

ANALISIS DE RIESGO HIDRICO, Y PLAN DE PREVENCION

Yacimientos El Portón – Chihuido de la Salina

R. Pombo*, V. Ferrante*, J. Maza*, O. Console**. TRABAJO 14-TOMO 1

**Astra C.A.P.S.A. El Portón-Buta Ranquil

*Geólogos Asociados S.A. (GEA)

Resumen

El área de desarrollo de los yacimientos, se ubica en una zona ambientalmente sensible, surcada por uno de los principales ríos del país enclavada en una geografía con importantes fenómenos aluvionales. En virtud de lo anterior se procedió a realizar, un análisis de riesgo hídrico y el diseño de un modelo de prevención.

El trabajo consistió en un Estudio de Comportamiento Hídrico tradicional, de las cuencas imbríferas que alimentan los cauces secos aluvionales, y evaluación de los parámetros que regulan las crecidas de agua durante fenómenos torrenciales, obtenidos a través del modelo matemático ARHYMO, para distintos TR (Tiempos de Recurrencia). Los resultados obtenidos permitieron diseñar las obras de protección de instalaciones, que evitarán o minimizarán eventuales daños ante estos eventos.

Con los datos obtenidos, se efectuó además una simulación matemática basada en algoritmos usuales, determinando velocidades de avance y tiempos de arribo al Río Colorado de un eventual derrame de hidrocarburo, sin participación de fenómenos aluvionales. A partir de estos antecedentes, se confeccionó un plano de Isocronas de Escurrimiento para un volumen máximo operado en los yacimientos, permitiendo implementar un plan de medidas preventivas que incluye: válvulas de corte automático en ductos y pozos, endicamientos en cauces, etc., y un adecuado plan de contingencias.

Introducción

En virtud de la sensibilidad ambiental del área que como se mencionara precedentemente, está enclavada en una geografía compleja con importantes fenómenos aluvionales y surcada por el Río Colorado, ASTRA C.A.P.S.A., encomendó a Geólogos Asociados S.A. (GEA) realizar, en una primera etapa, un Estudio de Contingencias Meteorológicas.

Este tipo de estudio fue orientado a proteger las instalaciones petroleras de fenómenos aluvionales y la implementación de una metodología para la determinación de tiempos de escurrimientos de crudo (Isocronas de Escurrimiento), en eventuales accidentes no vinculados a fenómenos aluvionales.

Por último, el objetivo fundamental del trabajo fue proveer a Astra C.A.P.S.A. una

herramienta efectiva de gestión, prevención y pronóstico de eventuales derrames potencialmente contaminantes del recurso hídrico.

Ubicación geográfica del área

Los yacimientos se ubican en el límite de las provincias de Neuquén y Mendoza, siendo la localidad de Buta Ranquil (Prov. del Neuquén) el conjunto urbano más próximo, distante aproximadamente a 40 Km. al oeste de las oficinas de la Empresa Astra.

El acceso principal es la Ruta Provincial N° 6, que une las localidades de Buta Ranquil y Rincón de los Sauces. También puede accederse en territorio Mendocino por la Ruta Nacional N° 40, desde el paraje conocido como Puente el Zampal, a través de un desvío conocido como Río Seco Cinta Roja y luego por un camino que se dispone al este de las Sierras de Cara Cura y Reyes, que finaliza en el Puenteducto El Portón.

Características Fisiográficas

La complejidad de formas de la región constituye la respuesta a la intensa actividad tectónica que afectó a la comarca.

Las consecuencias de las distintas fases de plegamientos son la formación de amplios anticlinales y sinclinales elongados en el sentido norte sur, afectados por fallas de distintos tipos. Estas estructuras se reflejan en superficie a modo de una serie de formas topográficas, positivas y negativas, identificadas en la zona por sierras y depresiones rellenadas por sedimentos modernos.

El relieve general es juvenil avanzado, con un diseño de avenamiento dendrítico, formado por cauces de escurrimiento incipiente e intermitentes; consecuentes, subsecuentes y resecuentes, delineados bajo el control de afloramientos basálticos y donde el proceso de degradación es lento y uniforme, en concordancia con la aridez de la región.

Los agentes erosivos predominantes son: el agua, en forma de escurrimiento superficial y el viento. Dentro del primero, el de mayor relevancia es, sin duda, el Río Colorado, de origen alóctono, que actúa como un nivel de base cambiante periódicamente, en lapsos estacionales y seculares, generando formas agradacionales aterrazadas, de gran importancia hidrogeológica.

Acompañan a éste, otros arroyos alóctonos: como el Pichichacaico, que desemboca en Vega Escalona, en ambiente del Yeso Principal, perdiéndose en distributarios. En la misma vega nace el Pequenco, que se encajona, profundamente, en el ambiente del Sinclinal del Pequenco al oeste del yacimiento en el sector Neuquino.

El A° Chacaico al noreste de C° Bayo y el A° Huantraico, que nace de las vertientes de agua infiltrada en rocas efusivas, por los que escurre agua en forma semi permanente, dependientes de la humedad que condensa el Tromen y de la fusión nival, completan la red de cursos importantes, en el área cercana al yacimiento.

Es posible observar fenómenos "kársticos", muy localizados, que modifican la típica morfología de plegamiento, con derrumbamientos y deslizamientos asociados, en el faldeo oriental del Sinclinal del Pequenco, coincidentes con afloramiento de unidades evaporíticas (yesíferas).

Los niveles agradacionales aterrazados, observados en la margen derecha del Río Colorado, permiten suponer que han sido depositados, en distintos períodos húmedos, donde la descarga de sedimentos, transportados por el río, se vio favorecida por el "efecto de embudo", provocado por el estrechamiento en los "rincones", tal como se observa en Rincón de Manki, donde el relieve aterrazado, se encuentra aguas arriba de los afloramientos basálticos del Filo Morado, en margen izquierda y los basaltos de Barda de los Alamos, en margen derecha.

Otro aspecto geomorfológico de la zona, es la presencia de crestas, filos, cuestas, mesetas aisladas y cerros puntiagudos, llamados chihuidos, los que han sido generados por efecto de la erosión diferencial en la alternancia de tobas y mantos efusivos y otros vinculados a fenómenos intrusivos del Terciario Superior y Cuartario Inferior.

De todas estas características, las de mayor interés hidrogeológico, son los relieves aterrazados de las márgenes del Río Colorado, en cuyos sedimentos se almacenan las únicas aguas subterráneas de importancia local de la zona, lugar sin duda de extremo cuidado ante eventuales pérdidas de los ductos que atraviesan la zona.

A partir de los mismos y del levantamiento geológico, efectuado oportunamente, se diferenciaron las formas más importantes, las cuales fueron controladas en un posterior ajuste de campo.

Áreas Afloradas

Con el objeto de categorizar las geoformas en función de la litología, se separaron las unidades de acuerdo a su génesis.

Unidades de origen Marino

En el sector que nos ocupa son muy escasos los afloramientos vinculados a este tipo de depósitos, solo al oeste del Yacimiento El Portón se reconoce una extensa faja de las unidades marinas mas modernas vinculadas a la última ingresión del pacífico. El otro afloramiento destacado de este tipo de sedimentos se lo localiza, en la estructura positiva vinculada al Chihuido de la Salina.

Unidades Continentales

Representan el área aflorada del Gr. Neuquén, incluyendo aquella cubierta por los delgados depósitos asociados a la superficie de pedimento. Posee importancia como área de recarga de posibles acuíferos regionales, al este de la zona que nos ocupa.

Basaltos

Se reconocen, en el área, al oeste de la misma, este nivel basáltico presenta un suave alabeo, acompañando la estructura general, producto de la tectónica terciaria. Sobre el mismo, y con orientaciones Norte Sur debido a la tendencia general de la estructuración, se han conformado pequeños bajos, donde se acumula el agua de lluvia y a su vez condiciona la geometría de los cauces vinculados con este tipo de depósitos.

Áreas de Depositación

Pedimento

Este término es una definición aceptada para la superficie rocosa que bordea las elevaciones abruptas en desiertos o semidesiertos como el analizado. En el Área central del yacimiento es constatable la presencia de afloramientos y principalmente de subafloramientos, de areniscas pertenecientes al Gr. Neuquén y areniscas y bancos de yesos del Gr. Rayoso.

Esta superficie de suave relieve, se encuentra cubierta con un manto de derrubio y sedimentos aluviales que, en general, se estima no supera potencias de 3 a 15 metros.

En el yacimiento El Portón, esta superficie, y por lo tanto sus sedimentos asociados, se desarrollan en la porción central del mismo concordante con la zona de mayor desarrollo de la explotación. Se encuentra limitado al Este por los abruptos afloramientos de las vulcanitas Filo Morado y hacia el oeste por los afloramientos calcáreos y arenosos de la Fm. Huitrín, ya fuera, en general, de los límites del yacimiento.

En estas posiciones, más occidentales, se constataron espesores cercanos a los 50 metros de sedimentos modernos aluviales, compuestos principalmente por conglomerados de yeso y caliza con matriz areno-arcillosa. Esto se debe, sin duda, a la coalescencia con la superficie de pedimento de sedimentos aluviales provenientes de los cursos del oeste (A° Pequenco).

En el sector vinculado a los Yacimientos de Chihuido de la Salina, se dispone un importante y potente espesor de pedimentos, asociados a los depósitos de bajada aluvial provenientes del Sinclinal de Pampa del Carrizo, que se resuelve al norte del área a modo de cerrilladas disectadas por innumerables arroyos efímeros conformando

una clásico relieve fluvial.

Precisamente en el sector mas elevado, donde se desarrolla gran parte del Yacimiento Chihuido de la Salina Norte, fue necesario realizar un importante número de obras de defensa aluvional de los ductos que atraviesan los cauces principales.

Terrazas del Río Colorado

Se han diferenciado e indicado dos niveles aterrizados, asociados al curso del Río Colorado interpretándose a la Terraza II como producto de crecidas excepcionales, en este caso muy probablemente la crecida de 1914.

Este caudal, siempre basado en el modelo efectuado, avanzaría a la altura de las instalaciones del campamento actual hasta la cota de 783/784 msnm., dato este que coincide, prácticamente, con la traza de la Terraza II, aseverando la presunción expuesta.

Conos aluviales actuales

Sobre los niveles correspondientes a la Terraza II, se distinguieron tres construcciones aluviales modernas, vinculadas con los cauces temporarios de Bajo de los Lobos, A° Chihuido de la Salina y A° Sierra de Reyes sobre la margen izquierda del Río Colorado y una sobre la margen derecha, correspondiente al A° Huantraico.

Se han interpretado como depósitos, predominantemente finos, producto de la acumulación del material transportado por estos cursos efimeros que, al llegar a los niveles aterrizados permeables, infiltra rápidamente el agua dejando el material transportado, antes de llegar al Río Colorado.

Curso Actual del Río Colorado

Implantado en la zona central de sus niveles aterrizados.

Suelos

Los suelos de la zona son muy pobres en materia orgánica, con muy escaso o nulo desarrollo de horizontes pedogenéticos. Son suelos muy recientes, en los cuales el escaso tiempo transcurrido desde la acumulación de los materiales es escaso. Son suelos de clima árido con largos periodos con déficit hídrico. Las unidades cartografiadas son las siguientes:

• Suelos arenosos con clastos de vulcanitas

Suelos arenosos a franco arenosos, que apoyan directamente sobre roca, presentan abundantes gravas y clastos gruesos de vulcanitas en superficie. Son suelos muy

permeables, poco profundos (hasta 0,50 m). se ubican en la zona de coladas lávicas.

- *Suelos arenosos de cerrilladas*

Ocupan la zona de cerrilladas donde aflora el Gr. Neuquén. Suelo arenoso a franco arenoso de 0,50 m de profundidad con cubierta de gravillas. Ocupa laderas de 30-40% de pendiente.

- *Suelos franco-arenosos, salinos*

Estos suelos de textura franco arenosa, se extienden en el área de afloramiento de la Formación Rayoso Evaporítico que se caracteriza por presentar sales de cloruro de sodio y yeso. Son suelos poco profundos, con costras de sales en algunos sitios.

- *Suelos arenosos sobre areniscas*

Suelos arenosos, permeables, originados por la meteorización de areniscas de la Fm. Rayoso (Mbs. Clástico y Evaporítico). Los piedemontes asociados a estos afloramientos presentan acumulaciones de arena de 0,40 m. de altura, como resultado de procesos eólicos de cierta intensidad. Las pendientes son variables, desde 40% hasta 3 a 5%, según sea afloramiento o piedemonte.

- *Suelos profundos de piedemonte*

Suelos de textura franco arenosa a arenosa, con clastos en superficie. Las pendientes son bajas (2-7%). La profundidad es superior a 0,50 (hasta 1 m. y más según el lugar). Suelos bastante permeables que muestran evidencias de erosión hídrica (canalículos y pequeños surcos). También hay indicadores de erosión eólica como nebkhas y pavimento de clastos.

- *Sedimentos aluviales actuales*

Sedimentos de la llanura aluvial de granulometría variada pero con predominio de arenas, gravas y cantos rodados. Se caracterizan por una alta disponibilidad hídrica y aluviones frecuentes.

- *Suelos arenosos con cantos rodados*

Suelos de textura arenosa fina a franco-arenosa, con abundantes cantos redondeados a subredondeados de las terrazas aluviales. Presencia de carbonatos en el perfil. La profundidad puede alcanzar el metro y los niveles freáticos varían de 1 a 3 m. En superficie hay cantos rodados y acumulaciones de arena de origen eólico.

- *Afloramientos rocosos*

Se trata de afloramientos rocosos sin cubierta, en ellos la instalación de la vegetación está limitada a pequeñas grietas, las cuales no han sido cartografiados por razones de escala.

Flora

Presentación y sectorización del área

En función a un trabajo previo del área, se caracterizaron distintas zonas que involucrada al sector de estudio, donde a partir de las observaciones realizadas en el campo se diferenciaron cuatro sectores, a saber: **Sector A:** Constituye el sector más alto (1050-1250 msm); se trata de serranías suaves y su piedemonte local. El substrato está formado por una capa de caliche cubierta por arenas y clastos basálticos. La vegetación se presenta como una estepa arbustiva de baja cobertura (30%) constituida por los arbustos *Monttea aphylla* (ala de loro), *Larrea divaricata* (jarilla), *Schinus sp.* (molle), *Fabiana s.p.* *Lycium sp.* (llaullín), *Prosopis alpataco* (alpataco), *Bougainvillea spinosa* (monte negro), *Prosopidastrum globosum* (candelero). El estrato herbáceo es muy pobre integrado principalmente por *Stipa sp.* (coirón) cuyas plantas presentan evidencias de pastoreo y *Glandularia cfr. crithmifolia* (té de burro). En este sector se desarrolla el tendido del ducto que va desde la Batería Chihuido de la Salina Norte, hasta la Batería Chihuido de La Salina.

Sector B: Corresponde a un extenso piedemonte disectado por los arroyos Chihuido de La Salina y Agua de Los Lobos. Los suelos son arenosos cubiertos por clastos basálticos en la parte norte (a: 925 a 1050 msm) y por clastos semirodados en el sur (b: 780 a 925) en coincidencia con la zona de intenso escurrimiento mantiforme en los interfluvios.

En la zona norte (Ba) la estepa arbustiva es muy abierta con una cobertura de 20-30% posibilitando los procesos de deflación y acumulación observados. Los arbustos más abundantes son: *L. divaricata* (jarilla), *Atriplex lampa* (zampa), *M. aphylla* (ala de loro), *B. spinosa* (monte negro), *Schinus sp.* (molle), *Senecio sp.*, *Cercidium praecox* (chañar-brea) alcanzando alturas de 1 a 2 m según la especie. Entre los arbustos de menor talla se encuentran *Gutierrezia spathulata* y *Fabiana s.p.* El estrato herbáceo está constituido principalmente por *Hyalis argentea* var. *argentea* (olivillo) y el coirón *Stipa aff. speciosa*.

Zona sur (Bb): Área de intenso escurrimiento mantiforme y baja cobertura (30-35%). Las especies más destacadas de esta estepa son: *M. aphylla* (ala de loro), *L. divaricata* (jarilla), *C. praecox* (chañar-brea), *Lycium tenuispinosum* (llaullín), *A. lampa* (zampa), *Schinus sp.* (molle), *P. alpataco* (alpataco), *P. globosum* (candelero), entre los arbustos de mayor tamaño (1 a 2m). El estrato inferior esta constituido por *H. argentea* var. *argentea*, *G. spathulata*, *Fabiana s.p.* y el coirón *Stipa aff. speciosa*.

En los ambientes anteriormente descriptos, se dispone la mayor parte del trazado del ducto que conectan las Baterías con la Planta de Tratamiento.

Sector C: Constituido por las terrazas del río Colorado con freática próxima a la superficie y suelos diferencialmente salinizados. La elevada disponibilidad de agua queda reflejada en la cobertura total (70 a 100%) y el buen tamaño alcanzado por los arbustos (2 a 3 m). Entre ellos se destacan *Larrea nitida* (jarilla), *Prosopis alpataco* (alpataco), *L. divaricata* (jarilla), *Psila spartioides* (pichana), *Baccharis salicifolia* (chilca).

Sector D: Se trata del piedemonte al sur del río Colorado cuya altimetría varía de 800 a 840 msnm. Los suelos son arenosos a franco arenosos y presentan una estepa arbustiva abierta de 30-40% de cobertura. Los arbustos más frecuentes son: *M. aphylla* (ala de loro), *L. divaricata* (jarilla), *A. Lampa* (zampa), *Cassia aphylla* (monte de la perdiz), *B. spinosa* (monte negro), *Chuquiraga rosulata* (monte chirriador), *L. cuneifolia* (jarilla), *Fabiana s.p.*; el pasto más abundante es *Stipa aff. speciosa* (coirón). En sitios próximos a las areniscas se encuentra: *Neosparton aphyllum* (retamilla), *Cassia aphylla* (monte de la perdiz), *Fabiana peckii*, *Acantholippia seriphioides* (tomillo) y *Hyalis argentea* var. *argentea* (olivillo).

Estos dos últimos sectores están vinculados a la zona mas desarrollada petroleramente del área y representan sin duda la zona mas sensible desde el punto de vista ambiental.

Hidrología

Grandes Cuencas de Régimen Permanente que conforman el Río Colorado.

Río Barrancas

Este río, que sirve de límite entre las provincias de Mendoza y Neuquén, cuenta con una cuenca de 2.900 km² y tiene sus nacientes, en las pequeñas lagunas cordilleranas, La Negra y La Fea y en los torrentosos arroyos Tierra y Curumillo.

Aguas abajo de las confluencias con los arroyos Domuyo y Coyocho, atraviesa la Laguna Cari-Lauquen (o Cari-Lafquen).

Esta laguna, que en el pasado, era mucho más extensa que ahora debido al endicamiento por derrumbe de ladera producido desde la margen izquierda; se vació, bruscamente, el día 29/12/1914. Su nivel descendió, repentinamente 80 mts., erogando 2.000 hm³. en 24 horas, con velocidades del orden de 4 a 6 m/seg. (G. Vitali; HARZA). En base a la suposición de un hidrograma triangular, se puede deducir, como mínimo, un caudal pico de 46.000 m³/seg. Tal crecida produjo efectos devastadores aún en las cercanías de la desembocadura del Río Colorado, en el Océano Atlántico, en el sur de la Pcia. de Buenos Aires.

El análisis estadístico de 27 valores de caudales máximos medios diarios, aforados en

la Estación Barrancas entre 1960/71 y 1976/80, por AyEE, y 1981/92 por COIRCO, permitió determinar, en base al ajuste a una distribución log-normal:

TR (años)	Q (m ³ /seg)
100	230
500	290
1000	315

que como se puede apreciar, no incluye, ni remotamente, los valores de las crecidas de 1914 y 1956-57, en esta serie de crecidas pluvionivales.

Río Grande

Este río, que aporta casi el 80 % del caudal del Río Colorado, tiene una cuenca de más de 7.600 km², desarrollada totalmente en territorio mendocino y que se inicia con sus tributarios: Cobre y Tordillo, en el oeste, para finalizar en la confluencia con el Río Barrancas formando el Río Colorado.

El análisis estadístico de los caudales máximos medios diarios, aforados en la estación La Gotera, cercana a Bardas Blancas, en base a una serie de 19 años (1973/80 registrada por AyEE y 1981/92 por COIRCO), permitió inferir, a través de un ajuste a la distribución lognormal, la existencia de dos tendencias bien diferenciadas y cuyo quiebre se produce aproximadamente, para una probabilidad de 50 %.

Por lo tanto se puede concluir que la serie analizada proviene de una población mezcla, con eventos originados por diferentes causas (fusión nival y pluvionival) y que la probabilidad de ocurrencia de estos eventos (US.Corps of Engineers H.E.C.), se determina considerando que la probabilidad resultante (Pc), es una combinada de las probabilidades de ocurrencia de fusión nival (P1) y de lluvia (P2):

$$P_c = P_1 + P_2 - P_1 P_2.$$

En este caso se conoce Pc y P1, luego se puede deducir la probabilidad de ocurrencia de eventos pluviales. El ajuste con distribución log-normal, permitió determinar los siguientes valores:

TR (años)	Q (m ³ /seg)
100	1110
500	1300
1000	1370

Río Colorado

El Río Colorado, después de su formación, por la confluencia de los Ríos Barrancas y Grande, se comporta prácticamente, como un curso alóctono, dado que no recibe sino algunos afluentes temporarios. Su módulo, en Buta Ranquil, es de 148 m³/seg. para una cuenca de 15.300 km².

En base a 52 años de registro en Buta Ranquil (1940 a 1980 por AyEE y 1982 a 1992 por COIRCO), se realizó el análisis estadístico de los caudales máximos medios diarios. El ajuste a la distribución log-normal permitió determinar los siguientes valores:

TR (años)	Q (m ³ /seg)
100	1200
500	1600
1000	1750

El caudal de 1750 m³/seg., correspondiente a TR= 1000 años, tiene un riesgo de 2 % de que se produzca en los próximos 20 años y el caudal de 1600 m³/seg. (TR= 500 años), tiene un riesgo de 4 % para igual período. El máximo caudal medio diario histórico (1.011 m³/seg., en 1982), tiene un riesgo de 32 % de que se vuelva producir en los próximos 20 años.

Determinación de Zonas Inundables, a la Vera del Río Colorado en el Area del Portón

En base a la topografía, en escala 1:20.000 (equidistancia = 10 m), utilizada para este y otros estudios, se determinaron tres perfiles transversales al Río Colorado, distanciados entre sí 530 m, asumiéndose un cauce rectangular de 2 m. de profundidad. La pendiente media de 0,0058 fue calculada con el supuesto de cota 850 m. para la localidad de Buta Ranquil, situada a 12 km., aguas arriba, de los perfiles transversales. La rugosidad (o coeficiente de Manning) de 0,032 para el cauce, y 0,036 para la planicie inundable, se determinó en base a la similitud de aspecto con el Salt River, Arizona, Estados Unidos. (US. Geological Service, 1977).

Con los datos así obtenidos, se corrió el modelo HYMO (modificado), para obtener una relación altura-caudal en régimen uniforme. Se pudo determinar que el cauce así planteado, tiene una capacidad de entre 2.000 y 5.800 m³/seg. y que la crecida del 29 de Diciembre de 1914, con la estimación mínima de 46.000 m³/seg., alcanzaría cotas entre 783 y 785 m.

Cauces que afectan el área de los Yacimientos El Portón, Chihuido de la Salina y Chihuido de la Salina Norte y Sur

- Cuencas ubicadas en la Pcia. del Neuquén: Río Seco Huantraico y Arroyo Pequenco.
- Cuencas ubicadas en la Pcia. de Mendoza: Agua de Reyes, Chihuido de la Salina y Bajo de los Lobos.

Mediante un modelado matemático del fenómeno lluvia-caudal con el mencionado modelo, se evaluaron las cuencas descriptas precedentemente, para eventos de lluvia con

distintos TR,. Los caudales obtenidos permitieron efectuar un exhaustivo análisis de riesgo y programar un importante número de obras de protección de riesgo hídrico.

El análisis de riesgo al ser de carácter regional permite diseñar para cada trazado de ducto, ya sea este troncal o de conexión, la obra de protección correspondiente del mismo modo que para las demás instalaciones.

Metodología

El trabajo fue iniciado con la restitución fotogramétrica, en escala 1:50.000, del total del área que involucran las cuencas de recepción de escurrimiento superficial, en la que se encuentran además las asociadas al Yacimiento El Portón, del lado Neuquino.

Los arroyos inscriptos en el área de estudio serán considerados en adelante como cauces aluvionales, los más destacados son: En el sector mendocino, Agua de Reyes, Chihuido de las Salinas Bajo de los Lobos, este último llamado también Rincón de Correa y el Arroyo Huantraico y Pequenco por el lado Neuquino.

A partir de la interpretación de las fotografías aéreas, se graficó la densa red de drenaje de las cuencas involucradas, para ello se utilizó un Estereoscopio de espejos Topcon 20x.

Se graficó sobre esta base las trazas de las curvas de nivel, obtenidas con barra de paralaje, determinando cotas y apoyándose esta tarea en el levantamiento topográfico a escala 1:25.000 proporcionada por Astra C.A.P.S.A. para el área del Yac. El Portón.

Para los necesarios ajustes finales de cotas y curvas topográficas obtenidas se utilizaron las hojas confluencia del Río Colorado y Barrancas y la Hoja Buta Ranquil, de escala 1:200.000 del Servicio Geológico Minero Nacional.

Por otra parte se agregaron o fueron utilizadas de apoyo las curvas topográficas obtenidas de un modelado matemático del terreno, a partir de las cotas y coordenadas de una muy densa red de datos, de la topografía de los programas sísmicos efectuados en el área. A partir de este conjunto de datos, se obtuvieron los mapas Topográficos y de Red de Drenaje.

Se contó también con planos de las instalaciones petroleras, que luego de ser digitalizados se obtuvo el primer producto: Plano Base Altimétrico de los Yacimientos El Portón y Chihuido de la Salina, con curvas principales de nivel de equidistancia de 50 metros y curvas auxiliares de equidistancia 25 metros en escala 1:50.000. y la Red de Drenaje de las cuencas involucradas.

Obtenida la Base Planialtimétrica, se agregaron las interpretaciones topográficas de modelos digitales de terreno.

En el mapa base se delimitaron los límites de cuencas de los arroyos antes mencionados, el área de cada una de ellas, la pendiente de los cauces principales y la longitud de los mismos.

Estos datos son la información necesaria de ingreso al modelo de simulación matemática HYMO (modificado) y el correspondiente a la determinación de Isocronas de Derrames de Hidrocarburos.

Cálculos o modelados matemáticos:

Modelado HYMO

Con el objetivo de correr el modelo HYMO (modificado) para obtener los escurrimientos aluvionales se obtuvieron los siguientes parámetros morfométricos de la medición de cuencas y corrida del modelo digital de terreno WODITEM:

	A	HT	L
CUENCAS	(Km ² .)	(m.)	(Km.)
Agua de Reyes	82,40	900	68,26
Chihuido de la Salina	91,53	700	36,59
Agua B.de los Lobos	50,37	700	22,56

Donde:

A: área de la cuenca. HT: diferencia de altura máxima en la cuenca. L: longitud del cauce principal.

Determinación del Coeficiente de Escurrimiento

Para la determinación de los coeficientes de escurrimiento de las cuencas, se ha utilizado la metodología del Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU., ampliamente difundida y aplicada a nivel internacional y también local.

Esta se basa en analizar los tres factores fundamentales que inciden en la capacidad de retención o de escurrimiento de una cuenca:

1. Características del suelo
2. Características de la cobertura vegetal
3. Condición de humedad del suelo

La combinación de las determinaciones de estos tres factores origina el llamado "CN" o número de curva, que es el coeficiente de escurrimiento; el cuál puede tomar valores de 1 a 100 (100 = máximo potencial de escurrimiento: todo lo que precipita escurre).

Este parámetro es compatible con la mayoría de los modelos hidrológicos determinísticos, de eventos aislados o continuos, que lo convierte en una excelente herramienta para la modelación hidrológica. Además, ha sido usado en numerosos estudios en la zona andina y calibrado en varias cuencas, previa adaptación a las

características de la geomorfología y la vegetación locales ya que originalmente fue desarrollado para zonas rurales y suburbanas.

Su principal ventaja la constituye la simplicidad de las estimaciones y la posibilidad de síntesis que brinda. En efecto, clasifica los suelos en sólo cuatro grupos A, B, C y D, en orden creciente de potencial de escurrimiento. La cobertura se analiza en función del tipo (arbórea, arbustiva, herbácea, mantillo, etc.) y el grado que alcanza.

Luego se determinan los complejos suelo-cobertura por combinación de los grupos hidrológicos de suelo con la cobertura vegetal y finalmente se determina la "Condición de Humedad Antecedente" (CHA), entre tres niveles posibles que van de I (suelo seco) al III (suelo saturado).

Otro parámetro que se tiene en cuenta, es la abstracción inicial (Ia), que contempla las pérdidas por intercepción, y que se calcula en base a la siguiente expresión de origen empírico:

$$Ia(mm) = \left[\frac{25400}{CN} - 254 \right] 0.55$$

Determinación del valor de CN

A partir de inspección "in situ", de fotografías aéreas e imágenes satelitales, se determinó que la cobertura arbustiva, es aproximadamente, de 35%. La verificación "in situ" y los análisis en laboratorio de la textura del suelo, permitieron determinar que se trata de suelos de gran capacidad de infiltración (grupo B). Con estos datos se pudo entrar en los gráficos y tablas del US Soil Conservation Service, determinando así un valor de CN= 75, en CHA II.

El valor de CN hallado, se ha incrementado de acuerdo a la CHA III (CN= 91), para poder determinar la influencia de la variabilidad de este parámetro, en el escurrimiento producido por la tormenta elegida, para la simulación matemática.

Tormenta de Proyecto

Características de las Precipitaciones en la zona

A la zona de estudio le corresponden las características de un clima semiárido de montaña, con una precipitación anual media de 253 mm. según el récord de 58 años (1904-61) de pluviometría de la Estación Chos Malal, ubicada a 848 msnm.

Es de hacer notar que las variables máximas registradas en el período antes señalado, son un récord de precipitación anual, máxima, de 632 mm. y una mínima de 88 mm.; y se pudo detectar que las máximas precipitaciones se producen entre Mayo y Agosto, en concordancia con el régimen patagónico.

Determinación de la Tormenta de Proyecto

La ausencia de datos pluviográficos en la zona, ha obligado a realizar análisis pluviométricos, contándose para ello con solamente 8 años de registro (1983-90) de la Estación Buta Ranquil, operada por A.y E.E. En tal lapso se detectaron 118 días de precipitación y de ellos las precipitaciones diarias máximas, de cada año que, ordenadas en forma decreciente se presentan en la siguiente tabla:

Año	m	Precipitación Diaría Max. Anual (mm)	P
1983	1	77.3	0.11
1990	2	50.5	0.22
1988	3	50.0	0.33
1987	4	41.0	0.44
1984	5	38.5	0.56
1986	6	38.0	0.67
1989	7	31.5	0.78
1985	8	27.5	0.89

Donde: $P = m/(N+1)$, es la probabilidad de ocurrencia según Weibull. $N = 8$ Si bien la cantidad de datos es escasa, se pudo ajustar una distribución log-normal, obteniéndose los siguientes valores asociados a probabilidad de ocurrencia (P), o lo que es lo mismo a tiempo de recurrencia, ya que $TR = 1/P$.

Estación Buta Ranquil

TR (años)	Precipitación Diaria Máxima Anual (mm.)
2	40
5	58
10	72
25	88
50	102

Es de hacer notar, que no se ha querido realizar una mayor extrapolación (Ej. $TR=100$ años), ya que la mencionada escasez de datos, hace que tal determinación pueda adolecer de errores significativos.

Debido a la necesidad de acotar la duración de la tormenta de proyecto, a 6 horas (duración típica de tormentas en la región según INCyTH, 1976), se tuvo que recurrir al siguiente artificio (en base a los datos de: precipitación-duración-frecuencia, de la Estación Neuquén, del S.M.N., que es la más cercana (265 km.), a la zona de estudio, con pluviografía.):

Estación	Duración (horas)	Precipit. TR = 2 (mm)	Precipit. TR = 5 (mm)	Precipit. TR = 10 (mm)	Precipit. TR = 25 (mm)	Precipit. TR = 50 (mm)
Buta Ranquil	24	40	58	72	88	102
Neuquén	24	27	41	51	75	87
Neuquén	6	18	32	42	57	69

Factor (F)	24	1.48	1.41	1.41	1.17	1.17
Buta Ranquil	6	27	45	59	67	81

Donde el Factor (F), para cada TR es igual a:

$$F = \frac{\text{Buta Ranquil (24 hrs)}}{\text{Neuquén (24 hrs)}}$$

Luego:

$$\text{Buta Ranquil (6 hrs)} = F * \text{Neuquén (6 hrs)}$$

También del estudio referenciado (INCyTH, 1976), se pudo extraer la distribución temporal, de la precipitación de 6 hrs., determinada para la zona aluvional de Cutral-Co, en la Provincia del Neuquén.

Tiempo (hs.)	Precipit. (%)
0.5	23
1.0	52
0.5	69
2.0	78
2.5	87
3.0	93
3.5	95
4.0	99
4.5	99.4
5.0	99.7
5.5	99.9
6.0	100

Teniendo en cuenta esta distribución porcentual, se pudo realizar la discretización temporal, para los distintos tiempos de recurrencia

Estación Buta Ranquil

Tormenta de Proyecto discretizada temporalmente para TR = 2, 5, 10, 25 y 50 años

TR	tota	30'	60'	90'	120'	150'	180'	210'	240'	270'	300'	330'	360'
2	40	9,2	20,8	27,6	31,2	31,6	37,2	38,0	39,6	39,8	39,9	40,0	40
5	58	13,3	30,2	40,0	45,2	45,8	53,9	55,1	57,4	57,7	57,8	57,9	58
10	72	16,6	37,4	49,7	56,2	56,9	67,0	68,4	71,3	71,6	71,8	71,9	72
25	88	20,2	45,8	60,7	68,6	69,5	81,8	83,6	87,1	87,5	87,7	87,9	88
50	102	23,5	53,0	70,4	79,6	80,6	94,9	96,9	101,0	101,4	101,7	101,9	102

Por otra parte y también para la mencionada zona aluvional, se determinó, en ese estudio, una ecuación de decaimiento espacial del núcleo de tormenta, la cual fue aquí utilizada para calcular la lámina media de precipitación en cada cuenca:

$$R = 1 - 2.69 \times 10^{-4} A - 2.50 \times 10^{-2} \ln A$$

Donde A = área de cuenca en km².

Luego, para cada cuenca y para los valores de TR correspondientes a 5, 25 y 50 años, se aplicó la distribución temporal porcentual y el respectivo decaimiento espacial,

obteniéndose así, las curvas de masa de lluvia que se utilizaron como "input", del modelo matemático, que se describe a continuación.

Modelo Matemático de Simulación Hidrológica

El modelo HYMO, ha sido utilizado en el país desde 1975 en diversos estudios, y muy especialmente en cuencas aluvionales de la región andina. Es un modelo de tipo determinístico, de parámetros concentrados y de eventos aislados, que utiliza el procedimiento del hidrograma unitario, a través de un hidrograma unitario instantáneo, que permite generar hidrogramas de escurrimiento a partir de lluvias de diversas duraciones.

Análisis de los Resultados Las corridas del modelo HYMO, para las cuencas aluvionales mencionadas y para las distintas precipitaciones, correspondientes a determinadas probabilidades de ocurrencia, permitieron obtener caudales de proyecto, para pequeñas y medianas obras de drenaje, defensa y/o viales según lo mencionan y estipulan los apartados: 3.2; 3.2.2; 3.2.3; 3.2.4; 4.2.2; 4.2.5 y 4.2.6, de la Resolución N° 105/92 de la Secretaría de Energía.

Tabla de los resultados obtenidos por el Modelo HYMO

CUENCA	AREA (Km ²)	TR=5 años		TR=25 años		TR=50 años	
		QP (m ³ /s)	TP (h)	QP (m ³ /s)	TP (h)	QP (m ³ /s)	TP (h)
A° Agua de Reyes	282,40	380,10	6,50	779,90	6,50	980,60	6,50
A° Chihuido de la Salina	91,58	101,90	3,49	205,70	3,11	258,70	3,11
A° Agua de los Lobos	50,37	62,60	3,16	126,50	2,85	158,90	2,85

Siendo: TP= Tiempo al Pico de caudal
QP= Caudal al Pico.

TR= Tiempo de recurrencia

Los resultados de esta tabla constituyen, conjuntamente con el Plano de Contingencia de Derrame de Crudo el segundo resultado final de este informe.

Con la finalidad de lograr una generalización de estos resultados, para toda la zona de exploración y/o explotación petrolera, se realizaron regresiones entre caudales y áreas de cuencas, obteniéndose las siguientes expresiones, con elevados coeficientes de correlación:

CHA	TR(Años)	ECUACIONES de REGRESION	R ²
II	2	$Q(m^3/seg) = 0,233 (\ln A)^{2,374}$	0,9952
III		$Q(m^3/seg) = 0,644 (\ln A)^{2,763}$	0,9926
II	5	$Q(m^3/seg) = 0,652 (\ln A)^{2,711}$	0,9949
III		$Q(m^3/seg) = 1,635 (\ln A)^{2,798}$	0,9866
II	10	$Q(m^3/seg) = 1,104 (\ln A)^{2,780}$	0,9927
III		$Q(m^3/seg) = 2,554 (\ln A)^{2,796}$	0,9847
II	25	$Q(m^3/seg) = 1,427 (\ln A)^{2,790}$	0,9912
III		$Q(m^3/seg) = 3,098 (\ln A)^{2,799}$	0,9846
II	50	$Q(m^3/seg) = 2,058 (\ln A)^{2,799}$	0,9893
III		$Q(m^3/seg) = 4,091 (\ln A)^{2,800}$	0,9842

Es importante recalcar que estas ecuaciones, adolecen de ciertos márgenes de error (entre +22% y -11%), y que el usuario, deberá tener en cuenta de acuerdo a la importancia de la obra a proyectar.

Es también una función de la importancia (costo, bienes a proteger, etc.) de la obra, el TR a seleccionar para su diseño, de manera tal de poder manejar los riesgos involucrados. Así, por ejemplo, se puede decir que en los próximos 20 años, los TR acá utilizados, tienen los siguientes riesgos de que tales eventos sean superados:

TR (años)	RIESGO (%)
2	99,99
5	98,85
10	87,84
25	55,80
50	33,24

Modelo matemático de velocidad de avance de Hidrocarburo

Para el segundo modelo matemático, de determinación de velocidades de escurrimiento de un eventual derrame de petróleo se utilizó el algoritmo tomado de "Open-Channel Flow" (Ven Te Chow, 1959) , asumiéndose como válido la existencia de un derrame que proporcionará en forma continuada en el tiempo un caudal Q de petróleo (reservado de la Empresa Astra C.A.P.S.A.), por descontrol de pozo o rotura de ducto, condición ésta muy poco probable, pero lo suficientemente pesimista como para poner a desarrollar sistemas de control de campo de la contingencia derrame, de un muy amplio margen de seguridad.

Se asumieron también los parámetros físicos del crudo producido por los pozos de los Yacimientos involucrados, con Valores de Viscosidad y Densidad (reservados de la Empresa Astra C.A.P.S.A.)

Los anchos de cauce de los distintos tramos se obtuvieron de mediciones de campo, en tanto que la longitud de cauce y la pendiente se obtuvieron de la planimetría digitalizada.

De esta manera se logró el resultado final del trabajo, que consistió en un mapa de isocronas de escurrimiento de crudo (velocidades de escurrimiento en horas), adjunto parcial a este trabajo ya que por su magnitud es imposible incorporarlo completamente.

En el gráfico original, se representaron los tiempos de escurrimiento con rastras de colores, correspondiendo un color cada dos horas y curvas separadoras que indican los tiempos, también cada dos horas, representando de esta manera el tiempo en que avanzaría un derrame de crudo a partir de un eventual descontrol o rotura de ducto, desde los puntos distales de la cuenca o posiciones intermedias, hasta el Río Colorado.

En virtud de ello se puede deducir, que un eventual derrame de crudo en posiciones

distales de las cuencas tardaría más de 50 horas en llegar al Río Colorado, disponiendo la Compañía operadora de este tiempo para su control de campo.

Los cauces involucrados fueron analizados en tramos homogéneos en función a su ancho y pendiente, datos estos levantados en el campo.

A partir de los modelos anteriores se llega a las conclusiones siguientes:

- Con tiempos de recurrencia de 5 años el Arroyo Agua de Reyes puede soportar una tormenta que descargue al Río Colorado un pico de caudal máximo de 380,10 m³/seg. a las 6,50 horas de comenzada la misma. En esas mismas condiciones el Arroyo Chihuido de la Salina descargará 101, 90 m³/seg. a las 3,49 horas de comenzada y el Arroyo Agua de los Lobos descargará un caudal máximo al pico de 62,60 m³/seg. a las 3,16 horas de comenzada. El resto de los valores, para TR de 25 y 50 años puede verse en la tabla correspondiente. (Tabla de los resultados obtenidos por el modelo HYMO).
- En virtud de los caudales obtenidos, se consideró que de realizar obras de contención o corrección de torrentes deberían ser varias y de gran magnitud, situación esta que condujo a la selección de defensas hidráulicas mediante gaviones que son particularmente adecuadas ya que pueden acomodarse a los movimientos del terreno, absorber o anular el efecto de las solicitaciones como empujes de terreno, empujes hidrostáticos, compresiones etc. y poseen además la ventaja de poder ser ensanchadas, sobreelevadas o modificada permitiendo obtener siempre el máximo de eficiencia.
- Un derrame de petróleo, **no vinculado a tormenta**, posee las velocidades indicadas por la gama de tonos de grises y curvas separadoras cada 5 horas, tal como se muestra en el Plano de Contingencia de Derrame adjunto a este trabajo, cabiendo destacar que el máximo tiempo modelado para los pozos y ductos mas al norte del área ronda un promedio de 44/55 horas para descargar al Río Colorado.
- El objetivo de estas tareas fue obtener las velocidades de un eventual derrame de petróleo de un pozo o ducto, en cualquier posición de las cuencas hídricas involucradas y de esa forma activar el plan de contingencia conociendo el lugar donde se puede atacar un derrame.
- Como agregado, y considerando que, los fenómenos aluvionales pueden ser, en una cierta cantidad de casos, desencadenantes de contingencias de derrames, o simplemente coincidir con ellas, se ha considerado el cálculo de tormentas de proyecto para tiempos de recurrencia (TR) de 5, 10, y 25 años, para obtener los tiempos (en horas) en que los Picos de Crecida lleguen al Río Colorado.
- En estos casos las velocidades calculadas y volcadas en nuestros planos finales

deberán ser reemplazadas por las obtenidas mediante el Modelo Matemático HYMO, corrido para este trabajo para las tres cuencas involucradas, ya que, en razón de sus parámetros físicos, el agua pluvial o agua con petróleo sobrenadante posee velocidades mayores.

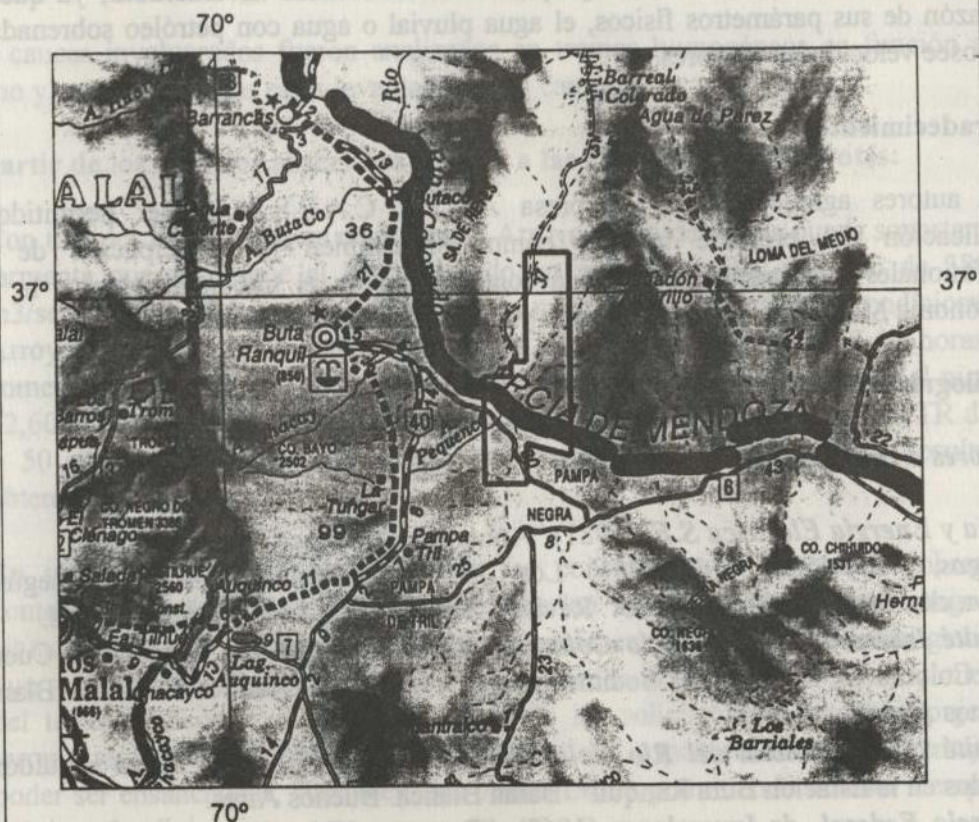
Agradecimientos:

Los autores agradecen a la Empresa ASTRA C.A.P.S.A., haber permitido la publicación del presente trabajo, como así también la participación de sus profesionales. Agradecen además la colaboración en el trabajo original a la Ing. Agrónoma Margarita González Loyarte y al Lic. Adrián Vargas Aranibal.

Bibliografía consultada

Autores e Instituciones

- Agua y Energía Eléctrica S.E.* (1981) "Anuario Hidrológico" Buenos Aires.
- Burgos, J. J. y Vidal, A. L.* (1951) "Los Climas de la República Argentina, según la nueva clasificación Thornthwaite". Revista Meteor, Año 1 N° 1, Buenos Aires.
- Comité Interprovincial del Río Colorado (COIRCO)*, (1992), "Estadística Cuenca Río Colorado, Fluviometría, Sedimentología y Análisis Químicos". Bahía Blanca. Buenos Aires.
- Comité Interprovincial del Río Colorado (COIRCO)*. (1993). "Aforos Líquidos y Sólidos en la Estación Buta Ranquil". Bahía Blanca. Buenos Aires.
- Consejo Federal de Inversiones* (1962). "Recursos Hidráulicos Superficiales de la República Argentina". Vol II. Buenos Aires.
- Custodio, E y Lamas, M. R.* (1976) "Hidrología Subterránea", Tomos I y II, Barcelona España.
- Digregorio, J. H. y Uliana, M.* (1980). "Cuenca Neuquina" II Simposio de Geología Argentina, Acad. Nac. de Ciencias de Córdoba, Argentina.
- Fabricaciones Militares*, Fotogramas y Mosaicos (Escala 1:50.000)
- Groeber, P.* (1933) "Descripción de la Hoja 31c, Confluencia de los Ríos Grande y Barrancas" (Mendoza Neuquén), Dirección de Minas, Boletín N° 38, Buenos Aires.
- (1946) "Observaciones Geológicas a lo largo del Meridiano 70, Chos Malal, Revista A.G.A., Buenos Aires.
- Holmberg, E* (1976) "Descripción Geológica de la Hoja 32c, Buta Ranquil Provincia del Neuquén". Carta Geológico Económica de la República Argentina.
- INCyTH* (1976) "Estudio de las Cuencas Aluvionales de la Provincia del Neuquén", Mendoza.
- Servicio Meteorológico Nacional* (1973) "Estadísticas Climáticas", Buenos Aires.
- Thornbury, R.* (1960), "Principios de Geomorfología", Editorial Kapelusz.
- USS Corps of Engineers*. Hydrological Engineering Center.
- USS Geological Survey*. (1977) "Roughness Characteristics of Natural Channels. EEUU.



ASTRA C.A.P.S.A.
Exploración y Producción
EL PORTON-Buta Ranquil

PLANO DE UBICACION

AREA EL PORTON-Buta Ranquil
Provincias de Mendoza y del Neuquén

REFERENCIAS:



AREA EL PORTON-Buta Ranquil



(GEA)
GEOLOGOS ASOCIADOS S.A.



ASTRA C.A.P.S.A.
Exploración y Producción
EL PORTON-Buta Ranquil

REFERENCIAS



AREA EL PORTON-BUTA
RANQUIL

CAUCES

CURVAS DE NIVEL

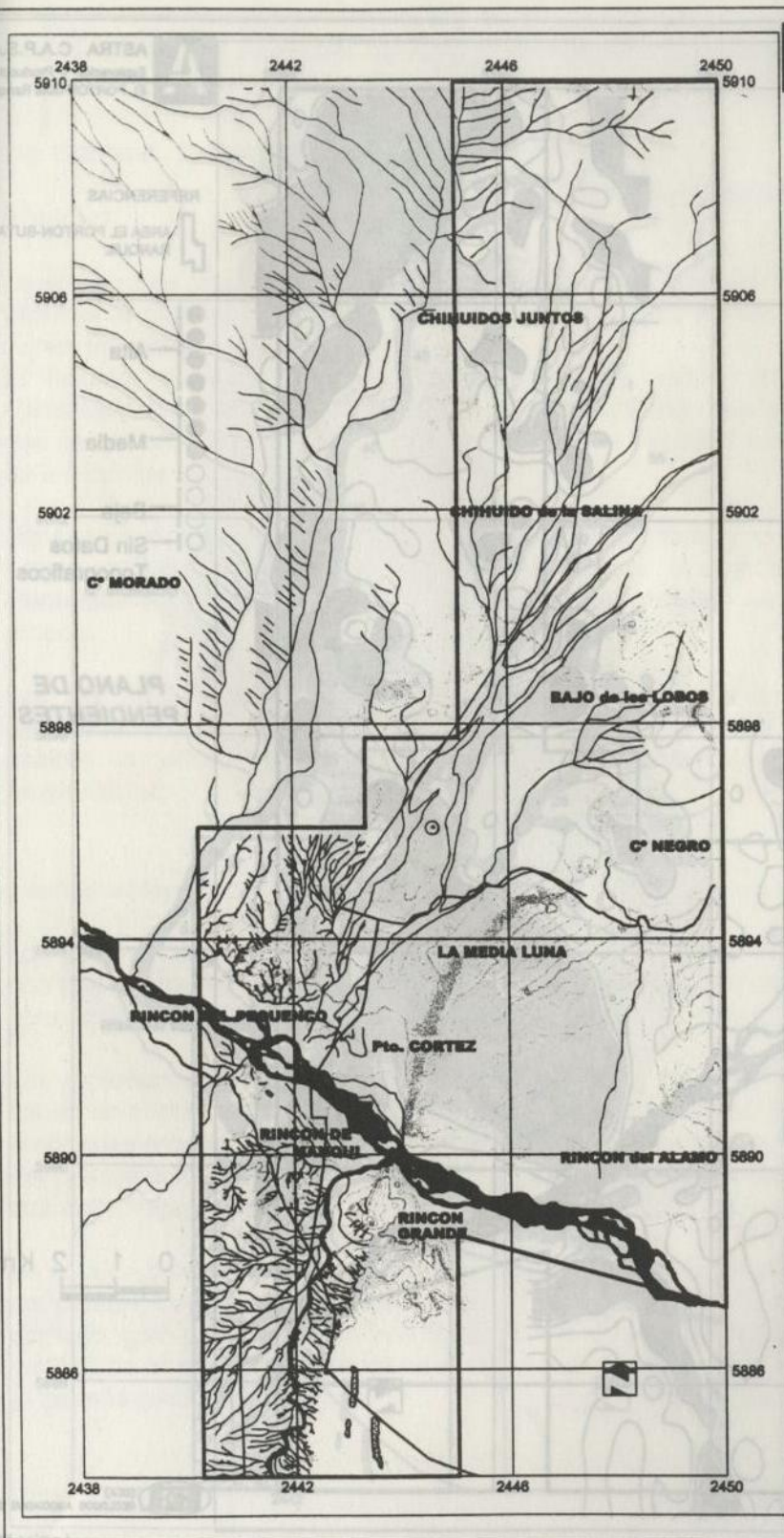
PLANO TOPOGRAFICO Y RED DE DRENAJE

0 1 2 Km.

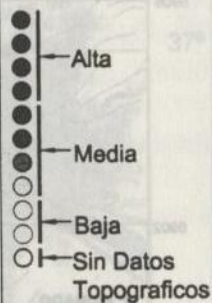
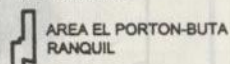


(GEO)
GEOLOGOS ASOCIADOS S.A.

Lamina N°2

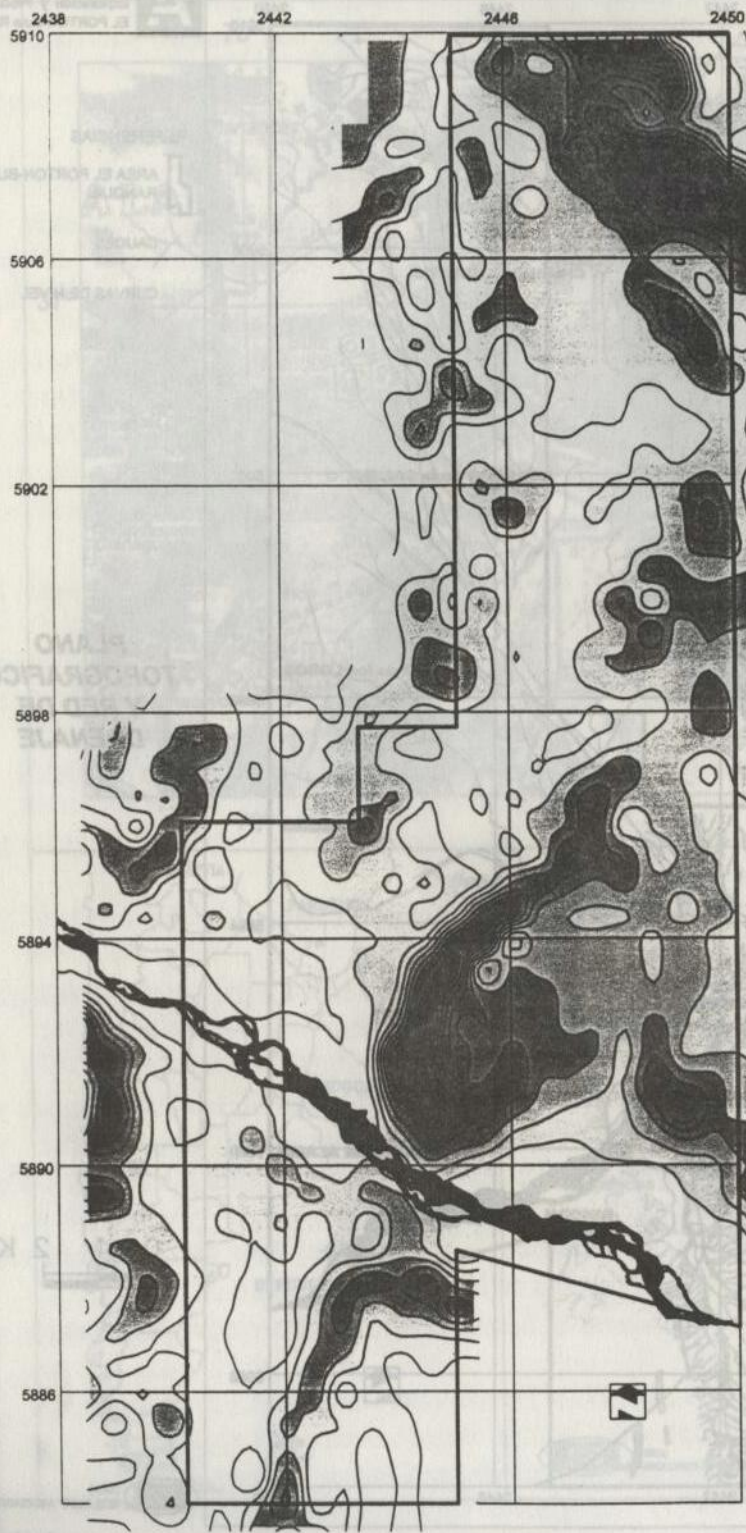


REFERENCIAS



**PLANO DE
PENDIENTES**

0 1 2 Km.





ASTRA C.A.P.S.A.
Exploración y Producción
EL PORTON-Buta Ranquil

REFERENCIAS



AREA EL PORTON-BUTA
RANQUIL

CAUCES



ISOCRONAS DE
ESCURRIMIENTO

Horas

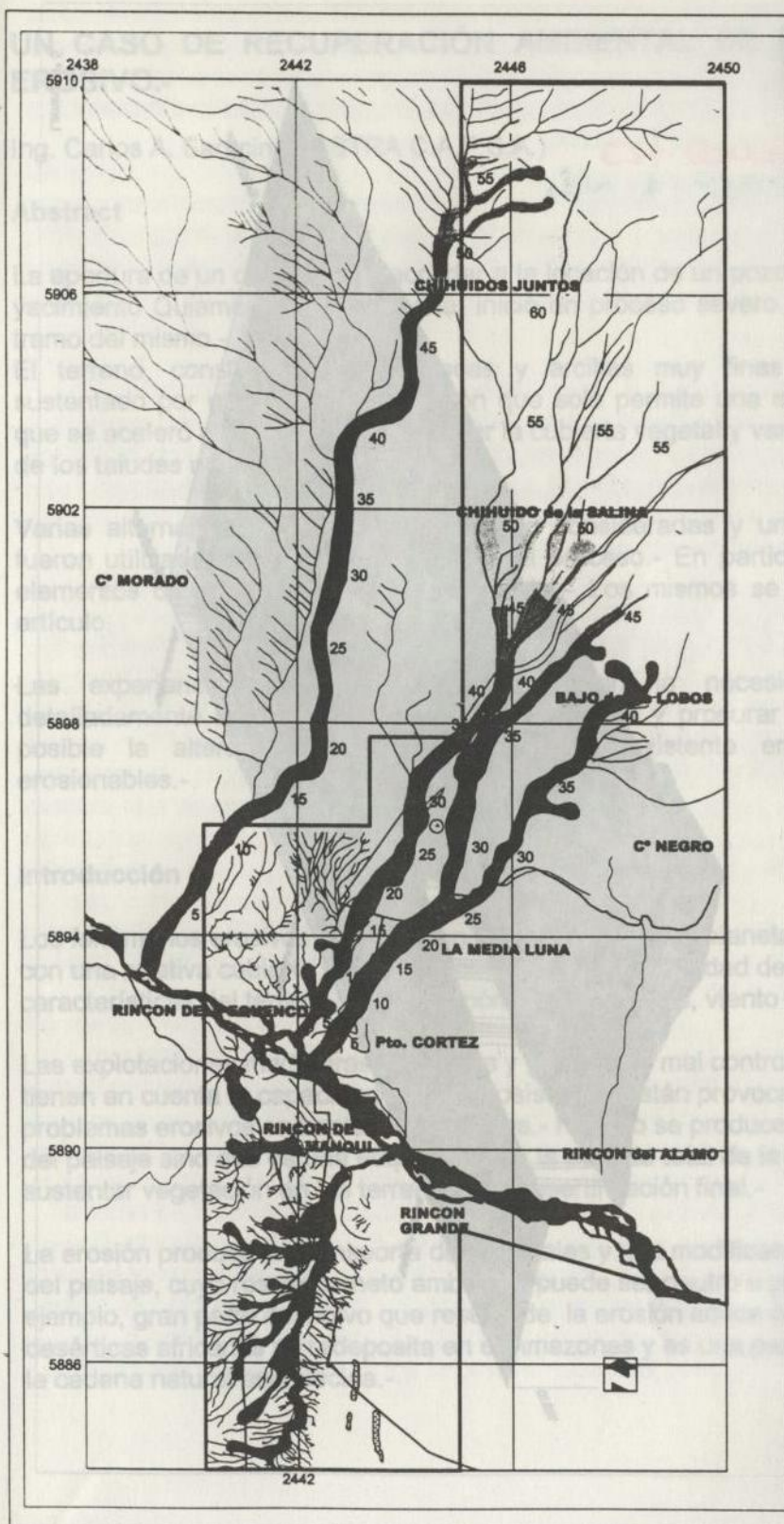
PLANO DE ISOCRONAS DE ESCURRIMIENTO

0 1 2 Km.



(GEA)
GEOLOGOS ASOCIADOS S.A.

Lamina N°4



Bloque Diagrama Yacimientos Chihuideo de la Salina - El Portón

