

hcat07
R-002257

2/B. E103
3024
42
* G 73
• N 5

MEJORAS DE LA ENTRADA AL PUERTO DE FRONTERA

Informe presentado a
LA SECRETARÍA DE MARINA

por
CHRISTIANI & NIELSEN DE MEXICO, S. A.



SECRETARIA DE MARINA
UNIDAD DE HISTORIA
Y CULTURA NAVAL
BIBLIOTECA CENTRAL

VOLUMEN I: TEXTO
VOLUMEN II: ILUSTRACIONES

ENERO 1950

CONTENIDO



	pág.
<u>Sinopsis</u>	1
<u>Introducción</u>	7
1. La naturaleza y limitación del problema	7
2. Métodos empleados en el estudio del problema	9
3. Reconocimiento de las fuentes de información	10
4. Nota preliminar del Sr. Svend Svendsen	11
 <u>Capítulo I. Informaciones de interés para el estudio de los cambios morfológicos en la desembocadura del río</u>	 17
<u>A. Topografía</u>	17
1. El sistema de los ríos Grijalva y Usumacinta y sus áreas de captación	17
2. El Golfo de Campeche y la costa a lo largo del Golfo	20
3. El estuario del río Grijalva	21
<u>B. Geología y condiciones del terreno</u>	23
1. Geología del área de captación	23
2. Naturaleza del fondo del mar a lo largo de la costa	24
3. Condiciones del suelo en el estuario del río	24
<u>C. Clima</u>	27
1. Condiciones de los vientos en el Golfo de México	27
2. Precipitación en el área de captación ..	30
3. Temperatura, humedad y precipitación en Frontera	30

	pág.
<u>D. Hidrología</u>	31
1. Variaciones de las mareas y de las corrientes en el Golfo de Campeche	31
2. Información acerca de anchos, profundidades y gastos de los ríos	34
3. Medidas de cambios de nivel y variaciones de corrientes en las aguas del estuario del río	38
4. Cálculos y estimaciones relativas a los gastos del río	41
 <u>Capítulo II. Estudio de los cambios morfológicos en la boca del río, sucedidos en el pasado y en el presente</u>	 49
<u>A. Transporte de sedimento en el río</u>	49
1. Cantidad de sedimentos que corren a lo largo del fondo, enfrente de Frontera ...	50
2. Sedimento en suspensión en Frontera	53
3. Distribución del sedimento transportado en el canal lateral y en el río, abajo del canal lateral	55
<u>B. Acarreos litorales a lo largo de la costa del Golfo de Campeche</u>	56
1. Vectores del acarreo litoral	59
2. El estudio de las formas de la costa	65
<u>C. Evidencia histórica en relación con los cambios morfológicos</u>	78
1. Cambios en los cursos de los ríos	79
2. Reseña de la evidencia histórica relativa a la boca del Grijalva	81
3. Cambios en la desembocadura del río de 1518 a 1909	96
4. Cambios en la desembocadura del río de 1909 a 1949	104
5. Experiencias de la construcción y conservación del canal lateral	110

	pág.
D. <u>Resumen y conclusiones referentes a los cambios morfológicos en la desembocadura del río</u>	122
<u>Capítulo III. Aspecto económico del proyecto portuario</u>	137
A. El comercio del área de influencia	137
B. El sistema de transporte en el área de influencia	139
C. Condiciones de importación y exportación	142
D. Beneficios que se esperan al abrirse la desembocadura del río	143
<u>Capítulo IV. Discusión de diferentes proyectos para mejorar la entrada a Frontera</u>	147
A. El canal lateral actual se mantiene abierto para el tráfico de mar	148
B. Un canal navegable se mantiene a través de la barra enfrente de la desembocadura del río ..	155
C. Un nuevo canal lateral para barcos de gran calado se draga en el lado este de la boca ..	160
D. Otras soluciones	164
E. Comparación económica de varias soluciones ..	165
F. Observaciones finales	166



SECRETARIA DE MARINA
UNIDAD DE HISTORIA
Y CULTURA NAVAL
BIBLIOTECA CENTRAL

LISTA DE REFERENCIAS

	pág.
a. Reportes y documentos relativos al problema de Frontera	169
b. Mapas y croquis de la desembocadura del río Grijalva	170
c. Literatura con información relativa a la zona que tiene influencia en las condiciones de la desembocadura del río..	173
d. Mapas del área de captación del sistema fluvial de Grijalva-Usumacinta	177
e. Cartas marinas del Golfo de México	182
f. Literatura sobre problemas de acarreo litoral	185
g. Literatura sobre transporte de sedimento en los ríos	186
h. Literatura sobre regulación de estuarios de ríos	186

TABLAS, pág.187 etc.



SINOPSIS

El presente reporte ha sido preparado a solicitud de la Secretaría de Marina, en representación del Gobierno de México, por la compañía Christiani & Nielsen de México, S.A. Se refiere al problema del mejoramiento de la entrada al puerto de Frontera, situado aproximadamente a 10 km. de la desembocadura del río Grijalva, en el estado de Tabasco.

Las profundidades de la barra en la boca del río y en el canal lateral que fué dragado en los años de 1912-13, con el propósito de mejorar las condiciones que existían entonces, en la actualidad no pasan de 3 a 4 m., y barcos con calado mayor no pueden entrar a la ciudad y puerto de Frontera. El conservar las profundidades necesarias en el canal lateral por medio de dragado, ha resultado difícil.

En junio de 1949, la Compañía fué contratada para hacer los proyectos y llevar a cabo la construcción de un muelle marginal de 300 m. de longitud y con una profundidad de 8,0 m., y de una bodega con 1.500 m² de superficie, en la ciudad de Frontera. En el mismo contrato se estipulaba también la construcción de una escollera, que debería ser ejecutada al norte de la entrada del canal lateral, con el objeto de detener los depósitos de la corriente litoral e impedir que llenaran el canal. No obstante esto, la Secretaría de Marina incluyó en el mismo contrato una cláusula por la cual se deberían llevar a cabo estudios suficientemente amplios para localizar el lugar donde fuera más conveniente la construcción de la escollera o escolleras, para solucionar el problema en cuestión. Los estudios e investigaciones en el sitio se han efectuado de junio de 1949 a enero de 1950.

Las investigaciones en el lugar han consistido en lo siguiente:

Levantamiento hidrográfico de la boca del río Grijalva y de las áreas enfrente de ella; levantamiento aerofotográfico de la boca y zonas adyacentes de la costa, en escala 1:5.000; obtención y pruebas de muestras de las superficies de los fondos del río y del mar; perforaciones y pruebas de las muestras obtenidas; medición de corrientes y de los sedimentos en suspensión en el río; mediciones de niveles de agua y velocidades de viento; construcción de un espolón de prueba. La costa a los lados de la boca del río ha sido estudiada detenidamente, y lugares probables para obtener piedra y arena para construcción han sido explorados. Todos los documentos antiguos que tienen alguna relación con el problema de Frontera, que se han podido localizar, han sido estudiados con objeto de presentar un reporte basado en todos los datos disponibles.

El presente reporte ha sido dividido en cuatro partes principales: capítulo I que trata de las condiciones que influyen en el desarrollo de la boca del río, naturaleza del suelo, vientos, mar, lluvias y corrientes; capítulo II que trata de los cambios morfológicos, la corriente litoral, los sedimentos transportados por el río, y cambios en la boca; capítulo III que trata sobre la información general en relación con el aspecto económico del problema; y, finalmente, capítulo IV donde se discuten varias posibles soluciones al problema.

El resultado de las investigaciones de las condiciones presentes pueden resumirse como sigue: en los años 1920-40, cuando el canal lateral se conservó abierto por medio de dragado con una profundidad de 6 a 7 m., grandes depósitos de arena se formaron al oeste de la Isla del Buey (esta isla se formó al abrirse el canal

lateral) y enfrente de la desembocadura del canal. Al crecer la isla, la longitud del canal aumentó considerablemente. La barra frente a la desembocadura del río Grijalva se levantó y se formó una isla conocida actualmente con el nombre de Isla Azteca. La dirección de la desembocadura del río se inclinó con eso hacia el oeste.

Alrededor de 1938 las condiciones cambiaron, siendo mayor la erosión que la cantidad de depósitos acumulados. La arena depositada fué desalojada de la parte norte de la barra y, de este modo, la Isla Azteca fué desplazada gradualmente hacia la boca del río.

Un estudio histórico de la configuración de la boca del río en los siglos pasados, ha demostrado que es tendencia natural del río mantener una salida a través de la barra, más o menos en línea con el eje del mismo río. La profundidad normal mínima sobre la barra ha sido alrededor de 3 m. Los cambios en el río observados desde alrededor de 1920 han sido excepcionales y la explicación puede ser que fueron causados en alguna forma al abrirse el canal lateral. La información histórica antes de 1912 ha demostrado condiciones comparativamente estables, y los movimientos de la boca y de la línea de la costa a los lados hacia el mar, normalmente han sido más bien lentos.

Los materiales depositados en la barra durante el período en que ocurrieron los grandes cambios, fueron originados parte por el río y parte por la costa al este del río; pero es muy difícil determinar exactamente la relativa importancia de estas dos causas en números. Las investigaciones han demostrado que la corriente litoral en la mayor parte de la costa de Tabasco es principalmente hacia el oeste. La costa inmediata correspondiente a la parte este de la boca del río está, sin embargo, más o menos equilibrada; la arena es depositada aquí y la costa se está

moviendo hacia afuera. Al oeste del río se observa un movimiento decidido hacia el oeste causado por el arrastre de la arena del mismo río como también del material que atraviesa la boca del río y que viene de la costa este.

Una pequeña parte de los sedimentos que arrastra el río, pasan por el canal lateral; la mayor parte de los sedimentos salen por la boca del río y son llevados a la salida del canal lateral por la corriente litoral. Además de estas cantidades de sedimento, la desembocadura del canal lateral sufrirá los acarreos de la arena que actualmente está siendo removida de la parte norte de la Isla Azteca. Por esta razón es de esperarse que la cantidad de sedimentos que llegan a la desembocadura del canal lateral es de mayor consideración que la observada en 1920-40, cuando parte de la arena acarreada por la corriente litoral era detenida en la barra de la Isla Azteca.

Considerando el punto de vista anterior que presenta la situación actual, se llega a la conclusión que tendrán que vencerse grandes dificultades, si se trata de conservar el canal lateral por medio de dragado. Un canal profundo fuera de la costa recogerá una porción mayor de la arena arrastrada y el costo de dragado sería muy alto. Las condiciones pueden mejorarse algo con la construcción de un espigón, pero la cantidad de arena que se podrá acumular al norte de esta estructura, será tan pequeña, que el espigón resultará prácticamente inútil en poco tiempo. El tratar de mantener el actual canal lateral en la forma en que está, no es de recomendarse.

La construcción de dos escolleras o muros de encauzamiento en la boca del río puede ser una mejor solución. La corriente del río puede ser más o menos capaz de mantener un canal con la necesaria profundidad para la navegación desde Frontera hasta la boca del río a la altura de los morros de las escolleras o muros de encauzamiento.

Cuando menos esto puede lograrse sin un costo excesivo de dragado continuo. La dificultad principal consiste, en este caso, en mantener las profundidades necesarias en la boca de las escolleras. La pendiente del fondo del mar es tan suave que no hay lugar para acumular sedimentos acarreados por el río, y no es de creerse que la corriente de la costa sea suficientemente fuerte para arrastrar todos los sedimentos gruesos. Debe tenerse en consideración que pasados algunos años deberá procederse a dragar la desembocadura constantemente. Teniendo en consideración la corriente litoral, esta proposición es, sin embargo, mucho mejor que la de construir un espigón en el canal lateral. La capacidad para acumular la arena arrastrada por la corriente litoral al este de los muros de encauce, es muy grande y las líneas de costa, al crecer, se irán formando más o menos paralelas a la presente línea de costa.

Como la construcción de las escolleras es una obra cara y, además, es de tener en consideración el dragado necesario en el futuro, se ha estudiado la posibilidad de otras soluciones que puedan ser más satisfactorias. El resultado de este estudio es la proposición para dragar un nuevo canal al este de la boca del río. Será necesario construir dos espigones de protección para el canal fuera de la costa, para evitar que se llene de arena. Los espigones de protección, en la misma forma que las escolleras en la desembocadura del río, detendrán gran parte de los acarrees litorales y también tendrán una gran capacidad de almacenamiento. Por lo tanto habrá poco peligro de inconvenientes debido al movimiento hacia afuera de la costa al este de los espigones, siendo que el avance de la costa será muy pequeño. Desde luego sería preferible proteger todo el canal delante de la costa, pero por razones económicas se sugiere proteger únicamente la parte interior y

mantener la profundidad necesaria en la parte exterior con dragados. Es de esperarse que no se deposite gran cantidad de arena en este lugar.

Se propone que este nuevo canal sea dragado a una profundidad aproximada de 7,5 m. y con un ancho suficiente para el paso de un solo buque grande. Esto será suficiente para el actual tráfico en Frontera y el canal puede ser ensanchado, si más tarde se juzga necesario. Se sugiere dotar el canal de una esclusa con objeto de evitar corrientes, las que pueden causar erosión en los taludes y el acarreo de sedimentos por el canal, lo que dificultaría la navegación. El paso de los barcos a través de la esclusa no demoraría mucho, ya que las diferencias de nivel serían muy pequeñas y por lo tanto la apertura de las compuertas sería relativamente rápida.

La solución mencionada y otras posibilidades están discutidas con más detalle adelante, con objeto de señalar sus ventajas y desventajas y facilitar al Gobierno Mexicano su decisión sobre las diferentes proposiciones.

INTRODUCCIÓN

Antes de comenzar con la parte principal del reporte, se van a hacer algunas indicaciones en relación con la naturaleza y la limitación del problema y las formas en que ha sido estudiado.

1. - La naturaleza y limitación del problema.

En la cláusula tercera del contrato celebrado con la Secretaría de Marina en marzo de 1949, se indica que, si así lo desea la Secretaría, la Compañía se obliga a "presentar los planos y especificaciones que serán sometidas a la aprobación de la Secretaría y que sean necesarias para definir si se construye la escollera en el canal lateral o escolleras definitivas en el río Grijalva". El 27 de junio de 1949, la Secretaría de Marina se dirigió a esta Compañía confirmando su deseo de que se hiciera el estudio, e indicando el programa de investigaciones que a continuación se detalla:

- 1) Levantamiento topográfico de la zona en la desembocadura del río Grijalva abarcando el canal lateral, la Isla del Buey, la barra conocida como Isla Azteca, y las porciones de costas necesarias para evaluar los efectos de las corrientes marítimas y fluviales. Este levantamiento deberá ligarse con los efectuados anteriormente por la Secretaría.
- 2) Estudio de las corrientes marítimas y fluviales. No se incluyen estudios de mareas y vientos, porque la Secretaría posee datos suficientes para los estudios por realizar.
- 3) Perfiles en el canal lateral y en el río Grijalva en la extensión suficiente para las necesidades de los estudios.
- 4) Sondeos en el mar en las zonas correspondientes a las desembocaduras del canal la-

- teral y del río Grijalva.
- 5) Investigación de subsuelos en las zonas que sean afectadas por la construcción de las escolleras y por el canal de navegación en el río que tendrá que ser dragado.
 - 6) Determinación de materias en suspensión en el canal lateral y en el río Grijalva.
 - 7) Todos los datos que la Compañía considere necesarios para formular el proyecto de obras.
 - 8) Memoria descriptiva y planos, proyectos y presupuestos.

La Compañía entiende que el principal objeto de este estudio es encontrar la mejor manera de asegurar la entrada de barcos de gran calado a Frontera. Como el muelle que se contruirá frente a la ciudad de Frontera deberá tener una profundidad de 8,0 m. en el agua, se desprende que una profundidad casi igual que ésta será necesaria en el canal de acceso, o que en cualquier caso será posible llegar a esta profundidad en el futuro por medio de la solución que se escoja. Se ha considerado, por lo tanto, que el principal objeto del estudio es buscar soluciones que puedan llenar los requisitos antes mencionados. La Compañía se toma la libertad de mencionar otras proposiciones diferentes, por lo que el reporte podrá dar una mejor idea del problema y sus varias posibles soluciones. El reporte trata del problema en general. Detalles concernientes a las estructuras propuestas son mencionados solamente por ser interesantes para poder escoger entre las diferentes soluciones. El reporte trata principalmente del aspecto técnico del problema, mientras que las condiciones económicas, que son de igual importancia, han sido mencionadas superficialmente en el capítulo III.

2. - Métodos empleados en el estudio del problema.

El tipo de problema del cual trata este reporte, es decir la regularización de la desembocadura del río, es sumamente complejo, ya que muchos factores intervienen, tales como corrientes, olas, mareas, y condiciones del subsuelo. Existen muy pocas leyes generales y, por lo tanto, ha sido necesario atacar el problema estudiando qué es lo que ha pasado o está pasando en la desembocadura del río, y usar la experiencia obtenida de esas observaciones para poder estimar los efectos probables que causen las nuevas estructuras. Desde luego existen leyes de hidráulica, leyes generales relativas a los acarreos litorales y a los sedimentos transportados por los ríos, pero en el presente caso estas leyes sólo pueden ser empleadas con éxito, cuando su validez haya sido probada por un estudio de los cambios que han tenido lugar. Hacer un cálculo tomando en cuenta todos los factores, es imposible. Problemas de esta naturaleza han sido resueltos alguna vez con modelos en pequeña escala, pero aun este método requiere que las condiciones no sean muy complicadas. El caso actual de la desembocadura del río Grijalva se considera sumamente complicado para poder ser solucionado con modelos a escala, y la única solución es juzgar el problema a través de los estudios que se realicen. Una vez que se haya escogido alguna de las soluciones propuestas, puede ser posible, sin embargo, checar ciertas partes y aspectos del proyecto elegido, haciendo pruebas sobre modelos de determinadas estructuras.

La evolución de la desembocadura del río no puede ser entendida ampliamente sin tener algún conocimiento de las condiciones de la costa a los dos lados de la desembocadura del río y de las partes superiores del río y su área de captación y, por lo tanto, información relativa a estas

condiciones ha sido incluida en este reporte.

Las partes principales en que se ha dividido este reporte, han sido hechas de acuerdo con el método usado para el estudio. En el capítulo I, se hace una descripción de todos los factores que han tenido, o se espera que puedan tener influencia en los cambios morfológicos de la desembocadura del río, tales como topografía, geología y condiciones del suelo, vientos y lluvias, cambios de niveles en las aguas, corrientes, etc. El capítulo II trata directamente de los cambios morfológicos: el transporte actual de sedimentos en el río y a lo largo de la costa, y los cambios que se sabe se han realizado en la desembocadura del río. El capítulo III da alguna información acerca del aspecto económico del problema, las condiciones actuales del tráfico, etc., ya que esto es necesario para la discusión en sí de las diversas proposiciones del capítulo IV.

Se ha tratado de obtener la mayor cantidad posible de datos, coleccionando todos los documentos antiguos que tienen alguna relación con el problema, y presentar estos con los resultados de las nuevas investigaciones que la Compañía ha llevado a cabo en 1949. La idea ha sido presentar el reporte en tal forma que aun personas que no conozcan el problema en Frontera puedan darse cuenta de él.

Ya que el reporte ha tenido que basarse en literatura, mapas y en algunos casos en los relatos de algunas personas, pequeños errores pueden encontrarse en vista de que no ha sido posible checar todas las fuentes de información. Estos posibles errores no pueden tener una gran influencia en las conclusiones de este reporte, ya que estas conclusiones no están basadas en informaciones procedentes de una sola fuente.

3. - Reconocimiento de las fuentes de información.

Las observaciones llevadas a cabo por la

Compañía, deben ser consideradas como el último paso en los estudios y levantamientos efectuados anteriormente por el Gobierno de México. El gran número de planos hidrográficos ejecutados en años anteriores y que nos fueron proporcionados por la Secretaría de Marina, han sido de gran valor. De los reportes existentes, el que fué preparado por el Ing. Roberto Mendoza Franco por órdenes de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas en junio de 1939, es el más interesante y valioso que hemos tenido en nuestro poder. Otros reportes, documentos, libros y mapas conteniendo información de interés, aparecen en la lista de referencias que forma apéndice de este reporte. Las anotaciones hechas en el margen del reporte, se refieren a esta lista de referencias.

Además de la Secretaría de Marina, otras instituciones gubernamentales como la Secretaría de Agricultura y Fomento y la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, así como también compañías y personas que han trabajado anteriormente en Frontera, han demostrado su buena voluntad al contribuir en la preparación de este informe.

El Sr. Svend Svendsen, subjefe del Departamento de Trabajos Marítimos de Dinamarca, ha sido consultado por esta Compañía, especialmente en las cuestiones relativas a acarreos litorales y fluviales. Todos los aspectos de este reporte han sido discutidos con el Sr. Svendsen, quien personalmente se dió cuenta del problema, habiendo estado en la ciudad de Frontera en noviembre de 1949.

4. - Nota preliminar del Sr. Svend Svendsen.

Las condiciones naturales existentes en la desembocadura del río Grijalva deben ser consideradas poco favorables para la construcción de trabajos portuarios. Las condiciones de cimentación son muy malas debido al subsuelo blan-

do, y la pendiente del fondo del mar es tan suave que para llegar a profundidades suficientes, la distancia debe ser muy grande. Además se aprecia un considerable acarreo de sedimentos, tanto en el río como a lo largo de la costa, y esto puede ocasionar depósitos que impidan la navegación. Por otro lado, hay que reconocer que es difícil encontrar otro lugar de la costa de Tabasco con condiciones mejores para efectuar trabajos portuarios.

En los últimos siete meses, la Compañía ha hecho esfuerzos para obtener toda la información disponible relativa a la evolución hasta la fecha, de la zona por estudiar. Además, investigaciones muy extensas han sido llevadas a cabo en el lugar, relativas a vientos, corrientes, acarreo de sedimentos, profundidades de agua, condiciones del subsuelo, etc. No obstante, debe subrayarse que la tarea de aclarar todas estas circunstancias *es enorme y las fuentes de información son limitadas*. En mi opinión, estas investigaciones, por eso, deben ser continuadas aun si se inician ya ahora los trabajos de construcción.

Basado en el resultado de las investigaciones llevadas a cabo y de mi personal experiencia obtenida durante mi visita a la ciudad de Frontera en noviembre de 1949, considero posible desde luego hacer las siguientes afirmaciones relativas a la posibilidad y justificación de establecer una entrada para barcos de gran calado en la desembocadura del río Grijalva.

A base de las informaciones actuales, puede considerarse como un hecho establecido que a lo largo de la mayor parte de la costa de Tabasco existe un acarreo litoral con dirección principal este-oeste. Es muy difícil determinar la magnitud exacta de este acarreo, pero por comparaciones con casos similares en otros lugares, y haciendo consideraciones teóricas, es posible lle-

gar a conclusiones que son suficientemente exactas, para el caso presente.

Debería especialmente notarse que el acarreo de materiales al este de la boca del río debía suponerse ser muy reducido. Inmediatamente al este de la boca del río, el acarreo del material tiene dirección este como el transporte de material proveniente del río en este lugar predomina sobre el transporte a lo largo de la costa. Al oeste de la desembocadura del río, el acarreo de sedimento es más intenso, debido a que los materiales tanto provenientes del río como de la costa, deben pasar por ese lugar.

Además se puede asegurar definitivamente que el río acarrea una cantidad considerable de material: no solo las protuberancias en la desembocadura del río, sino también la mayor parte de las tierras bajas del estado de Tabasco, han sido formadas por material del río. De este hecho se puede sacar la conclusión que el transporte de sedimento en el río es muy considerable. Una determinación exacta de las cantidades acarreadas por el río difícilmente se puede determinar basándose en las mediciones de sedimento hechas por la Compañía, como no ha sido posible en el corto tiempo disponible hacer estas mediciones suficientemente extensas. No obstante, aun sin esta información completa se podrá llegar a conclusiones fundamentales e indispensables, relativas a los efectos del acarreo de materiales sobre las diferentes obras portuarias posibles.

En relación con las diferentes posibilidades de asegurar la navegación de barcos de gran calado hasta la ciudad de Frontera, voy a hacer los siguientes comentarios:

Yo no puedo recomendar que la entrada al canal lateral actual se garantice mediante la construcción de un espigón, que se supone debiera evitar que se llene de azolve el canal de

navegación.

En este lugar, los sedimentos combinados transportados por el río y por la corriente litoral, tienen que pasar, y el lugar donde deben almacenarse las arenas, enfrente del espigón, se llenará rápidamente y la arena pasará adelante de la cabeza del mismo y llenará el canal.

Construir escolleras a los lados de la desembocadura del río sería una mejor solución. Como el acarreo litoral al este de la boca del río es reducido, la acumulación de arena al este de la escollera tomará tanto tiempo que es justificable que se lleven a cabo estas obras. A este respecto hay que hacer notar que, debido al hecho que la línea de costa se mueve continuamente hacia el mar, cualquier trabajo que se haga tendrá una vida limitada.

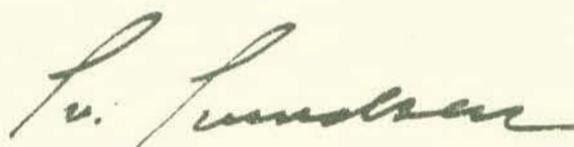
La construcción de las escolleras en la desembocadura del río podrá alejar de la boca del río el material que es arrastrado por la corriente litoral, pero el material en suspensión transportado por el río no se puede naturalmente alejar. Hay razón para suponer que parte del material más grueso se puede depositar enfrente de los extremos de las escolleras, y que esto puede impedir la navegación y hacer necesario el dragado. Además, el hecho de que la corriente en el canal de navegación llevará material en suspensión, puede ocasionar cambios en la profundidad y situación del mismo, cambios que habrá necesidad de regularizar con dragado. Sin embargo, estas desventajas no son tan importantes que el proyecto en discusión debiera ser abandonado por esta razón.

Las desventajas mencionadas pueden ser eliminadas completamente mediante un proyecto, por el cual se construya un puerto inmediatamente al este de la boca del río, conectado con él a través de un canal que está provisto de una esclusa

para barcos de gran calado. En este proyecto no existen las corrientes y el acarreo de materiales en el canal, y por lo tanto hay un riesgo mucho menor de azolve. En relación con la cantidad de arena que se puede almacenar a los lados de la estructura, procedente de la corriente litoral del este, esta proposición es tan buena como el proyecto de escolleras en la desembocadura del río.

Finalmente opino que, teniendo en consideración los conocimientos obtenidos hasta la fecha de las condiciones del subsuelo, difícilmente se pueden construir defensas que no sean formadas por estructuras flotantes y livianas como las que se describen en el presente reporte. No obstante, deseo añadir que aun este tipo de construcciones puede estar sujeto a asentamientos, los que pueden impedir el posible tráfico en la corona de las escolleras, pero que no serán de consecuencias para su objeto principal.

Copenhague, el 12 de enero de 1950.



(Sv. Svendsen)

Capítulo I. - Informaciones de interés para el estudio de los cambios morfológicos en la desembocadura del río.

A. - Topografía.

Localización de Frontera

El puerto de Frontera, también conocido como Álvaro Obregón, está situado en la margen derecha del río Grijalva, aproximadamente a 10 km. de la desembocadura del mismo, en la parte sur del Golfo de Campeche. El puerto constituye la conexión del tráfico marítimo en el Golfo con el tráfico fluvial del extenso sistema formado por el río Grijalva, su largo afluente, el río Usumacinta, y sus numerosos tributarios.

Área de captación del sistema fluvial de Usumacinta-Grijalva

El área de captación de estos ríos está constituida por las planicies de los estados de Tabasco y Campeche y las montañas del estado de Chiapas, además de la parte correspondiente en la república de Guatemala. Al oeste de esta área está el Istmo de Tehuantepec con los sistemas fluviales de los ríos de Coatzacoalcos y Uzpanapa, y al este se encuentran las planicies de la península de Yucatán (ver lámina N°1).

1. - El sistema de los ríos Grijalva y Usumacinta y sus áreas de captación.

El área de captación de este sistema fluvial cubre una superficie de cerca de 130.000 km². Sus límites están señalados en la lámina N°1. Para describir este sistema fluvial y para hacer los cálculos de gastos, es conveniente dividirlo en los siguientes pequeños sistemas (ver láms. N°1 y 2)

1. Río Usumacinta y tributarios.
2. Río Mezcalapa y tributarios.
3. Ríos Pichucalco, Teapa y Tacotalpa.
4. Ríos Macuspana, Tolijá, Chilapillas, Chilapa y Grijalva.

Partes altas de los ríos

Los ríos Mezcalapa y Usumacinta se originan en las altas montañas de Guatemala. El Mezcalapa o Río Grande, como se denomina en su parte alta, corre al principio en dirección noroeste y des-

pués en dirección norte, mientras que el curso del Usumacinta es norte en su principio y después corre hacia el noroeste. La distancia desde sus fuentes hasta su desembocadura cerca de Frontera es alrededor de 1.000 km. medidos por el río Usumacinta y 700 km. medidos a lo largo de los ríos Mezcalapa y Grijalva.

El Río Grande corre a través de un valle abierto llamado Valle Central, el que está flanqueado por las montañas de la Sierra Madre en su margen izquierda y la Mesa Central en la derecha. Las montañas de la Sierra Madre varían en altitud de 2.800 a 3.000 m. hacia la parte sureste donde se encuentra localizado el volcán Tajumulco de 4.000 m. de altura, hasta 1.500 m. en la parte noroeste. La altitud de la Mesa Central es de 1.000 a 2.000 m., siendo su punto más alto de 2.850 m., mientras que el Valle Central tiene únicamente de 500 a 700 m. sobre el nivel del mar.

El río Usumacinta está formado por la confluencia de los ríos Lacantún, Salinas y Pasión, los que en su principio corren al pie de la parte noreste de la meseta. Al este del río hay llanuras donde se encuentran pequeñas colinas.

Posteriormente los ríos corren a través de las llanuras a lo largo de la parte sur del Golfo de Campeche en una longitud de 100 a 150 km. Numerosos lagos se encuentran en esta área, y cerca de la costa y a lo largo de ella, algunas lagunas. Estos ríos tienen muchos tributarios y algunas veces están interconectados. Este sistema fluvial tiene varias salidas al mar. Prácticamente todos los ríos tienen meandros.

Desde el Valle Central hasta las planicies, el Río Grande tiene que pasar por estrecho y profundo cañón; al pasar esta garganta, el río es conocido como el Mezcalapa, cuyo curso al principio es hacia el norte y después hacia el este,

Partes bajas
de los ríos

siguiendo rumbo a la ciudad de Villahermosa, capital del estado de Tabasco. Desde este punto, el río sigue una dirección norte bajo el nombre de río Grijalva. El río Grijalva y la parte inferior del río Mezcalapa reciben agua de varios tributarios, tanto en su margen derecha como en la izquierda, y al mismo tiempo pierde agua a través de brazos que van a dar al mar y que parten de su margen izquierda. Antes de Villahermosa el río recibe agua de los ríos Pichucalco y Tacotalpa, en su margen derecha, el último con su largo afluente, el río Teapa. Poco más adelante, el Grijalva recibe las aguas de los ríos Chilapillas y Chilapa, ambos pertenecientes al sistema de Marcuspana-Tolijá (lámina N°2).

El primer brazo, a través del cual pierde agua el Grijalva hacia el mar, es el río Cunduacán. Este principia inmediatamente después que el curso del río Mezcalapa cambia dirección de norte a este. El río Cunduacán, sin embargo, no lleva mucha agua. De más importancia es el nuevo río que se ha formado al este del Cunduacán cuando las márgenes del Mezcalapa fueron rebasadas alr. de 1930 en un lugar ahora conocido como Rompido de Samaria. Este río toma la mayor parte del gasto del Mezcalapa. El tercer brazo es el río Plátano o Río Nuevo que corre al oeste de Villahermosa. El Canal de la Pigua sale del río Grijalva inmediatamente al norte de Villahermosa. Este canal llevaba originalmente las aguas provenientes del río Plátano al río Grijalva, pero la dirección de la corriente es ahora variante. Tanto el río Cunduacán como el río Samaria y el río Plátano descargan en el río González, el cual a su vez va a desembocar al mar en la barra de Chiltepec.

El sistema del río Usumacinta también tiene varias salidas. Antes de su confluencia con el Grijalva, en el punto denominado Tres Bocas, dos

ríos se desprenden del Usumacinta hacia el mar: el río Palizada que va a desembocar a la laguna de Términos, y el río San Pedro y San Pablo que desemboca en la costa a unos 20 km. al este de Frontera, pero la mayor parte del gasto del río Usumacinta se va a juntar con el río Grijalva. Más adelante en este reporte se dan más informaciones acerca de profundidades, secciones transversales, corrientes y navegabilidad de la parte baja del sistema fluvial.

Geología, humedad, precipitación y vegetación

(d 41)
(d 49)
(d 50)
(d 52)

Información relativa a altitudes, geología, humedad, precipitación, vegetación y condiciones del suelo en el área de captación se da en los mapas de la lámina N°3. Un alto grado de humedad y de precipitación se encuentra en las planicies en la parte norte del área de captación, pero especialmente en las estribaciones de las montañas que bordean las planicies. Precipitaciones anuales de 4.000 a 5.000 mm. se han llegado a medir en estos lugares. En las planicies cerca de la costa crece la jungla y a alguna distancia de la costa se encuentran bosques propios del clima tropical lluvioso. En las planicies se encuentran áreas cubiertas de pasto, otras con campos cultivados y algunas con plantaciones. En las montañas, los bosques tropicales se encuentran a alturas de 500 a 1.000 m. y más arriba hay árboles de hojas caducas. Los pinos se localizan en alturas mayores de 2.000 m. El grado de humedad y la precipitación al sur de la Mesa Central, en el Valle Central, son más bajos. Respecto a a las condiciones geológicas, éstas serán tratadas en el párrafo siguiente, y se dará más información acerca de las condiciones climatológicas.

2. - El Golfo de Campeche y la costa a lo largo del Golfo.

Profundidades en el Golfo de Campeche

En la parte este del Golfo de Campeche, a lo largo de las playas oeste de Yucatán, se encuentra la Sonda de Campeche con profundidades en sus

aguas de 20 a 50 m. Al norte de Tabasco, el fondo del mar tiene una pendiente suave. La cota de 100 m. de profundidad se encuentra entre los 30 y 50 km. de distancia, y la cota de 200 m. entre 50 y 70 km. de distancia de la costa. Profundidades de 1.000 a 2.000 m. se encuentran en el centro del Golfo de Campeche, a unos 200 km. al noroeste de Frontera (lámina N°2).

Descripción
de la costa

La costa sur del Golfo de Campeche es más o menos recta y suave; los únicos puntos salientes son la boca del río Grijalva y la punta de Xicalango al oeste de la entrada de la laguna de Términos. Además de esta laguna, algunas pequeñas lagunas se encuentran a lo largo de la costa, por ejemplo la laguna de Mecoacán, laguna Machona y laguna del Carmen. Con la excepción de los ríos Grijalva y San Pedro, la mayor parte de los ríos descargan en las lagunas. Todos los ríos y entradas a las lagunas tienen barras. Las profundidades aproximadas en las barras son: para la entrada este de la laguna de Términos 2,7 m., para la entrada del oeste de la misma laguna alrededor de 4,0 m., para el río San Pedro 1,5 m., para el río Grijalva 3,0 m., para el río Chiltepec 3,0 m., y para Dos Bocas 3,2 m. La costa en general es baja y el terreno cercano con alturas de 1,5 a 2,0 m. densamente poblado de árboles. La playa es más bien plana; la curva de 10,0 m. en el mar se encuentra a distancias de 5 a 10 km.

3. - El estuario del río Grijalva.

De Tres Bocas
a la desembocadura del
río

El curso de este río desde Tres Bocas hasta su desembocadura es más o menos regular, corriendo en dirección NNO. (lámina N°4). Inmediatamente después de Frontera se divide en dos canales, causados por una isla que tiene aproximadamente 2.800 m. de longitud y 500 m. de ancho. En mapas recientes se le designa a esta isla con el nombre de Isla del Buey, pero en este reporte vamos a usar el nombre antiguo de Isla de Fron-

tera, con el objeto de evitar confusiones, como se explicará adelante. El ancho del río Grijalva en Tres Bocas es alrededor de 400 m., y frente a la ciudad de Frontera y aguas abajo de la Isla de Frontera, de 800 m. A la altura de la isla, el canal este es de 500 m. de ancho, mientras que el ancho del canal oeste es de solamente 300 m. Las profundidades del río varían de 8 a 10 m. de Tres Bocas a Frontera y de 10 a 12 m. frente a la ciudad de Frontera; y en el canal al este de la isla la profundidad varía de 10 a 12 m. (lámina N°5).

La desembocadura del río

En la desembocadura del río Grijalva, que tiene la forma de una campana, se encuentra una barra, la cual ha formado la Isla Azteca que divide el río en dos canales. El canal oeste tiene una anchura de 600 m., mientras que el canal este tiene solamente una anchura de 400 m. Ambos canales tienen una profundidad aproximada de 3 a 4 m. en la marea baja. Además de los dos canales naturales, existe un canal lateral artificial que partiendo del río a una distancia de 3,5 km. de su desembocadura, tiene salida al mar al oeste de la desembocadura del mismo río. Este canal tiene una longitud de 3 km. y corre con una dirección este-oeste, teniendo una anchura de 250 m. y una profundidad de 5 a 6 m.

Pendiente de la playa

La costa es relativamente plana, especialmente al este de la desembocadura, donde a una distancia de 4 km. de ella la pendiente es de 1:600 hasta llegar a una profundidad de 7 m. Al oeste de la Isla del Buey, la pendiente es alrededor de 1:350 y 5 km. al sur del canal lateral cambia a 1:200 hasta la cota de 7 m. La costa es más pronunciada en la parte norte de la Isla Azteca donde la pendiente es de 1:100 hasta la cota de 4 m. Abajo de la cota de 6 a 7 m., el fondo del mar es extremadamente plano con pendientes de 1:800 hasta 1:1200. Este fondo plano se extiende en un área grande dentro del mar, y profundidades de

20 m. se encuentran a distancias de 20 km. de la costa, lo que corresponde a una pendiente de 1:1000.

B. - Geología y condiciones del terreno.

Los recientes cambios que han tenido lugar en la desembocadura del río Grijalva pueden ser considerados como los últimos pasos en las evoluciones geológicas. Por lo tanto, es natural hacer una revisión breve de lo que se sabe acerca de la geología y condiciones del terreno en esta parte de México.

1. - Geología del área de captación.

Las montañas de la América Central fueron en un tiempo una cadena de islas, y las planicies que se encuentran ahora entre ellas y a ambos lados han sido formadas por los sedimentos acarreados y depositados procedentes de los deslaves de las mismas montañas y conducidos por los ríos. Los depósitos de acarreo han sido especialmente grandes en la parte norte de las montañas, en las zonas de Tabasco y Campeche. Los sedimentos que forman estas planicies tuvieron su origen en las montañas de Chiapas y Guatemala.

Un mapa geológico del área de captación y un mapa de la misma área señalando los terrenos encontrados en la superficie de ella, se muestra en la lámina N°3. En las montañas de la Sierra Madre se encuentra granito y gneiss. Las viejas formaciones en el Valle Central están cubiertas por capas mesozoicas. Alrededor del volcán Tajumulco la superficie está compuesta de capas de andesita. En las montañas alrededor de la Mesa Central se encuentran rocas jóvenes, tales como rocas calcáreas, areniscas y pizarra, fácilmente atacables por intemperismo. Una gran parte de los sedimentos depositados en las planicies provienen de estas montañas. Piedra calcárea se encuentra también en la parte este del área de captación; es

Historia
geológica

Tipos de ro-
cas y depó-
sitos de se-
dimentos

conocido que el río San Pedro tiene sus aguas coloradas en blanco, lo que es causado por la creta que acarrea en suspensión. El cañón conocido como Boca del Cerro está constituido por dolomitas y rocas calcáreas.

2. - Naturaleza del fondo del mar a lo largo de la costa.

(c 36)
(c 37)

En las playas la calidad de la arena que generalmente se encuentra, es arena fina blanca. Esta clase de material se encuentra en la Isla del Carmen y a los dos lados de la boca del río Grijalva. Arcilla, se sabe, se ha encontrado en las playas en Punta Xicalango y cerca de la boca del río San Pedro y San Pablo. Más adentro, el fondo del mar consiste principalmente de lodo suave; esto es por lo menos el caso en todo el trecho entre la Punta Xicalango y la barra de Chiltepec. Areniscas se encuentran en la entrada este de la laguna de Términos; arena gruesa de color oliva se ha encontrado en el fondo del mar entre la barra de Chiltepec y el río Tapilco.

3. - Condiciones del suelo en el estuario del río.

Tamaño de los granos en las muestras superficiales

Las características de la superficie del fondo del río y del mar, han sido examinadas por medio de muestras, y las capas profundas han sido estudiadas por medio de perforaciones. En la lámina N°5 se muestran la localización y características de las muestras superficiales y la localización de las perforaciones.

Las capas superficiales parecen ser constituidas por arena, fango, arcilla y además mezclas de estas materias. La mayor parte del fondo del río consiste de fango y arcilla, pero también se encuentra arena en ciertos lugares. Desde la playa hasta profundidades entre 4 y 7 m., consiste de arena; más allá de estas profundidades, el fondo consiste principalmente de fango y arcilla. Las muestras superficiales que se tomaron en 1938

(indicadas en el pequeño mapa de la lámina N°5) confirman que las condiciones actuales son similares a las de ese tiempo.

Algunas de las muestras tomadas en 1949 han sido probadas granulométricamente (lám.N°6) y algunas analizadas mineralógicamente. La arena encontrada en las playas y en la barra tiene granos muy semejantes con tamaños de 0,1 a 0,2 mm. Arena con similares características y distribución granulométrica ha sido encontrada también en el río, por ejemplo frente a Frontera (correspondiente a la curva 2) y en el canal lateral. Las muestras constituidas por material fino, una mezcla de fango y arcilla, tienen también una distribución granulométrica típica.

Composición mineralógica

Se ha encontrado que las muestras tienen un contenido del 6 al 16 % de carbonato de calcio. Dos muestras tomadas del río han sido analizadas mineralógicamente, una tomada frente a Frontera y otra de la margen derecha frente a la Isla Azteca. También se ha analizada una muestra tomada en la costa en un lugar situado a 12 km. al este del río. La composición mineralógica de ellas fué la misma, siendo los principales componentes cuarzo, feldespato, biotita y piedra caliza. Los sedimentos deben tener su origen en formaciones de granito, gneiss y piedra calcárea cristalizada.

Perforaciones en 1909

Se sabe que la Comisión Hidrográfica en 1909 ejecutó perforaciones, pero los perfiles no se han podido encontrar. El reporte hecho por Miramón da la siguiente información acerca de las perforaciones: "Las secciones indican la uniformidad del suelo. Es de formación reciente y restos de plantas se encuentran a profundidades de 8 a 10 m. La proporción de lodo en la arena aumenta con la profundidad. Cantos rodados no se encuentran en las perforaciones, ni en la costa."

Perforaciones recientes

En épocas recientes han sido ejecutadas perforaciones en el mar en la boca del canal lateral

por el Ing. Higinio de León, y frente a Frontera por el Ing. Raúl Cárdenas en 1948, los dos por orden de la Secretaría de Marina. Perfiles de esas perforaciones junto con las nuevas perforaciones ejecutadas por Christiani & Nielsen de México, S.A., en 1949, se indican en la lámina N°7. Un total de 8 perforaciones han sido ejecutadas en 1949, 2 frente a Frontera, 2 en el canal lateral, 2 en la Isla Azteca, 1 en Punta del Buey, y 1 en la margen derecha del río en frente de la Isla Azteca. (Lámina N°5).

Resultados de las perforaciones

Las perforaciones que han sido llevadas hasta una profundidad de 30 m., indican variaciones en las capas de arena, fango y arcilla, pero en general las mismas condiciones han sido encontradas en todas las perforaciones. Las capas superiores, arriba de las profundidades de 8 a 10 m., consisten principalmente de arena fina, mientras que las capas inferiores consisten de fango fino y arcilla. Las perforaciones en el canal lateral muestran, entre capas de arena pura, capas con una mezcla de arena y arcilla.

La resistencia al corte de las capas de arcilla ha sido determinada para muestras inalteradas tomadas de las perforaciones y los resultados se indican en la lámina N°7. La resistencia ha sido medida mediante pruebas de compresión libre en el sitio y en el laboratorio y por medio de pruebas especiales, pruebas de paletas, en las perforaciones. Los resultados señalan que hay una diferencia notable entre las resistencias encontradas en las capas de arcilla en Frontera y las de la costa. En la arcilla frente a Frontera (perforaciones I y II), la resistencia es de 3 a 5 t/m^2 , mientras que en la costa varía de 1 a 2 t/m^2 (perforaciones III a VIII).

Las perforaciones en las playas (III a VII) muestran más o menos la misma resistencia al corte, mientras que la VIII, 1 km. fuera de la costa, muestra valores menores. En ninguna de las per-

foraciones la resistencia al corte parece aumentar mucho con la profundidad.

C. - Clima.

Un conocimiento detallado de las condiciones de los vientos en el Golfo de Campeche es indispensable para poder entender los cambios de la costa causados por las olas y las corrientes, y al mismo tiempo es necesario tener un conocimiento de la magnitud de los cambios de la precipitación, para poder entender las variaciones del sistema fluvial. Como un complemento de la información relativa a vientos y lluvias, algunos datos serán dados relativos a las variaciones de temperatura y humedad en Frontera.

1. - Condiciones de los vientos en el Golfo de México.

El Golfo de México se encuentra en la zona en que predominan los vientos del noreste, pero la dirección de los vientos predominantes varía de lugar en lugar, y en las diferentes épocas del año. En las costas, la dirección del viento se altera debido a las brisas. La comparativa calma de las condiciones de los vientos se encuentra alterada por los Nortes.

Las variaciones anuales en la dirección y velocidad de los vientos aparecen en las láminas N°8 y 9, las cuales indican diferentes diagramas para varios lugares en el Golfo, correspondientes a todos los meses del año. Las direcciones de los vientos varían del NO. hacia el ESE. Vientos procedentes del oeste, suroeste y sur se presentan con poca frecuencia y no son muy fuertes. Los vientos predominantes mensuales varían durante el año del NE. al SE. Desde octubre hasta enero, los vientos soplan en el sector del NE. al E. y cambian de marzo a septiembre entre el sector del E. y el SE.

Variaciones
de dirección
de los vientos
alisios

(e 25)

Brisas

Cerca de la costa, las diferencias de tempe-

ratura ocasionan las brisas, brisas de tierra en la noche y brisas del mar durante el día. La brisa del mar se inicia en la mañana, alcanzando su máximo al mediodía y van disminuyendo durante la tarde, suspendiéndose después de la puesta del sol. La brisa de tierra se inicia antes de la medianoche y dura hasta la madrugada. La brisa del mar es generalmente más fuerte que la brisa de tierra. Las brisas tienen el efecto de desviar, reforzar o neutralizar los vientos debido a la gradiente barométrica; las brisas son máximas en los días claros. Generalmente su efecto no se siente más allá de 20 a 30 km. de la costa.

(c 36)

(c 37)

Nortes

Los Nortes son generalmente fuertes, fríos vientos del norte que soplan sobre el Golfo de México, especialmente durante el tiempo de invierno. Durante septiembre y octubre son menos frecuentes y con menos intensidad, y aumenta su frecuencia y fuerza de noviembre a febrero, volviendo a ser menos frecuentes en marzo y ocasionándose muy raras veces en abril. Los Nortes generalmente vienen acompañados de nublados y lluvias. Los bancos de nubes que preceden al viento indican con algunas horas de anticipación la proximidad del Norte. Los vientos generalmente alcanzan su máximo después de cuatro horas de iniciado el Norte, y soplan con toda su fuerza por lo menos durante 24 horas. Un Norte puede llegar a durar hasta tres días. Algunos Nortes fuertes que han ocurrido con intervalos de algunos años, han alcanzado velocidades de 30 a 40 m/seg. Estos Nortes han sido observados en el Golfo en febrero de 1892, diciembre de 1893, febrero de 1899, febrero de 1919, enero de 1924, diciembre de 1924, diciembre de 1928, marzo de 1929, diciembre de 1929 y abril de 1931.

(c 39)

Huracanes

Los ciclones tropicales conocidos como West Indian Hurricanes, soplan sobre el Golfo de México algunas veces durante los meses del verano y del otoño. Son raros en los meses comprendidos

(c 36)

de diciembre a mayo. No todos alcanzan la intensidad de los huracanes. La costa de México es generalmente visitada por los huracanes una vez al año, generalmente al principio de septiembre. Estos huracanes entran al Golfo de México a través del estrecho de Yucatán o cruzando la península de Yucatán, y pueden golpear la costa otra vez entre Veracruz y la desembocadura del Río Grande del Norte. El extremo sur del Golfo de Campeche rara vez sufre estos huracanes.

(c 37)

Observaciones anteriores de los vientos en Frontera

Se sabe que registros de viento se han hecho en Frontera en 1910, 1911 y 1917, pero no parece que haya habido alguna estación de observación permanente aproximadamente antes de 1922. El "Boletín anual del Servicio Meteorológico Mexicano" da información en relación con los vientos predominantes y más fuertes de cada mes. Los diagramas de viento basados en estos datos se muestran en la lámina N°10. Estos diagramas indican en términos generales que los vientos predominantes durante el año son los del NE.; hay, sin embargo, variaciones entre el O. y el SE. Vientos del SO. y del S. son de muy poca importancia. La dirección de los vientos más fuertes es entre NO. y N. en los meses de noviembre a mayo, y entre NE. y E. en los meses de junio a agosto, y en los meses de septiembre y octubre entre NO. y NE. Vientos fuertes soplan en todos los meses del año. El promedio de los vientos más fuertes por mes es de cerca de 10 m/seg., siendo el máximo de 21 m/seg., que fué observado en mayo de 1923.

(c 40)

Recientes observaciones del viento en Frontera

Diagramas basados en los vientos fuertes predominantes por meses no pueden dar una exacta idea de las variaciones de las intensidades de los vientos y direcciones durante el año. Para obtener una idea clara de las variaciones de los vientos, se han preparado diagramas basados en las observaciones hechas en un año completo (1948). Estos diagramas se muestran en la lám. N°10. En ellos

se puede observar que no hay determinados períodos de vientos pronunciados, pero las direcciones de los vientos sufren cambios durante el año.

En general se puede decir que los vientos dominantes de los meses de febrero a agosto, soplan del SE., o sea procedentes del continente, mientras que de octubre a enero soplan del NO. y del NE. o sea provenientes del mar. Frontera puede considerarse como un lugar donde hay condiciones de viento comparativamente quietas. Diagramas para todo el año se muestran en la lámina N°35.

2. - Precipitación en el área de captación.

Cartas, las cuales indican las variaciones mensuales de las precipitaciones en el área de captación, se muestran en la lámina N°11. Con los datos de esas cartas han sido calculadas las precipitaciones totales en las cuatro áreas de captación: la del Usumacinta, del Mezcalapa, del Tacotalpa y del Macuspana, las cuales forman el área de captación total para el sistema fluvial del Grijalva y Usumacinta. De las gráficas de la lámina 27, que indican las variaciones anuales de precipitación en las áreas indicadas, se puede observar que existe una gran diferencia en las precipitaciones de todas las áreas entre el período de lluvias de mayo a octubre y la época de secas correspondiente a los meses de noviembre a abril. La diferencia es más pronunciada en el área del Mezcalapa (Valle Central) y menor en el área del Macuspana en las planicies y en las estribaciones septentrionales de las montañas. La lámina N°12 señala la variación de precipitación anual de los años de 1921 a 1949 tomada por algunas estaciones pluviométricas dentro de la zona de captación.

3. - Temperatura, humedad y precipitación en Frontera.

Cartas con las variaciones mensuales de tem-

peratura, humedad, precipitación y número de días de lluvia por mes, se indican en la lámina N°13. Las condiciones meteorológicas en Frontera se supone son típicas de la costa de Tabasco.

(c 40) Los cambios de temperatura en las estaciones del año son pequeños. La temperatura promedio mensual llega a un máximo de 27°C. en julio, baja a un mínimo de 23°C. en enero. Temperaturas máximas de 40 a 45°C. se han observado en abril, mientras que las más bajas temperaturas alrededor de 10°C. han sido observadas en el período de Nortes de enero a febrero. La humedad es alta durante todo el año, variando de 70 a 90 %. La humedad relativa depende de la temperatura y es, por lo tanto, más alta en las horas que preceden al amanecer y más baja en el principio de la tarde. La carta de precipitación es muy semejante a la que corresponde a varias partes del área de captación, siendo las lluvias más intensas en los meses de verano de junio a noviembre, mientras que en los meses de enero a mayo son comparativamente escasas. Más de la mitad de los días en los meses desde junio a noviembre son lluviosos. En esos meses las lluvias son intensas con tormentas.

D. - Hidrología.

Los sedimentos transportados tanto por el río como por el mar, están afectados por las mareas y las corrientes y, por lo tanto, es importante conocer estos fenómenos. En las páginas siguientes se describirá lo que se conoce acerca de esos fenómenos, tomado de varias fuentes de información, y se tratará de complementar estos datos por medio de cálculos y suposiciones.

1. - Variaciones de las mareas y de las corrientes en el Golfo de Campeche.

Los factores que intervienen en las mareas y en las corrientes en el mar son: vientos, diferencias de temperatura y salinidad del agua, di-

ferencias de la presión barométrica y variaciones de las descargas de los ríos. Los movimientos de mareas y corrientes se tratarán por separado, aunque ese fenómeno desde luego no es independiente.

Cambios del nivel del agua (mareas)

Una gráfica típica de las mareas en el Golfo de Campeche se indica en la lámina N°16. En ella se observa que las mareas varían de un máximo de 0,7 a 0,8 m. en época de mareas vivas y de 0,1 a 0,3 m. en época de mareas muertas. La marea es diurna en las mareas vivas y semidiurna en las mareas muertas, lo que es el resultado de interferencias ocasionadas entre las diferentes olas de marea. Las gráficas de las mareas obtenidas en el campamento de la Secretaría de Marina, en la boca del río, probablemente pueden señalar, hasta cierto punto, las variaciones de nivel causadas por factores diferentes de la marea. La lámina N°19 indica, para los años 1947, 1948 y 1949, la variación en el nivel medio del agua que, con exclusión de los cambios del nivel de agua causados por las mareas, se ha obtenido de las curvas del verdadero nivel de agua tomado con el medidor del campamento trazadas en las láminas N°16, 17 y 18.

Los niveles de agua resultan estar sujetos a los siguientes cambios de estación:

	<u>Nivel normal</u>	<u>Fluctuaciones</u>
enero a abril	+ 0,6 m.	hasta + 0,8 m.
mayo a agosto	+ 0,4 m.	" + 0,6 m.
septiembre	+ 0,7 m.	" + 0,8 m.
octubre a noviembre	+ 0,8 m.	" + 1,0 m.
diciembre	+ 0,6 m.	" + 0,8 m.

Los niveles de agua resultan ser los más altos en los meses en que la corriente del río es máxima y cuando se dejan sentir los vientos del norte. El nivel medio del agua es para todo el año + 0,5 m. Alguna información en relación con las corrientes en el Golfo de Campeche también se señala.

Corrientes en
el Golfo

(c 36)

(c 37)

La corriente ecuatorial que entra al Golfo de México al norte de Yucatán y atraviesa la Sonda de Campeche en dirección a Veracruz, continúa siguiendo la costa del Golfo y, finalmente, se dirige al Estrecho de Florida bajo el nombre de la Corriente del Golfo de México.

La corriente ecuatorial se produce por el calentamiento del agua en el Ecuador y se inclina hacia el oeste para entrar en el Golfo por la influencia de los vientos alisios del NE.

(e 25)

La lámina N°14 da información acerca de corrientes, la que ha sido tomada de la carta Pilot Chart of Central American Waters. En esta carta se ve que las corrientes a lo largo de la costa del Golfo de Campeche en los meses de verano (de mayo a septiembre) tienen dirección oeste, la misma dirección que tiene la corriente principal al cruzar la bahía, mientras que las corrientes costeras en los meses de invierno (de octubre a abril) tienen dirección hacia el este. Las corrientes hacia el oeste tienen una velocidad que varía de 0,1 a 0,3 m/seg., mientras que las corrientes hacia el este tienen una velocidad de 0,1 a 0,2 m/seg. En los libros de navegación se menciona que la corriente a lo largo de la costa de Frontera a Puerto México es con dirección este de octubre a marzo con una velocidad de 0,5 a 0,75 m/seg.

(c 36)

(c 37)

Las corrientes también son causadas por las mareas. En la costa abierta, los niveles del agua altos y bajos, generalmente corresponden al cambio de marea, y la corriente máxima ocurre entre las mareas altas y bajas. Las condiciones en el Golfo son probablemente muy irregulares.

En la costa generalmente los vientos causan corrientes a lo largo de ella, siguiendo un curso en la dirección de la componente del viento paralela a la costa. En Progreso, durante la construcción del muelle de 1937 a 1940, las velocidades

des superficiales fueron medidas tanto en la costa como al extremo del muelle situado a 2,5 km. de la misma. Estas mediciones mostraron que la corriente en el extremo del muelle siempre tenía la misma dirección que los vientos, mientras que la corriente cercana a la costa seguía en la misma dirección de la componente de los vientos. Las velocidades en ambos lugares tuvieron una magnitud de 0,1 a 0,4 m/seg. Las corrientes en el Golfo de Campeche dependen probablemente en gran parte de las condiciones de los vientos. Los pilotos en Frontera son de opinión de que la corriente enfrente de la desembocadura del Grijalva tiene una dirección oeste durante todo el año. Esto era también de esperarse por el conocimiento de la dirección de los vientos.

2. - Información acerca de anchos, profundidades y gastos de los ríos.

En un párrafo más adelante se tratará de hacer un cálculo de la variación anual de la descarga en Frontera. Este cálculo estará basado en el conocimiento de la precipitación en el área de captación, y los resultados se checarán con las observaciones de los niveles del agua y el gasto del río que han sido hechas en Frontera, como también con datos de otras partes del sistema fluvial.

Es un hecho conocido que las profundidades del agua en las partes superiores de los ríos varían considerablemente de la estación de lluvias a la estación de secas, y es de esperarse que los gastos sigan las variaciones en precipitación muy de cerca. En la parte baja de los ríos, cierta demora entre los períodos de gran lluvia y los de gran descarga debe esperarse.

La parte del río Mezcalapa conocida con el nombre de Río Viejo, tiene por ejemplo muy poca agua en los meses de marzo a junio. Las primeras avenidas en las partes bajas del río, suceden general-

Variaciones
del nivel
de agua

mente en junio, pero en realidad los períodos de inundaciones en las partes bajas de Tabasco comienzan en septiembre y pueden durar hasta diciembre. Tanto el aumento como la disminución de los niveles de las aguas suceden muy lentamente.

Secciones
transversales

(c 35)

Secciones transversales de algunos de los ríos que fueron tomadas por la compañía Higgins en mayo de 1945, se indican en la lámina N°15. La Cía. Higgins no hizo ninguna sección completa para Villahermosa, y la sección que nosotros indicamos está tomada de un reporte del Ing. Luis Echeagaray. Estas secciones corresponden al sistema fluvial del Grijalva; muy poca información se ha podido obtener del sistema fluvial del Usumacinta. Pedro A. González da algunos datos para la sección en Boca del Cerro (ver lámina N°2). El ancho mínimo en el verano es de 153 m. con una profundidad de 30 m. y un gasto de $3.400 \text{ m}^3/\text{seg}$. En la época de grandes avenidas de julio a diciembre, la profundidad se aumenta con 10 m. más y el ancho llega a 170 m. Investigaciones posteriores han indicado, sin embargo, que la profundidad es únicamente de 8 m. en el período de aguas bajas. Información relativa a las profundidades de las partes navegables de los ríos en la época de aguas bajas, se indica en el capítulo III, párrafo B, y en la lámina N°78. En esta lámina también se da alguna información acerca de anchos. Parece ser que el ancho del Usumacinta entre Boca del Cerro y Tres Brazos varía de 200 a 400 m.

Gasto de los
ríos

(a 5)

Muy poco se conoce acerca del gasto de los ríos. El Ing. Mendoza Franco da las siguientes informaciones relacionadas con el tiempo de navegación de los barcos río arriba y río abajo en el Usumacinta en el período de aguas bajas:

<u>Lugar</u>	<u>Distan- cias</u> km.	<u>Horas de navegación</u>		<u>Velocidad del barco en m/seg.</u>	
		arriba	abajo	arriba	abajo
Frontera					
	29	3,1	2,6	2,6	3,1
Eoca de Pantoja	76	-	4,6	/ -	4,6
Jomuta	92	9,6	-	2,6	-
Zapata	59	-	4,2	-	3,9
Balancán	84	10,1	-	2,3	-
Tenosique					

La velocidad del barco parece que no varía mucho de Frontera a Tenosique, siendo alrededor de 2,6 m/seg. río arriba y 4,0 m/seg. río abajo. La velocidad del río puede ser estimada en la siguiente forma: $\frac{1}{2} (4,0 - 2,6) = 0,7$ m/seg.

(c 35)

Algunas medidas de corrientes han sido hechas por Industrias Higgins en mayo de 1945. Una estimación del gasto en algunos de los ríos ha sido intentada. Para el Chilapa, el Chilapillas y el González, se ha supuesto que las velocidades han sido medidas en las secciones tomadas por Higgins y que se indican en la lámina N°15, y las descargas deben, por eso, ser tomadas con reservas.

		<u>Velocidad</u> V m/seg.	<u>Sección transv.</u> F m ²	<u>Descarga</u> Q m ³ /seg.
Chilapa	(km.11)	0,45	530	190
Chilapillas	(km.50)	0,45	360	130
González	(km.38)	0,70	80	45
Grijalva (Villahermosa)		0,80		
Mezcalapa (40 km. al oeste de Villahermosa)		0,77-1,25	326	213
"	"	1,66-0,45		
Usumacinta	(km.35)	0,60		
"	(km.55)	0,60		
"	(km.180)	0,60		
"	(km.260)	0,70		
Boca del Cerro		0,80-0,90		

La Comisión Nacional de Irrigación ha tomado medidas en las siguientes estaciones (lámina N°2):

El Dorado en el Mezcalapa;

Rompido de Samaria en el Río Nuevo;

Las Gaviotas en el Grijalva, inmediatamente arriba de Villahermosa; y

el Canal de la Pigua.

Los siguientes datos se relacionan con las observaciones en esas estaciones:

El Dorado:

Gastos mensuales en 1945 y 1946 en mill.m³:

(c 32)

	<u>1945</u>	<u>1946</u>
Enero	649	1.287
febrero	651	1.270
marzo	510	1.210
abril	615	1.076
mayo	510	553
junio	968	1.015
julio	1.415	917
agosto	3.363	1.305
septiembre	4.389	2.739
octubre	4.042	3.326
noviembre	2.087	1.339
diciembre	1.339	2.007
en total:	<u>20.538</u>	<u>18.044</u>

Las variaciones en la descarga en 1945 fueron:

(c 33)

máximo	2.202 m ³ /seg.
promedio	674 "
mínimo	113 "

Rompido de Samaria:

El gasto total en 1945 fué de 14.171 mill.m³.

Las Gaviotas:

El gasto total en 1944 fué de 8.252 mill.m³ y en 1945 de 7.699 mill.m³. Las variaciones en la descarga fueron como sigue:

máximo	1.418 m ³ /seg.
promedio	319 "
mínimo	22 "

Las gráficas para la descarga máxima y mínima para cada mes desde 1944 hasta 1947, se muestran en la lámina N°26.

Canal de la Pigua:

El gasto total en 1944 fué de 4.096 mill.m³ y en 1945 de 2.354 mill.m³. Ninguna información se ha obtenido con relación a la dirección de la corriente. Se estima que la mayor parte de ella va del río González al río Grijalva.

3. - Medidas de cambios de nivel y variaciones de corrientes en las aguas del estuario del río.

El nivel de las aguas y las corrientes en el río están afectadas por la marea que se siente hasta Tres Bocas a 25 km. de distancia desde la desembocadura.

Cambios de nivel del agua

Observaciones de los cambios de nivel en las aguas han sido hechas en Frontera y abajo de la misma ciudad en varios períodos desde 1911. The North American Dredging Co. da los siguientes datos en su reporte de 1911:

		Nivel más alto	Nivel más bajo	Nivel medio
(a 3)	enero	1,65 m.	0,40 m.	1,30 m.
(a 5)	febrero	1,92 m.	0,60 m.	1,47 m.
	marzo	3,75 m.	0,00 m.	2,75 m.
	abril	2,10 m.	1,35 m.	1,75 m.

Datos en forma de gráficas existen desde 1914 para los meses de mayo a agosto, de dos estaciones, una en Frontera y otra en el río a la entrada del canal lateral (ver lámina N°16). Higgins considera las aguas máximas normales a 0,75 m. encima de las aguas bajas, y el nivel de las máximas avenidas en el río a 1,80 m. en la ciudad de Frontera.

(c 35)

Como se ha mencionado anteriormente, existen datos completos de gráficas de niveles de aguas desde 1947 hasta 1949, del mareógrafo que se encuentra en el campo de la Secretaría de Marina, en la margen derecha del río Grijalva, entre el canal lateral y la desembocadura. Algunas mediciones adicionales han sido efectuadas por esta Compañía en noviembre y diciembre de 1949 con mareógrafos instalados en Frontera, la Isla Azteca y el canal lateral. La localización de los mareógrafos se indica en la lámina N°5. Las gráficas se indican en las láminas N°16, 17, 18, 19 y 25.

Las primeras mediciones de los gastos en esta parte del río fueron hechas por la Comisión Hidrográfica de 1909. Los siguientes datos se encuentran en su reporte (entre paréntesis una corrección hecha por esta Compañía, que se explica adelante):

	Velocidad m/seg.		Área	Gasto	
	superf.	promed.	m ²	m ³ /seg.	
máximo	1,032	0,826	5.432	4.687	(4.500)
mínimo	1,771(0,771?)	0,617	5.875	3.501	(3.600)
medio	0,851	0,681	5.674	3.864	(3.900)

Estas tres medidas corresponden a aguas bajas, aguas altas y aguas medias. Como el ancho del río frente a Frontera es de cerca de 900 m., la diferencia entre aguas altas y aguas bajas debe ser $\frac{5875 - 5432}{900} = 0,5$ m. La cifra 1,771 es probablemente errónea, 0,771 es más probable. Esto está confirmado por el hecho de que la proporción entre la velocidad media de toda el área y la velocidad superficial nos da exactamente $\frac{0,826}{1,032} = \frac{0,617}{0,771} = \frac{0,681}{0,851} = 0,8$.

Es probable que únicamente velocidades superficiales han sido medidas y que el promedio de velocidad se ha supuesto que sea 0,8 veces la velocidad superficial. Para llegar a la cifra del gasto, la velocidad promedio ha sido multiplicada

Mediciones
de los gas-
tos del río

(a 1)

(a 5)

por 5674 que es el área de la sección media. Hubiera sido más correcto multiplicar por las áreas verdaderas. El gasto calculado de esta manera se da entre paréntesis. La época del año en que estas mediciones fueron ejecutadas, no es conocida.

(b 17)

De 1925 a 1927, algunas medidas de velocidades superficiales fueron hechas en el canal lateral (ver lámina N°20). Las siguientes velocidades fueron medidas en la boca del canal lateral:
 16 de agosto 1925: 0,79; 0,85; 1,00; 1,06 m/seg.
 noviembre de 1926: 1,08; 1,12; 1,22; 1,38 m/seg.
 junio de 1927: 0,68; 1,13 m/seg.

Las siguientes velocidades han sido medidas cerca de la escollera al norte de la boca del canal: 16 de julio de 1925 en la cabeza 1,05 y 2,62 m/seg.; a través de las brechas 0,79 m/seg. En mayo de 1945, las corrientes medidas en Frontera por la Higgins fueron de 0,30 m/seg. Esto corresponde a un gasto aproximado de

(c 35)

$$0,3 \times 0,8 \times 5.700 = 1.400 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

De octubre a diciembre de 1949, una serie más completa de observaciones fueron hechas por la Compañía (tablas págs.189 a 227). Las mediciones se hicieron en dos secciones del río, una (A) en Frontera y otra (B) abajo del canal lateral, y en una sección (C) del canal lateral. La localización de esas secciones se ve en lámina N°5. El objeto de estas observaciones fué no solamente la definición del gasto del río, sino también determinar qué parte de él sale por el canal lateral. Para poder determinar el gasto del río en cierto día, las observaciones y medidas tienen que hacerse cuando menos en un lapso de tiempo que cubra dos períodos consecutivos de mareas altas. Las medidas fueron tomadas en tres a siete puntos a través del río y a cuatro diferentes profundidades en cada punto. Estas medidas están señaladas en las láminas N°21, 22, 23 y 24. En

la lámina N°25 se muestran los gastos calculados para cada una de las mediciones, juntamente con los niveles de aguas observados en los diferentes mareógrafos. La lámina N°26 indica los gastos diarios calculados de la lámina N°25.

Comentarios relativos a las mediciones efectuadas, se dan en el siguiente párrafo, en el cual se hace un cálculo estimativo de la variación anual de los gastos.

4. - Cálculos y estimaciones relativas a los gastos del río.

Los cálculos o estimaciones relativas a las variaciones anuales, han sido hechas en tal forma que ha sido posible encontrar una relación entre las diferentes medidas, las observaciones de precipitación y los gastos del río.

La cantidad de lluvia recogida por el área de captación, puede ser calculada para cada mes del año. Una parte de estas lluvias corre por la superficie, parte de ellas se sumerge para formar las aguas freáticas y otra parte se evapora. Tanto las aguas que corren por la superficie, como las aguas de las capas freáticas, van finalmente a desaguar en el sistema fluvial, pero debido al pequeño escurrimiento del agua freática y el almacenamiento del agua de la superficie en los lagos y pantanos, no se puede esperar que la descarga en los ríos corresponda exactamente a la curva de las lluvias, restada la evaporación. La curva de descarga mostrará menos variación entre los máximos y los mínimos; una separación de los puntos máximos de las dos curvas, debe esperarse.

En el caso del sistema fluvial del Grijalva y el Usumacinta, es de presumirse que la mayor parte de las aguas se almacenarán en las partes bajas del sistema, y la razón para suponer tal cosa, es que el subsuelo de parte de esta área

Precipitación
en el área de
captación

consiste de piedra caliza que puede ser porosa y, además, porque hay, en esta zona, enormes pantanos y numerosos lagos.

División del
área de captación

Se han presentado algunas dificultades en la determinación de la descarga en Frontera, debido al hecho de que muchos de los ríos que en las partes bajas se unen al sistema fluvial del Grijalva y Usumacinta, están intercomunicados entre sí y, además, tienen brazos que van a desembocar al mar. Por esta razón se ha encontrado más práctico, cuando se hacen estos cálculos, dividir las áreas de captación del sistema del Grijalva y Usumacinta, en las siguientes pequeñas áreas (ver lámina N°1):

1. El área de captación del Usumacinta que descarga a través del río Palizada, río San Pedro y San Pablo y río Grijalva (70.000 km^2).
2. El área de captación del Mezcalapa que descarga a través del río González y el río Grijalva (37.000 km^2).
3. El área de captación del Tacotalpa comprendiendo los ríos Pichucalco, río Teapa y río Tacotalpa, área que descarga a través del río Grijalva y a través del Canal de la Pigua al río González (7.000 km^2).
4. El área de captación del Macuspana comprendiendo los ríos Macuspana y Grijalva abajo del Canal de la Pigua, área que descarga a través del río Grijalva (10.000 km^2).

Para cada una de estas áreas, la precipitación total para cada mes del año ha sido calculada, basándose en las tablas de precipitación de la lámina 11. Los resultados se indican en la lámina N°27, en forma de curvas con los m^3/seg . como ordenadas. El promedio de precipitación para las diferentes áreas, es:

Usumacinta:	1.980 mm.
Mezcalapa :	1.140 "
Tacotalpa :	2.200 "
Macuspana :	2.920 "

Curvas del
gasto esti-
madas para
la división
del área de
captación

De la precipitación debe restarse la cantidad de agua que se pierde por evaporación de los lagos, suelos húmedos y de la superficie de la vegetación. La evaporación debida a la vegetación es probablemente más alta en la época de lluvias y puede ser también lo mismo para la evaporación proveniente de los lagos y del suelo. La evaporación por m^2 de superficie en los lagos es mayor en la época de secas, pero las áreas son más grandes en la época de lluvias debido a las inundaciones. La evaporación anual total generalmente depende de la ubicación, magnitud de la precipitación y de la vegetación en el área de captación. Para las cuatro áreas de captación mencionadas antes, se estima, basados en la experiencia obtenida en otros lugares, que la evaporación anual es de 900 mm. para el área del Usumacinta, 700 mm. para el área del Mezcalapa, y de 1.000 mm. para las áreas de Tacotalpa y Macuspana. En los dibujos de las gráficas de la lámina N°27, se ha supuesto que la evaporación varía proporcionalmente a la precipitación. Esta burda suposición tiene, sin embargo, muy poca influencia en el resultado de los cálculos.

El escurrimiento anual puede ahora ser calculado tomando la diferencia entre la precipitación anual y la evaporación anual, y la descarga media puede ser calculada del escurrimiento anual. Para poder determinar las gráficas de las descargas, como se indica en la lámina N°27, ha sido necesario estimar la probable diferencia entre esas curvas y las correspondientes a la precipitación, restada la evaporación.

Para las áreas de Mezcalapa y del Tacotalpa, se pueden usar las mediciones hechas de los gastos, para checar las curvas estimadas.

La estación de El Dorado tiene un área de captación muy semejante a la del área N°2 en este cálculo, y las mediciones efectuadas en El Dorado

Checado de
las curvas
del gasto

pueden compararse directamente con las encontradas. De la lámina N°26 se observa que la curva calculada concuerda perfectamente con las mediciones mensuales hechas en 1945 y en 1946. La curva calculada para el área del Tacotalpa, puede igualmente checarsé con las mediciones efectuadas en la estación Las Gaviotas. Esta estación recibe aguas provenientes del área de Tacotalpa y también aguas provenientes del área del Mezcalapa, que son conducidas a través del Río Viejo. Como anteriormente se ha mencionado, este río se encuentra en la actualidad seco, y su aportación puede, por eso, ser considerada como sin importancia. Como se indica en la lámina N°26, la curva calculada para el área del Tacotalpa, concuerda prácticamente con las mediciones mensuales de las descargas máximas y mínimas que durante cuatro años se han hecho en Las Gaviotas.

Basados en las mediciones hechas por la casa Higgins, la suma de los gastos del Chilapa y Chilapillas, se estima en $190 + 130 = 320 \text{ m}^3/\text{seg.}$ para el mes de mayo. Esta descarga puede ser comparada con la descarga calculada para el área de captación N°4, ya que el área de captación de esos ríos es un poco más pequeña. En la lámina N°79, en la cual están señalados los gastos, se ve que concuerdan prácticamente.

Estimación
de la des-
carga en
Frontera

Para poder encontrar la descarga en Frontera es necesario tener en consideración la distribución de los varios brazos que desembocan en el mar llevando consigo los escurrimientos de las cuatro áreas de captación. Para el área del Usamacinta se estima que el 75 % del gasto se descarga a través del río Grijalva, y que el 25 % restante sale por los ríos San Pedro y San Pablo y Palizada. Esta estimación está basada en una comparación de los anchos de los ríos Palizada, río San Pedro y San Pablo y la parte del río Usamacinta abajo del río San Pedro y San Pablo. Del

área del Mezcalapa se sabe que una parte de sus aguas se pierden a través del Rompido de Samaria; para el año de 1945 se calcula en la siguiente forma:

$$\frac{14.171}{20.539} \times 100 = 70 \% .$$

Puesto que se sabe que el Río Viejo está prácticamente seco, los restantes 6.368 mill.m³, o sea el 30 %, tienen que correr a través del río Plátano. En la intersección del Canal de la Pigua, el gasto del río Plátano se divide hacia el río González y hacia el canal que conecta este río con el río Grijalva. Como el gasto total en el canal en 1945 era de 2.354 mill.m³, una buena parte de este volumen puede haberse movido en dirección opuesta, y parece que solamente una pequeña parte del caudal del Mezcalapa termina en el río Grijalva; 2.354 mill.m³ corresponden al 12 % del gasto en El Dorado. Esta cifra ha sido supuesta en este cálculo para la distribución de las aguas del río Mezcalapa al Grijalva y a la barra de Chiltepec. Del área del Tacotalpa se sabe que la mayor parte de los escurrimientos van a dar al río Grijalva, pero es probable que parte de esos volúmenes pasen a través del Canal de la Pigua al río González. Sin embargo, aquí se supone que esto no es de tomarse en consideración y que el 100 % del volumen va a dar al río Grijalva. Con respecto al área del Macuspana se sabe con certeza que el 100 % de sus aguas descargan en Frontera.

La curva final de la descarga en Frontera, a la cual se llega simplemente sumando las curvas de los gastos de cada una de las cuatro áreas, puede ser checada con las mediciones hechas en el lugar. Por mediciones efectuadas antes de 1930 debe considerarse que el gasto antes de ese período puede haber sido más grande. Probablemente no han ocurrido grandes cambios en este año, ya que el área del Mezcalapa ha contribuido siempre con una cantidad comparativamente pequeña

Checado de la curva de descarga del río en Frontera

al gasto total. Los cambios hacia 1930 probablemente han tenido influencia principalmente sobre el caudal de la parte alta del río González. Las mediciones hechas por la Compañía para los meses de octubre a diciembre, dan únicamente una comprobación burda. Para el resto del año, el único dato que se tiene, es el gasto de $1.400 \text{ m}^3/\text{seg.}$ en el mes de mayo, estimado a base de una única observación de corriente hecha por la Higgins en 1945.

La Comisión Hidrográfica determinó el gasto en $3.900 \text{ m}^3/\text{seg.}$, pero desgraciadamente la fecha en que esta medición se hizo no es conocida; se estima, basándose en la observación de su curva, que debe haber sido hecha durante el período de lluvias. La curva para las variaciones anuales de gasto en Frontera, de la lámina N°27, representa la mejor estimación a base de la información obtenible, pero es, por supuesto, solamente una aproximación de la curva verdadera, la que puede encontrarse mediante mediciones de corriente en Frontera durante un período no menor que un año.

Resumen:
Corrientes
y gastos en
el estuario
del río

De acuerdo con la curva calculada en la lámina N°27, la variación anual en el gasto mensual promedio varía de $1.200 \text{ m}^3/\text{seg.}$ en la época de secas a $5.000 \text{ m}^3/\text{seg.}$ en la época de lluvias. Las variaciones de velocidad correspondientes varían de 0,2 a 0,9 m/seg., siendo la velocidad superficial máxima medida de 1,36 m/seg. en el período en que la Compañía inició las mediciones, medida en el río aguas abajo del canal. La máxima corriente medida en el canal lateral es de 1,26 m/seg. Las mediciones han acusado variaciones en el gasto causadas por la marea (lámina N°25). El gasto máximo se presenta en la marea baja, y los gastos mínimos en la marea alta. En términos generales, la variación es mayor en la época de mareas vivas y menor en la época de mareas muertas mínimas. Las corrientes observadas siempre han

tenido dirección río abajo, pero puede deducirse que en la temporada de aguas bajas en el río, la corriente puede disminuir hasta ser nula o aun correr río arriba. Las mediciones efectuadas han indicado que una quinta parte del gasto del río se descarga a través del canal lateral (ver lámina N°26).

Capítulo II. - Estudio de los cambios morfológicos en la boca del río, sucedidos en el pasado y en el presente.

El principio de este artículo trata del transporte de sedimento en el río y del acarreo litoral a lo largo de la costa, es decir, los dos factores que influyen en los cambios actuales que se sabe han tenido lugar, y al final una discusión relativa a la concepción general del problema.

A. - Transporte de sedimento en el río

En la parte baja de los ríos, únicamente arena y material más fino que la arena, son transportados, mientras que en las partes altas también se encuentran piedras. Los sedimentos se originan principalmente en las montañas, pero también es posible que material procedente de las planicies sea acarreado a los ríos durante las lluvias. En términos generales, sin embargo, las planicies reciben sedimentos procedentes de los ríos, particularmente durante la época de lluvias.

La cantidad de sedimentos transportados varía mucho de acuerdo con las estaciones, pues la capacidad de transportación varía considerablemente más que el gasto. En la parte baja del río, desde Tres Bocas, el transporte de sedimentos cambia diariamente debido a la marea. Generalmente se clasifican estos sedimentos en la siguiente forma: sedimentos que corren a lo largo del fondo y sedimentos en suspensión.

Para proyectar los trabajos de regularización en la desembocadura del río, sólo los sedimentos transportados cerca de la boca son de interés. El estudio se ha tomado en la sección A frente a Frontera, pero los mismos datos sin duda corresponderían a otras secciones de esta zona del río, en caso de haberse estudiado. Abajo del

canal lateral, el material en suspensión es de esperarse sea igual al material en suspensión en Frontera, restado el material en suspensión en el canal. La distribución del material en suspensión en el canal lateral y en el río se discutirá también.

La experiencia ha demostrado que los sedimentos finos, fango y partículas de arcilla, son acarreados lejos en el mar o a lo largo de la costa. Aguas con coloración amarilla se observan algunas veces hasta 50 km. fuera de la costa. En noviembre de 1949, desde un aeroplano se pudo observar esta coloración en las aguas, a una distancia de 10 km. de la costa. La forma de esta área amarilla aparece en la lámina N°33. Mientras que el material fino se dispersa en un área muy amplia en el mar, debe concluirse que la arena se deposita en la barra o sea acarreada a lo largo de la costa, ya que el fondo del mar a grandes profundidades contiene únicamente sedimento fino. Muestras superficiales y perforaciones han demostrado que la barra y la costa están constituidas principalmente de arena. Por esta razón, es sumamente interesante determinar la cantidad de arena que arrastra el río. Un conocimiento de la cantidad transportada de materiales finos y materias orgánicas, es de menor interés.

1. - Cantidad de sedimentos que corren a lo largo del fondo, enfrente de Frontera.

Las muestras tomadas del fondo, indican que consiste principalmente de fango y arcilla. Solamente algunas muestras han indicado arena y es posible que una pequeña cantidad de arena haya sido transportada a lo largo del fondo durante el período en que las observaciones fueron ejecutadas. Mediciones del sedimento del fondo serían difíciles y, puesto que se puede deducir que las cantidades serán pequeñas, por lo tanto no se han hecho

mediciones. No obstante, es posible por medio de cálculos llegar a una estimación de las probables cantidades de arena transportadas en el fondo.

(g 1)

La fórmula siguiente para el sedimento del fondo ha sido publicada por Kalinske en 1947:

$$g = 2,5 \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} d \gamma_g \frac{Ug}{U} ; \text{ donde } \frac{Ug}{U} = f \left(\frac{\tau_c}{\tau_0} \right) .$$

Los valores de las letras son los siguientes:

g : sedimento en el fondo en kg/seg. por m. de ancho del lecho.

τ_0 : esfuerzo cortante en kg/m^2 entre la corriente y el fondo.

ρ : densidad del fluido = $\frac{1000}{9,81} = 102 \text{ kg.} \frac{\text{seg.}^2}{\text{m}^4}$

d : tamaño medio del grano, en m.

γ_g : peso específico de los granos = 2.650 kg/m^3 .

Ug : velocidad media del movimiento del sedimento en m/seg.

U : velocidad media del fluido al nivel del grano.

τ_c : esfuerzo cortante crítico del fondo para el movimiento de partículas con dimensión d .

La función $f \left(\frac{\tau_c}{\tau_0} \right)$ se da en la forma de una curva en la publicación de Kalinske y, en el siguiente cálculo, los datos se han tomado de esa curva.

(g 1)

Para valores del esfuerzo cortante del fondo, las siguientes expresiones se usan:

$$\tau_0 = \frac{U^2}{121} = 0,845 U^2$$

$$y \quad \tau_c = 190 d.$$

En este caso las dimensiones de los granos de arena varían de 0,06 a 0,3 mm. y, como la mayor parte del material es más bien fino, el cálculo puede hacerse razonablemente partiendo del valor medio de $d = 0,1 \text{ mm.}$, o sea 0,0001 m. τ_c es por lo tanto 0,02.

El sedimento acarreado por el fondo en cualquier lugar de Frontera puede ser ahora determinado con la ayuda de la fórmula anterior y con la velocidad encontrada en el lugar; de cualquier manera es necesario que exista arena en el lecho.

Si, por ejemplo, la velocidad se supone que sea U igual a 0,5 m/seg., el cálculo será como sigue:

$$\tau_o = 0,845 \times 0,5^2 = 0,21$$

$$\frac{\bar{\tau}_c}{\tau_o} = \frac{0,02}{0,21} = 0,095$$

y, como la curva nos da $\frac{U_g}{U} = 0,7$, resulta:

$$g = 2,5 \sqrt{\frac{0,21}{102}} \times 0,0001 \times 2650 \times 0,7$$

$$= 0,021 \text{ kg/seg. por m.}$$

Cálculos para otros valores de U se han efectuado y la curva correspondiente para g se muestra en la lámina N°32 (N°1); resulta ser una línea recta. Ahora es posible hacer cálculos para determinar el total de los sedimentos que corren a lo largo del fondo del río en su ancho total, con datos de velocidades medidas para diferentes gastos. Los cálculos han sido hechos para un determinado número de mediciones que se muestran en las láminas N°21 y 22, y los resultados han sido dibujados en un diagrama (2 en lámina N°32) que señala la relación entre el flujo Q y el acarreo total en el fondo G . La variación es aproximadamente lineal.

Se ha supuesto para esos cálculos, que el total del fondo está cubierto de arena. Para un gasto de 2.700 m³/seg., que es el promedio de un solo año, el material en el fondo es, según la curva, de 9 kg/seg. Esto corresponde a una transportación anual de 280.000 t. o 180.000 m³ de sedimentos depositados. La variación anual del material en el fondo, puede ser encontrada de la curva estimada para las variaciones anuales del flujo (lámina N°27). La curva para el material en el fondo mostrada en (9) en la lámina N°32, está basada en la suposición que el transporte real es igual a la mitad del transporte teórico con un fondo cubierto de arena.

2. - Sedimento en suspensión en Frontera.

Métodos de
muestreo

La cantidad de sedimento acarreado en suspensión por las aguas del río, ha sido determinada por medio de muestras. El instrumento empleado para muestrear es una botella debajo de la cual se ha colocado un peso, con objeto de mantenerla en una posición vertical. La botella tapada con un corcho es bajada hasta la profundidad deseada para obtener la muestra, y el tapón es removido por medio de un jalón de la cuerda con que está sujeto a la botella, dejando que el aire se escape. Entonces la botella se saca rápidamente a la superficie. La experiencia ha demostrado que, usando una botella de cuello angosto, prácticamente no se disuelve la muestra al estar en contacto con las aguas superiores, al subirse la botella. Existen naturalmente instrumentos científicos para la medición de sedimentos que pueden dar resultados más precisos, pero se decidió que el tiempo adicional que se gastara tomando muestras con un instrumento mejor, no se justificaba, considerando el hecho que los cálculos o juicios relativos a la transportación anual de sedimento, en cualquier caso, tienen que estar basados en suposiciones burdas.

Las muestras de las aguas del río se filtraron por medio de papel filtro o tela de algodón. El papel filtro se usó en los casos donde se deseaba obtener todo el sedimento, arcilla, fango y arena, mientras que la tela de algodón se usó cuando únicamente se deseaba obtener muestras de arena. El peso del sedimento sobre el papel filtro, fué determinado, pesando el filtro con todo el sedimento en seco y restando el peso del papel seco antes de usarse. La arena retenida en el filtro o en la tela de algodón era simplemente separada de ellos y pesada. Para la determinación de la cantidad de arena fué necesario obtener cinco muestras de un litro cada una a dife-

rentes profundidades, con objeto de tener suficiente material para una determinación precisa del peso.

Cálculo del transporte de sedimentos

Se determina la cantidad de sedimento transportado en un punto determinado en una sección transversal del río, multiplicando la cantidad de sedimento por la velocidad. El total transportado por el río se encuentra integrando sobre el área total. La cantidad de sedimentos y velocidades se han determinado en varios puntos (3 a 5) a través del río y en distintas profundidades en cada punto. Las mediciones para el cálculo del transporte de sedimentos en suspensión, se efectuaron desde octubre hasta diciembre.

Las mediciones individuales se dan en las tablas de las páginas 228 a 238. En las láminas N°28 y 29 se muestran los contenidos de sedimento, los flujos correspondientes, y su producto para cada determinación del transporte de sedimento en cierta época. Se hicieron dos determinaciones del transporte en cada día de medición.

Las mediciones han demostrado que la mayor parte del material acarreado en suspensión, es más fina que 0,06 mm. que es el límite inferior para la arena. El total del sedimento contenido, arcilla, fango y arena, es alrededor de 0,1 a 2,0 gramos por litro, mientras que el contenido de arena es tan bajo como 0,0005 a 0,3 gr. por litro. Las cifras varían considerablemente con las variaciones de gastos.

Los resultados de los cálculos en las láminas N°28 y 29 del transporte de sedimento a través de la sección hecha en Frontera, se han señalado en la lámina N°25 junto con las descargas y los niveles de agua, y en la lámina N°32 en diagramas que muestran la relación entre el transporte de sedimento y las descargas (3 y 4). (Los diagramas muestran resultados de las tres mediciones en las secciones A, B y C; los resultados

de las secciones B y C serán tratados al final de este párrafo). Se deducirá de los diagramas que los puntos correspondientes a las mediciones no determinan muy exactamente una curva. Esto no puede esperarse, siendo que el transporte de sedimento depende de otros factores que el flujo, por ejemplo de chaparrones en el área de captación. Las curvas que se han trazado corresponden a parábolas; el transporte, especialmente el transporte de arena, varía considerablemente con las variaciones de la descarga. Las curvas en (3) y (4) muestran la relación entre el transporte de sedimento momentáneo y el flujo. Para el cálculo del transporte anual total será de interés conocer la relación entre el transporte de sedimento medio y el gasto medio durante cierto período, por ejemplo un día. Debido a los cambios periódicos del flujo causados por la marea, el transporte medio será mayor que el encontrado de (3) y (4). Para cada día de medición, el gasto medio y el transporte medio han sido estimados y los resultados han sido señalados en (5) y (6) en la lámina N°32.

Estas curvas ahora han sido usadas en conexión con el diagrama de gasto estimado (7) para hacer una estimación del transporte de sedimento para cada mes del año, resumiendo las cifras de un año entero como se muestra en (8) y (9). El transporte de sedimento total se ha estimado en 13 mill.m³. De esta cantidad, 1,1 mill.m³ es arena, incluyéndose el sedimento en el fondo que asciende a alrededor de una quinta parte. Los diagramas muestran que los sedimentos prácticamente son acarreados por el río durante la época de las avenidas.

3. - Distribución del sedimento transportado en el canal lateral y en el río, abajo del canal lateral.

Es de presumirse que la suma de los sedimen-

tos transportados a través del canal y los sedimentos transportados por el río abajo del canal, debe ser igual a la cantidad de material transportado frente a Frontera, cuando menos en un año. El objeto de las mediciones llevadas a cabo en el canal lateral y en el río, abajo del canal lateral, ha sido determinar la relación entre los transportes de sedimentación en esos lugares. Las mediciones en las secciones B y C han sido hechas del mismo modo que en la sección A, como se muestra en las láminas N°25,30,31 y 32. Las curvas A, B y C en 3,4,5 y 6 (lám.32), se dibujaron de manera que la suma del transporte en B y C es igual al transporte en A. El resultado de estas investigaciones es que aproximadamente una quinta parte de la cantidad total de sedimentos pasa a través del canal lateral, mientras que cuatro quintas partes de los mismos sedimentos siguen por el río abajo del canal. Esto corresponde a las proporciones que se encontraron para las descargas de agua, como podría esperarse. Una proporción comparativamente alta de arena, alrededor de un tercio, parece pasar por el canal lateral.

B. - Acarreos litorales a lo largo de la costa del Golfo de Campeche.

Es de interés conocer la dirección y magnitud de los acarrees litorales a lo largo de la costa y conocer también algo sobre erosión y sedimentación en diferentes puntos de la misma costa. Es de esperarse en general que haya sedimentación a lo largo de la costa de Tabasco, ya que las planicies están formadas por sedimentos acarreados desde las montañas por los ríos o acarreados a lo largo de la costa desde otros puntos. En algunos puntos, sin embargo, la sedimentación en algunos años puede ser substituída por erosión en los siguientes. En todos los lugares existe la posibilidad de cambios de estación en el pro-

ceso de sedimentación, o bien sedimentación en una estación y erosión en otra. Antes de entrar en una discusión concerniente al especial caso de la costa de Frontera, es conveniente mencionar algunas leyes que se refieren a los acarrees litorales.

Los factores que influyen en el acarreo litoral

Los acarrees litorales son principalmente causados por el deslave y las corrientes producidas por los vientos y las olas. Las corrientes producidas por otros factores, como por ejemplo la marea, son generalmente de menor importancia en lugares de marea baja, cuando menos a alguna distancia desde la boca del río o desde otros lugares donde la concentración de tales corrientes se forme. Las leyes generales referentes a los acarrees litorales en las costas, que se dan a continuación, deben ser tomadas con esta reserva.

Las olas que se acercan a la costa en una dirección que no es perpendicular a la misma, giran gradualmente y al final se mueven casi en ángulo recto con la costa (ver fig.1, lámina N°37). La razón de esto es que la velocidad de propagación de las olas en aguas bajas, disminuye con la profundidad del agua. Las olas que se acercan a la costa deben romperse en un lugar cuya profundidad sea alrededor de dos veces la altura de la ola, dependiendo la profundidad, a su vez, de otros factores, como son la velocidad del viento y la pendiente de la playa. La lámina N°38 muestra alturas de ola medidas en Progreso entre 1937 y 1940. Allí aparece que alturas mayores que la mitad de la profundidad de agua nunca fueron registradas. La máxima altura de ola observada durante este corto período, fué de 2,9 m. Las condiciones en Frontera puede asumirse que son similares. Sin embargo, es un hecho establecido que, tanto el cambio de dirección de la ola como su rompimiento, causan corrientes paralelas a la costa. La dirección se determina por la compo-

nente de la dirección del viento a lo largo de la costa. El hecho de que tanto las olas como las corrientes están sujetas a las direcciones de los vientos, es el motivo por el cual es necesario un estudio de las condiciones de los vientos, los que usualmente son indicadores de la dirección y magnitud del acarreo litoral.

Otros factores que tienen influencia en el acarreo litoral son la profundidad del agua en la costa y el espacio abierto en el mar en la dirección del viento; la altura de las olas está influenciada por estos dos factores. Un conocimiento de la naturaleza de la costa es también importante, si ésta está formada de rocas o de sedimentos sueltos, o si los terrenos adyacentes a ella son bajos o altos. Una costa con rocas o barrancos altos puede ser más resistente al ataque.

Estudiando las formas de la costa en mapas y fotografías aéreas y recorriéndola y tomando fotografías de ella, se puede obtener una valiosa información. Finalmente, hay la posibilidad de estudiar el problema haciendo mediciones de corrientes y de arena en suspensión en el agua o construyendo espolones de experimentación. Mientras que las mediciones de corrientes y sedimentos en los ríos pueden hacerse sin mayores dificultades y con éxito, es muy complicado y difícil hacerlo en el mar abierto. En el mar las corrientes están continuamente cambiando de dirección, localización y fuerza, y la medición de la arena en suspensión tiene que hacerse donde rompen las olas. Estas mediciones deberían hacerse también durante las tempestades, ya que en estos casos el acarreo litoral es muy fuerte. Por las razones antes expuestas no se han hecho mediciones para determinar la cantidad de arena en suspensión en el mar; por lo tanto se ha preferido estudiar la magnitud del acarreo, calculando "el vector del acarreo litoral" y estudiando la forma de la costa.

Investigaciones sobre el acarreo litoral

(f 7)

Se puede mencionar, sin embargo, que las mediciones hechas del acarreo litoral se han ejecutado en algunos casos con el objeto de obtener un conocimiento general del problema. En la lámina N°34, por ejemplo, se indican los resultados de algunas mediciones hechas en la playa de Pensacola, Florida, ejecutadas por la Beach Erosion Board. De las figuras que se indican se puede observar que tanto la cantidad de arena en suspensión como la velocidad de la corriente a lo largo de la costa, tienen su máximo entre el punto donde rompe la ola y la línea de costa y, como el acarreo de la arena es más o menos proporcional a ambas, el resultado es que un porcentaje muy grande del acarreo de arena tiene lugar en esta zona. La posición del lugar donde rompe la ola, en relación con la barra, indica en este caso particular que las mediciones fueron tomadas bajo condiciones de calma. La cantidad de arena transportada durante las tempestades es indudablemente mucho mayor.

En lo siguiente se discutirán las conclusiones que, para el caso de la costa de Frontera, se deducen del cálculo del acarreo litoral y del estudio de la costa y de los terrenos adyacentes a lo largo de ella.

1. - Vectores del acarreo litoral.

El transporte y la erosión de que son capaces las fuerzas marinas, son generalmente representados por un solo vector, cuya magnitud y dirección se calculan a base de los datos relativos a los vientos y a la superficie de mar abierto en varias direcciones.

Una fórmula para esta fuerza, la que en los mares de Dinamarca y el Mar Báltico ha demostrado ser buena indicadora del acarreo litoral en varios puntos de la costa, es la desarrollada por Munch-Petersen. Según esta fórmula, se encuentra

La fórmula de
Munch-Petersen

(f 1)
(f 2)
(f 3)
(f 4)
(f 5)

la fuerza L del acarreo litoral como resultante de componentes obtenidas aplicando a las diferentes direcciones de la rosa del viento la fórmula

$$\Delta L = \sum HS^2 \sqrt{f}$$

donde H es la frecuencia de los vientos, S su fuerza y f la zona abierta en km. en la dirección en cuestión.

La componente de L paralela a la costa indica la dirección del acarreo litoral y su tamaño es la medida de la capacidad de acarreo. La componente perpendicular a la costa da una idea de la fuerza con que el material del fondo del mar es levantado por las olas. Las fórmulas o leyes simples de esta índole, deben ser tomadas siempre con alguna reserva debido a la complejidad de la naturaleza. Por ejemplo se tiene la experiencia que el acarreo litoral máximo no se alcanza cuando L es paralela a la costa, como era de esperarse de acuerdo con las reglas indicadas anteriormente.

De la magnitud y dirección de L en un lugar determinado no se puede deducir nada respecto a la cuestión si habrá erosión o sedimentación. Sedimentación ocurrirá si el material que se acarrea es mayor que el que se remueve o, en otras palabras, si la capacidad de acarreo disminuye en la dirección del acarreo litoral. Si las condiciones son inversas, entonces habrá erosión.

La zona abierta f en las diferentes direcciones de la rosa de los vientos, en el caso de la boca del río Grijalva, se indica en la lámina N°35. De ésta se deduce que la zona abierta entre el NNO. y el NNE. es mayor de 1.000 km. Cuando distancias a través del mar son tan grandes, hay razón para creer que la exacta magnitud de esta zona no es de interés, como el viento prácticamente nunca sopla en la misma dirección en una zona tan grande. Sin embargo, sí tienen importan-

Zona abierta
en Frontera

cia las diferencias entre esas grandes distancias y las zonas de 200 a 500 km. -hacia el O., ONO. y NE. Tempestades provenientes de estas direcciones ocasionarían, sin duda, olas más pequeñas que las tempestades provenientes del NNO. y NNE. Vientos de tierra entre el O., S. y E., tienen naturalmente muy poca influencia en el acarreo litoral. Como f aquí es nulo, la fórmula no dará componentes en esas direcciones. Los vientos en dirección hacia el mar pueden, sin embargo, causar un acarreo de arena de profundidades mayores a profundidades menores, mientras que los vientos que vienen desde el mar pueden causar movimientos en la otra dirección. Esto se explica por las contracorrientes cerca del fondo del mar.

Observaciones
de viento en
Frontera

En el caso de Frontera se conocen: los vientos mensuales y los vientos más fuertes de cada mes correspondientes a varios años y, además, las observaciones de vientos de 1948 tomadas tres veces al día (lámina N°10). El vector del acarreo litoral se ha determinado para cada mes del año, tanto tomado del conocimiento de los vientos predominantes y más fuertes por determinado número de años como de los conocimientos de las condiciones de vientos de 1948; los resultados obtenidos en estas dos diferentes formas han sido comparados.

Estimando el
vector del
acarreo lito-
ral por ob-
servaciones
abarcando
varios años

Los diagramas de viento preparados, basados en las observaciones de varios años, darán naturalmente una mejor idea de las condiciones medias, que los de un solo año, pero no permiten ningún cálculo directo del vector. Para estimar la dirección y la magnitud del vector de estas observaciones debe tomarse en consideración que los vientos huracanados son más importantes para el acarreo litoral que los vientos más débiles. Si los vientos huracanados provienen de otras direcciones que de la de los vientos predominantes, un cambio en la dirección del vector se podrá espe-

rar, variando de la dirección de los vientos dominantes a la dirección de los vientos huracanados.

Cuando se observan los diagramas de la lámina N°10 para los vientos más fuertes por mes, debe tenerse en consideración que no dicen mucho acerca de la frecuencia de las tempestades durante el año. Como se ha mencionado anteriormente, se sabe que los Nortes son más fuertes y frecuentes en los meses de noviembre o febrero, mientras que son menos fuertes y menos frecuentes en los meses de septiembre, octubre, marzo y abril. Los Nortes ocurren muy rara vez de mayo a agosto. Basadas en estos datos, la dirección y la fuerza del vector de acarreo litoral se estiman como sigue:

- Enero: Vientos predominantes del N. al NE.; los vientos más fuertes son del NO. al N. Como las tempestades son frecuentes en este mes, es lógico presumir que el vector debe tener una dirección del NNO.; debe ser comparativamente grande.
- Febrero: Vientos predominantes del NE. al SE.; vientos fuertes del NNO. Como los vientos del E. y SE. no tienen influencia y siendo frecuentes las tormentas, es lógico presumir que el vector debe tener una dirección del N.; debe ser más bien grande.
- Marzo: Vientos predominantes del mar entre NO. y NE. Vientos fuertes del NO. Como las tempestades son menos frecuentes, es lógico presumir que el vector será del N., pero con menos fuerza.
- Abril: Vientos predominantes del mar del NO. y N. Vientos fuertes con la misma dirección. Como las tempestades

- tades son menos frecuentes, es lógico presumir que el vector vendrá del NNO. con menos fuerza que en marzo.
- Mayo: Vientos predominantes del mar del NO. y N. Vientos fuertes con igual dirección. Como las tempestades ocurren rara vez, se deduce que el vector será más bien pequeño y con dirección del NNO.
- Junio: Vientos predominantes del mar del N. al NE.; vientos fuertes provenientes del NO. al NE., con poca frecuencia. El vector se estima debe venir del NNE. y más bien pequeño.
- Julio: Tanto los vientos predominantes como los fuertes vienen del mar y con una dirección NE. Como las tempestades son muy raras, es lógico deducir que el vector será pequeño y con dirección del NE.
- Agosto: Las condiciones y, por eso, las conclusiones son iguales que para julio.
- Septiembre: Los vientos predominantes son del mar y del N. al NE.; vientos fuertes del NO. al NE. Como las tempestades ocurren más frecuentemente, se estima que el vector es más grande que el de agosto y con dirección del NNE.
- Octubre: Tanto los vientos predominantes como los vientos tempestuosos provienen del NO. al NE. Las tempestades son frecuentes y el vector se estima que sea grande y del N.
- Noviembre: Vientos predominantes del N. al NE. y las tempestades, que son frecuentes, del NO. al NE. El vector es grande y se estima con una dirección del N.
- Diciembre: Vientos predominantes del NO. al NE.;

tempestades frecuentes provenientes del NO. al N. El vector se estima grande y con dirección del NNO.

La variación en tamaño y dirección de los vectores se puede ver en la lámina N°35. En la tabla aparece que el vector para los meses de verano de junio, julio, agosto y septiembre es más bien pequeño y con dirección del NNE. al NE., mientras que para el resto del año, la dirección es del NNO. al N. La acción de los vientos es especialmente fuerte en octubre, noviembre, diciembre y enero, en la época de los Nortes. Para todo el año, el vector puede suponerse con una dirección del N.

El cálculo del vector del acarreo litoral por observaciones de viento en 1948

El cálculo de los vectores del acarreo litoral por las observaciones de viento de 1948, es un trabajo muy sencillo, en el cual no hay necesidad de hacer suposiciones. El resultado se puede ver en el diagrama que también está en la lámina N°35. Este diagrama muestra el vector para cada mes. La lámina N°36 muestra un diagrama para todo el año, puesto en diferentes lugares a lo largo de la costa cerca de la desembocadura del río. Este diagrama no solo muestra el vector resultante del acarreo litoral, sino también las componentes para cada dirección de la rosa de los vientos, de las cuales se ha compuesto. La siguiente tabla permite una comparación de los vectores encontrados en las dos formas descritas:

		Estimado por observaciones en varios años		Calculado por observaciones en 1948	
		dirección	magnitud	dirección	magnitud
Comparación de vectores hallados en las dos diferentes formas	Enero	NNO.	grande	NNE.	mediano
	Febrero	N.	grande	NNE.	grande
	Marzo	N.	mediano	NNO.	pequeño
	Abril	NNO.	mediano	N.	mediano
	Mayo	NNO.	pequeño	NNE.	pequeño

	Estimado por observaciones en varios años		Calculado por observaciones en 1948	
	dirección	magnitud	dirección	magnitud
Junio	NNE.	pequeño	NNE.	pequeño
Julio	NE.	pequeño	NE.	pequeño
Agosto	NE.	pequeño	NE.	pequeño
Septiembre	NNE.	mediano	N.	pequeño
Octubre	N.	grande	NNO.	grande
Noviembre	N.	grande	NNO.	grande
Diciembre	NNO.	grande	NE.	grande
Todo el año	N.		N-NNE.	

Cuando se hagan las comparaciones, debe recordarse que algunas variaciones deben esperarse que ocurran de año en año, y que por consecuencia algunos de los meses de 1948 pueden tener algunas condiciones poco usuales en los vientos. El resultado del estudio de la dirección del vector del acarreo litoral, se puede sintetizar como sigue:

<u>Octubre a febrero:</u>	Vector más bien largo con dirección NNO. a NNE.
<u>Marzo y abril:</u>	Vector tamaño mediano con dirección NNO. a N.
<u>Mayo:</u>	Vector pequeño con dirección NNO. a NNE.
<u>Junio:</u>	Vector pequeño con dirección NNE.
<u>Julio y agosto:</u>	Vector pequeño con dirección NE.
<u>Septiembre:</u>	Vector tamaño mediano con dirección N-NNE.

El vector para todo el año casi puede decirse que es de dirección N.

2. - Estudio de las formas de la costa.

Las fuerzas marinas tienen una tendencia a suavizar la costa. Los puntos salientes son ero-

sionados y las bahías se rellenan o se cierran por medio de barras y se forman lagunas. Este proceso es de esperarse que sea especialmente avanzado en la costa sur del Golfo de Campeche con el gran espacio de mar abierto que se encuentra en esta parte del Golfo y con una costa muy poco resistente formada por sedimento fino y sin ninguna altura. El mapa de la lámina N°2 indica que la costa actual es muy suave en cuanto a su forma, y tiene muy pocos puntos salientes.

Experiencias
generales
respecto a
las formas
de una costa
con acarreo
litoral

Antes de estudiar detalladamente las formas de esta costa particular, es conveniente mencionar algunas de las experiencias generales que se han hecho relativas a la relación que existe entre el vector del acarreo litoral y la forma de la costa. Ilustraciones correspondientes a varios casos se indican en la lámina N°37. Si el vector del acarreo litoral es perpendicular a la costa, indica generalmente, que no hay determinada dirección del acarreo litoral en ese lugar, considerando un período suficientemente largo; es un lugar donde el acarreo litoral es nulo (2 en lámina 37). Si la costa es derecha, ni erosión ni sedimentación ocurrirá, excepto en casos especiales, por ejemplo cuando la costa consiste de terrenos de arcilla que pueden ser lavados y acarreados hasta profundidades más grandes.

Sin embargo, en general la costa se curva en las cercanías de los puntos en que el acarreo litoral es 0, y entonces tanto la erosión como la sedimentación son posibles. Si la costa es cóncava, como se indica en el caso 3, se producirá sedimentación, ya que las pequeñas variaciones a ambos lados de la dirección del vector, lo que generalmente siempre ocurre, tendrán una tendencia de mover el material hacia el punto 0. Las condiciones inversas se encuentran en caso de una costa convexa (4), en la cual se produce erosión.

Si el vector del acarreo litoral forma un

ángulo con la costa, entonces habrá transporte(5). También en este caso, la curvatura de la costa determina si se produce erosión o sedimentación. En una costa convexa (6), se producirá erosión, ya que la componente paralela a la costa aumentará en la dirección del acarreo litoral. Ocurrirá sedimentación si las condiciones son inversas (7). Se presume aquí que la zona abierta es larga comparada con las formas de la costa.

Los detalles de la costa frecuentemente indican la dirección de las fuerzas litorales. Las lengüetas de la costa, por ejemplo, crecerán en dirección del acarreo litoral y la entrada de las lagunas frecuentemente se mueven en esa dirección, para detenerse finalmente al extremo de la laguna, hacia donde señala el vector (8). Las lagunas, sin embargo, frecuentemente se cierran por la formación de islas, y la regla para localizar la posición de la entrada debe, por consiguiente, tomarse con alguna reserva (9). Las lengüetas generalmente se van extendiendo gradualmente por la formación de pequeñas lengüetas torcidas que se localizan en el extremo de las primeras. La forma peculiar de estas pequeñas lengüetas que se curvan hacia la costa, puede ser explicada por el movimiento en zigzag de la arena, causado por las olas al moverse en la playa con alguna desviación de la perpendicular a la costa. Esto se indica en (11) en la lámina N°37. (10) indica la forma de la lengüeta mayor, a su vez formada por pequeñas lengüetas con curvatura hacia la costa y de diversos tamaños.

(f 6)

Las desembocaduras de los ríos en las costas que tienen acarreo litoral, tienden, a través de los años, a moverse en dirección del acarreo. El resultado es que la parte baja de los ríos forma un ángulo con la costa que indica la dirección del acarreo litoral (12). Debe mencionarse, finalmente, que espolones y otras obstrucciones

en la costa tienden a detener el acarreo litoral, con el resultado de que se acumula arena del lado de barlovento (13), mientras que en el lado de sotavento se producen erosiones. La forma de la nueva línea de costa dependerá del ángulo entre la fuerza y la costa. Como se indica en (13), una fuerza que es casi perpendicular a la costa originará la formación de una nueva línea de costa que solamente formará un pequeño ángulo con la línea de costa antigua. En lo que sigue se describirán la forma de las costas de Tabasco, la forma general que se observa de los mapas y de las fotografías aéreas, y también los pequeños detalles observados a través de viajes de inspección a lo largo de la costa y fotografías tomadas desde aviones en vuelos bajos.

Formas de
la costa de
Tabasco

En la lámina N°35 se indican dos croquis de la costa, uno muestra el vector del acarreo litoral dibujado en varios lugares, con objeto de indicar la variación de su componente a lo largo de la costa, y otro con flechas en los lugares donde la dirección del acarreo litoral puede ser estimado por las formas de costa que se observan en los mapas. Se puede ver que todas las flechas indican que el acarreo litoral está dirigido hacia el oeste. Más lejos hacia el oeste, enfrente de la Laguna del Carmen y Laguna Machona, las entradas parecen ser localizadas en el extremo oeste. En la barra de Tupilco, el río señala hacia el oeste y una nueva lengüeta de arena sin vegetación señalando hacia el mismo rumbo se observa desde el aire. La barra de Dos Bocas y especialmente la barra de Chiltepec indican una tendencia pronunciada hacia el oeste del acarreo litoral. Pequeños ríos señalando hacia el oeste se encuentran en una zona de cerca de 10 km. al oeste de Frontera y a medio camino entre Punta Xicalango y San Pedro.

Las conclusiones basadas en la forma de la

costa, parecen estar más o menos de acuerdo con los resultados obtenidos del estudio del vector del acarreo litoral. La componente a lo largo de la costa parece señalar hacia el oeste en todos los lugares, no obstante sus diferentes tamaños.

Un estudio más detallado de las pequeñas formas de la costa ha sido hecho en una longitud de 10 km. desde un punto al SO. del canal lateral, hasta un punto un poco al E. de la boca del río San Pedro, lo que corresponde a una longitud de cerca de 30 km. de costa. Esta zona de la costa ha sido inspeccionada y fotografiada. Algunas de estas fotografías se indican en las láminas N°49, 50 y 51. Se han tomado fotografías aéreas en escala 1:5000 de la costa cerca de la desembocadura. Las láminas N°42 a 48 muestran ciertas secciones típicas. La ubicación de las fotos y de las fotografías aéreas aparecen en la lámina N°36.

La costa al SO. del canal lateral es cóncava, variando de una dirección norte-sur inmediatamente al S. del canal lateral a una dirección este-oeste en la barra de Chiltepec. La componente bastante grande del vector del acarreo litoral, siguiendo la costa, disminuye en la dirección del acarreo litoral, y un movimiento hacia el mar de la costa debe esperarse (lámina N°36). Esto ha sido confirmado por las investigaciones llevadas a cabo y por la historia. Se encuentra cerca del canal lateral una playa arenosa bastante ancha (cerca de 70 m.) y se nota que esta parte de la costa se está moviendo hacia fuera (fotografía N°2 de la lámina N°49). El ancho de esta playa disminuye hacia el oeste. La fotografía N°1 indica la situación de un lugar a unos 5 km. de distancia al SO. del canal. La playa en este lugar es más estrecha, alrededor de 50 m., y palmas de coco crecen a la orilla de la playa. Como se estima que la edad de estas palmas es de 8 a 10 años, se deduce que no ha habido gran movimiento de la costa

La costa al
SO. del ca-
nal lateral

hacia fuera, durante años recientes. La experiencia de los agricultores que tienen plantaciones de coco a lo largo de la costa, indica que debido al avance de la costa hacia el mar, puede a veces ser plantada otra fila de cocos más cerca de la playa. El movimiento de la costa hacia el mar en el lugar llamado Constancia, como a 12 km. del canal lateral, se estima que ha sido de 60 m. durante los últimos 30 años.

La playa es más suave y no presenta ni lengüetas ni lagunas. Enfrente de la costa se encuentran de dos a cuatro barras, dentro del mar, donde las olas rompen. La distancia desde la línea de costa hasta la barra más lejana, es de 300 m. aproximadamente. El movimiento de la costa hacia el mar está causado por barras migratorias que, al emerger sobre las playas, forman pequeñas lomas. Estas lomas aun son visibles en los terrenos interiores, con hondonadas de más o menos 0,5 m. de profundidad, y la distancia entre las lomas es cerca de 20 m. En casos excepcionales las hondonadas llegan a tener hasta 1,5 m. de profundidad. Las palmas se plantan generalmente en las lomas en dos o tres filas. La lámina N°43 muestra una fotografía aérea de esta parte de la costa.

La costa oeste de la Isla del Buey, con una longitud de 3 km., tiene una dirección más o menos norte-sur, y la componente del vector del acarreo litoral, por consiguiente, debe ser grande (lámina N°36). La capacidad de transportación, sin embargo, no debe ser tomada demasiado en consideración, ya que, como se ha explicado antes, ella tiende a decrecer, cuando el ángulo entre el vector del acarreo y la costa se hace muy pequeño. El fondo del mar en esta zona es sumamente plano. Esto se demuestra claramente al observar, durante la baja marea, la presencia de las pequeñas barras de arena inmediatamente al N.

La costa
oeste de
la Isla
del Buey

del canal lateral (foto N°3 de la lámina N°49). La anchura de la playa de arena de la parte sur de la costa, indica que la costa en este lugar se está moviendo hacia el mar (fotografía N°4 y fotografía aérea de la lámina N°45). Erosión se supone debe ocurrir en la parte norte de la playa, donde es muy angosta y donde se encuentran árboles y otra vegetación cerca de la línea del agua (fotografías N°7 y 8). Las lagunas que se observan a lo largo de la costa, están conectadas algunas veces con el mar por pequeños brazos, cuyas bocas están inclinadas hacia el sur, indicando una dirección del acarreo litoral hacia la misma dirección (fotos N°5 y 6). En el extremo sur, inmediatamente al norte del canal, una lengüeta de 500 m. se puede observar con dirección hacia el sur, la que aparentemente se ha formado recientemente (ver fotografía aérea de la lámina N°44). Los otros lados de la Isla del Buey que dan hacia el río y hacia el canal lateral, no tienen playas; los mangles crecen a la orilla del agua.

Isla Azteca

La Isla Azteca es una isla muy baja formada de arena, con vegetación típica de playa sin árboles. Tiene una longitud de cerca de 1,5 km. en dirección NE. a SO., con un ancho no mayor que 100 a 150 m. En el extremo este se puede observar un "gancho" o lengüeta con dirección sur (ver fotografía aérea N°46). El acarreo litoral tiene una componente grande con dirección oeste a lo largo de la playa norte de la isla, indicando una dirección del acarreo litoral hacia el oeste (lámina N°36). La arena se está moviendo actualmente en esta dirección y esto se prueba por el hecho que una lengüeta muy larga se está extendiendo, partiendo de la isla hacia el oeste en el extremo oeste de la misma. La foto N°10 de la lám. N°50 indica la uniformidad y rectitud de la costa norte de la isla. Pequeñas dunas con vegetación aparecen en la fotografía como pequeñas lomas. El "gancho"

formado por la lengüeta que, con dirección al sur, arranca de la parte noreste de la isla, con otra pequeña lengüeta al extremo de la primera, con dirección oeste, indica un acarreo litoral del norte al sur, indudablemente causado por las olas que entran, en el canal al E. de la Isla Azteca (foto N°11). En la esquina noreste de la isla, de donde se está llevando material, debe anticiparse una erosión, lo que está también probado por el hecho de que arbustos y otras plantas crecen en la orilla del agua (foto N°12). Atrás de la Isla Azteca se encuentra una extensa área en la cual el agua no tiene una profundidad mayor que 1 m. El cambio de frente de las olas, como aparece en la fotografía aérea de la lámina N°46, suministra una buena ilustración de las fuerzas que obran en la formación de la Isla Azteca.

La costa al
este de la
desembocadura
del río

La dirección principal de la costa al E. del río Grijalva hasta el río San Pedro, con una longitud de 20 km., es en general OSO. a ENE., y las partes oeste forman una curva cóncava cuya tangente tiene una dirección este-oeste cerca del río Grijalva. Cerca de San Pedro, la costa es un poco convexa. El acarreo litoral tiene una componente de transporte con dirección oeste cerca del río San Pedro y disminuye en la dirección de la corriente más al O. Por lo tanto, un movimiento de la costa hacia el mar debe esperarse cerca del río Grijalva. El vector del acarreo litoral es perpendicular a la costa a 5 km. al E. de la boca del Grijalva, y cerca de ella se encuentra una componente más pequeña y con dirección este (láminas N°36 y 37). Es de esperarse que se produzca sedimentación en el punto cero del acarreo litoral debido a su forma cóncava, mientras que erosión debe encontrarse en la esquina formada por la margen derecha del río y la línea de costa al este del río, debido a su forma convexa. Sin embargo, debe señalarse que, cuando se siguen

estas reglas del acarreo litoral, los sedimentos acarreados por el flujo del río interfieren con el acarreo y que, por consiguiente, pueden haber condiciones especiales cerca de la desembocadura.

La costa inmediatamente al este del río

En el lado oeste de la "esquina" opuesta al "gancho" de la Isla Azteca, se encuentran lengüetas curvadas con dirección sur, lo que indica que la arena es acarreada hacia el sur a lo largo de la costa, también en este lado del canal (ver foto aérea de la lámina N°47). No es imposible que a los lados del canal, las olas acarreen arena hacia adentro, mientras que la arena en medio del canal es acarreada hacia afuera por la corriente del río.

Desde la "esquina" hasta 1 km. hacia el este se encuentran signos de erosión. La playa de arena es más bien angosta y se puede observar la hierba oscura dentro del mar, hierba que probablemente ha crecido en una laguna anteriormente situada en el mismo lugar (fotos N°13, 14 y 15 de la lámina N°50). El vector del acarreo litoral indica que el acarreo en esta corta zona es hacia el oeste (ver lámina N°36). El borde interior de la playa se estima que tiene una altura de 1,5 m. y pequeños barrancos se observan en una parte de la costa. Detrás de la playa se observa una planicie con casi el mismo nivel, con dunas y lagunas provistas de vegetación consistente de hierba y plantas propias de playa. Detrás de esta planicie se encuentran plantaciones de coco.

La costa más al este

Al este de la zona de erosión de 1 km. de largo, se encuentra una playa algo más ancha donde se observaron lengüetas o barras con dirección este, en el mes de julio (ver foto aérea de la lámina N°47). Una larga y estrecha laguna, muy poco profunda, se ha formado recientemente a lo largo de la costa, y la abertura de su barra se encontró en su extremo este (foto N°16). La longitud de esta parte de la costa, donde el acarreo

litoral con dirección este se supone activo, cuando menos en una parte del año, es de sólo 2 km. En el lugar donde se construyó el espolón de experimentación, a 4 km. al este del río, no se encontraron signos de una dirección predominante de acarreo litoral. El espolón se construyó en este lugar con la intención de dar una prueba adicional de la teoría de que aquí se encontraba un punto cero del acarreo litoral. Su estructura fué más bien liviana y, como parte de ella fué destruída durante una tempestad que tuvo lugar el 1° de octubre, no se hicieron observaciones de ningún valor. Las conclusiones de las observaciones que se hicieron en la costa están, sin embargo, de acuerdo con las a que se llegaron por el conocimiento de la dirección del vector del acarreo litoral. Resulta, pues, que esta cuestión se ha resuelto sin uso del espolón. Esta parte de la costa está en movimiento hacia fuera debido a las barras migratorias que durante las tempestades son lanzadas sobre la costa como lomas de playa (foto N°17 en lámina N°50).

La costa, a una distancia al este de 5 km. del espolón de experimentación, parece que tiene un acarreo litoral con dirección al oeste, cuando menos en una parte del año. Lengüetas formándose rápidamente hacia el oeste, fueron observadas en julio y agosto. Se pueden observar en la fotografía aérea de la lámina N°48 y en la fotografía N°18 de la lámina N°50. Se encuentran también lagunas que se formaron en esa época, pero probablemente no son permanentes. La tempestad de octubre causó muchos cambios; la arena que se movió sobre las lengüetas probablemente fué echada a la costa y formó lomas.

La costa, desde 5 km. al este del río Grjalva hasta el río San Pedro, es prácticamente recta. La primera parte de ella, hasta Boquerón

unos 8 km. al oeste de San Pedro, muestra signos de un pequeño movimiento hacia el mar, pero en general las condiciones parecen bastante estables (foto N°19 en lámina N°51). Pequeños ríos que se encuentran en esta parte de la costa, no tienen signos de tener bocas migratorias. La costa consiste principalmente de arena, pero depósitos de arcilla se encuentran en las bocas de los ríos (fotografía N°21). Bolas de arcilla se encuentran en la playa probablemente desprendidas de un barranco de capas de arcilla. El hecho de que se encuentran, en algunos lugares, barrancos bajos, es una indicación probable de una alternación de la sedimentación y la erosión (fotografía N°20).

La costa al
este de Bo-
querón

Un cambio brusco en el carácter de la costa tiene lugar en Boquerón. Desde este punto hasta San Pedro y al este de este lugar, signos inequívocos de una fuerte erosión se pueden observar. Árboles al borde del agua y árboles muertos se encuentran en esta playa. Por las personas que viven en esta zona del río San Pedro, se ha podido saber que esta erosión ha sucedido desde hace muchísimo tiempo. Una gran parte de esta costa está formada por arcilla. Depósitos de arena acarreada de la costa se encuentran en la boca del río San Pedro y San Pablo en ambas orillas.

Dirección
del acarreo
litoral al
este del
río Grijalva

Mientras que las observaciones a lo largo de la costa cerca de San Pedro no enseñan mucho en relación con la dirección del acarreo litoral, un estudio de las componentes del vector del acarreo litoral claramente indica una dirección oeste del acarreo litoral desde unos 10 km. al este del San Pedro hasta el espolón de experimentación cerca del río Grijalva, y el material removido por erosión en San Pedro está, por consiguiente, indudablemente moviéndose en dirección del río Grijalva, por lo menos la parte de él que consiste de arena. En relación con esto es de mencionarse, que es realmente sorprendente que no haya una tendencia de

las bocas de los ríos a dirigirse al oeste, tanto el río San Pedro como Grijalva, aunque el acarreo litoral parece ser principalmente hacia el oeste, en la costa de Tabasco. Las partes bajas de estos ríos son más o menos perpendiculares a la costa. En el caso del río San Pedro, esto puede ser explicado por la erosión que se produce en el lugar. No obstante, las condiciones pueden haber sido diferentes en un principio, cuando el curso original del río se formó. Desde luego, hay una tendencia menor a moverse la boca durante un período de erosión en la costa. Sin embargo, esta explicación no se puede aplicar en el caso del río Grijalva, ya que actualmente hay sedimentación en esta parte de la costa. Este problema se discutirá posteriormente en este reporte.

Observación
de las olas
cerca de la
boca del río

Se puede observar muy claramente, en las fotografías aéreas tomadas en julio de 1949, la relación que existe entre el cambio del frente de las olas que llegan a la costa y la dirección del acarreo litoral. La lámina N°39 indica el sistema de frentes de ola de toda el área fotografiada. La dirección del viento y, por lo tanto, la dirección de propagación de las olas en el mar abierto, tenían una dirección noreste en el día en que se tomó la fotografía, pero esta dirección puede ser considerada típica del período de verano. Parece que la dirección del acarreo litoral, estimado de acuerdo con el cambio de frente de las olas, concuerda con las conclusiones sacadas de las observaciones de la costa y del estudio hecho basado en los vectores.

Estudio del
sistema de
lomas

Como se ha mencionado anteriormente, el movimiento de la costa hacia el mar, a ambos lados del río Grijalva, se efectúa por pasos, formándose lomas en la playa. Estas lomas aparecen en el terreno como pequeñas ondulaciones paralelas a las antiguas líneas de costa. Los perfiles de la lámina N°41, que muestran los niveles en dos líneas

perpendiculares a la costa con puntos de arranque en el sitio del espolón, indican claramente las lomas. Las fotos 24, 25, 26 y 27 en la lámina N°51, han sido sacadas a lo largo de estas líneas de nivelación. La ubicación de cada una se deduce de las láminas N°41 y 36. Paisajes de este tipo se encuentran en muchos lugares en el mundo y las describe, por ejemplo, Axel Schou.

(f 6)

Las lomas en el terreno se pueden ver claramente en las fotografías aéreas como un sistema de líneas paralelas (ver foto aérea en la lámina N°42 que muestra la parte inferior del río). La explicación es que hay una diferencia entre la vegetación que corresponde a las lomas y la que corresponde a las hondonadas. La hierba que hay en las más húmedas hondonadas tiene un color más oscuro que la hierba que hay en las lomas y, algunas veces, se encuentran en las hondonadas árboles y arbustos, mientras que las lomas tienen arena sin vegetación. Una diferencia entre la fertilidad de los suelos de las lomas y de las hondonadas, es muy probable. Las plantaciones de palma de coco se efectúan en las lomas en forma de hileras.

Como las líneas que se observan en las fotografías aéreas indican las líneas de costa viejas correspondientes a un largo número de años, se pueden sacar conclusiones relativas al desarrollo en el pasado. En la lámina N°40 se indica el sistema de líneas encontradas en las áreas adyacentes a las bocas del río Grijalva y río San Pedro. Las líneas indican claramente que la costa a ambos lados del río Grijalva ha venido moviéndose hacia el mar desde hace mucho tiempo, siendo el máximo en la desembocadura y disminuyendo hacia los lados. Aparentemente la costa en un período anterior debe haber sido más recta en la boca del río Grijalva. Un aumento del gasto del río probablemente ha tenido lugar en cierta época, o

quizá gradualmente durante un largo período. La situación alrededor del río San Pedro parece que es a la inversa; la intersección de las líneas de costa indica que existió un saliente, el que a través de los años ha sido barrido por la erosión. Debe mencionarse que Boquerón, al este de cuyo lugar actualmente se observa erosión, corresponde exactamente al extremo oeste de la zona de costa donde las lomas se intersectan con la línea de costa. La línea exterior del saliente del río San Pedro parece haber sido semejante a la que existe actualmente en la boca del río Grijalva.

Por lo tanto, debe deducirse que la descarga del río San Pedro comenzó a disminuir en cierta época, mientras que la descarga del río Grijalva aumentaba. Una explicación razonable puede ser, que una parte más grande de las aguas del sistema Grijalva-Usumacinta, en un período anterior, descargaban a través del río San Pedro. Este cambio puede haber sucedido debido, por ejemplo, a un aumento en la profundidad de la parte baja del río Usumacinta, entre el río San Pedro y el río Grijalva, por lo cual más agua se descargaba a través del río Grijalva. Probablemente, en alguna época, el río San Pedro y San Pablo fué la principal salida del río Usumacinta. Es posible establecer la línea de costa correspondiente a los años en que el cambio se inició, tal y como se indica con una línea punteada en la lámina N°40. La cuestión de la edad de esta línea de costa será discutida después del siguiente párrafo, cuando serán tratados los hechos históricos acerca de los cambios de la boca del río.

C. - Evidencia histórica en relación con los cambios morfológicos.

Lo siguiente trata principalmente de la historia de los cambios ocurridos en la boca del río Grijalva y de la localización de la línea de costa,

islas y canales en la barra. Alguna información relativa a alteraciones en los cursos de los ríos pertenecientes al sistema Grijalva-Usumacinta, también se señalan, cambios que teóricamente pueden explicar lo que ha sucedido en la boca del río Grijalva.

1. - Cambios en los cursos de los ríos.

El sistema fluvial de las planicies de Tabasco y Campeche ha sufrido muchos cambios durante el transcurso del tiempo. Estos cambios son probablemente debidos al hecho, que gran parte de los sedimentos acarreados desde las montañas, se han depositado en las tierras bajas, debido a la disminución de velocidad en las corrientes de los ríos. A través del tiempo, el fondo y las orillas de los ríos se han levantado en relación con la tierra circundante, y entonces el río puede desbordarse para formar otro nuevo río, desviando el flujo de agua. La sedimentación puede aparecer en alguno de los brazos de descarga, disminuyendo su importancia, mientras que otros brazos pueden tomar la mayor parte del flujo.

Desviación
del Mezcalapa
1765 - 1770

Los primeros datos históricos referentes a esos cambios, se relacionan con la desviación del río Mezcalapa entre los años de 1765 y 1770. En el siglo XVI y XVII, la mayor parte de las aguas de este gran río salían a través del río Dos Bocas (el actual Río Seco) a descargar en el Golfo (ver lám. N°2). Sin embargo, esta parte del río fué llenándose gradualmente con sedimentación y, finalmente, el flujo fué detenido. La gente de Tabasco ayudó a la naturaleza al erigir estructuras en el río. El objeto principal que persiguieron con esas estructuras, fué evitar que los piratas entraran a través de Dos Bocas al centro de Tabasco. La desviación del río ocurrió un poco más abajo de la ciudad de Huimanguillo, y el nuevo lecho del río señalando hacia el este en dirección de Villahermosa, donde el río Mezcalapa se junta con

el río Grijalva. Entre Huimanguillo y Villahermosa, sin embargo, parte del caudal del río Mezcalapa iba hacia el mar a través del río Cunduacán y el río González, ambos terminando en la barra de Chiltepec. Después del siglo XVIII, el río Cunduacán perdió su volumen e igual que el Río Seco drenaba únicamente las áreas entre el río Mezcalapa y el Golfo de México.

Han sucedido también cambios en la dirección de los tributarios del río Mezcalapa, como por ejemplo el río Pichucalco, pero estos cambios no tienen importancia para nosotros en relación con los sucesos en Frontera, ya que no tienen significado en la descarga en este lugar.

Dragado del
Canal de la
Pigua
1890 - 1900

De más importancia fué el dragado del Canal de la Pigua, efectuado entre los años de 1890 y 1900, inmediatamente al norte de Villahermosa. Este canal hace la conexión entre el río González y el río Grijalva y desvía parte del gasto del González hacia el Grijalva. El flujo ayudó en la profundización del fondo y, en realidad, fué necesario dragar muy poco.

Rompido de
Samaria
1930 - 1940

El último acontecimiento conocido fué el desbordamiento sobre los bancos del río Mezcalapa alrededor de 1930-40, en un lugar llamado ahora Rompido de Samaria. El nuevo río, indicado con líneas punteadas en la lámina N°2, aumentó gradualmente en volumen y está actualmente desviando una gran parte del gasto hacia la barra de Chiltepec, y esta situación se asemeja en cierto modo a la anterior al año de 1770.

Cambios en el
gasto del río
San Pedro y
San Pablo

Como se ha mencionado anteriormente, hay algunas razones para creer que el río San Pedro y San Pablo, en alguna época, llevaba más agua que el río Grijalva y que, en un determinado momento, el río Grijalva ganó y el río San Pedro perdió volumen. No hay ninguna evidencia histórica con respecto a esto, ya que en los años de 1518 y 1519 cuando Grijalva y Cortés llegaron al río Grijalva,

éste parecía ser el principal río de esa zona. Los cambios que se han observado deben haber ocurrido antes de esta época.

Los varios estados en el desarrollo del sistema fluvial, se indican en la lámina N°58. Estos croquis no muestran los cambios menores, que no tienen interés en este asunto.

Los cambios descritos anteriormente pueden ser estudiados en mapas antiguos, lista de los cuales se da en la lista de referencias. Copias de algunos de estos mapas se incluyen en las láminas N°52 a 57. El croquis dibujado en 1579 por Melchor Alfaro es el documento más antiguo, en el cual se dan detalles del sistema fluvial; muestra claramente que el Mezcalapa descarga en Dos Bocas (lámina N°52). Dos mapas del principio del siglo XVIII, publicados por Petrum Schenk y González Carranza, parte de los cuales se indican en la lámina N°53, no dan tantos detalles como el mapa de Melchor Alfaro, y con gran sorpresa no indican el río de Dos Bocas. Es posible que este río en esa época haya perdido parte de su volumen. Los mapas publicados por Thomas Jefferys, y que se indican en la lámina N°53, dan alguna información de la situación que prevalecía a mediados del siglo XVIII, especialmente alrededor de la laguna de Términos. El mapa de 1783 de una edición de Historia de México, por Solís (no copiado en este reporte), es de interés, ya que muestra la conexión entre el río Grijalva y el río González, y que debe haber existido en el siglo XVIII, cerca del lugar donde el Canal de la Pigua más tarde fué dragado. Los mapas de Juan Orozco de 1845 (lámina N°55) y de Adolfo Alomía G. de 1890 (lámina N°57), no indican conexión entre el río González y el río Grijalva, en el lugar indicado.

2. - Reseña de la evidencia histórica relativa a la boca del Grijalva.

Se ha pensado que es más práctico hacer una

Mapas
antiguos

síntesis de los acontecimientos históricos que se conocen, antes de formar conclusiones. Las descripciones, referencias a mapas, y notas históricas han sido arregladas más abajo en orden cronológico. La información diversa suministrada aquí, desde luego, no debe considerarse como hechos históricos absolutos, ya que los autores pueden haber cometido errores en algunos casos. Referente a los mapas, debe tenerse en consideración que en muchas ocasiones se elaboran basándose en información muy anterior al tiempo en que fueron publicados, y los mapas viejos generalmente están llenos de errores y fuera de escala. La idea general dada por las descripciones y mapas sobre los acontecimientos del período histórico puede, sin embargo, considerarse como verdadera. Todas las distancias y profundidades están dadas en km. y m., en vez de los sistemas originales de medida. En las láminas N°62 y 63 se encuentran copias, en pequeña escala, de los croquis y mapas, como también croquis hechos de acuerdo con las diferentes descripciones. Más adelante en el presente capítulo, los hechos sobresalientes de los cambios habidos serán discutidos a base de la evidencia que aquí se da.

1518 Juan de Grijalva descubre la boca del río.

(o 6)

Las profundidades en la barra eran tan pequeñas que no permitieron que sus barcos entraran, habiéndose visto obligado a anclar y atravesar la barra en pequeños botes. El río era muy ancho y con dos bocas. Los españoles fueron recibidos amistosamente por los nativos que habitaban un poblado cerca de la desembocadura. El jefe de los nativos se llamaba Tabasco, y el nombre de la población donde vivían era Potonchán. Al río se le llamó Grijalva en honor de su descubridor.

1519 Barcos españoles bajo el mando de Cortés

(o 1)

llegan y anclan enfrente de la barra, y ocupan por la fuerza el poblado situado en la

margen izquierda del río, a 2,7 km. de la desembocadura. Algunos de sus hombres desembarcaron por el lado izquierdo del río, cerca de una plantación de palmas, y se dirigieron hacia el poblado por un sendero que atravesaba pantanos y arroyos, a una distancia de menos de media legua (2,75 km.) desde la costa. Costes y el resto de su fuerza llegaron al poblado en botes y lanzaron un ataque desde este lado. En la mañana siguiente dos grupos fueron mandados para examinar el campo alrededor, tierra adentro. Un grupo tomó la ruta a lo largo del río, pero fué detenido por un arroyo que era muy difícil de cruzar y que estaba a una distancia aproximada de una legua (5,5 km.) desde la población. El segundo grupo tomó una dirección suroeste y tuvo una pelea con los nativos en las planicies de ese lugar. Posteriormente, Cortés ganó una batalla en las mismas planicies y se nombró a la población Santa María de la Victoria.

Alrededor de 1520 Pánfilo de Narváez visitó el lugar en sus barcos. Los indios a su llegada huyeron hacia una población mayor, situada a una distancia aproximada de una legua (5,5 km.) desde la desembocadura.

De 1553 a 1554 Los habitantes de Victoria se cambiaron hacia el interior como a unos 90 km., pero volvieron al mismo lugar debido a las mejores condiciones del puerto.

(d 1)

1579 Un croquis del sistema fluvial de Usumacinta-Grijalva fué hecho por Melchor Alfaro, y copia de él se indica en la lámina N°52. La población de Tabasco se indica en la margen izquierda del río, cerca de la boca. Poco más arriba en el río se encuentra un remanso, llamado Estero de Taxagual, en cuya orilla se sitúa la población de Taxagual. Melchor Alfaro da una descripción y de acuerdo con ella la desembocadura tenía dos canales, el canal oeste con una profundidad

de 3 m. y el canal este con 1,5 m. de profundidad. La profundidad de la barra entre los canales era de 1,2 m.

En "Relación de la Villa de Santa María de la Victoria" se encuentra la siguiente descripción:

(c 24)

"Este río y puerto están a una latitud de 18°30', donde esta población fué establecida a una distancia alrededor de una legua (5,5 km.) de la desembocadura, sobre un banco de arena que se había formado en dirección norte y sobre un brazo del río que lleva hasta una población llamada Taxagual formada por quince familias y a una distancia de más o menos tres leguas (17 km.) de esta población y a una legua de distancia al río. La tierra de esta población (Santa María) es estéril, ya que está formada de arena y pantanos. El brazo del río quiebra hacia el suroeste; está en conexión con muchas lagunas y pantanos y tiene muchos lugares profundos. Los barcos y fragatas anclaban en este brazo del río, cuando venían a esta población para cargar y descargar al pié de la cruz que está situada al extremo de la calle en el montículo que la soporta."

1597 La población de Victoria fué incendiada por los piratas, y los pobladores se movieron río arriba donde fundaron la ciudad de San Juan Bautista de la Victoria (Villahermosa).

1639 Una descripción de este año menciona que la iglesia de Santa María de la Victoria fué construída de palma y bejuco.

(d 3)

1704 El mapa de Andrade indica una pequeña marca enfrente del río Grijalva. Esto probablemente es la primera información de una isla en la desembocadura del río.

(d 4)

1708 a 1715 El mapa de Petrum Schenk indica la población de Victoria entre dos desembocaduras, probablemente las del río Grijalva

y el río San Pedro (lámina N°53).

(d 5)

1718 Un mapa en el libro de Domingo González Carranza (lámina N°53), muestra islas enfrente de la costa, llamadas El Buey, Triste, y Puerto Real. El río más grande lo llama San Pedro y San Pablo, y parece ser el actual río Grijalva. Un círculo que indica la ciudad de Tabasco, está situado en la margen derecha de la desembocadura. La Isla del Buey está localizada en la laguna cercana a los arroyos de Logwood. No parece ser una isla a la desembocadura del río Grijalva.

(d 6)

1762 El mapa bastante detallado mostrado en la lámina N°53 que cubre la costa desde la laguna de Términos hasta el río Grijalva, indica que el área comprendida entre el río San Pedro y San Pablo y la laguna de Términos, se llama Isla del Buey. Las islas frente a las lagunas se llaman Isla Triste e Isla de Puerto Real. En la desembocadura del río Grijalva se ve una isla con una anotación "Tabasco en Ruinas". Este mapa que fué tomado de los españoles por los ingleses, indudablemente se refiere a una época anterior a 1762, y entonces se puede llegar a la conclusión que el mismo nombre de Isla de Buey que se señala en el mapa de 1718, corresponde a la misma área que se indica aquí.

1765 a 1770 Hasta este período, la mayor parte de las aguas del río Mezcalapa salían por Dos Bocas a través del río llamado ahora Río Seco. El lecho, sin embargo, fué gradualmente rellenándose con sedimentación, por lo que había riesgo de que el agua se desbordara. Entre 1765 y 1770 la gente de Tabasco construyó algunas estructuras en el río, ocasionando su desviación hacia el Grijalva. Estas obras se construyeron con objeto de evitar que los piratas entraran a través del Río Seco.

(d 8)

1775 El mapa de Thomas Jefferys mostrado en la lámina N°53, señala la población de Tabasco

en ruinas en una isla en la desembocadura del río Grijalva, igual que en el mapa de 1762.

1780 a 1785 La ciudad de San Fernando de la Victoria fué fundada por el padre Tomás Herguera en el lugar donde se encuentra actualmente la ciudad de Frontera.

(d 9)

1783 Un mapa que se encuentra en la Historia de México de Solís, indica la situación de la población de Victoria en el mismo lugar que en los mapas anteriores. Un poco arriba de la población, muestra un río que conecta al Grijalva con la laguna detrás de la barra de Chiltepec, probablemente el río mencionado en la descripción de 1579. Una laguna se encuentra en la margen derecha, antes de la desembocadura. El propósito de este mapa fué tal vez indicar las condiciones del lugar en los tiempos de Grijalva y de Cortés.

1794 Un censo hecho en este año indica que la población de San Fernando tenía 604 habitantes.

(d 11)

1803 Un plano de Tabasco hecho por Miguel de Castro y Aráoz, muestra dos islas en la desembocadura del río y dos islas dentro del río.

(b 1)

(c 17)

1814 a 1817 Un plano de la desembocadura del río fué hecho por Tomás de Avendaño, por orden de Francisco de Heredia y Vergara, gobernador de la provincia (lámina N°59). El plano no tiene fecha, pero se sabe de otras fuentes que Francisco Heredia y Vergara era gobernador de 1814 a 1817. El plano muestra el "Pueblo Nuevo de San Fernando de la Victoria" en la localización de la actual ciudad de Frontera. Dos islas se encuentran en el río: una isla más grande, Isla de Puro Monte, un poco abajo de la ciudad, y una más pequeña justamente enfrente de la ciudad y cerca de la boca del Trapiche. Se indican las ruinas de la antigua ciudad de Victoria en este afluente. Más

abajo del río y cerca de la boca sobre la margen derecha, se muestra el fuerte Castillo de Santa Isabel, del cual se hace una descripción en el plano. Al frente del fuerte, en la margen izquierda, hay un cementerio y una capilla. Dos islas se encuentran en la barra, Buey Grande y Buey Chico; separando tres canales, el del oeste, el del noroeste y el del noreste. Los barcos parece que entran por este último canal, cuya profundidad está indicada en 14 palmos (3,0 m.).

1819 Las cartas marinas danesas de este año, indican una pequeña isla en la desembocadura del río Tabasco, llamada del Buey. La palabra "Taarn" (torre) figura en un pequeño círculo en la margen izquierda (copia del mapa en lámina N°54).

(c 4)

1825 En un libro de navegación español reimpresso en 1825, se da el siguiente relato después de una descripción de las barras en Dos Bocas, Chiltepec, etc.: "La de Tabasco, que es la más hondable, forma dos bocas separadas por la Isla del Buey; en la del este hay ocho pies (2,4 m.) y en la del poniente diez (3,0 m.); nada podemos decir de los canales de estas barras porque son mudables"

1826 El nombre de la población de San Fernando de la Victoria cambia a Guadalupe de Frontera.

(c 12)

1838 Calixto Díaz da la siguiente descripción de la barra del río Grijalva: "Tiene dos canales para entrar en ella. En el que nombran del noroeste, que está situado entre la punta de barlovento y el islote que le llaman de Buey Chico, se encuentran once palmos (2,3 m.) de agua y 500 varas (400 m.) de ancho de punta a punta. En el otro canal, que está situado al oeste, entre el Buey Chico y otro islote, hay diez palmos (2,1 m.) de agua de profundidad. El fondo de ambos canales

es de arenas, y el ancho del referido Buey Grande es de 200 varas (170 m.). Pasando en el canal el punto que le dicen El Salto, pueden entrar con toda seguridad los buques de mayor calado, pues disfrutan entonces de las aguas del caudaloso río de Grijalva, que conserva su gran fondo hasta el punto de Escobas (50 km. de la boca), y de éste hasta llegar a la capital no dejan de tener sus dificultades los capitanes o patrones de las embarcaciones, cuando carecen de conocimientos prácticos en dicho río.

1840 a 1850 Un capitán británico llamado Barnett visitó a Frontera alrededor del año de 1844 y dió una descripción que posteriormente fué usada en el West India Pilot, edición 1861.

(c 37)

En la cabeza, al este de la entrada al río, que consiste de arena blanca, se encuentra una choza, y a 1,8 km. de ella, tierra adentro, hay un fuerte con 12 cañones y una torre de vigía coronada por un mástil; la casa del piloto está localizada cerca de él. Alrededor de 1,8 km. río arriba del fuerte existe una isla de 2,7 km. de longitud, desde cuyo extremo norte se extiende un banco de lodo de 1,8 km. de largo. El canal principal está localizado en el lado este con un ancho de menos de 0,9 km.; el canal oeste puede ser navegado únicamente por canoas.

En la época de Nortes, de septiembre a marzo, la profundidad sobre la barra es en general de 3,3 m. y algunas veces más, pero esas profundidades varían grandemente, disminuyendo durante las avenidas debido a la acumulación de arena. Cuando el río alcanza su nivel máximo, la profundidad en la barra es mínima, y cuando el río está en sus aguas más bajas, el canal, al contraerse, se socava y se vuelve más profundo. En diciembre, al fin de la época de lluvias, la profundidad de la barra no es más que 2,1 m., pero al primer Norte aumenta la profundidad a 3,2 m. aunque, sin embargo, cada crecida puede reducirla de nuevo a 2,1 a 2,4 m. Durante la época de lluvias, los barcos quedan de-

tenidos dentro de la barra frecuentemente por un período hasta de dos meses, esperando que aumente la profundidad en el canal. La dirección del canal varía con los cambios de profundidad; el agua colorada con los sedimentos del río puede algunas veces alcanzar una distancia de 50 km. de la costa

(c 8)

1844 Mühlenfordt menciona que la desembocadura del río está dividida en dos canales, uno al noroeste y otro al noreste. El primero con una profundidad de 2,8 a 3,0 m. y el segundo con 2 m. únicamente. Indica que el fuerte de San Fernando está situado en la barra y que 5 km. más arriba está, sobre la margen izquierda, la villa de San Fernando, que es la misma que tomó Cortés en 1519 y que le llamó Victoria y posteriormente Tabasco.

(c 7)

1844 Peter Masters publicó una descripción acompañada de un mapa, dando la siguiente información: Al oeste de la boca del río, se encuentra la gran Isla del Buey, en cuya parte norte hay grandes árboles. Como a 1 km. al norte de esta isla, existe otra más pequeña llamada Buey Chico, que es únicamente un banco bajo de arena. La entrada al río es a través de un canal localizado al este de la pequeña isla y aproximadamente en línea recta con el eje del río (copia del mapa en la lámina N°54).

Peter Masters da la siguiente información acerca de las profundidades en la barra:

"Cuando el río está en sus aguas máximas, hay menos agua en la barra, y cuando el río está en sus aguas bajas, el canal se contrae y el agua es más profunda en la barra. En diciembre de 1842 había únicamente 2,1 m. en la barra de Tabasco en aguas altas. Esto fué poco después de la época de lluvias y los Nortes habían sido, hasta este período, solamente ligeras brisas. Logramos entrar al río descargando parte de nuestro lastre. Poco después hubo un Norte fuerte que profundizó

la entrada hasta 3,1 m., pero otra avenida o crecida tuvo lugar en el río e inmediatamente la barra se volvió a llenar hasta 2,6 m. Es de observarse que casi todos los vientos fuertes que soplan del norte, tienen un efecto sobre la barra y cambia su posición y aumenta la profundidad del agua; los cambios dependen más o menos de la intensidad del viento, pero los pasos abiertos se llenan en seguida otra vez. Barcos han llegado a estar detenidos hasta dos meses dentro de la barra, esperando poder salir.

En la margen derecha se encuentra la ciudad de Frontera. Entre Frontera y la desembocadura del río, éste está dividido por una isla oblonga de 2,5 km. de longitud aproximadamente, siendo el canal del lado este el más profundo. Enfrente de Frontera hay un pequeño afluente llamado El Trapiche o De la Bellota, que conecta el río Grijalva con el río Chiltepec. Como a 1,8 km. desde la costa se encuentra un pequeño fuerte situado a la margen derecha."

(d 14) 1845 El mapa preparado por Juan Orozco indica dos islas en la desembocadura del río, la más grande de ellas llamada Isla del Buey. La Ciudad de Guadalupe de la Victoria o la Frontera y también el fuerte están señalados en este mapa (ver copia del mapa en lámina N°55).

(d 15)
(c 9) 1847 El croquis hecho por Heller indica Guadalupe de la Frontera y una isla en el río frente a la ciudad. La descripción indica la distancia desde la ciudad hasta la costa como de 5 km. y parece que la profundidad del canal a través de la barra es de 2,7 m.

(b 2) 1861 El capitán José D. Payán hizo un croquis de la desembocadura del río (lámina N°60). Una barra de arena con menos de 1 m. de profundidad en la marea baja se extiende frente a la desembocadura del río, separando dos canales, el del este

llamado Canal del Basurero, con profundidades de 1,8 a 2,1 m., y el del oeste con 2,7 m. de profundidad. El nombre de la isla inmediatamente abajo de Frontera es Isla Grijalva. Buey Grande es una península. La faja de tierra que hace la conexión se llama Barra Ciega.

(b 3)

1868 El plano preparado por José D. Payán muestra un plano de las calles del centro de Frontera y la parte baja del río (ver copia en lámina N°60). El canal principal a través de la barra está más o menos en línea recta con el eje del río. Al este de él, se encuentra la Isla del Pajalal y el Canal del Basurero. Buey Grande está indicada como una península.

(c 17)

1872 Gil y Sáenz, al referirse a la barra de Tabasco, dice: "tiene tres canales. El primero se conoce con el nombre de Pajalal, que está al este, canal muy franco, mide de 7 a 8 pies (2,1 a 2,4 m.) de agua, con algunas variaciones, y tiene un islote al sureste llamado el Pajalal. Segundo: el del medio, que está situado al noreste con la desembocadura del río, rodeado de bajos, con la misma profundidad que el anterior. Tercero: el canal principal que viene del noroeste y que está colocado entre el expresado del medio y el del Buey Grande, con una profundidad de 9 a 10 pies (2,7 a 3,0 m.) de agua; su ancho es de 200 varas (170 m.)"

(b 4)

1874 De la visita hecha a Frontera por el capitán Green, en el barco U.S.S. FORTUNA, se conocen dos croquis, aunque difieren un poco. Ambos señalan dos islas en la desembocadura, una grande en el centro llamada Isla del Buey, y otra pequeña en el lado derecho sin ningún nombre. Una isla en el río inmediatamente abajo de Frontera sólo aparece en uno de los croquis.

(b 5)

1879 El plano preparado por el Ing. Cayetano Camiña señala las islas Vermouth en el lado oeste de la barra. En el lado este está la pen-

ínsula del Basurero con un faro (ver copia del mapa en lámina N°60).

1882 Un faro se construyó en la margen derecha del río en la desembocadura.

(c 37)

1883 En la edición publicada en este año del West India Pilot, se menciona que el único canal para poder entrar al río, está entre la Isla del Buey y un banco, con 1,8 m. de agua y cerca de 1 km. al oeste de él.

(d 24)

1884 El plano del río Grijalva dibujado por George Foot, da algunos detalles de la desembocadura. El pueblo de San Fernando y el Fuerte de la Barra están indicados en la margen derecha. Tres islas se pueden ver enfrente y un poco abajo de la ciudad. Una isla, Buey Grande, y un banco de arena, Buey Chico, se encuentran en la barra. Una copia hecha por R. Manero está mostrada en la lámina N°56. (La situación mostrada es probablemente mucho anterior a 1884 y el croquis correspondiente ha sido, desde luego, consignado en la lámina N°62).

(c 19)

1888 Antonio García Cubas da la siguiente descripción: "Existe una isla llamada Pajaral, localizada como a 2 km. al OSO. de la cabeza este de la entrada a Frontera. La isla tiene 0,5 km. de longitud y una dirección SE. al NO. La longitud sobre la barra, con dirección ENE. al OSO., no es menor que 2 km. Hay dos canales, el del este con muy pequeñas profundidades hasta de 1,5 m., y el principal hacia el oeste con una profundidad media de 3,9 a 4,2 m. La dirección de la línea de entrada al centro del canal, arranca como a 1,2 km. a sotavento de la isla del Pajaral y tiene una dirección sureste por este sobre la cabeza de la isla de Frontera. Al noroeste de esta isla, a una distancia de 1,5 km., hay una pequeña isla, la cual parece estar localizada en el extremo del bajo que se extiende desde el extremo norte de la

isla de Frontera.

(b 6)

1889 Un levantamiento fué hecho en este año por Willard S. Isham. El mapa indica la Isla de Frontera e Isla Lagartera, ambas en el río, y las lagunas Vermouth y Pajalaral en la boca del río, una al oeste y otra al este respectivamente. Un faro se puede ver en la laguna del Pajalaral. Por la primera vez parece que se tomaron sondeos en forma adecuada y con alguna aproximación. El canal a través de la barra está en línea recta con el eje del río y tiene una profundidad de 2 m. (Un croquis se da en la lámina N°63; las cotas aparecen en la lámina N°68).

(d 27)

1890 El mapa hecho por Adolfo Alomía G. señala la desembocadura en líneas generales con pocos detalles (lámina N°57).

1890 a 1900 El Canal de la Pigua fué dragado.

(b 7)

1892 El levantamiento hecho en este año da una idea más detallada de la desembocadura del río. Dos islas, Isla de Lagartera e Isla de Frontera, se encuentran en el río. No se ve ninguna isla sobre la barra, donde la profundidad es de 2,2 m. (lámina N°61).

(c 20)

1893 Rovirosa menciona que existe un lecho seco de un canal viejo en el lado oeste del río cerca de la desembocadura y hacia la Barra Ciega; esto muestra que el río en alguna ocasión tuvo dos bocas.

La profundidad del canal actual a través de la barra es de 2,7 m.

Al noroeste de Frontera, en la margen izquierda del río, cerca del antiguo canal y frente a la isla del Buey Grande, se encuentran las ruinas de un cementerio y de una iglesia, aparentemente las ruinas de una ciudad. El lugar se llama Dolores y fué propiedad del señor Félix Bonastre; actualmente es propiedad del señor Felipe Palenque.

(b 8) 1893 El plano de la desembocadura del río preparado por A.A.Moll, señala la ciudad de Frontera, la isla inmediatamente abajo de ella y, en la margen derecha de la boca, la laguna y el faro (lámina N° 61).

(b 9) 1894 El levantamiento hecho por Tamborrel (dibujado por A.A.Moll) señala la desembocadura del río sin islas. Una laguna se muestra en el lado izquierdo y el faro se ve en el lado derecho.

(b 10) 1902 Un croquis de la desembocadura preparado por José Tamborrel indica una pequeña isla en la barra, cerca de la margen izquierda, y un bajo cerca de la margen derecha. Muestra el faro y, también, la isla cerca de Frontera. La profundidad en el canal a través de la barra era de 2,8 m.

(c 26) 1906 a 1908 Pedro González indica en su libro un croquis de la desembocadura y da las siguientes informaciones: Debajo de la ciudad de Frontera, el río se divide por una isla grande en

(b 11) dos brazos, de los cuales el del lado este es más profundo. El canal a través de la barra se curva hacia la izquierda y está localizado entre dos bajos llamados el Buey Grande y el Pajaral. Se menciona que grandes cantidades de materiales son acarreados por el río durante la época de lluvias y que pueden observarse aguas amarillentas a una distancia de 50 km. de la costa. Los vientos del norte rechazan la corriente hacia la costa y la barra crece hasta formar una barrera que impide la navegación. La obstrucción desaparece después que la época de Nortes ha pasado, pero en el otoño e invierno hay a veces dos o tres días en el mes, cuando la barra está cerrada. En noviembre de 1908, un Norte sumamente fuerte causó grandes depósitos en la barra, reduciendo la profundidad hasta 1,5 m. en las aguas altas, comparada con la profundidad anterior de 2,6 m.

1909 El levantamiento hecho en este año no indica ninguna isla sobre la barra; el canal se

- (b 12) encuentra en el sentido del eje del río, con una profundidad de 2,5 m.
- (b 13) 1911 En un levantamiento hecho por la North American Dredging Co., se indican condiciones similares a las de 1909.
- (b 14) 1912 a 1913 Un canal lateral fué dragado por la North American Dredging Co. Se construyó un espolón al lado izquierdo de la entrada del río al canal y, al lado derecho de la desembocadura del canal en el mar, se construyó una escollera.
- 1913 a 1922 No se hizo ningún trabajo de conservación en este período, y el canal, por lo tanto, resultó prácticamente inútil desde su principio.
- 1922 a 1923 El canal fué mantenido abierto por medio de dragado. El contratista fué The United Dredging Company.
- 1924 a 1926 El dragado del canal fué llevado a cabo por Edgr. Smut & Co.
- (b 15) 1926 El levantamiento ejecutado por S.C.O.P. señala una barra con profundidades de 1 a 2 m. enfrente de la desembocadura del río, con una profundidad de 2,5 m. en su canal de navegación.
- (b 17) 1927 Un levantamiento del área enfrente del canal lateral se efectuó en marzo. La parte interior de la escollera parece que se ha asentado.
- (b 18) 1929 Un levantamiento del área enfrente del canal lateral, indica profundidades de 4 m. en la barra.
- (b 19) 1931 El levantamiento hecho por S.C.O.P. muestra profundidades de 1,5 m. en la barra del canal.
- (b 20) En la desembocadura del río, una pequeña
- (b 21) parte de la barra está ahora al nivel 0,0. El canal del noroeste es el más ancho y tiene una profundidad de cerca de 2 m.

- (b 22) 1931 Se reanudó el dragado en el canal lateral, financiado por la Southern Banana Co.
- (b 22) 1933 Un levantamiento del canal lateral fué ejecutado por la Cía. Naviera "San Cristobal", S.A.
- 1934 Se tomaron unas pocas fotografías aéreas (con el eje de la cámara inclinado).
- 1937 El dragado fué suspendido.
- (b 24) 1938 Un levantamiento hecho por S.C.O.P. muestra que islas o bajos con elevaciones un poco arriba del nivel 0,0, se han formado sobre la barra enfrente de la desembocadura del río. El canal a través de la barra tiene una dirección noroeste y la profundidad es de 2,5 m. La profundidad sobre la barra en el canal lateral es de alrededor de 1 m.
- (b 25) 1941 Un levantamiento hecho por la Secretaría de Marina indica que las profundidades en los canales son más o menos las mismas que en el año de 1938.
- 1943 Se tomaron fotografías aéreas, preparándose un mosaico.
- (b 26) 1947 Se hizo un levantamiento de la línea de costa en la desembocadura del río.
- (b 27) 1948 Se hizo, en julio, un levantamiento frente al canal lateral.
- (b 28-34) 1948 a 1949 Se tomaron sondeos en el canal con ciertos intervalos.
- 1949 Un levantamiento se hizo para la Secretaría de Marina, por la Christiani & Nielsen de México, S.A.
3. - Cambios en la desembocadura del río de 1518 a 1909.

El período histórico comienza con el descubrimiento de la boca del río, hecho por Grijalva

en 1518. El período comprendido desde esta época hasta el año de 1909, se tratará por separado, ya que la mayoría de los planos elaborados antes de este año son bastante inexactos, mientras que después de 1909 existen una cantidad de planos de levantamiento dignos de confianza.

Estados estimados del desarrollo de la desembocadura del río

El propósito del estudio histórico es establecer la velocidad de los movimientos hacia el mar de la costa cerca de la desembocadura y, en general, encontrar qué cambios ha habido, ya que esto daría alguna indicación en relación a la estabilidad de la desembocadura del río. Sería de interés, por ejemplo, saber si los acontecimientos en los últimos años han sido fuera de lo usual en la historia, o si algo parecido ha pasado antes. Esta es la razón por la cual se ha tratado de hacer dibujos de los diferentes estados de la historia de la desembocadura del río. En las láminas N° 64, 65 y 66, se indica la probable situación de la desembocadura en los siguientes años: 1520, 1580, 1760, 1800, 1840, 1860, 1870, 1880, 1890, 1900 y 1910. La probable forma de la línea de costa, en determinada época, ha sido basada en una comparación entre los varios croquis y descripciones de la misma época, y una comparación tanto de los estados precedentes, como de los posteriores. Se ha tratado de dibujar las líneas de costa más probables, por comparación de los croquis con las fotografías aéreas del área (lámina N° 42). Las lagunas existentes ahora a ambos lados de la desembocadura se ven en los diferentes estados de formación en los croquis, y las líneas de costa, por consiguiente, pueden dibujarse en las fotografías aéreas en la verdadera ubicación con respecto a las lagunas. Antiguos lechos de ríos y lagos, que ahora han desaparecido, aparecen como ciénagas y, como se ha dicho anteriormente, las lomas revelan antiguas líneas de costa. Se ha tratado, al dibujar los diferentes estados, de

alcanzar la mejor concordancia posible con la "dibujo" de las fotografías aéreas. Esto está ilustrado en la lámina N°70. Después de 1840, se encuentra que más o menos concuerdan las informaciones procedentes de varias fuentes y, por consiguiente, una discusión detallada de estos estados no será dada. Antes de 1840, sin embargo, ha habido algunas dificultades debido a la información histórica bastante escasa.

El antiguo
pueblo de
Victoria

De descripciones antiguas parece razonable presumir que ya en el tiempo de Cortés y Grijalva, había dos bocas en la desembocadura del río y, entre ellas, una isla. Los pantanos y arroyos, a través de los cuales algunos de los hombres de Cortés tuvieron que pasar para llegar a la población, desde Punta de Palmos, deben haber correspondido al canal oeste, porque ya en aquella época debe haber sido de menor importancia que el canal del norte. Es muy probable que la isla de que se habla, es la misma que más tarde se conoce como Buey Grande. El ancho afluente, que de acuerdo con las descripciones se encontró a 5,5 km. al sur de la población india, debe haber sido el actual Arroyo del Coco o Arroyo del Trapiche, ya que éste es el primer afluente de importancia en este lado del río, y las fotografías aéreas indican que no haya existido otro. La población debe haber sido localizada inmediatamente al sur del canal oeste, y Punta de Palmos estaba entonces a 2,7 km. al norte de este lugar. Esta población fué llamada Santa María de la Victoria por Cortés, y se sabe que una iglesia se construyó allí. El canal al oeste de Buey Grande se encuentra en esta localización en todos los croquis y mapas posteriores hasta 1909.

El mapa de Tomás Avendaño muestra una capilla y un cementerio en casi el mismo lugar que el indicado para el pueblo en las descripciones viejas. Se encontraron aquí ruinas de un cemen-

terio y una capilla en una época tan reciente como 1893. Esta localización del pueblo más antiguo parece, por consiguiente, estar indicada por evidencia de diferentes fuentes.

El problema de localizar la ciudad antigua, se podría haber resuelto basándose en los datos anteriores, pero existen informes antiguos en sentido contrario. El mapa de Melchor Alfaro y la descripción de 1579, indican que la población estaba situada inmediatamente al norte de un afluente que desembocaba en el río, en el cual anclaban los barcos, enfrente de la ciudad. Una población llamada Taxagual estaba situada a 17 km. arriba en el afluente, y éste atravesaba lagos y pantanos. Este afluente no puede haber sido el corto canal del oeste, la única posible explicación es que la población estaba situada en el Arroyo del Coco, el que se sabe fué más ancho y conectaba, en alguna ocasión, el río Grijalva con la barra de Chiltepec. Esta teoría se confirma por las ruinas que se encuentran indicadas en el mapa de Tomás Avendaño, en el cual están localizadas en ese lugar las ruinas de la antigua población de la Victoria.

Una explicación de estos datos contradictorios relativos a la situación de la población de Victoria, puede ser que ésta fué movida entre los años de 1518 a 1579. Se sabe que los pobladores se mudaron 90 km. tierra adentro entre 1553 y 1554, pero regresaron debido a las condiciones mejores en el puerto. Probablemente tuvieron que mudarse debido a los ataques de los piratas. La población antigua fué probablemente destruída y es por lo tanto razonable el pensar que hicieron la nueva población en el Arroyo del Coco, donde las condiciones de puerto son mejores que en el lugar de la antigua población india. Únicamente el cementerio y la iglesia quedaron en el lugar antiguo. La nueva población se sabe que fué destruída por los piratas en 1597.

La tercera contradicción se encuentra en los mapas de 1762 y 1775, publicados por Thomas Jefferys. Ambos indican una población con el nombre de Tabasco, en ruinas, en una isla en la desembocadura. Estos mapas probablemente no son independientes, y esta información puede ser errónea. Por otro lado, el mapa de 1762 parece haber sido hecho por personas que conocen el lugar en detalle, y podría proponerse como explicación que una tercera población, llamada Tabasco, fué fundada en la isla después de la destrucción de Victoria en 1597. Finalmente debería mencionarse que conclusiones definitivas pueden ser posibles solamente después de un cuidadoso estudio de todos los documentos antiguos, lo que se ha considerado fuera del alcance de este reporte. El estudio, sin embargo, nos ha llevado a la probable localización de las antiguas líneas de costa mostradas en la lámina N° 64.

Fundación de Frontera

Entre 1780 y 1785 se fundó una población en donde actualmente está la ciudad de Frontera, la que se llamó San Fernando de la Victoria. Desde 1826, el nombre se cambió a Guadalupe de Frontera y, posteriormente, a Álvaro Obregón y luego a Frontera. El haber escogido el lugar para hacer una población en la margen derecha del río, fué probablemente debido a que se encontraron más grandes profundidades en ese lugar. Aquí se habían producido erosiones en el lecho del río, mientras que depósitos se habían formado enfrente del Arroyo del Coco. Este afluente fué probablemente demasiado bajo para el calado de los grandes barcos que se usaban.

El fuerte y el faro

La razón de por qué es tan importante para el estudio, la localización de las varias poblaciones, es que ellas constituyen hitos de base para la comparación de los croquis de diferentes años. Otros hitos de base que han sido empleados en esta forma, son el fuerte y el faro. El fuerte

fué construído antes de 1800 y fué llamado el Castillo de Santa Isabel en el tiempo de los españoles hasta 1825, y posteriormente el Fuerte de la Barra o Fuerte de San Fernando. El faro, construído en la margen derecha cerca de la costa en 1882, aparece en este lugar en la mayoría de los últimos croquis y mapas. Un faro más antiguo, sin embargo, debe haber existido, de acuerdo con el croquis de 1879. El faro fué cambiado de su antigua posición en la margen derecha al lado izquierdo de la Punta Buey, hace pocos años.

Años de las
situaciones
en los cro-
quis

En los mapas antiguos, que parecen ser el resultado de estudios detallados de la desembocadura del río, el año indicado debe presumirse ser correcto. Lo mismo puede decirse de las descripciones de visitas realizadas al lugar. Sin embargo, algunos de los mapas y descripciones indudablemente dan una situación anterior al año de publicación. Este es el caso del mapa de George Foot que fué publicado en 1884, pero que indudablemente muestra la situación como era alrededor de 1830; de la descripción en el diccionario geográfico, histórico y biográfico, publicado en 1888, pero que indica la situación como era alrededor de 1870 y del croquis que aparece en el libro por Pedro González en 1906, que muestra la posición por los años de 1870 a 1880. Alguna de la información que dan, se ha encontrado que es errónea. Mühlendorf, por ejemplo, da la situación de San Fernando en la margen izquierda del río. Probablemente quiso decir que estaba en el lado izquierdo, entrando al río.

La evolución
en la desem-
bocadura del
río

Un estudio de los estados de evolución, como han sido dibujados en las láminas N°64, 65 y 66, muestra que las condiciones en la boca del río han sido bastante estables durante los muchos años que cubre esta investigación histórica. La isla de Frontera en el río, parece haber tenido más o menos el mismo tamaño y forma desde 1800

hasta ahora, y es probable que haya existido ya en los siglos XVI y XVII. La isla a través de los años ha sido llamada con diferentes nombres: Isla de Puro Monte, Isla Grijalva, Isla Frontera e Isla del Buey. El nombre de Isla de Frontera, como mencionamos al principio, debería ser mantenido con el fin de distinguirla de la verdadera Isla del Buey, que siempre ha estado situada en la desembocadura del río. La Isla de Frontera debe haber estado formada por depósitos del río, ya que no aparecen lomas en las fotografías aéreas.

El curso de la parte baja del río ha cambiado un tanto durante el período histórico. Un poco arriba de Frontera, el lecho del río estaba localizado, alrededor del año 1800, más al oeste que ahora, y se encontraba una pequeña isla enfrente de Frontera. El lecho se movió hacia el este en el principio del siglo XIX debido a la erosión de su orilla derecha y a los correspondientes depósitos sobre la margen izquierda. El canal entre la pequeña isla y la margen izquierda se rellenó. El cauce antiguo del río aun es visible desde el aire (lámina N°42).

La isla grande en el lado izquierdo de la desembocadura del río, Buey Grande, aparece en casi todos los croquis que muestran las situaciones anteriores, y ha existido probablemente en el mismo lugar durante todo el período histórico. El canal al oeste de esta isla siempre ha sido bastante angosto y fué completamente cerrado por los depósitos en la boca alrededor del año de 1850. El lecho del canal existió hasta 1912, cuando el canal lateral fué dragado en una línea que intersecta al canal antiguo.

Además de la isla grande, siempre ha existido una o dos más pequeñas sobre la barra. Estas islas fueron bajos bancos de arena con ubicación cambiante de tiempo en tiempo. En diferentes épocas estas islas fueron llamadas Isla Buey Chico,

Isla Vermouth e Isla del Pajalar; ellas corresponden a la actual Isla Azteca.

Casi siempre ha habido dos o tres canales cruzando la barra y separados por dichos bancos.

El canal más profundo siempre ha estado más o menos en línea con el eje del río, con variaciones hacia ambos lados. La siguiente tabla contiene las profundidades mínimas dadas en los diferentes años. Las cifras del período posterior a 1909, han sido incluídas con objeto de establecer una comparación:

1579	3,0 m.
1814-17	3,0 m.
1825	3,0 m.
1838	2,3 m.
1844 (Masters)	2,1 a 3,3 m. (épocas húmeda y seca)
1844 (Mühlenfordt)	3,0 a 3,3 m.
1840-50 (Barnett)	2,1 a 3,3 m.
1847	2,7 m.
1861	2,7 m.
1872	2,7 a 3,0 m.
1874	3,0 a 4,0 m.
alr. 1870 (Diccionario geográfico, etc.)	3,9 a 4,2 m.
1892	2,2 m.
1902	2,8 m.
1909	2,5 m.
1911	3,3 m.
1926	2,5 m.
1931	2,0 m.
1938	2,5 m.
1941	2,5 m.
1949	3,0 m.

Impresiona realmente ver qué poca variación ha ocurrido en un período de cerca de 400 años. La profundidad media medida ha sido de 3,0 m.

La lámina N°70 muestra algunas de las líneas de costa estimadas, colocadas en la misma cuadrí-

cula con el fin de dar una idea de la rapidez del movimiento hacia fuera de la línea de costa.

4. - Cambios en la desembocadura del río desde 1909 hasta 1949.

Los numerosos levantamientos hidrográficos hechos durante los últimos 40 años, permiten estudiar los cambios en profundidad que se han efectuado en este período. Para permitir una comparación, todos los planos han sido dibujados en la misma escala y en la misma cuadrícula, cuyo lado equivale a 1 km. Los planos no son reproducciones directas de los originales, las líneas de contorno se han afinado, con objeto de dar una clara idea de la forma. Las muchas irregularidades de las líneas de contorno en los planos originales, dan también una impresión equivocada de la exactitud obtenida de los sondeos efectuados en mar abierto. Más adelante se discutirán los acontecimientos de toda el área de la desembocadura en líneas generales. En el párrafo siguiente se tratan en más detalle los acontecimientos del canal lateral.

Las situaciones en los años de 1889, 1909, 1911, 1926, 1931, 1938, 1941, 1943, 1947 y 1949, se muestran en las láminas N°68 y 69. Solamente las líneas de playa se indican para los años de 1943 y 1947, ya que sólo se tienen fotografías aéreas del año de 1943, y sólo se hizo un levantamiento de las líneas de playa en 1947. Los cambios en profundidades para los diferentes años, en los que se conoce la línea de contorno, se indican en la lámina N°71. En estos mapas se indica el espesor de las capas, tanto de erosión como de depósito, y las cantidades totales de material depositado y erosionado han sido calculadas para cada período. La lámina N°72 muestra los cambios totales entre los años 1909 y 1949. La lámina N°70 muestra las líneas de playa de 1909, 1926, 1931, 1941 y 1949, dibujadas sobre la misma cuadrícula.

Los cambios de cada período se describirán en lo que sigue.

1889 a 1911

Los tres levantamientos efectuados en 1889, 1909 y 1911, anteriores al dragado del canal lateral, indican formas prácticamente iguales de las líneas de contorno. La boca del río era casi simétrica, con el canal más profundo sobre la barra en línea con el eje del río. La profundidad máxima en la barra era de 2 a 3 m. Las condiciones parecen haber sido estables. La lámina N°68 indica únicamente una parte del levantamiento de 1909; el levantamiento completo abarcando una mayor área que el de cualquier otro año, aparece en la lámina N°67. La desembocadura del río tiene una forma de campana, con una barra bastante plana con profundidades de 2 a 3 m. El borde exterior de la barra forma prácticamente un semicírculo con un radio de 3 km. Fuera de este borde, la pendiente es relativamente brusca, desde el nivel -3 hasta el nivel -6, con una inclinación de cerca de 1:150. Más adelante, el fondo del mar es más o menos suave, con una pendiente de 1:800.

1926

El siguiente levantamiento que se conoce fué ejecutado en 1926, trece años después de la construcción del canal lateral. Las condiciones habían cambiado considerablemente; la profundidad sobre la barra era de cerca de 2 m., con dos canales atravesando la barra, uno corriendo en dirección norte y otro en dirección noroeste. Se observa que se ha producido sedimentación en el río, entre el canal lateral y la barra, en el lugar del antiguo canal de la barra, y especialmente al oeste, entre la barra y la Isla del Buey, donde capas de arena, a una altura hasta de 4 m., han sido depositadas. Parece que ha habido erosión en el lugar donde se han formado los nuevos canales. Las enormes capas de arena depositada al oeste de la desembocadura, forman una barra

para el nuevo canal con dirección noroeste. Los sedimentos han sido depositados en tal forma, que el área plana de la barra se ha ensanchado y el borde más escarpado se ha desplazado hacia fuera. También ha ocurrido sedimentación al sur de la boca del canal lateral, pero parece que las cantidades depositadas enfrente del canal noroeste son mucho más grandes.

1931

El levantamiento hecho en 1931 no muestra aumento en la profundidad del canal noroeste, mientras que se ha producido sedimentación en el canal norte. Las profundidades de la barra enfrente de la desembocadura del río, han disminuído hasta menos de 1 m., siendo visible sobre el agua a la baja marea un pequeño banco de arena. En esta época se formó la Isla Azteca. La parte más escarpada de la barra ha sido desplazada hacia fuera del canal noroeste. Gran cantidad de sedimentos también se han depositado enfrente del canal lateral. Los sedimentos depositados en el río, entre el canal lateral y la boca, desde 1909 hasta 1926, ahora han sido removidos, y esta parte del río ha recobrado su profundidad original.

De 1934 se conocen algunas fotografías aéreas (reproducidas en la lámina N°76). Muestran los depósitos al oeste de la Isla del Buey y la nueva isla sobre la barra.

1938

El levantamiento hecho en 1938, indica que siguen habiendo cambios en la misma forma que antes de 1931. El canal del norte o noreste ha sido reducido algo más, y las profundidades en el canal noroeste han aumentado. Éste último ha girado hacia el oeste y en esta dirección salen sus aguas. Una gran área de la barra enfrente de la desembocadura del río ahora está seca en aguas bajas. Ha tenido lugar más sedimentación enfrente del canal del oeste y el canal lateral. Al norte de la barra se produce ahora erosión.

1941

La situación en 1941 revela que ha continuado

la erosión en la parte norte de la barra que actúa como un rompeolas, protegiendo el canal del oeste. Por lo tanto, la Isla Azteca está disminuyendo en ancho.

1943 a 1947

Las líneas de costa en los años de 1943 y 1947, indican que estos movimientos han continuado y que la Isla Azteca está gradualmente disminuyendo por la erosión de las fuerzas marinas. La lámina N°42 contiene las fotografías aéreas de 1943.

1949

El levantamiento más reciente, hecho en 1949, indica que continúa la erosión al norte de la Isla Azteca. Esta isla se ha movido hacia adentro, y el canal oeste ha disminuído de ancho. También ha ocurrido erosión enfrente del canal oeste donde anteriormente hubo sedimentación.

Los cambios
totales de
1909 a 1949

Una comparación de la situación en 1949 con la de 1909 (lámina N°72) revela que una gran cantidad de sedimentos se han depositado al oeste de la Isla del Buey y al sur del canal lateral. También se han depositado sedimentos directamente enfrente de la desembocadura del río, donde actualmente está la Isla Azteca. Erosión ha ocurrido al norte de esta isla y en el lugar de los dos canales. Los cambios pueden describirse también como un movimiento en la dirección del canal a través de la barra. El curso del canal ha cambiado desde una dirección en línea con el eje del río a una dirección oeste, formando un ángulo con el eje del río. La Isla Azteca forma una protección para este nuevo canal contra las fuerzas marinas. Sin embargo, la profundidad en el canal a través de la barra, no se ha modificado. Una nueva barra de forma típica de desembocadura de ríos, ha sido formada enfrente del nuevo canal oeste. Lo mismo ha pasado en la desembocadura del canal lateral. La Isla Azteca ha detenido la conservación por las corrientes del río de la barra en el área al norte de la isla, y las fuerzas marinas, las olas y corrientes causadas por las olas, por eso, han sido suficientemente poderosas

para producir erosión en este lado de la barra.

Variaciones
en las can-
tidades de-
positadas y
erosionadas

Las cantidades correspondientes a erosiones y depósitos calculadas para cada período de acuerdo con la lámina N°71, y las cantidades medias por año se han indicado gráficamente en la lámina N°73. Desgraciadamente los levantamientos han sido ejecutados solamente en parte de las áreas donde han sucedido grandes cambios en profundidad. Se desprende de la lámina N°71 que deben haberse acumulado grandes cantidades de depósito al oeste de las áreas levantadas. Las cantidades que deben añadirse están estimadas globalmente en un 20 % para los años de 1911 a 1926, 40 % para los años de 1926 a 1931, y 50 % para los años de 1931 a 1938. Probablemente no hay ninguna razón para hacer aumento alguno de las cantidades de sedimentación para los años de 1938 a 1941. Para los años de 1941 a 1949 se ha añadido un 10 %. Aumentos para las cantidades erosionadas son probablemente innecesarios para los dos primeros períodos mencionados, mientras que la corrección debe ser considerada para el período de 1931 a 1938 en un 20 %, de 1938 a 1941 en un 30 %, y de 1941 a 1949 en un 10 %. Las curvas corregidas se indican en la lámina N°73.

Los diagramas muestran los grandes cambios que comenzaron después del dragado del canal lateral. Antes de este tiempo, de 1889 a 1911, las cantidades medias depositadas por año, no alcanzaban más que 0,2 mill.m³, mientras que las cantidades erosionadas eran alrededor de 0,1 mill.m³. Después de 1911, las cifras anuales han sido muchas veces más altas. Las cantidades de sedimentación, con un promedio de 1,6 mill.m³ por año en los primeros 15 años, aumentan a 4,7 mill.m³ desde 1926 hasta 1931. Desde entonces la sedimentación ha disminuído y es actualmente de cerca de 1,7 mill.m³ por año. Las cantidades de erosión han aumentado de 0,14 mill.m³ en el primer período

hasta alrededor de 5 mill.m³ de 1938 a 1941. La erosión en los momentos actuales es mayor que la sedimentación.

El material que ha sido erosionado de los canales de la barra y al norte de ella, debe haber sido acarreado en la dirección de las áreas donde ha ocurrido sedimentación. La diferencia entre las cantidades depositadas y erosionadas en cierto período es, por consiguiente, una indicación de la cantidad acarreada al área cubierta por los levantamientos. Estas diferencias también han sido mostradas gráficamente en la lámina N°73. Podría preguntarse si estas diferencias dan una buena ilustración de las cantidades acarreadas a, y sacadas de la desembocadura del río. Los levantamientos en la mayor parte de los casos han cubierto solamente el área justamente frente al río y al oeste de la Isla del Buey, y puede ser que ha habido áreas inmediatamente fuera de esto, donde tal vez haya tenido lugar grandes cambios, así que la sedimentación fuera más o menos equilibrada por la erosión. Un estudio de los cambios desde 1909 hasta 1949 (lámina N°72), los años inicial y final del período del cual existen levantamientos más extensos, ha mostrado, sin embargo, que los grandes cambios en realidad ocurrieron dentro del área cubierta por los levantamientos menos extensos. La curva de las cantidades acumuladas en la lámina N°73, muestra que en totalidad 38 mill.m³ debían haber sido acumulados desde el dragado del canal. Esta cifra es inferior a la encontrada (96 mill.m³) para los cambios totales desde 1909 hasta 1949. Esto se explica por el hecho de que generalmente se encuentra una capa depositada de 1 a 2 m. fuera del área cubierta por los levantamientos menos extensos. El material depositado en este lugar es principalmente fango y arcilla.

5. - Experiencias de la construcción y conservación del canal lateral.

Un detallado estudio de los acontecimientos en relación con la construcción y conservación del canal lateral es algo que vale la pena, ya que la ejecución de esos trabajos puede considerarse como un experimento en modelo a escala natural, del cual se pueden sacar experiencias útiles para nuevos proyectos. La siguiente descripción está basada en la información obtenida en la Secretaría de Marina y con algunos de los contratistas que hicieron el trabajo.

Dragado del canal lateral 1911-13

El dragado del canal fué ejecutado de 1911 a 1913, siguiendo las recomendaciones de un proyecto presentado al Gobierno Federal por la North American Dredging Co. Esta compañía, que también fué la contratista, fué formada por la actual Standard Dredging Co. y era propiedad de ésta.

El trabajo incluía el canal propiamente dicho, una escollera en el extremo oeste y un espolón en el extremo este del canal. El ancho del fondo del canal era de 150 m. con una profundidad de 6 m. y taludes de 1 en 5. La longitud del canal era de 2.380 m. El espolón de 30 m. de longitud se construyó en el río, desprendiéndose de la margen izquierda inmediatamente arriba de la entrada del canal, con el propósito de evitar que entrara arena en el mismo. La escollera se construyó saliendo de la costa al norte de la entrada al canal, con objeto de evitar que el acarreo litoral llenara el canal a través de la anteplaya. Fué proyectada con una longitud de 1.000 m., pero nunca fué terminada, ya que el trabajo se suspendió en 1913, después que se habían construido de 300 a 400 m. La suspensión de los trabajos fué causada por los sucesos políticos de ese año. La escollera fué proyectada como una estructura de piedra cubierta con una capa de piedra de pequeño y mediano tamaño y una capa exterior de rocas con

peso de 10 t. La capa exterior nunca fué colocada. La corona de la escollera salía de 0,5 a 1,0 m. encima del nivel del mar.

El trabajo de dragado fué ejecutado con una draga hidráulica automotor de 1.500 C.V., llamada ATLANTIC, con una descarga de 26". Casi se había terminado el dragado del canal, cuando se suspendieron los trabajos. Se excavaron en total 2,4 mill.m³ con un costo de 1,5 mill.pesos. El costo total de los trabajos ejecutados era de 2,4 mill.pesos. El canal nunca fué abierto al tráfico, y en 1914 se llenó a tal grado, que solamente barcos con calados de 0,6 a 1,0 m. podían pasar.

No se hicieron esfuerzos para abrir el canal hasta 1922, cuando se celebró un contrato entre el Gobierno Federal y la United Dredging Co., otro nombre de la Standard Dredging Co., con objeto de reabrir y conservar el canal. El precio para el nuevo dragado fué fijado en 1 mill.pesos y una cantidad anual de 450.000 pesos para la conservación del canal. Los contratistas usaron una draga hidráulica de 1.500 C.V., llamada TAMPA, con una descarga de 24". Muchas dificultades encontraron los contratistas, ya que las raíces y ramares acarreados por el río entraban en las bombas. Tenían que limpiar las bombas en muchas ocasiones hasta diez veces en un día. El canal fué abierto en 1922 a una profundidad de 5 m., pero prácticamente se volvió a llenar durante el invierno de 1922 a 1923. Las siguientes cantidades fueron dragadas:

<u>1922</u>	junio	123.000 m ³
	julio	113.000 "
	agosto	194.000 "
	septiembre	113.000 "
	octubre	182.000 "
	noviembre	214.000 "
	diciembre	200.000 "
<u>1923</u>	enero	38.000 "
	mayo	80.000 "

Dragado en
el canal
1922-1923

Dragado
1924-1926

En 1924 el Gobierno Federal celebró un nuevo contrato con Edgar K. Smut Co. La profundidad a la entrada oeste del canal era entonces alrededor de 1 m. La escollera en este extremo del canal estaba intacta y su corona se levantaba como 1 m. sobre el agua. La compañía trabajó con una draga de tipo succión con cortadora y con una potencia de 365 C.V. El diámetro de la tubería era de 20" en la succión y 18" en la descarga. Fué posible mantener una profundidad de cerca de 7 m. en aguas altas, cuando menos en alguna época. El levantamiento hecho en 1926 muestra un canal a través de la anteplaya en línea con el eje del canal lateral, con una profundidad de 6 a 7 m. y un ancho en el fondo de unos 50 m. El dragado se suspendió en 1926 y en 1928 se retiró la draga. El levantamiento hecho en 1927 indica únicamente 4 m. de profundidad en este canal.

Cambios en
las líneas
de costa y
profundida-
des desde
1909 hasta
1931

Los diferentes levantamientos de la desembocadura del canal y del mar enfrente de ella, mostrados en las láminas N°74 y 75, dan una idea de los cambios que han ocurrido. El primer informe acerca de los cambios después del dragado del canal, se da en el levantamiento de 1926. Se puede observar que ha habido sedimentación: la línea de costa se ha movido hacia el mar cerca de 100 m., mientras que el movimiento hacia fuera de la curva de nivel de 6 m. ha sido de 200 a 300 m.

Más información acerca de los cambios de las profundidades y la posición de la línea de costa en los años antes de 1926, habría sido de interés, si se hubiera podido obtenerla. Debería haberse esperado que el acarreo litoral con dirección hacia el sur hubiera causado una sedimentación al norte de la escollera. La línea de costa en 1923 parece haber estado un poco más afuera, pero esto era aparentemente también el caso al sur del canal. Los levantamientos, por eso, no muestran ningún cambio prnunciado, como hubiera sido de

esperarse con una escollera en este lugar. El levantamiento de 1926 no indica la escollera, pero del levantamiento de 1927 se desprende que en el extremo interior de ella se habían formado dos brechas. Fué en aquel entonces imposible detener el acarreo litoral, ya que la corriente causada por las olas podía circular libremente por las aberturas, acarreando la arena que de otra manera podía haber sido depositada al norte de la escollera. Como mostrado en la lámina N°20, se midieron en realidad, en julio de 1925, corrientes con una velocidad de 0,79 m/seg. a través de esas aberturas. No se sabe si las brechas fueron causadas al removerse las rocas por las olas, o debido a un asentamiento. Esta cuestión será discutida más tarde en este artículo.

No se efectuó ningún dragado desde 1926 hasta 1931, y los barcos que entraban a Frontera tenían que usar el canal oeste de la desembocadura del río. El levantamiento efectuado en 1929 indica que la destrucción de la escollera continuaba. Se han seguido formando varias brechas y las profundidades han aumentado debido a la erosión de 1 a 2 m. en un área de la parte norte de la escollera. Las profundidades mínimas en el canal, sin embargo, se han mantenido entre 4 y 5 m. El levantamiento de 1931 indica que una gran cantidad de material ha sido depositada en la barra, enfrente del canal. La cota de 1 m. se ha movido hacia afuera una distancia de 400 a 600 m. desde el año de 1926, mientras que la línea de costa (nivel 0,0) en el mismo período, que comenzó en 1923, se ha movido unos 180 m. tierra adentro. La profundidad mínima en el canal de la anteplaya era, a fines de 1931, alrededor de 1,5 m.

En 1931 The Southern Banana Corp, una compañía afiliada de la Standard Fruit & Steamship Co. que tenía grandes intereses en Tabasco, decidió reabrir el canal y por su cuenta lo mantuvo abier-

to hasta 1937. El contratista del dragado fué The Equitable Dredging Co., la que fué formada para este trabajo por The Gulf Dredging Co., The Equitable Equipment Co., y The Southern Banana Corp., bajo la dirección del capitán John Jacobsen.

Esta compañía trabajó los primeros años con una draga diesel de succión, llamada VELASCO I, de 300 C.V., con una cortadora de 75 C.V. con tubería de succión de 20" y de descarga de 18". Esta draga se hundió durante un Norte en 1934, como a 2 km. de distancia de la costa, y fué substituída por la draga VELASCO II, draga diesel de succión de 365 C.V. y 100 C.V. en la cortadora, con una descarga de 18". Debe mencionarse, sin embargo, que el levantamiento de 1933 muestra una draga con el nombre de SAN CRISTÓBAL; el nombre de la compañía contratista parece que era la de Cía. Naviera San Cristóbal. No se ha encontrado explicación a esto, ya que se sabe de diferentes fuentes que The Equitable Dredging Corp. también estuvo trabajando en ese año.

El canal a través de la anteplaya entonces fué dragado en dirección OSO. Se dice que se escogió esta dirección debido a una boya flotante que salió del canal en esta dirección. En el levantamiento de 1933 se observa que el canal de afuera tiene una profundidad de 5 a 6 m. y un ancho en su base de unos 60 m. El material dragado fué depositado en el mar a ambos lados del canal, pero especialmente en el lado sur. Un espolón temporal se construyó allí, paralelo al canal, con pilotes de guano, fajinas y arena, y el material dragado fué colocado detrás de esta estructura. El resultado fué que la costa se movió rápidamente hacia fuera en este lugar. Por un corto período también se colocó material al norte de la antigua escollera. Ésta se cubrió casi totalmente en el período de agosto a noviembre de 1933. El canal lateral se prolongó de esta manera hasta unos

2.800 m. en el curso de pocos años.

De 1931 a 1933, cuatro barcos viejos fueron hundidos en el extremo exterior del canal de afuera, en el lado norte, con objeto de que sirvieran de rompeolas. Aunque parcialmente relleno con arena, uno de ellos fué movido hacia el lado sur del canal durante un fuerte Norte.

Se ha dicho que, por lo menos en algunos períodos, fué posible mantener una suficiente profundidad en el canal para que pasara un barco de 8.000 t. Durante el período de Nortes, la profundidad se pudo mantener hasta más o menos 7 m., pero en el verano se logró a veces obtener una profundidad de cerca de 9 m. El fondo del canal se pudo mantener, a través de la anteplaya, con un ancho de 60 a 65 m. Un ancho similar se pudo mantener en el canal interior, aunque el ancho inicial era de 150 m. Las cantidades dragadas varían muy poco entre las estaciones de secas y lluvias, mientras que en la época de Nortes las cantidades eran inferiores. Durante la época de lluvias, el río acarrea arena, especialmente después de la época de grandes lluvias en el interior, pero el remover esta arena no ha sido un gran problema.

Grandes dificultades se encontraban debido a las tormentas en la época de Nortes y las marejadas después de las tormentas o las marejadas causadas por tormentas mar adentro en el Golfo. Como el 50 % de tiempo se perdía debido al mal tiempo. No había aviso efectivo de cuándo venían estas tormentas en esa época, y el barómetro era inadecuado para anunciarlas, ya que únicamente las señalaba cuando estaban golpeando. Era una tarea muy difícil el salvar el equipo en estas condiciones y, como ya se ha mencionado, se perdió una draga. Durante las marejadas de fondo se encontraban dificultades para manejar los cortadores y la escalera, los que en varias ocasiones fueron deteriorados o arrancados; el tamaño de las cortadoras era de 30". Las condiciones para an-

clar eran buenas. La draga usaba anclas de 5.000 a 7.000 libras que eran suficientes para detenerla. El dragado se hizo siempre que fué posible y el trabajo entonces se efectuó en tres turnos.

Una sola tormenta pudo reducir la profundidad del canal de 0,5 a 1,0 m. Una sucesión de Nortes, como los experimentados en la temporada de invierno de 1936 a 1937, dió por resultado un bloqueo casi absoluto del canal de afuera. El canal quedó cerrado para todos los barcos excepto los pequeños, por cerca de 7 meses. Parte de este tiempo fué aprovechado para la limpieza de trechos deficientes en el canal interior, pero en otra forma fué tiempo perdido.

La mayor parte del dragado fué hecho en el canal a través de la anteplaya, siendo muy poco el dragado necesario en el extremo del canal hacia el río. Solamente se efectuaron dragados en el canal interior dos o tres veces durante un período de 7 años, de 1931 a 1937. Las fotografías aéreas de 1934 mostradas en la lámina N°76, muestran la draga operando en el canal interior. Parece que el material excavado del fondo del canal fué llevado a través de tubería montada en pontones y depositado en la Isla del Buey, en el lado norte del canal. Muy poco se conoce de las cantidades dragadas; el dragado fué pagado con una iguala de 180.000 dólares por año, independientemente de las cantidades dragadas. Se sabe, sin embargo, que en el período desde el 30 de enero de 1937 hasta septiembre de 1937, las cantidades dragadas fueron de 1,2 mill.m³, o un promedio mensual de 150.000 m³.

La entrada al canal estaba protegida contra los vientos predominantes del este en el verano, pero algunas dificultades probablemente se presentaron en el período de Nortes. No se experimentaron dificultades en el interior del canal lateral, pero en el extremo hacia el río, las co-

rrientes del río tenían una tendencia a hacer girar el barco cuando estaba parcialmente a sotavento del canal y parcialmente expuesto a las corrientes.

El dragado fué suspendido en 1937 cuando la Southern Banana Co. decidió suspender la exportación de plátano de Frontera. Esto se debió a disputas obreras y a la reducción de la producción causada por enfermedades en el plátano.

El levantamiento de 1938 muestra la situación después de la suspensión del dragado en 1937. Una nueva barra se ha formado parecida a la que existía en 1931, pero su localización se halla ahora 700 m. más al oeste. La profundidad sobre la barra es alrededor de 1,5 m. La escollera está completamente cubierta por los depósitos de arena. En 1941 la situación es prácticamente igual a la de 1938. Las fotografías aéreas de 1943 indican la línea de costa como muy semejante a la de 1938.

Desde 1938 hasta 1949 varias dragas pertenecientes al Gobierno Federal han trabajado en el canal enfrente del canal lateral; por el momento la draga Tuxpán está trabajando allí. La dirección del canal fué la misma en el período de 1931 a 1937, pero las profundidades fueron generalmente más pequeñas. Una profundidad de 3,6 a 4,3 m. se pudo obtener algunas veces, pero frecuentemente no era más que de 2,5 a 3,0 m. Los barcos grandes usados para la exportación del plátano, no podían, por eso, entrar en el canal. Los últimos sondeos en el canal de afuera indican las siguientes profundidades mínimas:

<u>1948</u>	julio	5,0 m. bajo aguas bajas
	agosto	5,0 " mínimas
	octubre	4,5 "
	diciembre	3,5 "
<u>1949</u>	enero	2,0 "
	febrero	3,0 "

El período
desde 1938
hasta 1949

<u>1949</u>	marzo	2,0 m.
	julio	3,6 "
	noviembre	3,0 "

Las profundidades mínimas siempre fueron encontradas cerca de los barcos viejos. A esta distancia de la costa, la profundidad normal al lado del canal de navegación era de 2 m. La experiencia ha demostrado que generalmente los Nortes causan una reducción en la profundidad de 0,5 m. No se han observado grandes avances en la línea de costa y las curvas de nivel desde 1938.

Las siguientes cantidades, en 1.000 m³, han sido dragadas en los últimos años:

	<u>1943</u>	<u>1944</u>	<u>1945</u>	<u>1946</u>	<u>1947</u>	<u>1948</u>	<u>1949</u>
enero			22	6		7	
febrero			27	19		12	
marzo			17	34	4		14
abril			26	14	17		21
mayo			16	19	11		20
junio	20		8	17	7	32	17
julio	30	33	2	27	5	26	10
agosto	17	46		13	16	34	
sept. ^{bre}	22	20		11	6	16	
oct. ^{bre}		48		3			8
nov. ^{bre}		17				1	
dic. ^{bre}					9		
en total	89	164	118	163	75	128	90

El costo del canal lateral

Los gastos totales por la construcción y trabajos de dragado del canal lateral hasta la fecha, no se conocen exactamente, pero se pueden estimar en cifras redondas como sigue:

autoridades públicas	
mexicanas	12 mill.pesos,
compañías	
norteamericanas	4 mill.pesos.

Asentamiento de la escollera

Como antes mencionado, la escollera del canal lateral fué parcialmente destruída antes que finalmente fué cubierta por arena. Habría sido de

interés conocer las causas exactas, pues tal conocimiento hubiera sido de valor para el diseño de las nuevas escolleras. Una información referente a la localización vertical actual de la ahora completamente cubierta escollera vieja, se desprende de unos perfiles hechos por perforaciones que realizó la Secretaría de Marina hace algunos años (ver lámina N°7). La parte exterior de la escollera aparece cubierta con 7 m. de arena. Los perfiles indican un nivel de la superficie del fondo que corresponde más o menos con el nivel de aguas medias, y la corona y el fondo de la escollera de piedra están a 7 y 10 m. respectivamente debajo de este nivel. Como el extremo exterior de la escollera originalmente estaba construido a 3 m. de profundidad, con su corona 1 m. arriba del agua, debe concluirse que han sucedido grandes asentamientos. Como éstos eran de una magnitud que difícilmente podía explicarse, varias perforaciones con barrena de punta han sido hechas por la Compañía, con objeto de checar la profundidad de la capa de arena que cubre la escollera. Las perforaciones han demostrado que la capa de arena en ambos extremos de la escollera solamente es de 2 m. de profundidad y en el centro de 4 m. aproximadamente. Como el nivel actual del fondo está probablemente a 0,5 m. encima de la corona original, es de pensarse que asentamientos de 1,5 a 3,5 m. han tenido lugar.

Los asentamientos pueden teóricamente ser explicados como resultados de una o varias de las siguientes causas: que las piedras de la corona hayan sido removidas por las olas; que se haya producido erosión en la arena debajo de la escollera, por corrientes a través del relleno de piedras; compresión de la arcilla debido al escape del agua entre sus poros; deformaciones plásticas en la arcilla y deslizamientos en la misma. Antes de discutir estas posibilidades,

debemos, sin embargo, volver a examinar los verdaderos hechos conocidos acerca de la desaparición de la escollera.

Como se ha mencionado anteriormente, la escollera estaba probablemente intacta en 1924, once años después de su construcción. En 1925, sin embargo, dos brechas se formaron en la parte interior, y corrientes con una velocidad alrededor de 0,79 m/seg. fueron medidas a través de las aberturas. Sin embargo, como una de las brechas estaba situada en el extremo interior, podía, por eso, haber sido formada por la socavación alrededor de este extremo de la escollera. La situación permaneció igual en 1927, pero en 1929 se habían formado un total de cuatro brechas. En un levantamiento efectuado en 1931, no se ve la brecha encontrada en el extremo exterior en 1929; sin embargo, esto puede ser posible debido a algún error o a alguna omisión. Se sabe que, después de 1931, se depositó arena alrededor de y arriba de la estructura, y el levantamiento en 1933 indica que está prácticamente cubierta.

De esta descripción puede desprenderse, que la parte extrema de la escollera, la parte más pesada, no sufrió asentamientos en el período de 18 años, de 1913 a 1931. Los asentamientos de la corona principiaron en el extremo interior, donde el peso de la escollera era menor. Ya que las investigaciones indican que no se encuentran grandes variaciones en el subsuelo, es de deducirse, que el asentamiento no fué debido al peso de la estructura, ya que en este caso el extremo exterior de ella debía haberse asentado primero. Una posible explicación es que las piedras de la parte superior hayan sido removidas por las olas, pero no es, sin embargo, muy probable, ya que las olas deberían haber tenido la mayor influencia en el extremo exterior. Como no se formaron grandes depósitos de arena antes de 1931, las posibi-

lidades de asentamiento debido a esta causa deben también desecharse. La única posible explicación es, por consiguiente, que las perforaciones se formaron debido a erosión causada por el movimiento del agua a través del relleno de piedra. En todo caso, se han medido grandes velocidades del agua después de formarse las brechas.

Erosión podría así tenerse en cuenta para las brechas formadas antes de 1931. Sin embargo, el mayor asentamiento de alrededor de 1,5 m. debe haber sucedido después que la estructura se cubrió con arena. Es muy probable que el peso de la arena causó más asentamientos que el peso de la estructura. La capa de arena causaría un aumento uniformemente distribuido en los esfuerzos verticales, hasta una profundidad indefinida, mientras que debido a la distribución de las cargas, el peso de la estructura causaría esfuerzos de cierta importancia sólo en un área muy limitada debajo de ella. Por lo tanto, se debe concluir que los asentamientos después de 1931, han sido causados por la compresión de la arcilla blanda que se encuentra debajo de las capas de arena, inmediatamente debajo de la estructura.

Cambios en
el canal
cerca del
río

Las descripciones han tratado principalmente con los acontecimientos en la boca del canal lateral. Cambios que han necesitado trabajos de regularización, sin embargo, también han tenido lugar en el extremo este del canal lateral. Varios estados se indican en la lámina N°77. La primera información obtenida después de la construcción del canal, es del año de 1926. En ella aparece que, debido a la erosión, el espolón ha perdido su contacto con la orilla del río, con el resultado que el agua entonces pasaba entre él y la orilla. Se observa que ha habido sedimentación río arriba del espolón, y el lecho del río ha sido socavado inmediatamente río abajo del espolón. Se observa que también ha habido sedimentación más río abajo

en la esquina del sur de la entrada al canal, mientras que la esquina opuesta en el lado norte ha sido socavada. El resultado es que el canal, a través del cual los barcos deben entrar, ha girado hacia el norte.

El levantamiento hecho en el año de 1927 (no se muestra) indica que el canal de afuera está nuevamente en línea con el canal interior. Esto es indudablemente el resultado del dragado. El levantamiento de 1931 indica que la sedimentación que causó el giro de la entrada del canal, no ha cesado. Un canal estrecho todavía se encuentra entre el extremo interior del espolón y la orilla del río. Entre 1931 y 1933 tres barcos viejos fueron hundidos en la esquina norte, con objeto de detener la erosión en ese punto. También se hundió otro barco al extremo exterior del espolón. En 1933 el espolón estaba firmemente conectado con la margen izquierda del río, donde un amplio pantano se había formado en la esquina sur de la entrada al canal. Dos barcos más fueron hundidos en la esquina norte antes de 1938. La situación en 1941 muestra que la protección ha sido efectiva, por lo menos hasta cierto grado.

D. - Resumen y conclusiones referentes a los cambios morfológicos en la desembocadura del río.

El propósito de este capítulo es de llegar a comprender la relativa importancia de los diversos factores que afectan los cambios en la desembocadura del río, y de dar una descripción o teoría que explica, o está de acuerdo con los diferentes hechos expuestos en los capítulos anteriores de este reporte. Se tratará de dar una contestación a la importante pregunta de si el material de la barra tiene su origen principalmente del río o de la costa y, relativo a esto, de dar una explicación de los grandes cambios que comenzaron subsiguientemente al dragado del canal lateral.

Estaciones
del año

(págs. 125-
126)

Se podrá entender algo del problema, estudiando los cambios de estación, las lluvias, vientos, niveles de agua, transporte de sedimentos, y profundidades. De la tabla anexa, en la cual se da un resumen de la información cubriendo estos aspectos, se puede ver, que el año, en términos generales, se puede dividir en tres períodos principales, que pueden ser llamados: estación de secas, estación de lluvias y estación de Nortes.

Estación
de secas

La estación de secas, que cubre los meses de primavera de marzo, abril y mayo, está caracterizada por una humedad comparativamente baja, cielo claro, alta temperatura y poca lluvia. El gasto del río es bajo, y sólo pequeñas cantidades de sedimento son acarreadas por él. Las condiciones de los vientos son de calma, con brisas suaves y pocas tormentas, y el vector del acarreo litoral es NNO-N. y de un tamaño mediano; el acarreo litoral se juzga que es pequeño. La experiencia ha demostrado que no es imposible mantener suficientes profundidades en la desembocadura del canal lateral durante este período, debido a la buena posibilidad de dragar y las poco frecuentes tempestades. El nivel de las aguas en el río es bajo.

Estación de
lluvias

La estación de lluvias que abarca los meses de verano de junio, julio, agosto y septiembre, se caracteriza por cielo cubierto de nubes, gran humedad, altas temperaturas y precipitación alta; lluvias se experimentan durante más que la mitad de los días del mes. El gasto del río es grande, especialmente al fin de la estación, y acarrea grandes cantidades de sedimento. Las condiciones de los vientos son de calma, y el vector del acarreo litoral es NNE. y de tamaños pequeño y mediano. El acarreo litoral tiene una dirección oeste para la mayor parte de la costa, y es mayor que en la estación de secas. En este período no se han encontrado grandes dificultades para mantener

abierto el canal de navegación enfrente del canal lateral. No hay tormentas que causen el depósito de arena, y se puede dragar constantemente. El hecho que las cantidades de dragado para esta estación no han sido mayores que en el período de secas, podría explicarse con la suposición de que la principal causa de relleno del canal no es debida a los sedimentos acarreados a través del canal interior, sino debida al acarreo litoral. El nivel del agua es bajo.

Estación de Nortes

La estación de Nortes que cubre los meses de octubre a febrero, se caracteriza por una gran humedad, un cielo claro, temperaturas comparativamente más bajas, y poca precipitación. El gasto del río y los sedimentos acarreados por el mismo, disminuyen gradualmente. Los Nortes son frecuentes en el Golfo, pero no son muy fuertes en Frontera. Las marejadas que se ocasionan por las tempestades en el Golfo, vuelven el mar bastante agitado. Es muy difícil mantener la desembocadura del canal lateral a su debida profundidad, ya que las tempestades tienen una tendencia a formar azolves, y las marejadas hacen el dragado difícil. El nivel de las aguas en el río es alto.

Variaciones anuales en las profundidades de la barra

La información acerca de las variaciones anuales de las profundidades en el canal a través de la barra, antes del dragado del canal lateral, es muy pobre y parece tener contradicciones. Peter Masters (1844) es de la opinión de que el canal se llena en el período de gran flujo, y que los primeros Nortes ocasionan un aumento en las profundidades. Pedro González, a su vez, menciona que los Nortes causan que la barra aumente y que se forme una barrera. Peter Masters menciona que algunas veces los barcos han estado detenidos hasta dos meses detrás de la barra, esperando el primer Norte; Pedro González, en cambio, asegura que el canal está cerrado para la navegación dos o tres días cada mes, durante la estación de llu-

	Estación de Nortes		Estación de secas			Estación de lluvias				Estación de Nortes		
	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octub.	Noviem.	Diciem.
Vientos dominantes, Golfo de Campeche	NE.	ESE.			SE.				ESE.	ENE.	NE.	
Vientos dominantes del mar, Frontera	N.-NE.	NE.-SE.		NO.-N.		N.-NE.	N E.		N.-NE.	NO.-NE.	N.-NE.	NO.-NE.
Vientos más fuertes, dirección	NO.-N.	NNO.		NO.-N.		NO.-NE.	N E.		NO.-NE.	NO.-NE.	NO.-NE.	NO.-N.
Brisas		fusitas			débiles			muy débiles			fuerzas	
Tormentas (Nortes) { fuerza en el Golfo { frecuencia	poderosas								débiles		poderosas	
	cada 6 a 10 días		menos frec.	muy raras		ninguna			infrecuentes	cada 6 a 10 días		
Huracanes								riesgo, pero muy raros				
Temperatura { promedio en Frontera { variaciones	24° C.					27° C.					24° C.	
	± 10					± 7					± 10	
Humedad en Frontera	82 %	80 %		alr. 77 %		80 %		alr. 82 %				
Nubes							nublado					
{ área de captación, magnitud		pequeña			mediana		grande			mediana		pequeña
Precipitaciones { Frontera, magnitud	pequeña (10 a 100 mm. por mes)					grande (100 a 300 mm. por mes)						
{ promedio de días (por mes con lluvia	6	4	3	5	6	14	16	15	18	17	12	8
Gasto del río		bajo				mediano			alto		mediano	
Transporte de sedimento en el río		muy pequeño				mediano			muy alto		pequeño	
Vector del acarreo litoral { dirección	NNO. - NNE.		NNO. - N.		NNO.-NNE.		NNE.		NE.		N.-NNE.	
{ magnitud	más bien grande		mediano		pequeño		pequeño		mediano		más bien grande	
Olas	marejadas				mar más	bien calmado				marejadas frecuentes		
Corrientes a alguna distancia de la costa		hacia el este				hacia el oeste				hacia el este		
Niveles de agua en la desembocadura { promedio		+ 0,6 m.				+ 0,4 m.			+ 0,7 m.	+ 0,8 m.	+ 0,6 m.	
{ máximo		+ 1,2 m.				+ 0,9 m.			+ 1,2 m.	+ 1,8 m.	+ 1,2 m.	
Profundidad del río en la barra	baja										baja	
Profundidad en el canal lateral	baja										baja	

vias, debido al depósito de arenas causado por las tormentas.

Es indudable que los Nortes producen una reducción de la barra, cuando menos en algunos lugares. Islas tales como la Isla Azteca han sido formadas por lomas de arena arrojadas durante las tormentas. Esta reducción de profundidades en algunas partes, sin embargo, lleva a incrementar las profundidades en los canales entre los bajos, ya que el flujo del río tiene que forzar su salida. Sin embargo, es también probable que las tormentas nivelen un canal, y la mejor prueba de ello es el canal lateral. Generalmente se sabe por experiencia, que la arena se deposita en las desembocaduras de los ríos y el lecho se nivela en períodos de aguas altas, mientras que los canales se cortan en su fondo en períodos de aguas bajas. Condiciones similares se pueden encontrar en la desembocadura de este río. Una profundización de los canales en el período de aguas bajas, inmediatamente después de la época de lluvias, debe esperarse.

La descarga
de sedimen-
tos del río

El estudio del transporte de sedimentos por mediciones y cálculos ha demostrado que grandes cantidades son acarreadas por el río en la época de aguas altas, mientras que muy poco es acarreado por el río en el resto del año. El material es sumamente fino, estando compuesto en su mayor parte de fango y arcilla. La transporción total anual se calcula en 13 mill.m^3 , de los cuales solamente 1 mill.m^3 es arena. Debe señalarse, sin embargo, que esta estimación no es muy exacta debido al tiempo de observación limitado. Parte de los sedimentos se descargan a través del canal lateral, aproximadamente un quinto del transporte total, lo que corresponde más o menos a la proporción en que el gasto del río se divide entre el canal lateral y el río abajo de éste. Después de descargar en el mar, los sedimentos se depositan

en el fondo o son acarreados por las corrientes o las olas. El material fino se mantendrá en suspensión por bastante tiempo y se distribuye, por eso, posteriormente en un área grande. La arena se deposita más aprisa y únicamente es movida por las olas o corrientes de mayor intensidad. Esto está de acuerdo con el hecho de que el fondo a profundidades mayores que 6 a 8 m., consiste de arcilla fina, en tanto que el fondo en profundidades menores en la anteplaya, consiste de arena. La sedimentación del material fino en la anteplaya, no la permiten las olas. La arcilla que se haya depositado aquí durante un período de calma, será removida más tarde durante las tormentas. La arena encontrada en la costa es muy uniforme, con tamaño de los granos de 0,06 a 0,2 mm. La mayor parte de la arena transportada afuera por el río, es más fina que 0,1 mm.

El acarreo litoral

El estudio del acarreo litoral ha demostrado que la dirección es oeste a ambos lados del río Grijalva, excepción hecha de una pequeña zona como de 2 km. inmediatamente al este de la desembocadura del río, donde se ha observado un acarreo hacia el este. Inmediatamente al este de esta zona, se encuentra un lugar donde el acarreo litoral es cero. Las direcciones mencionadas aquí son las predominantes. En ciertas estaciones o en ciertos días, el acarreo puede ser opuesto. Esto es ilustrado para la vecindad del río Grijalva en el diagrama de la lám. N°36. Debe llamarse la atención de que las direcciones determinadas basadas en el estudio de la costa y del vector del acarreo litoral, se aplican principalmente al acarreo cerca de la playa, en las profundidades donde las olas rompen. Puede ser posible, por ejemplo, que en casos especiales más lejos de la playa, se pueda encontrar una corriente con dirección contraria. Por ejemplo puede esperarse que la corriente enfrente de la zona donde el acarreo litoral tiene dirección este cerca de la playa, tenga dirección oeste, ya que las corrientes a lo largo de la costa a ambos lados de esta

zona, deben ser necesariamente oeste. Puede ser posible que la arena es acarreada a lo largo del fondo en una dirección oeste a profundidades más grandes, pero no se puede esperar que las cantidades sean tan grandes aquí como en la zona donde rompen las olas. El acarreo litoral es considerablemente más grande al oeste del río que al este del mismo. La diferencia debe corresponder al suministro de sedimentos del río.

Formación de tierra a ambos lados de la desembocadura del río

Las investigaciones han demostrado que se produce erosión en una zona de 20 km. desde 8 km. al oeste hasta 12 km. al este de San Pedro, mientras que la sedimentación ocurre en una zona muy larga al oeste del Grijalva, y en otra zona de 12 km. al este del mismo. Estos cambios se han venido sucediendo por un período considerable, como lo indica el sistema de lomas de playa viejas, según se puede ver en la lám. N°40. Las lomas dan una clara idea de los cambios en la línea de costa, ocurridos desde los tiempos en que decreció la descarga en el río San Pedro y San Pablo y que aumentó en el río Grijalva. Estos cambios que podrían ser explicados por una alteración en el curso del río Usumacinta, deben haber tenido lugar antes de la llegada de los españoles a México, y una comparación con la línea de costa que debe haber existido en el año de 1500, parecería indicar que los cambios ocurrieron hace aproximadamente mil años. El promedio de avance a través de mil años en la desembocadura del río, ha sido aproximadamente de 7 m. por año. El avance a ambos lados de la desembocadura disminuye proporcionalmente a la distancia de la misma. Aparentemente el progreso ha sido más grande al este de la desembocadura, que al oeste de la misma (como un 50 %). La explicación de esto puede ser que el río ha actuado como un espolón, deteniendo el acarreo litoral del este. Durante el período anterior a 1909, cuando el canal a través de la barra estaba en línea con el eje del río, se depositaba arena por el río

a continuación de sus bancos a ambos lados del canal. Durante las tormentas, se formaron islas en las áreas planas encontradas ahí. Estas islas más tarde se fueron conectando con la tierra firme por medio de lengüetas que salían de los extremos de las islas, y entonces se formaban lagunas. Las cabezas de la desembocadura del río de este modo crecían hacia fuera, adelante de la costa en alguna distancia del río. La cabeza de la derecha del río trabajaba como escollera, deteniendo la arena que venía del este.

La actual situación no es exactamente como la que se ha descrito aquí; durante algunos años las condiciones no han sido normales. La Isla Azteca detiene en cierta extensión la salida libre del flujo del río, e impide el crecimiento de una barra de tipo normal delante del río. Por el momento se produce una erosión en la cabeza de la orilla derecha del río.

Conclusiones
respecto al
acarreo de
arena en la
historia
geológica

El material depositado en la zona de 12 km. al este del río, ha sido probablemente acarreado a este lugar principalmente del este, esto es proveniente del área bajo erosión en el San Pedro. Los depósitos al oeste de la desembocadura del río, han sido formados por materiales llevados afuera por el mismo, y materiales que pasan enfrente de él, procedentes de la costa al este del mismo. El área marcada A en la lámina N°40, es la que se ha removido cerca del río San Pedro durante el período de mil años; representa unos 60 mill.m². Como el área B, formada por depósitos al este del río en el mismo período representa alrededor de 50 mill.m², el volumen erosionado es apenas suficiente para llenar este triángulo, ya que parte de la erosión debe haber sido de arcilla. Se ha estimado la misma profundidad para los volúmenes depositados y erosionados. El déficit podría haber sido completado por el material arrastrado por el río y depositado inmediata-

mente al este de la boca. Al oeste del río, allí por el río Chiltepec, se han depositado unos 100 mill.m².

Se ha encontrado que la capa de arena que cubre el fondo de arcilla en Frontera en todas las perforaciones tiene un espesor de aproximadamente 10 m. Las cantidades de erosión y depósito entonces pueden ser calculadas para las diferentes áreas, si se parte de que las capas de arena tienen el mismo espesor en toda el área formada por arena depositada en el mar. El promedio del material removido frente al San Pedro, puede ser calculado como el área removida, 60 mill.m², multiplicada con la profundidad, 10 m., y dividida por el número de años, 1000, lo que da 0,6 mill.m³ por año. Parte de esto era arcilla y parte del material iba en dirección este, y el promedio del acarreo en dirección oeste debe, por consiguiente, haber sido menor que esto. El acarreo litoral entre San Pedro y el río Grijalva, probablemente fué más alto en el principio debido a un ángulo más grande entre el vector del acarreo litoral y la costa. Basándose en esto debe juzgarse que el acarreo litoral actual debe ser considerablemente menor que 0,6 mill.m³ por año, probablemente menor que 0,1 mill.m³.

Al oeste del río, en la zona que llega hasta la barra de Chiltepec, se ha depositado una cantidad de $\frac{100 \times 10}{1000}$, o sea alrededor de 1 mill.m³ por año. Como la dirección de la costa en este lado no ha cambiado mayormente en el curso del tiempo, un acarreo litoral de esta magnitud debe presumirse que todavía se encuentra inmediatamente al oeste del río. Este material debe provenir del río. Estas cifras estimadas deben naturalmente tomarse con toda posible reserva, en vista de las suposiciones bastante inseguras en que se basan.

Influencia de los cambios en el curso de los ríos durante el período histórico

Se ha sugerido que algunos de los cambios en la desembocadura del río, en el período histórico, podría explicarse como el resultado de los cambios en el flujo del río, causado a su vez por los cambios en el curso de los ríos. Que el río en la primera década del presente siglo era capaz de mantener un canal de navegación a través de la barra en línea con el eje del río, debería así ser el resultado del aumento de flujo ocasionado por el dragado del Canal de la Pigua de 1890 a 1900. Es evidente, sin embargo, que esta teoría no es correcta, siendo que el levantamiento de 1889 muestra casi las mismas condiciones como en 1909. Pequeños cambios graduales, cuya explicación no es posible, condujeron a la situación de 1889. Si la desviación del Mezcalapa en 1770 tuvo influencia alguna en las condiciones en la desembocadura del río, no se puede averiguar por la poca información que se tiene al respecto. Finalmente hay que mencionar que los cambios más recientes en Rompido de Samaria, probablemente afectarán la desembocadura del río muy poco, puesto que se ha estimado que el gasto del río solamente fué reducido muy ligeramente.

Cambios en la desembocadura del río después del dragado del canal lateral

Los grandes cambios ocurridos desde el dragado del canal lateral, deben en cierto modo haberse originado por esta obra. Se sabe que pequeños cambios a lo largo de las orillas de los ríos, han sido la causa de cambios bastante grandes en la dirección de ellos y es, por lo tanto, razonable el presumir que los grandes cambios en la desembocadura han sido causados por la apertura del canal, por el cual prácticamente una quinta parte del gasto del río era desviada, en dirección a ángulo recto con el río. Estos cambios se iniciaron con sedimentación en el canal a través de la barra, simultáneamente con un giro hacia el oeste del canal. Se formó entonces una nueva barra por sedimentación enfrente del nuevo canal, en áreas al

noroeste y oeste de la Isla del Buey. Las profundidades en la barra enfrente del río disminuyeron gradualmente, formándose finalmente una isla que actualmente se conoce con el nombre de Isla Azteca. Hasta este estado, la sedimentación ha sido mayor que la erosión, pero después de la formación de la isla, comenzó una erosión por las olas y las corrientes en el lado norte de la misma. Como explicado anteriormente, una condición necesaria para la formación de las cabezas en ambos lados de la desembocadura, es que la dirección del flujo esté a continuación del eje del río. La nueva isla impidió esto, y las fuerzas marinas, por consiguiente, empezaron a remover la punta saliente. Debe esperarse que después de cierto período se haya removido tanto del lado norte de la barra, que el canal volverá a quedar en el lugar de antes en línea con el eje del río.

Las cantidades depositadas y erosionadas desde 1909

Las cifras que se dan en la lámina N°73 para las cantidades depositadas y lavadas, calculadas a base de los levantamientos realizados, son, naturalmente, más seguras que las estimadas aproximadamente a base de la historia geológica, como ilustrado en la lámina N°40. Los levantamientos cubren, sin embargo, solamente un área limitada, y los cambios fuera de esta área, por consiguiente, pueden solamente ser apreciados. La diferencia entre las cantidades depositadas y las lavadas dentro del área cubierta por los levantamientos, era tan baja como $0,1 \text{ mill.m}^3$ por año en el largo período desde 1889 hasta 1911. Después de esta época aumentó gradualmente a un máximo de 3 a 4 mill.m^3 por año desde 1926 hasta 1931. Esta gran sedimentación ocurrió después de la apertura del canal para la navegación en 1922-23 y 1924-26, y esta apertura puede haber sido la causa de aquella. Para el período desde 1911 hasta 1926, las cifras del promedio son más bajas, pero es probable que la mayor parte de los cambios hayan ocu-

rrido después de 1922, de modo que la sedimentación ha sido alta desde la apertura del canal. No se conoce, sin embargo, nada definitivo respecto a esto. La máxima erosión ocurrió entre 1938 y 1941, cuando la diferencia entre la erosión y la sedimentación llegó hasta 3 a 4 mill.m³.

El origen del sedimento depositado

La cuestión ahora es: las inmensas cantidades de material depositadas entre 1920 y 1940, ¿provenían del río o de la costa al este del río? De lo que anteriormente se ha dicho del acarreo litoral, debe ser entendido, que se juzga que no se transportan grandes cantidades a lo largo de la costa al este del río. La mayor parte del material depositado debe, por consiguiente, haber venido del río. Se pregunta entonces: ¿concierta la cifra de 3 a 4 mill.m³ de material depositado bien con la cifra del sedimento transportado en el río, o sea 1 mill.m³ de arena y 12 mill.m³ de material más fino por año? Se verá que es una condición necesaria, que los depósitos estaban formados no solamente de arena, sino también de material más fino.

Las perforaciones dan alguna información al respecto (lámina N°7). Se observará que prácticamente todas las perforaciones realizadas a través de las capas de depósitos muestran arena en la parte de la perforación que corresponde a los depósitos después de 1909. Resulta pues un hecho que gran parte de los depósitos es arena. Por otro lado, la perforación N°VIII y otras perforaciones en la desembocadura del canal lateral, muestran una mezcla de arena y material más fino en las capas superiores y parte de los depósitos debe, por eso, indudablemente ser más fina que arena. Una estimación de qué parte de los 3 a 4 mill.m³ ha sido arena es, sin embargo, prácticamente imposible, debido al número limitado de perforaciones. La cifra de 1 mill.m³ que corresponde al transporte de sedimento en el río, parece muy baja.

¿Cuál sería la explicación de este posible desacuerdo? ¿Es que cambia el transporte de sedimentos de año en año? Un transporte alto de sedimentos en los años desde 1926 hasta 1931 podría haber sido originado por una precipitación excepcionalmente alta en aquellos años. Las mediciones realizadas de las precipitaciones anuales, como mostrado en la lámina N°12, están, sin embargo, en contradicción con tal teoría. La precipitación varía un poco de un año a otro, pero no parece que haya habido ningún período de años con condiciones excepcionales. Es también conocido, que el gasto de los ríos no cambia mucho de un año a otro. Esta explicación no es, por consiguiente, muy aceptable y, en muchos casos, no podría explicar el cambio de depósitos de 3 a 4 mill.m³ en erosión de 3 a 4 mill.m³.

Una posible explicación sería que la cifra de 1 mill.m³ de arena transportada por el río por año, es muy baja. Esto no puede excluirse como una posibilidad, conociendo la gran inseguridad en muchos de los juicios en que la cifra está basada. Si, por ejemplo, se supone que 0,5 mill.m³ provenientes de la orilla este del río, y 2 mill.m³ de arena fueron transportados fuera del río, resulta que las cantidades depositadas de arcilla deben haber sido de 0,5 a 1,5 mill.m³ por año. En el período de 1938 a 1941, una parte de las cantidades erosionadas de 3 a 4 mill.m³ debe haber sido arena. Como el material es el mismo que el depositado en períodos anteriores, una cifra de 2 mill.m³ de arena por año estaría de acuerdo con las suposiciones anteriores. El acarreo litoral total hacia el oeste debe entonces ser igual a la suma de la cantidad de arena arrastrada por el río y la cantidad de arena erosionada, o en conjunto, 4 mill.m³. Esta es una cifra muy alta comparando con otros lugares, en los que se conocen las cifras del acarreo litoral. La suposición de que

el transporte de arena del río llegue a 2 mill.m³, debe probablemente ser abandonada.

La única explicación posible que queda, es que aquella parte bastante grande de cantidades sedimentadas, es más fina que arena. El material fué probablemente depositado durante la época de lluvias, cuando debido a las tranquilas condiciones del viento, el mar estaba en calma, permitiendo así que el material fino se asentara cerca de la costa. La sedimentación excepcionalmente grande de los años de 1926 a 1931, podría explicarse por el hecho que el canal a través de la barra giró hacia el oeste donde, inmediatamente al oeste de la Isla del Buey, el mar es especialmente tranquilo debido a la protección que la isla le proporciona contra los vientos dominantes del noreste.

Esta es la mejor explicación posible que puede proporcionarse a base de los hechos obtenibles. Debe finalmente mencionarse que las cifras dadas más arriba para el transporte de arena, deben únicamente ser consideradas como cifras burdamente estimadas. Investigaciones muy largas y costosas serían necesarias, si se desearan cifras más aproximadas. Tales cifras, sin embargo, no son necesarias para juzgar de la idoneidad de los diversos proyectos, como se explicará en el capítulo siguiente.

Capítulo III. - Aspecto económico del proyecto portuario.

En lo que sigue se dará alguna información del aspecto económico del problema el cual, en realidad, es tan importante para las decisiones finales concernientes a los trabajos a ejecutar, como las condiciones físicas que han sido descritas en los capítulos anteriores. La descripción que se da cubre los renglones principales acerca del comercio, sistemas de transporte, intercambio de mercancías con países vecinos, y los beneficios que deben esperarse de la construcción de un nuevo puerto. Es, sin embargo, muy breve y debe ser tomada con la reserva de que la Compañía realmente no ha estudiado estas cuestiones, ya que se consideran fuera del alcance de este reporte técnico. Por otra parte, la omisión total de estos datos haría que el reporte sería menos fácil de comprender para las personas que no estén al tanto del problema de Frontera.

A. - El comercio del área de influencia.

Agricultura, ganadería y explotación forestal, son las principales actividades del área de influencia del sistema fluvial. El 90 % de la población, que está formada por 300.000 habitantes en Tabasco y la parte norte del estado de Chiapas, depende de estas actividades. Los productos principales son: plátano, cacao, café, copra, corozo, chicle y maderas finas, especialmente caoba. Los siguientes datos para la producción de 1945 dan una idea de su importancia relativa:

	<u>Toneladas</u>	<u>Valor estimado</u>
Plátano	44.000	8,7 mill.pesos
Café	600	0,7 " "
Cacao	2.000	6,4 " "
Copra	4.000	4,4 " "
Corozo	1.000	1,0 " "
Chicle	3.000	3,0 " "

El número de cabezas de ganado en el área de influencia es de 700.000.

La zona de influencia puede ser dividida en dos partes: la zona alrededor del Grijalva y sus afluentes, y la zona alrededor del Usumacinta, cada una con sus actividades peculiares. La zona del Grijalva corresponde a la región agrícola más importante y más densamente poblada. En la zona del Usumacinta, la ganadería, la explotación de chicle y cortes de maderas son las principales actividades.

El área total de la zona de influencia del sistema del Grijalva-Usumacinta, es de cerca de 3.000.000 ha. dividida como sigue, de acuerdo con las diferentes zonas de producción:

Agricultura	1.000.000 hectáreas
Cría de ganado	1.250.000 "
Bosques	600.000 "
No explotable	150.000 "
En total:	<hr/> 3.000.000 hectáreas

Debido a la cantidad de áreas pantanosas bajas, que se inundan fácilmente en la estación de lluvias, sólo las áreas altas, principalmente a lo largo de los ríos, son utilizables para la agricultura y ganadería. Del millón de hectáreas de la zona agrícola, sólo la mitad de ella puede ser aprovechada, y en realidad sólo 70.000 hectáreas están cultivadas. Sólo 25.000 ha. han sido o son usadas en el cultivo de plátano.

La producción de plátano, que es de gran importancia para la economía de esta parte de México, ha sufrido grandes cambios en los últimos 20 años. De 2,3 mill. de racimos que se producían en 1932, la producción aumentó gradualmente hasta cerca de 8 mill. de racimos en 1938. Después de esta época, la producción disminuyó bastante rápidamente, y en 1942 sólo una pequeña fracción de la producción de 1938 se logró. La producción de 1945 fué aproximadamente la tercera parte del máximo.

Estos cambios han sido debidos a varias causas: La enfermedad llamada Sigatoka, también conocida como tuberculosis del plátano, que principió en los años de 1930, las condiciones irregulares de navegabilidad en Frontera, y los cambios en el mercado.

La producción de chicle ha sido bastante alta, pero es de esperarse que disminuya en los años venideros. La caoba se corta principalmente en la isla del Carmen.

B. - El sistema de transporte en el área de influencia.

El extenso sistema de ríos navegables de esta parte de México permite un transporte muy económico de mercancías. La existencia de estas líneas naturales de comunicación y las dificultades debidas a los numerosos pantanos, es la razón por la cual los caminos son escasos. El Ferrocarril del Sureste, que está terminándose actualmente desde Puerto México, pasando por Teapa, Palenque y Tenosique hasta Campeche, atravesará las zonas de influencia de los ríos, pero no hay motivo para suponer que podrá transportar la mayor parte de las mercancías producidas que ahora se transportan por los ríos. El transporte aéreo es y será importante para el tráfico de pasajeros, pero probablemente no podrá encargarse de una cantidad apreciable de mercancías.

El viejo sistema de transporte por los ríos consistía de pequeños barcos o canoas llamadas cayucos. Ellos son aún usados en gran número y, en los ríos bajos, únicamente estos botes de fondo plano y poco calado pueden navegar. Barcos más grandes se usan solamente en los ríos profundos. El transporte de las mercancías para la exportación, se hace desde el interior hasta Frontera por medio de lanchones de acero halados por remolcadores. Los lanchones tienen de 6 a 9 m. de

de manga, esloras de 20 a 40 m. y calados de 1 a 2 m. El número total es alrededor de 100 lanchones y 50 remolcadores.

La parte navegable del sistema de ríos, cubre un área aproximada de 100 km. de ancho perpendicularmente a la costa, y como 150 km. a lo largo de la costa. El límite oeste de esta zona, está un poco al oeste de Villahermosa, y la parte este de la misma limita con la laguna de Términos. Un croquis de la parte baja del sistema fluvial, se indica en la lámina N°78, y más adelante se da información para cada uno de los ríos. Todas las profundidades de los ríos se refieren a la época de aguas bajas. Las condiciones son mejores en el resto del año, cuando menos en lo que se refiere a profundidad.

Río Mezcalapa

(c 35) Este río es navegable con pequeños barcos en la zona de Chiapas. Las condiciones de navegabilidad no son muy buenas en las partes bajas.

Río Pichucalco

La profundidad es solamente de 0,4 m. El río sólo puede ser navegado por pequeños barcos. La sección navegable medida desde Villahermosa, es como de 60 km.

Río Teapa

Tiene una profundidad como de 0,5 m. y permite la navegación de los barcos más pequeños. Prácticamente no hay, sin embargo, tráfico en este río.

Río Tacotalpa

Es navegable en una longitud como de 50 km. medidos desde Villahermosa. En los primeros 20 km. hasta el lugar donde el río Teapa se junta con el río Tacotalpa, la profundidad es de unos 3 m.; arriba de este punto la profundidad es solamente de 0,5 m.

Río Macuspana

Navegable en una longitud de 80 km. Las profundidades en la parte alta de esta zona, son de cerca de 3 m., y cuando menos de 6 m. en un punto abajo de su unión con el río Tolijá. El tráfico es bastante intenso.

Río Tolijá

Navegable en una longitud de 40 km. con profundidades de 6 m.

Río Chilapillas

Navegable con profundidades de 6 a 8 m., con tráfico bastante intenso.

Río Chilapa

Es navegable con profundidades de 6 a 8 m. El tráfico es intenso.

Río Grijalva

Navegable en una longitud de 110 km. o sea hasta un lugar un poco arriba de Villahermosa. Las profundidades varían desde 8 m. en la boca hasta 2 m. a la distancia de 100 km.

Río San Pedro

Navegable para los barcos más pequeños.

Río Usumacinta

Navegable hasta Boca del Cerro, un poco arriba de Tenosique, a una distancia de 360 km. de Frontera. La profundidad desde Tres Bocas hasta Jonuta, es de más o menos 5 m., desde Jonuta hasta Zapata de 3 m., y desde este lugar hasta Tenosique de 1,2 m. aproximadamente. Algunos bajos de arena y de piedra se encuentran en una tercera parte de la longitud navegable del río, en su parte alta.

Río Palizada

Es navegable. El tráfico para la Ciudad del Carmen se hace a través de este río.

Río San Pedro y San Pablo

No es navegable en el período de secas debido a los bancos de arena.

Río González

Su profundidad es de unos 2 m.

C. - Condiciones de importación y exportación.

En la actualidad, la mayor parte de las importaciones y exportaciones se hacen principalmente desde Frontera, ya que este lugar de la costa reúne las condiciones de centralización y mejores conexiones con el sistema fluvial. Este lugar está considerado como el puerto de Villahermosa. Ciudad del Carmen, el otro puerto con en cual el sistema fluvial navegable está conectado, está muy lejos para la salida de los productos agrícolas de la zona cercana a Villahermosa, pero está colocado convenientemente para el tráfico del río Usumacinta. La caoba y el chicle son embarcados desde este lugar.

La ciudad de Frontera tiene una población de cerca de 7.400 habitantes. El muelle actual fué construído aproximadamente hace 60 años y se va a sustituir con uno nuevo con una longitud de 300 m., detrás del cual se va a construir una bodega con una superficie de 1.500 m².

Debido a la baja profundidad de la barra (3 a 4 m.) solamente pequeños barcos pueden entrar hasta Frontera; los grandes vapores que cargan el plátano y otros productos de exportación para Europa y Estados Unidos, generalmente anclan al oeste de la desembocadura del canal lateral. Los chalanes de río se llevan a través del canal lateral hasta los barcos, para ser descargados en mar abierto. Esta operación no es posible durante las épocas de vientos fuertes o grandes marejadas, y si hay que suspender la descarga por algunos días, se sufren grandes pérdidas, porque

el plátano entonces madura demasiado y tiene que ser arrojado al mar. Esta es una de las principales razones de descontento por la situación actual. Los barcos que transportan el plátano están provistos de cámaras de refrigeración. La capacidad de los barcos es generalmente de 2.000 a 3.000 toneladas brutas de registro, con un calado máximo de unos 6 m. El tráfico a lo largo de la costa hacia Campeche, Carmen, Puerto México, Veracruz, etc. lo hacen barcos pequeños.

(págs. 145-
146)

La tabla anexa contiene algunas cifras del tráfico de cabotaje y de importación y exportación de mercancías. Se notará que la exportación es mayor que la importación, mientras que las cifras de entrada de mercancías del país son más altas que las de salida hacia otras partes de México. La producción es exportada, mientras que el consumo consiste en gran parte de productos de origen mexicano o de productos importados re-embarcados de otros puertos mexicanos. El plátano constituye la parte principal de la exportación.

D. - Beneficios que se esperan al abrirse la desembocadura del río.

Se reconoce en general que existen grandes posibilidades potenciales de desarrollo de esta parte de la Nación. El área dedicada a la agricultura y ganadería podría ser aumentada y el suelo fértil y el clima permitirían una gran producción de frutas tropicales y verduras. Además del plátano, limones, café y caña de azúcar ya mencionados, se podrían cultivar naranjas, arroz, piña y maíz.

Para obtener este progreso, es necesario la regularización del sistema fluvial y secar las áreas bajas, pero el principal requisito sería que las conexiones con el exterior sean mejoradas con la apertura de un puerto con suficientes profundidades. El puerto de Frontera se ha escogido como

el que mejor condiciones ofrece por sus conexiones mejores y más cortas con el actual centro de la población de Tabasco. Se considera también que es posible que barcos de gran calado puedan entrar río arriba, más allá de Frontera, por ejemplo hasta Escobas, que está situado a 56 km. de la boca del Grijalva, y hasta Jonuta por el río Usumacinta.

La eliminación de las obstrucciones al tráfico en la desembocadura del río, significará transporte más barato y menos pérdidas para la exportación y la importación, y es de esperarse que también la industria se beneficiará con esto. En relación con esto debe mencionarse que existe la posibilidad de explotar petróleo en esta área, y que es posible desarrollar sistemas hidroeléctricos en las partes altas del sistema fluvial. Después de la apertura del río será beneficioso aumentar considerablemente las áreas cultivadas por medio de la construcción de diques alrededor de las áreas bajas, o rellenando dichas áreas. El puerto de Frontera está considerado como la llave del futuro desarrollo de esta parte de México.

Año	Mercancías de cabotaje (ts.)		I m p o r t a c i ó n y E x p o r t a c i ó n					
			Importación		Exportación total		Exportación de plátano	
	entrada	salida	ts.	pesos	ts.	pesos	ts.	pesos
1921				1.349.000		1.668.000		
1922				1.761.000		2.553.000		
1923				1.278.000		1.350.000		
1924				768.000		831.000		
1925				1.291.000		1.764.000		
1926				912.000		3.720.000		
1927				792.000		5.447.000		
1928				597.000		5.699.000		
1929				742.000		6.845.000		
1930	10.000	4.000	1.000	412.000	80.000	3.401.000	54.000	2.274.000
1931	9.000	5.000	1.000	479.000	69.000	3.003.000	1.000	35.000
1932	9.000	5.000	3.000	723.000	55.000	2.443.000	50.000	2.064.000
1933	13.000	6.000	1.000	263.000	78.000	3.763.000	69.000	2.888.000
1934	14.000	7.000	1.000	616.000	112.000	5.437.000	103.000	4.302.000
1935	18.000	4.000	1.000	952.000	144.000	6.505.000	126.000	5.254.000
1936	24.000	8.000	2.000	1.695.000	160.000	7.925.000	148.000	6.926.000
1937	27.000	6.000	2.000	1.548.000	129.000	6.224.000	115.000	5.214.000
1938	20.000	6.000	1.000	634.000	110.000	5.198.000	102.000	4.639.000
1939				231.000	73.000	3.378.000	50.000	2.270.000
1940				12.000	21.000	673.000	6.000	273.000
1941				61.000	11.000	543.000		
1942				99.000	6.000	262.000		
1943					2.000	256.000		
1944				51.000	22.000	1.275.000	22.000	1.273.000
1945			1.000	417.000	25.000	1.394.000	25.000	1.328.000
1946			1.000	1.848.000	28.000	2.170.000	22.000	1.719.000
1947			1.000	1.331.000	35.000	2.620.000	31.000	1.962.000

Capítulo IV. - Discusión de diferentes proyectos para mejorar la entrada a Frontera.

Como mencionado en la introducción, la Compañía fué solicitada para estudiar las posibilidades de mejorar el acceso a Frontera para barcos de gran calado, ya sea a través del canal lateral o a través de la desembocadura del río. Presentado en esta forma el problema, hay algunas soluciones que de antemano se desechan, por ejemplo la posibilidad de dragar un nuevo canal al este de la desembocadura del río o la construcción de un puerto o de un muelle fuera de la costa cerca de la desembocadura y conectado con el río a través de un sistema de transporte de ferrocarril o canal, o también la posibilidad de construir un puerto en otro lugar a lo largo de la costa, donde la conexión con el sistema fluvial fuera posible. Esta Compañía ha estimado que el reporte podría ser más completo, si todas las soluciones posibles se discutieran. Antes de entrar en detalles, vamos a hacer una descripción somera de las diferentes soluciones teóricas posibles.

El establecimiento de un canal navegable a través del canal lateral actual, podría teóricamente lograrse con el dragado únicamente, o con el dragado y una construcción de estructuras permanentes, tales como muros de encauzamiento y esclusas.

El establecimiento de un canal navegable a través de la barra en la desembocadura del río, podría también obtenerse o por medio del dragado solo, o por medio de dragado junto con la construcción de muros de encauzamiento.

En la proposición de construcción de un nuevo canal lateral al este del río, el problema principal estriba en la necesidad de ejecutar muros de encauzamiento y esclusas.

Un puerto en la costa conectado con el sis-

tema fluvial por medio de un canal con una profundidad suficiente para mantener únicamente el tráfico fluvial, tendría probablemente que ser localizado al este de la desembocadura. El principal problema es el emplazamiento de los rompeolas.

En lugar de un puerto podría construirse un muelle, al cual se transportarían los lanchones por riel o por canal.

Una solución menos cara que un muelle, pero que también permitiría la descarga de plátano, aun en condiciones en que los lanchones no pueden llevarse al mar abierto, es un aerocarril con torres situadas en tal forma, que los barcos podrían atracar cerca de las últimas torres.

La construcción de un puerto en otro sitio, en lugar de desarrollar el puerto de Frontera, se menciona solamente como una posibilidad teórica.

En lo que sigue, se discutirán las principales características de las soluciones enumeradas, y sus ventajas y desventajas serán señaladas. Posteriormente se dará una comparación económica de las soluciones.

A. - El canal lateral actual se mantiene abierto para el tráfico de mar.

Como se ha explicado anteriormente, ha sido posible, en períodos que cubren casi 10 años en total, conservar el canal abierto por medio de dragado, con profundidades suficientes para barcos hasta de 6 m. de calado. Grandes cantidades ha habido necesidad de dragar durante todo el año y únicamente en la época de Nortes estos trabajos presentaban dificultades. Las tormentas y las marejadas ocasionaron que el canal fuera de la costa se llenara de arena, y el trabajo de dragado no fué posible hacerlo durante el tiempo necesario para permitir la remoción de este material.

El canal a través de la anteplaya es el lugar donde la acumulación de sedimento es mayor. El material depositado allí proviene en parte del

canal lateral y en parte de la costa al norte del canal. El material procedente del norte debe haber sido descargado a través de la desembocadura del río o arrastrado desde la costa que queda al este de la desembocadura del río, pasando por delante de ésta. La cantidad de sedimentos proveniente de la costa al norte del canal, es indudablemente la mayor, ya que sabemos que únicamente una parte menor de la arena descargada por el río sale por el canal lateral. Solamente una parte del acarreo litoral y de los sedimentos que pasan a través del canal lateral, van a depositarse en el canal de afuera. Esta parte es, sin embargo, probablemente bastante grande; cantidades tan grandes como de 1,5 mill.m³ por año han sido dragadas previamente. Durante la época en que se han efectuado estos dragados, grandes cantidades de sedimento se han depositado al oeste de la Isla del Buey. Como la erosión en el área de la boca, en el momento presente, es mayor que la sedimentación, y como la arena erosionada pasa hacia el oeste a lo largo de la costa, es de deducirse que el mantenimiento de un canal profundo a través de la barra, ahora necesitará más dragado que el que se ha hecho hasta la fecha.

Se ha hecho una proposición para mejorar las condiciones con la construcción de una escollera al norte del canal. Al principio, esta escollera debería tener una longitud de 1.000 m., partiendo de la línea de costa. La profundidad en el extremo de esta escollera será alrededor de 3 m. Más tarde se anticipó una extensión de 1.000 m. La profundidad a la distancia de 2.000 m. desde la línea de costa, sería de 6 m. aproximadamente. (ver lámina N°80).

La escollera indudablemente detendría parte del acarreo litoral, y la arena se depositaría en su lado norte. Sería interesante tener un dato de la cantidad de arena que podría depositarse en

el rincón formado entre esta escollera y la línea de costa, antes de que grandes cantidades de arena pasaran por el extremo del rompeolas. La pendiente actual del fondo, a lo largo de la costa, es de 1:300 en este lugar. Si se supone que la sedimentación junto a la escollera puede ser la causa de un aumento de la pendiente hasta de 1:150, entonces un movimiento de la costa hacia el mar igual a aproximadamente la mitad de la longitud de la escollera, es teóricamente posible antes que ocurra un cambio de la profundidad en el extremo de ella. Este movimiento hacia fuera es, sin embargo, solamente posible en la vecindad inmediata de la escollera. Las nuevas línea de costa y líneas de nivel, desde la escollera y hasta el norte, estarán inclinadas en relación con la línea de costa existente, y la inclinación dependerá de la dirección del vector de acarreo litoral. Las condiciones de equilibrio corresponden a una línea de costa que es perpendicular al vector y, como el vector en este caso está más o menos en ángulo recto con la línea del rompeolas, para tener equilibrio se necesita una línea de costa casi paralela al rompeolas o, en otras palabras, no podrían ocurrir depósitos antes que los sedimentos hubieran pasado la cabeza de la escollera. Sin embargo, se estima que sí se almacenará arena y se producirá un movimiento hacia fuera de la costa; pero ya en el primer año, una cantidad considerable de material deberá pasar por el extremo del rompeolas. La capacidad de almacenamiento, con una dirección estimada de la nueva línea de costa, como se indica en la lámina N°85, y para una longitud de la escollera de 2.200 m., deberá ser aproximadamente de 2 mill.m³.

Este volumen se acumulará en muy poco tiempo y el acarreo litoral total pasará entonces por el extremo de la escollera. Después de algún tiempo, habrá necesidad de comenzar a dragar en la parte

del canal fuera del morro de la escollera. Las dragas tendrán que trabajar en este lugar sin la protección de la escollera, como se había supuesto originalmente, y las cantidades por dragar serían probablemente casi tan grandes después de algunos años, como las que existirían si la escollera no hubiera sido construída. Grandes dificultades en la conservación de la obra, deben esperarse en la época de Nortes.

Una escollera construída en el lado norte del canal, tendrá muy poco efecto sobre la sedimentación causada por el material acarreado a través del canal lateral. Las estructuras que podrían afectar esta sedimentación, sería una segunda escollera construída al sur de la desembocadura del canal lateral, y una esclusa situada en el extremo este del mismo canal.

Dos escolleras paralelas en la boca del canal lateral, podrían trabajar como muros de encauzamiento; si fueran construídas a una distancia conveniente la una de la otra, puede esperarse que la corriente sea lo suficientemente fuerte para mantener la misma profundidad entre ellas, como en el canal propiamente dicho. Sin embargo, existe una tendencia de depositarse sedimentación enfrente de la nueva boca, en el extremo de los muros de encauzamiento, y la formación de una nueva barra, después de algún tiempo, debe preverse. Las dificultades previstas con el acarreo litoral, por supuesto, también existirán con esta proposición.

Una esclusa prácticamente detendrá la corriente a través del canal, y consecuentemente detendrá por completo el transporte de sedimento por el mismo, pero debe esperarse que aumentará la cantidad de sedimento que sale por la desembocadura del río y, por lo tanto, el acarreo litoral que pasa por la boca del canal se aumentaría correspondientemente. Una esclusa tendría, por consiguiente, un

valor dudoso.

De lo anterior se puede ver que es prácticamente imposible que se evite que los sedimentos se sigan acarreado hacia el área enfrente de la boca del canal lateral. Todo lo que se puede lograr con la construcción de nuevas estructuras, será una protección para la parte interior, pero el acarreo total que tiene que pasar, quedará igual. La cuestión es ahora, si la capacidad de transporte puede suponerse suficientemente grande en la mayor profundidad, en que se obliga a tener lugar el transporte. No hay razón para creer en esto, ya que, como se explicó en el capítulo anterior, la capacidad de transporte es máxima en la zona donde las olas rompen, y esto ocurre en lugares bajos. La única posible solución será entonces detener el transporte de sedimento, aumentando continuamente la longitud de la escollera. Aun esta solución no es muy atractiva, ya que la capacidad para almacenar la arena del acarreo litoral, como se ha explicado anteriormente, es más bien limitada para una escollera de gran longitud.

La construcción de una escollera en la boca del río Grijalva es un problema extremadamente difícil, debido a que el subsuelo está formado de una arcilla muy blanda que, como se ha explicado anteriormente, se encuentra en el fondo del mar, tanto enfrente del canal lateral como en la desembocadura del río. La estabilidad de una escollera de piedra se ha examinado por medio de los círculos de deslizamiento. Como se indica en la lámina N°79, el resultado del examen es que la estructura fallará, si la resistencia al corte del subsuelo para profundidades del agua de 3 m., es menor de $1,35 \text{ t/m}^2$ y, para profundidades de agua de 6 m., menor de $2,0 \text{ t/m}^2$. Como la resistencia al corte promedio, de acuerdo con las investigaciones realizadas por esta Compañía, es

alrededor de $1,5 \text{ t/m}^2$ para la perforación en la orilla (III) y $1,0 \text{ t/m}^2$ para la perforación a 1 km. de la playa (VIII), se deduce que la estructura de piedra tiene un factor de seguridad menor de uno. La capa de arena de arriba contribuirá, naturalmente, en cierto modo a la estabilidad, pero su espesor es variable y esta contribución no es segura. En profundidades mayores, el efecto de la capa de arena es, en todo caso, insignificante, y su espesor se supone que disminuye con la distancia de la playa. Es de mencionarse que el empuje de las olas aumentaría los esfuerzos cortantes.

Varios otros tipos de escolleras han sido examinados, y el resultado es que el único tipo que puede satisfacer las condiciones de seguridad y economía, sería un espolón construido por medio de cajones de concreto armado, rellenos con arena en el fondo, como se indica en la lámina N°80. En este caso se ha tomado en cuenta la presión de las olas al calcular los esfuerzos cortantes. Los esfuerzos encontrados son de $0,9 \text{ t/m}^2$ para 3 m. de profundidad y $0,95 \text{ t/m}^2$ para 6 m. de profundidad, dando un factor de seguridad de poco más de uno en ambos casos (lámina N°79). Debe mencionarse, sin embargo, que sería de preferir un factor de seguridad un poco más alto, por ejemplo 1,5. Las resistencias al corte bastante bajas de la perforación N°VIII, no se conocían cuando fué hecho el diseño, y se resolvió esperar hasta que la ubicación del espigón fuera decidida y hasta que llegasen los resultados de las perforaciones del sitio exacto, antes de revisar el diseño. Se puede aumentar la seguridad ensanchando la base del espigón.

Se pueden dar las siguientes razones para la forma especial de esta estructura. En primer lugar, la estructura debe ser liviana; estructuras

pesadas pueden ocasionar grandes asentamientos o fallas. Hacer cimentaciones a grandes profundidades por medio de pilotes o cajones de aire comprimido, es muy caro y prácticamente fuera de lugar, ya que por las perforaciones realizadas se ha encontrado que la arcilla no aumenta en resistencia hasta una profundidad de 30 m. Las únicas estructuras realmente ligeras son los cajones sin rellenar, cuyas partes bajas y más pesadas se llevan hasta más abajo del fondo del mar. En la parte del cajón bajo el fondo del mar, puede substraherse el peso de la tierra dragada del peso de la estructura, para el cálculo de estabilidad. La colocación de la parte baja del cajón más abajo que el nivel del fondo del mar, tiene dos otros propósitos, es decir, aumentar la estabilidad contra el deslizamiento, y aumentar la seguridad contra el socavamiento. Las zanjas a ambos lados del cajón se rellenan con roca. Para los requisitos de estabilidad, se necesita una base bastante ancha de la estructura, aunque la parte superior puede ser muy angosta; esto es ventajoso, ya que disminuye el peso y el costo. Se propone construir los cajones en una dársena provisional, remolcándolos hasta el sitio. Para esta operación, se necesitaría montar un cofferdam provisional en cada cajón.

La arena que se deposite detrás del espigón, indudablemente ocasionará asentamientos y, es de esperarse, que la estructura sufra más asentamientos de este lado; puede que sea necesario, después de algunos años, aumentar la altura del espigón con objeto de evitar que la arena pase por encima de él. Esto puede ser hecho muy fácilmente, dejando preparado el hierro de refuerzo en la parte superior del cajón en tal forma que permita doblar las barras para formar el empalme con el muro de concreto vaciado en la corona del espigón, después de cortar algo del concreto. Otros métodos

con elementos prefabricados pueden ser investigados.

Para el arranque del espigón, será suficientemente estable un diseño más barato consistente en una pared de tablestacas de concreto reforzada con pilotes inclinados (lámina N°80).

B. - Un canal navegable se mantiene a través de la barra enfrente de la desembocadura del río.

Una cantidad considerable de dragado se necesitaría para abrir un canal a través de la barra. Un canal cuyo fondo tenga un nivel de $-7,0$ m. y un ancho de 300 m. y taludes de 1:5, por ejemplo requeriría teóricamente que se removiesen 5 mill. m^3 de material. La cantidad que en realidad se remueve probablemente será más grande, ya que alguna sedimentación se producirá durante el tiempo de dragado.

Para un canal sin protección, deben esperarse dificultades, tanto ocasionadas por los sedimentos transportados por el río, como por los sedimentos acarreados por la corriente litoral. Un canal de esta forma y profundidad no es natural para esta clase de desembocadura, y debe, por eso, esperarse que parte de los sedimentos transportados por el río, se depositen en él. Como en el caso del canal lateral, la arena arrastrada seguirá por el fondo de la zanja y allí se depositará, debido a la disminución de velocidades en la desembocadura. En el principio, no obstante, posiblemente parte de la arena será conducida a grandes profundidades enfrente de la barra. Sin embargo, es de esperarse que después de algún tiempo una gran parte de la arena acarreada por el río se depositará en el canal, y habrá necesidad de removerla con dragado.

Un canal sin protección, en línea con el eje del río, estará sumamente expuesto a las posibles tormentas procedentes del noreste al noroeste.

Las olas causarán erosión en la barra a ambos lados de la zanja y el material erosionado allí será acarreado sin duda alguna a la zanja y se asentará allí. La disminución repentina de profundidades en la zanja, ocasionada por las tormentas, será un grave inconveniente para la navegación. Es prácticamente imposible juzgar qué cantidad de material será acarreado hacia la zanja, o en cuánto se puede reducir la profundidad durante un Norte. Desde 1938 hasta 1940, las cantidades que se han socavado del lado norte de la barra han sido de 5 mill.m³ por año. Estas cantidades dan una idea de lo que son capaces de mover las fuerzas marinas en ese lugar. El costo para conservar abierto un canal sin protección, a través de la barra, sería probablemente muy alto. El arenamiento durante las tormentas puede causar grandes inconvenientes para la navegación.

La protección de un canal a través de la barra se puede lograr con la construcción de muros de encauzamiento. Una escollera sola sería en este caso de poco valor. Un proyecto para la construcción de muros de encauzamiento en la desembocadura del río Grijalva fué hecho ya en el año de 1889, y proposiciones semejantes se han hecho durante los 60 años que han transcurrido desde esa fecha.

Las escolleras de encauzamiento obligarán al flujo del río a correr por el canal dragado a través de la barra y es de suponerse que una sección transversal similar a la que hay aguas arriba en el mismo río, se podrá mantener sin trabajos de dragado de mucha importancia. Si las escolleras de encauzamiento se construyen al mismo tiempo que se inicia el dragado del canal, la corriente posiblemente puede ayudar en remover la barra. Por otro lado puede ser que el contenido de arcilla que hay en la arena de la barra, haya hecho ésta tan resistente a la erosión, que no habría

razón para creer que el dragado podría evitarse por completo.

Los sedimentos acarreados fuera de la boca del río, tendrán una tendencia a depositarse enfrente de la nueva boca formada por los extremos de las escolleras, y una nueva barra podrá formarse después de un determinado número de años. El problema de si una barra se podrá formar en este caso, se tratará al final de este artículo. El transporte de aluvión será especialmente grande en el período inmediato después de la construcción de las escolleras, cuando el canal está formándose por la erosión en el fondo entre las escolleras e inmediatamente aguas arriba de ellas. Posteriormente es de esperarse que el transporte de material disminuya hasta la cantidad que es normal en este río. La cantidad que probablemente será llevada del fondo, después de dragar un canal de las dimensiones mencionadas anteriormente y antes de llegar a una situación estable, se calcula que llegue a unos 6 mill.m³.

Ahora llegamos al problema de si es aconsejable cerrar el canal lateral. Esto no es una cuestión tan simple, ya que tanto la descarga de agua como la cantidad de sedimentos acarreados por la nueva boca formada por las escolleras, aumentarían. El flujo, y por lo tanto la profundidad del canal entre las escolleras, aumentarían, y sería acarreada mayor cantidad de material para ser depositada en la barra. Se juzga que no tiene gran importancia cerrar o no el canal, ya que en todo caso probablemente se llenará paulatinamente en el curso del tiempo.

Escolleras convergentes o paralelas pueden ser construídas y ambas disposiciones son soluciones razonables. Las escolleras paralelas indudablemente darán un buen alineamiento a la corriente, pero en este caso tendrían que ser más largas y construídas en tal forma, que se prote-

jan contra el efecto del socavamiento a lo largo de ellas. Esta solución, por lo tanto, sería la más cara. Muros de encauzamiento convergentes darían más protección contra el oleaje, debido al alargamiento del frente de olas, después de haber pasado las olas la entrada. Escolleras convergentes como mostradas en la lámina N°81, por consiguiente, sería la mejor solución para este caso. En caso que se experimentaran algunas dificultades en mantener la corriente concentrada después de la construcción de escolleras convergentes, se podrían construir estructuras más baratas a lo largo del canal de navegación, para lograr este propósito. Generalmente la boca de estas escolleras se construyen en sus extremos con una inclinación tal, que se obliga a la corriente del río a moverse en dirección de la corriente litoral. Sin embargo, el cambio de dirección debería ser muy pequeño, ya que una curva pronunciada probablemente causaría cierta inestabilidad del canal.

Las bastante buenas condiciones de navegabilidad que existen en el río, desde el canal lateral hasta Tres Bocas, es el resultado en parte de la acción de corrientes ocasionadas por las mareas. Debe procurarse, por consiguiente, que las nuevas estructuras no reduzcan demasiado las corrientes causadas por las mareas. No se ha anticipado que la resistencia contra la entrada de la ola de marea se aumente con la construcción de las escolleras, al contrario, podría más bien reducirse algo.

Podría mencionarse que se han obtenido a menudo mejoras en las profundidades al regularizarse el estuario del río en tal forma que se permita que la ola de marea penetre más libremente y que la corriente de bajamar aumente en fuerza. En el caso presente, la ola de marea en la parte baja del río, encuentra tan pocas obs-

trucciones, que muy pocas mejoras podrían obtenerse, especialmente, ya que la acción de la ola de marea no es muy grande comparada con las costas típicas de mareas, donde tales trabajos de regularización han tenido éxito.

Un posible acarreo litoral de la costa al este del río, podría hasta cierto punto ser detenido por los muros de encauzamiento. La línea de costa avanzaba hacia fuera con cierta velocidad que depende de la capacidad de almacenamiento y de la magnitud del transporte de arena. Las nuevas líneas de costa se dispondrían en ángulo recto con el vector del acarreo litoral. En la lámina N°85 se ha mostrado una posible línea de costa futura trazada en la suposición de que la pendiente de la playa desde el extremo de las escolleras haya aumentado hasta 1:300. La correspondiente capacidad de almacenamiento es de 40 mill. m³. Como el acarreo litoral del este se estima que sea considerablemente menor que 1 mill. m³ por año, se ve que hay razón para esperar que habrá grandes dificultades debido al avance hacia fuera de la costa durante un gran número de años.

La cuestión principal en relación con el proyecto de muros de encauzamiento es, si las fuerzas marinas serán suficientes para evitar la formación de una nueva barra enfrente de la abertura. Como la acción de las olas en profundidades de 7 m. probablemente será muy pequeña, la posible remoción de los materiales debe ser hecha por las corrientes. Con el tamaño de grano de 0,1 a 0,2 mm. de la arena, tal y como la encontrada en la actual barra, una velocidad de 0,2 a 0,4 m/seg. es necesaria para iniciar el movimiento de la arena a lo largo del fondo del mar. Para que se arrastre una mayor cantidad de arena se necesitarán, por consiguiente, corrientes más fuertes y estas corrientes deberán existir la mayor parte del año, si hay que tener las mismas profundidades todo el año.

Hay muy poca razón para creer que hay suficiente capacidad de transporte en este caso, y entonces hay gran riesgo de que se efectuará sedimentación enfrente de la desembocadura. Después de cierto tiempo, que dependerá de la capacidad de almacenamiento, se necesitaría dragar con objeto de conservar las profundidades necesarias para la navegación. Para que se forme una barra del tamaño y forma de la que actualmente existe en la desembocadura del río, tomará cierto número de años, pero debido a lo plano del fondo del mar, una barra de solamente 1 m. podrá impedir la navegación. Por consiguiente, hay riesgo de que después de un período bastante corto haya necesidad de dragar.

Como las capas de arcilla inmediatamente debajo de la arena, son justamente tan blandas aquí como las que se encuentran en la desembocadura del canal lateral, los problemas con respecto a la estabilidad de las escolleras, son más o menos los mismos. Una estructura liviana debería usarse, similar a la que se ha propuesto construir para el canal. La estructura deberá ser protegida contra el socavamiento, especialmente en los extremos.

C. - Un nuevo canal lateral para barcos de gran calado se draga en el lado este de la boca.

Como se sabe que la arena que arrastra el río, al llegar a la desembocadura, es acarreada a lo largo de la costa en una dirección oeste, vale la pena estudiar la posibilidad de construir un canal lateral en el lado este de la desembocadura.

Como la boca de este canal estará localizada en la zona de la costa que está expuesta a la fuerza de las olas que vienen hacia ella en una dirección normal, se considera absolutamente necesario proteger la entrada del canal con rompeolas. Sin ellos, una sola tormenta podría llenar

el canal con arena, al grado de cerrar el canal para barcos grandes durante largos períodos. Es muy difícil calcular la cantidad de arena que habría necesidad de remover con dragado, si no se hicieran obras de defensa, pero es de estimarse que las cantidades serían suficientemente grandes, como para justificar la construcción de escolleras únicamente por razones económicas.

Las escolleras en este caso, interfieren con el acarreo litoral a lo largo de la costa y el problema de que haya posibles cambios en la línea de costa y en las profundidades cerca de la costa, debe por lo tanto ser considerado. No se ha anticipado que se presenten grandes dificultades a este respecto, ya que las escolleras se llevarán hasta suficientes profundidades. El vector del acarreo litoral es más o menos perpendicular a la costa, y las nuevas líneas de costa que se formarán, serán prácticamente paralelas a la antigua línea de costa. Posiblemente se formen depósitos en el lado este, ya que la dirección del acarreo litoral es principalmente hacia el oeste. El avance hacia el mar de la costa, se hará poco a poco, ya que el depósito de material se distribuye en una zona muy grande de ella. La cantidad estimada de los depósitos, se indica en la lámina N°85. Las cantidades que pueden ser almacenadas, son de la misma magnitud que para el caso de las escolleras en la desembocadura del río. Normalmente debe esperarse erosión en el lado de sotavento, en este caso hacia el oeste de los muros de encauzamiento. Debido a la presencia de la boca del río, el riesgo, sin embargo, no es muy grande.

La longitud necesaria de las escolleras de encauzamiento dependerá de la profundidad requerida en el canal de navegación. Lo más seguro sería indudablemente extenderlas hasta el extremo del canal a través de la anteplaya. Esto es, sin

embargo, una solución muy cara y se propone por lo tanto proteger únicamente la parte interior del canal. En la lámina N°82, el fondo del canal se ha considerado hasta la cota de -7 m. y las escolleras se llevan hasta la profundidad de -6 m. debajo del nivel de agua mínima. Con esta solución habrá necesidad de hacer dragados de conservación en la parte no protegida del canal, pero se considera que esos trabajos no serán excesivos.

Las escolleras deben ser construídas en tal forma, que se obtengan las mejores condiciones para la navegación. Dos diques paralelos, con una distancia entre ellos correspondiente al ancho del canal, probablemente no llenarán este requisito. Los barcos tendrán en este caso que navegar exactamente en la misma dirección del canal cuando entraran, independientemente de la dirección de los vientos. Esto permitiría también la libre entrada de las olas en el canal. Se propone dar una curvatura a la escollera del este, con el objeto de formar una dársena de entrada amplia.

Se sugiere que el canal se excave lo suficientemente ancho, para permitir el paso de un solo barco. Los barcos que llegaran, tendrían que esperar en la rada, en caso que en esos momentos otro barco venga por el canal en sentido contrario. Se ha juzgado necesario dotar al canal de una esclusa, con objeto de evitar corrientes en el canal y el transporte de sedimentos procedentes del río, lo que ocasionaría rellenos en la dársena entre las escolleras. Las corrientes fuertes podrán obstaculizar la navegación y causar erosión en los taludes sin protección del canal. Un canal sin corriente produce menos trastornos en la parte baja del río y en la barra. Una esclusa es desde luego inconveniente para el tráfico, pero es de tenerse en consideración que prácticamente no existen diferencias de nivel en las aguas a ambos lados de la esclusa, y el tiempo necesario para

pasar por ella sería muy corto.

Especiales precauciones deberían tomarse en la entrada del río al canal, con objeto de evitar excesivas sedimentación y erosión. La forma debe ser adecuada para la navegación. Si se construyen modelos a escala, probablemente resultaría una buena manera de resolver este problema. La entrada debe ser situada en un lugar bastante río adentro como para tener profundidades suficientes, como por ejemplo enfrente del actual canal lateral, donde se encuentran profundidades de 7 a 8 m. La longitud del nuevo canal sería entonces de 4 km. en tierra y 3 km. a través de la anteplaya.

Alguna mejora en la profundidad del río se puede obtener probablemente al cerrarse el actual canal lateral. Sin embargo, se recomienda no hacer nada a este respecto, ya que la naturaleza probablemente hará este trabajo.

Debe esperarse que las nuevas estructuras tendrán influencia en las condiciones de la desembocadura del río. La erosión que se produce en el lado de afuera de la barra, la que desde ya está obrando en su remoción, aumentará probablemente debido a la ausencia del acarreo litoral procedente del este, y es posible que el río pueda algún día volver a estar en las condiciones en que se encontraba antes de 1912, cuando el canal a través de la barra estaba en línea con el eje del río. Si esto sucediera, es posible que se produzca sedimentación nuevamente al norte de la barra, en el lugar donde se ha venido removiendo material durante los últimos años.

Los posibles cambios descritos antes, tienen solamente muy poca influencia en las condiciones que prevalezcan en la boca del nuevo canal, pero se ve que es necesario situar la entrada del mismo a una distancia razonable de la desembocadura del río.

D. - Otras soluciones.

Los proyectos que se han tratado antes, permiten a barcos de gran calado entrar en el río. Sin embargo, existen alternativas más baratas que no satisfacen esta condición.

Una de las soluciones es construir un puerto en la costa conectándolo con el río por medio de un canal para tráfico de río. Esta solución bajaría el costo del canal. Los gastos de la construcción de los muelles del puerto serían, sin embargo, de la misma magnitud que para las escolleras de las proposiciones que consideran la entrada de barcos en el río. Como los muelles significan la parte principal del costo, los ahorros obtenidos en el canal no son lo suficientemente grandes como para hacer esta proposición muy atractiva.

El alto costo de un puerto ordinario se debe a la costa plana que necesita muelles muy largos. Una considerable reducción en el costo se puede obtener, construyendo un muelle abierto en lugar de un puerto, pero esta solución desde luego no ofrece mucha protección para los barcos en caso de tormentas. Los barcos en este caso tendrían probablemente que abandonar el muelle.

Como se debe evitar los movimientos innecesarios en la manipulación del plátano, se sugiere que los lanchones que lo transportan se conduzcan hasta el muelle en carros especiales que se moverán sobre rieles. Un deslizadero se necesitaría construir, para llevar los lanchones desde el río hasta la vía.

El proyecto se muestra en la lámina N°83. Tanto el morro como el puente de acceso serán estructuras abiertas sobre pilotes de concreto, lo que permitiría el paso libre de las corrientes y del acarreo litoral. El morro debería estar localizado a una profundidad mayor que la teóricamente necesaria para permitir que disminuya algo la pro-

fundidad. El muelle podría posiblemente extenderse más tarde sin que significara un mayor gasto. se ha localizado al suroeste del canal lateral debido a que allí las mayores profundidades se encuentran más cerca de la playa. Debe mencionarse que una alternativa posible de esta proposición sería llevar los lanchones hasta el morro por un canal. Se necesitaría una esclusa en el extremo interior del muelle.

La solución más barata, que también permite el transporte del plátano, aun en condiciones en que los lanchones no pueden salir al mar, es la construcción, hasta cierta distancia de la costa, de un aerocarril suspendido en torres colocadas en el mar (ver lámina N°84). Los barcos se anclarían en tal forma que pudieran recibir los plátanos directamente del aerocarril. Un muelle liviano podría ser construido a lo largo del aerocarril. Los plátanos tendrían que transportarse suspendidos en cajas especiales.

E. - Comparación económica de varias soluciones.

Vamos a dar ahora una comparación económica de las tres principales soluciones que permiten a los barcos entrar al río.

Los factores determinantes para escoger la mejor solución debe ser el costo inicial y el costo de operación, lo mismo que las ventajas y desventajas para el tráfico. Con objeto de comparar, se han tomado en consideración no solamente el costo inicial, sino también los gastos anuales, calculados añadiendo el 5 % del costo inicial a los gastos de mantenimiento y operación. Es de comprenderse, desde luego, que gastos anuales calculados en esta forma, dan únicamente una idea muy pobre de la verdadera solución. Es teóricamente posible que una proposición con una inversión inicial baja, en algunos casos deba preferirse, aunque los gastos anuales no sean mínimos para esta proposición especial.

(págs. 167-
168)

La comparación económica de las proposiciones principales I a III se indica en la adjunta tabla. Para cada proposición y para las dos variantes de las proposiciones II y III, el costo inicial ha sido estimado como la suma de los costos de construcción y dragado, y los gastos anuales han sido calculados originados por el costo de dragado, mantenimiento, operación, intereses y depreciación. Todos los costos deben tomarse con la reserva de que únicamente muestran la magnitud relativa. Cifras correctas del costo exacto necesitarían estudios especiales para cada proposición. La estimación del costo relativo del mantenimiento del dragado es especialmente difícil, y las cifras que se dan deben, por consiguiente, tomarse con reserva.

El resultado de esta comparación económica es que los gastos anuales más bajos calculados, corresponderían a la proposición número III, o sea la construcción de un canal al este del río. La construcción de un muelle abierto o un aerocarril implicaría, sin embargo, un costo inicial menor.

F. - Observaciones finales.

Ha sido la intención de la Compañía presentar todos los hechos, teorías y proposiciones relativas al problema de Frontera de tal modo que sea posible para la Secretaría de Marina tomar sus propias decisiones respecto de los trabajos a llevarse a cabo.

La sinopsis y la introducción de este reporte constituyen un sumario de nuestras recomendaciones.

PROPOSICIONES	I	II		III	
	2.200 m. de escollera en el actual canal lateral (ver lámina 80)	Escolleras de encauzamiento (ver lámina 81)		Canal para barcos de gran calado al este del río (ver lámina 82)	
Morro de la escollera	a - 6,0 m.	a - 6,0 m.	a - 7,0 m.	a - 5,0 m.	a - 6,0 m.
<u>Costo inicial:</u>					
Escolleras, muelles	32.000.000	73.000.000	139.000.000	50.000.000	101.000.000
Dragado o excavación	10.000.000	21.000.000	21.000.000	16.000.000	16.000.000
Esclusas	-	-	-	4.000.000	4.000.000
Total pesos mexicanos	42.000.000	94.000.000	160.000.000	70.000.000	121.000.000
<u>Gastos anuales:</u>					
Dragado	6.000.000	4.000.000	2.000.000	2.000.000	500.000
Mantenimiento de estructuras	300.000	700.000	1.400.000	500.000	1.000.000
Operación	-	-	-	300.000	300.000
Conservación anual	6.300.000	4.700.000	3.400.000	2.800.000	1.800.000
<u>Interés y depreciación:</u>					
5 % del costo inicial	2.100.000	4.700.000	8.000.000	3.500.000	6.000.000
Total pesos mexicanos	8.400.000	9.400.000	11.400.000	6.300.000	7.800.000

LISTA DE REFERENCIAS

a. Reportes y documentos relativos al problema de Frontera

1. Reporte hecho por la Comisión Hidrográfica 1909-11. Ing. Carlos Miramón.
2. Reporte hecho por la Comisión Geográfica y Exploradora de 1910.
3. Reporte de la North American Dredging Co. 1913, preparado por E.R.Davis y Scott M.Handley.
4. Estudio de las Obras de Mejoramiento del Puerto de Frontera, Tab., en la Desembocadura del Río Grijalva. México, D.F., a 5 de Diciembre de 1935. Fernando Dublan.
5. Reporte hecho por Ing. Roberto Mendoza Franco, en julio de 1939, para la S.C.O.P.
6. Enrique Fremont: La Barra de Grijalva, Revista Mexicana de Ingeniería y Arquitectura, 1942.
7. Informe preliminar para la construcción del puerto de Álvaro Obregón (Frontera), Tab. Propuesta por Merrit-Chapman & Escott Corp. Julio de 1947.
8. Obras de escolleras y portuarias de Álvaro Obregón, Tabasco. -
 Ponencia que presentan todos los sectores sociales del estado de Tabasco, a la atenta consideración del C. Licenciado Miguel Alemán, candidato del P.R.I. a la presidencia de la República para el sexenio 1946-1952. (Enero de 1946).

b. Mapas y croquis de la desembocadura del río Grijalva

1. Plano topográfico de la barra principal de la provincia de Tabasco, y parte de su río hasta el pueblo nuevo de San Fernando de la Victoria, levantado por orden de Francisco de Heredia y Vergara, gobernador político y militar de esta provincia y coronel de los reales ejércitos de S.M., trabajado por Tomás Avendaño, primer piloto del comercio. (el año no se menciona).
2. Plano de la barra de Tabasco, por José D. Payán, mayo 1861.
3. Plano mostrando una parte del pueblo de Frontera, la barra de Tabasco y profundidades en el río, por José D. Payán, 1868.
Escala 1:50.000.
4. Dos croquis, por el capitán Green del U.S.S. FORTUNA, 1874
5. Plano de la barra de Grijalva, por el ingeniero Cayetano Camiña, 1879.
Escala 1:20.000.
6. Plano del puerto de Frontera mostrando la ubicación de las escolleras de encauzamiento diseñadas para su mejoramiento, por Willard S. Isham, diciembre 1889.
Escala 1:5.000.
7. Plano del puerto de Frontera, septiembre 1892.
Escala 1:20.000.
8. Plano por A. A. Moll, 1893.
9. Plano de la barra de Frontera, por Joaquín Mendi-zábal Tamborrel, 1894.
Escala 1:20.000.
10. Plano de la barra de Frontera, Tabasco, por José Tamborrel, 5 de mayo de 1902.
Escala 1:20.000.
11. La barra de Tabasco y parte de Frontera, croquis publicado en Los Ríos de Tabasco, por Pedro A. González; 1906.
Escala 1:200.000.

- b. 12. Desembocadura del río y área frente a la desembocadura. Comisión Hidrográfica. Junio 1909.
Escala 1:10.000.
13. Desembocadura del río. North American Dredging Co. 1911.
14. Carta marina N°2753 de la Hydrographic Office, Washington, publicada en mayo de 1915 sobre la base de un levantamiento hidrográfico hecho por la North American Dredging Co. 1913.
Escala 1:18.396.
15. Canal lateral y desembocadura del río; S.C.O.P. Octubre 1926.
Escala 1:5.000.
16. Plano de sondeos en la barra; S.C.O.P.. Octubre Octubre 1926.
Escala 1:5.000.
17. Plano de salida y entrada al canal (con información relativa a vientos y corrientes). Septiembre 1927.
Escala 1:2.500.
18. Área enfrente de la desembocadura del canal lateral. Dept. de Obras Marítimas y V. Navegables. Agosto 1929.
Escala 1:1.000.
19. Canal lateral y desembocadura del río; S.C.O.P. Septiembre 1931.
Escala 1:5.000.
20. Desembocadura del canal lateral; S.C.O.P. Agosto 1931.
Escala 1:2.000.
21. Desembocadura del canal lateral; S.C.O.P. Septiembre 1931.
Escala 1:2.000.
22. Canal lateral (largo completo); Cía. Naviera San Cristóbal, S.A. Diciembre 1933.
Escala 1:2.000.
23. Canal de Grijalva; Puerto de Álvaro Obregón, México. Noviembre 1934.

- b. 24. Canal lateral y desembocadura del río; S.C.O.P.
Diciembre 1938.
Escala 1:5.000.
25. Canal lateral y desembocadura del río; Secretaría
de Marina; octubre 1941.
Escala 1:10.000.
26. Desembocadura del río con las líneas de las escolle-
ras de encauzamiento propuestas; Secretaría
de Marina; mayo 1947. (sin curvas de nivel)
Escala 1:10.000.
27. Desembocadura del canal lateral y área enfrente del
mismo; Secretaría de Marina; julio 1948.
Escala 1:10.000.
28. Canal lateral; Secretaría de Marina; agosto 1948.
Escala 1:2.000.
29. Canal lateral; Secretaría de Marina; octubre 1948.
Escala 1:2.000.
30. Canal lateral; Secretaría de Marina; diciembre 1948.
Escala 1:2.000.
31. Canal lateral; Secretaría de Marina; enero 1949.
Escala 1:2.000.
32. Canal lateral; Secretaría de Marina; febrero 1949.
Escala 1:2.000.
33. Canal lateral; Secretaría de Marina; marzo 1949.
Escala 1:2.000.
34. Canal lateral; Secretaría de Marina; noviembre 1949.
Escala 1:2.000.

c. Literatura con información relativa a la zona que tiene influencia en las condiciones de la desembocadura del río

1. Bernal Díaz del Castillo: La Conquista de México. - Madrid. 1632
2. Domingo González Carranza: Una descripción geográfica de las costas, abrigos y puertos de las Indias Occidentales Españolas (escrita en 1718). - Londres. 1740
3. Thomas Jefferys: Una descripción de las Islas Españolas y establecimientos en la costa de las Indias Occidentales. 1762
4. Derrotero de las Islas Antillas, de la costa de tierra firme y de las del Seno Mexicano. Reimpreso por orden de Guadalupe Victoria, en 1825
5. A. Humboldt: Essai sur la Nouvelle Espagne. (Ensayo sobre la Nueva España) 1827
6. Antonio de Solís: Historia de la Conquista de México, Población y Progresos de la América Septentrional, conocida por el nombre de Nueva España 1838
7. Peter Masters: Observaciones sobre el Golfo de México, con notas sobre Tampico y sus alrededores, y sobre la navegación del río Tabasco. 1844
8. Mühlenfordt: Die Republik Mejico (La República Mexicana) 1844
9. Heller: Reisen in Mexico (Viajes en México) 1853
10. Fancourt: History of Yucatan (Historia de Yucatán) 1854
11. Exposición dirigida por el Sub. Gab. del Est. al Sob. Congreso Constituyente de la Nación etc., en 4 de junio de 1856

- c. 12. Calixto Díaz: Descripción geográfica de la costa que pertenece al Departamento de Tabasco, desde Puerto Escondido hasta la barra de Tonalá, 1838. Boletín del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (ahora Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística) - México. 1861
13. Capitán Barnett: The West India Pilot; edición de 1861
14. Capitán José D. Payán: Información geográfica de la zona de Tabasco. 1861
15. Dr. Berendt: Remarks on the Centers of Ancient Civilization in Central America and their Geographical Distribution. (Observaciones sobre los centros de civilización antigua en la América Central, y su distribución geográfica) American Geographic Society. (1869?)
16. Bernardo de Águila F.: Tabasco, el medio físico.
17. Manuel Gil y Sáenz: Compendio histórico, geográfico y estadística del estado de Tabasco. 1872
18. José Ugalde: Las inundaciones en el estado de Tabasco. Bol. Soc. Mex. Geogr. y Estad. 7: 391-96.
19. Antonio García Cubas: Diccionario geográfico, histórico y biográfico. 1888
20. José N. Rovirosa: Ensayo histórico sobre el río Grijalva. 1893
(reimpreso 1946)
21. José N. Rovirosa: Viaje a Teapa y a las sierras que concurren a la formación de su valle. 1893
22. León Alejo Forre: Álbum del Grijalva (conteniendo descripción por José N. Rovirosa). 1893

- c. 23. Dr. Daniel Brinton: The battle of the ruins of Cintla. (La batalla de las ruinas de Cintla. - Basado en notas por el Dr. C.H. Berendt, quien visitó y examinó las ruinas en marzo y abril 1869) The American Antiquarian. Septiembre 1896
24. Relación de la Villa de Santa María de la Victoria, 1579 (impresa en Documentos Inéditos, Relaciones de Yucatán, Madrid). 1898
25. Emilio Böse: Reseña acerca de la geología de Chiapas y Tabasco, México. 1903
26. Pedro A. González: Los Ríos de Tabasco. Memoria presentada a la Asociación de Ingenieros y Arquitectos de México. 1910
27. Pedro A. González: El mejoramiento de la desembocadura de los ríos.
28. Pedro A. González: Los Puentes de FC del Sureste.
29. Derrota de las Costas de la República Mexicana. Primer Tomo. 1922
30. F. Termer: Die gegenwärtigen wirtschaftlichen und sozialen Zustände in den mexikanischen Staaten Chiapas und Mexico (La situación económica y social actual de los estados mexicanos de Chiapas y México). - Ebenda, 38. 1927
31. Señales Marítimas de los Estados Unidos Mexicanos. 1935
32. Control y aprovechamiento del río Grijalva, por la Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1947
33. Jorge L. Tamayo: Datos para la Hidrología de la República Mexicana. - México, D.F. 1946
34. Ing. Roberto Mendoza Franco: Política Portuaria. 1946

- c. 35. **Industrias Higgins: Estudio sobre México, hecho para el Banco de México, S.A.** 1945
36. **Sailing directions for east coast of Central America and Mexico (Instrucciones de navegación para la costa este de la América Central y México).** United States Navy Dept.
37. **West Indies Pilot; Volumen I.**
38. **Tide Tables, East Coast, North and South America (Tablas de mareas, coste este de las Américas del Norte y Sur), publicadas por el U.S. Department of Commerce.**
39. **Northers of Mexican and Central American Waters (Nortes en aguas de México y América Central), artículo en el dorso de la Pilot chart of the Central American Waters (N°3500).** Septiembre 1947
40. **Boletín Anual del Servicio Meteorológico Mexicano; Tacubaya, D.F.**

d. Mapas del área de captación del sistema fluvial de Grijalva-Usumacinta

1. Tabasco; Melchor de Alfaro. (1579)
2. Yucatán - Guatemala; J. Bleau. (1667)
3. Andrade. 1704
4. Tabula Micae et Floridae; Petrum Schenck. 1708-15
5. Sur de México y parte de la América Central; de "A Geographical Description of the coasts of the Spanish West-Indian" alr.de 1718
6. Plano de la Laguna Port Royal; de "A Description of the Spanish Islands and Settlements", por Thomas Jefferys 1762
7. The West-Indies; Thomas Jefferys 1768
8. (New) Spain from Vera Cruz to Triste Island (Nueva España de Vera Cruz a la Isla Triste); Thomas Jefferys, Geographer to H.M. (Geógrafo de S.M.). 1775
9. Tabasco etc.; de Solís: "Historia de México." alr.de 1783
10. Plano que manifiesta los ríos y tierras navegables del estado de Tabasco; por el Ing. Contreras. sin fecha
11. Plano de Tabasco; por Miguel de Castro y Aráoz. 21 de julio de 1803
12. Carte de Mexique (de un mapa por A. Humboldt) 1811
13. Parte del río Tabasco y sus tributarios; Peter Masters. 1844
14. Plano del departamento de Tabasco en la República Mexicana, dedicado al Sr. General M. Tornel, por Juan Orozco. 1845

- d. 15. Der Rio Tabasco od. Grijalva und der Rio Seco de Chiltepec (El río Tabasco o Grijalva y el río Seco de Chiltepec), de "Reisen in Mexico" (Viajes en México), por Carl Heller. 1847
1853
16. Map of Central America (Mapa de la América Central), por John Bailey, Esq., R.M. (publicado en Londres en noviembre de 1850) 1850)
17. Parte de Yucatán, Laguna de Términos; de "Reisen in Mexico" (Viajes en México), por Carl Heller. 1853
18. Yucatán y los territorios adyacentes de los Itzaex o Indios Mayas, los Tiuans, Quecheachis, Mopanés, Lacandones, Cholís, etc. con el distrito de Vera Paz, como los conocieron los españoles en el primer descubrimiento de la Península, en 1506, hasta el final del Siglo XVII, mostrando también la ruta probable de Cortés en su marcha de México a Honduras; por Dudley Costello, Esq. (Anexo a Fancourt: Historia de Yucatán). 1854
19. Plano General del Departamento de Tabasco; por los agrimensores Romualdo Carrascosa y Félix Roberto Shields. 1854
20. Map of Central America (Mapa de la América Central); Committee of Foreign Relations, Senate of U.S. Marzo de 1856
21. Atlas geográfico, estadístico e histórico de la República Mexicana, formado por Antonio García Cubas. Tabasco. 1858
22. Map of the Ruins of Cintla (Plano de las ruinas de Cintla), según el Dr. D.H. Berendt. Publicado por Hakluyt Society en 1908 en "The Conquest of New Spain".
Escala 1 pulg.= 5 millas terrestres. 1869
23. Parte del plano de la República Mexicana, de Antonio García Cubas. 1878
24. Plano general del río Grijalva; George Foot. 1884

- d. 25. Plano general del río Grijalva;
calcó R. Manero. 1884
26. Plano o croquis de las barras de Dos Bocas
y Chiltepec; por el Ing. José Dolores
Payán. 1º de octubre de 1887
27. Original del Plano general del estado de
Tabasco; por Adolfo Alomía G.
29 de enero de 1890
28. Plano general del estado de Tabasco;
por Adolfo Alomía G.
Escala 1:412.500. 29 de enero de 1890
29. Plano del estado de Tabasco; construido
el 1890 por el Ing. Adolfo Alomía G.
Escala 1:500.000. 1890
30. Plano del estado de Tabasco;
Prof. Alberto Correa.
Escala 1:412.500. 1891
31. Bosquejo de una costa geológica de la
República Mexicana, por Antonio del
Castillo.
Escala 1:10.000.000. 1891-92-93
32. Mapa hipsométrico de los estados de
Chiapas y Tabasco. Instituto Geoló-
gico de México.
Escala 1:1.000.000. 1895
33. Plano anexo a la reseña económica del es-
tado de Tabasco, por el Prof. Alberto
Correa.
Escala 1:825.000. 1898
34. Carta general del estado de Tabasco, levan-
tada por el Prof. J. F. Christen.
Escala 1:255.812. 1900
(Casi idéntica al Plano del estado
de Tabasco, levantado por el Prof. m.
Castellanos R.).
35. Plano del estado de Tabasco, levantado por
el Prof. M. Castellanos R.
36. Gulf of Campeche (Golfo de Campeche); de
"The Conquest of New Spain" 1908

- d. 37. Estudio del puerto de Frontera. Levantamiento rápido del río Grijalva. Comisión Hidrográfica, División del Golfo. Escala 1:50.000. Julio de 1909
38. Plano del Grijalva y sus principales afluentes, levantado por I. Pedrero C. México. 9 de enero de 1914
39. Mexico Air Navigation Map (Mapa de México de navegación aérea). General Staff, U.S.A. (Estado Mayor de los Estados Unidos de América) Escala 1:500.000. 1936
 N - E 15 Norte - San Andrés Tuxtla
 N - E 15 Sur - Tehuantepec
 N - D 15 Norte - Guatemala City
40. Estudio de las obras del puerto de Frontera, Tab.; zona de influencia del puerto y reconocimiento del río Usumacinta. S.C.O.P., Roberto Mendoza Franco. Escala 1:500.000. Junio de 1939
41. Atlas climatológico de México. Secretaría de Agricultura y Fomento. 1939
42. Chiapas; Secretaría de Agricultura y Fomento, México. Escala 1:800.000. 1942
43. Mexico, Central America, and the West Indies; Atlas of the Americas; Sheet 1. (México, América Central y las Indias Occidentales; Atlas de las Américas; Hoja 1.) American Geographic Society of N.Y. Escala 1:5.000.000. 1944
44. Plano de conjunto de la línea del sureste. S.C.O.P. - Dir. Gral. de Const. de Ferrocarriles. México, D.F. Escala 1:500.000. Marzo de 1945
45. Carta general del estado de Tabasco. Levantada por la Dirección Geográfica, Meteorológica e Hidrológica de la Secretaría de Agricultura y Fomento. Escala 1:200.000. 1946

- d. 46. World Aeronautical Chart (Carta aeronáutica mundial); publicada por Aeronautical Chart Service U.S. Airforce (Servicio de cartas aeronáuticas, de la fuerza aérea de los Estados Unidos), Washington, D.C.
Escala 1:1.000.000.
- | | |
|----------------------------|------------|
| 644 - Istmo de Tehuantepec | Febr. 1948 |
| 645 - Bahía de Chetumal | Dic. 1947 |
| 710 - Golfo de Fonseca | Enero 1947 |
| 711 - Golfo de Tehuantepec | Abril 1947 |
47. Tabasco; Secretaría de Agricultura y Ganadería, México. (corrigido)
Escala 1:800.000. 1948
48. Mapas de la costa desde Veracruz hasta Laguna de Términos; por la Secretaría de Agricultura y Ganadería; edición preliminar.
Escala 1:40.000. Enero de 1948
49. Mapa de Suelos de México; Secretaría de Agricultura y Fomento.
Escala 1:5.000.000. Julio de 1942
50. Carta Geológica de la República Mexicana; Instituto de Geología.
Escala 1:5.000.000. 1942
51. Chiapas; Secretaría de Agricultura y Fomento; edición corregida en
Escala 1:1.000.000. 1942
52. Mapa Climatológico de la República Mexicana; Secretaría de Agricultura y Fomento.
Escala 1:5.000.000. 1946
53. Tabasco; Secretaría de Agricultura y Ganadería; edición corregida en
Escala 1:800.000. 1948

e. Cartas marinas del Golfo de México.

1. Vestindiske Farvande (Mares de las Indias Occidentales); Dansk Søkort-Arkiv (Archivo danés de cartas marinas). 1819
2. Carta particular de la parte sur del Seno Mexicano. sin fecha
3. Carta del Golfo de México y West-Indies. 1845
4. A chart of the Gulf of Mexico (Carta del Golfo de México); J.S.Hobbs F.R.G.S. Hydrographic. 1848
5. Carta marina del Golfo de México, levantada por The Coast and Geodetic Survey. 1906
6. Estudio del puerto de Frontera; Comisión Hidrográfica, División del Golfo. Junio de 1909
7. Plano del puerto de Tampico; Dirección de Puertos, Faros y M.M., Departamento de Puertos, José Garduño. Escala 1:20.000. 1924
8. British Marine Charts (Cartas marinas británicas), N°523 Plan of Alvarado harbour and coast at Vera Cruz (Plano del abrigo de Alvarado y costa de Veracruz).
9. British Marine Charts (Cartas marinas británicas), N°373 Plan of Coatzacoalcos river (Plano del río Coatzacoalcos)
10. British Marine Charts (Cartas marinas británicas) N°392 Western coast of Yucatan, southern and western part of Mexican gulf (Coste oeste de Yucatán, parte sur y oeste del Golfo de México)
11. British Marine Charts (Cartas marinas británicas) N°1205 Western coast of Yucatan (Costa oeste de Yucatán).
12. British Marine Charts (Cartas marinas británicas) N°2103.

- e. 13. British Marine Charts (Cartas marinas británicas) N°2626 Bay of Campeche (Bahía de Campeche).
14. British Marine Charts (Cartas marinas británicas) N°2854 The harbours of Vera Cruz and Tampico (Los abrigos de Veracruz y Tampico).
15. British Marine Charts (Cartas marinas británicas) N°3273 Mexican Gulf and Caribbean Sea (Golfo de México y Mar Caribe).
16. Nautical charts from Hydrographic Office, Washington (Cartas náuticas de la Oficina Hidrográfica de Washington) N°1048 Puerto México.
17. Nautical charts from Hydrographic Office, Washington (Cartas náuticas de la Oficina Hidrográfica de Washington) N°1225 Carmen & Apprs.W. Entrance (Carmen y aproches entrada oeste).
18. Nautical charts from Hydrographic Office, Washington (Cartas náuticas de la Oficina Hidrográfica de Washington) N°1228 P. Real Entrance (Entrada a Puerto Real).
19. Nautical charts from Hydrographic Office, Washington (Cartas náuticas de la Oficina Hidrográfica de Washington) N°1295 Campeche Bay (Bahía de Campeche).
20. Nautical charts from Hydrographic Office, Washington (Cartas náuticas de la Oficina Hidrográfica de Washington) N°1577 Tampico Harbour (Abrigo de Tampico).
21. Nautical charts from Hydrographic Office, Washington (Cartas náuticas de la Oficina Hidrográfica de Washington) N°2273 Port Vera Cruz (Puerto de Veracruz).

- e. 22. Nautical charts from Hydrographic Office, Washington (Cartas náuticas de la Oficina Hidrográfica de Washington) N°2606 Vera Cruz (Veracruz).
23. Nautical charts from Hydrographic Office, Washington (Cartas náuticas de la Oficina Hidrográfica de Washington) N°2753 Álvaro Obregón.
24. Nautical charts from Hydrographic Office, Washington (Cartas náuticas de la Oficina Hidrográfica de Washington) N°2760 Vera Cruz & Apprs. (Veracruz y aproches).
25. Nautical charts from Hydrographic Office, Washington (Cartas náuticas de la Oficina Hidrográfica de Washington) N°3500 Pilot charts of the Central American Waters (Cartas para pilotos de las aguas centroamericanas).

f. Literatura sobre problemas de acarreo litoral.

1. Munch-Petersen: Bølgebevægelse langs Kysten (Movimiento de las olas a lo largo de la costa) en Fysisk Tidsskrift Bind 16 (Revista física tomo 16) 1918.
2. Munch-Petersen: Materialwanderungen längs Meeresküsten ohne Ebbe und Flut (Acarreo de material a lo largo de costas de mar sin flujo y reflujo). Leningrado 1933.
3. Svend Svendsen: Materialvandring og Kystsikring (Acarreo de material y protección de la costa). Ingeniøren N°22, 1946.
4. Svend Svendsen: Munch-Petersens Formel for Materialvandring (Fórmula de Munch-Petersen para acarreo de material). Stads- og Havneingeniøren (Boletín del Ingeniero Municipal y del Puerto) Diciembre 1938.
5. Svend Svendsen: Coast Preservation Problems in Denmark (Problemas de preservación de costas, en Dinamarca). Shore and Beach (Costa y playa). Abril 1946.
6. Axel Schou: Det marine Forland (El promontorio marino). Copenhagen 1945.
7. Beach Erosion Board: Interim Report. Office of the Chief of Engineers, U.S. Army (Junta de la erosión de playas: Reporte provisional. Oficina del Jefe de Ingenieros, Ejército de Estados Unidos). Washington 1933.

g. Literatura sobre transporte de sedimento en los ríos.

1. A. A. Kalinske: Movement of Sediment as Bed Load in Rivers (Movimiento de sedimento como arrastre de fondo en los ríos) Trans. Amer. Geophys. Union. Capítulo 28, págs.615-20. 1947.
2. Lorenz G. Straub: Mechanics of Rivers, Physics of the Earth, IX Hydrology. (Mecánica de los ríos, física de la tierra, IX hidrología).

h. Literatura sobre regulación de estuarios de ríos.

1. XVIIth International Navigation Congress (XVII Congreso Internacional de Navegación). Lisboa 1949.
2. W. Franke: Bemerkenswerte Hafenanlagen in Mexico. (Establecimientos portuarios notables de México). En la revista Der Bauingenieur, 8 de septiembre de 1939, pág.471.

T A B L A S

Mediciones de velocidades de corriente (págs.189-227)
y de sedimentos en suspensión (págs.228-238) en la des-
embocadura del río Grijalva, de octubre a diciembre de
1 9 4 9

Mediciones de velocidades en Frontera

10 de octubre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
1	A ₃	5 ⁰⁵	11,70	0,30	1,29	+0,37	NE. (fuerte)
				3,93	1,20		
				7,86	1,08		
				11,10	1,03		
	A ₂	5 ²⁵	8,10	0,30	0,97		
				2,73	0,85		
				5,46	0,63		
				7,60	0,67		
	A ₁	5 ⁴⁵	4,20	0,30	0,85		
				1,43	0,83		
				2,86	0,77		
				3,70	0,63		
		6 ¹⁵				+0,33	
2	A ₃	8 ⁰⁰	10,00	0,30	1,32	+0,30	
				3,37	1,19		
				6,74	1,16		
				9,50	1,13		
	A ₂	8 ²⁶	6,30	0,30	1,03		
				2,13	0,95		
				4,26	0,88		
				5,80	0,68		
	A ₁	8 ⁴⁶	4,50	0,30	0,95		
				1,53	0,87		
				3,06	0,68		
				4,00	0,67		
		9 ⁰⁶				+0,27	
3	A ₃	11 ⁰⁰	9,60	0,30	1,32	+0,29	
				3,23	1,20		
				6,46	1,16		
				9,10	1,06		
	A ₂	11 ²⁰	5,60	0,30	1,06		
				1,90	0,88		
				3,80	0,79		
				5,10	0,63		
	A ₁	11 ⁴⁰	4,20	0,30	1,02		
				1,43	0,83		
				2,86	0,68		
				3,70	0,49		
		12 ¹⁰				+0,30	

Mediciones de velocidades en Frontera

10 de octubre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
4	A ₃	14 ⁰⁰	9,90	0,30	1,11	+0,45	NE.
				3,33	1,06		
				6,66	0,95		
				9,40	0,75		
	A ₂	14 ²⁵	6,00	0,30	0,85		
				2,03	0,75		
				4,06	0,65		
				5,50	0,54		
	A ₁	14 ⁵⁰	4,20	0,30	0,77		
				1,43	0,75		
				2,86	0,62		
				3,70	0,48		
		15 ⁰⁵				+0,49	
5	A ₃	17 ⁰⁰	10,35	0,30	1,02	+0,59	NE. (fuerte)
				3,48	0,93		
				6,96	0,93		
				9,85	0,68		
	A ₂	17 ²⁵	6,40	0,30	0,73		
				2,17	0,65		
				4,34	0,67		
				5,90	0,34		
	A ₁	17 ⁵⁰	4,50	0,30	0,79		
				1,53	0,73		
				3,06	0,54		
				4,00	0,40		
		18 ¹⁰				+0,60	
6	A ₃	19 ⁰⁰	10,50	0,30	0,97	+0,61	NE. (fuerte)
				3,53	0,75		
				7,06	0,53		
				10,00	0,81		
	A ₂	19 ²⁵	6,50	0,30	0,77		
				2,20	0,63		
				4,40	0,52		
				6,00	0,39		
	A ₁	19 ⁵⁰	4,50	0,30	0,77		
				1,53	0,68		
				3,06	0,51		
				4,00	0,41		

Mediciones de velocidades en Frontera

17 de octubre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
7	A ₃	5 ⁰⁵	8,80	0,30	0,79	+0,77	calma
				2,97	0,75		
				5,94	0,60		
				8,30	0,48		
	A ₂	5 ²⁵	6,00	0,30	0,71		
				2,03	0,68		
				4,06	0,51		
				5,50	0,45		
	A ₁	5 ⁴⁵	4,25	0,30	0,68		
				1,45	0,65		
				2,90	0,58		
				3,75	0,49		
		6 ⁰⁵				+0,77	
8	A ₃	8 ⁰⁰	7,50	0,30	0,81	+0,75	calma
				2,53	0,77		
				5,06	0,73		
				7,00	0,57		
	A ₂	8 ²⁰	5,30	0,30	0,77		
				1,80	0,71		
				3,60	0,63		
				4,80	0,55		
	A ₁	8 ⁴⁰	3,90	0,30	0,68		
				1,33	0,63		
				2,66	0,55		
				3,40	0,47		
		9 ⁰⁵				+0,72	
9	A ₃	11 ⁰⁰	8,30	0,30	0,91	+0,69	calma
				2,80	0,88		
				5,60	0,74		
				7,80	0,57		
	A ₂	11 ²⁰	6,10	0,30	0,79		
				2,07	0,79		
				4,14	0,71		
				5,60	0,61		
	A ₁	11 ⁴⁰	3,70	0,30	0,70		
				1,27	0,68		
				2,54	0,58		
		12 ⁰⁰				+0,64	

Mediciones de velocidades en Frontera

17 de octubre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
10	A ₃	14 ⁰⁰	8,05	0,30	1,11	+0,50	NE.
				2,72	1,03		
				5,44	1,02		
				7,55	0,91		
	A ₂	14 ²⁰	5,90	0,30	1,06		
				2,00	0,97		
				4,00	0,83		
				5,40	0,77		
	A ₁	14 ⁴⁰	3,50	0,30	0,73		
				1,20	0,68		
				2,40	0,60		
				3,00	0,54		
14 ⁵⁵					+0,44		
11	A ₃	17 ⁰⁰	8,10	0,30	1,13	+0,39	
				2,73	1,06		
				5,46	0,93		
				7,60	0,87		
	A ₂	17 ²⁰	5,85	0,30	1,08		
				1,98	0,95		
				3,96	0,91		
				5,35	0,75		
	A ₁	17 ⁴⁰	3,40	0,30	0,70		
				1,17	0,73		
				2,34	0,63		
				2,90	0,55		
18 ⁰⁵				+0,40			
12	A ₃	19 ⁰⁰	8,00	0,30	1,08	+0,44	
				2,70	0,99		
				5,40	0,97		
				7,50	0,79		
	A ₂	19 ²⁰	6,00	0,30	0,99		
				2,03	0,93		
				4,06	0,87		
				5,50	0,77		
	A ₁	19 ⁴⁰	3,75	0,30	0,73		
				1,28	0,67		
				2,56	0,57		
				3,25	0,51		
20 ⁰⁰				+0,46			

Mediciones de velocidades en Frontera

17 de noviembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
13	A ₃	8 ⁰⁰	8,00	0,30	0,87	+0,45	SE.
				2,30	0,81		
				5,40	0,70		
				7,50	0,54		
	A ₂	8 ²⁵	6,20	0,30	0,88		
				2,10	0,83		
				4,20	0,70		
				5,70	0,58		
	A ₁	8 ⁴⁵	3,60	0,30	0,58		
1,23				0,63			
2,46				0,58			
3,10				0,52			
9 ¹⁰					+0,48		
14	A ₃	11 ⁰⁰	8,40	0,30	0,70	+0,60	NE.
				2,86	0,65		
				5,66	0,55		
				7,90	0,45		
	A ₂	11 ²⁵	6,20	0,30	0,63		
				2,10	0,60		
				4,20	0,51		
				5,70	0,50		
	A ₁	11 ⁴⁵	3,90	0,30	0,62		
				1,33	0,58		
				2,66	0,54		
				3,40	0,50		
12 ⁰⁵				+0,61			

Mediciones de velocidades en Frontera

17 de noviembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
15	A ₃	14 ⁰⁰	8,70	0,30	0,67	+0,61	NE.
				2,93	0,65		
				5,86	0,52		
				8,20	0,47		
	A ₂	14 ²⁰	6,40	0,30	0,62		
				2,17	0,62		
				4,34	0,51		
				5,90	0,45		
	A ₁	14 ⁴⁰	4,00	0,30	0,67		
				1,37	0,62		
				2,74	0,54		
				3,50	0,42		
		14 ⁵⁵				+0,56	
16	A ₃	17 ⁰⁰	8,20	0,30	0,73	+0,55	NE.
				2,77	0,73		
				5,54	0,68		
				7,70	0,53		
	A ₂	17 ²⁰	6,60	0,30	0,68		
				2,23	0,65		
				4,46	0,58		
				6,10	0,49		
	A ₁	17 ⁴⁰	3,60	0,30	0,65		
				1,23	0,61		
				2,46	0,57		
				3,10	0,52		
		18 ⁰⁰				+0,50	
17	A ₃	19 ⁰⁰	8,20	0,30	0,83	+0,48	NE.
				2,77	0,81		
				5,54	0,70		
				7,70	0,53		
	A ₂	19 ²⁵	6,10	0,30	0,75		
				2,07	0,70		
				4,14	0,65		
				5,60	0,50		
	A ₁	19 ⁴⁵	3,70	0,30	0,58		
				1,27	0,58		
				2,54	0,51		
				3,10	0,41		
		20 ⁰⁵				+0,52	

Mediciones de velocidades en Frontera

25 de noviembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
18	A ₃	5 ¹⁰	7,80	0,30	0,62	+0,40	calma
				2,63	0,63		
				5,26	0,54		
				7,30	0,51		
	A ₂	5 ³⁵	6,10	0,30	0,57		
				2,07	0,53		
				4,14	0,44		
				5,60	0,35		
	A ₁	6 ⁰⁰	4,20	0,30	0,55		
				1,43	0,58		
				2,86	0,54		
				3,70	0,51		
		6 ²⁰				+0,37	
19	A ₃	8 ⁰⁰	9,00	0,30	0,77	+0,20	
				3,03	0,77		
				6,06	0,68		
				8,50	0,58		
	A ₂	8 ²⁵	5,90	0,30	0,67		
				2,00	0,65		
				4,00	0,57		
				5,40	0,41		
	A ₁	8 ⁵⁰	3,90	0,30	0,71		
				1,33	0,68		
				2,66	0,63		
				3,40	0,48		
		9 ¹⁰				+0,18	
20	A ₃	11 ⁰⁰	8,30	0,30	0,85	+0,10	
				2,80	0,79		
				5,60	0,77		
				7,80	0,70		
	A ₂	11 ²⁰	5,90	0,30	0,73		
				2,00	0,68		
				4,00	0,57		
				5,40	0,48		
	A ₁	11 ⁴⁰	3,90	0,30	0,71		
				1,33	0,70		
				2,66	0,63		
				3,40	0,54		
		11 ⁵⁵				+0,10	

Mediciones de velocidades en Frontera

25 de noviembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
21	A ₃	14 ⁰⁰	9,75	0,30	0,77	+0,10	NE.
				3,28	0,71		
				6,56	0,62		
				9,25	0,55		
	A ₂	14 ²⁰	6,00	0,30	0,55		
				2,03	0,54		
				4,06	0,49		
				5,50	0,27		
	A ₁	14 ⁴⁰	3,85	0,30	0,58		
1,32				0,57			
2,64				0,50			
3,35				0,43			
15 ⁰⁰					+0,15		
22	A ₃	17 ⁰⁰	9,80	0,30	0,62	+0,27	NE.
				3,30	0,57		
				6,60	0,46		
				9,30	0,44		
	A ₂	17 ²⁰	5,95	0,30	0,47		
				2,02	0,45		
				4,04	0,40		
				5,45	0,37		
	A ₁	17 ⁴⁰	4,20	0,30	0,52		
1,43				0,50			
2,86				0,43			
3,70				0,35			
17 ⁵⁵				+0,31			
23	A ₃	19 ⁰⁰	9,60	0,30	0,51	+0,37	NE.
				3,23	0,50		
				6,46	0,42		
				9,10	0,39		
	A ₂	19 ²⁵	6,00	0,30	0,43		
				2,03	0,43		
				4,06	0,37		
				5,50	0,30		
	A ₁	19 ⁴⁵	4,20	0,30	0,48		
1,43				0,48			
2,86				0,41			
3,70				0,37			
20 ¹⁰					+0,42		

Mediciones de velocidades en Frontera

6 de diciembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
24	A	6 ³⁵	0,75	0,30	0,18		SE.
	A ₁	6 ⁴⁰	1,50	0,30	0,29		
				0,53	0,29		
				1,06	0,25		
				1,35	0,24		
	A ₂	7 ⁰⁰	3,50	0,30	0,79		
				1,20	0,63		
				2,40	0,41		
				3,00	0,32		
	A ₃	7 ²⁵	5,20	0,30	0,85		
				1,77	0,71		
				3,54	0,45		
				4,70	0,29		
	A ₄	7 ⁴⁵	6,40	0,30	0,88		
				2,17	0,91		
				4,34	0,63		
				5,90	0,51		
	A ₅	8 ⁰⁰	11,00	0,30	0,95		
				3,70	0,81		
				7,40	0,67		
10,20				0,60			
A	8 ⁰⁵	3,40	0,30	0,70			
	8 ¹⁵						
25	A	8 ²⁵	0,95	0,30	0,17		SE.
	A ₁	8 ³⁰	1,60	0,30	0,34		
				0,57	0,34		
				1,14	0,34		
				1,50	0,31		
	A ₂	8 ⁴⁵	3,50	0,30	0,75		
				1,20	0,68		
				2,40	0,45		
				3,00	0,32		
	A ₃	9 ⁰⁵	5,45	0,30	0,77		
				1,85	0,71		
				3,70	0,40		
				4,95	0,35		
	A ₄	9 ²⁰	6,00	0,30	0,85		
				2,03	0,73		
				4,06	0,50		
				5,50	0,34		
	A ₅	9 ³⁵	10,80	0,30	0,88		
				3,63	0,73		
				7,26	0,54		
10,30				0,46			
A	9 ⁴⁰	3,50	0,30	0,63			

Mediciones de velocidades en Frontera

6 de diciembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
26	A ₁	11 ⁰⁰	1,55	0,30	0,24		SE.
				0,55	0,23		
				1,10	0,23		
				1,40	0,10		
	A ₂	11 ²⁰	3,95	0,30	0,51		
				1,35	0,41		
				2,75	0,33		
				3,45	0,09		
	A ₃	11 ⁴⁰	5,55	0,30	0,54		
				1,88	0,50		
				3,76	0,34		
				4,05	0,26		
	A ₄	11 ⁵⁵	6,50	0,30	0,57		
				2,20	0,55		
				4,40	0,49		
				6,06	0,34		
	A ₅	12 ¹⁵	11,90	0,30	0,54		
				4,00	0,57		
				8,00	0,44		
				11,40	0,20		
12 ³⁰							
27	A ₁	14 ⁰⁰	1,95	0,30	0,13		SE.
				0,68	0,12		
				1,36	0,17		
				1,45	0,00		
	A ₂	14 ²⁵	4,00	0,30	0,23		
				1,37	0,23		
				2,74	0,26		
				3,50	0,16		
	A ₃	14 ⁵⁰	5,90	0,30	0,18		
				2,00	0,15		
				4,00	0,09		
				5,40	0,08		
	A ₄	15 ¹⁰	6,80	0,30	0,24		
				2,30	0,15		
				4,60	0,10		
				6,30	0,08		
	A ₅	15 ³⁰	11,40	0,30	0,21		
				3,83	0,20		
				7,66	0,31		
				10,90	0,17		
15 ⁵⁰							

Mediciones de velocidades en Frontera

13 de diciembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
30	A ₁	8 ⁰⁵	3,20	0,30	0,58		
				1,10	0,53		
				2,20	0,27		
				2,70	0,15		
	A ₂	8 ²⁰	4,50	0,30	0,60		
				1,53	0,58		
				3,06	0,23		
				4,00	0,14		
	A ₃	8 ³⁵	5,50	0,30	0,73		
				1,87	0,67		
				3,74	0,30		
				5,00	0,25		
	A ₄	8 ⁵⁰	7,45	0,30	0,77		
				2,52	0,71		
				5,04	0,41		
				6,95	0,24		
	A ₅	9 ⁰⁵	11,40	0,30	0,61		
				3,83	0,52		
				7,66	0,23		
				10,90	0,25		
		9 ²⁰					

SE.

Mediciones de velocidades en Frontera

13 de diciembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
31	A ₁	11 ⁰⁰	3,40	0,30	0,62		
				1,17	0,55		
				2,34	0,31		
				2,90	0,17		
	A ₂	11 ¹⁵	4,40	0,30	0,68		
				1,50	0,60		
				3,00	0,28		
				3,90	0,24		
	A ₃	11 ³⁰	5,50	0,30	0,73		
				1,87	0,70		
				3,74	0,49		
				5,00	0,20		
	A ₄	11 ⁴⁵	7,00	0,30	0,79		
				2,37	0,81		
				4,74	0,40		
				6,50	0,24		
	A ₅	12 ⁰⁰	11,00	0,30	0,75		
				3,70	0,67		
				7,40	0,31		
				10,50	0,23		
	12 ²⁰						
32	A ₁	14 ⁰⁰	3,15	0,30	0,58		
				1,08	0,49		
				2,16	0,21		
				2,65	0,17		
	A ₂	14 ¹²	4,20	0,30	0,65		
				1,45	0,57		
				2,90	0,29		
				3,75	0,14		
	A ₃	14 ²⁵	5,50	0,30	0,77		
				1,87	0,79		
				3,74	0,51		
				5,00	0,25		
	A ₄	14 ³⁷	7,50	0,30	0,75		
				2,53	0,68		
				5,06	0,40		
				7,00	0,14		
	A ₅	14 ⁵⁰	11,10	0,30	0,68		
				3,73	0,54		
				7,46	0,19		
				10,66	0,15		
	15 ¹⁰						

SE.

Mediciones de velocidades en Frontera

13 de diciembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
33	A ₁	17 ⁰⁰	3,45	0,30	0,46		SE.
				1,18	0,39		
				2,36	0,24		
				2,95	0,15		
	A ₂	17 ¹⁰	4,50	0,30	0,50		
				1,53	0,48		
				3,06	0,22		
				4,00	0,16		
	A ₃	17 ²⁵	5,80	0,30	0,61		
				1,97	0,54		
				3,94	0,25		
				5,30	0,17		
	A ₄	17 ⁴⁰	7,10	0,30	0,55		
				2,40	0,54		
				4,80	0,33		
				6,60	0,24		
	A ₅	17 ⁵⁵	11,20	0,30	0,54		
				3,77	0,52		
				7,54	0,31		
				10,70	0,20		
		18 ¹⁵					
34	A ₁	19 ⁰⁰	3,60	0,30	0,38		
				1,23	0,36		
				2,46	0,21		
				3,10	0,15		
	A ₂	19 ²⁰	4,50	0,30	0,39		
				1,53	0,38		
				3,06	0,21		
				4,00	0,16		
	A ₃	19 ³⁵	5,90	0,30	0,45		
				2,00	0,40		
				4,00	0,24		
				5,40	0,14		
	A ₄	19 ⁵⁵	7,55	0,30	0,42		
				2,55	0,34		
				5,10	0,16		
				7,05	0,15		
	A ₅	20 ¹⁵	11,80	0,30	0,43		
				3,97	0,41		
				7,94	0,24		
				11,30	0,17		
		20 ³⁵					

Mediciones de velocidades río abajo del canal lateral

5 de octubre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
35	B ₃	5 ⁰⁵	9,20	0,30	1,06		NO.
				3,10	1,11		
				6,20	1,02		
				8,70	0,81		
	B ₂	5 ²⁵	7,00	0,30	0,85		
				2,37	0,77		
				4,74	0,66		
				6,50	0,34		
	B ₁	5 ⁵⁰	5,00	0,30	0,83		
				1,70	0,75		
				3,40	0,62		
				4,50	0,51		
		6 ¹⁵					
36	B ₃	8 ⁰⁵	10,00	0,30	1,16		calma
				3,37	0,91		
				6,74	0,81		
				9,50	0,67		
	B ₂	8 ²⁵	6,20	0,30	0,87		
				2,10	0,75		
				4,20	0,71		
				5,70	0,58		
	B ₁	8 ⁴⁵	4,00	0,30	0,73		
				1,37	0,68		
				2,74	0,62		
				3,50	0,63		
		9 ¹⁰					
37	B ₃	11 ⁰⁷	9,50	0,30	0,99		NO.
				3,20	0,95		
				6,40	0,88		
				9,00	0,83		
	B ₂	11 ²⁷	6,10	0,30	0,81		
				2,07	0,71		
				4,14	0,65		
				5,60	0,55		
	B ₁	11 ⁴⁷	4,50	0,30	0,65		
				1,53	0,61		
				3,06	0,54		
				4,00	0,50		
		12 ⁰⁷					

Mediciones de velocidades río abajo del canal lateral
5 de octubre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
38	B ₃	14 ⁰⁰	8,60	0,30	0,88		NO.
				2,90	0,99		
				5,80	0,95		
				8,10	0,76		
	B ₂	14 ²⁰	6,00	0,30	0,73		
				2,03	0,71		
				4,06	0,68		
				5,50	0,51		
	B ₁	14 ⁴⁰	4,30	0,30	0,71		
				1,47	0,65		
				2,74	0,57		
				3,80	0,53		
		15 ¹⁰					
39	B ₃	17 ⁰⁰	10,20	0,30	1,02		calma
				4,43	0,95		
				6,86	0,88		
				9,70	0,75		
	B ₂	17 ²⁵	6,10	0,30	0,75		
				2,07	0,68		
				4,14	0,68		
				5,60	0,67		
	B ₁	17 ⁴⁵	4,10	0,30	0,81		
				1,40	0,75		
				2,80	0,73		
				3,60	0,61		
		18 ⁰⁵					
40	B ₃	19 ⁰⁰	9,90	0,30	1,06		NO.
				3,33	1,03		
				6,66	0,88		
				9,50	0,81		
	B ₂	19 ²⁰	6,00	0,30	0,83		
				2,03	0,88		
				4,06	0,79		
				5,50	0,70		
	B ₁	19 ⁴⁰	4,00	0,30	0,85		
				1,37	0,77		
				2,74	0,70		
				3,50	0,63		
		20 ⁰⁵					

Mediciones de velocidades río abajo del canal lateral

12 de octubre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
41	B ₃	5 ⁰⁰	8,20	0,30	1,20		
				2,77	1,16		
				5,54	0,99		
				7,70	0,91		
	B ₂	5 ²⁰	7,35	0,30	0,93		
				2,48	0,91		
				4,96	0,68		
				6,85	0,60		
	B ₁	5 ⁴⁰	3,90	0,30	0,97		
				1,33	0,77		
				2,66	0,67		
				3,40	0,57		
		6 ⁰⁰					
42	B ₃	8 ⁰⁰	8,40	0,30	1,29		
				2,83	1,23		
				5,66	1,13		
				7,90	1,13		
	B ₂	8 ²⁰	6,25	0,30	1,06		
				2,12	0,97		
				4,24	0,85		
				5,75	0,65		
	B ₁	8 ⁴⁰	3,60	0,30	0,83		
				1,23	0,79		
				2,46	0,71		
				3,10	0,52		
		8 ⁵⁵					
43	B ₃	11 ⁰⁰	7,60	0,30	1,36		
				2,57	1,29		
				5,14	1,19		
				7,10	1,16		
	B ₂	11 ²⁰	6,10	0,30	1,13		
				2,07	1,02		
				4,14	0,85		
				5,60	0,61		
	B ₁	11 ⁴⁰	3,40	0,30	0,85		
				1,17	0,85		
				2,34	0,75		
				2,90	0,65		
		11 ⁵⁵					

Mediciones de velocidades río abajo del canal lateral

12 de octubre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
44	B ₃	14 ⁰⁰	7,40	0,30	1,26		
				2,50	1,13		
				5,00	1,06		
				6,90	0,95		
	B ₂	14 ²⁵	5,50	0,30	0,97		
				1,87	0,97		
				3,74	0,77		
				5,00	0,68		
	B ₁	14 ⁴⁵	3,50	0,30	0,70		
				1,20	0,61		
				2,40	0,60		
				3,00	0,54		
		14 ⁵⁵					
45	B ₃	17 ⁰⁰	7,90	0,30	1,06		
				2,67	0,97		
				5,34	0,88		
				7,40	0,81		
	B ₂	17 ²⁰	6,10	0,30	0,79		
				2,07	0,71		
				4,14	0,68		
				5,60	0,57		
	B ₁	17 ⁴⁰	4,05	0,30	0,60		
				1,38	0,51		
				2,76	0,45		
				3,55	0,37		
		18 ⁰⁰					
46	B ₃	19 ⁰⁰	7,90	0,30	0,93		
				2,67	0,85		
				5,34	0,73		
				7,40	0,67		
	B ₂	19 ²⁵	6,20	0,30	0,68		
				2,10	0,67		
				4,20	0,60		
				5,70	0,54		
	B ₁	19 ⁵⁰	4,20	0,30	0,62		
				1,43	0,55		
				2,86	0,47		
				3,70	0,40		
		20 ²⁰					

Mediciones de velocidades río abajo del canal lateral
9 de noviembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
47	B ₃	5 ³⁰	7,20	0,30	1,23		SE.
				2,43	1,29		
				4,86	1,08		
				6,70	0,97		
	B ₂	5 ⁵⁰	5,10	0,30	0,95		
				1,73	0,93		
				2,46	0,75		
				4,60	0,62		
	B ₁	6 ⁰⁰	3,40	0,30	0,79		
				1,17	0,75		
				2,34	0,73		
				2,90	0,62		
		6 ⁴⁰					
48	B ₃	8 ⁰⁰	7,70	0,30	1,32		SE.
				2,60	1,26		
				5,20	1,13		
				7,20	0,97		
	B ₂	8 ²⁰	6,00	0,30	1,19		
				2,03	1,11		
				4,06	0,99		
				5,50	0,85		
	B ₁	8 ⁴⁰	3,60	0,30	0,88		
				1,23	0,85		
				2,46	0,75		
				3,10	0,65		
		9 ⁰⁰					
49	B ₃	11 ⁰⁰	7,75	0,30	1,29		SE.
				2,62	1,23		
				5,24	1,16		
				7,25	1,13		
	B ₂	11 ²⁰	5,00	0,30	0,91		
				1,70	0,85		
				3,40	0,73		
				4,50	0,53		
	B ₁	11 ⁴⁰	3,70	0,30	0,65		
				1,27	0,73		
				2,54	0,58		
				3,20	0,43		
		12 ⁰⁵					

Mediciones de velocidades río abajo del canal lateral

9 de noviembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
50	B ₃	14 ⁰⁰	7,90	0,30	1,16		NE.
				2,67	1,08		
				5,34	0,97		
				7,40			
	B ₂	14 ²⁰	4,90	0,30	0,70		
				1,67	0,65		
				3,34	0,58		
				4,40	0,51		
	B ₁	14 ⁴⁰	3,90	0,30	0,57		
				1,33	0,55		
				2,66	0,47		
				3,40	0,38		
		15 ⁰⁰					
51	B ₃	17 ⁰⁰	8,85	0,30	0,88		NE.
				2,98	0,75		
				5,96	0,65		
				8,35	0,62		
	B ₂	17 ²⁰	5,20	0,30	0,55		
				1,77	0,53		
				3,54	0,51		
				4,70	0,41		
	B ₁	17 ⁴⁰	4,00	0,30	0,50		
				1,37	0,50		
				2,74	0,43		
				3,50	0,34		
		18 ⁰⁰					
52	B ₃	19 ⁰⁰	8,00	0,30	0,87		NE.
				2,70	0,79		
				5,40	0,65		
				7,50	0,58		
	B ₂	19 ²⁰	5,30	0,30	0,55		
				1,80	0,57		
				3,60	0,51		
				4,80	0,45		
	B ₁	19 ⁴⁰	4,10	0,30	0,50		
				1,40	0,49		
				2,80	0,44		
				3,60	0,38		
		20 ⁰⁰					

Mediciones de velocidades río abajo del canal lateral

19 de noviembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
52	B ₃	8 ⁰⁰	9,00	0,30	1,11	+0,12	SE.
				3,03	1,06		
				6,06	0,99		
				8,50	0,87		
	B ₂	8 ²⁰	6,00	0,30	0,81		
				2,03	0,73		
				4,06	0,67		
				5,50	0,51		
	B ₁	8 ⁴⁰	3,60	0,30	0,55		
				1,23	0,51		
				2,46	0,43		
				3,10	0,40		
		9 ⁰⁵				+0,11	
54	B ₃	11 ⁰⁰	9,10	0,30	0,77	+0,20	NE.
				3,07	0,68		
				6,14	0,58		
				8,60	0,54		
	B ₂	11 ²⁰	6,00	0,30	0,51		
				2,03	0,55		
				4,06	0,47		
				5,50	0,31		
	B ₁	11 ⁴⁰	3,90	0,30	0,41		
				1,33	0,40		
				2,66	0,38		
				3,40	0,31		
		12 ⁰⁰				+0,30	

Mediciones de velocidades río abajo del canal lateral
19 de noviembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
55	B ₃	14 ⁰⁰	8,50	0,30	0,53	+0,51	NE.
				2,87	0,55		
				5,74	0,49		
				8,00	0,40		
	B ₂	14 ²⁰	6,60	0,30	0,41		
				2,23	0,42		
				4,46	0,32		
				6,10	0,30		
	B ₁	14 ⁴⁰	4,10	0,30	0,38		
1,40				0,40			
2,80				0,34			
3,60				0,27			
		15 ⁰⁵				+0,58	
56	B ₃	17 ⁰⁰	9,00	0,30	0,75	+0,64	NE.
				3,03	0,71		
				6,06	0,67		
				8,50	0,31		
	B ₂	17 ²⁰	6,50	0,30	0,60		
				2,20	0,58		
				4,40	0,38		
				6,00	0,25		
	B ₁	17 ⁴⁰	4,20	0,30	0,51		
1,43				0,49			
2,86				0,36			
3,70				0,28			
		18 ⁰⁰				+0,63	
57	B ₃	19 ⁰⁰	9,20	0,30	0,99	+0,61	NE.
				3,10	0,79		
				6,20	0,75		
				8,70	0,38		
	B ₂	19 ²⁰	6,20	0,30	0,54		
				2,10	0,53		
				4,20	0,47		
				5,70	0,28		
	B ₁	19 ⁴⁰	4,20	0,30	0,51		
1,43				0,49			
2,86				0,40			
3,70				0,29			
		20 ⁰⁰				+0,60	

Mediciones de velocidades río abajo del canal lateral
1° de diciembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
58	B ₁	5 ³⁰	3,90	0,30	0,24		SE.
				1,33	0,23		
				2,66	0,20		
				3,40	0,18		
	B ₂			4,90	0,30	0,31	
					1,67	0,29	
					3,34	0,21	
					4,40	0,17	
	B ₃			5,10	0,30	0,40	
					1,73	0,38	
					3,46	0,38	
					4,60	0,18	
	B ₄			6,40	0,30	0,77	
					2,17	0,71	
					4,34	0,81	
					5,90	0,63	
	B ₅			7,90	0,30	0,87	
					2,67	0,88	
					5,34	0,68	
					7,40	0,38	
		7 ²⁰					
59	B ₁	8 ⁰⁰	4,20	0,30	0,24		calma
				1,43	0,24		
				2,86	0,21		
				3,70	0,17		
	B ₂			4,30	0,30	0,24	
					1,47	0,25	
					2,94	0,18	
					3,80	0,17	
	B ₃			5,20	0,30	0,32	
					1,77	0,30	
					3,54	0,33	
					4,70	0,17	
	B ₄			6,50	0,30	0,60	
					2,20	0,57	
					4,40	0,60	
					6,00	0,38	
	B ₅			7,85	0,30	0,77	
					2,65	0,75	
					5,30	0,60	
					7,35	0,50	
		9 ³⁰					

Mediciones de velocidades río abajo del canal lateral

1° de diciembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
60	B ₁	11 ⁰⁰	4,20	0,30	0,24		SE.
				1,43	0,21		
				2,86	0,20		
				3,70	0,18		
	B ₂			4,10	0,30	0,25	
					1,40	0,21	
					2,80	0,17	
					3,60	0,14	
	B ₃			5,50	0,30	0,32	
					1,87	0,32	
					3,74	0,29	
					5,00	0,20	
	B ₄			7,00	0,30	0,53	
					2,37	0,53	
					4,74	0,51	
					6,50	0,33	
	B ₅			7,50	0,30	0,60	
					2,53	0,58	
					5,06	0,43	
					7,00	0,33	
		12 ³⁵					
61	B ₁	14 ⁰⁰	4,50	0,30	0,31		
				1,53	0,30		
				3,06	0,26		
				4,00	0,24		
	B ₂			4,00	0,30	0,33	
					1,37	0,34	
					2,74	0,24	
					3,50	0,16	
	B ₃			5,50	0,30	0,37	
					1,87	0,38	
					3,74	0,30	
					5,00	0,24	
	B ₄			7,10	0,30	0,58	
					2,40	0,51	
					4,80	0,36	
					6,60	0,33	
	B ₅			7,20	0,30	0,68	
					2,43	0,67	
					4,86	0,53	
					6,70	0,43	
		15 ³⁵					

Mediciones de velocidades río abajo del canal lateral

1º de diciembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to	
62	B B ₁	17 ⁰⁰	2,90	0,30	0,37		SE.	
			4,50	0,30	0,34			
				1,53	0,36			
				3,06	0,30			
	B ₂			4,10	0,30	0,38		
					1,40	0,40		
					2,80	0,33		
					3,60	0,20		
	B ₃			5,40	0,30	0,37		
					1,83	0,38		
					3,66	0,41		
					4,90	0,18		
	B ₄			7,50	0,30	0,68		
					2,53	0,68		
					5,06	0,46		
					7,00	0,30		
B ₅			9,00	0,30	0,77			
				3,03	0,75			
				6,06	0,71			
				8,50	0,60			
63	B B ₁	18 ⁴⁰	6,00	0,30	0,75			
			19 ⁰⁰	4,45	0,30	0,34		
					1,52	0,32		
					3,04	0,26		
		3,95		0,19				
	B ₂			4,00	0,30	0,31		
					1,37	0,34		
					2,74	0,33		
					3,50	0,21		
	B ₃			5,40	0,30	0,40		
					1,83	0,42		
					3,66	0,49		
				4,90	0,24			
B ₄			8,00	0,30	0,75			
				2,70	0,77			
				5,40	0,63			
				7,50	0,49			
B ₅			8,90	0,30	1,02			
				3,00	0,99			
				6,00	0,97			
				8,40	0,73			
		20 ³⁵						

Mediciones de velocidades río abajo del canal lateral

8 de diciembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
64	B	7 ³⁰	1,30	0,30	0,77		S.
	B ₁		4,20	0,30	1,06		
			1,43	0,95			
			2,86	0,73			
			3,70	0,67			
	B ₂	3,20	0,30	1,13			
			1,10	1,13			
			2,20	0,83			
			2,70	0,55			
	B ₃	4,50	0,30	1,16			
			1,53	0,88			
			3,06	0,71			
			4,00	0,63			
	B ₄	6,50	0,30	1,32			
			2,20	1,19			
			4,40	0,85			
			6,00	0,62			
	B ₅	7,50	0,30	1,23			
			2,53	1,16			
			5,06	0,81			
7,00			0,67				
B	9 ¹⁰	5,20	0,30				

Mediciones de velocidades río abajo del canal lateral

8 de diciembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
65	B	11 ⁰⁰	2,30	0,30	0,91		NE.
	B ₁		4,00	0,30	0,85		
			1,37	0,77			
			2,74	0,60			
			3,50	0,49			
	B ₂	3,40	0,30	0,83			
		1,17	0,81				
		2,34	0,57				
		2,90	0,38				
	B ₃	4,50	0,30	0,87			
		1,53	0,77				
		3,06	0,60				
		4,00	0,53				
	B ₄	6,60	0,30	0,83			
		2,23	0,85				
		4,46	0,70				
		6,10	0,57				
B ₅	7,55	0,30	0,81				
	2,55	0,79					
	5,10	0,70					
	7,05	0,63					
B	12 ³⁰	3,80	0,30	0,60			
66	B	14 ⁰⁰	1,50	0,30	0,48		
	B ₁		4,40	0,30	0,48		
			1,50	0,51			
			3,00	0,46			
			3,90	0,38			
	B ₂	3,50	0,30	0,63			
		1,20	0,58				
		2,40	0,49				
		3,00	0,41				
	B ₃	4,90	0,30	0,45			
		1,67	0,43				
		3,34	0,30				
		4,40	0,26				
	B ₄	7,00	0,30	0,44			
		2,37	0,35				
		4,74	0,22				
		6,50	0,13				
B ₅	7,90	0,30	0,34				
	2,67	0,25					
	5,34	0,17					
	7,40	0,16					
B	15 ³⁵	3,60	0,30	0,38			

Mediciones de velocidades río abajo del canal lateral

8 de diciembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
67	B	17 ⁰⁰	1,40	0,30	0,14		
	B ₁		4,90	0,30	0,15		
			1,67	0,15			
			3,34	0,09			
		4,40	0,13				
	B ₂	3,90	0,30	0,18			
		1,33	0,23				
		2,66	0,18				
		3,40	0,17				
	B ₃	5,00	0,30	0,32			
		1,70	0,25				
		3,40	0,17				
		4,50	0,20				
	B ₄	7,20	0,30	0,24			
		2,43	0,21				
		4,86	0,18				
6,70		0,15					
B ₅	8,05	0,30	0,23				
	2,72	0,26					
	5,44	0,31					
	7,55	0,29					
B	18 ²⁵	2,60	0,30				
68	B ₁	19 ⁰⁰	3,80	0,30	0,17		
			1,30	0,18			
			2,60	0,15			
			3,30	0,12			
	B ₂	3,95	0,30	0,28			
			1,35	0,24			
			2,70	0,14			
			3,45	0,16			
	B ₃	5,20	0,30	0,28			
			1,77	0,29			
			3,54	0,22			
			4,70	0,16			
	B ₄	7,00	0,30	0,33			
			2,37	0,26			
			4,74	0,34			
			6,50	0,22			
B ₅	8,00	0,30	0,33				
		2,70	0,30				
		5,40	0,26				
		7,50	0,16				
		20 ³⁰					

NE.
(muy fuerte)

Mediciones de velocidades en el canal lateral

7 de octubre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
69	C ₃	5 ⁰⁵	6,00	0,30	0,88	+0,59	SE.
				2,03	0,95		
				4,06	0,88		
				5,50	0,77		
	C ₂	5 ²⁵	6,90	0,30	1,08		
				2,33	1,06		
				4,66	0,95		
				6,40	0,81		
	C ₁	5 ⁴⁵	5,00	0,30	0,77		
				1,70	0,73		
				3,40	0,63		
				4,50	0,63		
		6 ¹⁰				+0,54	
70	C ₃	8 ⁰⁰	7,00	0,30	1,13	+0,49	SE.
				2,37	0,97		
				4,74	0,85		
				6,50	0,75		
	C ₂	8 ²⁰	6,70	0,30	1,02		
				2,27	1,06		
				4,54	0,93		
				6,20	0,77		
	C ₁	8 ⁴⁰	5,00	0,30	0,97		
				1,70	1,02		
				3,40	0,83		
				4,50	0,73		
		9 ⁰⁰				+0,52	
71	C ₃	11 ⁰⁰	6,10	0,30	0,63		calma
				2,07	0,63		
				4,14	0,54		
				5,60	0,51		
	C ₂	11 ²⁰	6,40	0,30	0,88		
				2,17	0,87		
				4,34	0,85		
				5,90	0,60		
	C ₁	11 ⁴⁰	4,60	0,30	0,70		
				1,57	0,75		
				3,14	0,67		
				4,10	0,54		
		11 ⁵⁵				+0,67	

Mediciones de velocidades en el canal lateral

7 de octubre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
72	C ₃	14 ⁰⁰	7,20	0,30	0,51		SE.
				2,43	0,49		
				4,86	0,43		
				6,70	0,26		
	C ₂	14 ²⁰	7,00	0,30	0,54		
				2,37	0,60		
				4,74	0,53		
				6,50	0,31		
	C ₁	14 ⁴⁰	5,10	0,30	0,47		
				1,73	0,50		
				3,46	0,45		
				4,60	0,36		
		15 ⁰⁰				+0,84	
73	C ₃	17 ⁰⁰	7,10	0,30	0,79	+0,77	SE.
				3,40	0,77		
				4,80	0,73		
				6,60	0,40		
	C ₂	17 ²⁰	6,85	0,30	0,87		
				2,32	0,79		
				4,64	0,71		
				6,35	0,62		
	C ₁	17 ⁴⁰	5,50	0,30	0,71		
				1,87	0,75		
				3,74	0,57		
				5,00	0,49		
		17 ⁵⁵					
74	C ₃	19 ⁰⁰	7,00	0,30	0,95		SE.
				2,37	0,93		
				4,74	0,77		
				6,50	0,68		
	C ₂	19 ²⁰	6,90	0,30	1,02		
				2,33	0,88		
				4,66	0,75		
				6,40	0,70		
	C ₁	19 ⁴⁰	4,50	0,30	0,85		
				1,53	0,79		
				3,06	0,75		
				4,00	0,60		
		20 ⁰⁰				+0,66	

Mediciones de velocidades en el canal lateral

14 de octubre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- dad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
75	C ₃	5 ⁰⁰	6,40	0,30	0,93	+0,62	NE.
				2,17	0,88		
				4,34	0,77		
				5,90	0,62		
	C ₂	5 ²⁰	6,70	0,30	0,95		
				2,27	0,97		
				4,54	0,87		
				6,10	0,79		
	C ₁	5 ⁴⁰	4,60	0,30	0,88		
				1,57	0,83		
				3,14	0,73		
				4,10	0,71		
		6 ⁰⁰				+0,58	
76	C ₃	11 ⁰⁰	6,20	0,30	1,03	+0,30	NE.
				2,10	0,97		
				4,20	0,91		
				5,70	0,79		
	C ₂	11 ²⁰	6,30	0,30	1,16		
				2,13	1,13		
				4,26	1,06		
				5,80	0,88		
	C ₁	11 ⁴⁰	4,90	0,30	1,02		
				1,67	0,97		
				3,34	0,99		
				4,40	0,77		
		12 ⁰⁰				+0,34	

Mediciones de velocidades en el canal lateral

14 de octubre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero)	Vien- to
77	C ₃	14 ⁰⁰	5,80	0,30	0,93	+0,30	
				1,97	0,93		
				3,94	0,85		
				5,30	0,77		
	C ₂	14 ²⁰	6,40	0,30	1,03		
				2,17	0,91		
				4,34	0,83		
				5,90	0,73		
	C ₁	14 ⁴⁰	5,50	0,30	0,88		
				1,87	0,81		
				3,74	0,71		
				5,00	0,55		
		15 ⁰⁰				+0,30	
78	C ₃	17 ⁰⁰	6,20	0,30	0,83	+0,42	NE.
				2,10	0,75		
				4,20	0,68		
				5,70	0,63		
	C ₂	17 ²⁰	6,55	0,30	0,79		
				2,22	0,71		
				4,44	0,62		
				6,05	0,65		
	C ₁	17 ⁴⁰	5,40	0,30	0,68		
				1,83	0,68		
				3,66	0,54		
				4,90	0,43		
		18 ⁰⁰				+0,49	
79	C ₃	19 ⁰⁰	6,30	0,30	0,68	+0,60	NE.
				2,13	0,61		
				4,26	0,54		
				5,80	0,44		
	C ₂	19 ²⁰	6,50	0,30	0,68		
				2,20	0,62		
				4,40	0,49		
				6,00	0,41		
	C ₁	19 ⁴⁰	5,35	0,30	0,60		
				1,82	0,57		
				3,64	0,46		
				4,85	0,34		
		20 ⁰⁰				+0,72	

Mediciones de velocidades en el canal lateral

15 de noviembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
80	C ₃	5 ⁰⁵	7,00	0,30	0,75	+0,77	S.
				2,37	0,62		
				4,74	0,54		
				6,50	0,42		
	C ₂	5 ²⁵	6,90	0,30	0,62		
				2,33	0,57		
				4,66	0,42		
				6,40	0,30		
	C ₁	5 ⁴⁵	4,50	0,30	0,50		
				1,53	0,48		
				3,06	0,41		
				4,00	0,34		
		6 ⁰⁵				+0,72	
81	C ₃	8 ⁰⁰	7,30	0,30	0,63	+0,75	S.
				2,47	0,54		
				4,94	0,52		
				6,80	0,60		
	C ₂	8 ²⁰	7,00	0,30	0,54		
				2,37	0,49		
				4,74	0,45		
				6,50	0,28		
	C ₁	8 ⁴⁰	4,50	0,30	0,50		
				1,53	0,48		
				3,06	0,41		
				4,00	0,34		
		9 ⁰⁰				+0,78	
82	C ₃	11 ⁰⁰	7,40	0,30	0,67	+0,72	calma
				2,50	0,65		
				5,00	0,51		
				6,90	0,46		
	C ₂	11 ²⁰	6,70	0,30	0,65		
				2,27	0,57		
				4,54	0,49		
				6,20	0,42		
	C ₁	11 ⁴⁰	4,60	0,30	0,53		
				1,57	0,48		
				3,14	0,48		
				4,10	0,33		
		12 ¹⁰				+0,66	

Mediciones de velocidades en el canal lateral

15 de noviembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
83	C ₃	14 ⁰⁰	7,00	0,30	0,79	+0,57	NE.
				2,37	0,81		
				4,74	0,68		
				6,50	0,60		
	C ₂	14 ²⁰	6,65	0,30	0,77		
				2,25	0,71		
				4,50	0,65		
				6,15	0,47		
	C ₁	14 ⁴⁰	4,30	0,30	0,58		
				1,47	0,53		
				2,94	0,46		
				3,80	0,45		
		14 ⁵⁵				+0,52	
84	C ₃	17 ⁰⁰	7,00	0,30	0,79	+0,54	calma
				2,37	0,75		
				4,74	0,75		
				6,50	0,54		
	C ₂	17 ²⁰	7,00	0,30	0,71		
				2,37	0,67		
				4,74	0,60		
				6,50	0,43		
	C ₁	17 ⁴⁰	4,40	0,30	0,58		
				1,50	0,57		
				3,00	0,50		
				3,90	0,40		
		18 ⁰⁰				+0,57	
85	C ₃	19 ⁰⁰	7,10	0,30	0,75	+0,62	NE.
				2,40	0,73		
				4,80	0,63		
				6,60	0,51		
	C ₂	19 ²⁰	6,90	0,30	0,62		
				2,33	0,61		
				4,66	0,50		
				6,60	0,40		
	C ₁	19 ⁴⁰	4,85	0,30	0,51		
				1,65	0,51		
				3,30	0,45		
				4,35	0,39		
		20 ⁰⁰				+0,67	

Mediciones de velocidades en el canal lateral

22 de noviembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
86	C ₃	5 ⁴⁰	6,00	0,30	0,93	+0,92	calma
				2,03	0,91		
				4,04	0,71		
				5,50	0,62		
	C ₂			6,90	0,30	1,19	
					2,33	1,16	
					4,66	1,13	
					6,40	0,95	
	C ₁			6,50	0,30	1,11	
					2,20	0,97	
					4,40	0,81	
					6,00	0,60	
		7 ⁰⁰				+0,92	
87	C ₃	8 ⁰⁰	6,00	0,30	1,08	+0,92	SE.
				2,03	1,06		
				4,06	0,85		
				5,05	0,81		
	C ₂			7,15	0,30	1,26	
					2,42	1,20	
					4,84	1,08	
					6,65	1,08	
	C ₁			6,40	0,30	1,13	
					2,17	1,06	
					4,34	0,97	
					5,90	0,87	
		9 ⁰⁰				+0,92	
88	C ₃	11 ⁰⁰	6,20	0,30	0,83	+0,92	SE.
				2,10	0,73		
				4,20	0,68		
				5,70	0,55		
	C ₂			6,60	0,30	0,99	
					2,23	0,91	
					4,46	0,77	
					6,10	0,73	
	C ₁			5,75	0,30	0,81	
					1,95	0,75	
					3,90	0,65	
					5,25	0,51	
		12 ⁰⁰				+0,92	

Mediciones de velocidades en el canal lateral

22 de noviembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
89	C ₃	14 ⁰⁰	6,50	0,30	0,63	+0,29	SE.
				2,20	0,54		
				4,40	0,49		
				6,00	0,39		
	C ₂			6,80	0,30	0,61	
					2,30	0,53	
					4,60	0,52	
					6,30	0,43	
	C ₁			4,90	0,30	0,46	
					1,67	0,40	
					3,34	0,30	
					4,40	0,22	
		15 ⁰⁰				+0,40	
90	C ₃	17 ⁰⁰	6,80	0,30	0,46	+0,58	SE.
				2,30	0,51		
				4,60	0,30		
				6,30	0,27		
	C ₂			6,80	0,30	0,53	
					2,30	0,45	
					4,60	0,34	
					6,30	0,31	
	C ₁			6,00	0,30	0,40	
					2,03	0,38	
					4,06	0,32	
					5,50	0,42	
		18 ²⁰				+0,62	
91	C ₃	19 ⁰⁰	6,60	0,30	0,53	+0,64	calma
				2,23	0,52		
				4,46	0,33		
				5,10	0,43		
	C ₂			7,20	0,30	0,68	
					2,43	0,51	
					4,86	0,35	
					6,70	0,28	
	C ₁			6,50	0,30	0,57	
					2,20	0,48	
					4,40	0,33	
					6,00	0,32	
		20 ⁰⁵				+0,67	

Mediciones de velocidades en el canal lateral

3 de diciembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profun- dad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
92	C C ₁	5 ⁰⁵	1,80	0,30	0,34	+0,92	SE.
		5 ²⁰	4,00	0,30	0,95		
				1,37	0,83		
				2,74	0,55		
	3,50	0,37					
	C ₂	5 ³⁵	6,90	0,30	1,11		
				2,33	1,13		
				4,66	0,77		
				6,40	0,58		
	C ₃	5 ⁵⁰	6,40	0,30	1,08		
				2,17	1,06		
				4,34	0,68		
				5,90	0,50		
	C	6 ⁰⁰ 6 ¹⁵	2,40	0,30	0,43		
93	C C ₁	11 ⁴⁵	1,90	0,30	0,31	+0,92	SE.
		11 ⁵⁰	5,10	0,30	0,55		
				1,73	0,54		
				3,46	0,44		
	4,60	0,40					
	C ₂	12 ⁰⁵	6,50	0,30	0,51		
				2,20	0,50		
				4,40	0,37		
				6,00	0,35		
	C ₃	12 ²⁰	6,90	0,30	0,57		
				2,33	0,55		
				4,66	0,54		
				6,40	0,28		
	C	12 ³⁰ 13 ⁰⁰	3,30	0,30	0,33		
						+0,92	

Mediciones de velocidades en el canal lateral

3 de diciembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
94	C	14 ⁰⁰	1,80	0,30	0,11	+0,34	SE.
	C ₁	14 ⁰⁵	5,00	0,30	0,48		
				1,70	0,51		
				3,40	0,43		
				4,50	0,39		
	C ₂	14 ²⁰	6,60	0,30	0,54		
				2,23	0,53		
				4,46	0,67		
				6,10	0,40		
	C ₃	14 ³⁵	6,40	0,30	0,54		
				2,17	0,60		
				4,34	0,42		
5,90				0,32			
C	14 ⁵⁰ 15 ⁰⁰	3,70	0,30	0,29	+0,35		
95	C	17 ⁰⁰	1,70	0,30	0,26	+0,37	SE.
	C ₁	17 ⁰⁵	4,80	0,30	0,57		
				1,63	0,55		
				3,26	0,40		
				4,30	0,34		
	C ₂	17 ²⁵	6,65	0,30	0,62		
				2,25	0,62		
				4,50	0,53		
				6,15	0,35		
	C ₃	17 ⁴⁵	6,60	0,30	0,55		
				2,23	0,54		
				4,46	0,52		
5,10				0,40			
C	17 ⁵⁵ 18 ¹⁰	3,10	0,30	0,33	+0,41		
96	C	19 ⁰⁰	1,70	0,30	0,26	+0,38	SE.
	C ₁	19 ⁰⁵	4,90	0,30	0,57		
				1,67	0,68		
				3,34	0,45		
				4,40	0,41		
	C ₂	19 ²⁵	6,70	0,30	0,63		
				2,27	0,62		
				4,54	0,50		
				6,20	0,34		
	C ₃	19 ⁴⁵	6,45	0,30	0,63		
				2,17	0,60		
				4,34	0,40		
5,90				0,31			
C	19 ⁵⁵ 20 ¹⁵	3,70	0,30	0,30	+0,37		

Mediciones de velocidades en el canal lateral
10 de diciembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didad del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
97	C ₁	7 ³⁰	5,60	0,30	0,85	+0,08	S.
				1,90	0,81		
				3,80	0,75		
				5,10	0,68		
	C ₂	7 ⁵⁰	6,00	0,30	0,75		
				2,03	0,71		
				4,06	0,65		
				5,50	0,54		
	C ₃	8 ¹⁵	5,20	0,30	0,77	+0,06	
				1,77	0,70		
				3,54	0,57		
				4,70	0,55		
		8 ³⁵					
98	C ₁	11 ⁰⁰	5,50	0,30	0,68	-0,08	
				1,87	0,63		
				3,74	0,58		
				5,00	0,53		
	C ₂	11 ²⁵	5,90	0,30	0,75	S.	
				2,00	0,71		
				4,00	0,60		
				5,40	0,49		
	C ₃	11 ⁴⁵	5,80	0,30	0,77	-0,05	
				1,97	0,71		
				3,94	0,50		
				5,30	0,34		
		12 ⁰⁵					

Mediciones de velocidades en el canal lateral
10 de diciembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profun- didat del río m.	Profundi- dad de medición m.	Velo- cidad m/seg.	Nivel agua (nuevo cero) m.	Vien- to
99	C ₁	14 ⁰⁰	5,50	0,30	0,67	+0,02	S.
				1,87	0,62		
				3,74	0,47		
				5,00	0,38		
	C ₂	14 ²⁰	6,05	0,30	0,55		
				2,05	0,51		
				4,10	0,49		
				5,55	0,34		
	C ₃	14 ⁴⁰	5,00	0,30	0,50		
				1,70	0,48		
				3,40	0,41		
				4,50	0,31		
		15 ⁰⁰				+0,07	
100	C ₁	17 ⁰⁰	5,60	0,30	0,36	+0,36	
				1,90	0,33		
				3,80	0,34		
				5,10	0,22		
	C ₂	17 ²⁰	6,60	0,30	0,43		
				2,23	0,43		
				4,46	0,31		
				6,10	0,33		
	C ₃	17 ⁴⁰	5,40	0,30	0,40		
				1,83	0,34		
				3,66	0,40		
				4,90	0,38		
		18 ⁰⁵				+0,46	
101	C ₁	19 ⁰⁰	5,40	0,30	0,44	+0,49	
				1,83	0,46		
				3,66	0,42		
				4,90	0,30		
	C ₂	19 ²⁰	6,55	0,30	0,43		
				2,48	0,40		
				4,96	0,31		
				6,05	0,24		
	C ₃	19 ⁴⁵	6,40	0,30	0,54		
				2,17	0,55		
				4,34	0,49		
				5,90	0,40		
		20 ⁰⁵				+0,53	

Mediciones de arena y del contenido total de sedimentos
en Frontera, en octubre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profundi- dad de muestreo m.	Can- ti- dad l.	Conte- nido de arena mg./l.	Contenido total de sedimentos mg./l.	Muestras del lecho
S1	A ₁	11 ¹⁵	2,10	1	10	188	fango arenoso
			4,20	1	5	2.265	
	A ₂		2,80	1	5	176	fango
			5,60	1	5	593	
	A ₃	12 ¹⁵	4,80	1	5	155	fango arenoso
			9,60	1	0	598	
S2	A ₁	17 ²⁰	2,25	1	0	353	fango
			4,50	1	10	467	
	A ₂		3,20	1	0	130	arena fina
			6,40	1	5	160	
	A ₃	17 ⁵⁰	5,17	1	10	180	fango
			10,35	1	5	381	
S3	A ₁	8 ¹⁵	1,95	1	5	146	fango arenoso
			3,90	1	5	284	
	A ₂		2,65	1	5	180	fango arenoso
			5,30	1	20	249	
	A ₃	8 ⁴⁵	3,75	1	10	197	fango
			7,50	1	20	192	
S4	A ₁	17 ³⁰	1,70	1	5	267	fango arenoso
			3,40	1	5	376	
	A ₂		2,93	1	10	229	fango
			5,85	1	240	553	
	A ₃	18 ¹⁰	4,05	1	10	280	fango arenoso
			8,10	1	140	474	

Mediciones de arena y del contenido total de sedimentos
en Frontera, en noviembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profundi- dad de muestreo m.	Can- ti- dad l.	Conte- nido de arena mg./l.	Contenido total de sedimentos mg./l.	Muestras del lecho
S5	A ₁	11 ³⁰	1,95	1	7,9	95	fango y arcilla arena fina fango y arcilla
		11 ³⁵	3,90	1	28,9	169	
	A ₂	11 ⁵⁰	3,10	1	11,1	106	
		11 ⁵⁵	6,20	1	8,8	110	
	A ₃	12 ⁰⁵	4,20	1	6,4	124	
		12 ¹⁰	8,40	1	5,2	126	
S6	A ₁	17 ³⁰	1,80	1	17,8	126	fango y arcilla arena fina fango y arcilla
		17 ³⁵	3,60	1	12,5	168	
	A ₂	17 ⁴⁵	3,30	1	8,4	117	
		17 ⁵⁰	6,60	1	34,0	150	
	A ₃	18 ⁰⁰	4,10	1	18,0	232	
		18 ⁰⁵	8,20	1	23,8	129	
S7	A ₁	8 ²⁵	0	2	4,2	fango y arcilla arena fina fango y arcilla	
		8 ²⁵	1,95	2	11,5		
		8 ³⁵	3,90	2	31,0		
	A ₂	8 ⁵⁰	0	2	7,0		
		8 ⁵⁰	2,95	2	13,0		
		8 ⁵⁵	5,90	2	7,3		
	A ₃	9 ⁰⁶	0	2	2,1		
		9 ⁰⁶	4,50	2	7,9		
		9 ¹⁵	9,00	2	18,2		
S8	A ₁	19 ²⁰	0	2	19,2	fango y arcilla arena fina fango y arcilla	
		19 ²⁰	2,10	2	1,9		
		19 ²⁸	4,20	2	41,0		
	A ₂	19 ⁴⁵	0	2	6,6		
		19 ⁴⁵	3,00	2	16,1		
		19 ⁵²	6,00	2	15,3		
	A ₃	20 ⁰⁵	0	2	2,7		
		20 ¹⁰	4,80	2	12,4		
		20 ¹⁵	9,60	2	13,4		

Mediciones del contenido de arena
en Frontera, 6 de diciembre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profundi- dad de muestreo m.	Can- ti- dad l.	Conteni- do de arena mg./l.	Muestrás del lecho
S9	A ₁		0	5	12,6	
			1,00	5	7,7	
			1,50	5	3,4	
	A ₂		0	5	3,6	
			2,75	5	4,8	
			3,50	5	33,2	
	A ₃		0	5	3,6	
			3,60	5	5,2	
	A ₄		0	5	1,8	
			4,20	5	1,2	
			6,40	5	1,3	
	A ₅		0	5	0,8	
			6,00	5	1,8	
			11,00	5	1,0	
	S10	A ₁		0	5	1,6
			1,30	5	4,3	
			1,95	5	2,2	
A ₂			0	5	1,5	
			3,00	5	2,5	
			4,00	5	1,7	
A ₃			0	5	1,5	
			3,95	5	1,6	
			5,90	5	3,1	
A ₄			0	5	4,5	
			4,40	5	1,3	
			6,80	5	275,5	
A ₅			0	5	3,2	
			6,70	5	2,2	
			11,40	5	18,5	

Mediciones del contenido de arena
en Frontera, 13 de diciembre de 1949

Medición Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profundi- dad de muestreo m.	Can- ti- dad l.	Conteni- do de arena mg./l.	Muestras del lecho
S11	A ₁	8 ⁰⁰	0	5	5,0	fango y arcilla
		8 ¹⁰	2,60	5	4,0	
		8 ²⁰	3,20	5	5,0	
	A ₂	8 ⁴⁵	0	5	1,4	
		8 ⁵⁵	3,25	5	1,3	
		9 ⁰⁵	4,50	5	4,3	
	A ₃	9 ²⁵	0	5	2,1	
		9 ³⁵	3,75	5	0,9	
		9 ⁴⁵	5,50	5	3,3	
	A ₄	10 ¹⁰	0	5	1,3	
		10 ²⁰	4,70	5	1,4	
		10 ³⁰	7,45	5	3,5	
	A ₅	10 ⁵⁰	0	5	2,3	
		11 ⁰⁰	6,70	5	2,1	
		11 ¹⁰	11,40	5	3,9	
S12	A ₁	14 ⁰⁵	0	5	0,9	fango y arcilla
		14 ¹⁵	2,60	5	1,0	
		14 ²⁵	3,15	5	1,6	
	A ₂	14 ⁵⁰	0	5	0,9	
		15 ⁰⁰	3,10	5	1,0	
		15 ¹⁰	4,25	5	9,7	
	A ₃	15 ⁴⁰	0	5	0,3	
		15 ⁵⁰	3,75	5	0,7	
		16 ⁰⁰	5,50	5	1,9	
	A ₄	16 ²⁰	0	5	3,3	
		16 ³⁰	4,75	5	0,8	
		16 ⁴⁰	7,50	5	3,0	
	A ₅	17 ¹⁰	0	5	0,9	
		17 ²⁰	6,55	5	2,2	
		17 ³⁰	11,10	5	4,0	
						fango y arcilla

Mediciones de arena y del contenido total de sedimentos
río abajo del canal lateral, en octubre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profundi- dad de muestreo m.	Can- ti- dad l.	Conte- nido de arena mg./l.	Contenido total de sedimentos mg./l.	Muestras del lecho
S13	B ₁	10 ⁰⁰	2,00	1	5	457	fango
			4,00	1	0	465	
	B ₂		3,10	1	0	444	
			6,20	1	5	477	
	B ₃	10 ³⁰	5,00	1	0	369	
			10,00	1	0	1.176	
S14	B ₁	14 ⁰⁰	2,15	1	0	468	fango
			4,30	1	0	356	
	B ₂		3,00	1	5	277	
			6,00	1	0	318	
	B ₃	15 ²⁰	4,30	1	5	254	
			8,60	1	0	457	
S15	B ₁	12 ⁰⁰	1,70	1	20	337	fango arenoso
			3,40	1	35	587	
	B ₂		3,05	1	5	513	
			6,10	1	5	776	
	B ₃	12 ³⁰	3,80	1	5	430	
			7,60	1	5	676	
S16	B ₁	17 ¹⁵	2,02	1	5	349	fango y arcilla
			4,05	1	20	484	
	B ₂		3,05	1	25	416	
			6,10	1	5	412	
	B ₃	17 ⁴⁵	3,95	1	5	479	
			7,90	1	5	514	

Mediciones de arena y del contenido total de sedimentos
río abajo del canal lateral, en noviembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profundi- dad de muestreo m.	Can- ti- dad l.	Conte- nido de arena mg./l.	Contenido total de sedimentos mg./l.	Muestras del lecho
S17	B ₁	8 ³⁵	1,80	1	36,4	320	fango y arcilla
		8 ⁴⁰	3,60	1	100,4	433	
	B ₂	8 ⁵⁰	3,00	1	70,4	466	fango y arcilla
		9 ⁰⁰	6,00	1	103,4	452	
	B ₃	9 ¹⁰	3,85	1	36,9	290	fango y arcilla
		9 ¹⁵	7,70	1	199,7	553	
S18	B ₁	11 ³⁰	1,85	1	22,8	243	fango y arcilla
		11 ³⁵	3,70	1	47,1	342	
	B ₂	11 ⁴⁵	2,50	1	31,0	418	fango y arcilla
		11 ⁵⁰	5,00	1	23,3	455	
	B ₃	12 ⁰⁰	3,87	1	31,7	470	fango y arcilla
		12 ¹⁰	7,75	1	114,4	513	
S19	B ₁	8 ³⁰	0	1	5,0	133	fango arenoso y arcilla
		8 ³⁰	1,80	1	11,8	142	
		8 ³⁵	3,60	1	13,6	127	
	B ₂	8 ⁵⁰	0	1	4,0	63	
		8 ⁵⁰	3,00	1	13,8	122	
		8 ⁵⁵	6,00	1	30,8	148	
	B ₃	9 ⁰⁵	0	1	5,0	339	
		9 ⁰⁵	4,50	1	11,5	440	
		9 ¹⁰	9,00	1	4,8	187	
S20	B ₁	14 ³⁰	0	1	5,0	47	fango arenoso y arcilla
		14 ³⁰	2,05	1	5,0	312	
		14 ⁴⁵	4,10	1	4,2	77	
	B ₂	14 ⁵⁰	0	1	5,0	68	
		14 ⁵⁰	3,30	1	3,8	103	
		14 ⁵⁵	6,60	1	16,7	248	
	B ₃	15 ⁰⁵	0	1	5,0	79	
		15 ⁰⁵	4,25	1	6,0	120	
		15 ¹⁰	8,50	1	7,8	127	

Mediciones del contenido de arena

río abajo del canal lateral, 1º de diciembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profundi- dad de muestreo m.	Can- ti- dad l.	Conteni- do de arena mg./l.	Muestras del lecho
S21	B ₁	5 ⁰⁰	0	5	2	
		5 ³⁰	1,95	5	5	
		6 ³⁰	3,90	5	4	
	B ₂	7 ¹⁰	0	5	16	
		7 ²⁰	2,45	5	4	
		7 ³⁰	4,90	5	41	
	B ₃	8 ³⁰	0	5	45	
		8 ⁴⁰	2,55	5	1	
		8 ⁵⁰	5,10	5	8	
	B ₄	9 ⁴⁵	0	5	3	
		9 ⁵⁵	3,20	5	5	
		10 ⁰⁵	6,40	5	49	
	B ₅	10 ⁵⁰	0	5	4	
		11 ⁰⁰	3,95	5	9	
		11 ¹⁰	7,90	5	25	
S22	B ₁	14 ⁰⁰	0	5	7	
		14 ¹⁰	2,20	5	10	
		14 ²⁰	4,40	5	23	
	B ₂	14 ⁵⁰	0	5	5	
		15 ⁰⁰	2,00	5	3	
		15 ¹⁰	4,00	5	8	
	B ₃	15 ³⁵	0	5	5	
		15 ⁴⁵	2,70	5	5	
		15 ⁵⁵	5,50	5	85	
	B ₄	16 ²⁵	0	5	2	
		16 ³⁵	3,55	5	4	
		16 ⁴⁵	7,10	5	32	
	B ₅	17 ¹⁵	0	5	4	
		17 ²⁵	3,60	5	5	
		17 ³⁵	7,20	5	22	

Mediciones del contenido de arena

río abajo del canal lateral, 8 de diciembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profundi- dad de muestreo m.	Can- ti- dad l.	Conteni- do de arena mg./l.	Muestras del lecho
S23	B ₁	7 ⁴⁰	0	5	3,5	fango arenoso y arcilla
		7 ⁵⁰	3,20	5	38,7	
		8 ⁰⁰	4,20	5	24,7	
	B ₂	8 ⁴⁵	0	5	4,3	
		8 ⁵⁵	2,20	5	10,3	
		9 ⁰⁵	3,20	5	23,4	
	B ₃	9 ⁴⁰	0	5	5,3	
		9 ⁵⁰	3,50	5	5,3	
		10 ⁰⁰	4,50	5	24,5	
	B ₄	10 ⁴⁰	0	5	2,5	
		10 ⁵⁰	4,25	5	2,5	
		11 ⁰⁰	6,50	5	4,6	
	B ₅	11 ¹⁵	0	5	1,4	
		11 ²⁵	4,75	5	2,5	
		11 ³⁵	7,50	5	25,7	
S24	B ₁	14 ¹⁰	0	5	3,0	fango arenoso y arcilla
		14 ²⁰	3,20	5	3,3	
		14 ³⁰	4,40	5	5,3	
	B ₂	15 ⁰⁵	0	5	2,0	
		15 ¹⁵	2,50	5	2,9	
		15 ²⁵	3,50	5	3,3	
	B ₃	15 ⁴⁰	0	5	3,7	
		15 ⁵⁰	3,45	5	2,1	
		16 ⁰⁰	4,90	5	5,0	
	B ₄	16 ²⁰	0	5	2,3	
		16 ³⁰	4,50	5	3,0	
		16 ⁴⁰	7,00	5	18,3	
	B ₅	17 ¹⁰	0	5	2,5	
		17 ²⁰	4,95	5	3,6	
		17 ³⁰	7,90	5	6,0	

Mediciones de arena y del contenido total de sedimentos
en el canal lateral, en octubre de 1949

Medi- ción N°	Ver- ti- cal N°	Ho- ra	Profundi- dad de muestreo m.	Can- ti- dad l.	Conte- nido de arena mg./l.	Contenido total de sedimentos mg./l.	Muestras del lecho
S25	C ₁	9 ⁰⁰	2,50	1	0	298	fango arenoso
			5,00	1	0	438	
	C ₂		3,35	1	5	355	
			6,70	1	5	524	
	C ₃	9 ⁴⁵	3,50	1	5	292	
			7,00	1	5	356	
S26	C ₁	17 ²⁰	2,55	1	0	115	fango arenoso
			5,10	1	5	214	
	C ₂		3,50	1	5	153	
			7,00	1	5	215	
	C ₃	17 ⁵⁰	3,60	1	0	223	
			7,20	1	5	174	
S27	C ₁	11 ¹⁵	2,45	1	5	457	fango arenoso
			4,90	1	10	693	
	C ₂		3,15	1	5	460	
			6,30	1	10	536	
	C ₃	11 ⁴⁵	3,10	1	0	427	
			6,20	1	5	459	
S28	C ₁	14 ⁴⁵	2,75	1	5	362	fango arenoso
			5,50	1	5	841	
	C ₂		3,20	1	5	386	
			6,40	1	5	444	
	C ₃	15 ¹⁵	2,90	1	5	342	
			5,80	1	70	421	

Mediciones de arena y del contenido total de sedimentos
en el canal lateral, en noviembre de 1949

Medición N°	Vertical N°	Hora	Profundidad de muestreo m.	Cantidad l.	Contenido de arena mg./l.	Contenido total de sedimentos mg./l.	Muestras del lecho
S29	C ₁	8 ³⁵	2,05	1	27,0	181	arena fina
		8 ⁴⁰	4,10	1	17,0	153	
	C ₂	8 ⁵⁵	3,50	1	23,3	159	fango y arcilla
		9 ⁰⁰	7,00	1	46,1	252	
	C ₃	9 ¹⁰	3,65	1	10,9	127	fango y arcilla
		9 ¹⁵	7,30	1	23,5	207	
S30	C ₁	17 ³⁰	2,20	1	32,0	179	arena fina
		17 ³⁵	4,40	1	10,0	136	
	C ₂	17 ⁴⁵	3,50	1	22,0	151	fango arenoso y arcilla
		17 ⁵⁰	7,00	1	81,9	260	
	C ₃	18 ⁰⁰	3,50	1	20,0	166	fango y arcilla
		18 ⁰⁵	7,00	1	39,3	199	
S31	C ₁	6 ²⁵	0	1	5,0	135	fango y arcilla
		6 ²⁵	3,00	1	32,1	181	
		6 ³⁰	6,00	1	7,3	310	
	C ₂	6 ⁴⁵	0	1	39,4	194	fango y arcilla
		6 ⁴⁵	3,45	1	59,7		
		6 ⁵⁰	6,90	1	31,9		
	C ₃	7 ⁰⁰	0	1	53,1		fango arenoso y arcilla
		7 ⁰⁰	3,25	1	14,2		
		7 ⁰⁵	6,50	1	50,3		
S32	C ₁	17 ²⁵	0	1	7,5	fango y arcilla	
		17 ²⁵	3,00	1	4,0		
		17 ³⁰	6,00	1	10,0		
	C ₂	17 ⁵⁰	0	1	3,4	fango y arcilla	
		17 ⁵⁰	3,40	1	7,2		
		17 ⁵⁵	6,80	1	13,0		
	C ₃	18 ¹⁰	0	1	5,0	fango y arcilla	
		18 ¹⁰	3,40	1	6,9		
		18 ¹⁵	6,80	1	43,3		

Mediciones del contenido de arena
en el canal lateral, en diciembre de 1949

Medi- ción Nº	Ver- ti- cal Nº	Ho- ra	Profundi- dad de muestreo m.	Can- ti- dad l.	Conte- nido de arena mg./l.	Muestras del lecho		
S33	C ₁	6 ²⁰	0	5	35,3	fango y arcilla		
		6 ³⁰	2,00	5	26,6			
		6 ⁴⁰	4,00	5	51,3			
	C ₂	7 ¹⁵	0	5	9,5		fango y arcilla	
		7 ²⁵	3,45	5	9,6			
		7 ³⁵	6,90	5	14,0			
	C ₃	8 ³⁰	0	5	13,7			fango areno- so y arcilla
		8 ⁴⁰	3,20	5	9,6			
		8 ⁵⁰	6,40	5	1364,4			
S34	C ₁	14 ⁰⁰	0	5	24,5	fango areno- so y arcilla		
		14 ¹⁰	3,45	5	9,7			
		14 ²⁰	6,90	5	81,3			
	C ₂	15 ⁰⁰	0	5	11,6		fango y arcilla	
		15 ¹⁰	3,25	5	8,2			
		15 ²⁰	6,50	5	19,3			
	C ₃	16 ⁰⁰	0	5	3,3			fango areno- so y arcilla
		16 ¹⁰	2,95	5	3,4			
		16 ²⁰	5,90	5	1770,3			
S35	C ₁	7 ³⁵	0	5	5,1	fango y arcilla		
		7 ⁴⁵	3,60	5	9,7			
		7 ⁵⁵	5,20	5	14,4			
	C ₂	8 ⁴⁰	0	5	1,4		fango areno- so y arcilla	
		8 ⁵⁰	4,00	5	3,9			
		9 ⁰⁰	6,00	5	4,9			
	C ₃	9 ³⁵	0	5	1,9			fango y arcilla
		9 ⁴⁵	3,80	5	4,9			
		9 ⁵⁵	5,60	5	22,6			
S36	C ₁	14 ³⁰	0	5	1,0	fango y arcilla		
		14 ⁴⁰	3,00	5	2,7			
		14 ⁵⁰	5,00	5	49,1			
	C ₂	15 ²⁰	0	5	1,5		fango areno- so y arcilla	
		15 ³⁰	4,25	5	4,3			
		15 ⁴⁰	6,50	5	50,4			
	C ₃	16 ¹⁰	0	5	1,3			fango areno- so y arcilla
		16 ²⁰	3,75	5	5,7			
		16 ³⁰	5,50	5	97,1			