

## ANALES

DEL

## INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

## LA BARRA DEL RIO IMPERIAL

## ALGUNAS IDEAS ACERCA DE SU MEJORAMIENTO (\*)

El rio Imperial, situado en la provincia de Cautin, se forma por la union de los rios Cautin i Cholchol, que confluyen un poco mas abajo de la ciudad de Nueva Imperial. Aun cuando el Imperial es navegable en todo su curso, la parte realmente importante comienza en la ciudad de Carahue i termina en el Océano, recorriendo unos 30 kilómetros, trayecto que remontan los vapores de 200 a 300 toneladas que hacen el comercio de cabotaje.

Carahue es el término del ferrocarril en actual construccion, i próximo a ser terminado, que une Temuco con Carahue.

Este ferrocarril, como todos los ramales a la costa, tiene como principal objeto el acarreo al mar de los productos del interior. Desde Carahue al mar el acarreo debe hacerse necesariamente por el Imperial, ya que no seria aceptable pensar en ferrocarril, disponiendo de una escelente via fluvial.

Una vez terminado i dado a la explotacion el ferrocarril de Temuco a Carahue el rio Imperial está llamado a ser la vía obligada de acarreo al exterior, no sólo de los productos de la localidad, como hasta hoi, sino de los de toda la frontera. Seria inoficioso entrar a comparar distancias a otros puntos de embarque, pues basta echar una mirada al mapa de la rejion del sur de Chile para penetrarse de esta verdad. Pero para que así suceda es indispensable que los vapores que van a movilizar esta carga al exterior tengan espedito el camino de su navegacion, tanto en el rio como en su desembocadura. Si esta condicion no se realiza, el ferrocarril recién construido no llenará su principal objetivo i su explotacion será lánguida i dejará pérdidas, como pasa generalmente con todos los ramales a la costa, que han quedado a medio camino.

Penetrado el Supremo Gobierno de la conveniencia de dar a las producciones de la frontera una salida espedita i segura al mar, encomendó hace algunos años al ingeniero frances don C. J. de Cordemoy los estudios relativos a la regularizacion del rio Imperial i al mejoramiento de su barra. En el verano de 1892-1893 practicó estos estudios el mencionado ingeniero i en el mismo año de 1893 dió a luz su proyecto cuyas conclusiones, en resúmen, son como sigue: Para la regularizacion del rio hasta obtener una profundidad de 8 metros en baja mar i anchos que varian desde 100 metros frente a Carahue hasta 250

(\*) Por un inconveniente de última hora, no hemos podido incluir a este número la lámina a que se alude en el presente artículo, pero lo haremos en el número próximo.—LA REDACCION.

metros cerca de la desembocadura, recomienda los dragados que calcula en 18 270 000 m<sup>3</sup>, pero cree que no habrá necesidad de dragar tan considerable cubo porque bastará abrir un surco con la draga para que la corriente del río, buscando su equilibrio, haga el demás trabajo; le asigna a este capítulo 1 000 000 de pesos de 24 peniques. La parte del proyecto que se refiere al mejoramiento de la barra es mucho más importante. Consiste en la ejecución de dos molos; uno por lo menos es indispensable; parte éste del cerro Truhue i se dirige en curva de 1 500 metros de radio en dirección al S. O., alcanzando un desarrollo de 2 100 metros i cayendo allí el cabezo en profundidades de 11.40 m. Una vez construido este molo se vería si había necesidad de construir el del norte, que en todo caso sería de escasa importancia comparado con el anterior. Ambos molos se construirían con bloques artificiales de 40 toneladas, botados a granel, hasta que formasen su talud natural i se elevarían de 1.50 m sobre la más alta marea con un ancho en su coronamiento de 4,50 m a 7,50 m según las profundidades. El presupuesto a que llega es el siguiente:

Regularización del río .....	\$ 1 000 000
Mejoramiento de la barra. ....	6 421 600
	<hr/>
Suma.....	\$ 7 421 600
Imprevisto el 15 % .....	1 113 324
	<hr/>
Suma total. ....	\$ 8 534 924

Éstos son pesos de 24 peniques; al cambio de 16 peniques esta suma se convierte en 12 800 000, o sean 13 000 000 de pesos en número redondo.

Delante de esta cifra se explica perfectamente que el Gobierno no se resolviera a emprender la obra i que la ejecución del proyecto, aunque muy interesante, quedara para mejores días.

Prescindiendo de la regularización del río, ¿sería posible obtener una solución para el mejoramiento de la barra que fuera más económica, cumpliendo al mismo tiempo con la condición de ser seguramente eficaz? Con un estudio del terreno i sus particularidades locales creemos que se alcanzaría este resultado. Vamos a diseñar someramente los fundamentos que tenemos para pensar así.

Para encontrar los medios de hacer desaparecer la barra hai que buscar las causas que concurren a su formación.

La barra del río Imperial consiste en el embancamiento de la desembocadura del río, debido a arenas que allí se depositan. El depósito de arenas toma proporciones considerables cuando el río tiene su caudal mínimo i la barra se profundiza en las grandes creces, es decir, cuando el río toma su caudal máximo.

Hai que investigar de dónde proviene la arena que forma la barra i las fuerzas que concurren primero a trasportarla i después a mantenerla en ese punto.

La primera cuestión es fácil dilucidarla, pues basta establecer la comparación entre las arenas de que está compuesta la barra i las que existen en las playas vecinas o en el lecho del río. Desde luego hai que eliminar como concurrente a la formación de la barra el lecho del río, porque éste se compone de cascajo grueso en su jeneralidad i de fango en una que otra parte, i la barra está formada por una arena fina, uniforme, de color oscuro.

De ese exámen hai que concluir que la barra no proviene de materiales arrastrados por el rio i que irian a depositarse en su desembocadura. Hai que buscar entónces la procedencia de la arena de la barra en las playas vecinas a la desembocadura del rio. I efectivamente se puede observar que el aspecto i la constitucion de la arena de que está formada la barra es en todo idéntica a la que existe en las playas que se extienden al norte i al sur de la desembocadura del rio. Se puede, pues, afirmar que la arena de la barra proviene de las playas del mar vecinas a ella. Resta ahora averiguar de cuál de las dos playas procede. ¿Viene de la playa norte o de la playa sur? Para resolver esta cuestion hai que analizar las causas que rijen el movimiento de las arenas en el estuario del rio. Es interesante a este respecto observar la configuracion característica del rio en su último trozo. (fig.). Hasta unos 4 kilómetros ántes de llegar al mar su curso es normal a la costa, corriendo mas o ménos de oriente a poniente, pero en el punto en donde confluye con el Moncul vuelve bruscamente al sur i corre paralelamente a la costa hasta desembocar en el mar, haciendo un ángulo mui obtuso con la playa norte. En este último trayecto el rio está separado del mar por una angosta península formada por arenas en todo semejantes a la arena de la barra. Sin entrar por el momento a considerar otras observaciones parece indicado, en vista de la configuracion del rio i del material de que está compuesta la península, que su desembocadura ha sido, en época remota talvez, normal a la playa i que despues fué empujada hácia el sur hasta que encontró un punto firme en que apoyarse. I efectivamente, se desprende, de las observaciones que allí se han practicado, que esa es la verdad de las cosas.

Las arenas que forman la barra, provenientes de las playas del mar, han sido conducidas allí o por las olas o por el viento o por las corrientes, ya sea obrando estos agentes aisladamente o en conjunto. De estas tres fuerzas hai que eliminar las corrientes, porque en las playas, frente al Imperial, son nulas o carecen de velocidad suficiente para arrastrar las arenas. Las olas, al romper en la playa, arrastran las arenas en el sentido en que rompan, es decir, segun sea la direccion de las olas. La direccion de las olas está subordinada a la direccion en que sople el viento. De suerte que en último análisis hai que buscar la direccion del viento reinante para saber de dónde vienen las arenas que forman la barra. Las observaciones que se han hecho en Bajo Imperial comprueban que el viento reinante en esa rejion sopla del N. O.

Por consiguiente, las olas que tienden a romper normalmente a la playa, amoldándose a la configuracion de la costa, son modificadas por el viento i rompen en la playa durante la mayor parte del año con una cierta inclinacion hácia el sur. De allí proviene el transporte de las arenas que, empujadas por las olas a lo largo de la playa, van por fin a pasar por la boca del rio i forman allí el depósito que constituye la barra. Este transporte de arenas explica la formacion de la larga i angosta península compuesta de arenas que se observa entre el último trozo del rio i el mar. En tiempo lejano es indudable que el rio desembocó normalmente a la costa, siguiendo el curso jeneral que traia mas arriba del cerro Nielhuentue, punto en donde hoi se le junta el Moncul. Las arenas que las olas conducen del norte han rechazado primero la boca del Moncul, que indudablemente desembocaba directamente en el mar, hasta unirlo con el Imperial; despues poco a poco la boca del Imperial, unido ya con el Moncul, ha sido rechazada al sur hasta que encontró

un punto firme en donde apoyarse. Ese punto fué el cerro Truhue, que atacado durante siglos al fin ha sido corroido i contorneado, i la península de arena avanzó hasta donde le permitió la corriente del rio que hoi se apoya sobre el cerro Cholñi.

La barra se formó entónces entre la estremidad sur de la península i el cerro Cholñi. Allí se ha establecido cierto equilibrio entre la fuerza de la corriente del rio i el depósito de arenas de la barra: si el caudal del rio aumenta, aumenta tambien la corriente (durante el reflujó) i adquiere fuerza suficiente para abrirse un canal mas o ménos profundo en la arena de la barra; al contrario, si el caudal del rio disminuye, la corriente decrece, lo que produce un mayor embancamiento; si el rio no tuviera caudal, es decir, si fuere un lago, las arenas habrian invadido su desembocadura i la barra seria una playa. Hai, pues, una lucha constante entre la corriente del rio en la desembocadura i entre el depósito de arenas de la barra. Se puede decir que están en razon inversa, de tal manera que para conseguir que la barra se profundice hai que aumentar la corriente del rio en la desembocadura. Esto se puede obtener de dos maneras: o estrechando la boca del rio o aumentando su caudal en el reflujó. La primera solucion se obtiene por la construccion de molos o rompeolas que estrechen i encaucen la boca del rio: es la solucion adoptada por el señor de Cordemoy.

Para examinar la segunda solucion establezcamos que el caudal en la desembocadura del rio se compone del caudal propio del rio i del caudal de agua de mar que entra con la marea i que sale en el reflujó. El rio Imperial tiene una pendiente mui escasa (poco mas de un centímetro por kilómetro), de manera que la marea juega allí un papel mui importante. Así en marea creciente no sólo se detiene la corriente producida por el caudal propio del rio sino que se invierte.

De consiguiente el caudal, i por lo tanto la corriente en la desembocadura del rio, es variable en cada momento: toma su máximum durante el reflujó, es nula en la estoa i se invierte durante el flujo.

A causa de la poca pendiente del rio la marea se deja sentir en todo su curso, circunstancia que importa mucho como capacidad marítima del rio, pues se dispone de un caudal suplementario que se agrega al caudal propio del rio i contribuye, por consiguiente, a aumentar durante el reflujó la velocidad de la corriente en su desembocadura, lo que trae por consecuencia un mayor arrastre de arenas mar afuera.

Se ve, pues, que si pudiésemos aumentar la cantidad de agua de mar que hoi entra al rio conseguiríamos una velocidad mayor durante el reflujó i con eso una mayor profundidad en la barra, tanto mayor cuanto mas grande sea el aumento de la capacidad marítima del rio.

Al sur de Bajo Imperial existe un lago llamado Budi, que tiene al parecer una estension considerable. Este lago se comunica con el mar en el invierno cuando las grandes lluvias hacen subir sus aguas lo necesario para romper la playa de arena que lo separa del mar (fig.) La boca, que se abre entre dos cerros firmes, lo mantiene en comunicacion con el mar miéntras el caudal que sale del lago tiene suficiente importancia para luchar contra la invasion de las arenas del norte que tienden a obstruirla.

A medida que va decreciendo el caudal que alimenta el lago, la boca principia a perder en ancho i en profundidad, hasta que al fin concluye por ser cubierta i cerrada por

las arenas. Aquí se producen en menor escala los mismos fenómenos que en la boca del Imperial, con la diferencia de que siendo el caudal del río de mayor constancia i consideracion la boca no llega a obstruirse por completo en época de aguas bajas. Si existiere la posibilidad de unir el río con el lago Budi se aumentaria tanto la capacidad marítima del río como fuera la superficie del lago.

No tengo datos fidedignos acerca de la estension del lago Budi, pero se asegura que tiene una lonjitud de 20 kilómetros por un ancho medio de 2 kilómetros, lo que daría una superficie de 40 kilómetros cuadrados.

A fin de no alejarnos mucho de la verdad tomaremos la mitad de la superficie anterior, o sean 20 millones de metros cuadrados.

La amplitud máxima de una misma marea observada en la proximidad de la boca del río Imperial alcanza a 1,20 m i la amplitud mínima a 0,14 m. Tomemos un promedio de 0,70 m.

Si imaginamos unido el Budi con el Imperial i suponemos el lago bastante ancho para que se propague libremente la marea, tendremos que entraria al Budi durante una marea máxima

$$20\ 000\ 000 \times 1,20 = 24\ 080\ 000\ \text{m}$$

i en el promedio:

$$20\ 000\ 000 \times 0,70 = 14\ 000\ 000\ \text{de m}^3$$

A fin de no complicar esta cuestion, supongamos que esta cantidad de agua se escurre uniformemente en las 6 horas que separan la alta de la baja mar; segun esto, tomando el promedio supuesto, tendremos un gasto de:

$$\frac{14\ 000\ 000}{6 \times 60 \times 60} = 650\ \text{m}^3$$

por segundo que durante el reflujó vendrá a incrementar el gasto actual en la desembocadura del río. Este gasto actual se ha calculado en unos 1 200 m<sup>3</sup> por segundo a media marea variante; con el incremento que hemos determinado tendríamos en la boca del río unos 1 800 m<sup>3</sup>, es decir, una tercera parte mas que hoy. Como se ve, aumentaríamos considerablemente el caudal en la variante, lo que garantizaria una velocidad mas que suficiente para que el agua que sale del río pueda abrirse a firme un canal profundo sobre las arenas que forman la barra.

Hai que ver ahora si la union del río i el lago es posible, i en ese caso determinar aproximadamente su costo.

Entre el Truhue i el Cholñi existe una serie de colinas de arena que se estiende hasta el pié del cordón de cerros que se desarrollan en forma de arco entre los dos altos cerros mencionados (fig.). En dicho cordón de cerro, si mal no recordamos, hai un paso cubierto de arenas i que se eleva unos 15 metros sobre el suelo; es una especie de portezuelito formado de arenas. Desde ese punto se divisa mui próximo el lago Budi. La distancia entre el río i el lago, siguiendo ese camino, es de unos 2 kilómetros.

Hemos dicho que el portezuelo de comunicacion se eleva mas o ménos a 15 metros

sobre el suelo, el cual se encuentra a 5 metros sobre baja mar, lo que da una altura total de 20 metros en su punto mas alto.

Poniendo 10 metros mas para la profundidad del canal, tendremos 30 metros de altura máxima para la escavacion. La altura mínima tendria 10 metros de altura en las orillas del rio i del lago. Tomemos, para no quedar cortos, un promedio de 20 metros de altura que habria que escavar.

Si suponemos el canal con 20 metros de ancho en el fondo i taludes de 2 por 1, la seccion mojada seria para una altura de 10 metros, de  $400 \text{ m}^2$ , por donde deben escurrirse  $1\,000 \text{ m}^3$  por segundo como máximo, lo que da una velocidad de 2,5 m por segundo; para el promedio de  $650 \text{ m}^3$  tenemos una velocidad de 1,60 m. por segundo. Con estas velocidades las paredes i el fondo del canal evidentemente serian corroidos, lo que traeria el ensanchamiento del canal i un aumento de la profundidad hasta que la seccion de escurrimiento fuera tal que el equilibrio quedare restablecido.

Esto manifiesta que para abrir el canal de comunicacion no hai necesidad de darle 10 metros de profundidad a la seccion mojada, pues bastará escavar unos pocos metros i dejar despues que la corriente haga el resto del trabajo hasta que se establezca el equilibrio. Llegado ese caso es probable que el rio se labre allí un lecho suficiente i vaya a desembocar en el lugar en donde el Budi sale al mar en el invierno: en tal caso la barra actual quedaria convertida en playa i la desembocadura del Imperial seria la desembocadura del Budi.

Para calcular aproximadamente el costo que demandaria la union de que hablamos pongámonos en el caso desfavorable de que realmente hubiera necesidad de hacer la escavacion del canal con una altura de escavacion de 20 metros en promedio.

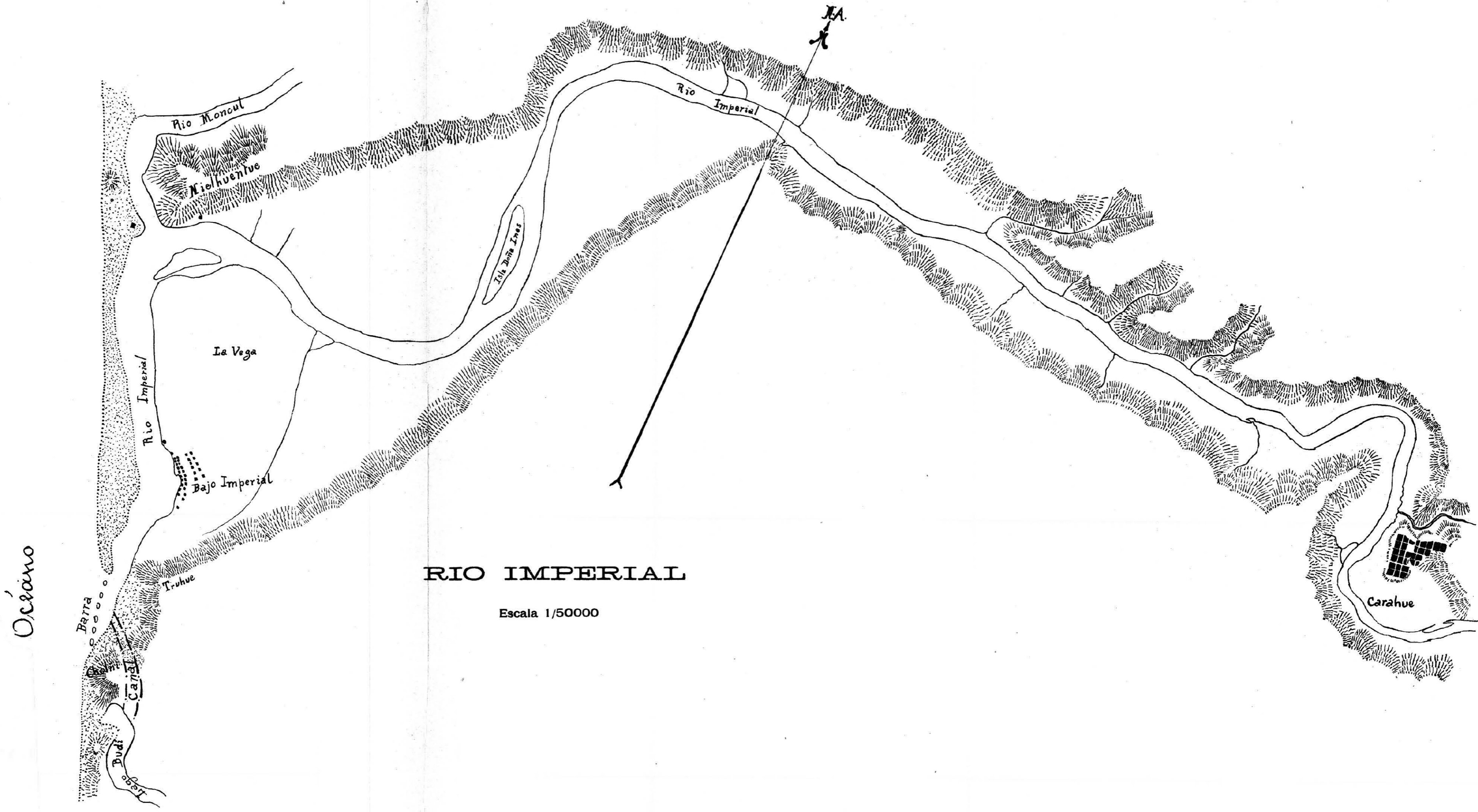
Con las dimensiones anteriormente indicadas de 20 metros de ancho en el fondo i taludes de 2 por 1, tendríamos una seccion de  $1\,200 \text{ m}^2$  que, multiplicada por 2 000 metros de largo da  $2\,400\,000 \text{ m}^3$  de escavaciones, en su mayor parte arena. En estas condiciones el metro cúbico bien estimado se puede apreciar en 50 centavos, con lo que se llega a un presupuesto máximo de 1 200 000 pesos, moneda corriente.

La construccion de los molos, propuesta por el señor de Cordemoy, importa 6 500 000 pesos de 24 peniques.

De todas maneras, cualesquiera que sean los errores de apreciacion que afecten al resultado que acabamos de obtener, está de manifiesto que seria mui útil e interesante hacer un estudio en el terreno para verificar la posibilidad de la union del lago con el rio por el punto que hemós señalado o por sus alrededores, tomando alturas i senderos jeológicos que indiquen la naturaleza del terreno que se proyecta escavar, hacer el plano del lago para conocer su superficie i configuracion, i en fin, tomar todos los datos necesarios para hacer el proyecto.

FILIDOR FERNÁNDEZ.





Océano

**RIO IMPERIAL**

Escala 1/50000