



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**“ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA EL CANAL PRINCIPAL  
NUEVO DELTA Y MÓDULOS DE RIEGO 10, 11 Y 12,  
DISTRITO DE RIEGO014, RIO COLORADO, ORGANISMO  
DE CUENCA PENINSULA DE B. C.”**

**DESARROLLO DE UN CASO PRÁCTICO**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

**HUGO ALBERTO GONZÁLEZ SERRANO**

ASESOR:

M. en C. LUIS POMPOSO VIGUERAS MUÑOZ



MEXICO 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**“ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA EL CANAL PRINCIPAL  
NUEVO DELTA Y MÓDULOS DE RIEGO 10, 11 Y 12,  
DISTRITO DE RIEGO014, RIO COLORADO,  
ORGANISMO DE CUENCA PENINSULA DE B. C.”**





# Contenido

Introducción	1
I. Antecedentes	5
1.1 Objetivos	14
1.2 Delimitación de la Zona de Estudio	15
II. Estudios Preliminares	16
2.1 Levantamiento Topográfico	17
2.2 Geología Regional	20
2.2.1 Presentación de Resultados por Zona	22
2.3 Mecánica de Suelos	44
2.3.1 Trabajos de Campo y Laboratorio	45
2.3.2 Estratigrafía y Clasificación de Materiales a excavar	59
2.3.3 Problemas encontrados en los Canales	63
III. Fundamentos de Hidráulica de Canales	64
3.1 Flujos de los Canales	65
3.2 Tipos de Flujo	68
3.3 Ecuaciones Fundamentales de la Hidráulica de Canales	75
3.3.1 Ecuación de la Continuidad	75
3.3.2 Ecuación de la Energía	78
3.3.3 Ecuación de la Cantidad de Movimiento	83
IV. Análisis de Alternativas	85
4.1 Análisis por Trazo	90
4.2 Costos por Alternativa	98
V. Conclusiones y Recomendaciones	99
Bibliografía	101





# Introducción

Estado de Baja California Norte es donde se realiza el presente trabajo, específicamente en el municipio de Mexicali, este tiene su ubicación geográfica dada en las coordenadas: 32°43' al Norte, 30°52' al Sur con latitud Norte, 114°42' al Este y con longitud Oeste 115°56' al Oeste.

Actualmente este Distrito de Riego 014 tiene una superficie total de 207,965 Hectáreas comprendiendo 26,647 Hectáreas del Municipio de San Luis Río Colorado, Estado de Sonora y 181,318 Hectáreas del Municipio de Mexicali, Estad de Baja California.

El Cual presenta la problemática de hundimientos sistemáticos con registro inicial en los sismos de Octubre de 1979 y Junio de 1980, desde 0.40 m hasta 2.2 m en los últimos 30 años, en un tramo de 16 km de longitud dificultando por consiguiente el riego.

De acuerdo con los recorridos hechos se considera que la zona por donde deben ser proyectadas las rutas alternativas debe ser desde el nacimiento del Canal Principal Alimentador del Sur, contemplando a su vez el Canal Principal Reforma y el nacimiento del Canal Nuevo Delta, considerando los módulos 10, 11 y 12.

Cabe destacar que con el canal Nuevo Delta se riegan más de 30 mil hectáreas de cultivo y abastece agua a 17 poblados del Valle de Mexicali pertenecientes a los ejidos de Nuevo León, Guerrero, Oaxaca, Nayarit, Sonora y Durango pertenecientes a los Módulos antes mencionados.





El área de estudio se ubica en el Valle de Mexicali, a 25 km al sur – sureste de dicha ciudad y abarca específicamente los ejidos Quintana Roo, Toluca, Saltillo, Veracruz dos, Oaxaca, y Delta

La topografía es muy regular, se caracteriza por amplias planicies de pendientes suaves que se extienden del mar hacia el continente y puntos como la mesa Arenosa, cerro Prieto, cerro El Chinero y cerro Punta El Machorro, con elevaciones de más de 200 m; limitada al oeste por las sierras El Mayor y Las Tinajas, al este por la Sierra El Rosario y el desierto de Altar.

La formación geológica del sitio está constituida por suelos finos de origen fluvio-lacustres, con espesores indeterminados, los cuales forman parte del Delta del Río Colorado, razón por la cual los estratos existentes son relativamente horizontales, y dependiendo de las velocidades de depósito forman estratos intercalados de materiales finos (arcillas y limos) y materiales granulares (arenas).

Con el fin de aportar mayor información del área de estudio, se muestran las principales **zonas de licuefacción** y **áreas de baja capacidad de soporte** expuestas gracias al sismo del 4 de abril de 2010.

De acuerdo a datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), se tienen daños en 600 km de la red menor de canales, 70 km en la red mayor, además de 80 km en los drenes.

Adicionalmente, algunas muestras representativas que determinaron las propiedades índices son las siguientes:





- Límites líquido y plástico
- Contracción lineal
- Porcentaje de finos (menor a malla No. 200)
- Granulometrías

Se realizaron también pruebas mecánicas con muestras integrales, para conocer los pesos volumétricos secos máximos. Estas pruebas fueron las siguientes:

- Prueba de compactación Proctor SCT
- Prueba de compactación Porter

Con base en los resultados de campo y de las pruebas de laboratorio, se puede clasificar al subsuelo con fines de excavación y considerando una excavación de 2.00 m y en forma general como del tipo II.

El sismo del 4 de abril del 2010 provoco daños en la red de canales del valle de Mexicali.

Los principales problemas fueron:

- Desplazamientos laterales (Agrietamiento severo) en bordos de canales.
- Dislocamiento de losas de recubrimiento de los canales
- Asentamientos
- Asentamientos debido al fenómeno de licuación de arenas.
- Desbordamiento de canales debido a fallas o agrietamientos de taludes.





Con el propósito de coadyuvar con los diversos estudios encaminados para la selección de la mejor alternativa, se tomaron en cuenta las siguientes premisas:

- Evitar áreas de subsidencia, licuefacción y fallas más activas
- Económicamente atractiva
- Sin grandes problemas para liberación de paso
- Evitar problemas con otras estructuras o proyectos
- Seguridad y simplicidad en parámetros de control de calidad y de construcción
- Reducido costo operativo y de conservación





# I. Antecedentes

Estado de Baja California Norte es donde se realiza el presente estudio, específicamente en el municipio de Mexicali este tiene su ubicación geográfica dada en las coordenadas: 32°43' al Norte, 30°52' al Sur con latitud Norte, 114°42' al Este y con longitud Oeste 115°56' al Oeste.

Este municipio cuenta con el 18% de la superficie del estado el cual es colindante al Norte con Estados Unidos de América; al Este con Estados Unidos de América, Estado de Sonora y el Golfo de California; al Sur con el Golfo de California y el Municipio de Ensenada; al Oeste con los Municipios de Ensenada y Tecate y con Estados Unidos de América. Véase la Ilustración 1.1 (Fuente: INEGI.)



**Ilustración 1.1** Localización del Municipio de Mexicali





Por otro lado el Distrito de Riego 014, Río Colorado es alimentado por el propio Río Colorado y este tiene una cuenca del orden de los 632,000 kilómetros cuadrados de extensión, de los cuales solo el 0.8% de esta extensa cuenca corresponde a los Estados de Baja California y Sonora, ya que el 99.2% corresponde a la Unión Americana correspondiente a los Estados de Colorado, UTA, Nevada, Arizona, California entre otros.

El Río Colorado presenta una longitud total de 2,250 kilómetros desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Golfo de California y viaja encañonado en más de 1,500 kilómetros; en la actualidad cuenta con una aportación anual de 222,964 millones de metros cúbicos y ha llegado a contar con crecientes en el orden de los 7,940 metros cúbicos por segundo.

Actualmente este Distrito de Riego 014 tiene una superficie total de 207,965 Hectáreas comprendiendo 26,647 Hectáreas del Municipio de San Luis Río Colorado, Estado de Sonora y 181,318 Hectáreas del Municipio de Mexicali, Estad de Baja California.

Se encuentra dividido por 23 Módulos, comprendidos en siete Unidades de Riego, con 13,805 usuarios. Ver tabla 1.1 e Ilustración 1.2.

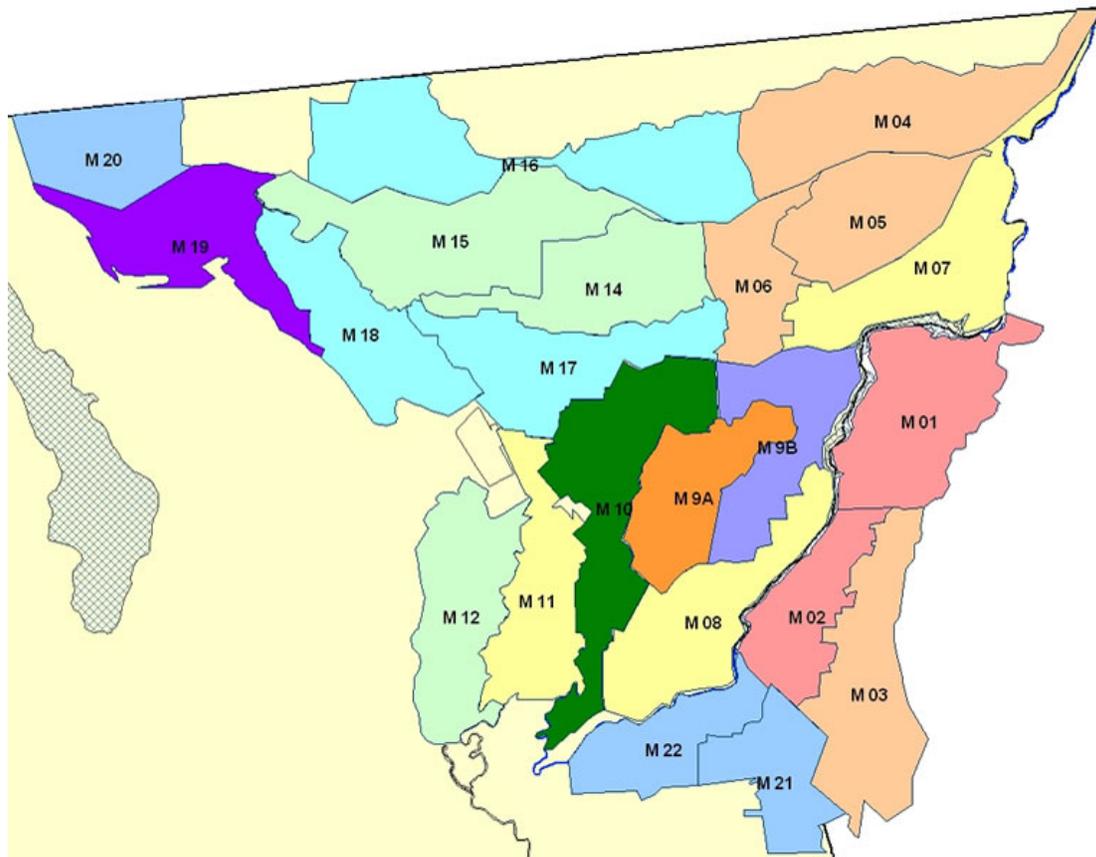




**Tabla 1.1.** Clasificación de los Módulos del Distrito de Riego 014 por Unidades de Riego

<b>Módulos</b>		
<i>Unidades de Riego</i>	<i>Módulos de Riego</i>	<i>Núm. de Usuarios</i>
I	4, 5, 6, 7	1,988.00
II	13, 14, 15, 16	2,599.00
III	1, 2, 3	1,546.00
IV	21, 22	923.00
V	8, 9A, 9B	1,681.00
VI	10, 11, 12	2,449.00
VII	17, 18, 19, 20	13,805.00
Total	23	13,805.00

**Ilustración 1.2.** Localización de los Módulos del Distrito de Riego 014



Análisis Hidráulico para el Canal Principal Nuevo Delta y Módulos de Riego 10, 11 y 12, Distrito de Riego014, Rio Colorado, Organismo de cuenca Península de B.C.





En la siguiente Tabla 1.2 son presentadas las Superficies de mayor importancia para este Distrito de Riego 014

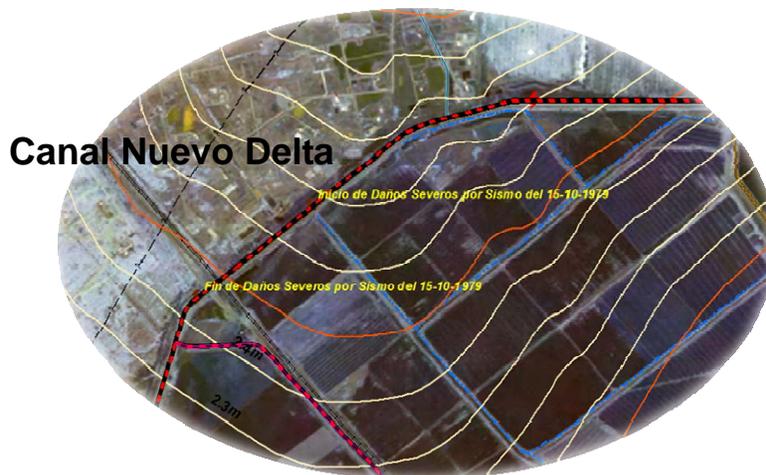
Tabla 1.2 Superficies de Importancia del DR 014

Superficies de Importancia (ha)					
Area Bruta	Area Dominada	Area Regable	Gravedad	Pozos Federales	Pozos Particulares
328,000.00	250,000.00	207,965.00	136,600.00	48,065.00	23,300.00

De tal forma El Canal Principal Nuevo Delta, es uno de los canales principales de la red mayor del Distrito de Riego 014, Rio Colorado, Estados de Baja California y Sonora.

El Cual presenta la problemática de hundimientos sistemáticos con registro inicial en los sismos de Octubre de 1979 y Junio de 1980, desde 0.40 m hasta 2.2 m en los últimos 30 años, en un tramo de 16 km de longitud dificultando por consiguiente el riego. Véase Ilustración 1.3

Ilustración 1.3. Daños sistemáticos





El 4 de abril del 2010, a las 3:40 pm hora local, un sismo con una magnitud de 7.2° en la escala de Richter, se produjo en la Sierra El Mayor – Cucapah. Las replicas del movimiento principal continuaron durante todo el mes subsecuente. El evento principal tuvo un foco estimado a una profundidad de 10 Km y con epicentro en la Sierra del el Mayor, con coordenadas en 32.237°N, 115.083°W. Este sismo se sintió a lo largo del Estado de Baja California y en el Suroeste del California, causando daños en el sur desde del Mar de Cortez hasta la parte norte en el Mar de Saltón. Este ha sido el evento el de mayor magnitud desde 1892.

De acuerdo a la USGS (U.S. Geological Servicio) la intensidad símica fue de IX cerca de la zona de ruptura y de VIII en Mexicali, el sitio más cercano y de mayor población a la zona de falla. La aceleración máxima del terreno que se registro fue en la escuela de McCabe, la cual se encuentra a 5 km de la ciudad de El Centro California. El sismo fracturo la superficie en una longitud de 140 km aproximadamente, comenzando en la punta norte del mar de Cortez con dirección hacia el noroeste y terminando muy cerca de la frontera con los Estados Unidos, identificando desplazamientos en el sentido de la falla, desplazamientos normales y oblicuos.

Se presentaron daños en los Sistemas de Irrigación, Plantas de Tratamiento de Agua, Edificios, Puentes, Presas de Tierra, Carreteras y Caminos. El hundimiento del suelo y el fenómeno de Licuación se presento en gran parte del Valle de Mexicali, provocando que campos cultivados se inundaran, y destruyendo gran parte de la red de canales utilizados para el riego de los campos.





Daños de importancia se registraron en cuatro de los principales canales del Valle de Mexicali: Nuevo Delta, Revolución, Reforma y Alimentador del Sur. Asimismo existen daños en estructuras laterales. El Canal Delta, fundamental en la operación de los distritos de riego de los módulos 10, 11 y 12, sufrió daños en varias zonas. Las principales fallas fueron las siguientes:

**Tabla 1.3.** Referencia de datos de Daños

<b>Tramo</b>		<b>Longitud en km</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Inicio</b>	<b>Final</b>		
7+180	10+800	3.62	Rotura de bordo y daño en losas en plantilla y talud, Represa del km 8+080 presenta agrietamiento en la base
15+200	16+700	1.50	Rotura de bordo y daño en losas en plantilla y talud
17+100	19+200	2.10	Agrietamiento de bordos y daño en losas en losas de plantilla y talud
19+200	20+500	1.30	Agrietamiento de bordos y daño en losas en losas de plantilla y talud

Cabe destacar que con este canal se riegan más de 30 mil hectáreas de cultivo y se abastece agua a 17 poblados del Valle de Mexicali pertenecientes a los ejidos de Nuevo León, Guerrero, Oaxaca, Nayarit, Sonora y Durango pertenecientes a los Módulos 10, 11 y 12. (Véase la Tabla 1.3 e Ilustración 1.4)





Ilustración 1.4. Ubicación de Ejidos afectados.

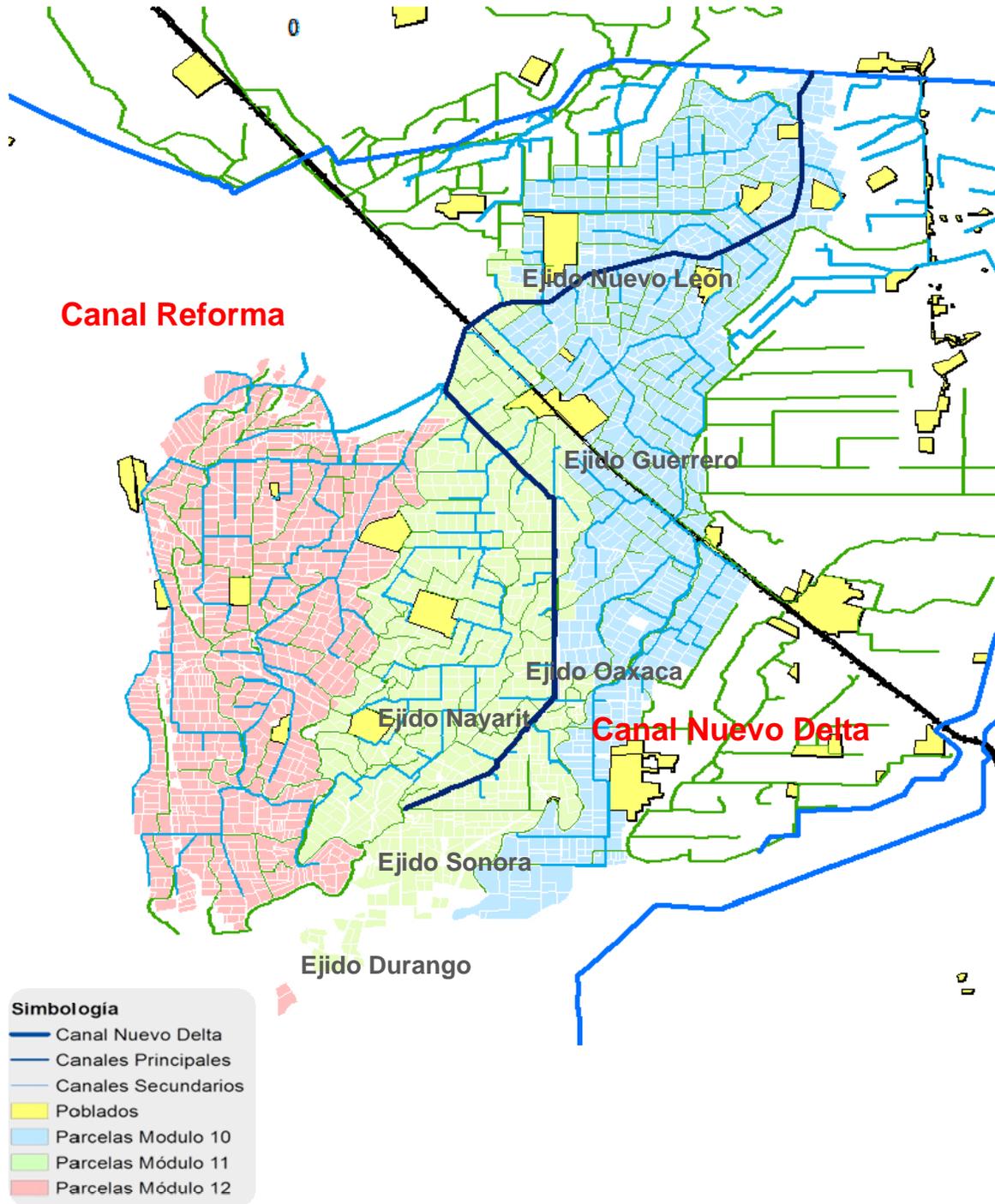


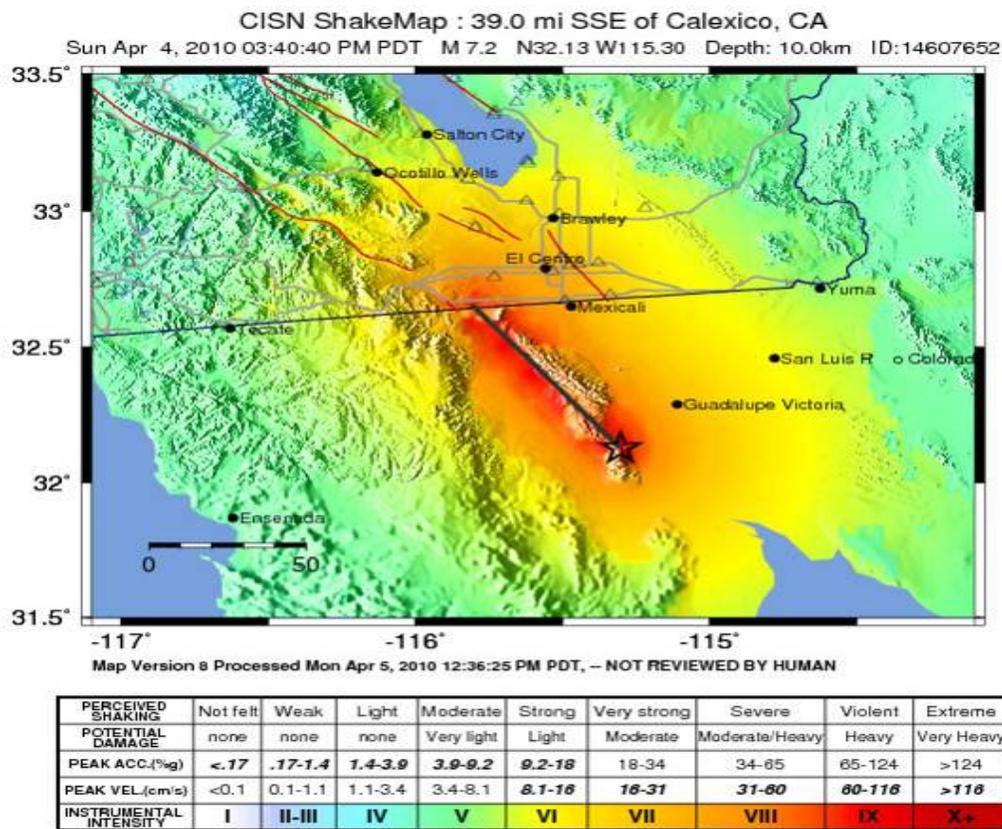


Tabla 1.4. Referencia de superficies dominadas y de riego.

Módulo	Superficie	
	Dominada	De riego
	(ha)	(ha)
10	11,668	11,001
11	9,140	8,656
12	9,400	8,962
Σ=	30,208	28,619

Con epicentro se localizo a 48 km al SSE de Calexico, CA. (Ilustración 1.5), sobre la falla "Laguna Salada" se obtiene el registro de Infraestructura Hidráulica dañada en a red mayor del distrito.

Ilustración 1.5. Localización de epicentro.



Análisis Hidráulico para el Canal Principal Nuevo Delta y Módulos de Riego 10, 11 y 12, Distrito de Riego014, Rio Colorado, Organismo de cuenca Península de B.C.





Con base a lo anterior el Distrito de Riego necesita realizar un nuevo canal que permita abastecer y que cumpla con las condiciones necesarias para tal fin por ello se proponen alternativas para alimentar a la zona de riego de esta parte del Valle de Mexicali.





## 1.1 Objetivos

- Definir rutas más viables para la entrega oportuna y certera de agua requerida.
- Asegurar el abasto de agua a los Módulos 10, 11 y 12.
- Recuperar la red de distribución al interior de los Módulos de Riego 10, 11 y 12.
- Que las rutas sean fáciles en su operación y en su mantenimiento.
- Que facilite la medición y proporcione el ahorro del recurso agua.
- Que las rutas sean versátiles.

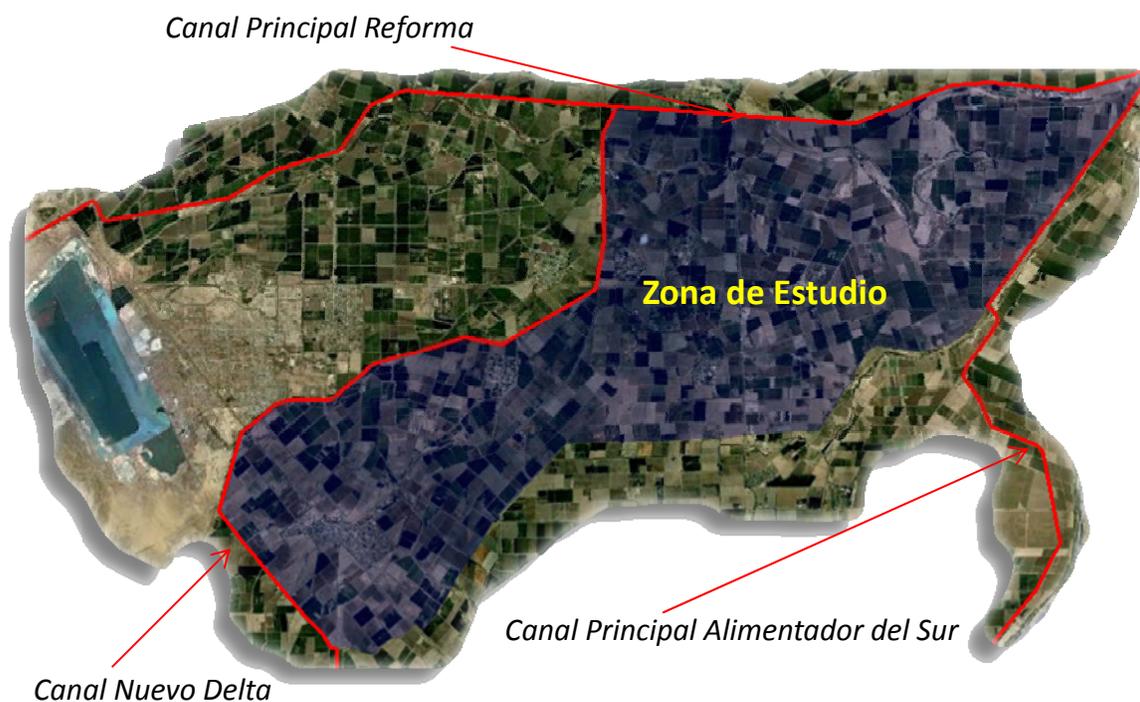




## 1.2 Delimitación de la Zona de Estudio

De acuerdo con los recorridos hechos se considera que la zona por donde deben ser proyectadas las rutas alternativas debe ser desde el nacimiento del Canal Principal Alimentador del Sur, contemplando a su vez el Canal Principal Reforma y el nacimiento del Canal Nuevo Delta, considerando los módulos 10, 11 y 12 como se muestra en la Ilustración 1.6

**Ilustración 1.6.** Determinación de la zona de estudio.

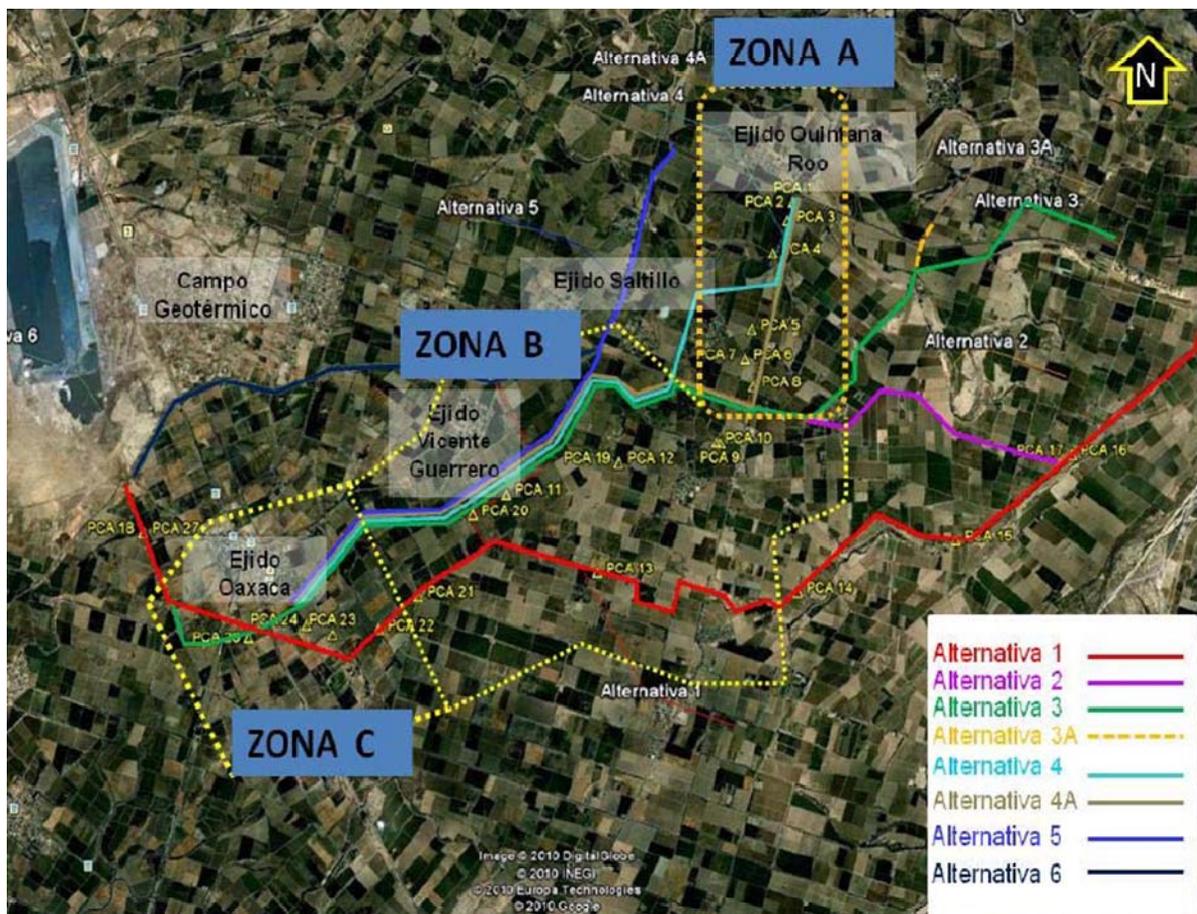




## II. Estudios Preliminares

El área de estudio se ubica en el Valle de Mexicali, a 25 km al sur – sureste de dicha ciudad y abarca específicamente los ejidos Quintana Roo, Toluca, Saltillo, Veracruz dos, Oaxaca, y Delta (Ilustración 2.1), en la figura se muestra adicionalmente las diferentes alternativas para construir el canal. Para facilitar la delimitación del área estudiada.

**Ilustración 2.1.** Se indican las tres zonas principales en las que se subdividió el estudio ZONA A, ZONA B y ZONA C.



Análisis Hidráulico para el Canal Principal Nuevo Delta y Módulos de Riego 10, 11 y 12, Distrito de Riego 014, Rio Colorado, Organismo de cuenca Península de B.C.





## 2.1 Levantamiento Topográfico

La topografía es muy regular, se caracteriza por amplias planicies de pendientes suaves que se extienden del mar hacia el continente y puntos como la mesa Arenosa, cerro Prieto, cerro El Chinero y cerro Punta El Machorro, con elevaciones de más de 200 m; limitada al oeste por las sierras El Mayor y Las Tinajas, al este por la Sierra El Rosario y el desierto de Altar.

De lo anterior se realizaron varias actividades:

- Ubicación de puntos de red de control,
- Establecimiento de puntos de control complementarios,
- Levantamiento de geometría de la infraestructura, véase las Ilustraciones 2.2 y 2.3
- Procesamiento de la Información,
- Planos Topográficos de Planta y Perfil por eje de las Alternativas. Véase la Ilustración 2.4





**Ilustración 2.2.** Ubicación de puntos de red de control

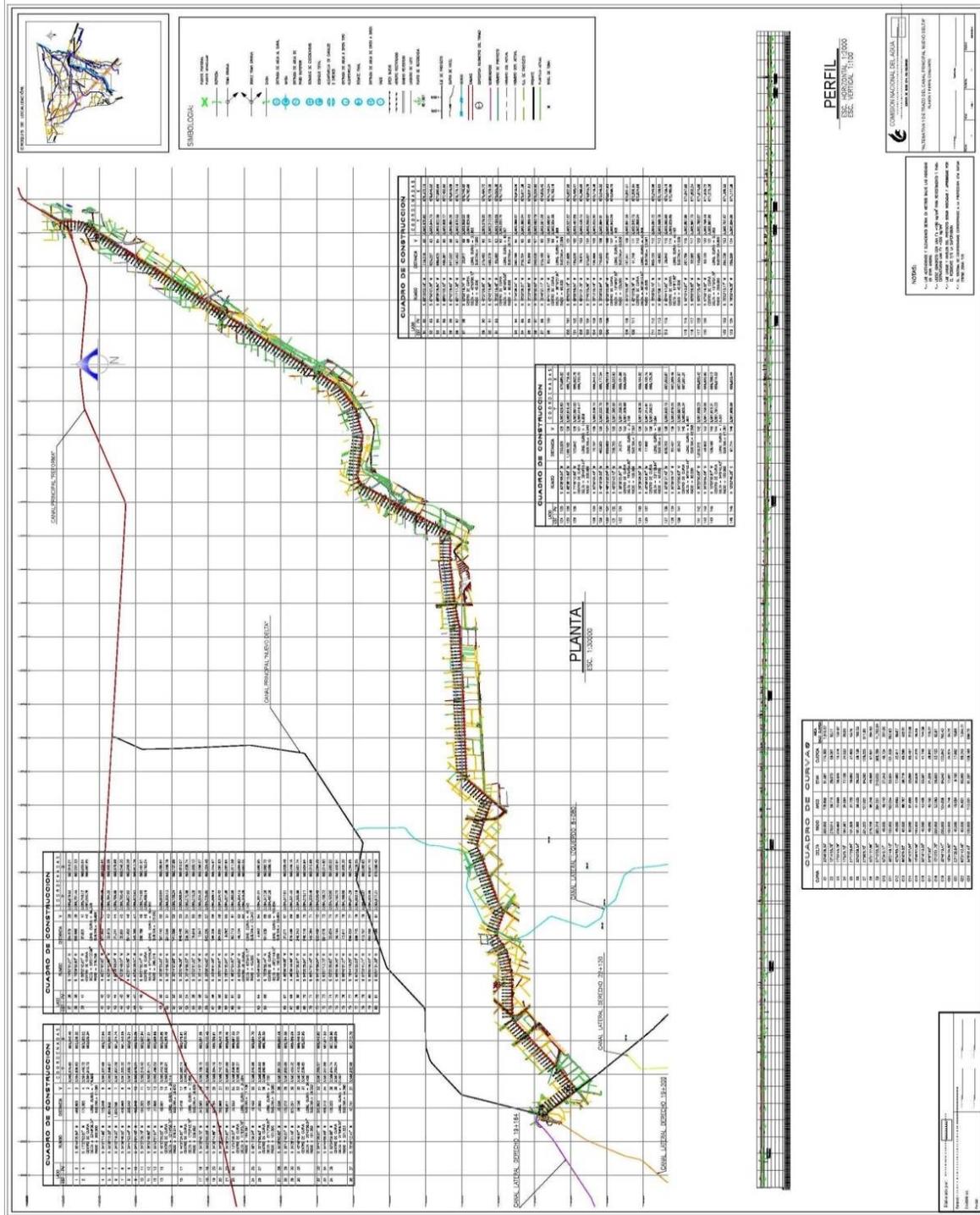


**Ilustración 2.3.** Levantamiento de geometría de la infraestructura





Ilustración 2.4. Planos Topográficos





## 2.2 Geología regional

En el Paleozoico Baja California estaba sumergida en aguas oceánicas muy profundas como lo confirman ciertos descubrimientos, como son los fósiles marinos. Su costa occidental comenzó a emerger a finales del Mesozoico, periodo al que pertenece la mayoría de las rocas que existen en Baja California.

Geológicamente las sierras que rodean al delta están constituidas por granitos y esquistos. En la parte de la sierra de Chocolate, en el norte y, de la Sierra de las Pintas en el sur, se encuentran rocas de origen volcánico y una pequeña porción de la Sierra Cucapah se pueden apreciar calizas metamórficas. El relleno de la depresión en que se encuentra actualmente el delta, se desarrolló desde el mioceno y el cenozoico. En el cuaternario hubo actividad volcánica, como se atestigua con el volcán de Cerro Prieto.

El poder de erosión y acarreo de los minerales transportados por el Río Colorado a través de miles de años y depositados en esta zona, dio origen a una gran planicie, que actualmente comprende el Valle de Imperial, de Yuma, de Mexicali y de San Luis Río Colorado.

La graduación del material depositado en el valle depende de la energía del depósito, por lo que se pueden observar cantos rodados, para seguir progresivamente con grandes capas de grava gruesa, mediana y pequeña; arena gruesa, mediana y fina, limo y por último en las zonas de aguas tranquilas, arcillas.





En general, la formación geológica del sitio está constituida por suelos finos de origen fluvio-lacustres, con espesores indeterminados, los cuales forman parte del Delta del Río Colorado, razón por la cual los estratos existentes son relativamente horizontales, y dependiendo de las velocidades de depósito forman estratos intercalados de materiales finos (arcillas y limos) y materiales granulares (arenas).





## 2.2.1 Presentación de resultados por zona

### *Zona A. Sector Quintana Roo – Toluca*

Este sector se ubica al noreste de la carta Guadalupe Victoria, tiene un área aproximada de 18 Km<sup>2</sup> y se encuentra entre el Ejido Quintana Roo y Veracruz número Dos. (Ilustración 2.5).

**Ilustración 2.5.** Localización de la Zona A, Sector Quintana Roo - Toluca





Se observa que parte de las alternativas 3, 4 y 4 A están dentro de la zona A estudiada. Delimitación de la ZONA A, donde se observa la ubicación de los PCA, sitios de verificación CD y trazaos alternativas que se estudian para el canal proyectado.

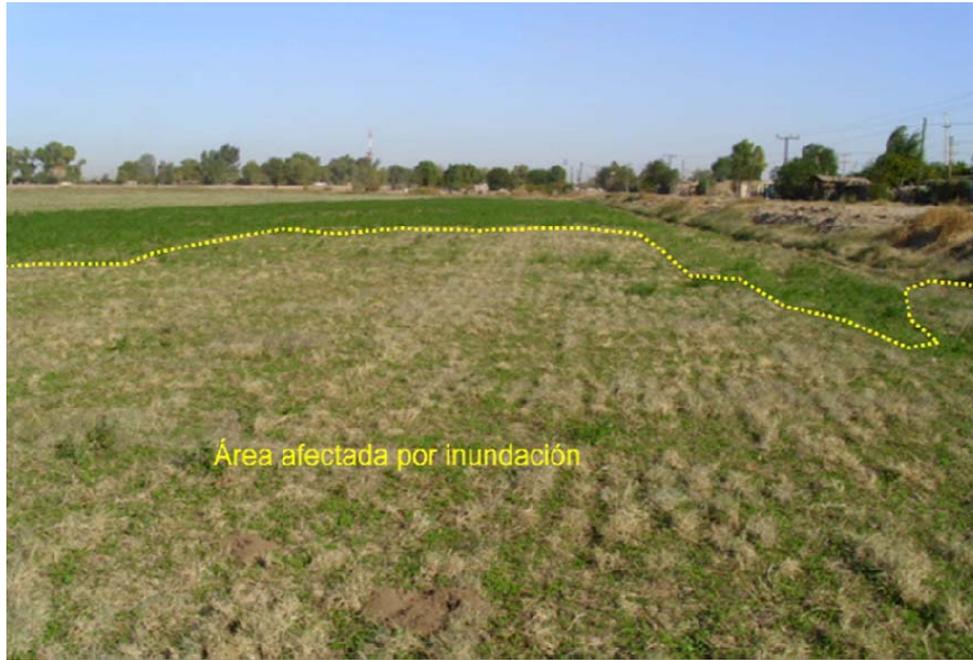
De los levantamientos geológicos se verificaron 45 sitios (CD-1 a CD- 45, TABLA DE BASE DE DATOS ZONA A, Ilustración 2.5). Mediante entrevistas con la comunidad se complemento el estudio para investigar donde había habido evidencias de licuefacción y/o estructuras geológicas, ya que muchas de ellas ya se habían reparado o eliminados con el objeto de continuar con la operación productiva del campo.

Durante el levantamiento se observaron grandes zonas de inundación producto del sistema de riego utilizado y se confirmo que estas zonas se encontraban muy próximas a los canales de riego, se verifico si existía alguna deformación o fracturación y se observo que esta superficie húmeda correspondía a una inundación causado por el sistema de riego utilizado por los agricultores. (Ilustración 2.6)





**Ilustración 2.6.** Se muestra suelo estable sin deformación pero afectadas por inundación debido al desbordamiento de canales de riego.



Durante este estudio se observó que el límite norte donde se encuentra el Canal Principal Reforma que actualmente alimenta correspondiente al Ejido Quintana Roo y la Carretera estatal #3 y 2, no presentan deformación y se considera una zona estable donde únicamente existe *una zona puntual de licuefacción* cuya ubicación se puede verificar en el Anexo ZONA A.

El resultado de lo encontrado para esta zona es que se puede considerar estable con pocas evidencias de deformación, licuefacción y/o inestabilidad de taludes atribuibles al comportamiento del terreno.

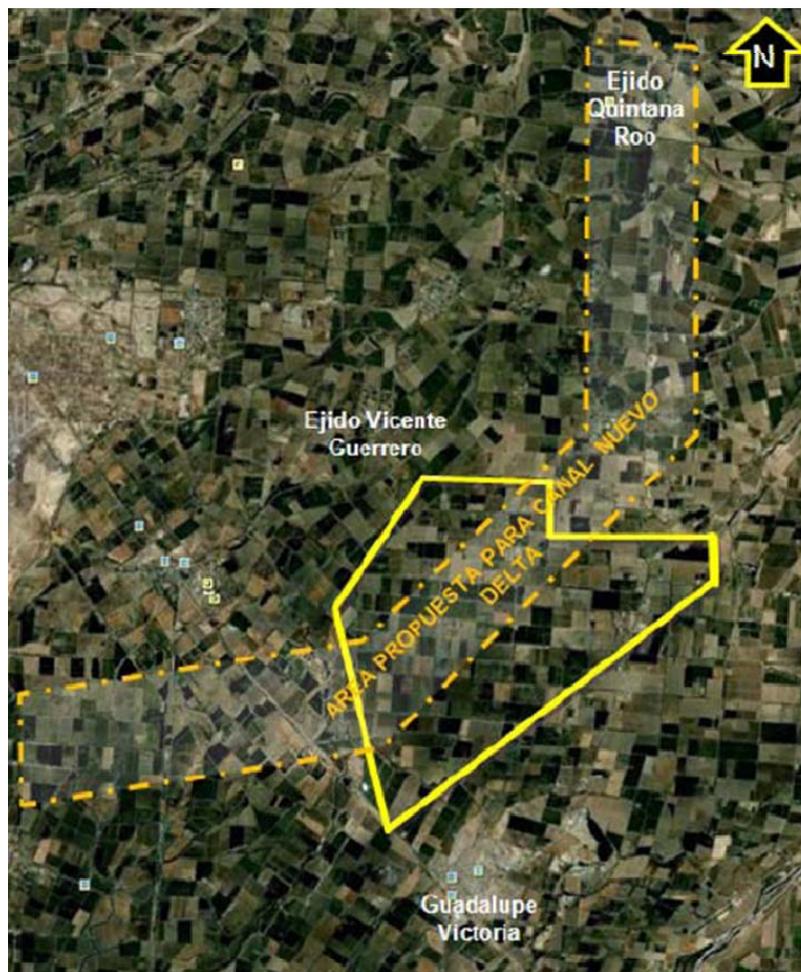




## Zona B. Sector Veracruz - Saltillo

Este sector se ubica en la parte central de la carta Guadalupe Victoria IIID76 de INEGI, se continúa con la misma dirección hacia el sur del Sector Quintana Roo- Toluca hasta los ejidos Veracruz, Saltillo y Guerrero (Ilustración 2.7). En esta zona se realizaron 50 levantamientos con GPS en un área de aproximadamente 48 Km<sup>2</sup>.

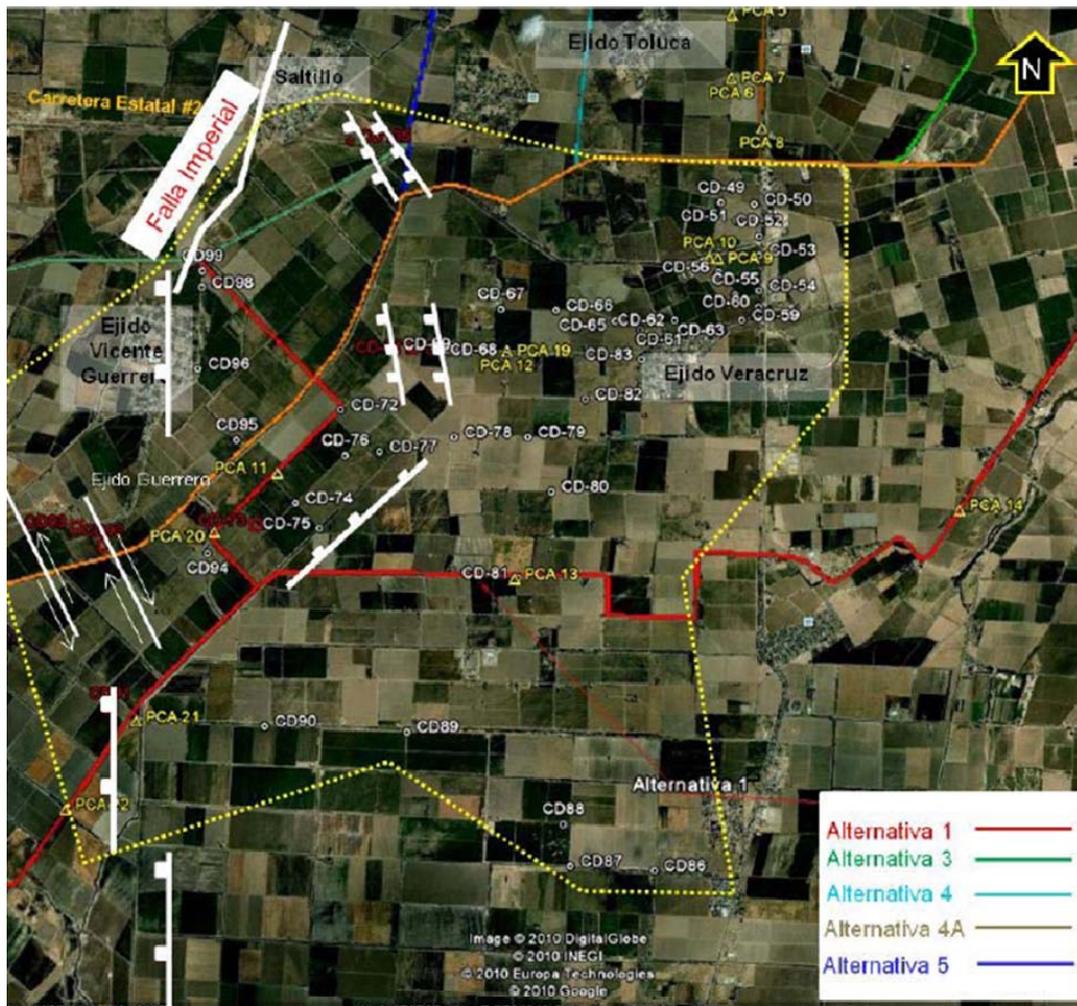
Ilustración 2.7. Localización de la Zona B. Sector Veracruz - Saltillo





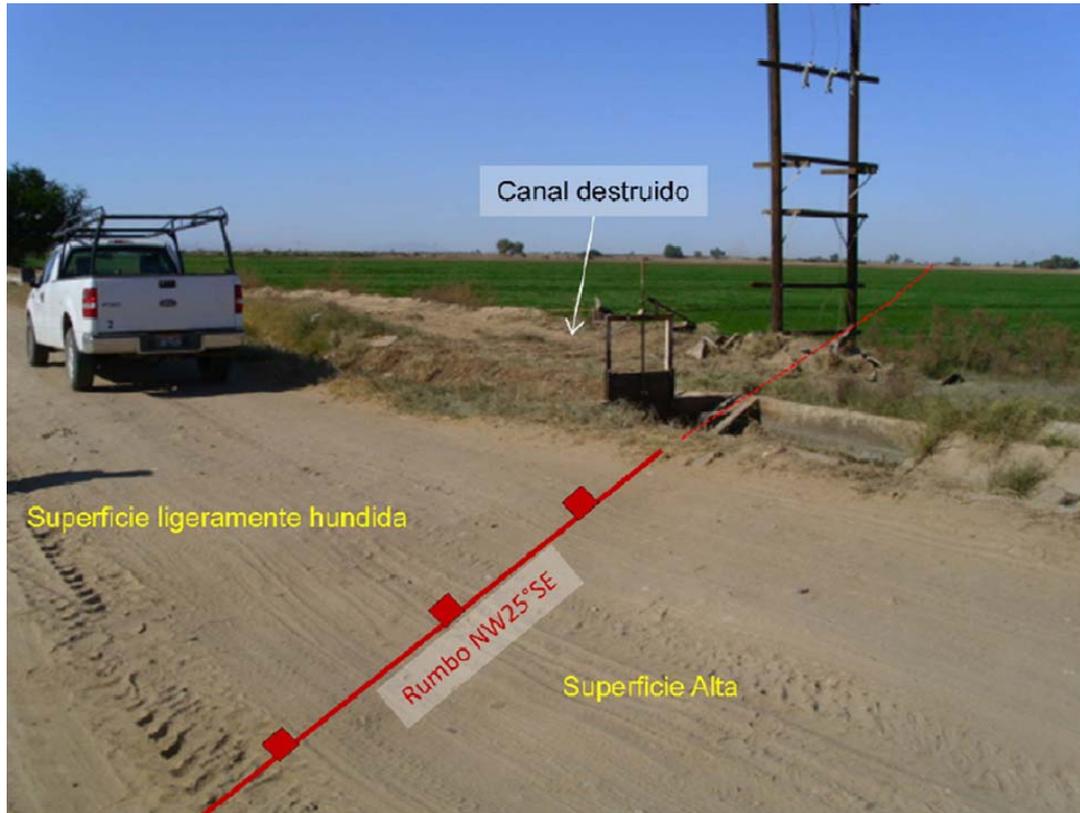
En esta ZONA B, saliendo del Ejido Veracruz No. 2 inician a identificarse las áreas con evidencias de deformación por la trayectoria de la *Falla Regional Imperial*. Las primeras dos estructuras que aparecen en el trayecto son los sitios CD-70 y 71 (Ilustración 2.8 e Ilustración 2.9) donde se observa un canal recientemente reparado donde quedaron vestigios de una falla normal con desplazamiento vertical de 15 a 20 cm, estas fallas tienen un rumbo NW25°SE con buzamiento hacia el SW.

Ilustración 2.8. Localización del Sistema de Fallas.





**Ilustración 2.9.** Canal recientemente reparado donde quedaron vestigios de una falla normal con desplazamiento vertical de 15 a 20 cm.



Se observó que ambas fallas tienen una dirección hacia el ejido Saltillo y que probablemente formen parte de un sistema de fallas conectadas con la falla imperial.

Estas dos fallas se infirieron observando que cambian de dirección  $NW40^{\circ}SE$  y  $NW45^{\circ}SE$  respectivamente y atraviesan el canal Delta número 1 hasta el Ejido Saltillo donde convergen con la falla imperial que tiene una dirección norte sur en el Ejido Vicente Guerrero y cambia de dirección en el canal Delta número 1 y converge con las dos fallas antes mencionadas en el Saltillo, es ahí donde vuelve a cambiar la dirección  $NW40^{\circ}SE$ . (Ilustración 2.8)





En este estudio se observó que a partir del sistema de las fallas NW-SE hacia el Este la superficie del terreno se mantiene estable y sin deformación, sin embargo cuando aparece el sistema NW-SE que en la porción central converge con el sistema de fallas NW-SE inicia una zona donde aparece una superficie inestable con deformación donde inicia la ocurrencia de canales deformados, caminos afectados y estructuras lineales con movimiento lateral derecho e izquierdo. (Ilustraciones 2.8, 2.10 y 2.11).

**Ilustración 2.10.** Desplazamiento de canal. Falla lateral con movimiento hacia la izquierda





Ilustración 2.11. Falla lateral con desplazamiento lateral izquierdo



En toda esta zona también se identificaron zonas inestables como el que se muestra en la Ilustración 2.12, este patrón de deformación se observó a lo largo de canales antiguos que no han sido reparados y que no tienen tráfico de autos, por lo que las deformaciones no han sido alteradas y son fáciles de identificar, tanto en los caminos externos, zonas agrietadas y con colapsos dentro de las paredes del canal.





Ilustración 2.12. Deslizamiento de taludes en canales



Es importante mencionar que los puntos recopilados en campo dentro de este polígono se capturaron en formato Excel (TABLA DE BASE DE DATOS ZONA B), donde se registraron los rumbos y buzamientos de las estructuras que se pudieron reconocer y medir y que servirán de apoyo para determinar las zonas susceptibles a la deformación cuando se pretenda construir el canal nuevo delta.

Comparativamente con la **ZONA A**, esta **ZONA B** es menos estable por la presencia de fallas geológicas que deben ser consideradas para estudiarlas con mayor detalle y establecer su relación con el comportamiento del suelo enfocado a la obra hidráulica proyectada.

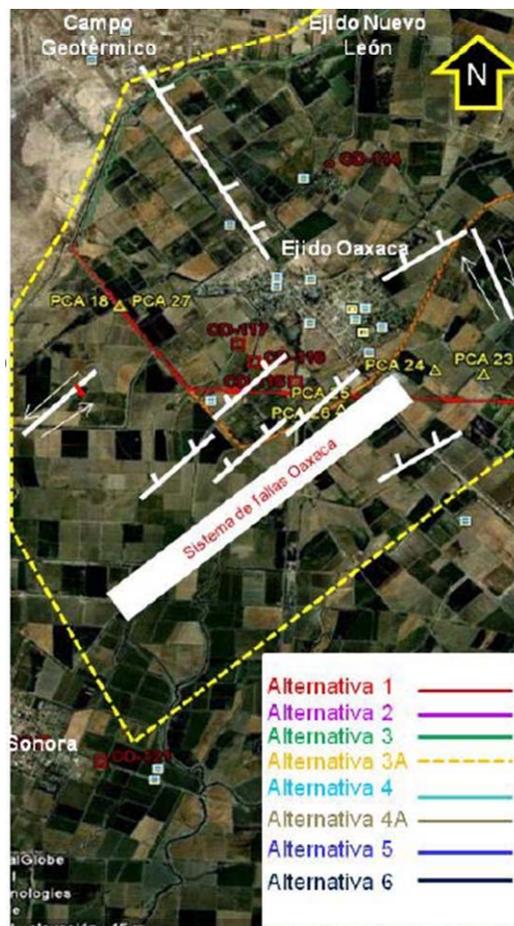




## Zona C. Sector Guerrero - Oaxaca

Este sector se ubica en la porción sureste de la carta Guadalupe Victoria IIID76, tiene un área aproximada de 40 Km<sup>2</sup> y abarca los Ejidos Guerrero, Oaxaca y Delta, donde se conectan la mayoría de los trazos alternativos para el nuevo canal con el Nuevo Delta actualmente en operación. (Véase Ilustración 2.13). Localización del polígono de la **ZONA C** donde se muestran las principales estructuras geológicas responsables de la inestabilidad del terreno en el sector.

Ilustración 2.13. Localización del polígono de la **ZONA C**





Este levantamiento se realizó siguiendo la ubicación de los sondeos (PCA) y se realizaron 24 levantamientos con GPS (TABLA BASE DE DATOS ZONA C). El sistema de fallas Oaxaca es el que impera en esta zona, debido que la orientación predominante es NE-SW y es en esta zona donde existe una falla con movimiento lateral izquierdo que posiblemente interacciona con la falla Cerro Prieto.

El sistema NW-SE ocurre en el área como tipo echelon y un desnivel escalonado hacia el noreste, estas fallas mantienen una dirección entre el Ejido Nayarit y el Sonora y es en esa zona donde parece estar conectadas con el sistema de fallas Oaxaca (Ilustración 2.13).

Varias zonas afectadas fueron prácticamente reparadas por compañías contratistas trabajando para el gobierno, sin embargo existen aún zonas donde podemos visualizar los daños causados por el sismo como se muestra en la Ilustración 2.14 y 2.15 donde fue afectado un canal a la entrada del Ejido Nayarit por la carretera estatal número 10.

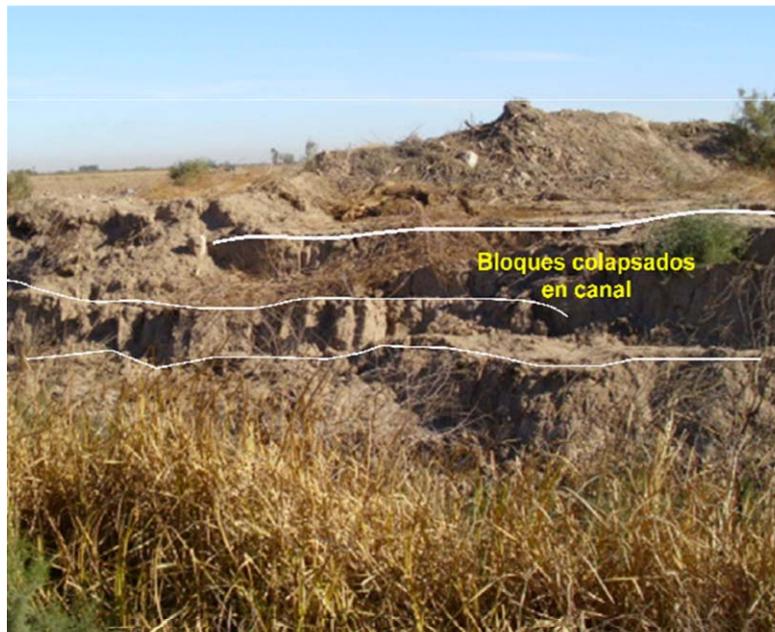




**Ilustración 2.14.** Bordes Colapsados a lo larga de varios canales



**Ilustración 2.15.** Bordes Colapsados a lo larga de varios canales





Para efecto de la toma de decisiones es preciso indicar que la **ZONA C** es la de menor estabilidad comparándola con las otras, ya que tectónicamente es la de mayor actividad por la convergencia del sistema estructural Cerro Prieto, Oaxaca y la actividad de licuefacción que se evidencio durante el pasado sismo del 4 de abril.

Adicionalmente, se recomienda considerar los problemas actuales de operación y estabilidad de talud del canal nuevo Delta derivado de la constante actividad sísmica asociada a las fallas geológicas.

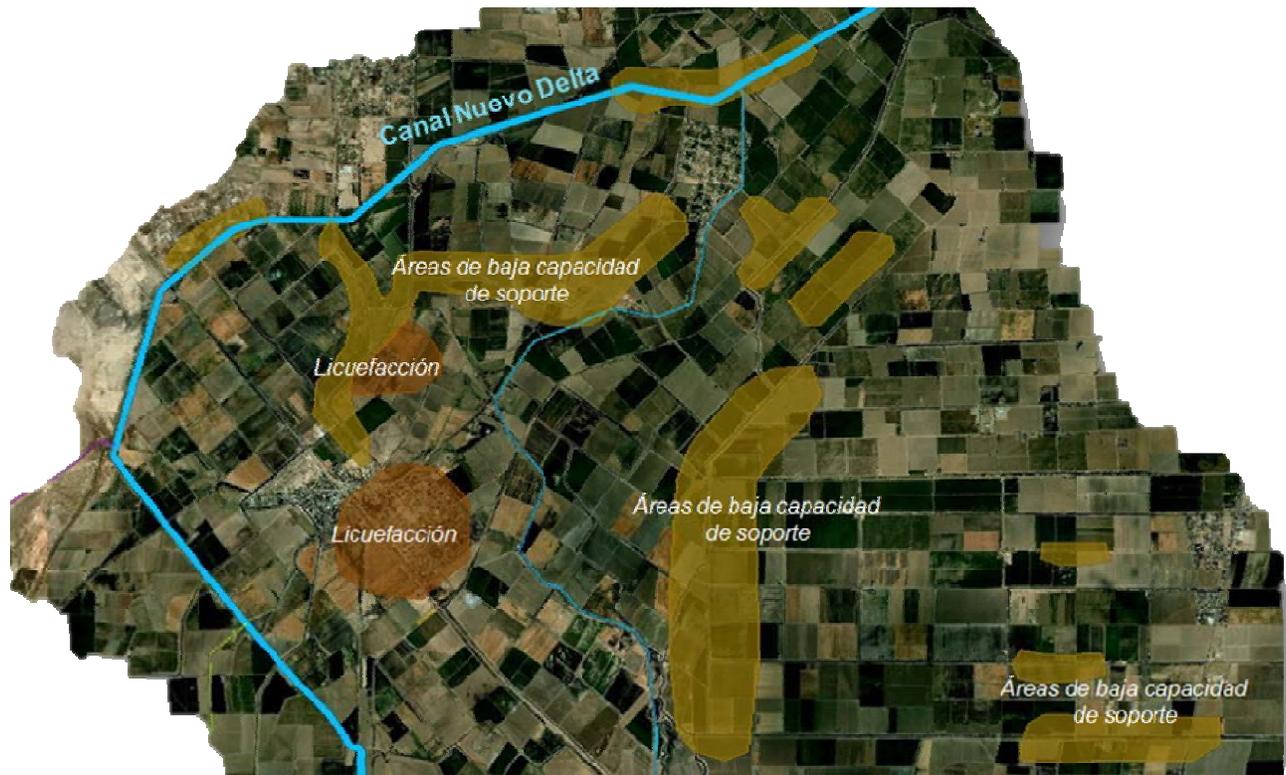
Es importante considerar que a partir de los puntos CD-70 y 71 empieza la zona inestable en todo el trayecto objeto de este estudio. No obstante existen zonas con poca o nula deformación entre las zonas donde pasan las fallas, sin embargo, es muy importante considerar los levantamientos realizados en campo para determinar los las zonas deformadas y llevar a cabo un plan de contingencia administrando el flujo del agua poniendo compuertas entre los intervalos con riesgo, que permitan aislar el agua entre sectores entre fallas.

Con el fin de aportar mayor información del área de estudio, en la Ilustración 2.16 se muestran las principales **zonas de licuefacción** y **áreas de baja capacidad de soporte** expuestas gracias al sismo del 4 de abril de 2010.





Ilustración 2.16. Principales zonas de licuefacción y áreas de baja capacidad de soporte expuestas gracias al sismo del 4 de abril de 2010.





**TABLA DE BASE DE DATOS ZONA A**

Clave	Coordenadas		Observaciones
	Este	Norte	
CD1	681,409.52	3,593,448.62	Suelo estable sin deformación, se hizo recorrido a pie en los alrededores de este punto, así como en el canal ubicado a 20 m al norte, durante la supervisión del terreno se observó que se encuentra una zona estable sin deformación en la porción del canal y en el talud del mismo
CD2	681,245.50	3,593,362.01	Suelo estable sin deformación, se consiguió vía permiso la supervisión de la parcela para buscar zonas con posibilidades de licuefacción y se determinó que esta área se encuentra estable
CD3	681,323.89	3,593,172.96	Suelo estable sin deformación
CD4	681,250.48	3,593,224.61	Suelo estable sin deformación donde se observan marcas de inundación probablemente por derrames ocasionados durante el riego y la siembra
CD5	681,427.06	3,593,130.73	Suelo estable sin deformación, se observa suelo arenoso arcilloso producto de inundaciones ocasionadas por el riego (se puede notar las áreas manchadas en color café)
CD6	681,256.54	3,593,083.04	Suelo estable sin deformación
CD7	681,448.67	3,593,062.25	Suelo estable sin deformación (se observan zonas de inundación producto de desbordes de canal)
CD8	681,430.73	3,592,993.15	Agua producto de desborde de canal (zona de inundación por riego)
CD9	681,444.48	3,592,929.74	Suelo estable sin deformación
CD10	681,273.00	3,592,906.59	Suelo estable sin deformación
CD11	681,316.43	3,592,824.50	Zona con moderada licuefacción (se observaron manchas de arenas y humedad) Alineamiento NE20°SW
CD12	681,259.76	3,592,801.62	Zona con moderada licuefacción (se observaron manchas de arenas y humedad) Alineamiento NE20°SW
CD13	681,243.73	3,592,731.12	Suelo estable sin deformación
CD14	681,405.73	3,592,735.80	Suelo estable sin deformación





**TABLA DE BASE DE DATOS ZONA A (continuación)**

Clave	Coordenadas		Observaciones
	Este	Norte	
CD15	681,319.78	3,592,616.92	Suelo estable sin deformación
CD16	681,431.99	3,592,501.47	Suelo estable sin deformación
CD17	681,238.46	3,592,352.49	Suelo estable sin deformación
CD18	681,486.13	3,592,074.56	Suelo estable sin deformación
CD19	681,261.67	3,591,993.44	Suelo estable sin deformación
CD20	681,544.88	3,591,848.23	Suelo estable sin deformación
CD21	681,346.49	3,591,842.53	Suelo estable sin deformación, zonas con inundación producto de desbordes de canales de riego
CD22	680,940.98	3,591,817.28	Suelo estable sin deformación
CD23	681,499.64	3,591,649.55	Suelo estable sin deformación
CD24	681,493.28	3,591,419.28	Suelo estable sin deformación
CD25	681,212.51	3,591,416.46	Suelo estable sin deformación
CD26	681,248.89	3,591,148.85	Suelo estable sin deformación
CD27	681,252.41	3,590,953.89	Suelo estable sin deformación
CD28	681,255.00	3,590,726.76	Suelo estable sin deformación
CD29	681,258.12	3,590,471.27	Suelo estable sin deformación
CD30	681,539.63	3,591,181.08	Suelo estable sin deformación
CD31	681,552.60	3,590,879.41	Suelo estable sin deformación
CD32	681,560.15	3,590,626.98	Suelo estable sin deformación
CD33	681,577.27	3,590,344.82	Suelo estable sin deformación
CD34	681,279.37	3,590,180.10	Suelo estable sin deformación, zonas con inundación producto de desbordes de canales de riego
CD35	681,260.11	3589778 67	Suelo estable sin deformación
CD36	681,270.66	3,589,443.35	Suelo estable sin deformación
CD37	681,619.24	3,589,516.16	Suelo estable sin deformación
CD38	681,609.82	3,589,705.80	Suelo estable sin deformación
CD39	681,592.98	3,589,973.02	Suelo estable sin deformación
CD40	681,635.56	3,589,278.10	Suelo estable sin deformación
CD41	681,281.46	3,589,135.34	Suelo estable sin deformación
CD42	681,324.03	3,588,904.96	Suelo estable sin deformación
CD43	681,644.84	3,588,994.95	Suelo estable sin deformación
CD44	681,664.79	3,588,740.61	Suelo estable sin deformación
CD45	681,663.41	3,588,567.22	Suelo estable sin deformación





**TABLA DE BASE DE DATOS ZONA A (continuación)**

Clave	Coordenadas		Observaciones
	Este	Norte	
CD46	681,525.53	3,588,468.33	Suelo estable sin deformación
CD47	681,285.06	3,588,659.18	Suelo estable sin deformación
CD48	681,290.69	3,588,470.41	Suelo estable sin deformación





**TABLA DE BASE DE DATOS ZONA B**

Clave	Coordenadas		Observaciones
	Este	Norte	
CD49	681,247.87	3,587,964.04	Suelo estable sin deformación
CD50	681,636.78	3,587,970.44	Suelo estable sin deformación
CD51	681,441.34	3,587,769.22	Suelo estable sin deformación, se superviso el talud del canal
CD52	681,714.85	3,587,607.35	Suelo estable sin deformación
CD53	681,726.87	3,587,389.97	Suelo estable sin deformación
CD54	681,751.29	3,586,981.47	Colapso en canal, zona moderadamente inestable
CD55	681,478.24	3,586,913.31	Suelo estable sin deformación
CD56	681,271.44	3,587,162.80	Suelo estable sin deformación
CD57	681,216.78	3,587,350.91	Suelo estable sin deformación, se superviso alrededor del canal.
CD58	681,317.29	3,586,536.69	Suelo estable sin deformación, se superviso alrededor del canal.
CD59	681,576.93	3,586,628.06	Suelo estable sin deformación, se superviso alrededor del canal.
CD60	681,757.14	3,586,794.23	Suelo estable sin deformación
CD61	681,004.12	3,586,415.96	Suelo estable sin deformación, se superviso alrededor del canal.
CD62	680,797.52	3,586,576.49	Suelo estable sin deformación
CD63	680,722.01	3,586,404.11	Suelo estable sin deformación, se superviso alrededor del canal. Cerca del pozo 347 de CNA
CD64	680,404.34	3,586,449.16	Suelo estable sin deformación, se superviso alrededor del canal
CD65	680,113.17	3,586,524.62	Suelo estable sin deformación, se superviso alrededor del canal
CD66	679,460.91	3,586,607.93	Suelo estable sin deformación, se superviso alrededor del canal. Cerca de un pozo de CNA sin numero
CD67	678,782.72	3,586,578.84	Suelo estable sin deformación, alrededor se observan montículos de arena posiblemente paleo dunas
CD68	678,877.75	3,586,067.26	Suelo estable sin deformación, cerca de los sondeos PCA-12 y 19





**TABLA DE BASE DE DATOS ZONA B (continuación)**

Clave	Coordenadas		Observaciones
	Este	Norte	
CD69	678,332.78	3,586,095.09	Suelo estable con deformación en canal, se encuentra en reparación, cerca del pozo 350 de CNA
CD70	678,004.57	3,586,082.71	Falla normal con desplazamiento vertical de 15 a 20 cm. Con rumbo nw25°se y echado hacia el SW, se observa canal reparado
CD71	677,779.72	3,586,073.92	Falla normal con desplazamiento vertical de 15 a 20 cm. Con rumbo nw25°se y echado hacia el SW, se observa canal colapsado
CD72	677,003.16	3,585,311.36	Suelo moderadamente estable, se observa canales ligeramente deformados
CD73	676,096.80	3,583,923.62	Falla normal NE45°SW, Se observa un canal de riego fracturado con un alineamiento
CD74	676,541.99	3,584,207.31	Suelo inestable con deformación en canal
CD75	676,842.25	3,583,933.62	Suelo ligeramente inestable con ligera deformación en canales y camino
CD76	677,082.57	3,584,784.71	Suelo estable sin deformación sin embargo los canales se observan ligeramente deformados
CD77	677,917.02	3,585,051.46	Suelo estable sin deformación
CD78	678,333.80	3,585,076.84	Se observa como el canal ha sido levantado posiblemente por hundimiento de la zona
CD79	679,183.69	3,585,131.80	Suelo estable sin deformación
CD80	679,495.79	3,584,521.57	Suelo estable sin deformación
CD81	679,169.42	3,583,505.10	Suelo estable sin deformación
CD82	679,820.11	3,585,607.46	Suelo estable sin deformación
CD83	680,441.89	3,586,106.81	Suelo estable sin deformación (dentro de ejido Veracruz)
CD84	679,961.75	3,574,757.97	Falla normal con rumbo nw25se con buzamiento hacia el NE, se observa un desplazamiento vertical de 15 cm aprox. y movimiento lateral izquierdo
CD85	681,456.78	3,577,683.06	Falla normal con rumbo NW40se con buzamiento hacia el SW, actualmente la carretera se encuentra reparada
CD86	680,957.35	3,580,236.32	Superficie ligeramente estable sin deformación





**TABLA DE BASE DE DATOS ZONA B (continuación)**

Clave	Coordenadas		Observaciones
	Este	Norte	
CD87	679,984.70	3,580,225.69	Superficie ligeramente estable sin deformación
CD88	679,869.91	3,580,702.50	Zona donde se muestra el canal completamente destruido, esto ocurrió en el sismo del 4 de abril, actualmente se encuentra en reparación
CD89	677,996.82	3,581,653.50	Superficie ligeramente estable sin deformación
CD90	676,350.87	3,581,614.86	Superficie ligeramente estable sin deformación
CD91	674,544.15	3,581,703.31	Falla normal con rumbo N-S y desnivel hacia el Oeste, esta estructura se encuentra alineada desde esta distancia hacia el ejido guerrero
CD92	674,352.34	3,583,570.82	Falla normal con rumbo N-S y buzamiento hacia el Oeste, esta estructura se encuentra alineada desde esta distancia hacia el ejido guerrero
CD93	674,021.69	3,583,777.53	Se observa una falla con movimiento lateral izquierdo
CD94	675,560.68	3,583,563.23	El suelo en esta región se encuentra muy deformado, no se observa ningún alineamiento, sin embargo en el canal externo se observan colapsos
CD95	675,818.14	3,584,887.01	Se observan colapsos en el canal aledaño
CD96	675,322.24	3,585,678.77	Canal ligeramente destruido
CD97	674,929.93	3,585,683.99	Falla normal (cancha de basquetbol) con rumbo nortesur con echado hacia el oeste. Con movimiento lateral izquierdo
CD98	675,307.07	3,586,618.56	Canal colapsado y actualmente en reparación
CD99	675,299.48	3,586,805.65	El canal se encuentra sin revestimiento de concreto y se observa que el canal se ensancho debido a un movimiento lateral izquierdo





**TABLA DE BASE DE DATOS ZONA C**

Clave	Coordenadas		Observaciones
	Este	Norte	
CD100	675,166.69	3,586,915.24	Falla normal con rumbo NE40°SW con desnivel hacia el NW. Colapso de canal en el sismo del 31 de octubre, actualmente reparado
CD101	672,532.75	3,583,370.61	Se observa una falla con movimiento lateral derecho con dirección NW25°SE
CD102	673,977.60	3,580,290.27	Se observa una falla con movimiento lateral derecho con dirección NW10°SE
CD103	673,954.97	3,577,304.78	Falla normal con dirección NE40°SW y echado hacia el noroeste
CD104	673,267.00	3,579,138.70	Falla normal con rumbo NE25°SW con desnivel hacia el noroeste
CD105	671,965.83	3,579,054.16	Falla normal con rumbo NE50°SW con desnivel hacia el noroeste
CD106	671,464.14	3,579,965.20	Sistema de fallas paralelas NW30°SE con desnivel hacia el noreste
CD107	670,347.00	3,581,628.01	Falla normal con rumbo NE65°SW con horizontal hacia el NW
CD108	671,651.66	3,581,990.48	Falla normal con rumbo NE60°SW con horizontal hacia el noroeste
CD109	670,077.00	3,582,084.01	Falla normal con rumbo NE60°SW y horizontal 20° NW
CD110	669,881.00	3,582,796.01	Falla normal con rumbo NW25°SE con horizontal hacia el NE
CD111	670,127.00	3,583,076.00	Falla normal con rumbo NW25°SE con horizontal hacia el NE
CD112	670,182.00	3,583,135.00	Falla normal con rumbo NW25°SE con horizontal hacia el NE
CD113	670,266.00	3,583,389.00	Falla normal rumbo NW63°SE y horizontal hacia el SE
CD114	670,505.10	3,583,409.34	Falla normal con rumbo NE30SW con horizontal hacia el SE, en las casas aledañas se encuentran completamente destruidas a causa del sismo





**TABLA DE BASE DE DATOS ZONA C (continuación)**

Clave	Coordenadas		Observaciones
	Este	Norte	
CD115	670,221.87	3,579,733.61	Falla normal con rumbo NE35°SE con desnivel hacia el noroeste
CD116	669,592.21	3,580,028.84	Falla normal con rumbo NE35°SE con desnivel hacia el noroeste
CD117	669,338.75	3,580,310.33	Falla normal con rumbo NE35°SE con desnivel hacia el noroeste
CD118	665,123.66	3,576,666.50	Falla normal NW30°SE con desnivel hacia el noroeste, con movimiento lateral derecho, esta falla se encuentra en el ejido Nayarit
CD119	664,657.81	3,576,415.70	Falla normal NW30°SE con desnivel hacia el NW, esta falla se encuentra en el ejido Nayarit
CD120	663,426.85	3,576,566.99	Falla normal NW30°SE con desnivel hacia el NW.
CD121	667,756.76	3,573,240.71	Falla normal NW30°SE con desnivel hacia el noroeste, esta falla se encuentra en las afueras del ejido sonora
CD122	666,888.84	3,573,503.81	Falla normal NW30°SE con desnivel hacia el noroeste, esta falla se encuentra dentro del ejido sonora
CD123	661,730.55	3,576,547.90	Falla normal orientada NW25°SE y desnivel NE con movimiento lateral izquierdo
CD124	661,003.47	3,577,818.10	Falla normal orientada NW25°SE y desnivel NE con movimiento lateral derecho





## 2.3 Mecánica de Suelos

El estudio tuvo como objetivo conocer la estratigrafía y los parámetros de resistencia del subsuelo, para con ellos generar las recomendaciones desde el punto de vista geotécnico, deberán considerarse como información preliminar para la selección de las posibles soluciones para las fallas sufridas por los canales.

El Valle de Mexicali se encuentra localizado en el extremo noreste del estado mexicano de Baja California y está conformado por el curso bajo del Rio Colorado, se extiende desde la frontera entre Estados Unidos y México hasta el delta del río en el Golfo de California y desde el mismo río hasta la Sierra de Juárez; al otro lado de la frontera, en Estados Unidos, en valle recibe la denominación de Valle Imperial.

De acuerdo a datos de CONAGUA, se tienen daños en 600 km de la red menor de canales, 70 km en la red mayor, además de 80 km en los drenes.

Se pretende una revisión general de los daños sufridos en la red menor de canales, y las causas de su origen, para con ellos recomendar posibles soluciones a realizar.





## 2.3.1 Trabajos de Campo y Laboratorio

### *A. Trabajos de Campo*

Los trabajos exploratorios a lo largo del trayecto consistieron en la ejecución de 10 pozos a cielo abierto (PCA's), localizados como se muestra en la figura 4. Los sondeos se llevaron hasta una profundidad máxima de 3.50 m y/ó hasta donde el material o el nivel freático lo permitió.

La inspección geotécnica de los PCA's consistió en el levantamiento del perfil estratigráfico del pozo; se anotó para cada estrato el tipo de suelo, el espesor, así como su consistencia ó compacidad según el tipo de suelo. En los estratos arcillosos se realizó una prueba con torcómetro manual para conocer de manera expedita la resistencia no drenada al esfuerzo cortante del subsuelo.





## ***B. Trabajos de Laboratorio***

Todas las muestras obtenidas se clasificaron en campo y fueron enviadas a nuestro laboratorio de mecánica de suelos en esta Ciudad, donde fueron identificadas y clasificadas según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), además de determinar su contenido natural de agua.

Adicionalmente, algunas muestras representativas que determinaron las propiedades índice que son las siguientes:

- Límites líquido y plástico
- Contracción lineal
- Porcentaje de finos (menor a malla No. 200)
- Granulometrías

Se realizaron también pruebas mecánicas con muestras integrales, para conocer los pesos volumétricos secos máximos. Estas pruebas fueron las siguientes:

- Prueba de compactación Proctor SCT
- Prueba de compactación Porter

Los resultados de las pruebas mencionadas aparecen en las Ilustraciones 2.17 a 2.28, que a continuación se muestran.





Ilustración 2.17. Localización de los Pozos a Cielo Abierto (PCA).

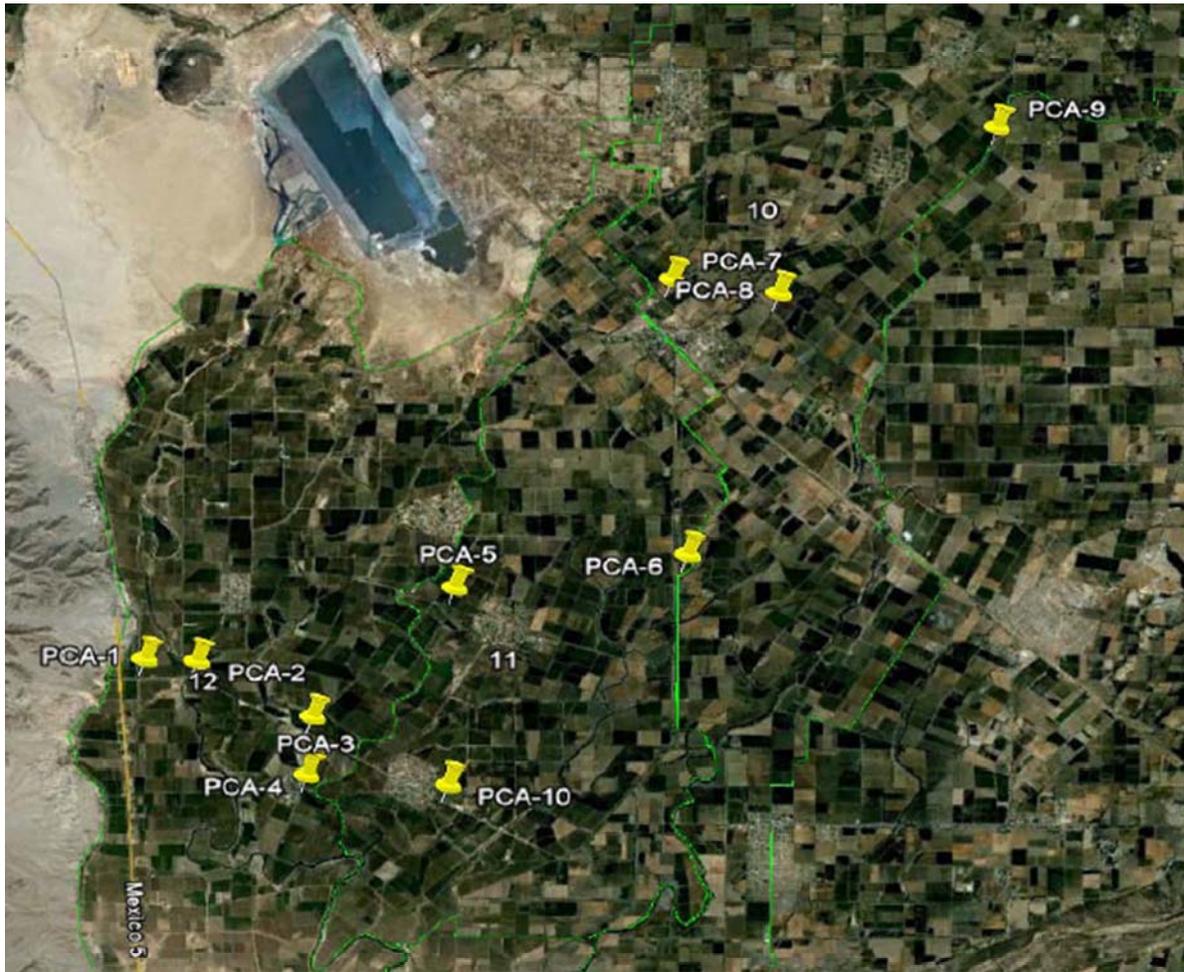
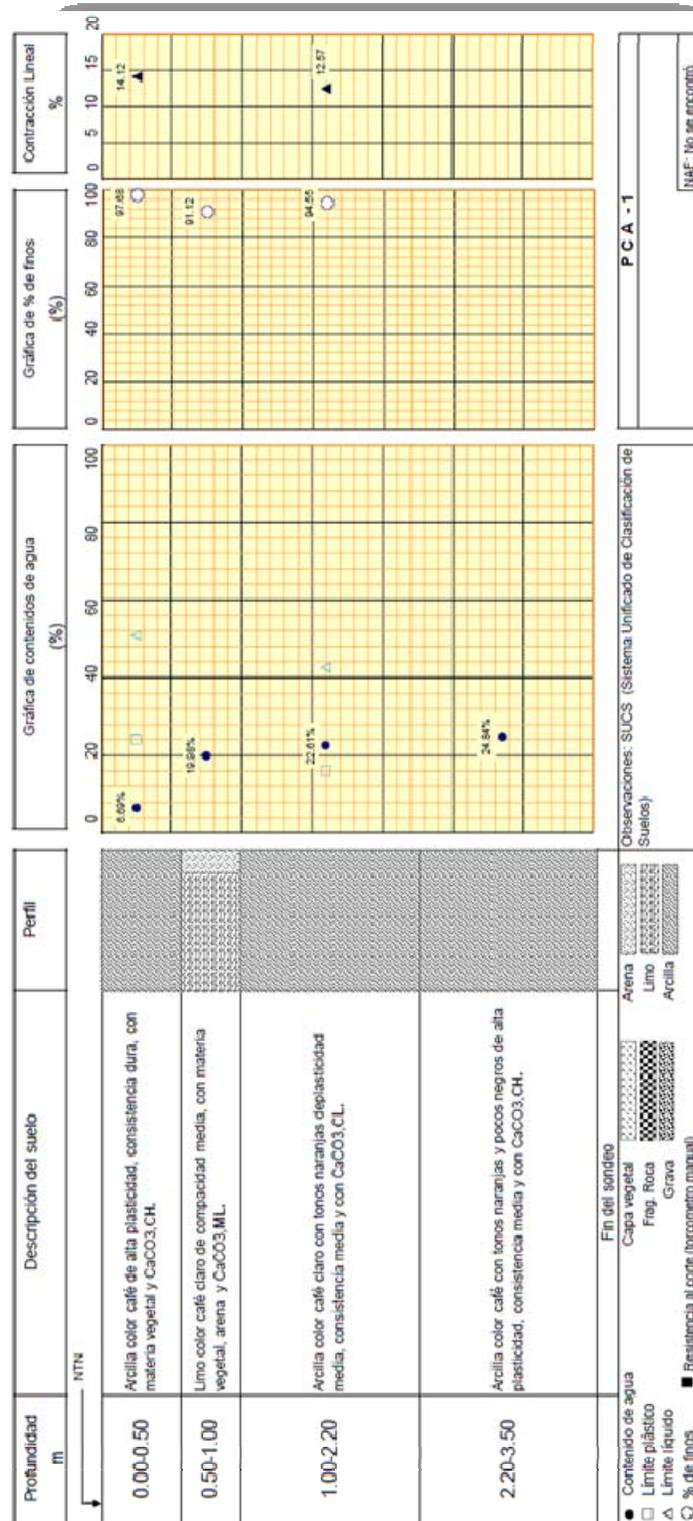




Ilustración 2.18. Tabla de resultados del PCA-1

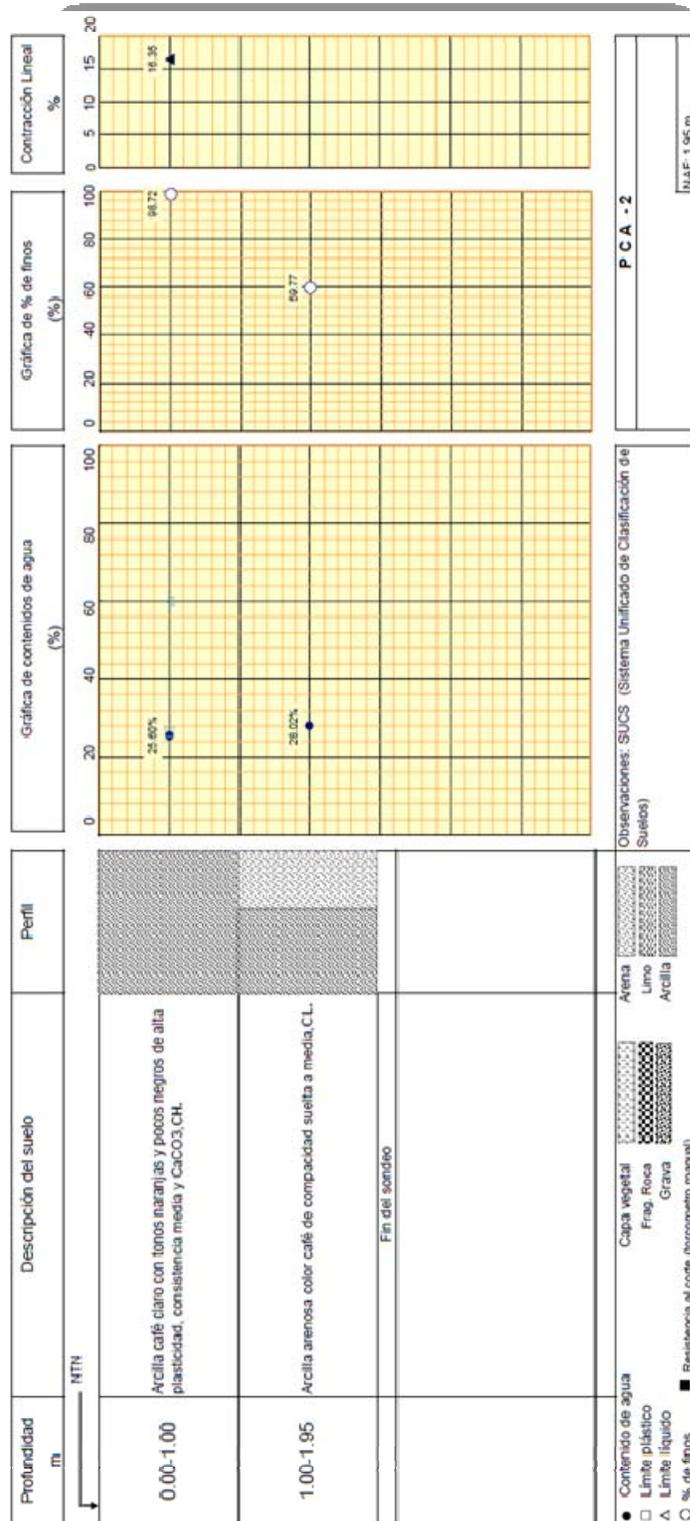


Análisis Hidráulico para el Canal Principal Nuevo Delta y Módulos de Riego 10, 11 y 12, Distrito de Riego014, Rio Colorado, Organismo de cuenca Península de B.C.





Ilustración 2.19. Tabla de resultados del PCA-2

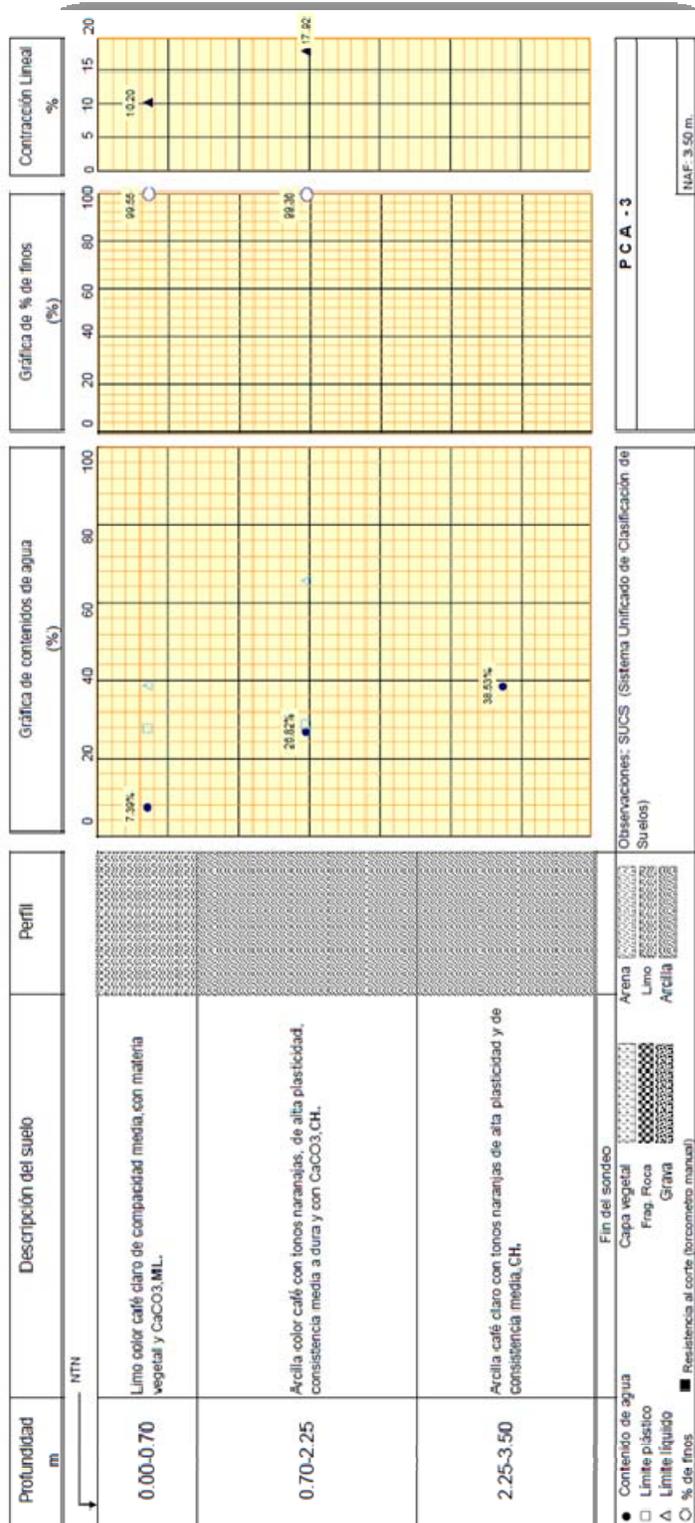


Análisis Hidráulico para el Canal Principal Nuevo Delta y Módulos de Riego 10, 11 y 12, Distrito de Riego 014, Rio Colorado, Organismo de cuenca Península de B.C.





Ilustración 2.20. Tabla de resultados del PCA-3



Análisis Hidráulico para el Canal Principal Nuevo Delta y Módulos de Riego 10, 11 y 12, Distrito de Riego014, Rio Colorado, Organismo de cuenca Península de B.C.





Ilustración 2.21. Tabla de resultados del PCA-4

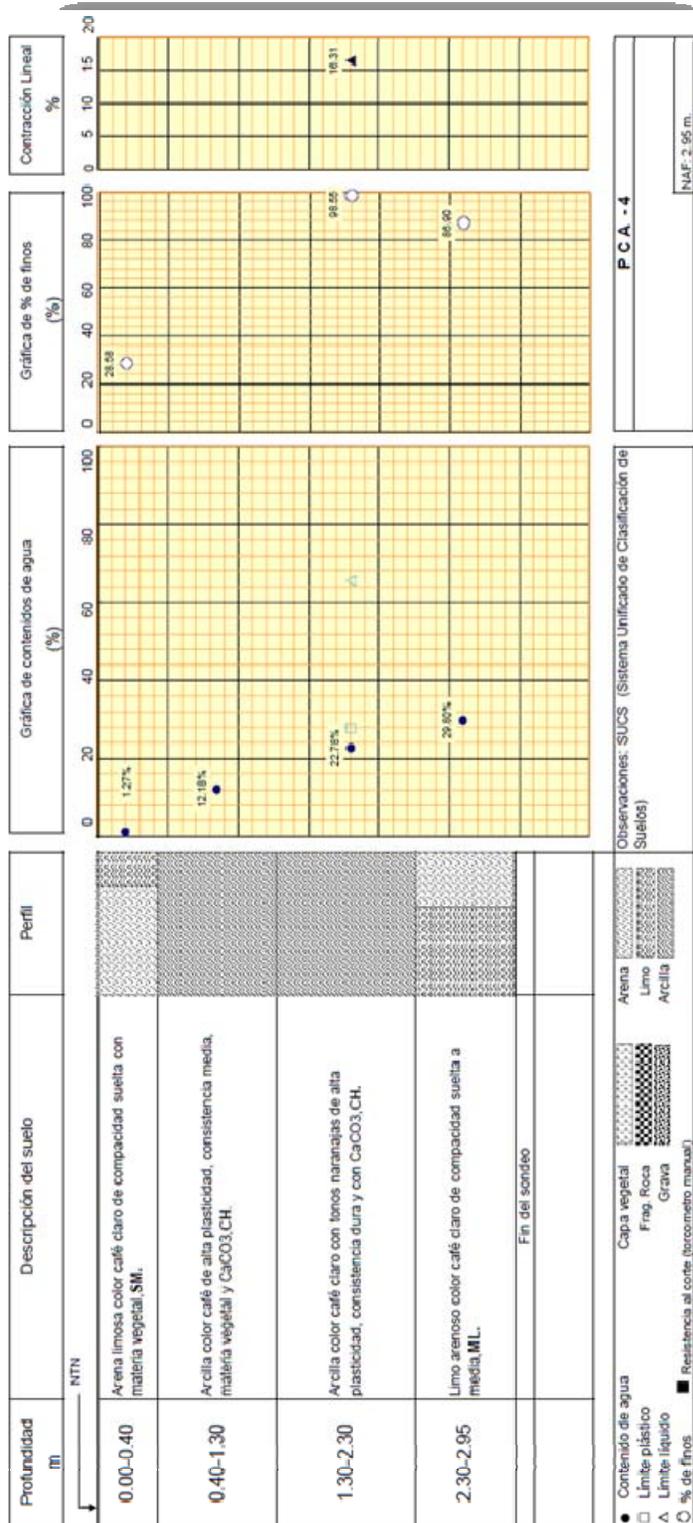




Ilustración 2.22. Tabla de resultados del PCA-5

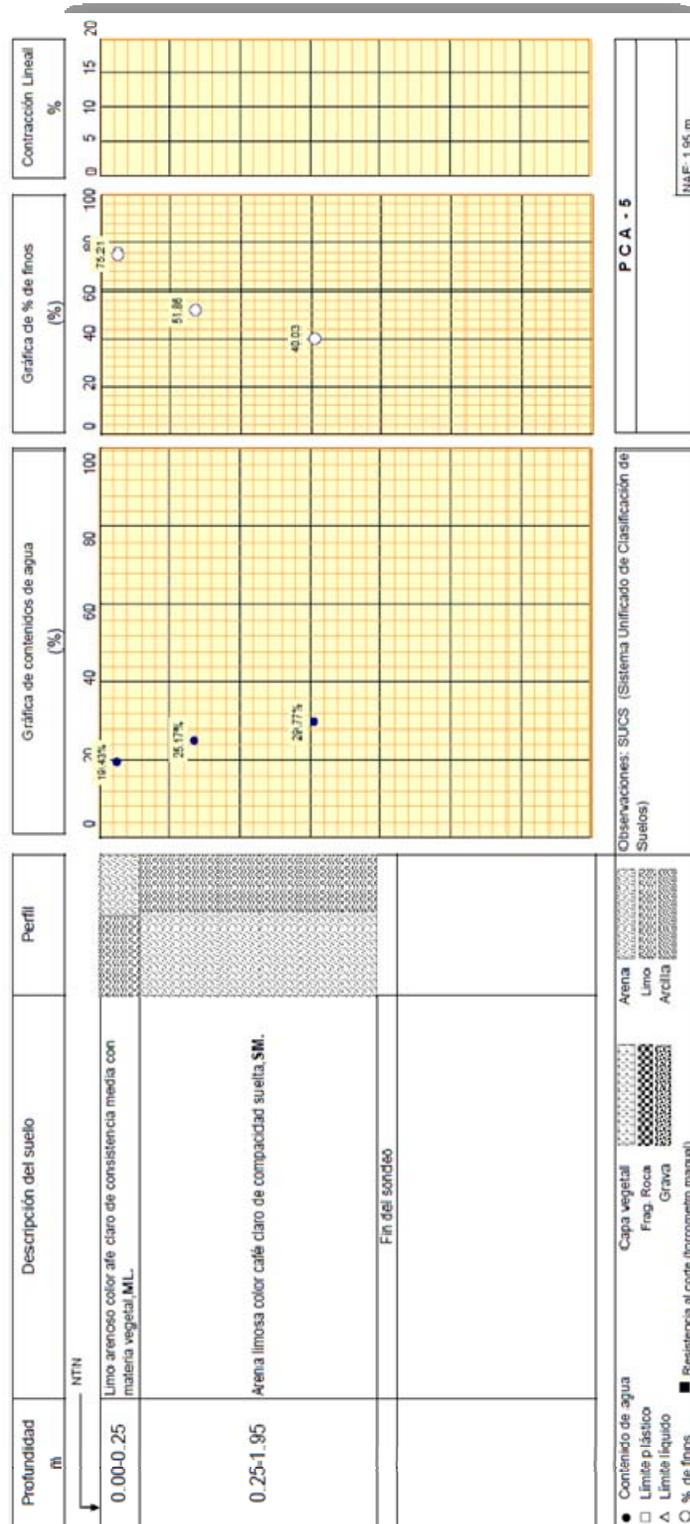
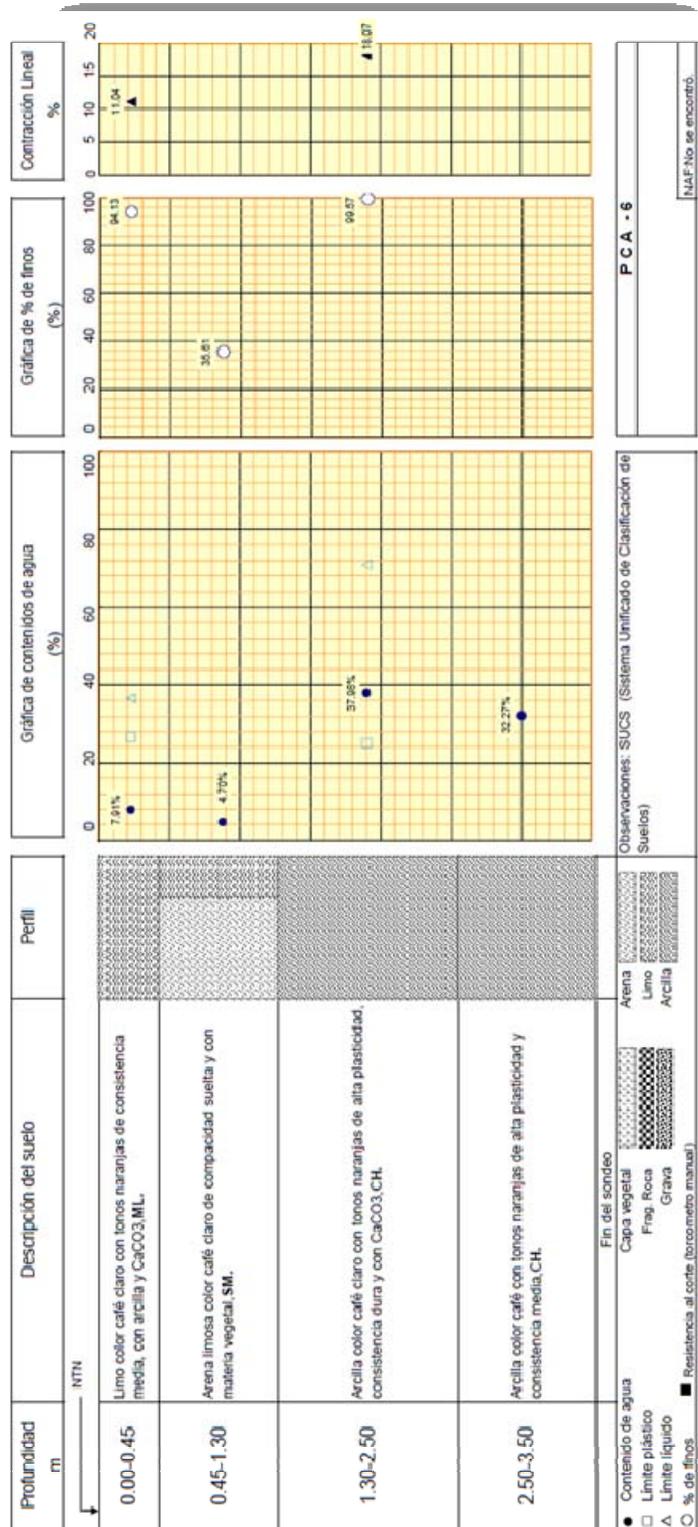




Ilustración 2.23. Tabla de resultados del PCA-6



Análisis Hidráulico para el Canal Principal Nuevo Delta y Módulos de Riego 10, 11 y 12, Distrito de Riego 014, Rio Colorado, Organismo de cuenca Península de B.C.





Ilustración 2.24. Tabla de resultados del PCA-7

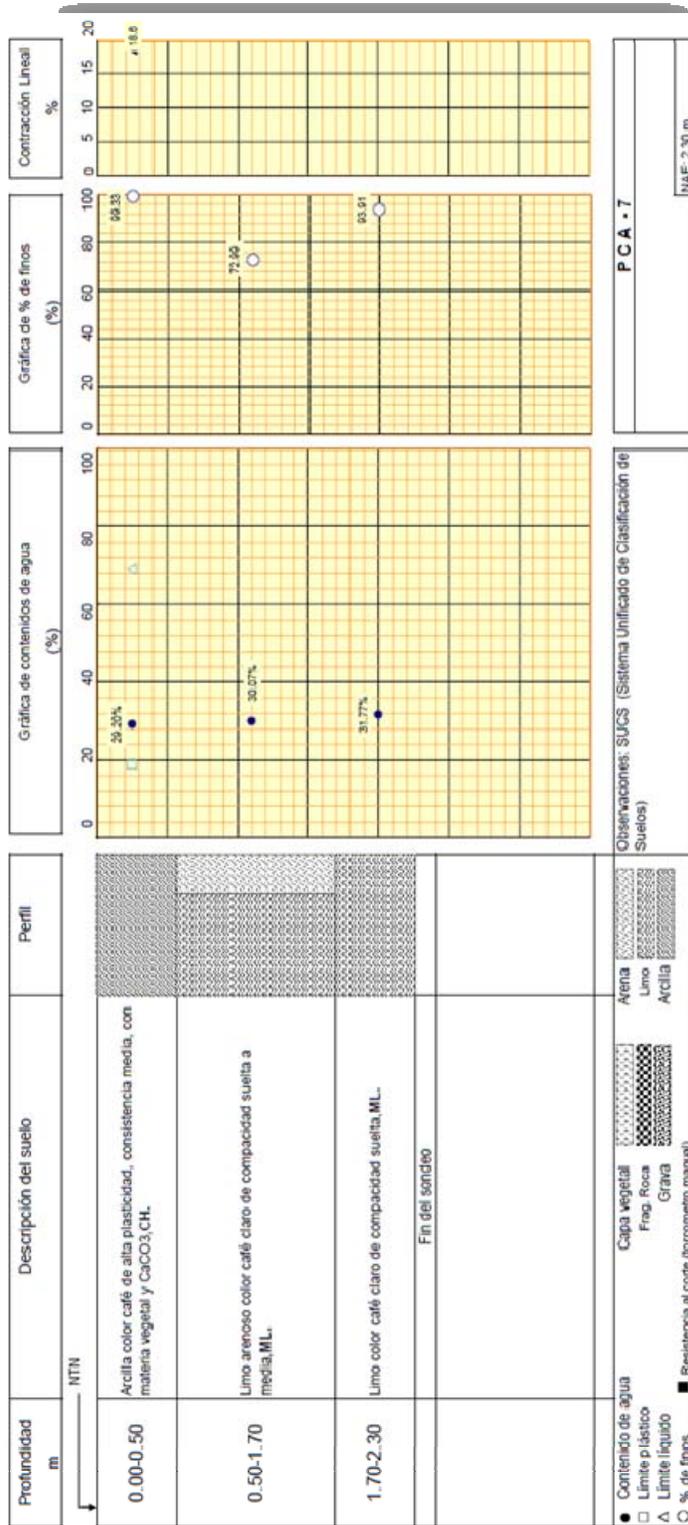




Ilustración 2.25. Tabla de resultados del PCA-8

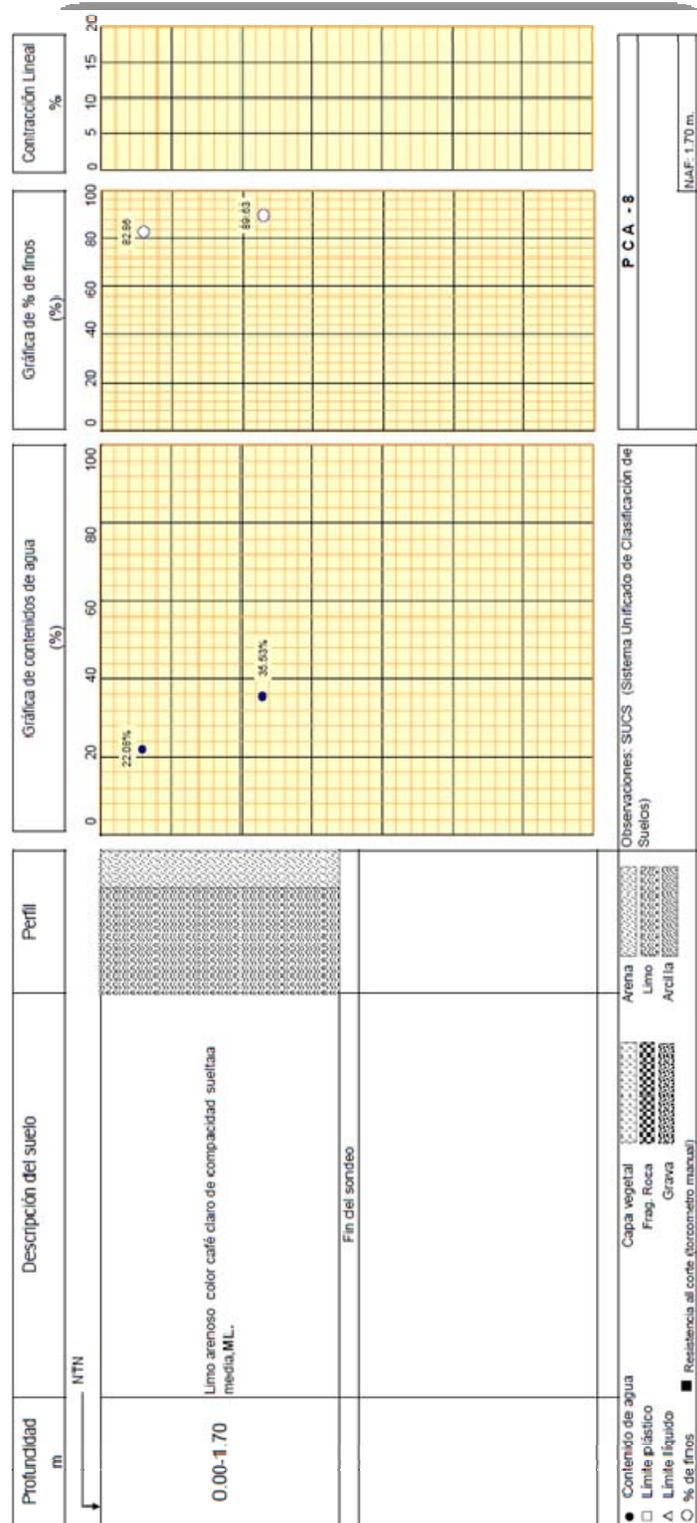
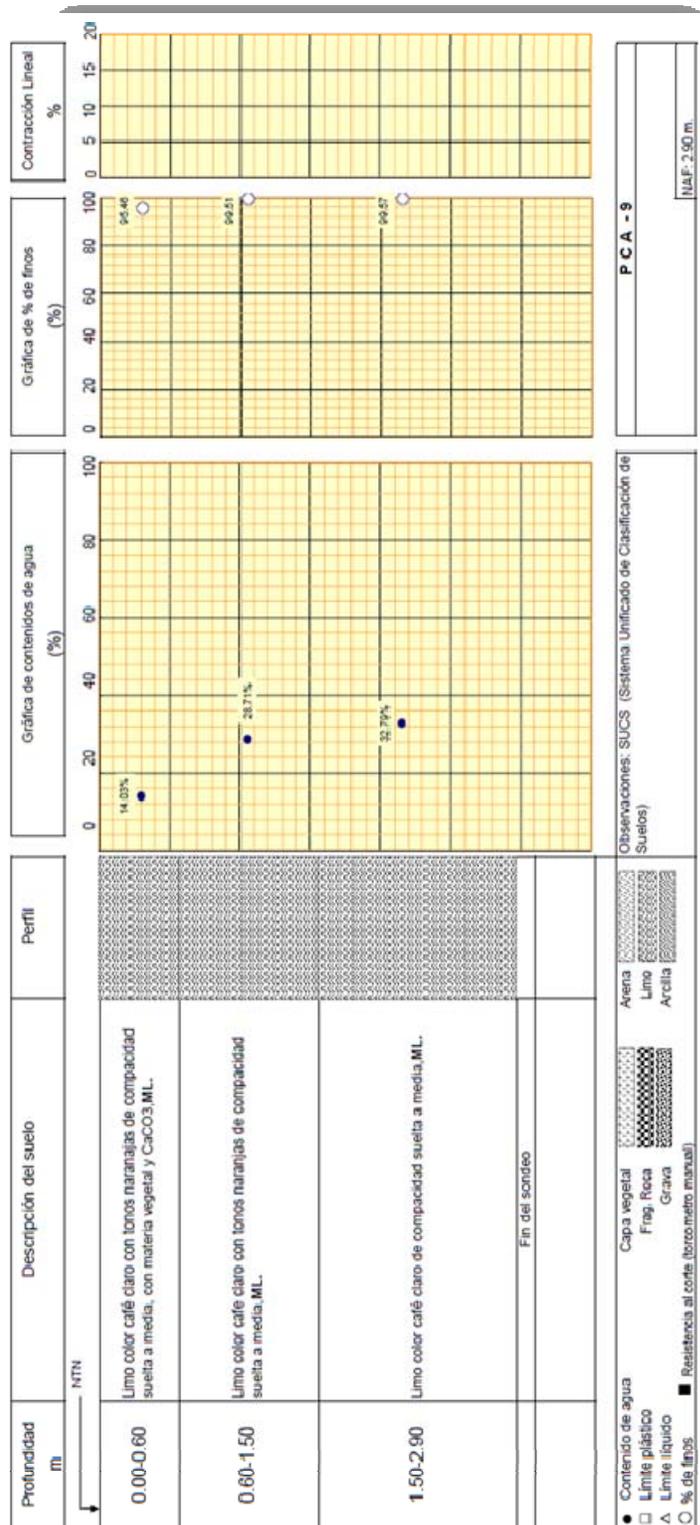




Ilustración 2.26. Tabla de resultados del PCA-9

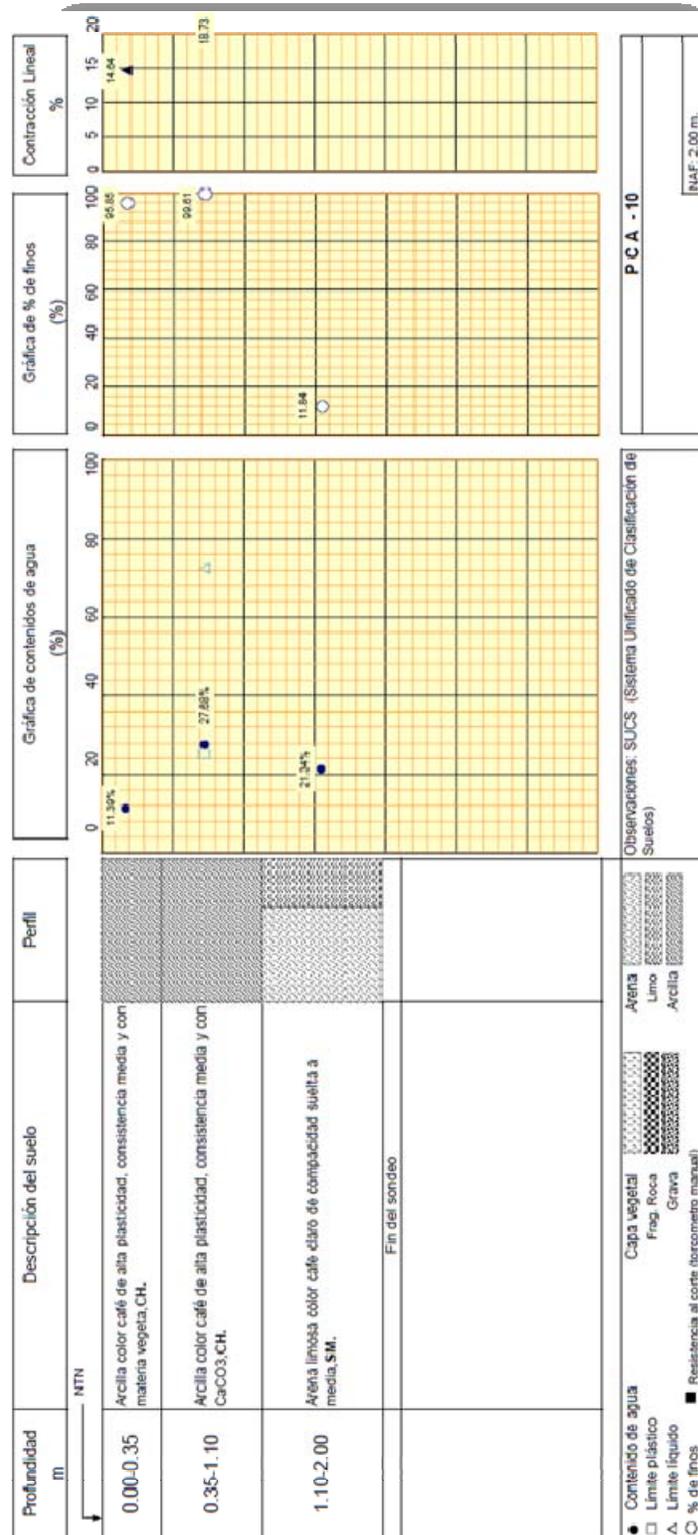


Análisis Hidráulico para el Canal Principal Nuevo Delta y Módulos de Riego 10, 11 y 12, Distrito de Riego 014, Rio Colorado, Organismo de cuenca Península de B.C.





Ilustración 2.27. Tabla de resultados del PCA-10



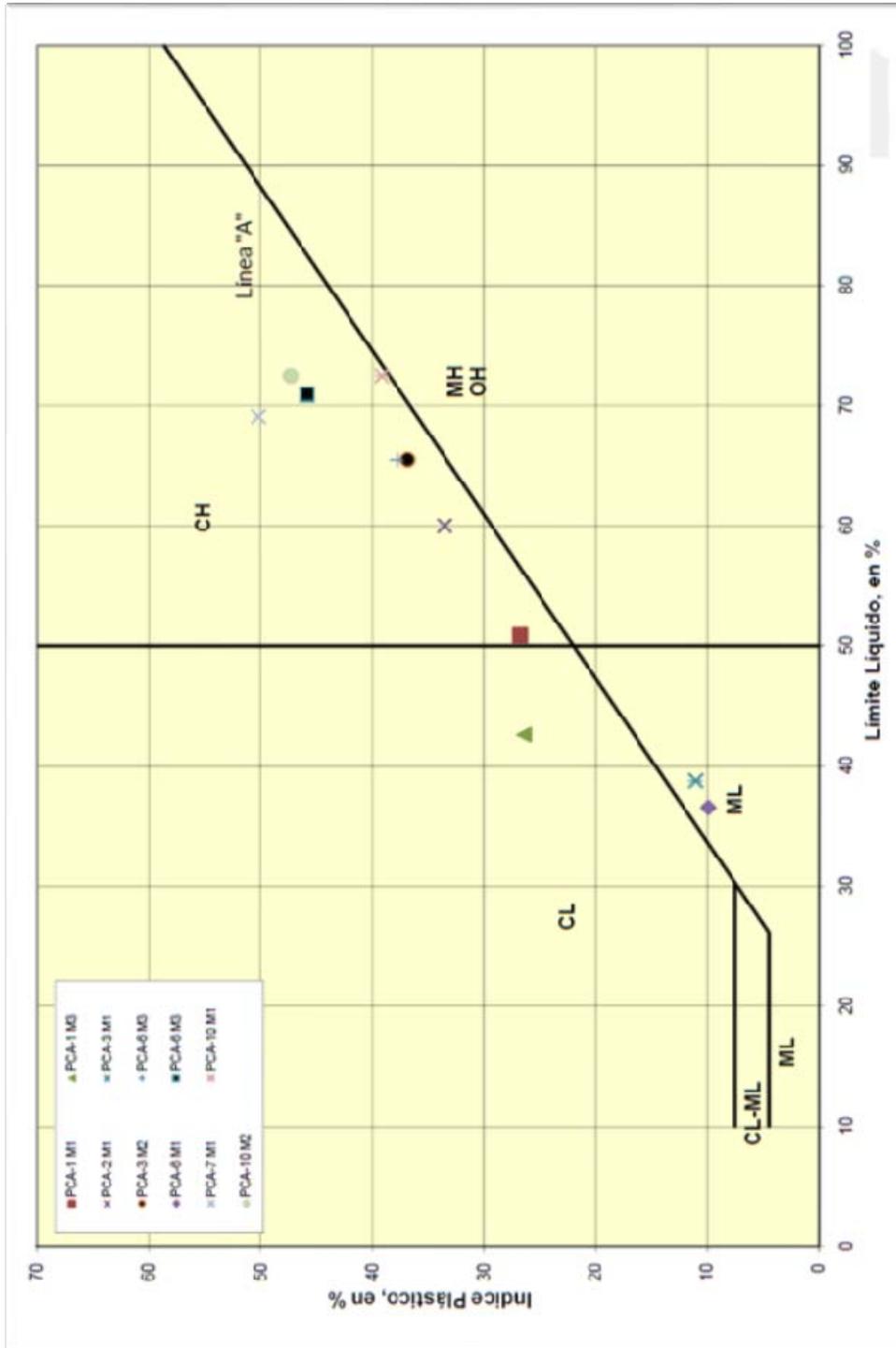
Análisis Hidráulico para el Canal Principal Nuevo Delta y Módulos de Riego 10, 11 y 12, Distrito de Riego 014, Rio Colorado, Organismo de cuenca Península de B.C.





Ilustración 2.28. Carta de Plasticidad

### Carta de Plasticidad



Análisis Hidráulico para el Canal Principal Nuevo Delta y Módulos de Riego 10, 11 y 12, Distrito de Riego014, Río Colorado, Organismo de cuenca Península de B.C.





## 2.3.2 Estratigrafía y Clasificación de materiales a excavar

### A. Estratigrafía

Con base en los resultados de campo y de laboratorio se concluye que la estratigrafía a lo largo del trayecto es la siguiente:

- PCA-1, 2, 3 4
- PCA-17

<i>Profundidad (m)</i>	<i>Descripción</i>
0.00 a 0.40-1.00	Arcilla color café de alta plasticidad, consistencia media a dura y/o Limo arenoso color café claro de compacidad media ambos con materia vegetal y CaCO <sub>3</sub> , CH y/o ML.
0.40 a 1.95-3.50	Arcilla color café con tonos naranjas de alta plasticidad, consistencia media, y con CaCO <sub>3</sub> , CH. Se pueden presentar lentes de limos arenosos

En el PCA-2 se presentó el nivel del agua a 1.95 m, mientras que en el PCA.4 se detectó a 1.95 m, esto en el mes de noviembre del 2010. En los otros dos sondeos no fue detectado.





○ PCA-5 y PCA-10

<i>Profundidad (m)</i>	<i>Descripción</i>
0.00 a 0.20-1.10	Limo arenoso color café claro de compacidad suelta a media y/o Arcilla color café de alta plasticidad y consistencia media, ML y/o CH.
0.20-1.10 a 1.95-2.00	Arena limosa color café claro de compacidad suelta a media, SM.

Se detecto el nivel del agua a una profundidad de 1.95 y 2.00 m, esto en el mes de noviembre del 2010.

○ PCA-6

<i>Profundidad (m)</i>	<i>Descripción</i>
0.00 a 0.45	Limo arenoso color café claro de compacidad suelta a media, ML.
0.45 a 1.30	Arena limosa color claro de compacidad suelta y con materia vegetal, SM.
1.30 a 3.50	Arcilla color café con tonos naranjas de alta plasticidad y de consistencia media a dura, CH.

No se detecto el nivel de aguas freáticas en la profundidad explorada, esto en el mes de noviembre del 2010.





- PCA-7, 8 y 9

<i>Profundidad (m)</i>	<i>Descripción</i>
0.00 a 0.50-0-60	Arcilla color café con tonos naranjas de alta plasticidad, consistencia media a dura y/o Limo color café claro de compacidad suelta a media, ambos con materia vegetal y CaCO <sub>3</sub> , CH y/o ML.
0.50-0.60 a 2.30-2.90	Limo color café claro de compacidad suelta a media, poco arenoso en algunas zonas, ML.

El nivel de aguas freáticas fue detecto a una profundidad entre 2.30 a 2.90 m, esto en el mes de noviembre del 2010.





## B. Clasificación de los materiales a excavar

Con base en los resultados de campo y de las pruebas de laboratorio, se puede clasificar al subsuelo con fines de excavación y considerando una excavación de 2.00 m y en forma general como del tipo II.

La correlación entre el tipo de material y la herramienta necesaria para la realización de la excavación es presentada en la siguiente tabla:

TIPO	HERRAMIENTA
I	Material excavable con pala
II	Material excavable con pico y pala
II-A	Material excavable con cuñas, marros, martillo neumático, ripper o herramienta similar
III	Material excavable con explosivos





## 2.3.3 Problemas encontrados en canales

El sismo del 4 de abril del 2010 provocó daños en la red de canales del valle de Mexicali.

Los principales problemas fueron:

- Desplazamientos laterales (Agrietamiento severo) en bordos de canales.
- Dislocamiento de losas de recubrimiento de los canales
- Asentamientos
- Asentamientos debido al fenómeno de licuación de arenas.
- Desbordamiento de canales debido a fallas o agrietamientos de taludes.

Estos problemas ocurridos se deben a la fuerza de las ondas de superficie en el subsuelo provocadas por el sismo. Estas ondas debido a su tracción sísmica abren grietas y fisuras en el estrato semi-impermeable superficial, lo que provoca que la mezcla licuada de arena fina y agua pueda fluir hacia la superficie del suelo.

Posteriormente se presenta un hundimiento de la superficie del suelo por compactación de la arena fina suelta por la acción de la sobrecarga en el estrato de arena licuable. Así mismo y para el caso de los taludes del bordo, se presentaron deslizamientos debido a que las fuerzas inducidas por el sismo fueron mayores en algunos casos que la resistencia al esfuerzo cortante de los materiales que lo forman, provocando su deslizamiento, esto aun cuando las pendientes del bordo son muy planas.





## III. Fundamentos de Hidráulica de Canales

Un tema de suma importancia y que no hay que descartar en el Área de la Hidráulica de Canales es el Diseño de Canales que como definición se tiene como que: Un Canal Abierto es un conducto en el cual el agua fluye con una superficie libre y es capaz de transportar el vital líquido entre dos puntos de una forma segura a un costo óptimo. De acuerdo con su origen un canal puede ser Natural o Artificial.

Un Canal Natural por lo general su característica general es ser muy irregular. En algunos casos pueden hacerse suposiciones empíricas razonablemente consistentes con las observaciones y experiencias reales, de tal manera que las condiciones de flujo en estos canales se vuelvan manejables mediante el tratamiento analítico de la hidráulica teórica.

Por otro lado un Canal Artificial es aquel que ha sido construido por la mano humana tales como: canal de navegación, de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenaje, vertederos, de desborde, canaletas de madera, canaletas a lo largo de carreteras, etc., así como canales de modelos construidos en el laboratorio con propósitos experimentales. Las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un nivel deseado o diseñadas para cumplir unos requisitos determinados.





## 3.1 Flujos de los Canales

Principalmente los Flujos en los Canales son producidos por la acción de la fuerza de gravedad. Los flujos en los canales abiertos son casi siempre turbulentos y no son afectados por la tensión superficial; sin embargo, en muchos casos de importancia, algunos flujos son de densidad estratigráfica. El interés en la mecánica del flujo de canales abiertos radica en su importancia hacia la civilización. Uno de los requerimientos primarios para el desarrollo, mantenimiento y avance de una civilización es el suministro del recurso agua.

Para tal efecto, al trasladar este importante recurso de un punto a otro, la superficie libre se ve afectada por fuerzas que intervienen en el flujo las cuales se enlistan a continuación.

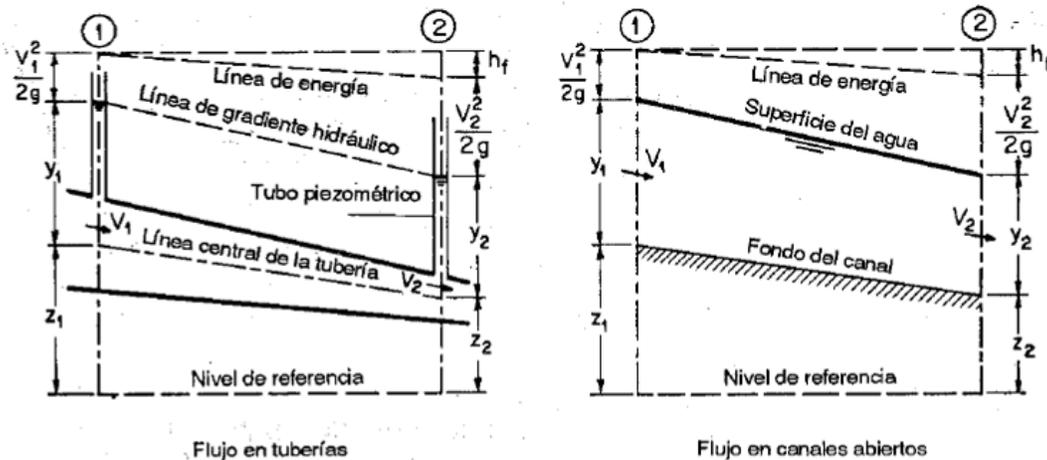
- » *Fuerza de Gravedad*, que es considerada la mas importante en el flujo.
- » *Fuerza de Resistencia*, ocasionada por a fricción que hay entre el flujo y las paredes del material.
- » *Fuerza de Presión*, ejercida obre las fronteras del canal, sobre todo en los cambios de sección geométrica.
- » *Fuerza de Viscosidad del Líquido*, que se desprecia si el flujo es turbulento.
- » *Fuerza de tensión superficial*, consecuencia directa de la superficie libre.
- » *Fuerzas de arrastre*, ocasionada por el movimiento del sedimento existente en el canal.





Las dos clases de flujo mas comunes son valoradas en la Ilustración 3.1, en la parte izquierda es mostrada el flujo en las tuberías y a la derecha representa el flujo en los canales abiertos.

Ilustración 3.1. Comparación entre flujo en tuberías y flujo en canales abiertos



El **Flujo en las tuberías** como se muestra en la Ilustración 3.1 anterior se puede mostrar que se tiene dos tubos piezométricos instalados en las secciones 1 y 2 de la misma tubería, los niveles del agua se mantienen por la acción de la presión en la tubería en elevaciones representadas por la línea conocida como *línea de gradiente hidráulico*. La presión ejercida por el agua en cada sección de dicha tubería es indicada en el tubo piezométrico correspondiente medido por la altura y la columna de agua con respecto al centro de la tubería. La energía total del flujo en la sección con referencia a una línea base es la suma de la elevación  $z$  del eje de central de a tubería, la altura piezométrica y  $y$  la altura o carga de la velocidad,  $V^2/2g$ , donde  $V$  es la velocidad media del flujo (suponiendo que a velocidad en el ducto está uniformemente distribuida a través de la sección). En la figura en cuestión la energía esta representada como *línea de energía* o





como *línea de gradiente de energía*. Las pérdidas de energía surgen por cuando el agua fluye desde la sección 1 hasta la sección 2 y son representadas por  $h_f$ .

El **flujo en los canales abiertos** que es mostrado en la parte derecha de la Ilustración 3.1, presenta cierta similitud en la representación del flujo y con propósitos de simplificación, supone que el flujo es paralelo y que tiene una distribución de velocidades uniforme y que la pendiente del canal es pequeña. En este caso, la superficie de l agua es la línea de gradiente hidráulico, ya la profundidad del agua correspondiente a la altura piezométrica.

Pese a la similitud que se hay entre estos dos tipos de flujos, es mas accesible el resolver los problemas de flujo en tuberías que en flujos de canales abiertos ya que las condiciones de estos últimos se complican por hecho de que la posición de la superficie libre que puede cambiar con el tiempo y con el espacio, y también por el hecho de que la profundidad de flujo, el gasto y las pendientes del fondo del canal y de la superficie libre son interdependientes.





## 3.2 Tipos de Flujo

El flujo en canales abiertos se puede dar en muchos aspectos así como describirse de varias maneras. A continuación se muestra un diagrama que nos ayudara a entender su clasificación de una manera simple.

### A. Flujo permanente

- a. *Flujo Uniforme*
- b. *Flujo Variado*
  - i. Flujo Gradualmente Variado
  - ii. Flujo Rápidamente Variado
  - iii. Flujo Especialmente Variado

### B. Flujo No Permanente Variado

- a. *Flujo No Permanente Gradualmente Variado*
- b. *Flujo No Permanente Rápidamente Variado*
- c. *Flujo No Permanente Especialmente Variado*

Los tipos de fluidos que fueron indicados el diagrama anterior tienen principal interés, sobre la base de que, en todos los casos, se trata de flujo unidimensional. Su importancia radica en que el comportamiento hidráulico se analiza bajo distintas concepciones o modelos de flujo, cuyo grado de dificultad aumenta en la medida que las hipótesis se ajustan mejor a la realidad.

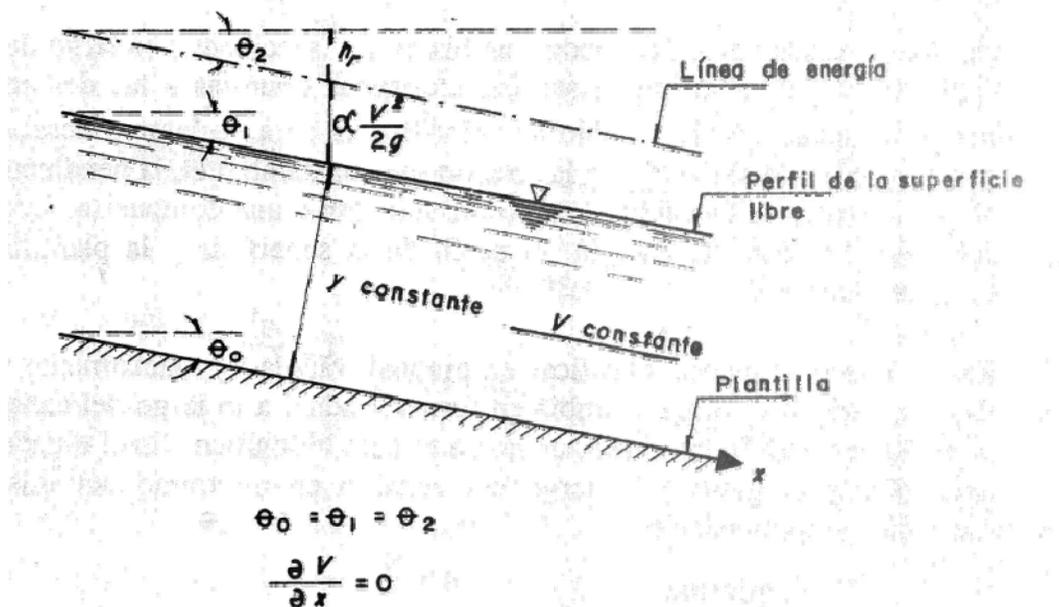




**Flujo Permanente y No Permanente.** Esta clasificación obedece a la utilización del tiempo como criterio. *Es Permanente* cuando la velocidad media  $V$  en una sección dada se mantiene constante en el tiempo o en un lapso especificado ( $\delta V / \delta t = 0$ ). Lo contrario sucede cuando es *No Permanente* o *impermanente* ( $\delta V / \delta t \neq 0$ ).

**Flujo Uniforme y Variado.** Esta clasificación obedece a la utilización del espacio como criterio. *El flujo Uniforme* se presenta cuando la velocidad media permanece constante en cualquier sección de canal, es decir,  $\delta V / \delta t = 0$ . Esto significa que su área hidráulica y tirante también son constantes con  $x$  (véase Ilustración 3.2). Por otro lado el *Flujo es Variado* cuando ocurre lo contrario.

Ilustración 3.2. Flujo Uniforme





Sobre la superficie libre del agua hay presión constante igual a la atmosfera pero dicha superficie no coincide con la línea de cargas piezométricas aun si el flujo es rectilíneo. Sin embargo, mediante la corrección adecuada, el valor de la carga de velocidad separa verticalmente dicha superficie libre de la línea de energía. Como consecuencia, dicha línea, el perfil de la superficie libre del agua y la plantilla del canal son paralelos cuando el flujo es uniforme. En este caso, el hecho de que la velocidad media permanezca constante se asocia estrictamente a que la velocidad en un punto de cada sección también lo sea en toda la longitud del canal, es decir, la distribución de la velocidad no se altera de una sección a otra.

Las características del flujo uniforme se satisfacen únicamente si el canal es prismático, esto es, sólo puede ocurrir en los artificiales y no en los naturales. Si la velocidad se incrementa a valores muy grandes (mas de 6 m/s), se produce arrastre de aire al interior del flujo, y este, en sentido estricto, adquiere un carácter *No Permanente*. De manera incidental a velocidades excepcionales del orden de 30 m/s, el incremento del área hidráulica por el aire arrastrado puede llegar hasta del 50% del área original.

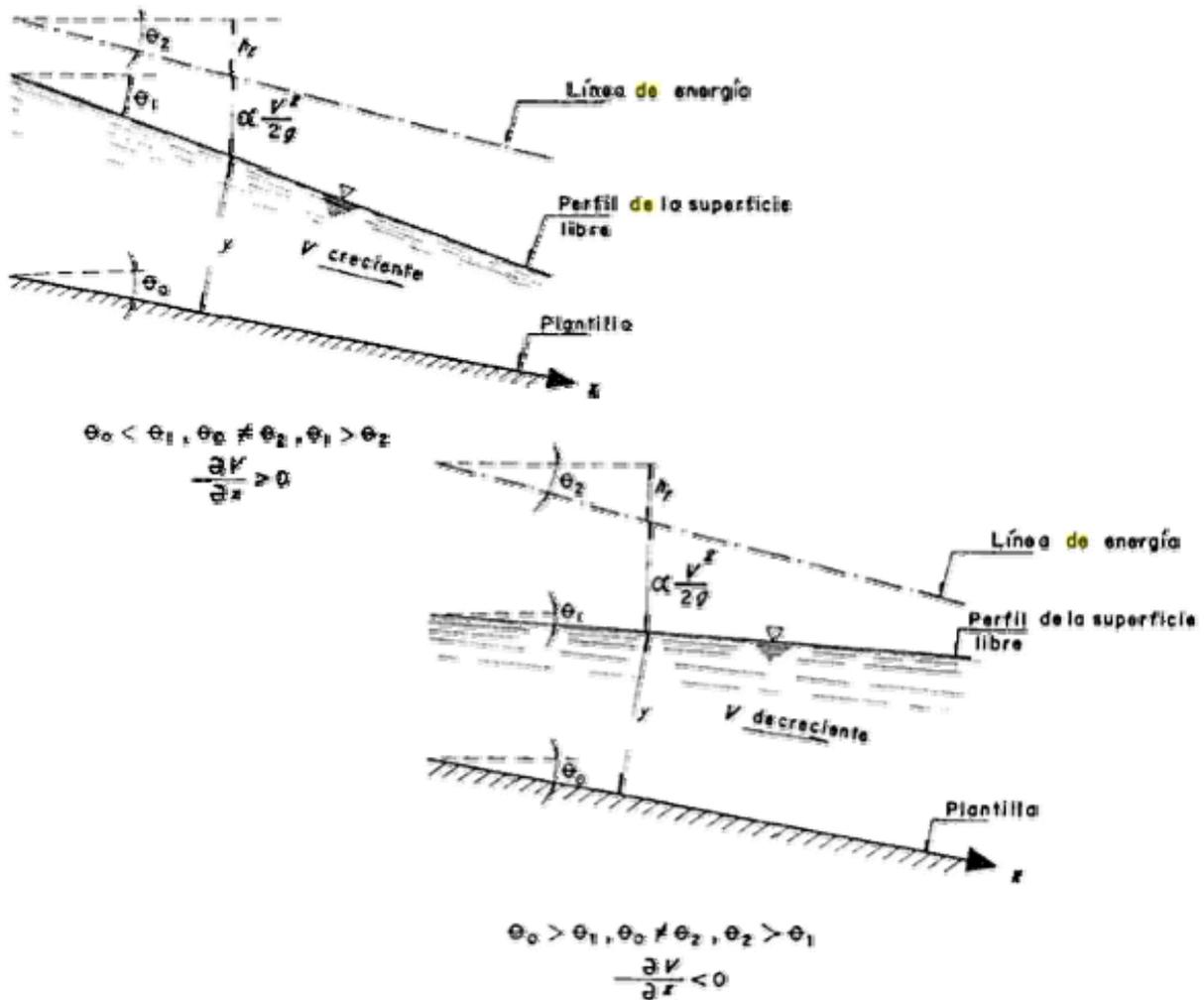
En teoría es posible que un Flujo Uniforme ya sea permanente o no permanente. El primero es el mas fácil de la hidráulica de canales, donde el tirante no cambia con el tiempo. El uniforme no permanente necesita que la superficie libre fluctuara de un instante a otro permaneciendo de siempre paralela a la plantilla del canal, lo que es difícil que ocurra en la practica. Por tanto el flujo uniforme es casi siempre permanente. Debido a las razones anteriormente mencionadas, así como los cambios de sección y de pendiente, y a la presencia de estructuras de control, el flujo uniforme es un esta do ideal que difícilmente se alcanza en la practica. Es razonable suponerlo en canales rectos y largos, de sección, pendiente, geometría y rugosidad constantes; es muy útil porque simplifica el análisis y sirve de base para la solución de otros problemas.





El flujo es variado cuando la velocidad media cambia en las secciones a lo largo del canal, es decir,  $\delta V / \delta t \neq 0$ , por lo mismo posee características opuestas a las del uniforme, como se indica en la Ilustración 3.2. el cambio de velocidad es para acelerar o desacelerar el movimiento y ocurre por la variación en la sección, por un cambio de pendiente, o por la presencia de una estructura hidráulica, como un vertedor o una compuerta, interpuesta en la línea del flujo. A línea de energía, el perfil de la superficie y la plantilla tienen inclinaciones distintas entre si.

Ilustración 3.2. Flujo Variado





Flujo laminar y turbulento. El movimiento del agua en un canal se rige por la importancia de las fuerzas viscosa o de gravedad, respecto a la inercia. La tensión superficial del agua afecta el comportamiento en el caso de velocidad y tirante (o sección transversal) pequeños, pero no tiene una función importante en la mayoría de los problemas.

En relación con el efecto de la viscosidad, el flujo puede ser laminar, de transición o turbulento, de manera semejante a los ductos a presión. La importancia de la fuerza de inercia respecto a la viscosa, ambas por unidad de masa, se mide por el número de Reynolds, definido de la siguiente manera:

$$R_e = \frac{VR_h}{\nu}$$

Donde:

- $R_e$  Es el Número de Reynolds
- $R_h$  Es el Radio Hidráulico de la sección en m
- $V$  Es la Velocidad media en la sección en m/s
- $\nu$  es la Viscosidad cinemática del agua en  $m^2/s$

En canales se han comprobado resultados semejantes a los dos conductos a presión. Para fines prácticos se tiene que:

- Es Flujo Laminar cuando  $R_e \leq 500$
- Es Flujo de transición cuando  $500 \leq R_e \leq 12,500$
- Es Flujo turbulento cuando  $R_e \geq 12,500$ .





Las diferencias entre estos valores y los que se manejan en conductos circulares a presión se deben a que  $R_e$  en los últimos se define con el diámetro  $D$  en lugar del Radio Hidráulico, y siendo la siguiente expresión.

$$R_h = \frac{D}{4}$$

El Flujo Laminar en canales ocurre muy rara vez debido a sus dimensiones relativamente grandes y a la baja viscosidad cinemática del agua. La única posibilidad se presenta cuando el flujo es en laminas muy delgadas, con poca velocidad, como en el movimiento del agua de lluvia sobre cubiertas y superficies pavimentadas. La rugosidad de la frontera en canales naturales es normalmente tan grande, que ni siquiera ocurre la transición.

**Flujo Subcrítico y Supercrítico.** La importancia de la fuerza de inercia respecto de la de gravedad, ambas por unidad de masa, se mide por el número de Froude, definido de la siguiente manera:

$$F = \frac{V}{\sqrt{(g \cos \theta / \alpha) (A/T)}} = \frac{V}{\sqrt{g' A/T}}$$

Donde:

- $g'$   $g \cos \theta / \alpha$
- $g$  Aceleración de la gravedad en  $m/s^2$
- $A$  Área hidráulica de la sección en  $m^2$
- $T$  Ancho de la superficie libre de la sección en  $m$
- $V$  Velocidad media en la sección en  $m/s$
- $\alpha$  Coeficiente de corrección de la energía cinética, unidimensional
- $\theta$  Angulo de inclinación de la plantilla respecto a la horizontal





El termino  $A/T$  es también el tirante hidráulico y solo en canales rectangulares es igual al tirante.

Si  $\vartheta \leq 8^\circ$ ,  $\cos \theta \geq 0.99027$ , es decir,  $\cos \theta \approx 1$  con error menor del 1%.

A demás, con  $\alpha = 1$ ,  $g = g'$  resulta:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g A/T}}$$

Cuando  $F = 1$ ,  $V = \sqrt{g A/T}$ , el flujo es en régimen crítico.

Cuando  $F < 1$ ,  $V < \sqrt{g A/T}$ , el régimen es Subcrítico siendo entonces mas importante la fuerza de gravedad que la de inercia, ya que ocurre con poca velocidad, es decir, de forma tranquila.

Por ultimo, cuando  $F > 1$ ,  $V > \sqrt{g A/T}$ , el régimen es Supercrítico y la fuerza de inercia domina sobre la gravedad, toda vez que ocurre a gran velocidad, es decir, rápido o torrencial.





## 3.3 Ecuaciones Fundamentales de la Hidráulica de Canales

Para efecto en el estudio, diseño y análisis de la Hidráulica de Canales, en la mecánica de fluidos los métodos de análisis consideran la capacidad de un flujo para transportar material y el mecanismo por el que cambia sus propiedades de un lugar a otro, para lo cual se establece como axioma que en los flujos se satisfagan los principios básicos de la mecánica del medio continuo, tomando en cuenta las siguientes ecuaciones:

### 3.3.1 Ecuación de la Continuidad

El principio de la conservación de la materia o del transporte de masa permite derivar la primera ecuación fundamental o *de continuidad*, que admite diferentes simplificaciones de acuerdo con el tipo de flujo de que se trate o de las hipótesis que se deben considerar.

El flujo de masa del agua a través de la sección de un canal es  $\rho VA$ , donde  $\rho$  es la densidad del líquido,  $V$  es la velocidad media en la sección y  $A$  es el Área Hidráulica. Cuando el flujo sigue la dirección del eje del canal según la coordenada curvilínea  $x$  sobre el fondo (Véase la Ilustración 3.3), y no hay aportaciones o salidas de líquido en el trayecto, la forma matemática de la ecuación de continuidad para el flujo unidimensional permanente en toda su longitud es:





$$\frac{\partial(\rho VA)}{\partial x} = 0$$

Es decir, el flujo de masa no cambia al variar  $x$ . En un flujo a superficie libre  $\rho$  es constante (incomprensible) y se puede eliminar en la ecuación anterior, es decir

$$\frac{\partial(\rho VA)}{\partial x} = 0$$

Que al integrar entre dos ecuaciones 1 y 2 que se limitan al volumen de control de la Figura 3.3, resultando:

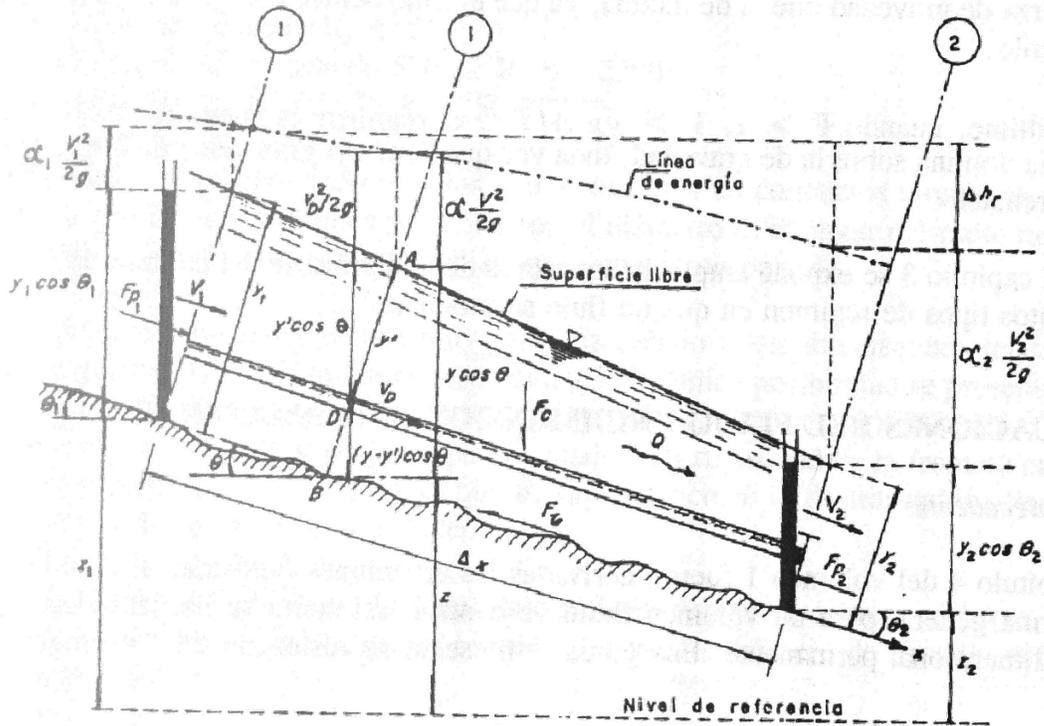
$$V_1 A_1 = V_2 A_2 = \text{Constante}$$

Es decir, el Gasto o Caudal  $Q = V A$  se mantiene constante en todo el canal. Cuando haya condiciones de flujo diferentes se debe establecer la ecuación de continuidad particular del caso que se trate.





Ilustración 3.3. Aplicación de las ecuaciones básicas a un volumen finito de control del canal.





## 3.3.2 Ecuación de la Energía

La **segunda ley de Newton** establece la relación fundamental entre la resultante de las fuerzas que actúan sobre una partícula y la variación en el tiempo de la cantidad de movimiento. De acuerdo con la forma en que se aplique, puede conducir a dos ecuaciones; la Primera (componente escalar según el flujo) o conocida comúnmente como **de la Energía**, esta permite calcular las diferentes transformaciones de la energía mecánica dentro del flujo y las cantidades disipadas en energía calorífica que, en el caso de los líquidos, no se aprovecha.

La energía total por unidad de peso que posee el agua en movimiento, medida en el punto de intersección **D** de cualquier línea de corriente con el plano de la sección de un canal, se expresa como la suma de su elevación  $z_D$  desde un plano de referencia, la carga de presión  $p/g\rho$ , y la energía cinética local  $v^2 / 2g$ , donde  $v$  es la velocidad local, es decir, en el punto. Como se ejemplifica en la Figura 3.3, la energía total de las partículas sobre la línea de corriente que pasa por el punto **D** en la sección **i** está dada por la siguiente expresión:

$$H = z + (y - y') \cos \theta + \frac{P}{g\rho} + \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

- z** Elevación del fondo de la sección
- y'** Distancia de la superficie libre al punto **D** en el plano de la sección
- θ** Angulo de inclinación de la plantilla respecto a la horizontal
- p/gρ** Carga de presión
- v<sup>2</sup> / 2g** Energía cinética local
- H** Carga total, en m





El termino de energía cinética o carga de velocidad es idéntica en todos los puntos de la sección cuando se trata de un flujo ideal paralelo, donde la distribución de la velocidad es uniforme. Esto no ocurre en un flujo real, ya que la velocidad y la fricción en las paredes modifican dicha distribución. Para fines prácticos, se acepta que la carga de velocidad en la sección de un flujo real se calcule con la velocidad media pero se afecta por el coeficiente de energía cinética  $\alpha$ . Este corrige el defecto de utilizar el valor medio en lugar de la distribución real no uniforme de la velocidad. Esto significa que, cualquiera que sea el punto  $D$ , la suma de los siguientes términos es constante y define la altura de la línea de niveles piezométricos.

$$z + (y - y') \cos \theta + \frac{P}{g\rho} = H - \alpha \frac{v^2}{2g}$$

En el punto A sobre la superficie libre ( $y' = 0$ ) actúa la presión atmosférica, esto es,  $p_A = 0$ , y el valor de la suma es:

$$z + y \cos \theta = H - \alpha \frac{v^2}{2g}$$

Esto significa que la carga de velocidad es la distancia vertical de la superficie libre de la línea de energía en cada sección transversal.

También, para el punto B en el fondo de la sección,  $y' = y$ , y la suma resulta:

$$z + \frac{p_B}{g\rho} = z + y \cos \theta$$





es decir, la carga de presión en el fondo vale:

$$\frac{p_B}{\rho g} = y \cos \theta$$

Donde  $\cos \theta$  es la corrección que antes se había mencionado.

En el caso de que el ángulo  $\theta$  sea pequeño ( $\theta \leq 8^\circ$ ) se cumple que  $\cos \theta \approx 1$ .

La energía total del flujo en la sección  $i$  se calcula finalmente en la forma

$$H = z + y \cos \theta + \alpha \frac{v^2}{2g}$$

La ecuación anterior es más utilizada frecuentemente en el flujo variado. El término  $y \cos \theta$  representa la carga de presión en el fondo de la sección y la velocidad  $V$  corresponde a la media calculada en la sección transversal al flujo.

De acuerdo con lo anterior y lo indicado en la Figura 3.3, la fórmula matemática del principio de la energía para el flujo unidimensional permanente e incompresible se establece en la siguiente fórmula:

$$\frac{d}{dx} \left[ z + z + y \cos \theta + \alpha \frac{v^2}{2g} \right] = - \frac{dh_r}{dx}$$





Donde:

- $h_r$       Pérdida de Energía
- $y$         Tirante
- $z$         Carga de posición, medida desde el plano de referencia hasta la plantilla de la sección
- $V$         Velocidad media en la sección
- $\alpha$         Coeficiente de Coriolis, para considerar el efecto de la distribución irregular de la velocidad en la sección, sin dimensiones.
- $\theta$         Ángulo de inclinación de la plantilla en la sección .

Los términos restantes son como se han definido antes.

La integración de la ecuación anterior entre las secciones 1 y 2 del volumen de control de la Figura 3.3, conduce a:

$$z + y \cos \theta + \alpha \frac{v^2}{2g} + h_r = \text{constante}$$

O bien:

$$z_1 + y_1 \cos \theta_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 \cos \theta_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h_r$$





Donde:

$\Delta h_r$  Pérdida de energía entre las dos secciones

Cuando dicha pérdida se debe solo a la fricción, es proporcional a la longitud  $\Delta x$  del tramo en que se produce y el cociente  $\bar{S} = \Delta h_r / \Delta x$  se conoce como pendiente hidráulica media o pendiente media de fricción en el tramo. El valor de su límite cuando  $\Delta x \rightarrow 0$  es  $S = dh_f / dx$  y equivale a la pendiente hidráulica local o pendiente de fricción local (en cada sección); suele también designarse como gradiente hidráulico local.

La designación como pendiente ni tiene mas significado físico que el cociente que representa, es decir, no significa ni la tangente ni el seno del ángulo local  $\theta$  de inclinación de la plantilla, ni tampoco de la línea de energía, con excepción del flujo uniforme, donde  $S = \text{sen } \theta$ , ya que la plantilla y la línea de energía son paralelas.





### 3.3.3 Ecuación de la Cantidad de Movimiento

La ecuación de la cantidad de movimiento en un cuerpo libre o volumen de control se deriva de la segunda ley de Newton. Se conoce como cantidad de movimiento de un elemento de masa  $M$  al producto de ésta por su velocidad. Por tanto, la segunda ley de Newton establece lo siguiente:

“La suma vectorial de todas las fuerzas  $F$  que actúan sobre una masa de fluido es igual a la rapidez del cambio del vector lineal cantidad de movimiento de la masa de flujo”, es decir:

$$F = \frac{d(Mv)}{dt}$$

Se considera el volumen de control limitado por las secciones 1 y 2, las paredes y la superficie libre de un flujo unidimensional permanente e incompresible (Véase la figura 3.3), cuyo gasto no cambia en toda su longitud. La ecuación de la continuidad de movimiento para dicho volumen resulta de eliminar el termino correspondiente al tiempo en la ecuación general y en la forma vectorial.

$$F_F + F_t + F_c = [(Q\beta V)_2 - (Q\beta V)_1]$$





Donde:

- $F_F$  Fuerza resultante de la presión ejecutada sobre las superficies de frontera del volumen de control.
- $F_t$  Fuerza resultante producida por el esfuerzo tangencial generado sobre el fondo y las paredes del volumen de control.
- $F_c$  Fuerza de cuerpo debida al peso del volumen de control.
- $Q$  Gasto en la sección.
- $V$  Vector Velocidad media en la sección.
- $\beta$  Coeficiente de Boussinesq, para considerar el efecto que tiene la distribución irregular de la velocidad en la sección en el calculo de la cantidad de movimiento con la velocidad media.

Las fuerzas  $F_F$  y  $F_t$  son las secciones que desde el exterior se aplican al volumen de control. La cantidad de movimiento en una sección es igual a  $\rho Q \beta V$  y el ultimo termino de la ecuación representa el cambio en la cantidad de movimiento entre el flujo que entra y el que sale, con las mismas reglas establecidas, es decir, el gasto  $Q$  es positivo cuando sale y negativo cuando entra al volumen de control.





## IV. Análisis de Alternativas

Ante el reto que se ha presentado para asegurar el suministro de agua a los Módulos de riego 10, 11 y 12 del Valle de Mexicali B.C. por los problemas relacionados con la operación del canal Nuevo Delta y que se reafirmaron durante el pasado terremoto del 4 de abril de 2010, que provoco severos daños a la estructura hidráulica e incluso su rompimiento, actualmente se analizan varias alternativas (6) para sustituir el canal actual y asegurar el abastecimiento de agua a los usuarios de los módulos antes señalados.

Con el propósito de coadyuvar con los diversos estudios encaminados para la selección de la mejor alternativa, se tomaron en cuenta las siguientes premisas:

- Evitar áreas de subsidencia, licuefacción y fallas más activas
- Económicamente atractiva
- Sin grandes problemas para liberación de paso
- Evitar problemas con otras estructuras o proyectos
- Seguridad y simplicidad en parámetros de control de calidad y de construcción
- Reducido costo operativo y de conservación

Por lo anterior se tomaron en consideración 32 rutas de las cuales se desecharon 25 en el análisis preliminar de selección, el cual consiste en encontrar los puntos de derivación múltiples que no den ventaja significativa en cuestión de seguridad y costo-beneficio, que la tubería a presión en la conducción puede llevar a limitación de riego y de ahorro del agua (usualmente buscado la colocación de los diámetros de tubería mas económicos)





que la opción de que sea tubería a presión no sea amortizada si se compara con las opciones que son a gravedad.

En la fase final de selección fueron analizadas 7 alternativas (Ilustración 4.1). Las cuales en cada una de estas fueron analizados los materiales y las formas de conducir el agua, así como la toma de datos de campo (Véase Cap. II de este estudio) complementarios.

**Ilustración 4.1.** Ubicación de las alternativas analizadas.





Considerando el sistema de fallas geológicas de la zona, así como las zonas vulnerables encontradas en el trayecto como son Licuefacción y Zonas de baja Capacidad de Carga, se determinaron las alternativas, como se muestra en las Ilustraciones 4.2 y 4.3.

**Ilustración 4.2.** Localización de los sistemas de fallas.

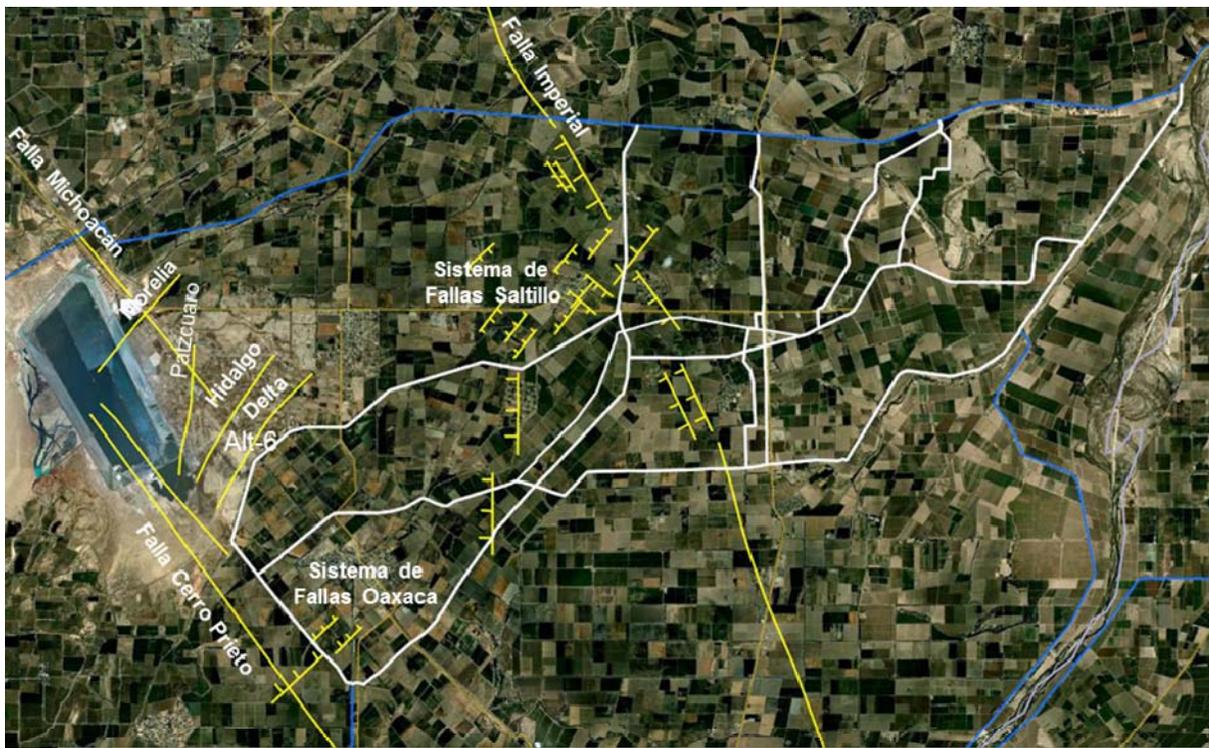
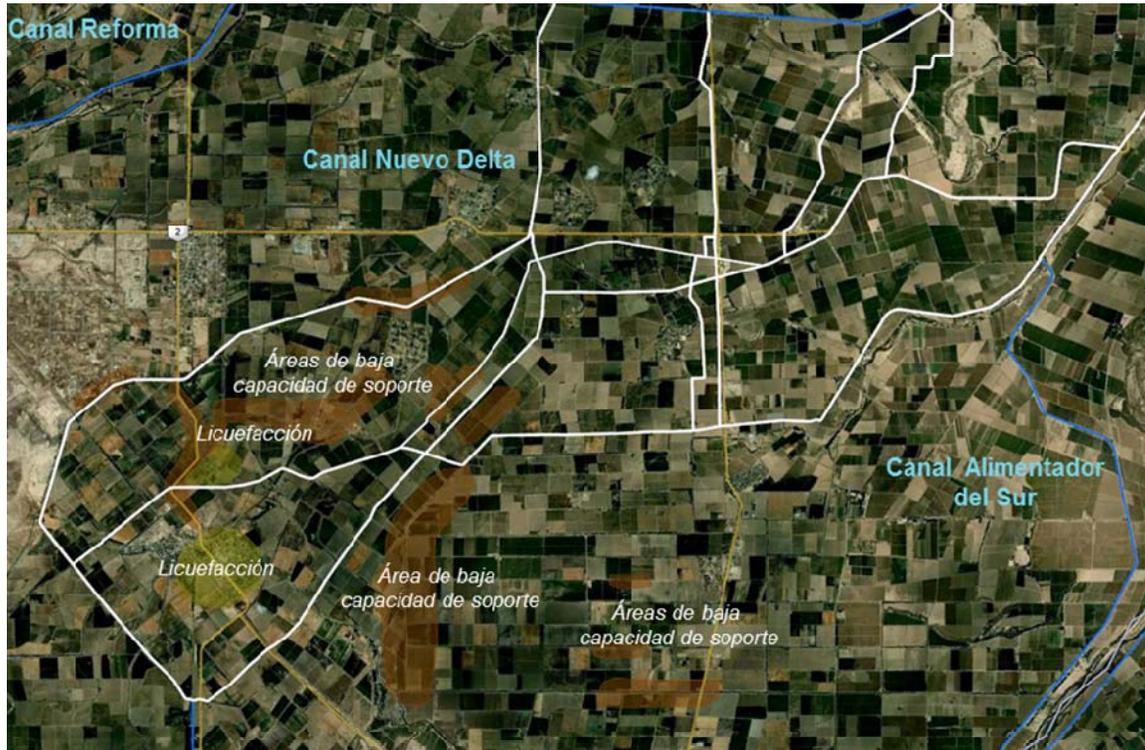




Ilustración 4.3. Zonas de baja Capacidad de Carga y Licuefacción.





El siguiente filtro de selección de alternativas fue tomado en cuenta con la Valoración Cualitativa destacando el costo, Vulnerabilidad, Mantenimiento, Operación, Liberación de Terrenos, Aceptación Social y la Construcción, de los cuales son descartadas 4 alternativas más quedando como principales alternativas la 3H, 4H y la 7H mostrándose en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1.** Valoración cualitativa de las alternativas finales

Trazo	Costo				Vulnerabilidad (30)				Mantenimiento (5)		Operación (5)			Liberación de Terrenos (10)		Aceptación Social		Construcción (10)		Total
	Construcción (25)	Operación (2)	Mantenimiento (2)	Indemnización (6)	Subsistencia (15)	Sismicidad (8)	Liquefacción (5)	Vandalismo (2)	Facilidad (3)	Equipo Especial (2)	Flexibilidad (2)	Oportunidad (2)	Facilidad (2)	Tiempo (8)	Facilidad de Negociación (2)	Fácil de construir sin suspender riego	Control de Calidad			
Alternativa 3H	9	9	9	7	9	9	9	9	7	6	7	7	8	7	4	7	8	7	80.1	
Alternativa 4H	9	7	9	5	9	9	8	9	7	6	6	6	7	5	5	5	7	7	76.2	
Alternativa 7H	9	9	9	6	9	9	9	9	7	6	7	7	8	8	8	8	8	7	83.2	





## 4.1 Análisis por Trazo

### Alternativa 3H. Ventajas y Desventajas

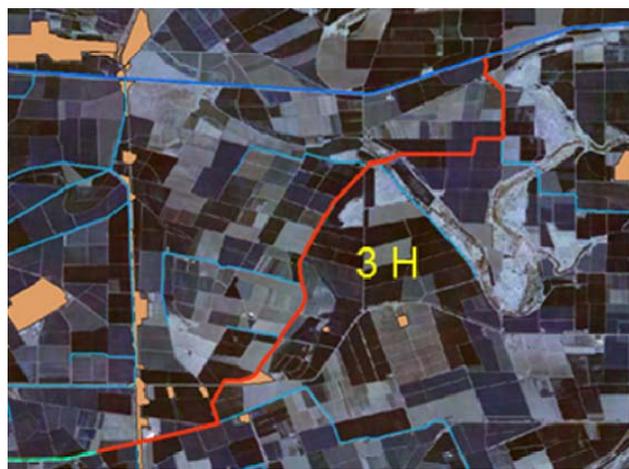
#### Ventajas

En esta alternativa se puede observar que el nivel de punto de partida es de 21.14 msnm (metros sobre el nivel del mar), el nivel de carga aprovechable es de 22.74 msnm, tiene una longitud total de 31,586 metros = 31.586 km.

La longitud hasta la convergencia es de 10.5 km los cuales 6.80 km se traslada por canales existentes y el resto de la longitud total se conduce por regaderas interparcelarias y linderos entre parcelas. Cuenta con un derecho de vía existente de entre los 6.80 km mencionados de hasta 30 metros de ancho y el ancho de vía requerido es de 70 metros.

Ver Ilustración 4.4

**Ilustración 4.4.** Localización del km 0+000 al punto de convergencia (10+500) de la alternativa 3H





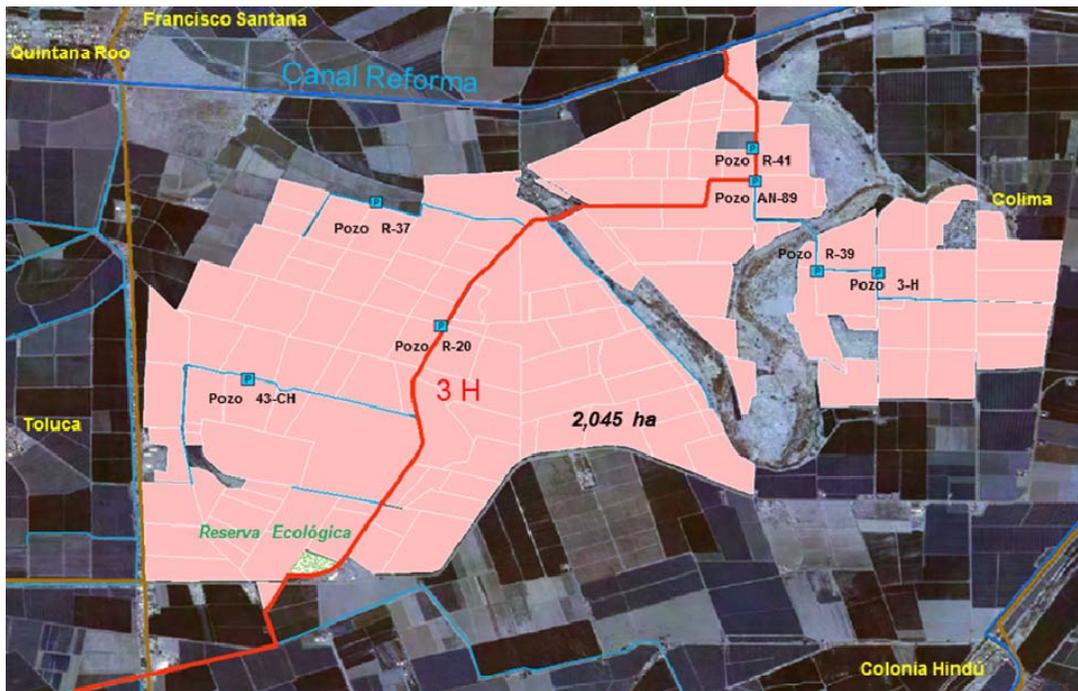
## Desventajas

Operativamente presenta el problema de la superficie adicional a incorporar en el tramo que originalmente se concibió para la conducción que equivale a 2,045 hectáreas.

Presenta afectaciones en diferentes asentamientos humanos aislados, así como un empacadora de algodón y una reserva ecológica, actualmente existen en la zona 3 pozos agrícolas y uno de uso domestico así como parte de las líneas de alimentación de los mismos, las cuales deberán de ser reubicadas.

Afecta varias parcelas por su lindero en las que predominan los cultivos de alfalfa, algodón, cebollín y cebolla en su mayoría. Ver Ilustración 4.5

Ilustración 4.5. Localización de afectaciones alternativa 3H.





## Alternativa 4H. Ventajas y Desventajas

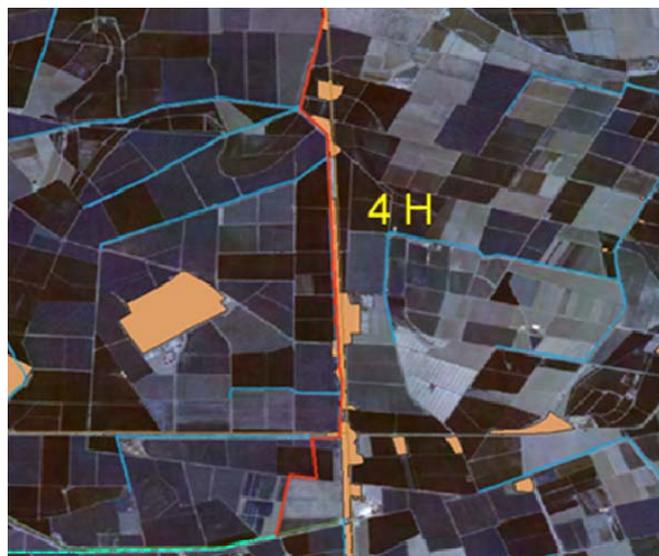
### Ventajas

En esta alternativa se puede observar que la elevación del punto de inicio es de 18.49 msnm (metros sobre el nivel del mar), el nivel de carga disponible es de 20.21 msnm, tiene una longitud total de 27,829 metros que equivalen a 27.829 km.

La longitud hasta la convergencia es de 6.7 km los cuales 5.2 km se traslada por canales concesionarios y el resto de la longitud total se conduce por regaderas interparcelarias, parcelas y linderos entre parcelas.

Cuenta con un derecho de vía existente de entre los 6.7 km mencionados de hasta 20 metros de ancho y el ancho de vía requerido es de 70 metros. Ver Ilustración 4.6

**Ilustración 4.6.** Localización del km 0+000 al punto de convergencia (6+700) de la alternativa 4H.





## Desventajas

La represa que se ubica en el km 48+800 del Canal Reforma actualmente esta diseñada para aportar un cierto gasto que es inferior al requerido por el trazo a lo que se requiere ser modificada para dar carga hidráulica suficiente, haciendo esto se tendría que hacer una modificación de sobre-elevación sobre el Canal Reforma en por lo menos kilómetro y medio para ayuda de la carga hidráulica mencionada y por consiguiente el puente carretero ubicado en el km 48+750 sobre el Canal Reforma debería de ser re-nivelado de acuerdo con la sobre-elevación antes mencionada.

Presenta afectaciones en 2 pozos de agua y su red eléctrica y a la superficie de riego originalmente considerada deberá de agregarse 1,329 hectáreas actualmente irrigadas por el canal a sustituir.

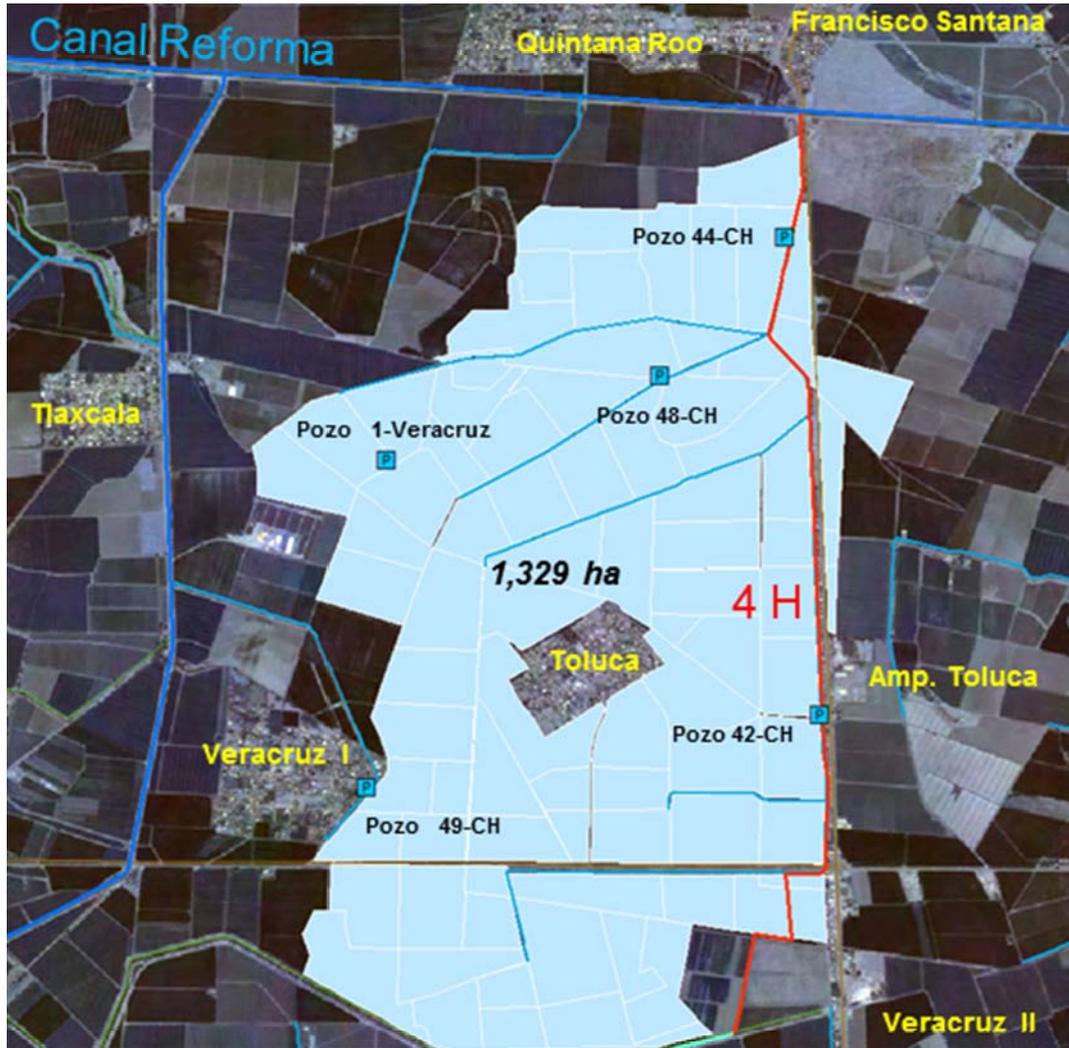
Afecta varias parcelas por su lindero en las que predominan los cultivos de Cebollín, Esparrago, Brócoli y Perejil Chino considerados altamente redituables. Ver la Ilustración 4.7

De hacerse esta alternativa se debe considerar también que las obras afectarán alrededor de 145 casas de los asentamientos correspondientes a las ampliaciones de Rodríguez y Toluca, incluyendo una Iglesia, una jardín de niños, un parque público, parque infantil, una estación de policía, comercios, la red principal de agua potable, de energía eléctrica y drenaje.





Ilustración 4.7. Localización de afectaciones alternativa 4H.





## **Alternativa 7H. Ventajas y Desventajas**

### **Ventajas**

En esta alternativa se puede observar que la elevación del punto de inicio es de 21.14 msnm (metros sobre el nivel del mar), el nivel de carga disponible es de 22.74 msnm, tiene una longitud total de 30,893 metros que equivalen a 30.893 km.

La longitud hasta la convergencia es de 9.62 km los cuales 3.0 km se traslada por canales existentes y el resto de la longitud total se conduce por regaderas interparcelarias, parcelas y linderos entre parcelas.

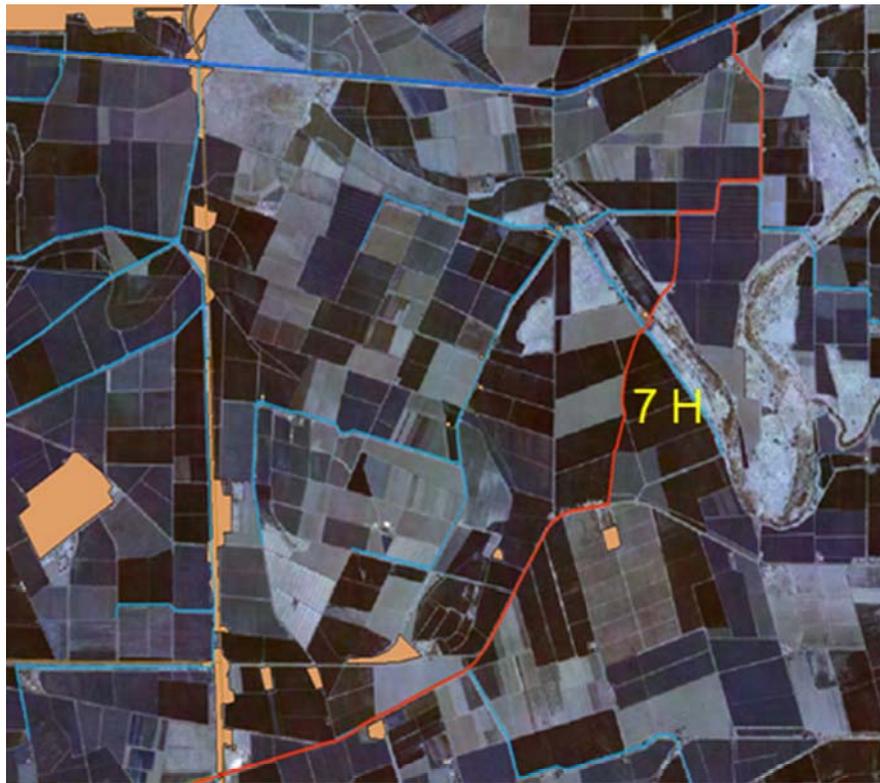
Cuenta con un derecho de vía existente de entre los 3 km mencionados es de hasta 30 metros de ancho.

Operativamente en comparación con las dos anteriores es más adecuada, ya que en el tramo concebido originalmente solo para conducción incorpora la menor superficie adicional que es aproximadamente 624 hectáreas. Ver Ilustración 4.8





**Ilustración 4.8.** Localización del km 0+000 al punto de convergencia (9+620) de la alternativa 7H.



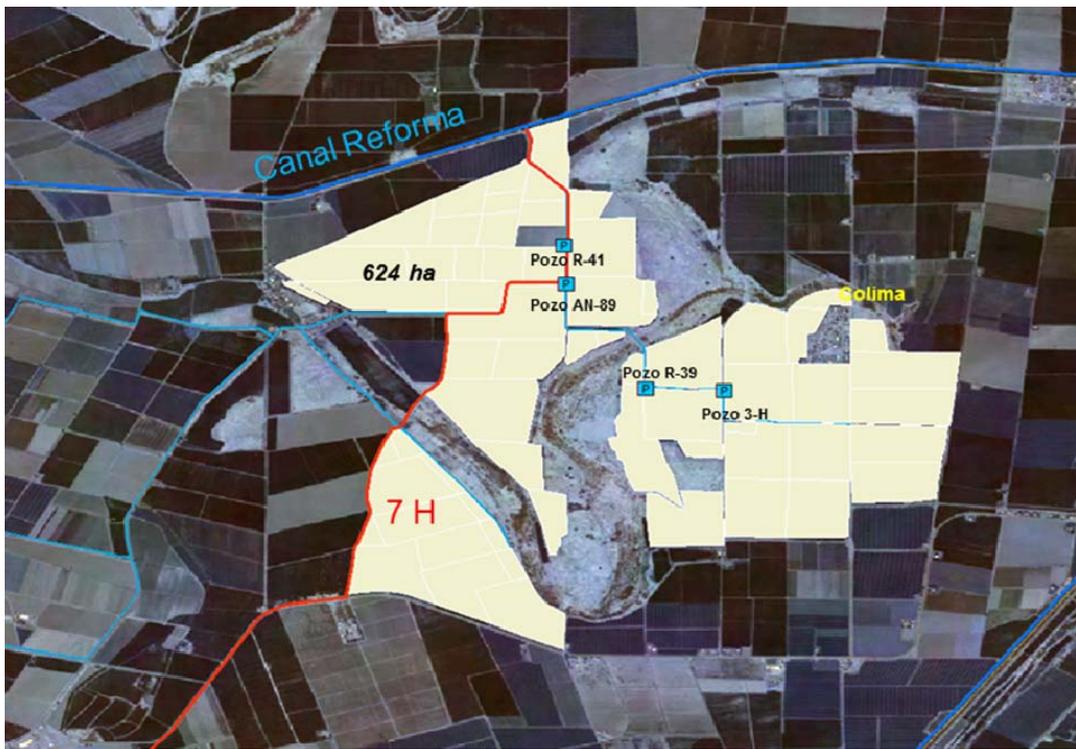


## Desventajas

La presente Alternativa afecta solamente dos parcelas que su cultivo principal es el Algodón, a su paso afecta dos pozos y parte de las líneas de alimentación de los mismos, los cuales debería de ser re-ubicados.

Las afectaciones correspondientes a los linderos de las parcelas corresponden a cultivos de Alfalfa y Algodón. Ver Ilustración 4.9.

Ilustración 4.9. Localización de afectaciones alternativa 7H.





## 4.2 Costos por Alternativa

Ya que fueron analizadas las ventajas y desventajas de las presentes Alternativas lo siguiente corresponde al análisis de costos el cual arroja que la alternativa mas viable es la 7H como es mostrado en la Tabla 4.2

**Tabla 4.2.** Relación de Costos por Alternativas finales.

Alternativa		Costos ( En Millones de Pesos)					
Nombre	Longitud	Indemnizaciones	Canal	Tubería	Acciones Comp.	Obra de Protección	Total
Alternativa 3H	31+586	137.2	429.089	219.391	17.723	5.372	808.774
Alternativa 4H	27+829	148.9	405.946	219.391	13.432	9.614	797.283
Alternativa 7H	30+893	115.4	410.374	219.391	19.926	6.772	771.863

De tal manera y con ayuda de todos los datos recabados y las comparativas pertinentes a cada alternativa se llegó a la determinación de optar por la **Alternativa 7H**.





## V. Conclusiones y Recomendaciones

El Canal 4 de Abril (Alternativa 7H) es una de las obras más grandes del Distrito de Riego, ya que beneficia a 33 poblados y abastece del vital líquido para el riego de 28 mil 600 hectáreas, tendrá 30.893 km de longitud y requerirá una inversión aproximada de 771,863 mdp (millones de pesos).

Con este nuevo trazo se solventarán los problemas de hundimientos que se registran en el Canal Principal Nuevo Delta, con lo que garantizara el suministro de agua en cantidad y oportunidad para los agricultores y los 33 poblados que se abastecen del mismo.

Este proyecto de reingeniería deja atrás obras provisionales y da atención a una petición muy sentida de los usuarios agrícolas del DR014, del Valle de Mexicali, Baja California, y San Luis Río Colorado, Sonora.

En base a los análisis previos y la ayuda de los estudios realizados por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), se pudo establecer este nuevo trazo el cual no cruza por sistemas de fallas, zonas de licuefacción, zonas de baja capacidad de carga y libra el área de subsidencia, por lo que la hace la Alternativa mas viable y confiable. Véase la Ilustración 5.1





Ilustración 5.1. Localización de Alternativa más viable "Canal 4 de Abril".





## Bibliografía

- **Secretaría de Fomento Agropecuario**  
*Gobierno de Baja California*  
<http://www.sefoa.gob.mx/hidroInfoRio.aspx>  
Marzo 2012
- **Secretaría de Fomento Agropecuario**  
*Dirección de Infraestructura Hidroagrícola*  
*Distrito de Riego 014, Rio Colorado, Organismo de Cuenca Península de B. C.*  
*Módulos de Riego*
- **Secretaría de Fomento Agropecuario**
- **Gobierno de Baja California**  
<http://www.sefoa.gob.mx/hidroInfoRio.aspx>  
Marzo 2012
- **Comisión Nacional del Agua**
- **Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California**
- **"Hidráulica de Canales"**  
*Eduard Naudascher, Ed Limusa, México, 2000*
- **"Hidráulica de Canales. Fundamentos"**  
*Juan Hernando Cadavid R., Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2006*
- **"Hidráulica de Canales Abiertos"**  
*Ven Te Chow, Ph D, Ed. McGraw-Hill, Santafé de Bogotá, Colombia, 1994*
- **"Hidráulica de Canales Abiertos"**  
*Richard H. French, Ed. McGraw-Hill, Estado de México, México, 1988*
- **"Hidráulica de Canales"**  
*Gilberto Sotelo Ávila, Ed. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., 2001*
- **Precios Unitarios del proceso de reconstrucción de canales del Distrito de Riego 014**

