

MEMORIA SOBRE LAS CAUSAS DE LAS INUNDACIONES

DE VALPARAÍSO Y LOS MEDIOS DE EVITARLAS

OBRAS CONSULTADAS

ANALES DE LA CONSTRUCCIÓN Y DE LA INDUSTRIA. (Madrid.)
Números de Septiembre, Octubre y Noviembre de 1889.

ANUARIO HIDROGRÁFICO DE CHILE.

ANUARIO METEREOLÓGICO.

BARROS ARANA. Geografía física.

BECHMANN. Distributions d'eau, assainissement.

BELGRAND. Études hydrologiques.

BROILLIARD. Le traitement des bois en France.

CHAMPEON. Inondations des fleuves de France.

COMOY. Endiguement des rivières.

COSTA DE BASTELICA. Les torrents, leurs lois, leurs causes, leurs effets, moyen de les réprimer et de les utiliser; leur action géologique universelle.

CEZANNE. Étude sur les torrents.

DAUSSE. Mémoire sur l'insuffisance et les dangers de l'endiguement des fleuves.

DEMONTZEY. Reboisement des montagnes.

DOMEYKO. Mineralogía.

DUMAS. Etude sur les inondations.

DUPUIT. Traité de la conduite et distribution des eaux.

FABRE. Essai sur la théorie des torrents et des rivières.

GILLISS. The U. S. naval astronomical expedition to the southern hemisphere during the years 1849-50-51-52.

HUGUES. Corso di Geografia fisica.

LAMBOT-MIRAVAL. Observations sur les moyens de reverdir les montagnes et de prévenir les inondations.

LARBALÉTRIER. L'agriculture.

LÉCHALAS. Hydraulique fluviale.

LE GÉNIE CIVIL. Tomo XIV—9 de Marzo de 1889.—Paris.—Henri Martin. Les inondations et les moyens de s'en préserver.

LORENTZ ET PARADE. Cours de culture des bois

MARCHAND. Les Torrents des Alpes et le pâturage.

MAURY. Geografia fisica del mar.

PHILIPPE BRETON. Mémoire sur les barrages de retenue des graviers dans les gorges des torrents.

½ PISSIS. Geografia fisica de Chile.

POLONCEAU. Considérations sur les causes des ravages produits par les rivières à pentes rapides et par les torrents, et sur les meilleurs moyens à employer pour y remédier.

» Note sur les débordements des fleuves et des rivières.

» Des eaux relativement à l'agriculture.

ROZET. Moyens de forcer les torrents des Alpes à rendre à l'agriculture une grande partie du sol qu'ils ravagent aujourd'hui.

SCIPION GRAS. Exposé d'un nouveau système de défense contre les cours d'eau torrentiels des Alpes et application de ce système dans le département de l'Isère.

SURELL. Etude sur les torrents des Hautes-Alpes.

Inundaciones de Valparaíso.

DESCRIPCIÓN FÍSICA

Topografía.—A pesar de ser tan conocida la topografía del vecino puerto, démosle una rápida ojeada.

Extiéndase sobre un plano la mano derecha, con la palma hacia abajo; sepárese el dedo pulgar doblándole un poco; supóngase que el índice señala el N, que el espacio comprendido entre el pulgar y el índice es el mar y se tendrá la bahía de Valparaíso, abierta directamente á los vientos dominantes del N. y NO. Rodea la bahía un cordón de cerros, que elevan sus cimas á más de 500 metros sobre el nivel del mar, por cuyas faldas bajan una multitud de quebradas que atraviesan, en su mayoría, por medio de cauces abovedados la estrecha lonja de terreno plano que existe á lo largo de la costa, cauces que se han ido prolongando á medida que se terraplenaban nuevas fajas á orillas del mar.

Según Bernardières las coordenadas geográficas de Valparaíso son:

Longitud= $71^{\circ} 38' 16'',5$ O de Greenwich.

Latitud = $33^{\circ} 02' 10'',1$ S.

correspondientes al palo de bandera de la Bolsa, que ya no existe. De donde, según Bertrand, se obtiene para los siguientes puntos:

	Latitud S.	Long. O de Gr.
Farol giratorio, muelle Prat....	$33^{\circ} 02' 07'',7$	$71^{\circ} 38' 12'',9$
Torre del Faro.....	$33^{\circ} 01' 05'',0$	$71^{\circ} 38' 51'',1$
Casa del vigía.....	$33^{\circ} 02' 50'',3$	$71^{\circ} 39' 25'',0$
Fuerte Papudo, asta de bandera.	$33^{\circ} 01' 27'',2$	$71^{\circ} 35' 40'',28$

Aceptando que para la latitud de Valparaíso se tenga que un minuto de meridiano=1848, 7 m. y un minuto de paralelo=1557, 8 m.

Hidrografía marítima —La dirección de la corriente es variable dentro de la bahía. Cuando la marea es ayudada por fuertes vientos entonces sigue las inflexiones de la costa, entrando por el Oeste. (An. Hidr. t. IV, pág. 11 y t. IV, pág. 326.) Mas si predomina la corriente costanera de Sur á Norte se produce el efecto contrario. Es decir, que esta corriente, al ultrapasar la punta Angeles, se arremolina tomando junto á los nuevos malecones la dirección de E-O, ó sea encaminándose desde la caleta Barca hacia la punta Duprat. Este hecho lo hemos comprobado observando muchas veces á lo largo de los malecones los desperdicios que se arrojan en el matadero, el cual está colocado, como se sabe, entre la estación del Barón y Viña del Mar.

Según los marinos las mayores mareas alcanzan á 1,50 m.

El fondo de la bahía se eleva paulatinamente con lentitud, efecto que se debe á embancamientos y también, según algunos, al solevantamiento general de esta parte de la costa de Chile, observado por Pöppig, Fitz-Roy, Darwin, etc. La primera causa es la principal, pues la segunda tiende á producir una elevación *igual* del terreno tanto en la costa como en cualquier punto de la bahía, salvo dislocamientos que no se han verificado. Ahora bien, hé aquí algunas cifras que demuestran lo contrario. En puntos donde en 1838 se sondaban

56 m.	54 m.	29 m.
-------	-------	-------

En 1877 el escandallo bajaba solo

51 m.	45 m.	23,50 m.
-------	-------	----------

Sondas que arrojan las siguientes diferencias:

5 m.	9 m.	5,50 m.
------	------	---------

que distan de ser *iguales*. (An. Hidr. t. IV, pág. 8.) Además todo el mundo ha podido observar que en la escalera que hay

junto al muelle Prat los vaporcitos sólo pueden atracar con la alta marea, porque la arena se ha acumulado en tal cantidad que, un poco más hacia el muelle de la aduana, los lancheros van á buscarla para lastrar naves.

Geología. Las rocas que componen casi en su totalidad los cerros de la costa de las provincias centrales de Chile y por consiguiente los de Valparaíso, son de esquita y granito. Contienen, como se sabe, los dos feldespatos (ortoclasia y oligoclasia), cuarzo, mica y además hierro titanífero (Pissis. Geog. fís., pág. 98). Las mejores muestras de feldespato ortoclasia se encuentran en Playa Ancha. Este mineral se descompone y desagrega fácilmente. Hé aquí como da cuenta Pissis de esta transformación: «Las partes exteriores de estos granitos que reciben más directamente la acción del agua y de la atmósfera, han experimentado grandes alteraciones. Si se las observa desde los puntos donde la roca está aún intacta, hasta la superficie del suelo, donde la descomposición es completa, se nota, en primer lugar, que el feldespato ha perdido su transparencia y se ha vuelto muy blando; la mica también ha perdido mucho de su brillo; más arriba el feldespato se ha cambiado en kaolina y la mica forma una arcilla roja ó amarilla, cuyo color es debido al óxido de hierro que contiene esta especie; en fin, más cerca de la superficie, no se distingue ya lo que era feldespato y lo que era mica, porque el todo forma una arcilla rojiza, en la cual el cuarzo, que se ha quedado sin alteración, se halla diseminado. (Pissis, Geog. fís. pág. 96).

Además se encuentra piroxena ó hiperstena, lo que es muy difícil decidir, en las masas contra las cuales rompe el mar en los alrededores de la caleta del Membrillo (Domeyko. Mineral pág. 602).

Meteorología. La temperatura suele pasar de 30°, habiéndose observado las máximas siguientes en las fechas que se expresan

en la estación meteorológica de la Escuela Naval (Anuario Meteorológico):

15 de Abril de 1886.....	30 ^o .0
16 » » » »	30 ^o .0
17 » » » »	30 ^o .0
10 » Septiem. »	29 ^o .0
11 » » »	30 ^o .0
2 » Octubre »	28 ^o .0
5 » » »	30 ^o .5

En cuanto á temperaturas mínimas hé aquí algunas de las medidas en la estación del faro durante el año 1886:

23 de Junio	0 ^o .7
1. ^o » Julio	0 ^o .8
4 » »	0 ^o .2
17 » »	0 ^o .8
18 » »	0 ^o .5
27 » »	0 ^o .3

La temperatura media anual es de 14^o.1 (Barros Arana, Geog. fís. pág. 385. 3.^a edic.)

En la bahía reinan los vientos del 2.^o y 3.^{er} cuadrante, mas en el invierno dominan los del 4.^o ocasionando desastres y trayendo consigo las lluvias propias de esa estación.

La lluvia anual media es igual á 0.479 m. según las observaciones practicadas en la Bolsa Comercial desde el año 1853 á 1888. El año de mayor lluvia ha sido 1888 durante el cual la altura del agua caída fué de 0.967 m. El número medio de días de lluvia es de 25.

La presión barométrica media es de 758.15 m. m. (Barros Arana. Geog. fís. pág. 199.)

PRIMERA PARTE

MECANISMO DE UNA INUNDACIÓN EN VALPARAÍSO Y SUS CAUSAS

Cuando cae un aguacero sobre los cerros se puede observar lo siguiente: el agua, que en un principio llega dividida en gotas aisladas, se reúne poco á poco formando delgados hilos cuya confluencia progresiva constituye pequeños torrentes de más y más abultado caudal á medida que se acercan al fondo de las quebradas. Al bajar por las faldas el agua adquiere velocidades considerables: de ahí su fuerza para arrastrar el maicillo y abrir aun en la cima misma de los cerros, principio de su impetuosa carrera, zanjas profundas cuyo material lleva en suspensión hasta la parte plana en donde se deposita parcialmente dentro de los desagües, concluyendo por llenarlos, provocando su desborde y los consecuentes anegamientos y embanques de la ciudad.

En la relación anterior, cuya exactitud es evidente, están reunidos un cierto número de hechos que envuelven las causas de las inundaciones de la ciudad. Hélos aquí:

- 1) que el agua se reúne en las líneas de máxima pendiente de las faldas;
- 2) que adquiere velocidad;
- 3) que arrastra el material de la superficie;
- 4) que éste se deposita en los desagües.

El examen de estos cuatro puntos capitales nos hace ver inmediatamente las causas que buscamos. En efecto, es obvio que sin la presencia del agua no tendrá lugar ninguno de los cuatro hechos citados, lo mismo podemos decir de la arena con respecto de los dos últimos; y por fin, si los desagües se hubiesen construido conforme á las reglas del arte del ingeniero tampoco se presentaría el caso cuarto. Luego las causas buscadas son:

- A). Presencia del agua,
 - B). Presencia de la arena, y
 - C). Malas condiciones de los desagües.
- Estudiemos en detalle á cada una de éllas.

A.

No nos detendremos aquí para exponer las conocidas nociones de meteorología que esplican la formación de las lluvias. Indicaremos, sin embargo, el lugar de donde proviene el vapor acuoso que se condensa al ser detenido por la cordillera de los Andes. Esa fuente abundante no es otra que la región del Océano Pacífico que está al occidente de Méjico entre el trópico de Cáncer y el Ecuador. De las calmas ecuatoriales el vapor es arrastrado hacia nuestras costas por la corriente superior del NO. (contra-alíseo) que pasa á ser inferior más ó menos en el trópico de Capricornio (Maury, Geog. fís. del mar, 14.^a edición, § 355). No hay, pues, que pensar en agotar esta fuente.

B.

En el párrafo intitulado *Geología* hemos indicado someramente el proceso químico de la kaolinización. Recordémoslo aquí en detalle.

Los feldspatos contienen entre sus componentes potasa ó soda, álcalis que son arrastrados por la acción del ácido carbónico de la atmósfera, que talvez es el agente más activo de la destrucción de los silicatos de las rocas cristalinas. El agua se lleva el carbonato formado. La sílice, que estaba combinada con las bases, es puesta en libertad y se sabe que cuando está en un grado de división muy adelantado es muy sensiblemente soluble; es en esta solubilidad donde hay que buscar la causa de su desaparición, pues se ha notado que en la kaolina la proporción

de alúmina, relativamente á la de sílice, es mucho mayor que en el feldespato no descompuesto, lo que demuestra que no sólo el álcali sino también la sílice es arrastrada. A medida que el feldespato se descompone, se acerca más y más á la naturaleza de la arcilla, silicato de alúmina que es susceptible de combinarse con una gran proporción de agua, formando un compuesto plástico, pero enteramente insoluble.

Además de estas poderosas acciones químicas existen otras que tienen una influencia no menos considerable sobre la presencia de la arena. Estas son las acciones mecánicas que pueden detallarse como sigue, según nuestra observación personal:

Acciones mecánicas	{	<ul style="list-style-type: none"> a) de las variaciones de temperatura, b) del viento, c) del tráfico, d) del los trabajos lucrativos, e) del agua en las pendientes.
-----------------------	---	---

a.) Acción mecánica de los cambios de temperatura.

Los cambios de temperatura destruyen las rocas obrando de dos modos muy diferentes, que dependen de la amplitud de la oscilación de la columna termométrica.

1.) A causa del caldeo desigual, originado por la elevada temperatura que el sol comunica á las rocas durante el día (si la temperatura del aire á la sombra ha sido de 30°.5 la de las rocas es mucho mayor, ya que el aire es diatermano y se caldea al contacto del suelo) calor que las rocas irradian en la noche, las masas se dilatan sin uniformidad estableciéndose esfuerzos interiores considerables que provocan su ruptura. Los trozos pequeños que resultan son arrastrados por las aguas de las primeras lluvias hasta las quebradas donde son molidos y reducidos á arena por la fuerza de la corriente y el continuo chocar de los fragmentos entre sí y contra el fondo. En cuanto á los grandes trozos que no pueden ser arrastrados, continúan experimentan-

do la acción que estudiamos y, por consiguiente, suministrando nuevos materiales á las corrientes.

2). El agua, mientras está líquida, puede infiltrarse por todos lados en las rocas y á profundidades tanto mayores cuanto más porosas sean. Cuando, á consecuencia de un descenso de temperatura suficiente, el agua se convierte en hielo aumenta de volumen con fuerza irresistible y hace estallar las rocas más duras. Esta segunda manera de obrar de los cambios de temperatura se efectúa también en Valparaíso, ya que en la estación meteorológica del faro se han observado temperaturas muy próximas á cero grado y es natural que al aire libre la columna termométrica haya bajado de ese punto.

b). Acción mecánica del viento.

En verano los terrenos de los cerros se resecan completamente y entonces los vientos reinantes barren su superficie removiendo los trozos pequeños de roca que se reducen á fino polvo por su continuo chocar. Esta observación hace muchos años la practicó el teniente Gilliss de la armada de Estados Unidos, como se ve en el siguiente párrafo, en el cual se nota además que esto de los embanques no es cosa nueva como pretenden algunos: «En ambos barrios (el Almendral y el Puerto) las calles son estrechas; siendo las del Puerto las más angostas é intransitables por la cantidad de barro que las lluvias hacen bajar por las quebradas durante el invierno y las nubes de polvo arrastrado de los cerros por el fuerte viento sur-oeste que prevalece durante el verano».—(Gilliss. *The U. S. naval astronomical expedition to the southern hemisphere during the years 1849-50-51-52*. Vol. I, pág. 226.)

c). Acción mecánica del tráfico.

El paso de vehículos y animales por los caminos de los cerros los degasta paulatinamente. Además el pastoreo de animales en las faldas destruye la poca vegetación que queda, dejando en libertad las tierras que con sus raíces retenían.

Se ha sostenido que el motivo de los embanques es el camino de cintura. Hace muy pocos años que éste se construyó. Por consiguiente, sólo desde la fecha de su construcción debían notarse los embanques. Mas del párrafo antes citado del teniente Gilliss se deduce que por lo menos desde la fecha de su viaje este mal se viene reproduciendo. Luego el camino de cintura no motiva los embanques. Esto no quiere decir que neguemos en absoluto que dicho camino haya suministrado materiales. No. Así, por ejemplo, según inspección ocular calculamos que el lluvioso año de 1888 suministró 3555 m³, cantidad insignificante comparada con la totalidad de los movimientos de tierra que demandó la porción construida del camino de cintura, totalidad que asciende á 104894 m³.

El hecho es que, fuera de la cantidad de derrumbes que hemos señalado, todos los taludes estaban en su lugar; y aun más, cubiertos de vegetación lo que indica que no han sido movidos. Se exceptúan, sin embargo, las partes en que se practicaban trabajos que no comprendemos cómo se dejan hacer, tales como el corte de adobes que hemos visto ejecutar en un ramal de la quebrada de San Francisco sobre los taludes mismos del camino. Toda construcción á la cual se le quitan los cimientos, cae. Esto es obvio.

a). Acciones mecánicas ejecutadas por el lucro que se obtiene. Bajo este epígrafe comprendemos:

1). Los trabajos que se ejecutan en las canteras y las canchas para cortar adobes, ladrillos, etc. Basta sólo echar una ojeada sobre ellos para ver que se hacen sin tomar precauciones de ningún género para evitar que las aguas de lluvia puedan causar perjuicios. Al llegar dicho fluido á esos puntos no encuentra nada que detenga su impulso, sino que por el contrario halla una cantidad de escombros, sueltos por su reciente remoción, que arrastra con facilidad suma.

2). Todo el que haya visitado los cerros de Valparaíso habrá

visto que los propietarios deslindan sus terrenos por medio de zanjas que, recién hechas, son de pequeñas dimensiones; mas, con el transcurso del tiempo y el paso de las aguas de lluvia, que principian por llevarse los desmontes extraídos, se van ahondando más y más hasta convertirse en fosos profundos.

3) Incluiremos aquí también la remoción de tierras para formar planes donde poder edificar, como otro motivo de incremento en la cantidad de arena que puede bajar de los cerros. Su manera de obrar es análoga á la de los otros dos que acabamos de señalar.

e) Acción mecánica del agua en las pendientes.

No repetiremos aquí lo que ya hemos dicho sobre los efectos de las aguas de lluvia en las faldas de los cerros: nos limitaremos sólo á los daños que produce en las calles y caminos que serpentean sobre sus laderas.

La gran mayoría de estas vías de comunicación está en tal estado que no merecen el nombre que se les da. Se puede contar con los dedos de las manos el número de calles que están empedradas, macadamizadas, etc. Las demás y los caminos, por tener casi todos una fuerte pendiente en sentido longitudinal y por falta de cunetas, son barridos en toda su extensión por las aguas de las lluvias, las que cargándose ya á un lado, ya al otro, han hecho zanjas, dentro de las cuales, en calles que no tienen 10 metros de ancho, un jinete queda perdido con su cabalgadura

C.

a) Cauces abovedados.

Corresponde á Dupuit el honor de haber sentado los principios que deben presidir la construcción de los acueductos cerrados.

Esos principios son: 1.º la sección debe presentar el radio medio máximo ó en otros términos, para un perímetro dado debe

obtenerse la mayor sección de escurrimiento, y 2.º hay que reducir á un mínimo el empuje egercido por las tierras.

La sección circular es la que reúne mejor que cualquiera otra estas dos condiciones ineludibles, pues por una parte una bóveda cilíndrica completa no da reacción horizontal en los nacimientos y por otra se puede admitir que la figura que corresponde aproximadamente al radio medio máximo es el segmento de círculo que tiene por cuerda el lado del triángulo equilátero inscrito. Mas, tratándose de los desagües de Valparaíso, es preferible la forma ovoide por cuanto permite andar de pie á los individuos encargados de las reparaciones y limpieas, conservando al mismo tiempo las ventajas de escurrimiento y de empuje de la sección circular.

Pasemos ahora al perfil longitudinal.

Las pendientes de un buen cauce abovedado deben estar comprendidas entre 0,01 m. por metro, como mínimo y 0,03 m. como máximo. Cuando se baja de 0,015 m. por metro las arenas principian á depositarse y cuando se sube de 0,03 m. por metro se hace peligroso visitarlos, pues se ponen muy resbalosos (Bechmann. Distributions d'eau, assainissement, pag. 566).

Cuando es de necesidad absoluta bajar de la pendiente 0,01 m. por metro hay que cambiar la sección de modo que se aumente la profundidad de la vena líquida para mantener en lo posible la velocidad.

b) Acueductos abiertos.

Los cauces descubiertos deben, en principio, someterse á las mismas leyes que los cerrados. Sin embargo, por circunstancias especiales, que vamos á esponer, no se amoldan enteramente á ellas.

En efecto, si un cauce se deja abierto es por las grandes dimensiones de su sección transversal, que originaria fuertes gastos si se tratase de abovedar. Ahora bien, si aplicásemos los principios que hemos sentado más arriba tendríamos que admi-

tir una bóveda inversa de gran tamaño y son conocidas las dificultades que presenta su construcción. De aquí que se elija un perfil transversal con taludes ó bien con paredes verticales, si se emplea la albañilería en su construcción. En el caso de Valparaíso es notorio que hay que adoptar este último sistema, pues si se emplearan chaffanes habría que ocupar probablemente todo el ancho de la calle y quién sabe si hacer costosas expropiaciones.

Por otra parte en el perfil longitudinal no se debe bajar del mínimo señalado para los cauces cerrados y en cuanto al máximo varía con la naturaleza del fondo. Si éste se reviste con albañilería de piedra se puede admitir pendientes cuyo límite superior se determina por el hecho de que si el agua adquiere velocidades próximas á 3 m. horada las rocas duras.

Veamos si se han aplicado estos principios al construir los cauces de Valparaíso.

a) Principiando por los que están abovedados se observa, en cuanto á su sección, que excepto los de las calles del Almendro, de San Agustín, del Castillo, de Carampangue y del Taqueadero, todos tienen en parte sección rectangular y aun trapezoidal, faltando así á los principios establecidos. En cuanto á pendientes resulta de prolijas nivelaciones que hemos practicado, que todos enteramente están fuera de los valores que hemos asignado como convenientes: unos porque contienen trozos cuya pendiente baja del mínimo y otros por tener secciones cuyo declive excede con mucho al máximo fijado más arriba.

b) Ahora si consideramos los cauces descubiertos observamos que en cuanto á forma los de las calles de las Delicias, Jaime, Almendro y Libertad son rectangulares y los de las calles de la Pirámide y del Taqueadero son trapezoidales, faltando éstos á lo dicho. Por otra parte, excepto el del Taqueadero, todos pecan en cuanto á pendiente longitudinal.

De manera, pues, que quedan plenamente demostradas las

malas condiciones de los desagües, con lo cual damos por terminada la Primera Parte de nuestro trabajo ó sea el estudio de las inundaciones de Valparaíso y sus causas.

SEGUNDA PARTE

MANERA DE EVITAR LAS INUNDACIONES EN VALPARAÍSO

Condiciones con que debe cumplir todo proyecto de mejora.

Todos los medios concebibles para impedir los aniegos de Valparaíso deben encerrar ineludiblemente, para que sean eficaces, una ó varias de las ideas siguientes:

- 1.^a oponerse á la presencia del agua;
- 2.^a oponerse á la presencia de la arena; y
- 3.^a salvar las malas condiciones de los desagües.

El cuadro siguiente contiene esos medios:

Para impedir la presencia del agua.	{	Ya que no se puede evitar que llueva hay que recurrir á a) la consumición, b) la evaporación, c) la desviación, d) la retención.
Para impedir la presencia de la arena	{	No siendo posible evitar su formación, hay que a) retenerla en los cerros ó en el plán, b) retardar los efectos químicos, mecánicos, etc. que presiden á su formación.
Para salvar la mala con- dición de los desagües	{	a) La canalización de algunos, b) el aumento de la pendiente de todos, c) su abandono total ó parcial y su reemplazo por sifones ó por un cauce colector general.

Además todo proyecto entraña las ideas de costo de establecimiento, costo de conservación, tiempo que tardará en producir efecto, seguridad de su acción y duración de ésta.

Es claro que el mejor proyecto será aquel que se oponga al mayor número de causas de las inundaciones que origine menor costo de establecimiento y conservación, que tarde menos tiempo en producir efecto y que sea de acción más segura y más indefinida.

A la luz de estas condiciones vamos á examinar ciertos proyectos, desentendiéndonos un tanto de algunas de ellas, como ser la del costo, porque tratándose de una población valiosa como Valparaíso no hay que mostrarse muy económicos.

EXAMEN DE LOS PRINCIPALES PROYECTOS PARA EVITAR LAS INUNDACIONES DE VALPARAÍSO

Canales. Los canales pueden construirse en diversas posiciones. Se les puede trazar en la falda de los cerros dividiendo á éstos en zonas casi horizontales de terreno, cuyas aguas serían recibidas por el canal que limitaría á cada zona por la parte inferior. Este proyecto satisface á la idea de desviar las aguas; pero acarrea muchos inconvenientes. La conservación de los canales sería costosísima, ya que obligaría á efectuar limpiezas anuales cuya principal dificultad consistiría en el transporte de los desmontes á puntos que no es fácil determinar dado el volumen considerable de ellos y la necesidad de que no vuelvan á caer en los canales. Por otra parte, si en un canal cualquiera se forma un taco, lo que siempre es posible á causa de embanques, derrumbes, etc., se desbordará ocasionando la ruptura de todos los canales inferiores y los consiguientes perjuicios en la ciudad. Además los efectos de este sistema no serían indefinidos por cuanto los canales concluirían por borrarse ya que se facilita enormemente, por el aumento de los puntos de ataque,

la desagregación del granito según el proceso que hemos explicado en la Primera Parte. Al cabo de algunos años habría, pues, que rehacer por completo los canales. Esta sólo circunstancia bastaría para hacer rechazar este proyecto.

También se pueden trazar los canales siguiendo el curso de las quebradas con la pendiente necesaria para arrastrar la arena. Partiendo de un punto de la quebrada este canal se iría separando de ella por la falda hasta cierto límite, donde sería necesario construir una cascada que conduciría nuevamente el agua á la vaguada, perdiéndose así la altura que se hubiere ganado. De ahí partiría otro canal con su respectiva cascada en el extremo y así sucesivamente. No nos detendremos mucho en este idea, puesto que nada remedia. En efecto, la parte que queda protegida es el fondo de la quebrada que en la generalidad de los casos es un terreno roquero. La arena no proviene de ahí sino de las faldas. Este proyecto ocasionaría, pues, un gasto á puro pérdida, ó mejor dicho, se habría botado dinero para empeorar las cosas, puesto que se habría suspendido sobre la ciudad los desmontes de los canales y un sin número de cascadas que ejecutarían excavaciones, cuyos materiales irían á depositarse como actualmente, en los cauces de la ciudad.

Por fin, puede construirse un canal colector que reciba las aguas de las quebradas en puntos cercanos al plan de la ciudad para ir á verterlas en el Barón y hacia Playa Ancha. El trazado habría que hacerlo á la menor altura posible para recibir la mayor cantidad de agua y arena de las quebradas. Este proyecto costaría crecidas sumas para ejecutarlo. En efecto, un canal obliga á elegir pendientes siempre en el mismo sentido para que las aguas puedan correr. Las expropiaciones de edificios serían numerosas en vista de esta inflexibilidad del trazado. Si para evitar este inconveniente se construye el colector casi enteramente en túnel se cae en un círculo vicioso. Se ahorra el dinero de las expropiaciones para gastarlo en revestimientos y

obras de arte. Por otra parte, la conservación sería siempre onerosa, ya que habría que hacer limpiezas anuales. En fin, si por un accidente cualquiera (embanque, derrumbe. . . .) se obstruye el colector, la ciudad estaría expuesta á una inundación mucho más perjudicial que las ordinarias, puesto que á todos los tomaría de improviso y confiados.

Tranques. Con este proyecto se satisface tanto á la idea de retener el agua como la arena en los cerros; pero como su capacidad sería limitada obligaría á efectuar limpiezas anuales ó á construir nuevos tranques. Tal vez habría que adoptar este último sistema por las dificultades que ofrece el transporte de la arena resultante de las limpiezas. En efecto, los terraplenes que hay que hacer en la ciudad no son tantos ni tan grandes que permitan emplear todo el maicillo que se extraiga. Se tendría que recurrir, pues, ya á las lanchas para botarlo fuera de la bahía, ya al ferrocarril para conducirlo á algún punto conveniente.

Además la confianza que se puede tener en este medio no es mucha, por cuanto los cimientos que se hagan para sostener los tranques no serán estables, sino muy poco tiempo, en vista de que el herido que hay que abrir para cada uno facilitaría la acción de los agentes destructores del terreno. Fallando los cimientos, pronto el muro se agrieta y cae. Tal es lo que ha pasado con el tranque de mampostería de la quebrada de San Agustín y los numerosos muros de sostenimiento derrumbados que se ven en la quebrada de la Cajilla.

En cuanto á la duración de la eficacia de este sistema hemos visto que sería precaria. Cada año habría que construir nuevos tranques.

Filtros. Este medio consiste en la construcción, en el fondo de las quebradas, de una serie de embudos filtradores, rellenos con piedra suelta y de un cauce subterráneo, bajo cada quebrada, que vaya recogiendo el agua filtrada. Se retendría como

se ve, toda la arena en los cerros. Esta concepción obliga á un desembolso de instalación bastante subido y presenta las dificultades de los sistemas anteriores en cuanto á gastos de conservación, limpia y transporte de la arena. Acarrea, también, la misma inseguridad que el cauce colector general, de que hemos hablado ya, a causa de derrumbes, embanques, etc., que ocasionarian desbordamientos inesperados.

Sifones. Consiste este proyecto en la colocación de cañerías separadas, para cada quebrada, en cuyo extremo superior se agregaría un sifón, Por este medio se espera tener una velocidad constante dentro de los tubos y en consecuencia que no se forme ningún depósito en ellos. Se conduciría así el agua y las arenas, salvando los defectos de los desagües actuales.

Es indudable que en un ensayo hecho en las condiciones en que se practica un experimento de gabinete, los resultados deben ser felices y así lo prueba el que se hizo en Valparaíso en la quebrada de San Agustín. Á pesar de todo el éxito, no ha sido completo. En efecto, para realizar las circunstancias normales más probables la arena era acumulada á pala contra la boca de la rama corta o campana del sifón, el cual no funcionaba mientras dicha campana no fuese elevada un tanto por medio de una polea. Esta operación, que á primera vista parece muy sencillo ejecutar, es sin embargo el defecto capital del sistema. Durante cada aguasero el numeroso personal que sería necesario mantener tendría que permanecer en constante observación para elevar la campana en cuanto el agua llegase á la boca superior del sifón. Como el gasto de la cañería debe calcularse para que sea superior al caudal que puede arrastrar la quebrada respectiva, resultaría que el depósito en que funciona el sifón se vaciaría al poco tiempo, obligando á remover nuevamente la campana cuando el agua acumulada lo reclamase. Estas observaciones continuas serían mucho más penosas y difíciles de practicar durante la oscuridad de las noches, aun empleando una fuerte ilumina-

ción. El sifón equivale, pues, en la práctica á la colocación, en la boca superior de los cauces actuales, de una compuerta que debiera quitarse cada vez que el agua llegase á un nivel determinado. Al más celoso guardián podría ocurrirle un descuido, ocasionando una inundación.

No hablaremos de la poca duración de los tubos contra los cuales la arena haría el efecto de una lima poderosa y continua, cuyas aristas renovándose constantemente, no tardarían en gastarlos por completo. Es sabido que la arena se emplea en la industria para cortar el acero.

Tampoco hablaremos de que, en el caso en que llegasen á funcionar los sifones, lo poco que queda de bahía terminaría por embancarse á pesar de sus profundidades.

Decantación. Según este proyecto habría que construir en las quebradas, al pie mismo de los cerros, grandes depósitos donde las aguas perderían su velocidad, por el ensanche de la sección de escurrimiento, permitiendo así que las materias en suspensión se aconchasen. De estos depósitos partirían, atravesando la ciudad, cauces de desagüe de 1,80 m. de alto, que rematarían sobre muelles en el mar, muelles cuya plataforma estaría á la cota de 1,30 m. sobre la marea media. La altura de los cauces se deduce de la necesidad de permitir que pasen de pie los hombres que ejecuten la limpia por medio de carritos colocados sobre rieles que se continuarían hasta sobre los muelles. La altura de 1,30 m. de éstos se necesita para descargar los carritos sobre lanchas. Este sistema se puede emplear en las quebradas siguientes: Juan Gómez, San Martín, San Agustín, Elías, Bella Vista, Circo y Las Heras. En cuanto á las demás continuarían como actualmente, salvo una mejora en las pendientes.

Este proyecto es una aplicación de la idea de retener la arena en el plan de la ciudad. Ha aparecido en un folleto en el que se daban planos para su ejecución inmediata en la quebrada de San Agustín, planos que vamos á estudiar.

El depósito debe situarse bajo la plaza de la Justicia, ocupándola casi completamente, haciendo una excavación de 40^m. de largo por 17,50^m. de ancho y 5^m. de profundidad. Suponiendo que este depósito pueda llenarse por completo de arena, se habrían almacenado 3500^{m³}. Ahora bien, esta capacidad debe bastar para un año, porque en el caso contrario no se obtendría ventaja ninguna sobre los cauces actuales, que hay que limpiar después de cada lluvia. La superficie de la hoya de la quebrada de San Agustín es de 110 hectáreas próximamente; la lluvia media anual que resulta de 36 años de observaciones en la Bolsa Comercial es de 0,479^m. de donde resulta que la cantidad de agua que se excurre en un año por dicha quebrada es de 526 900^{m³}. Admitiendo, por un momento, la proporción que da el folleto de un centésimo de arena en el volumen de las aguas lluvias, se tendría que el cubo de arena que debería almacenarse es de 5269^{m³}. Teniendo el depósito capacidad para sólo 3500^{m³}. resulta un exceso de materiales de 1769^{m³}, volumen más que suficiente para embancar el cauce de desagüe respectivo, sobre todo si se considera que el agua sale del depósito sin velocidad para arrastrar la arena.

Este resultado se ve que es incontrovertible si se observa 1.º que para que el depósito se llenara completamente sería necesario cerrar por entero la compuerta respectiva; 2.º que la proporción de agua lluvia tomada es el promedio de muchos años de observaciones, siendo obvio que debe tomarse por lo menos la lluvia máxima anual; 3.º que hemos aceptado la relación de un centésimo solamente de arena en el volumen de agua, cuando en realidad á las primeras fuertes lluvias (las más cargadas) les corresponde un cinco á ocho por ciento de materias sólidas.

Silicatación. No nos detendremos en este sistema que consistiría en regar los cerros con una solución de silicato de potasa, petrificando así su superficie. En un ensayo en pequeño daría talvez buenos resultados; pero es impracticable en grande escala.

Rechazadas, pues, todas las ideas examinadas exponemos nuestro

PROYECTO

A) *Manera de impedir la presencia del agua.* Como hemos visto, los medios que se pueden emplear para evitar la presencia del agua son:

- a) la consumición,
- b) la evaporación,
- c) la desviación,
- d) la retención.

Abandonando por completo la idea de desviar las aguas, que obligaría á emplear canales ó conductos con tal ó cual pendiente ya aéreos, superficiales ó subterráneos, proponemos para satisfacer conjuntamente á las otras tres condiciones el rearbollo.

En efecto, los árboles, sobre todo aquellos cuyas raíces tienden á desarrollarse verticalmente, favorecen sobremanera la consumición ó infiltración del agua abriendo, por decirlo así, los conductos por donde ésta ha de penetrar al subsuelo. También favorecen la evaporación, por cuanto realizan una de las condiciones en que este fenómeno alcanza á su máximo: el agua se esparce en una gran superficie al pasar de las hojas á las ramas y de las ramas al tronco. Por fin, un bosque retiene casi en su totalidad las aguas de lluvia, pues, «antes que la cáscara de las ramas, de los ganchos y del tronco de cada árbol se hayan impregnado; antes que todas las plantas, los arbustos, los matorrales, el musgo, el césped y el humus que proviene de los detritus de toda esta vegetación se hayan saturado de agua, un aguacero, aun considerable, es absorbido completamente: las aguas de esta lluvia no han surcado, pues, en parte alguna el suelo del bosque.»

(Dumas. *Etudes sur les inondations*, pag. 82). Se cita, á este respecto, un interesante experimento verificado por el señor Gaynard. Este ingeniero «cortó en una empastada en buen estado un metro cuadrado de césped pastoral, especie de tapiz vegetal vivo, formado por una champa compacta de raices de yerbas vivaces, cuyo espesor crece lentamente cuando un goce excesivo no los destruye. La muestra tomada por el señor Gaynard tenía 20 centímetros de espesor y se colocó en el plátillo de una balanza donde se pesó con exactitud; despues se le dejó caer encima agua en forma de lluvia hasta que la champa de raices no pudo almacenar más; una segunda pesada hecha entonces, hizo ver que el metro cuadrado de césped de 20 centímetros de espesor había absorbido 50 kg. de agua, es decir, el volumen de una capa que tuviese la cuarta parte del espesor de la champa de raices. Ahora bien, una lluvia de 50 m m. es enorme» (Léchalas. *Hydraulique fluviale*, pág. 37). Esta es sólo la retención que produce el césped, á la cual hay que agregar la parte que queda en los árboles y arbustos. Verdad es que en Valparaiso han solido caer lluvias diluvianas de más de 90 m m. en 24 horas, lluvias que un bosque talvez no retendría completamente; pero nuestro objeto no es de ninguna manera dejar estas aguas retenidas en lo alto de lo cerros sino sencillamente alcanzar el mismo resultado que los ingenieros franceses han obtenido con tan feliz éxito en las quebradas de los Alpes, esto es, evitar el descenso en masa de las aguas alargando, por medio de su retención momentanea, cuanto sea posible su período de escurrimiento por los cauces. Así, por ejemplo, durante una tempestad que se descargo el 8 de Agosto de 1876 sobre el torrente de Sanières (Bajos Alpes) su hoya de 480 hectáreas recogió 87,680 m³. de agua, ocasionando el desprendimiento de una cantidad enorme de barro. «La hoya del torrente del Bourget, inmediatamente próximo, recibió durante la misma tempestad y en el mismo tiempo 85,630 m³. de agua en una hoya de solo 270 hectáreas,

y aquí no se ha constatado ningún descenso de barro, sino simplemente una crece de agua que ha durado cinco veces más tiempo que la crece del torrente de Sanières.

«Este resultado precioso proviene de que los trabajos de corrección están terminados en el torrente del Bourget, y que los trabajos de rearbolarado, terminados desde hace tres años, principian á manifestar en èl su poderosa influencia» (Demontzey, *Reboisement des montagnes*, pág. 426).

Remediados así los malos efectos de la presencia del agua en los cerros de Valparaíso, pasemos á ocuparnos de la manera de impedir que obre la segunda causa de las inundaciones de dicha ciudad.

B) *Manera de impedir la presencia de la arena.* Los medios que hemos encontrado para evitar la presencia de la arena son:

a) retenerla en los cerros ó en el plan de la ciudad,

b) retardar los efectos químicos y mecánicos que presiden á su formación.

½ Para retener la arena no proponemos ningún trabajo especial, pues esperamos que las plantaciones ejerzan aquí también su benéfica influencia. En efecto, según se desprende del párrafo citado más arriba de Demontzey, uno de los resultados principales que se han obtenido de las plantaciones en los Alpes ha sido la fijación completa del terreno.

Además la eficacia de este sistema es confirmada por lo que ha pasado en las landas francesas, donde enormes extensiones de terrenos compuestos por dunas movedizas, que se consideraban como estériles, han sido fijados por medio de plantaciones de bosques que han elevado inmensamente su valor y eternizado el nombre de Brémontier, el eminente ingeniero que propuso su empleo.

Para retardar la descomposición química de las rocas tampoco proponemos ningún trabajo especial; y en cuanto á las acciones mecánicas que las destruyen y que hemos visto que se deben:

á las variaciones de temperatura,
al viento,
al tráfico,
á los trabajos lucrativos y
al agua en las pendientes

salta á la vista que en gran parte también se remedian con las plantaciones. Gracias al abrigo que los árboles procuran al terreno contra los ardores del sol: la radiación nocturna las variaciones de temperatura tienen una importancia mucho menor; ese mismo abrigo impedirá que las rachas de viento arrastren las arenas; y por fin, como ya se ha dicho, las aguas serán retenidas en lo alto de los cerros por las plantaciones, impidiéndose así su efecto sobre el suelo. En todo caso si la capacidad de retención de las plantaciones no basta para contener toda el agua de un aguacero ó de varios aguaceros sucesivos, su descenso no será ya de temer, pues, en lugar de *caer*, como actualmente, tendrá que *bajar* deteniéndose en los innumerables obstáculos que le opondrán los troncos, los arbustos, los matorrales, etc., con que se cubrirá el suelo.

Es claro, por otra parte, que si se planta un bosque sobre los cerros, el tráfico debe prohibirse en absoluto, como también el corte de adobes, ladrillos, etc., es decir, los trabajos lucrativos.

C) *Manera de salvar la mala condición de los desagües.* Una vez cubiertos de bosques los cerros de Valparaíso la mala condición de los cauces no tendrá ya los efectos desastrosos de la actualidad, por cuanto las aguas bajarán puras y no caerán en masa sino paulatinamente, durando su escurrimiento un largo período de tiempo. Su sección no será disminuida por los embanques que acarrea su falta de pendiente y podrán subsistir los demás errores que se han cometido al construirlos.

Para remediar esta tercera causa de aniegos no proponemos, en consecuencia, ningún trabajo.

Resumen. Como se ve, nuestro proyecto consiste en la adqui-

sición de los cerros que forman la hoya hidrográfica de Valparaíso para cubrirlos enteramente de bosques que á más de precaver las inundaciones de la ciudad, embellecerán el paisaje, transformando al poco tiempo en una fuente abundante de entradas terrenos que en la actualidad producen bien poca cosa.

Expropiaciones. La superficie de la hoya hidrográfica de Valparaíso contada desde la Punta Duprat hasta el fuerte Andes es de 4160 hectáreas proximamente. De esta cantidad es necesario descontar por una parte el área de la porción plana de la ciudad, ó sea todo lo comprendido entre el mar y la curva horizontal cuya cota es de 10 m. (188 hectáreas); por otra parte, la superficie de los cerros comprendidos entre la quebrada del Taqueadero, el camino de cintura, la quebrada de los Lavados y la curva horizontal de cota 10 m. por estar casi completamente cubierta de edificios que sería demasiado costoso expropiar (308 hectáreas); y además la superficie de los cerros Barón, Lecheros, Larraín, Rodríguez, Recreo, Polanco y Molino, entre la curva de cota 10 m., la de división de las aguas y la quebrada de las Zorras que también está en gran parte edificada (92 hectáreas).

El área que debe espropiarse queda reducida así á 3572 hectáreas y aun menos, por cuanto tampoco hay que expropiar las numerosas quintas que hay en la quebrada de las Zorras.

Duración de los trabajos. Dadas las dificultades del transporte á largas distancias de las plantas nuevas, aconsejamos la creación de varios almácigos distribuidos convenientemente sobre los cerros.

El tiempo que se debe dejar en almácigo los árboles varia con su clase. Tomando tres años, se ve que durante ese período la ciudad quedaría amenazada como en la actualidad. En todo caso se puede afirmar que al cabo de cuatro años ya se habrá efectuado por completo la trasplatación en todos los cerros y ya se habrá percibido los buenos efectos del sistema que proponemos.

Presupuesto.

3572 hectáreas de terreno á \$ 100 cada una siendo de advertir que en su mayoría no valen ni \$ 50.....	\$ 357.200,00
250000 árboles trasplantados á razón de \$ 0,10 cada uno sobran para cubrir la superfi- cie anterior, colocándolos á 4 m. unos de otros.....	« 250.000,00
400 hectómetros de cerca de alambre á \$ 8 el hectómetro	« 3.200,00
10 casitas para guardas á \$ 300 cada una.	« 3.000,00
50000 pesos más á la disposición del silvicultor especialista encargado de los traba- jos, para la construcción en los puntos convenientes de los tranquecitos que crea necesarios para obtener el agua indispensable al regadio de sus plan- teles.....	« 50.000,00
Total.....	\$ 663.400,00
Imprevistos 10%.....	« 66.340,00
Costo del rearbollado....	\$ 729.740,00

Santiago, 17 de Octubre de 1892.

DOMINGO CASANOVA O.

