

ANALISIS DE RIESGO HIDRICO, OBRAS DE PROTECCIÓN DE INSTALACIONES Y PLAN DE CONTINGENCIAS METEOROLOGICAS EN LOS YACIMIENTOS PIEDRAS COLORADAS Y CACHEUTA, PROVINCIA DE MENDOZA.

R. Pombo*, P Gomez.**
V. Ferrante C. Debandi *,

***Geólogos Asociados S.A. (GEA) (Argentina), ** Perez Companc S.A. (Argentina)**

ABSTRACT

The Perez Companc Company hired Geólogos Asociados S.A. to make a plan to protect the environment and, more specifically, to study the negative impacts that incite alluvial phenomena on petroleum installations in Piedras Coloradas and Cacheuta oil fields.

The work consisted of a hydrological behaviour study of basins that feed into alluvial dry riverbeds and an evaluation of the parameters that determine flooding during rainfalls in heavy storms. The parameters were obtained using ARHYMO mathematical model for different return periods.

Another simulations based on Ven Te Chow algorithms and developed by Geólogos Asociados S.A. was made for petroleum overflows without alluvial phenomena participation cases. The objective was to determine the speeds and arrival times of hydrocarbon to the more sensitive sectors in areas like the Tunuyán River, El Carrizal Dam and the agricultural zones to the east of both areas.

Based on the arrival times in each of the riverbeds, it was possible to make an ISOCRONE DRAINAGE MAP for the maximum volume of petroleum produced in oil fields. This allowed preventive measure to be put into practice and suitable contingency plan to be made.

The survey of installations and the data obtained from mathematical simulation of each natural channel allowed for the evaluation of hydrological risk and for the designing of protective structures, corrective methods and adequate installations plans.

The last step was the construction of alluvial defence structures in installations at risk, revealing their efficiency during the major flood last summer.

INTRODUCCION

El presente trabajo es un resumen de la metodología empleada en el plan de protección ambiental de las instalaciones petroleras, en los Yacimientos de Piedras Coloradas y Cacheuta de PEREZ COMPANC S.A., que pudieran verse afectadas por fenómenos aluvionales.

La magnitud de dichos fenómenos, en la mayoría de los casos, es desencadenante de contingencias de derrames de hidrocarburos.

La primera etapa del trabajo consistió en efectuar un relevamiento de campo de la geología, geomorfología, suelos, hidrología y vegetación que conjuntamente con los datos climáticos y topográficos, conforman la masa crítica de información necesaria para la realización del ESTUDIO HIDROLOGICO.

Durante la recolección de los datos de campo se identificaron además las instalaciones comprometidas con fenómenos aluvionales, estos datos y los resultados del estudio hidrológico permitieron categorizar y dimensionar el RIESGO HÍDRICO de cada instalación petrolera del área.

A partir de dicha categorización se realizó el proyecto de la obra de PROTECCION para cada instalación y un PLAN DE CONTINGENCIAS METEOROLOGICAS y DE DERRAMES, no vinculados a fenómenos aluvionales.

Por último se efectuaron monitoreos del comportamiento de las obras luego de varias avenidas fluviales importantes, cuyo resultado, tanto desde el punto de vista físico como económico, se transcribe como corolario del presente trabajo.

GENERALIDADES

El área Cacheuta se ubica en la provincia de Mendoza en el dominio de la Cuenca Cuyana, a 40 Km. al oeste de la ciudad de Mendoza.

Es el yacimiento más antiguo que existe en el país. Fue primitivamente desarrollado por la Compañía

Mendocina de Petróleo a partir de 1886, donde fueron perforados alrededor de 30 pozos

El yacimiento Piedras Coloradas-Estructura Intermedia se localiza como una prolongación al sur del yacimiento Tupungato en la provincia de Mendoza y a 65 Km al sur de la ciudad homónima. Está ubicado en el borde noroccidental de la cuenca Triásica de Mendoza Norte y fue descubierto en el mes de junio del año 1953.

DESCRIPCION GENERAL DEL AMBIENTE

GEOLOGIA y GEOMORFOLOGÍA

El área en estudio está enclavada en una zona estructuralmente positiva de forma elongada, en sentido meridional; González Días y Fauqué (1993) la definen regionalmente como "Cerrillada Pedemontana Mendocina asociada al piedemonte de la cordillera".

Este ambiente se caracteriza en el sector más occidental, por típicos relieves que responden a anticlinales y homoclinales diferencialmente erosionados, en los que se pueden reconocer geoformas de jerarquía menor.

El sector más oriental de esta unidad geomorfológica se caracteriza por el irregular relieve de Huayquerías. Existen además niveles locales de pedimentación que se encuentran muy disectados.

Los principales factores concurrentes en la definición de las geoformas presentes en la zona de estudio, pueden resumirse en los siguientes:

- a) El clima imperante actual o en el pasado reciente.*
- b) La roca subyacente y en general la geología del área.*
- c) El tectonismo y efusiones volcánicas asociadas.*

Como se mencionara, el área en estudio se halla enclavada dentro de la unidad morfoestructural de las 'Cerrilladas Pedemontanas' que alberga una importante pila sedimentaria por encima del "basamento económico", del orden de hasta 3.500 y 4.000 m en algunos sectores.

En esta zona, la superficie aparece cubierta por sedimentos aluviales, constituyendo mantos continuos que ahogan parcialmente un relieve previo, se observan también algunos depósitos eólicos y piroclásticos.

No presenta relieves de importancia, las cotas en la zona de los Yacimientos oscilan entre los 1700 m en las cerrilladas del sector noroccidental del mismo y los 1100 m en el sector oriental y sur oriental.

HIDROLOGÍA

La densa red de drenaje que avana las elevaciones ubicadas al Oeste del área Cacheuta es captada por colectores escasos y anchos, de gran volumen de acarreo. En general, en esta área, salvo el Río Seco de las Minas y el Aº Carrizal, el resto de los drenajes naturales de la región no poseen características destacables y se hallan sujetos a cambios por acción aluvional o acciones antrópicas de relativa importancia.

En el sector que comprende al Yacimiento Piedras Coloradas-Estructura Intermedia, la red de drenaje posee una marcada orientación hacia el Sureste, los colectores más importantes son los Arroyos Seco de los Pozos, de las Piedras Coloradas y de las Tierras Blancas, que al igual que el Río Anchayuyo desembocan en el Río Tunuyán.

La región que nos ocupa presenta un sistema de drenaje de tipo dendrítico, con cauces secos, pero con gran capacidad de transporte durante episodios torrenciales, producto de fuertes lluvias en los sectores más elevados.

La pendiente general es hacia el este y el colector principal de todo este sistema para el área de Piedras Coloradas es el Río Tunuyán, mientras que el Río Seco de las Minas ubicado dentro del área Cacheuta desagua en la antigua planicie aluvial del Río Mendoza.

El Arroyo El Carrizal es el único cauce de aguas semi-permanentes y de muy bajo caudal, no obstante, en los períodos de lluvias, generalmente torrenciales, el sistema de drenaje muestra una actividad importante, produciéndose notables modificaciones en el paisaje tanto erosivas como de acumulación de sedimentos.

Este aspecto es el que motiva fundamentalmente el presente trabajo, donde se analiza la influencia de la industria petrolera sobre el medio natural y particularmente los parámetros que modifican el relieve, factibles de provocar contingencias no deseables

CLIMATOLOGIA

El elemento geográfico de mayor preeminencia en la caracterización del clima de la provincia de Mendoza es, sin duda, la Cordillera de los Andes, condicionante directo de las particulares modalidades de la circulación de las masas atmosféricas en toda la región cordillerana y especialmente en la zona bajo estudio.

La relativamente cercana presencia del Océano Pacífico y en particular el Anticiclón del Pacífico como origen de grandes masas de aire húmedo, es la responsable principal de las precipitaciones cordilleranas y fuente de alimentación principal de los ríos alóctonos que cruzan la región (Río Mendoza, Río Tunuyán).

Además, el sector bajo estudio, ya en ambientes pedemontanos, posee localmente una influencia del anticiclón Atlántico, sobre todo en verano, por la acción del ascenso y enfriamiento que el relieve cordillerano produce en las masas atmosféricas de esta procedencia.

Las direcciones predominantes de los vientos son Sudoeste (50%), con intensidades promedio de 7 Km/h y en menor grado Noreste (36%), con intensidades promedio de 9,5 Km./h. Sin embargo, merece algunas consideraciones aparte el "Zonda", viento regional cálido, descendente y muy seco, que sopla desde el Norte y Noroeste con un porcentaje de ocurrencia del 5% e intensidades promedio de 30 Km./h, lo que lleva a este cuadrante a las mayores intensidades promedio, con un valor de 11 Km/h. Es de ocurrencia estacional, soplando en general en primavera, provocando descensos de presión atmosférica y de los valores de humedad, con notables ascensos en los registros térmicos.

Resumiendo, el clima de la zona en estudio puede caracterizarse según sus elementos mayores:

Temperatura media anual: 14,3 °C.

Mes más cálido: Enero.

Meses más fríos: Junio y Julio, con afección de heladas invernales.

Precipitaciones: escasas, con una media anual de 220 mm. define un tipo climático semiárido, con probabilidades de precipitaciones más elevadas en el mes de enero.

Humedad relativa: baja, 61%, a muy baja (menos de 10 %) en episodios de viento Zonda.

SUELOS

Los particulares dominios climo-atmosféricos imperantes sobre la provincia de Mendoza (árido, meso y megatermal), son los condicionantes fundamentales para que los suelos contengan un complejo de intercambio plenamente saturado, pH neutro a francamente alcalino, sales solubles, yeso y carbonato de calcio cercanos a la superficie así como abundancia de minerales meteorizables.

Si bien el medio árido favorece la perdurabilidad de las condiciones congénitas o heredadas de los materiales originarios, es posible encontrar suelos con marcada evolución pedogenética, debido a una o más de las causales siguientes: herencia paleoclimática de períodos más húmedos; percolación profunda, en años excepcionalmente lluviosos, típicos de zonas áridas; condiciones químicas, tales como pH alcalino, que favorecen la remoción de sílice o bien la dispersión y posterior traslocación de arcillas cristalinas (Ferrer y Regairaz, 1993).

Dentro de la clasificación de suelos se los reconoce como Torripsamente y Torrifluvente que son grandes grupos dentro de subórdenes de los Entisoles (Arenosos a Franco Arenosos y Conglomerádicos), que poseen un horizonte superficial claro, de poco espesor y generalmente pobre en materia orgánica. Normalmente no se presentan otros horizontes diagnósticos, lo que se debe en gran parte al escaso tiempo transcurrido desde la acumulación de los materiales parentales.

Todos estos suelos, desarrollados sobre planicies con cubiertas arenosas de espesor considerable (Fm. Mogotes), bajo condiciones de clima árido meso-termal, aparecen dominados por comunidades de jarillas (*Larrea divaricata*) y psamófitas.

VEGETACIÓN

La vegetación es uno de los factores naturales que modifican la escurrentía del agua en una cuenca, básicamente en la zona de estudio, se puede identificar una masa vegetal caracterizada por monte arbustivo y un estrato herbáceo no muy abundante.

El estrato herbáceo ofrece una resistencia al escurrimiento del agua en la superficie que está directamente vinculada a la densidad de la misma, del mismo modo que el estrato constituido por las raíces que conforman un intrincado laberinto de poros que permiten la infiltración y la sujeción de partículas

De lo expuesto precedentemente se puede señalar que en el estudio de la vegetación se tuvieron en cuenta dos parámetros importantes, que tienen efecto directo sobre la escurrentía, siendo estos la composición florística y la densidad de la misma.

La vegetación considerada en el presente inventario se la dividió de acuerdo a su hábitat predominante, estando condicionada básicamente por tres factores: el geomorfológico, la presencia de agua y el topográfico.

En virtud de lo anterior, se individualizaron tres zonas:

1. *Estepa arbustiva mediana a alta*

Esta zona es la de mayor extensión y se encuentra dominada por depósitos del cuartario inferior y recientes de bajada aluvial. Se caracteriza por tener pendientes suaves y ocupa gran parte del sector oriental del área Piedras Coloradas y el centro del área de Cacheuta.

La cobertura vegetal de las comunidades que se desarrollan en este sector es del orden del 52% y la altura del estrato arbustivo es 1,8 a 2,5 m, en tanto la del estrato herbáceo es de 0,50 m.

2. *Estepa arbustiva semiabierta*

Esta comunidad se encuentra en las laderas de la intrincada red de avenamiento en las nacientes de los principales arroyos, tanto en el área Cacheuta como en Piedras Coloradas.

La cobertura vegetal varía sustancialmente si se trata de las laderas expuestas al norte (solanas), o al sur (umbrías). En el primer caso, se estima un promedio de recubrimiento entre el 10 y el 25%, en tanto para las laderas umbrías se estimó entre el 25 al 45%.

3. *Comunidades de cauces*

Las comunidades de cauces se caracterizan por tener variables sustanciales de acuerdo a la mayor o menor presencia de agua y si se trata de la cuenca imbrífera superior o de los colectores inferiores.

La cobertura vegetal en estos casos varía de un 2 a un 70 %, dependiendo del tipo de cauce y del material del mismo. También debe destacarse, si estas comunidades se desarrollan en el sector umbrío o de solanas de las laderas de los cauces.

ESTUDIO HIDROLÓGICO

METODOLOGÍA

El trabajo fue iniciado con la restitución, en escala 1:50.000, del área total de las cuencas de recepción de escurrimiento superficial, en la que se encuentra involucrada el área del Yacimiento Piedras Coloradas y Cacheuta.

A partir de la interpretación de los fotomosaicos, a escala 1:50.000, se graficó la densa red de drenaje y mediante Imagen TM a escala 1:100.000 se logró el georeferenciamiento de las anteriores.

Con el apoyo de estos dos elementos y la topografía disponible se realizó el ajuste geológico, geomorfológico, pedogénico y porcentaje de recubrimiento vegetal en las distintas cuencas involucradas, desde sus cabeceras hasta su desembocadura.

Conjuntamente con este trabajo se procedió a la medición de las secciones de los cauces aluvionales y al relevamiento de las instalaciones (ductos, pozos, baterías etc.) vinculadas a zonas de riesgo hídrico.

Compendiando todos los datos anteriores se elaboró el plano base Planialtimétrico con curvas principales de nivel de equidistancia de 50 metros y curvas auxiliares de equidistancia 10 metros.

En el plano base se delimitaron las cuencas de los arroyos principales, 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 para el ingreso a los modelos de simulación matemática AR-HYMO y el correspondiente a la determinación de Isócronas de escurrimiento de Derrames de Hidrocarburos.

Para el primer modelo, el AR-HYMO, que relaciona la lluvia con el escurrimiento superficial, se elaboró una tormenta de proyecto, donde la base de los datos pluviométricos corresponden a las estaciones que conforman la Red Hidrometeorológica Telemétrica del INA-CRA (ex INCyTH-CRA) ubicada en el Pedemonte del Gran Mendoza, para lo cual se realizaron las estadísticas necesarias, con el objeto de interpretar el decaimiento y distribución temporal de la tormenta de proyecto y la determinación, para Tiempos de Retorno de 5, 10, 25 y 50 años.

Para el segundo modelo matemático, de determinación de velocidades de escurrimiento de un eventual derrame de petróleo, se utilizó el algoritmo de Ven Te Chow (1959) tomado de "Open-Channel Flow", asumiéndose como válido la existencia de un derrame que proporcionará en forma continuada en el tiempo un caudal de petróleo que es máximo para cada zona y ducto que atravesase un cauce en ambas áreas.

Se asume que las contingencias de estas características son por accidentes, como ser: descontrol de pozo, rotura de ductos, etc., condición esta no muy frecuente, pero lo suficientemente pesimista como para desarrollar un sistema de control de campo de la contingencia derrame, que dé un muy amplio margen de seguridad.

Se asumieron también los parámetros físicos del crudo producido por los pozos de los Yacimientos involucrados e inclusive si se trata de petróleos provenientes de la Fm. Río Blanco o de la Fm. Barrancas, con valores de viscosidad y densidad diferentes.

En virtud de que por los ductos se transportan diferentes tipos de fluidos o concentraciones de petróleo, se efectuaron básicamente tres cálculos distintos a saber: a) Ductos que transportan sólo petróleo, b) Ductos que transportan petróleo y agua, asumiendo que la mezcla de agua y petróleo tiene una relación de 30 y 70% respectivamente. y c) Ductos que transportan sólo agua de purga.

El ancho de los cauces de los distintos tramos se obtuvo de mediciones de campo, en tanto la longitud y la pendiente se lograron a partir de la planimetría digitalizada.

En la siguiente tabla se muestran los valores de velocidad y tiempo de llegada desde el exutorio de cada cuenca hasta el cauce del Río Mendoza o Tunuyán según corresponda. El cálculo de la velocidad del petróleo y de la mezcla de agua y petróleo se realizó a partir de la hipótesis que en el momento de la rotura el ducto se encontraba bajo la presión máxima admisible.

TABLA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL MODELO AR-HYMO

CUENCA	PETROLEO		MEZCLA DE AGUA Y PET		ESCURRIMIENTO ALUVIONAL							
					TR=5		TR=10		TR=25		TR=50	
	Vm/s	T(hr)	Vm/s	T(hr)	Vm/s	T(hr)	Vm/s	T(hr)	Vm/s	T(hr)	Vm/s	T(hr)
301	0,03	81,4	0,02	122,2	1,5	1,6	1,8	1,4	2,2	1,1	2,5	1,0
305	0,42	2,1	0,28	6,1	4,0	0,4	3,5	0,5	4,0	0,4	4,3	0,4
306	0,25	22,5	0,16	35,1	2,0	2,8	2,3	2,4	2,7	2,1	3,0	1,9
307	0,33	17,0	0,21	26,8	2,9	1,9	3,2	1,8	3,5	1,6	3,9	1,4
310/27	0,11	63,5	0,07	99,9	1,2	5,8	1,4	5,0	1,6	4,4	1,8	3,9
312/23	0,17	20,5	0,12	29,1	1,4	2,5	1,7	2,1	2,1	1,7	2,3	1,5
313	0,57	4,0	0,38	6,0	2,0	1,1	2,3	1,0	2,7	0,8	3,0	0,8

De esta manera se logró uno de los resultados finales del trabajo, el Mapa de **Contingencia de Derrame de Crudo (velocidades de escurrimiento en horas)** adjunto a este informe; donde se graficó con rastras de colores, correspondiendo cada color a un período de 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 incluso el caso hipotético de llegar el derrame al Río Tunuyán o Mendoza, según el área.

Puede observarse en el mismo que un eventual derrame de crudo en posiciones distales de las cuencas tardaría más de 24 horas en llegar al Río Tunuyán, disponiendo la compañía operadora de ese tiempo para su control de campo.

MODELADO AR-HYMO

Cuencas ubicadas en el Área Cacheuta: Básicamente una sola cuenca es la que afecta la zona productiva del área y desagua al Río Seco de las Minas, que a su vez mediante un canal colector desagua al Río Mendoza.

Cuencas ubicadas en el Área de Piedras Coloradas de norte a sur: A° Casa de Piedra, A° Casa de Piedra Sur, A° Los Pozos, Río Seco Piedras Coloradas y A° Tierras Blancas.

Para la realización del modelado matemático fue necesario disponer de los siguientes datos:

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

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

Metodología:

Para la determinación de los coeficientes de escurrimiento de las cuencas, se utilizó la metodología del Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU., ampliamente difundida y aplicada en el ámbito 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
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 cual 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 de cobertura.

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 interceptación, y que se calcula sobre la base de la siguiente expresión de origen empírico:

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

Determinación del valor de CN

A partir de la inspección "in situ" y de la imagen satelital se determinó que la cobertura arbustiva es aproximadamente de 30%. La comprobación en el campo de la textura del suelo, permitió determinar que se trata de suelos de gran capacidad de infiltración (grupo C), sobre todo, cuando los arroyos interceptan la Fm. Mogotes y sedimentitas del Cuartario. En cambio, en sus cabeceras donde hay predominio de niveles arcillosos y tobáceos del Terciario, los suelos pierden capacidad de infiltración. Con estos datos se pudo determinar a partir de los gráficos del US Soil Conservation Service un valor de CN= 70, en CHA II.

Determinación de la Tormenta de Proyecto**Hietograma en mm de la Tormenta de Proyecto para TR = 5, 10, 25 y 50 años**

TR	total	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'	60'
5	59,9	2,5	1,4	5,2	9,2	12,5	17,3	7,1	3,3	1,0	0,3	0,1	0,1
10	70,2	2,9	1,7	6,1	10,8	14,7	20,2	8,4	3,9	1,1	0,4	0,1	0,1
25	85,0	3,5	2,0	7,4	13,1	17,8	24,5	10,1	4,7	1,4	0,4	0,1	0,1
50	96,6	4,0	2,3	8,4	14,9	20,2	27,8	11,5	5,3	1,5	0,5	0,1	0,1

AREA (Km ²)	LAMINA (Porcentual)
0 - 1	100 %
1 - 5	89 %
5 - 10	81 %
10 - 15	78 %
15 - 20	74 %
20 - 25	72 %
25 - 50	66 %
50 - 75	61 %
75 - 100	55 %

Por otra parte y también para la mencionada zona aluvional se determinó, en ese estudio, el decaimiento espacial del núcleo de tormenta, el cual fue aquí utilizado para calcular la lámina media de precipitación en cada cuenca. La tabla a la izquierda expresa la relación entre la superficie de la cuenca y la lámina de precipitación media sobre la misma como porcentaje de la precipitación en el núcleo de la tormenta.

Luego, para cada cuenca y para los valores de TR correspondientes a 5, 10, 25 y 50 años, se aplicó la distribución temporal porcentual y el respectivo decaimiento espacial, obteniéndose así los hietogra-

mas de lluvia que se utilizaron como "input" del modelo matemático que se describe a continuación

Modelo Matemático de Simulación Hidrológica

El modelo AR-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.

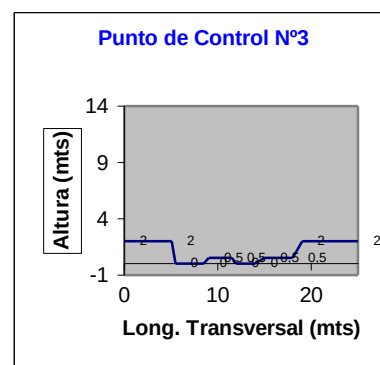
Análisis de los Resultados

Las corridas del modelo AR-HYMO para las cuencas aluvionales mencionadas y para las distintas precipitaciones correspondientes a determinadas probabilidades de ocurrencia, permitieron obtener caudales de proyecto, como los que se muestran en la planilla adjunta, para pequeñas y medianas obras de drenaje, defensa y/o viales

Ejemplo de los resultados para una de las cuencas involucradas

CUENCA 312 RIO SECO DE LAS PIEDRAS COLORADAS												
	TR= 5 AÑOS			TR= 10 AÑOS			TR= 25 AÑOS			TR= 50 AÑOS		
QP (m3/s)	14.8			21.8			33.2			43.1		
TP (hr)=	1.83			1.83			1.75			1.75		
VOL (Hm3)	0.108			0.159			0.242			0.314		
SECCION	Y (m)	V (m/s)	s (m)	Y (m)	V (m/s)	s (m)	Y (m)	V (m/s)	s (m)	Y (m)	V (m/s)	s (m)
1	0.19	1.3	0.57	0.24	1.5	0.61	0.31	1.7	0.66	0.36	1.9	0.69
2	0.21	1.3	0.59	0.26	1.5	0.62	0.33	1.8	0.67	0.39	2	0.71
3	0.54	2.4	0.79	0.69	2.8	0.87	0.89	3.2	0.96	1.07	3.5	1.03
4	0.28	1.6	0.64	0.35	1.8	0.68	0.45	2.2	0.74	0.59	1.8	0.82
5	0.23	1.4	0.60	0.3	1.7	0.65	0.38	2	0.70	0.45	2.2	0.74

Las secciones levantadas en el campo, de cada uno de los arroyos, como se observa en el ejemplo del Punto de Control N° 3, permitieron junto con el resto de datos de campo, como cotas vegetación tipo de suelos etc., contar con la masa crítica de datos para el cálculo de cada TR y demás análisis realizados como los de escurrimientos, etc.



DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE RIESGO

Los riesgos detectados dentro del yacimiento Piedras Coloradas y Cacheuta pueden agruparse en las siguientes categorías:

1. Ductos enterrados que pueden ser destapados durante una crecida.

Las alternativas de acción sugeridas fueron, la profundización de los ductos a cotas seguras o bien la materialización de una sección de control aguas abajo del ducto, manteniendo el nivel de base mas elevado durante las avenidas fluviales.

2. Bases que pueden sufrir erosión local y generalizada perdiendo sustentación.

En este caso, se planteó el reemplazo de bases poco estables, la materialización de una sección de control aguas debajo de la base que mantenga el nivel de base del cauce durante las tormentas o bien proteger los laterales de la erosión localizada.

3. Puenteductos que pueden ser alcanzados por el pelo de agua.

La opción empleada fue elevar la cota de coronamiento de las columnas que sostienen el puenteducto.

4. Erosión en márgenes de cauces

La obra sugerida y ejecutada fue el desvío de la dirección de la corriente, mediante espigones transversales a la dirección del cauce.

5. Erosión retrocedente

Se programaron y ejecutaron secciones de control que interrumpan el avance de la erosión retrocedente.

A los fines de ilustrar cada uno de estos casos, excepto el tercero debido a su sencillez, se describen puntos de riesgo para cada uno de los anteriores, la obra propuesta y el comportamiento luego de tormentas potencialmente riesgosas.

PROYECTO DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN Y DE CORRECCIÓN

A modo de ejemplo, se describen a continuación algunas de las obras proyectadas y las prioridades que se asignaron para su ejecución, teniendo en cuenta los daños potenciales y los riesgos ambientales de las instalaciones involucradas.

Sección 9 del Río de las Piedras Coloradas: En esta sección existe un cruce de ductos apoyados en ambas márgenes y el camino se dispone en forma paralela aguas arriba.

Por otra parte, el nuevo tendido de ductos entre la Batería 1 y la Planta de Tratamiento de Crudos preveía el tendido de una cañería enterrada en el costado este del camino. La erosión retrocedente había alcanzado el borde del mismo y se recomendó ejecutar una sección de control del Tipo III a unos 5 metros aguas abajo, agregando una colchoneta en la parte inferior en forma similar a la sección Tipo I a fin de proteger el pie de la obra, debiendo quedar la cota superior al ras del actual nivel medio del camino y penetrar 5 metros en cada una de las márgenes. La longitud de obra fue de 20 metros. Se le asignó prioridad 1.

Sección 8 del Río Seco de los Pozos: Esta sección se localiza en un cruce de ducto aéreo suspendido mediante columnas de acero, fundadas en bases de hormigón. Las tres bases de la margen derecha se encontraban prácticamente descalzadas, por lo que se recomendó demoler todas las bases (6 en total) y ejecutarlas nuevamente. Se sugirió también que la nueva cota de fundación, se disponga a 2 metros por debajo del nivel medio del lecho en ese punto y la observación periódica del progreso de la erosión a fin de controlar su magnitud. Se le asignó prioridad 1.

Sección 18 del Río Seco de las Piedras Coloradas: En esta sección era fundamental observar el progreso de la erosión luego de cada tormenta. Luego de las avenidas fluviales ocurridas en Febrero de

1998, dos bases fueron descalzadas, debido principalmente a la insuficiente profundidad de fundación, por lo que se recomendó la ejecución de una sección de control con un engavionado Tipo I, aguas abajo de las pilas con las mismas características de los anteriores.

Sección 6 del Río Seco de las Piedras Coloradas: En este punto cruza un ducto aéreo apoyado sobre columnas de acero. Esta sección se encuentra en un lugar donde el río efectúa una curva hacia la derecha, por lo que el flujo se recuesta sobre la margen izquierda. Esto provoca la erosión localizada principalmente en las dos últimas bases. Se recomendó que inicialmente se revistieran ambas bases con una protección de colchonetas de modo de formar un manto de 8 m de ancho y 10 m de largo, quedando la base centrada en el interior del mismo. (Adjunto N°3). También se sugirió la observación del progreso de la erosión con posterioridad a la ejecución de la obra, ya que de persistir el problema debería ejecutarse una sección de control aguas abajo de las bases con un engavionado Tipo I. Se le asignó a la obra prioridad 1.

Pozo 31 en la margen izquierda del Río Seco de las Piedras Coloradas: Este pozo está sobre una lomada, cuyo faldeo se ubica en la margen izquierda del río, el curso efectúa una curva hacia la derecha, erosionando parte de la misma. En función de lo anterior se recomendó protegerla mediante un espigón de 15 m de longitud, ejecutado con gaviones del Tipo IV, ubicado aguas arriba del morro donde presentaba una concavidad. Durante su ejecución se efectuó una excavación de modo que la cota inferior se encontrara 1,50 m por debajo del nivel medio del lecho del río en ese lugar.

Sección 7 del Río Seco de los Pozos: En esta sección cruzan ductos apoyados en columnas de acero fundadas en bases de hormigón. El camino pasa aguas arriba de los ductos, lo que provocaba un salto que descubría la parte superior de las bases mencionadas. El objetivo de la obra propuesta fue detener la erosión retrocedente que amenazaba descalzar el badén de hormigón y las bases del puenteducto, por lo que se recomendó la ejecución de una sección de control a unos 10 metros aguas abajo con un engavionado Tipo I, quedando la cota superior al ras del actual nivel medio del lecho del río. Se dispuso, de acuerdo a los cálculos, penetrar 10 metros en cada una de las márgenes, quedando la obra con una longitud de 70 metros. Se le asignó a la misma prioridad 2.

Sección 17 del Río Seco de los Pozos: En este punto cruzan varios ductos aéreos apoyados sobre columnas de acero empotradas en bases de hormigón. El objetivo de la obra propuesta era, como en el caso anterior, detener la erosión retrocedente que amenazaba descalzar el badén de hormigón. En este punto se propuso ejecutar una sección de control mediante un engavionado Tipo II a unos 5 m aguas abajo de dicho badén. La longitud de esta obra se estimó en 35 m teniendo en cuenta que los gaviones penetran un mínimo de 5 m en cada margen. La cota superior de los gaviones es la del camino en su punto más bajo. Se le asignó prioridad 2.

EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

De acuerdo a la asignación de prioridades en el proyecto de las obras de defensa, su ejecución comprendió dos etapas. En la primera se construyeron aquellas con prioridad 1, entre los meses de Diciembre de 1997 y Marzo de 1998, mientras que durante la segunda etapa se llevaron a cabo las restantes, entre Agosto y Noviembre de 1998.

MONITOREO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS

En Febrero de 1998 tormentas de regular intensidad en de las cuencas del yacimiento provocaron el escurrimiento de significativos caudales de crecida en los arroyos involucrados. A fin de comprobar el estado de las obras de defensa luego de las tormentas, se efectuó un monitoreo de cada una de ellas, cuyo resultado se resume en los siguientes párrafos.

Sección 9 del Río Seco de las Piedras Coloradas: Las obras construidas comprendieron la colocación de gaviones y colchonetas, a fin de materializar una sección de control que detuviera la mencionada erosión retrocedente. Los caudales que circularon por ese tramo del río durante las tormentas del mes de Febrero de 1998 no han sido los máximos previstos de diseño. Para esos caudales el comportamiento de las estructuras de defensa fue satisfactorio, puesto que se estabilizó el lecho del cauce aguas arriba de la estructura. Se apreció también la penetración de material fino en el interior de las colchonetas lo cual mejora su estabilidad. Por lo expuesto se concluyó que la estructura se comportó satisfactoriamente y de acuerdo a lo previsto.

En Febrero de 1999 las tormentas fueron de mayor intensidad y particularmente localizadas, afectando sólo algunas cuencas del yacimiento, con intensidades muy superiores a las de proyecto. Durante la corrida del modelo AR-HYMO se utilizó la tormenta de proyecto correspondiente a la zona de Chacras de

Coria, distante a 40 km. al Norte del Yacimiento, al no disponerse de datos meteorológicos confiables de la zona de estudio. La inusual intensidad y localización de dichas tormentas provocó caudales de crecidas muy superiores a los originalmente previstos, por lo que hubiera sido admisible esperar daños severos sobre las obras de defensa afectadas. Sin embargo, estas presentaron daños mínimos fácilmente reparables, lo cual habla de la bondad de la tipología de obra elegida.

Sección 6 del Río Seco de las Piedras Coloradas: Las obras construidas comprendieron la colocación de colchonetas de 0,23 m de espesor alrededor de las dos columnas más comprometidas. Los caudales que circularon por este tramo del río durante las tormentas del mes de Febrero de 1998 no fueron los máximos previstos de diseño. Para esos caudales el comportamiento de las estructuras de defensa fue satisfactorio, observándose que la cota alrededor y aguas arriba de las columnas se mantuvo. Se apreció también la penetración de material fino en el interior de las colchonetas, lo cual mejoró su estabilidad. Finalmente cabe destacar que la tendencia del escurrimiento a recostarse sobre la margen izquierda se ha revertido, circulando ahora el agua entre las columnas no revestidas. Por lo expuesto se concluye que la estructura se comportó satisfactoriamente y de acuerdo a lo esperado.

Sección 7 del Río Seco de los Pozos: En este punto estaba previsto para un TR= 50 años un caudal al pico QP= 51 m³/seg, el cual significa un tirante de agua Y= 0,53 m. En la visita al campo se pudo comprobar que el tirante de la crecida en este lugar fue de Y= 1,10 m, que implica un caudal al pico de 170 m³/seg. Se formó un salto entre 25 y 30 cm a continuación del gavión, que seguramente fue mayor en el momento del máximo escurrimiento.

El engavionado ha mantenido estable la tapada de las bases de las columnas de acero ubicadas aguas arriba, sufriendo una leve deformación la estructura debido al empuje del agua, sin que esto impida su buen funcionamiento.

En la margen derecha se formó un socavón junto al badén, originado por el vuelco de los caudales que son encauzados por el camino, por ello se recomendó su relleno con rocas a fin de soportar esta acción. Durante la obra se reemplazó una columna de acero debido al mal estado que presentaba. La base de hormigón de esta columna ha sufrido un desgaste en la parte superior debido al ataque del material arrastrado por la corriente, pero no ha sido movida de su lugar ni presenta signos de erosión localizada.

Por lo expuesto, se concluyó que las estructuras se comportaron satisfactoriamente y de acuerdo a lo previsto.

Sección 17 del Río Seco de los Pozos: En este punto estaba previsto para un TR= 50 años un caudal al pico QP= 48,50 m³/seg con un tirante de agua Y= 0,43m. En el monitoreo de campo, se comprobó que el tirante de la crecida en este lugar, fue del orden de Y= 1,70m lo que implica un Q=440 m³/seg. El empuje provocado por el escurrimiento de este inusual caudal ha causado en la estructura de gaviones una deformación apreciable, sobre todo en su parte central, donde existe una carga considerable debido al terreno en estado de saturación ubicado entre el badén y la obra. Debe destacarse que, a pesar de haber soportado solicitaciones no previstas, la obra se mantuvo en su lugar, defendiendo al badén en los momentos críticos de la avenida y en condiciones de seguir operando de igual manera a pesar del aspecto que presenta.

Con el fin de corregir su deformación y evitar su deterioro futuro, se recomendó la ejecución de contrafuertes en la zona central, mejorando su comportamiento estructural

Por lo expuesto, se concluyó que la estructura se comportó muy satisfactoriamente y superó holgadamente el calculo previsto.

Sección 18 del Río Seco de las Piedras Coloradas: En esta parte del río, los caudales que circularon en el mes de Febrero de 1999, no superaron los de diseño. Se previó para un TR= 50 años, un QP= 68,8 m³/seg, que implica un tirante de agua de Y= 0,82m. Durante el monitoreo de campo se constató que el tirante de la crecida en este punto fue de Y= 0,50m que equivale a Q=33 m³/seg.

No se observan daños en los gaviones y se puede apreciar un adecuado comportamiento al escurrimiento, constatándose la pretendida elevación del nivel de base del lecho aguas arriba de la obra, protegiendo las pilas que soportan el ducto en esa posición.

En el adjunto N° 4 puede observarse tres estados de la sección, antes de la obra, durante y luego de la tormenta de febrero de 1999.

CONCLUSIONES

Es difícil determinar con precisión cuáles hubieran sido los efectos de las tormentas de Febrero de 1998 y 1999, de no haber existido las obras de defensa. A pesar de ello se efectuó una simulación de riesgo en los puntos mas comprometidos, mediante una evaluación cualitativa, obteniéndose resultados muy variables de acuerdo al tipo de instalación que se analizó.

Si se toma uno de los puntos de riesgo hídrico y admitimos en forma conservadora que un ducto en ese lugar puede sufrir *sólo una rotura* por un evento aluvional y calculamos los costos de la obra de prevención versus los de reparación del ducto, la interrupción de la producción, la remediación de las áreas contaminadas, eventuales multas, aspectos institucionales, disminución de primas de seguro etc., se llega a valores, que sin duda no admiten mayores especulaciones.

En algunos puntos de riesgo, los valores del costo de la remediación de una contingencia de mínimas consecuencias y considerada solo en una oportunidad, representa mas del 80 % del costo de la obra.

Esto habla claramente de las ventajas que conlleva el estar preparado para hacer frente a este tipo de eventos naturales o accidentes. No es posible predecir el momento en que se producirá una tormenta con efectos dañinos sobre las instalaciones de un yacimiento; puede ser la siguiente semana o dentro de diez años. Sí en cambio es posible definir con un buen grado de aproximación cuáles serán sus efectos y la forma de proteger las instalaciones de éstos. Como en todos los órdenes de la vida, es más fácil enfrentar un problema cuando se lo conoce y se está preparado. La metodología de trabajo propuesta apunta a lograr este objetivo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Empresa PEREZ COMPANC S.A., permitir la publicación del presente trabajo y la participación de uno de sus profesionales especialista en medio ambiente y temas hidráulicos.

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.

Custodio, E y Lamas, M. R. (1976) "Hidrología Subterránea", Tomos I y II, Barcelona España.

INCyTH (1976) "Estudio de las Cuencas Aluvionales de la Provincia del Neuquén, Mendoza.

Servicio Meteorológico Nacional (1973) "Estadísticas Climáticas", Buenos Aires.

USS Corps of Engineers. Hydrological Engineering Center.

USS Geological Survey (1977) "Roughness Characteristics of Natural Channels. EEUU.

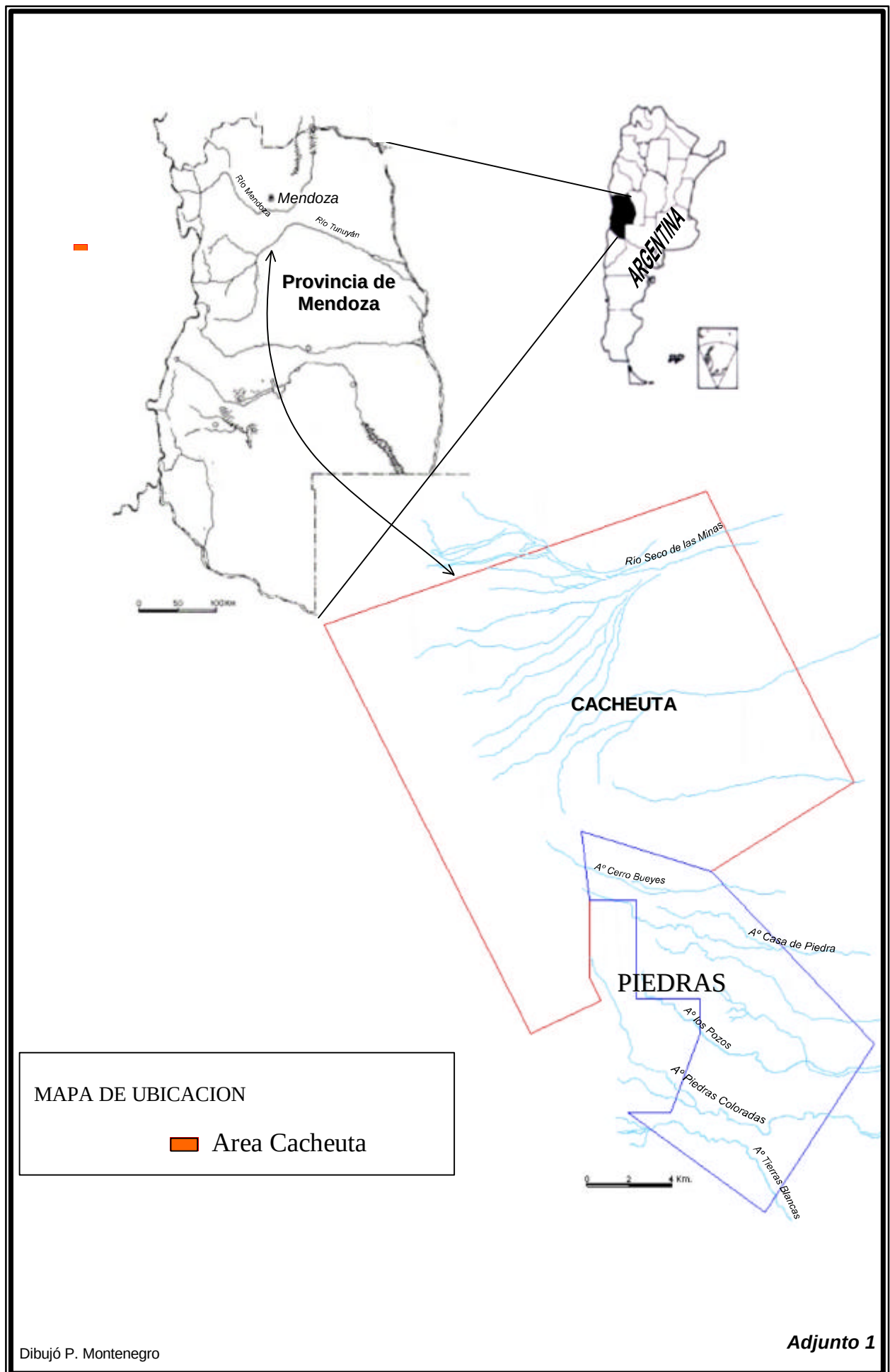
Eduardo Martínez Carretero (1993) "Carta de vegetación del sector Cerro Casa de Piedra-San Isidro", Multequina, publicado por el Gobierno de Mendoza.

Ven Te Chow, David R. Maidment y Larry W. Mays (1996) "Hidrología Aplicada", McGraw-Hill.

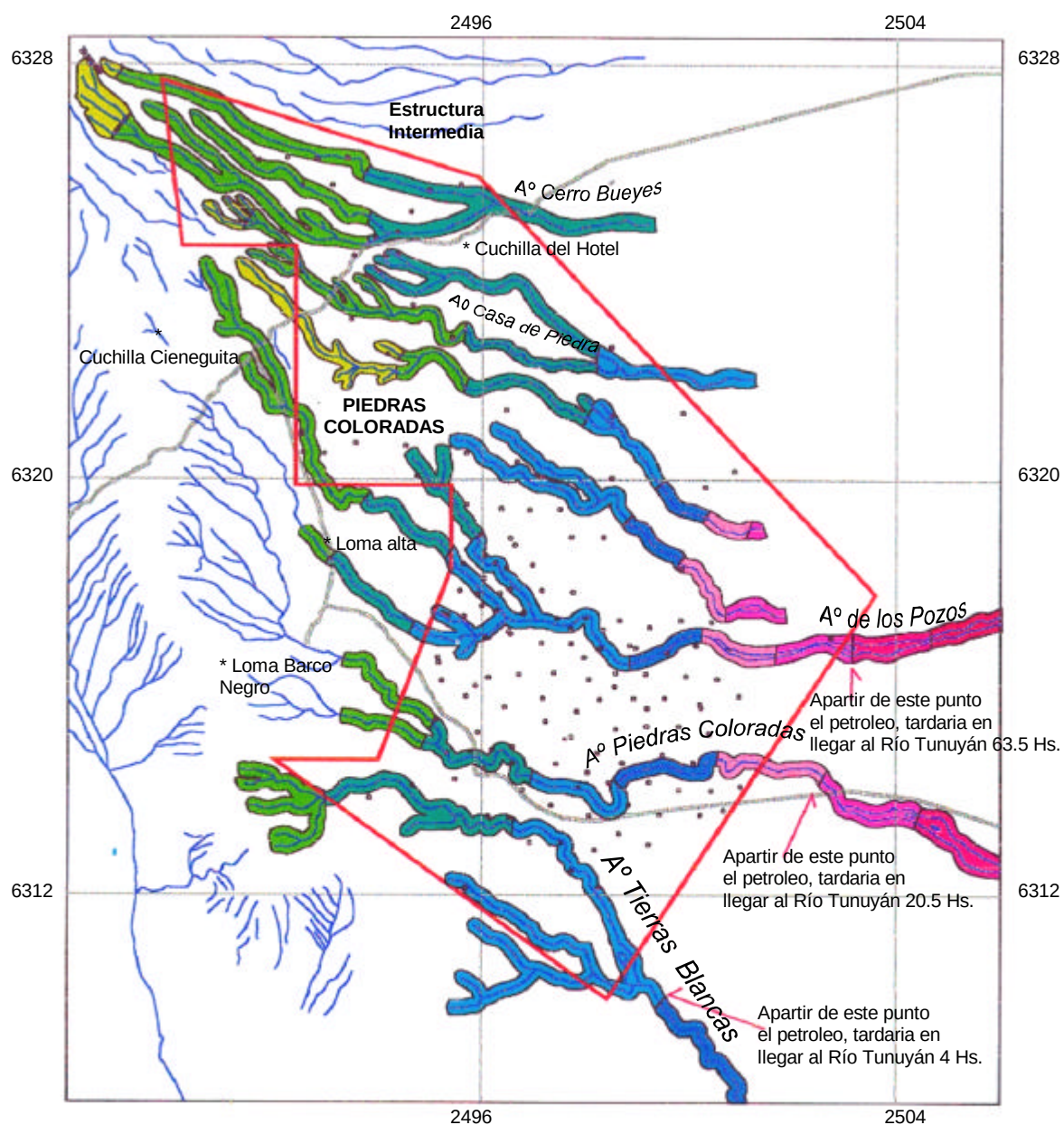
Carlos Devizia (1993) III-3. "Yacimiento Cacheuta", Relatorio XII Congreso Geológico Argentino, II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Geología y Recursos Naturales de Mendoza, editado por Víctor A. Ramos.

----- (1993) III-5. "Yacimiento Piedras Coloradas-Estructura Intermedia", Relatorio XII Congreso Geológico Argentino, II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Geología y Recursos Naturales de Mendoza, editado por Víctor A. Ramos.

Edgardo O. Roller y César A. Fernández Garrasino (1979) "Comarca Septentrional de Mendoza", Geología Regional Argentina, Volumen I, Academia Nacional de Ciencias Córdoba.



PLANO DE ISOCRONAS DE ESCURRIMIENTO



REFERENCIAS

 **Limite del Area**
 **Cauces**

 **Isocronas de Esgurrimiento**
Dispuestas cada 2 Horas





Sección 9 Piedras Coloradas Antes de la obra



Sección 9 Piedras Coloradas actualmente

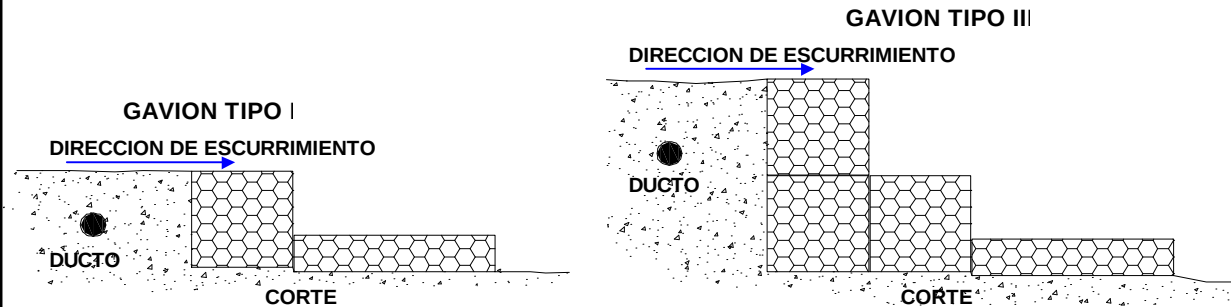
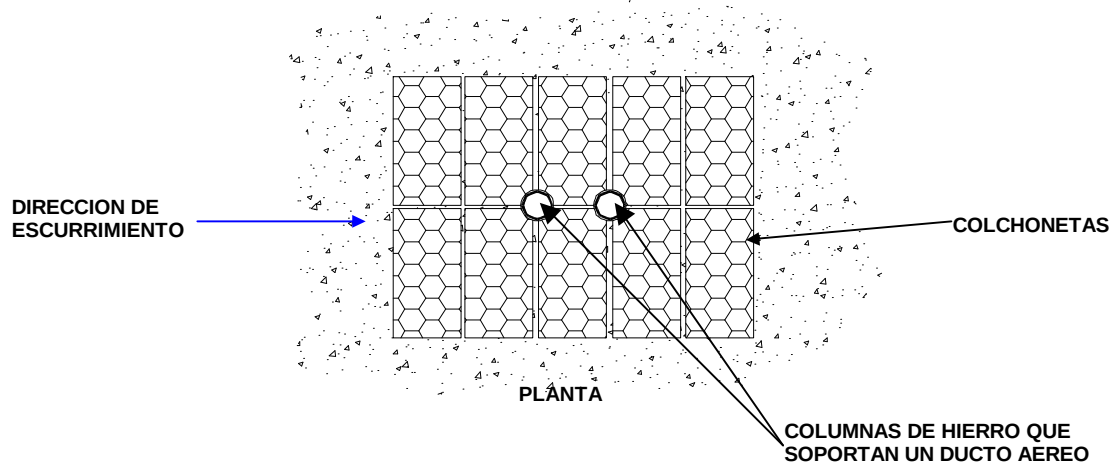
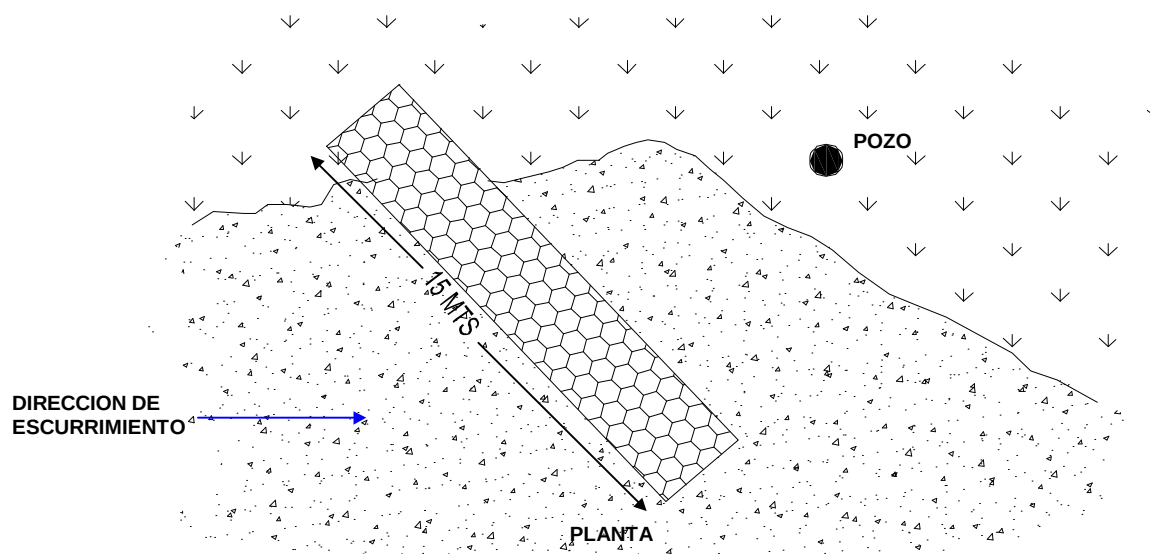


Sección 18 Río de las Piedras Coloradas antes de la obra

Sección 18 Río de las Piedras Coloradas durante la obra



Sección 18 Río de las Piedras Coloradas actualmente

MODELOS DE OBRAS MAS FRECUENTES**PROTECCION CONTRA LA EROSION DE BASES DE COLUMNAS****GAVION A MODO DE ESPIGON**

Dibujó P. Montenegro

Adjunto 5