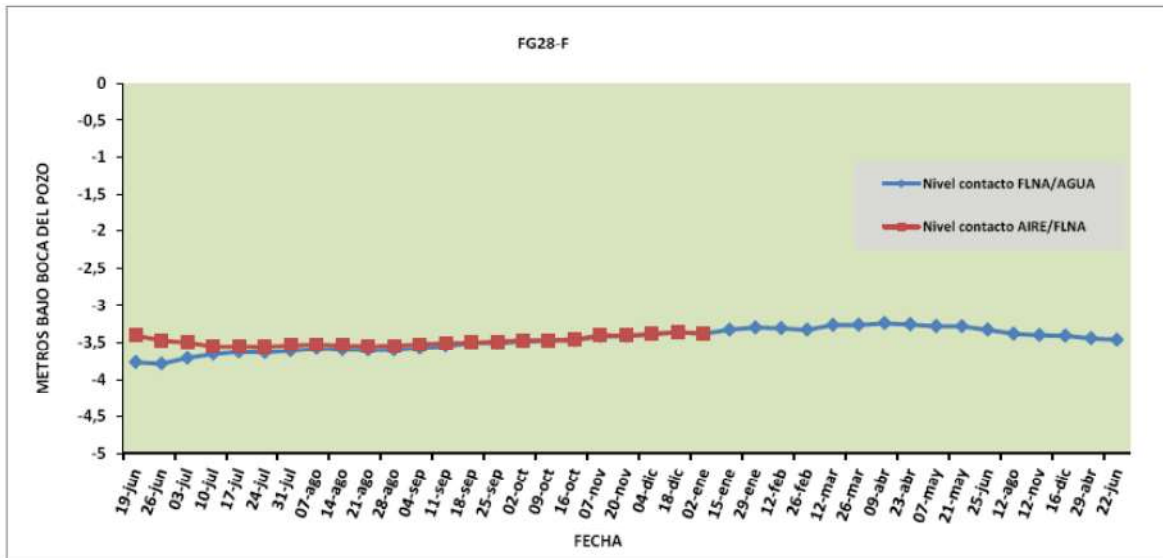


Gráfico 2: Variación del nivel AIRE/FLNA, y FLNA/AGUA en el freaímetro FG28-F.

Fig.21.Variación del nivel AIRE/FLNA y FLNA/AGUA en el freaímetro FG28-F ( Ultimo Informe trimestral Oilms).

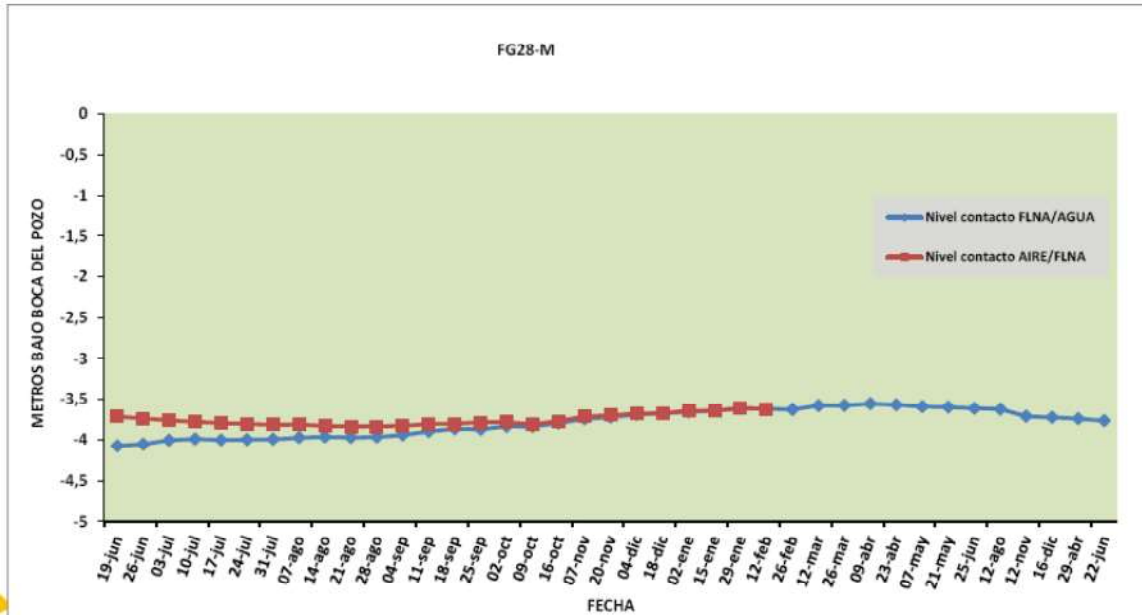


Gráfico 3: Variación del nivel AIRE/FLNA, y FLNA/AGUA en el freatímetro FG28-M.

Fig.22.Variación del nivel AIRE/FLNA y FLNA/AGUA en el freatímetro FG28-M.(Inf:Oilms)

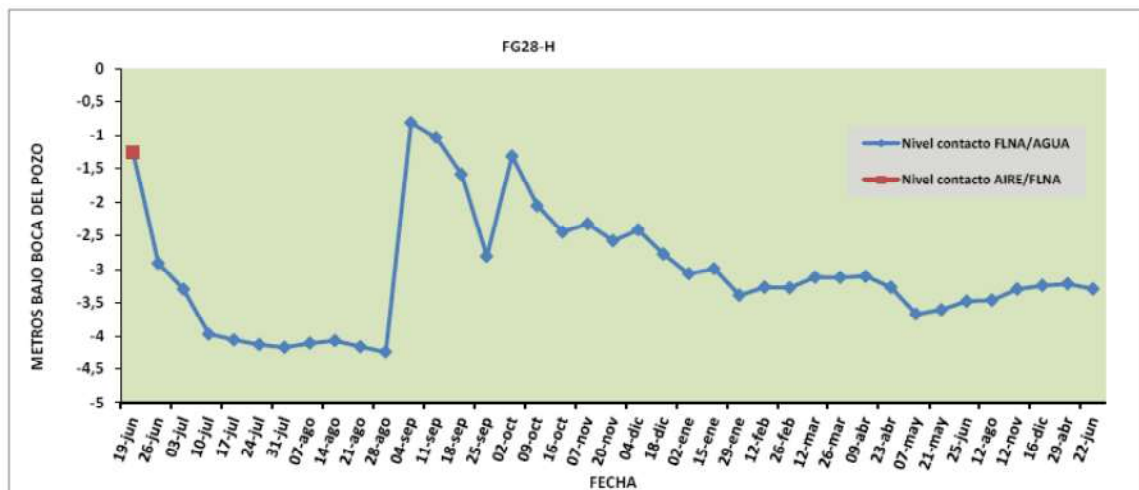
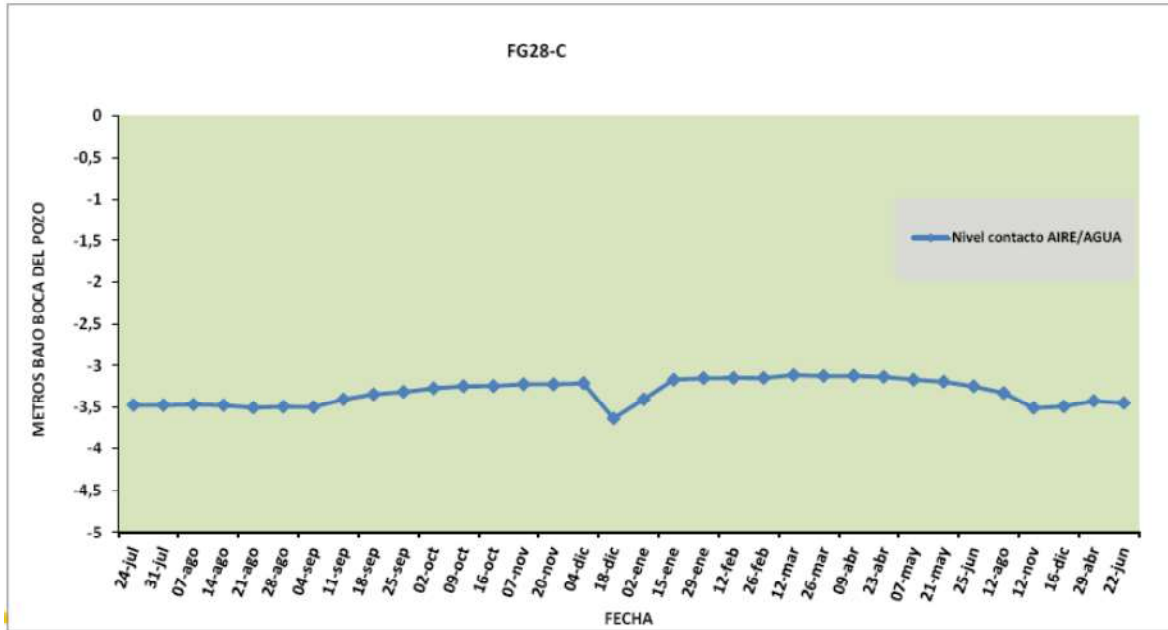


Gráfico 4: Variación del nivel AIRE/FLNA, y FLNA/AGUA en el freatímetro FG28-H.

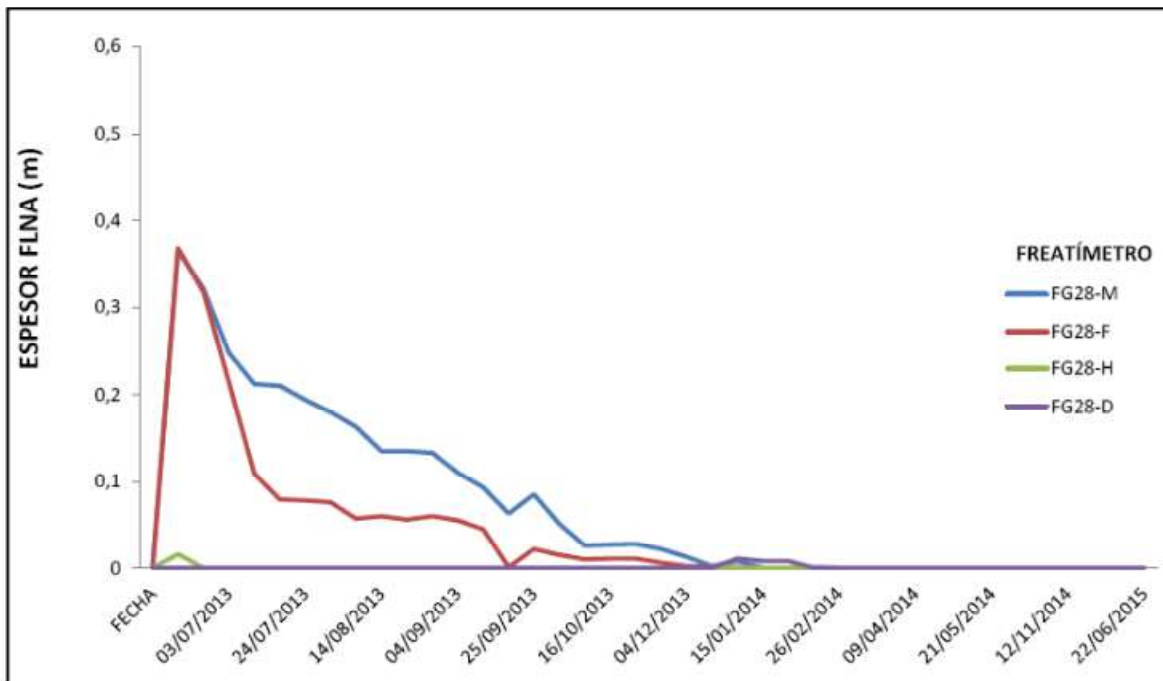
Fig.23.Variación del nivel AIRE/FLNA y FLNA/AGUA en el freatímetro FG28-H ( Último Informe trimestral Oilms).

En el freatímetro FG28-H, se observa en los meses de setiembre-octubre, una fluctuación de nivel en el contacto FLNA/agua



**Gráfico 5:** Variación del nivel freático en el freaímetro FG28-C. Se grafica el mismo para observar la tendencia de los niveles freáticos en un freaímetro en el que no se observó FLNA durante los sucesivos relevamientos.

**Fig.24.** Variación del nivel AIRE/FLNA y FLNA/AGUA en el freaímetro FG28-C (Inf:Oilms)



**Gráfico 6:** Variación del espesor versus tiempo en el freaímetro FG28-F, FG28-H, FG28-M y FG28-D

**Fig.25.** Variación del espesor versus tiempo en los freaímetros FG28-F; FG28-H. FG28-M y FG28-D (Ultimo Informe trimestral Oilms).

Cumplido los dos años de trabajo, puede observarse ( gráfico 6) que, desde Febrero de 2014 al presente no ha vuelto a verificarse la presencia de FLNA (fase líquida no acuosa), observada en los freáticos FG28-H, FG28-D, FG28-M y FG28-F.

El último desarrollo y muestreo, fue efectuado en el mes de junio 2105.

Se procedió a bombear los freáticos existentes, con el objetivo de desalojar un mínimo de tres veces el volumen de agua contenido; dicha tarea se efectuó utilizando una micro bomba accionada a 12 V para posteriormente dejar recuperar el nivel.

A los 4 días, se procedió a tomar muestras de agua, a fin de realizar las determinaciones analíticas previstas. La toma de muestras se llevó a cabo siguiendo el procedimiento operativo vigente.

Como parte del estudio, se analizó en laboratorio la presencia de compuestos orgánicos: Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP) y BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos).

Resultados obtenidos

Freatímetro	HTP	Benceno	Etilbenceno	Tolueno	Xilenos
	mg/l				
FG28	22,4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
FG28-A	<0,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
FG28-B	<0,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
FG28-C	0,5	<0,01	0,014	0,018	0,102
FG28-D	<0,2	<0,01	<0,01	0,01	0,237
FG28-E	<0,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
FG28-F	0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
FG28-G	<0,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
FG28-H	91,9	0,111	0,167	0,558	1,898
FG28-I	0,2	0,034	<0,01	<0,01	0,968
FG28-J	<0,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
FG28-K	<0,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
FG28-L	<0,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
FG28-M	0,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
FG28-P	<0,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

**Tabla 10. Resultados analíticos de HTP-BTEX obtenidos el último muestreo sitio FG-28**

Se observa la presencia de HTP en las muestras de los freáticos FG28, FG28-C, FG28-F, FG28-H, FG28-I y FG28-M. En las demás muestras no se observaron valores que superen el límite de cuantificación del método utilizado por el laboratorio (LCM:0,2 mg/l).

En cuanto a BTEX, en las muestras de los freáticos FG28-H y FG28-I se observaron valores de Benceno de 0,111 mg/l y 0,034 mg/l respectivamente. En las muestras de los freáticos FG28-H y FG28-C se observaron valores de Etilbenceno y Tolueno. Xilenos fueron observados en las muestras colectadas de los freáticos FG28-C, FG28-D, FG28-H y FG28-I.

A continuación, a modo comparativo se muestra una tabla (12), con los resultados analíticos históricos de HTP y de Benceno en los muestreos realizados en los freáticos del sitio.

FREATIMETRO	sep-12 (JMB)	dic-13		ago-14		dic-14		jun-15	
	BENCENO	HTP EPA 418	BENCENO O	HTP EPA 418	BENCENO O	HTP EPA 418	BENCENO O	HTP EPA 418	BENCENO
	mg/l		mg/l		mg/l		mg/l		mg/l
FG28	<0,01	7,3	<0,01	16,7	<0,01	2,4	<0,01	22,4	<0,01
FG28-A	<0,01	<0,2	<0,01	<0,2	<0,01	<0,2	<0,01	<0,2	<0,01
FG28-B	<0,01	1,7	<0,01	0,6	<0,01	<0,2	<0,01	<0,2	<0,01
FG28-C	0,033	0,9	<0,01	2,4	0,01	1,1	<0,01	0,5	<0,01
FG28-D	0,011	4,2	<0,01	0,2	<0,01	<0,2	<0,01	<0,2	<0,01
FG28-E	<0,01	0,3	<0,01	0,3	<0,01	<0,2	<0,01	<0,2	<0,01
FG28-F	SD	263,3	<0,01	0,6	<0,01	0,2	<0,01	0,3	<0,01
FG28-G	<0,01	<0,2	<0,01	<0,2	<0,01	<0,2	<0,01	<0,2	<0,01
FG28-H	SD	14,9	0,1	35	0,013	24	<0,01	91,9	0,111
FG28-I	SD	4,2	<0,01	1,2	<0,01	0,3	<0,01	0,2	0,034
FG28-J	<0,01	2,1	<0,01	0,2	<0,01	<0,2	<0,01	<0,2	<0,01
FG28-K	<0,01	0,3	<0,01	<0,2	<0,01	<0,2	<0,01	<0,2	<0,01
FG28-L	SD	0,2	<0,01	<0,2	<0,01	<0,2	<0,01	<0,2	<0,01
FG28-M	SD	1,3	<0,01	1,2	<0,01	0,5	<0,01	0,2	<0,01
FG28-P	<0,01	<0,2	<0,01	0,5	<0,01	0,2	<0,01	<0,2	<0,01

**Tabla 11. Tabla con los resultados históricos de HTP y de Benceno Freáticos sitio FG-28**

Como se observa en la tabla precedente, los resultados de HTP de las muestras obtenidas de los freáticos FG28-A, FG28-B, FG28-C, FG28-E, FG28-G, FG28-K y FG28-P, no han mostrado variaciones significativas en los valores obtenidos en los distintos muestreos realizados en el sitio. En tanto que, los resultados de HTP de las muestras FG28-D, FG28-F, FG28-I, FG28-J y FG28-M, han disminuido con respecto a los muestreos de Diciembre de 2013 y Agosto de 2014 y se han mantenido sin variaciones significativas en los muestreos de Diciembre de 2014 y el presente.

Por su parte, la concentración de HTP observadas en las muestras de los freáticos FG28 y FG28-H ha

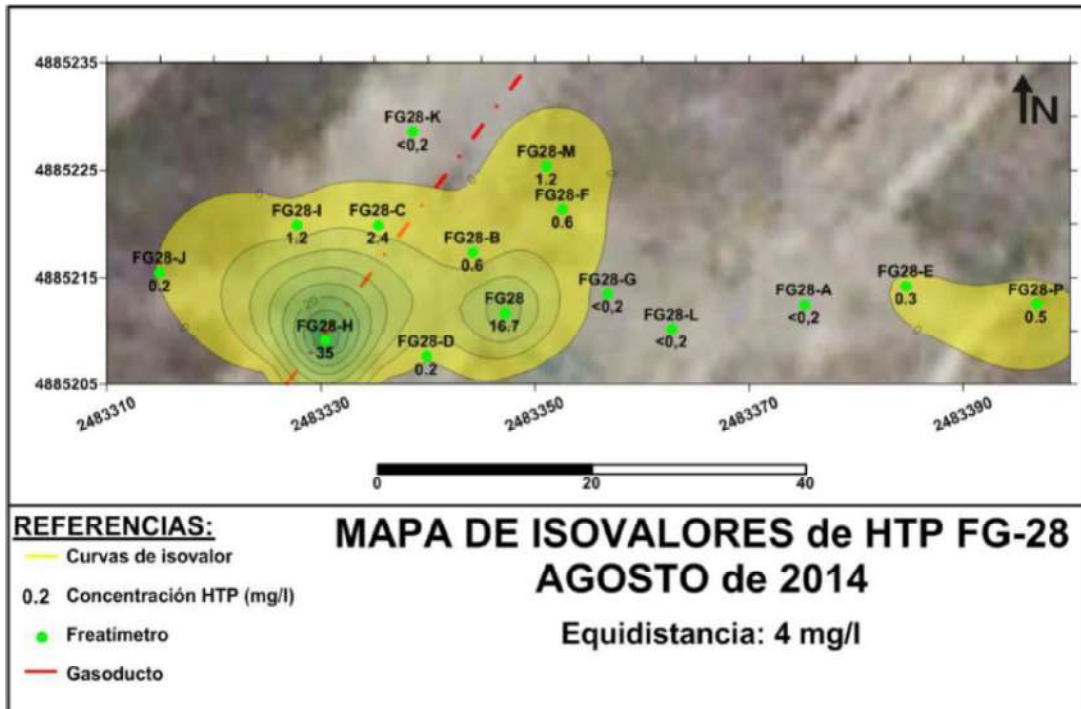
resultado variables a lo largo de los distintos muestreos, verificándose en estos puntos de control un incremento en la concentración.

En cuanto a Benceno, en la muestra FG28-H los resultados han sido variables, observándose el mayor valor en el presente monitoreo. En las demás muestras, en los monitoreos de Agosto de 2014, Diciembre de 2014 y el actual no se han observado valores que superen el LCM (limite de cuantificación del metodo utilizado por el laboratorio), salvo en agosto de 2014, en la muestra del pozo FG28-C, con un valor de 0,010 mg/l y en el actual muestreo en la muestra colectada del freático FG28-I con un valor de 0,034 mg/l.

A continuación se muestran los mapas de isovalores de HTP para los muestreos de Agosto de 2014, Diciembre de 2014 y el presente monitoreo. Además, se muestra la distribución espacial de Benceno observada en el presente monitoreo.

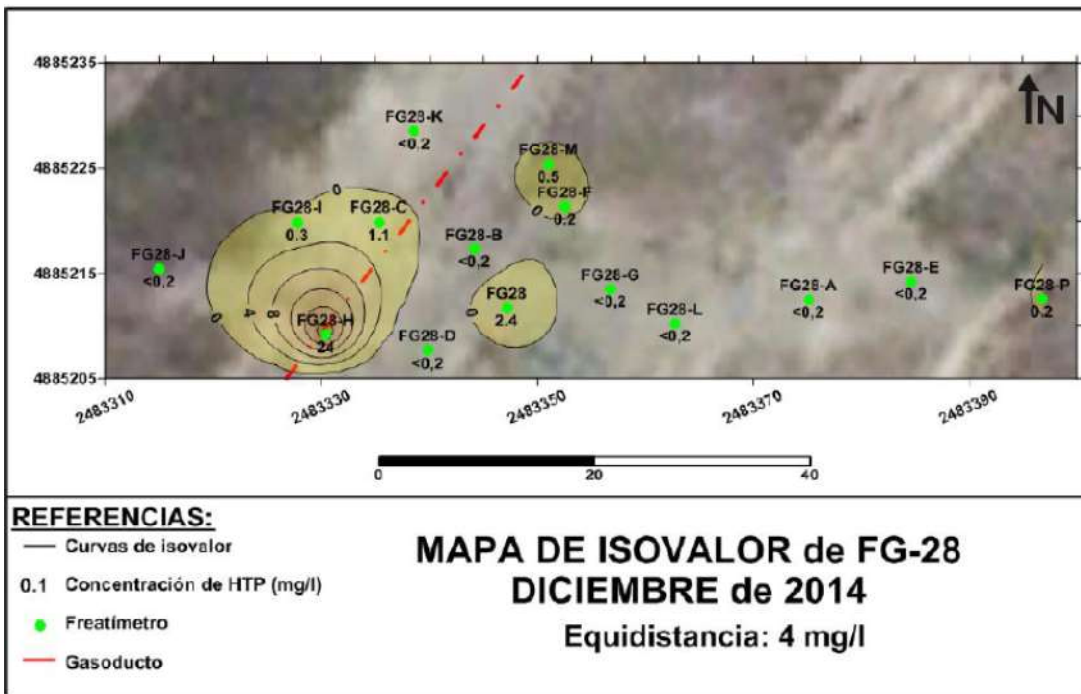
En los mapas siguientes, se refleja que en la distribución espacial de valores de HTP representada en los mapas para los últimos tres muestreos, puede observarse una progresiva disminución en el contenido en HTP la zona de los pozos FG28-E y FG28-P, al punto de no observarse actualmente valores que superen el LCM. En la zona de los freáticos FG28-F y FG28-M, también se ha observado una disminución, observándose actualmente valores muy próximos al LCM. Por su parte en la zona del freático FG-28 se observa actualmente un aumento en los valores, con respecto a los muestreos previos. No obstante, en la zona próxima al freático FG28-H se ha observado un aumento en los valores con respecto a los muestreos previos; este aumento también se ve reflejado en los valores de Benceno observados, ya que los valores de este compuesto, observados en el presente monitoreo se corresponden a esta zona.

Dicho freático está muy próximo a la purga del gasoducto.



Mapa 1: Isoconcentraciones de HTP para Agosto de 2014.

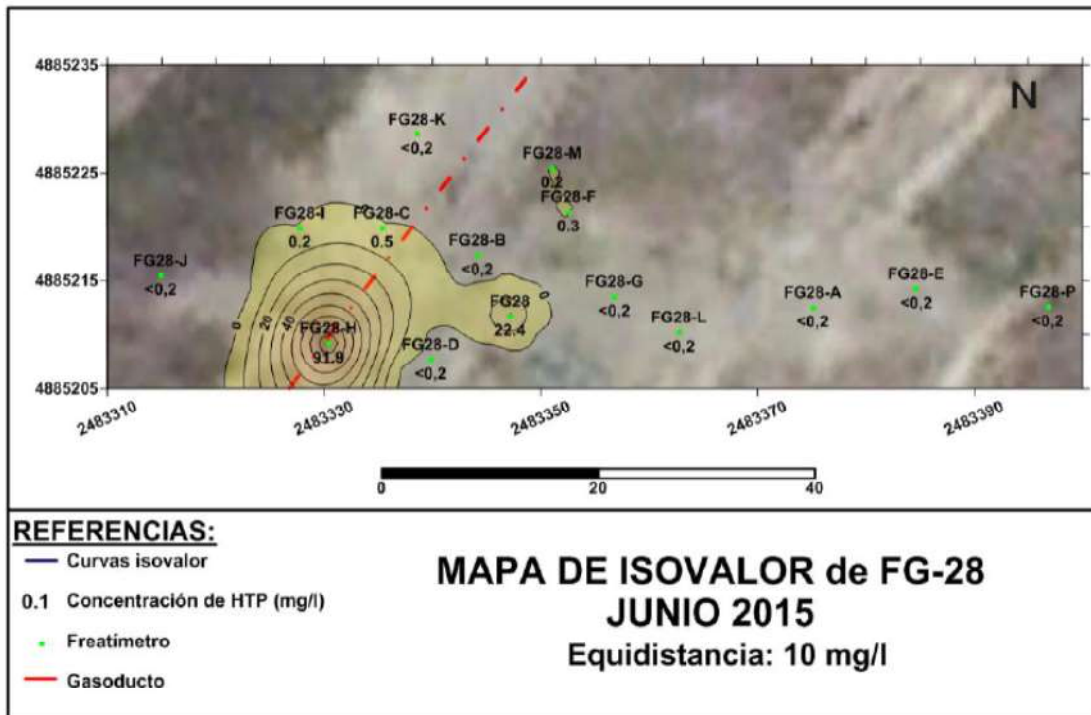
Fig.26. Mapa de isovalores de HTP FG-28. Agosto 2014 ( Último Informe trimestral Oilms).



Mapa 2: Isoconcentraciones de HTP para Diciembre de 2014.

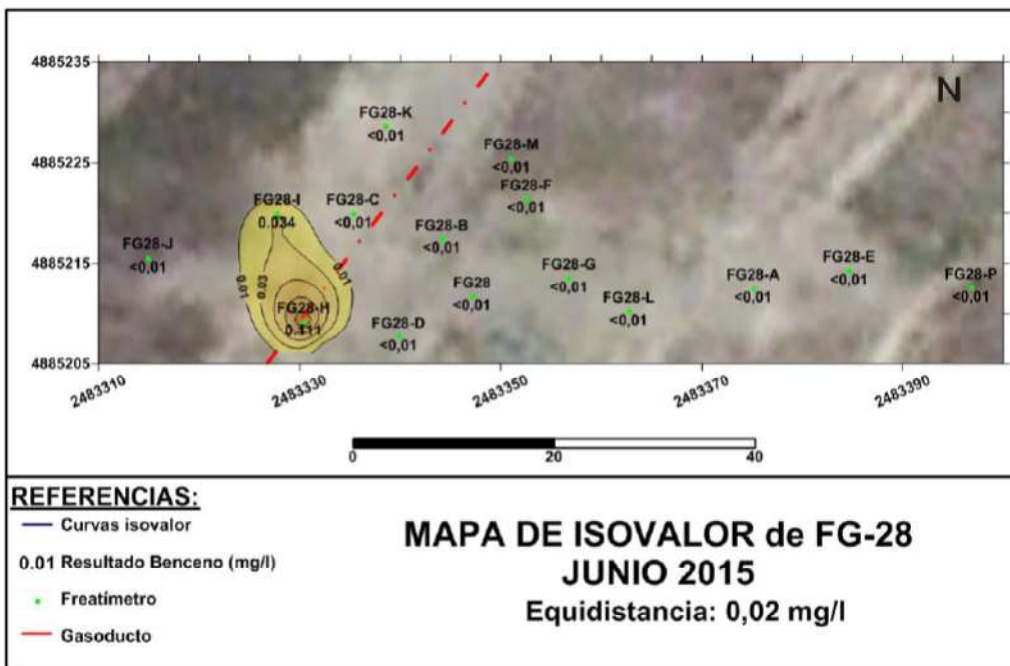
Fig.27. Mapa de isovalores de HTP FG-28. Diciembre 2014 ( Último Informe trimestral Oilms).





Mapa 3: Isoconcentraciones de HTP para Junio de 2015.

Fig.28.Mapa de isovalores de HTP FG-28.Junio 2015 ( Último Informe trimestral Oils).



Mapa 4: Isoconcentraciones de Benceno para Junio de 2015.

Fig.29.Mapa de isovalores de Benceno FG-28. Junio 2015 ( Último Informe trimestral Oils).

La circulación de aguas subterráneas en la zona se produce principalmente en los materiales de relleno de cañadón y en los niveles más permeables de la Formación Río Chico.

La dirección de flujo preferencial de las aguas subterráneas someras en el sitio es Oeste-Este, hacia el Cañadón Salado. A lo largo de los sucesivos monitoreos, se ha verificado que la zona del frentímetro FG28-H se ha comportado como un alto hidráulico, reflejado en la divergencia radial de las líneas de flujo en este punto que se ha mantenido a lo largo del tiempo .

Posiblemente ese alto hidráulico local, sea debido es que es un sitio perturbado debido a que en el frentímetro FG28-H se encuentra la cámara de purga y se ha removido material para su construcción.

Además, dónde se encuentra la purga es el punto más bajo y hay una recarga puntual (infiltración efectiva por material removido).

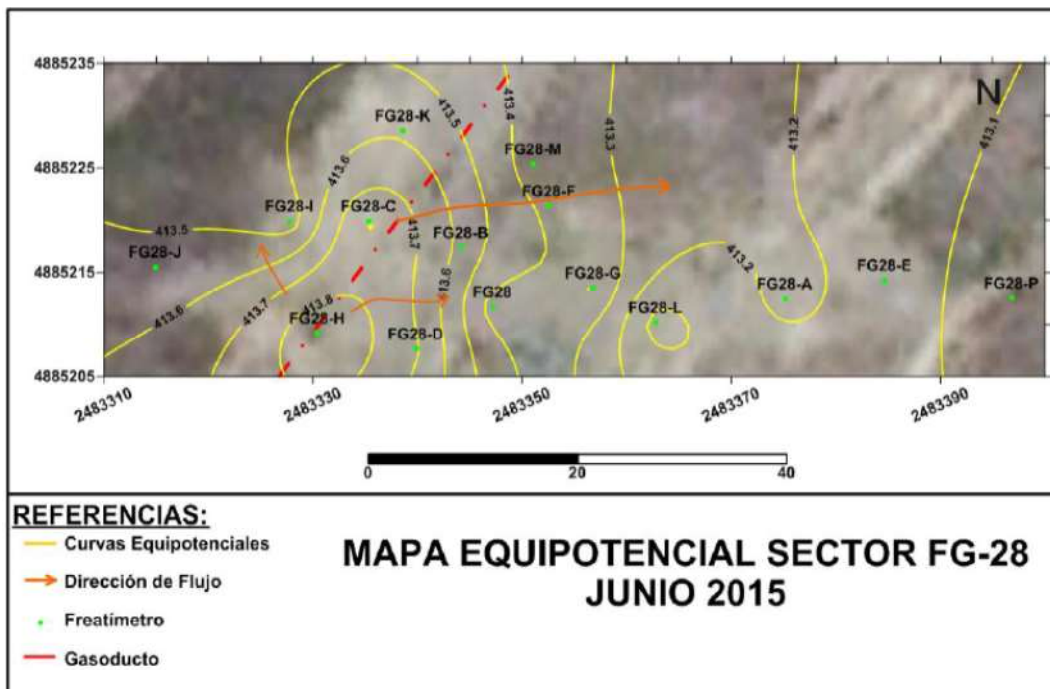


Fig.30.Mapa Equipotencial sector Fg-28 Junio 2015 ( Ultimo Informe trimestral Oilms).

## 14 CONCLUSIONES

Las caracterizaciones ambientales fueron de utilidad para diagnosticar la situación ambiental y dimensionar la zona afectada , que posteriormente permitieron la toma de decisiones, como proponer alternativas de remediación y monitoreos con cierta periodicidad.

Los métodos directos (perforaciones y muestreos de suelo-agua-FLNA), fueron claves para comprender el Modelo Conceptual del sitio e identificar la fuente.

La respuesta natural del medio, se ajustó y respondió a la curva teorica esperada (asintótica), pesar de las fluctuaciones de niveles.

Como se describe en el capitulo de la remediación,evaluando si la misma fue efectiva, se observa que en situaciones como la presentada en esta tesis, no existe una remediación 100% , por lo tanto la remediación fue efectiva parcialmente.

Por último, es necesario resaltar que siempre es muy importante para cualquier caso de incidentes ambientales como en este caso, seguir la secuencia lógica de los pasos metodológicos, es decir realizar el correspondiente diagnóstico ambiental (Caracterizaciones Ambientales), para posteriormente proceder como corresponda (Remediasiones y monitoreos con frecuencia establecida).

## **15 AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer especialmente a la Empresa YPF S.A por haber permitido utilizar toda la información disponible para la elaboración de esta tesis, y a los Licenciados Sebastián Martino y Leonardo Pierrard (Gerencia Situaciones Ambientales-Geologia Ambiental CMASS de YPF S.A), por sus aportes, apoyo y críticas constructivas.

Asimismo a mi Director de tesis, Dr Mario Grizinik por su paciencia, todo su apoyo y ayuda para realizar y mejorar esta tesis.

También a a los integrantes del jurado, Dr Juan José Serra; Dr Claudio Lexow y Dr Oscar Martinez por las observaciones y crítica constructiva para mejorar la presente de la tesina.

## **16 BIBLIOGRAFIA**

- AUGE, M., 2003. Provincias Hidrogeológicas Argentina.

-BEROS, C., CÉSARI, O. & SIMEONI, A. 1988. Geología y geomorfología del noreste de Santa Cruz. Universidad Nacional de la Patagonia, Comodoro Rivadavia, (inédito).

- Castrillo, E., Amoroso, A. y Grizinik, M., 1984. Contribución al conocimiento geohidrológico de los alrededores de Comodoro Rivadavia, Chubut. IX Congreso Geológico Argentino, Actas 6: 393 - 406. Buenos Aires.

-Feruglio, E. 1949. Descripción geológica de la Patagonia. YPF Tomo II: 1-349

- Google Earth, 2015.

- Charbeneau, R. J., LNAPL Distribution and Recovery Model (LDRM), Volume I: Distribution and Recovery of Petroleum Hydrocarbon Liquids in Porous Media, API Publication 4760, January 2007.

-informes internos varios de YPF S.A (autorizado).

-Informes mensuales y trimestrales de la Empresa contratista Oil m&s encargada de las tareas de remediación, monitoreo, desarrollo (purga) y muestreos.

- JMB-ingeniería ambiental.(setiembre 2012).Servicio caracterización ambiental de situación en el gasoducto Los Perales-Loma del Cuy.

-Lundegard, P.D. and B.S. Mudford. 1998. LNAPL volume calculation: Parameter estimation by nonlinear regression of saturation profiles, Ground Water and Remediation, 18(3): 88-93.

-Malinow e Hidroar S.A Servicios Hidrogeológicos Ambientales.2002, Estudio de Análisis de Riesgo del predio de emplazamiento de la purga "FG-28", bajo los lineamientos generales de la norma ASTM E-1739/95 "Risk-Based Corrective Acción (RBCA)".

-Malinow, Análisis y evaluación de la situación ambiental al 2009.

-Propuestas acciones pasivas FG28. Gerencia situaciones ambientales YPF S.A (Lic Sebastián Martino y Leonardo Pierrard. autorizado)

- Sale, T., Methods for Determining Inputs to Environmental Petroleum Hydrocarbon Mobility and Recovery Models, American Petroleum Institute Publication No. 4711, 2001.

-Sciutto, J., Césari, O. y Iantanos, N. 2001. Hoja geológica 4566-IV Escalante, Escala 1:250000. Secretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional del Servicio Geológico, (inédito) 50p., Buenos Aires

-Sciutto, J.C. 1981. Geología del codo del río Senguerr, Chubut, Argentina. 8° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 203-219, San Luis.

- Thornthwaite C.W. and Mather J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publications in Climatology

## ANEXOS

RESULTADOS:

Parámetros	Unidad	(MUESTRA)
Caracteriz. por N° de átomo de C	---	---
> nC6 a nC7	Area %	27.5
> nC7 a nC8	Area %	20.3
> nC8 a nC9	Area %	22.8
> nC9 a nC10	Area %	16.1
> nC10 a nC11	Area %	8.30
> nC11 a nC12	Area %	3.37
> nC12 a nC13	Area %	1.31
> nC13 a nC14	Area %	0.29
> nC14 a nC15	Area %	0.05
> nC15 a nC16	Area %	0.02
> nC16 a nC17	Area %	< 0.01
> nC17 a nC18	Area %	0.01
> nC18 a nC19	Area %	< 0.01
> nC19 a nC20	Area %	< 0.01
> nC20 a nC21	Area %	< 0.01
> nC21 a nC22	Area %	< 0.01
> nC22 a nC23	Area %	< 0.01
> nC23 a nC24	Area %	< 0.01
> nC24 a nC25	Area %	< 0.01
> nC25 a nC26	Area %	0.01
> nC26 a nC27	Area %	0.01
> nC27 a nC28	Area %	0.01
> nC28 a nC29	Area %	0.01
> nC29 a nC30	Area %	0.01
> nC30 a nC31	Area %	0.01
> nC31 a nC32	Area %	0.01
> nC32 a nC33	Area %	0.01
> nC33 a nC34	Area %	0.02
Densidad a 20°C	g/cm <sup>3</sup>	0.7755
Viscosidad a 25°C	cSt	8.6
Benceno	mg/kg	93.1
Tolueno	mg/kg	638
Etilbenceno	mg/kg	1993
m.p-Xileno	mg/kg	5440
o-Xileno	mg/kg	2655
Relación n-C17/pristano	---	?
Relación n-C18/ fitano	---	?

(\*) No se determina el coeficiente de degradación n-C17/Pristano y n- C18/fitano porque las concentraciones de ambos no resultan significativas.

Se adjunta Cromatograma

Página 2 de 2

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a las muestras analizadas y no pueden ser reproducidos sin la aprobación escrita del laboratorio. Las muestras serán mantenidas en el laboratorio por el periodo de 14 días hábiles, pasado este lapso se procederá a su destrucción.

FC-5.10-Q1-01

REV



Fecha de vigencia: 06/07/05

Tabla 13. Protocolo de análisis

PROTOCOLO:141995.gcd

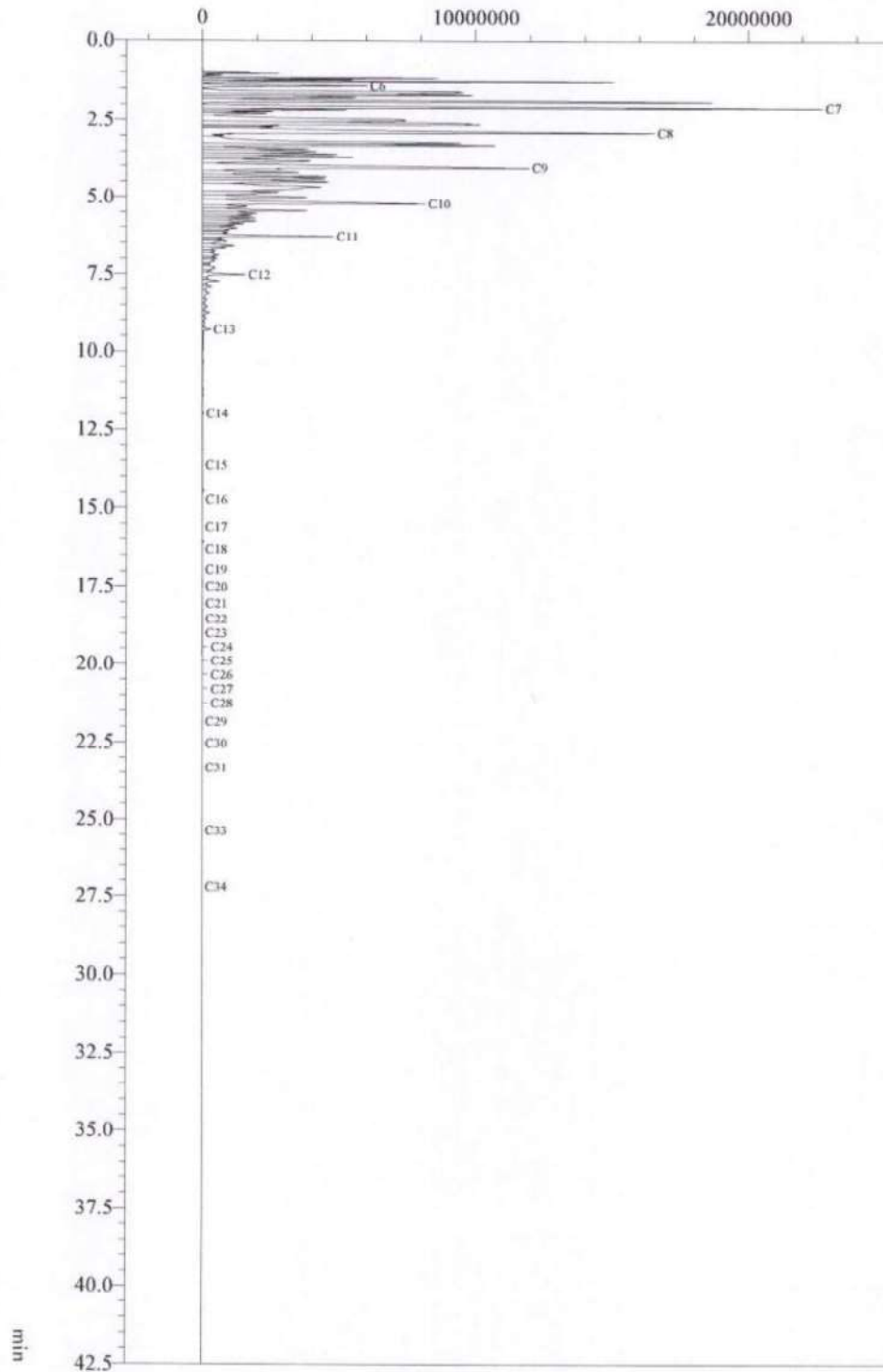


Fig.31.Cromatograma de la caracterización de FLNA.