

están ejerciéndola igualmente sobre esta misma faja de terreno, y que las autoridades mexicanas no lo están.

Peyton J. Edwards.

Jurado y suscrito ante mí hoy, día 30 de Marzo del año del Señor de 1911.

(Sello)

R. C. Walshe,  
Notario Público en ejercicio en el  
Condado del Paso, Texas.

## SECCIÓN VIII.

Estudio técnico de los movimientos del río Bravo en El Chamizal, por W. W. Follett.

Comisión Internacional de Límites.—Estados Unidos y México.—  
Sección Americana.

### ESTUDIO DE UNA CORRIENTE ALUVIAL.

Primera parte.—Discusión general.

#### 1.—Exposición preliminar.

El curso de un río que fluye á través de una formación aluvial se encuentra siempre, en grado mayor ó menor, en equilibrio inestable. Su cauce cambia de lugar tanto por la erosión y los depósitos, cuando un margen se derrumba mientras la otra se acrecienta, como por la avulsión, cuando el río abandona su cauce y forma uno nuevo.

Los bordes tienen contra la erosión cierta fuerza resistente que depende del material de que están compuestos. Las aguas corrientes poseen á su vez cierta fuerza erosiva que depende de su velocidad, de lo pronunciado de las vueltas por donde circulan y, por lo mismo, de lo agudo de su ángulo de impacto contra la tierra y de la cantidad de

sedimentos que traen en suspensión. Cuando la fuerza destructora del agua excede á la de resistencia del bordo, ocurre la erosión.

La cantidad de sedimento que puede arrastrar el agua depende de la velocidad que lleve; mientras más grande la velocidad, mayor será la proporción de sedimento y más grueso el material que lleve en suspensión ó que mueva en olas á lo largo del fondo del río. Las aguas muy cargadas de sedimento no arrastrarán consigo en suspensión el material de sus riberas, no obstante que, si la corriente es rápida y el recodo pronunciado, arrancarán porciones del borde arrojándolas al lecho.

Como la erosión generalmente ocurre en el lado cóncavo, ó más largo, de las curvas, el curso se prolonga más y más, hasta que queda agotada la fuerza erosiva de las aguas debido á la disminución de su velocidad ó se efectúa un corte á través del cuello del recodo y comienza de nuevo la erosión.

Ésta no es continua, sino espasmódica. Se verifica en su mayor intensidad en las avenidas y durante el abatimiento de las aguas y puede cesar durante las aguas bajas. Podrá suspenderse en un recodo y comenzar en otro. Sin embargo, antes de que haya desaparecido toda la fuerza erosiva, es seguro que una creciente producirá algún cambio avulsivo que acortará el curso, aumentará la velocidad y hará que comience de nuevo la erosión. El resultado es que el curso de una corriente aluvial divaga continuamente de un lado para otro, dentro de una área que acertadamente recibe el nombre de "planicie erosiva". Si en un plano se mostrara la posición de semejante río en cada década, durante medio siglo, se vería en él una red de cauces cruzándose entre sí en todas direcciones. (Véase el anexo No. 10.)

### 2.—Condición inestable.

El curso de una corriente aluvial nunca llega al equilibrio estable. Siempre habrá algunos lugares, probablemente en los recodos pronunciados, en que habrá erosión de los bordes durante las crecientes.

Constantemente se alarga el recorrido, al parecer en un esfuerzo por alcanzar un equilibrio estable. Sin embargo, antes de lograrlo, la experiencia demuestra como casi seguro que se verificará un cambio avulsivo, ya sea por un corte á través de una curva ó por la apertura de un nuevo cauce de cierta longitud á través de terrenos inundables.

Semejante avulsión acortará el curso del río, aumentará su declive y acelerará la velocidad de su corriente y la fuerza erosiva de ésta, y de todo ello resultará una erosión más rápida.

El efecto del acortamiento del curso se hará sentir á muchas millas arriba y abajo del corte y por muchos años, hasta que de hecho el río recupere su antigua extensión. Entonces vendrá otro corte y se repetirá el proceso. Entre 1852 y 1898 más de sesenta recodos se cortaron en el río Grande entre Rio Grande City y el Golfo de México, en unas ciento veinte millas medidas á lo largo del valle del río, pero como 250 á lo largo de su curso. Estos cortes redujeron al río casi á la mitad de su longitud, ó sea á 125 millas; mas á pesar de ello, en 1898 su curso era tan largo como en 1852: lo que había perdido por los cortes lo había ganado por la erosión.

Los cambios avulsivos se apresuran á veces por el hecho de que todas las corrientes que arrastran sedimentos tienden á azolvar sus lechos y bordes de modo tal que las aguas llegan á correr sobre una cresta ó costilla.

Quando se alarga el curso, la corriente se amortigua, el sedimento se asienta más rápidamente, se acelera el atierre y el lecho se llena de tal suerte que no puede ya contener la cantidad de agua que anteriormente, y los desbordes se hacen más considerables. El desnivel en sentido normal á la corriente, sobre la costilla ó cresta, aumenta y cuando es bastante grande, el río abandona su lecho durante una inundación y forma un curso nuevo á través del terreno más bajo. De esta manera se formó en 1856 ó 1857 la isla de San Elizario, abajo del Paso. Por supuesto que esta clase de cambios no pueden ocurrir á través de terrenos que nunca se vean cubiertos por los desbordes, sino que en el caso de éstos, un cambio así sólo puede provenir del corte de un recodo. Aquéllos son verdaderos cambios avulsivos, y cuando ocurre alguno no puede confundirse con otro erosivo. Los árboles, casas, cercas y demás caracteres del lugar situados en el área cortada se encuentran intactos en el lado opuesto del agua corriente. También subsiste el antiguo lecho del río, con sus dos bordes bien visibles. Las avenidas subsecuentes rellenan á menudo con sedimentos este cauce viejo en las cercanías del nuevo río, de suerte que hasta llega á quedar allí borrado; pero lejos de la nueva corriente siempre puede encontrarse.

3.—*Velocidad y Fuerza Erosiva.*

La velocidad de las aguas corrientes, á igualdad de otras cosas, varía como la raíz cuadrada de la pendiente hidráulica. La pendiente de un valle aluvial es un elemento fijo; la de la corriente variará con la sinuosidad del curso. Puede suceder que el curso de un río sea tan sinuoso que resulte dos veces más largo que su valle; en ese caso su pendiente por milla será solamente la mitad de la de éste. La velocidad resultante sería, si se despreciara la fricción debida á los recodos, siete décimos de la que se observaría si el cauce fuera tan recto como el valle; el aumento de la fricción de los recodos sería un factor apreciable, sin embargo, y en los casos ordinarios reduciría la anterior relación de siete décimos á una mitad ó cosa así.

La velocidad aumenta rápidamente con la cantidad de agua que trae la corriente. La fórmula empleada para calcularla es bastante complicada y no se citará aquí; pero, por ejemplo, una corriente de 300 pies de anchura y 6 de profundidad llevará, con una pendiente de dos pies por milla, 3.2 veces más agua que una del mismo ancho y pendiente, pero que tenga solamente tres pies de profundidad. El área de la sección transversal se duplica, entanto que la velocidad se aumenta en más de un 60 por ciento, y el resultado es que la fuerza erosiva de la creciente de 6 pies es mucho mayor que la de la de sólo tres. Se ha intentado reducir á una fórmula esta fuerza erosiva de las aguas corrientes y su efecto sobre un borde de un determinado material al cual ataque á ángulo, velocidad y profundidad dados; pero entran tantos elementos en el problema que el calculista se pierde en una aglomeración de cifras y no tiene confianza en la exactitud del resultado que obtiene. Para el fin de este documento, baste decir que la fuerza erosiva de las corrientes es función de:

1°—La cantidad de sedimento ya en suspensión;

2°—El ángulo de impacto contra el borde, y

3°—La velocidad con que se mueve;

y que varía á la inversa del primero y directamente con los dos últimos factores.

4.—*Manera de Erosión de los Bordes.*

La resistencia de los bordes depende, naturalmente, de su material. Si éste es arena y depósitos de aluvión, la resistencia será ligera. Si arcilla ó tierra arcillosa, será grande. Un borde de arcilla ó tierra, sin embargo, frecuentemente descansa sobre un estrato de arena cercano al fondo del lecho: las aguas arrastrarán entonces esta arena, y el material que descansa sobre ella, que á menudo tiene varios pies de espesor, se romperá en grandes trozos, rodará hacia el río y gradualmente se desintegrará y será arrastrado por el agua. Es de esta última manera como los ríos generalmente atacan y destruyen aquellos terrenos situados en sus orillas cuya superficie está fuera del alcance de las inundaciones. En tiempo de crecientes la erosión del estrato de arena se verifica constantemente; pero tal puede ser la tenacidad y el espesor del suelo que descansa encima de él que se mantenga éste en falso hasta que haya sido arrastrada una gran parte de la arena. En esos casos el suelo se agrietará, algunas veces hasta á una distancia considerable de la orilla del borde, comenzará á moverse y finalmente se desplomará con gran violencia y estruendo, llevándose consigo aquello que hubiere en él, como árboles y casas, para ser todo tragado por la corriente, que sigue entretanto arrancando más arena de abajo de la tierra firme.

La rapidez de la erosión varía mucho. Si la corriente se precipita con fuerza contra una playa de arena de formación reciente, ésta se desbaratará con gran rapidez, quizá cien pies ó más en un solo día. Un banco de arena densamente cubierto de árboles se irá deslizándose poco á poco, llevándose consigo sus árboles. Estos le darán una protección temporal; pero pronto serán minados y arrastrados si se deslava más arena. La destrucción de un borde de esa clase en una corriente como el río Grande puede ser desde unos cuantos pies hasta cincuenta ó más por día. De un borde de arcilla que tenga un estrato grueso de arena y una corriente fuerte contra él, pueden irse en un día cincuenta pies, y aun cien, y quizá hasta en unas cuantas horas.

La anchura y la profundidad de la corriente tienen mucho que ver con la rapidez de la erosión. En el Mississippi algunas veces se van áreas de varios acres de una sola vez. En el río Grande, que es una corriente mucho más pequeña, los trozos no son tan grandes, pero pueden seguirse unos á otros con cortos intervalos de tiempo.

Como ya se dijo antes, la erosión es espasmódica, no solamente por disminuir ó cesar enteramente durante las aguas bajas, sino porque algunas veces cesa en un recodo determinado por varios años y luego, cuando un cambio ocurrido en alguna otra parte aumenta la fuerza erosiva de la corriente más allá del límite de resistencia del borde, comienza de nuevo. Pero cuando un borde cede al ataque de la corriente, ya sea que se vaya partícula á partícula, de un modo imperceptible, ó en grandes trozos que rueden en masa al río, con gran estruendo y conmoción y llevándose consigo aquello que hubiere sobre ellos, ya sean árboles, huertas, viñedos ó casas, si todo es arrastrado por el agua y no quedan árboles, ni casas, ni otras señales en pie y sin alteración alguna, en sus puestos originales aunque en el lado opuesto de la corriente, el ingeniero reconoce la erosión. Esto es cierto ya sea que el borde ceda un poco cada vez que vengan las aguas altas, ó que ceda en una gran extensión durante una avenida y luego resista á la corriente por unos cuantos años, cediendo nuevamente después de esta interrupción. Para un criterio técnico todo eso es erosión gradual y lenta, bien distinta de la violencia del cambio avulsivo que se produce cuando se forma un nuevo cauce, abandonándose el viejo, y esto cualquiera que sea la rapidez del movimiento erosivo.

##### 5.—Formación de Playas ó Barras.

Siempre que se socava un bordo en el lado exterior de una curva, se forma una playa ó barra en el lado interior. Esto es un resultado de la amortiguación de la corriente por el aumento de sección transversal originado por el derrumbe de una margen, y, consecuentemente, de la disminución de la capacidad de las aguas para arrastrar sedimentos, y también de la tendencia del agua, semejante á la de cualquiera otra masa, á moverse en una línea recta. La corriente más rápida está más cercana al borde que se socava, mientras que puede hasta haber agua estancada cerca de la ribera opuesta. Así es como precipita el sedimento y se forma la playa.

El material de una playa no procede del bordo directamente opuesto á ella, sino de algún recodo que se está derrumbando más arriba, mientras que la tierra deslavada de enfrente de ella se va hacia abajo, á formar alguna otra playa á su vez. Si una curva es suave, la corriente no atacará su lado exterior con tanta fuerza como en las que

son más cerradas, pero siempre se la hallará próxima á él; de suerte que debe esperarse encontrar en la parte convexa, ó lado interior, de cualquiera curva, sea cual fuere su grado de curvatura, agua poco profunda, corriente mansa y una playa en formación.

El estudio de la creación de playas aluviales es muy interesante. La forma, el contorno, el proceso constructivo y la constitución final de ellas, cuando han alcanzado casi el nivel de las altas aguas y no pueden extenderse más hacia arriba, varían considerablemente según los casos, aunque siempre dentro de leyes generales. La rapidez de su crecimiento afecta muy directamente su forma. Si en una curva suave el río varía lentamente—entendiendo por lentamente algo menos de la mitad del ancho de su cauce durante una estación de crecientes—entonces la playa se forma lenta y uniformemente, con su cresta al nivel de las altas-aguas y con un declive gradual hacia el río; pero si la variación es más rápida, la playa toma una forma característica. La tendencia de todas las curvas es de hacerse más pronunciadas hacia aguas-abajo, formándose la playa más rápidamente hacia abajo. La extremidad superior de ésta, endonde se une al terreno primitivo y principia la corriente á tomar una dirección hacia el otro lado del río, es alta, con un declive bastante pronunciado hacia el río. Más abajo, la superficie de la playa tiene pendiente tanto hacia aguas-abajo como hacia afuera del cauce, y pronto se desarrolla una bolsa profunda junto al terreno antiguo, la cual se ensancha conforme se aproxima á la parte inferior de la playa, endonde podrá asumir el aspecto de un antiguo cauce situado detrás de la punta angosta y baja de la barra. Si la erosión continúa de año en año, la playa conserva su forma general, rellenándose su extremidad superior con los depósitos del aluvión y extendiéndose la lengua de tierra inferior, con el terreno de abajo que queda detrás de ella, hacia aguas-abajo y hasta la curva siguiente. Parte de la barra está fuera del agua en las aguas medias del río, y parte, ó sea la lengua de tierra con su bolsa atrás, queda sumergida. Esta lengua de tierra podrá alcanzar hasta el otro lado del río y formar lo que los marinos llaman un "cruce", que continuará creciendo y cambiando de posición aun durante el tiempo de las aguas-bajas.

La lengüeta y la parte de la barra depositada en agua profunda, ó abajo de las aguas medias del río, son generalmente de arena, á veces enteramente libre de arcilla, mientras que el material que se halla encima está mezclado con arcilla, ó es verdadero depósito aluvial. La

bolsa se llena algunas veces de arcilla, dejando una línea de demarcación muy clara entre ella y la arena que tiene a bajo.

Si se suspende la erosión por unos cuantos años y la curva se conserva suave, la parte baja podrá llenarse de modo de hacer casi horizontal toda la playa. La naturaleza de este atierre dependerá de los sedimentos acarreados. Si hay algo de arcilla ó de arena en suspensión, la arena se depositará primero en el frente del banco mientras que la bolsa probablemente se llenará de arcilla, como se hizo notar arriba. Si la erosión comienza de nuevo, se formará una barra apoyada en otra, con la antigua bolsa baja atrás de la nueva.

En las curvas pronunciadas, endonde la erosión al principio es rápida y luego se hace más lenta, podrá formarse una barra alta secundaria á lo largo de la orilla exterior y á través de la extremidad inferior de la antigua, construyendo así una presa á través de la extremidad inferior de la bolsa. Si entonces ocurre una inundación, quedará esta bolsa llena de agua y con la apariencia de antiguo cauce, haciendo creer en un cambio avulsivo. Muchos bancos semejantes al anteriormente descrito le son conocidos al que esto escribe en el bajo río Grande, y con frecuencia se ha encontrado con su equipo en la extremidad superior de una de estas bolsas y se ha visto obligado á retroceder aguas-abajo á fin de cruzar la lengua de tierra.

Hay varias modificaciones de tal manera de formación de las barras ó playas; pero ésta es típica. Usualmente, la curva situada arriba de una playa viaja hacia aguas-abajo hasta destruir su extremidad superior, á menos que se corte un recodo atrás de ella y se forme un "banco", que no es sino la playa con ó sin algún terreno viejo. Muchos de los numerosos bancos del río Grande son en su totalidad depósitos aluviales recientes, sin ningún terreno antiguo, absolutamente.

Después de que la cresta de una playa alcanza un nivel superior á las inundaciones medias, la vegetación brota en ella y pronto queda enteramente cubierta: por lo general de sauces y álamos. Las hojas caen en la superficie y después de unos cuantos años se forma una delgada capa vegetal encima de los depósitos aluviales. Esta capa podrá estar ó no fuera del alcance de las aguas-altas. Á veces el viento levanta médanos considerablemente arriba del nivel de los desbordes.

#### 7.—Manera de Cambio de un Cauce.

La lectura de la anterior discusión muestra que los cambios de posición del cauce de una corriente aluvial ocurren de una de estas dos maneras: por erosión ó por avulsión. Estos cambios pueden ser comprendidos como sigue:

La erosión mueve el cauce oblicuamente y por lo general río-abajo, comiéndose el exterior de un recodo mientras que el lado interior se llena de depósitos sedimentarios. Es una acción continua, en el sentido de que el cauce se mueve en masa á través del área erosionada, moviéndose hacia dentro de ella unos de los bordes y siguiéndolo el otro en este avance. La erosión generalmente alarga el curso. Si bien es más activa durante las grandes avenidas, también ocurre en las pequeñas, y aun en las aguas medias del río.

La avulsión es el abandono de un tramo del cauce y la formación de otro nuevo. Siempre acorta la extensión del río, porque, debido al hecho de que el agua corre con mayor facilidad por un cauce definido que por uno que apenas se esté formando, el declive del nuevo debe ser mayor que el del cauce antiguo para que la velocidad pueda mantenerse y la mayor resistencia del nuevo lecho, no formado aún, pueda ser vencida. De ahí que deba ser más corto entre dos puntos dados que lo que era el antiguo. La avulsión se verifica de dos maneras. Primera: por el corte á través de un recodo que se ha formado por erosión; si el terreno situado en el cuello del recodo está arriba de las aguas altas, entonces ese cuello se romperá enteramente por erosión; pero cuando el río se precipita á través de la abertura ó boquete formado por la erosión, el cambio es avulsivo, porque queda abandonado casi instantáneamente el cauce que rodeaba al recodo, con sus dos bordes intactos, y uno nuevo, tal vez muy corto, se forma á través de su cuello. Segunda: ocurre cuando una corriente cargada de sedimento ha azolvado su lecho y sus bordes hasta correr sobre una cresta tan alta que cuando una creciente se derrama sobre sus bordes las aguas encuentran á través del terreno bajo una fácil salida para alguna otra curva del río más abajo y se abren un nuevo cauce mucho más corto que el antiguo, abandonando, como en el primer caso, su antiguo lecho con ambos bordes intactos.

La erosión destruye el terreno que ataca. La avulsión lo traslada de un lado á otro del río con todos sus caracteres naturales ó artificiales intactos.

PARTE II.— Aplicación al Caso del Chamizal.

1.—Exposición preliminar.

Entre El Paso, Texas, y Ciudad Juárez, Chihuahua, el río Grande, corriente aluvial que allí pasa de un tramo rocáceo á otro en que su lecho está cavado en tierra y tiene bordes sumamente friables, forma el límite entre los Estados Unidos y México. Su curso ha cambiado notablemente desde el año de 1827, época de su primera mensura, estando en duda la naturaleza de este cambio, especialmente del habido después del levantamiento de Emory-Salazar en 1852, siendo el objeto del presente estudio discutir tal cambio desde el punto de vista de la exposición general que antecede. El lector se servirá consultar los planos presentados por los Estados Unidos con su demanda relativa al caso del Chamizal.

2.—Condiciones existentes antes del año de 1852.

Véase el Plano No. 3 llamado:—"Plano Preliminar del Caso del Chamizal, No. 4."

Se notará que en el año de 1827 el río hacía una curva suave al Sur y enfrente del Paso y que corría por donde actualmente se levanta la cárcel del Condado. El borde Norte todavía se puede descubrir en algunos lugares y formó, abajo de la calle de Stanton, el límite de la inundación de 1897 (véase el plano No. 1)

Algún tiempo después de 1827, el río sufrió un extenso cambio avulsivo que comenzó como cinco millas abajo del Paso y se extendió por muchas millas hacia abajo del valle. Antes de este cambio, Isleta, Socorro y San Elizario estaban situados al lado Sur del río y el cauce que fue entonces abandonado era mucho más largo que el nuevo. Este antiguo lecho puede aún localizarse sobre el terreno casi en su total extensión. Está marcado en el plano de Salazar (No. 7) "Río Viejo de San Elizario." Se dice que este cambio ocurrió como por 1840. Su

fecha exacta le es desconocida al que esto escribe. Un examen del plano muestra con bastante claridad lo corto del nuevo cauce en comparación con el antiguo. En consecuencia, la velocidad de la corriente debe de haber aumentado mucho y la erosión debe de haberse acelerado en todas las curvas. La que está frente al Paso evidentemente comenzó á sufrir la erosión por su parte Sur.

El plano de Salazar muestra una extensa playa de arena frente á "Franklin," como entonces se llamaba El Paso. Aproximadamente, y conforme al plano, dicha playa ocupaba en 1852 como una tercera parte del espacio entre el cauce de 1827 y el de Salazar y era tan ancha como el río de 1852 ó más aún. Casi en todas las vueltas situadas abajo del Paso se muestran playas en ese plano, lo que indica que la erosión progresaba rápidamente y que en la época del levantamiento de Emory-Salazar el río se encontraba en decididas condiciones de inestabilidad. Esto queda confirmado, además, por el hecho de que el río se movió en un lugar enfrente del Paso una distancia igual á su anchura en los seis meses que mediaron entre las mensuras de Salazar y de Emory. La extensa playa de arena es una prueba más de lo rápido de la erosión.

3.—Cambios posteriores á 1852.

Es razonable suponer que el río continuó su movimiento al Sur después de la mensura de Salazar lo mismo que antes; pero es probable que, habiéndose alargado su curso sensiblemente, se estuviera aproximando al equilibrio y que la playa tendiera á convertirse en una superficie horizontal. Sin embargo, en 1857 ocurrió un extenso cambio avulsivo abajo de San Elizario, formándose en virtud de él la "Isla" de San Elizario (véase el plano que aparece en la página 108 de los "Procedimientos de la Comisión Internacional de Límites Fluviales," Vol. I.) Esta isla fue deslindada en 1896 por la Comisión y se encontró que cuarenta años después del cambio el nuevo cauce era un 20% más corto que el antiguo:—debe haberlo sido mucho más cuando se formó. Este cambio debe de haber hecho que en todas las curvas de las cercanías comenzara de nuevo la erosión, y tal vez las afectó hasta El Paso. Pocos años después, de 1864 á 1868, vino una serie de grandes crecientes que aceleraron mucho el derrumbamiento de los bordes. El terreno situado sobre la ribera derecha frente al Paso —en lo que se conocía como "El Chamizal," parte de Juárez—según

el testimonio tomado por la Comisión en 1896 en el Caso No. 4, del Chamizal, era antiguo y estaba por encima del nivel de las inundaciones. El suelo arable tenía de uno á uno y medio metros de espesor y debajo de él había arena y grava fina. Era este lugar el que el río invadía, así como otra vuelta suya hacia el Norte, justamente abajo del Chamizal y enfrente de Magoffinsville (véase el plano No. 7.)

Tanto los planos como las declaraciones prueban que el río se movió hacia dentro de la zona del Chamizal y que debe de haberlo hecho de una de dos maneras: por erosión ó por avulsión. No podría haber abierto un nuevo cauce á través del terreno porque el último estaba fuera del alcance de las inundaciones. No pudo haber cortado un recodo porque no existía allí ninguno. En consecuencia, debe llegarse á la conclusión de que el río destruyó "El Chamizal" por erosión. Un examen cuidadoso de todas las circunstancias, dando en él la debida importancia á las leyes que rigen los movimientos de una corriente aluvial, tales como se las formula en la Parte I de este estudio, nos conduce á la misma conclusión. La playa característica quedó frente al Paso; existía la lengua de tierra, con su bolsa detrás; el frente y la parte superior de la playa tenían un alto nivel; avenidas cortas sucesivas hicieron retroceder las aguas hasta la bolsa y depositaron en ella arcilla, construyendo al mismo tiempo la lengüeta con los depósitos aluviales. Todo esto está admirablemente mostrado en el Plano No. 5, especialmente en los perfiles que aparecen al pie de él y particularmente en la sección "A-B" de la esquina inferior izquierda. Allí se ve la capa vegetal situada arriba de las aguas altas máximas en el borde derecho, con su sub-estrato de arena á que el río penetra, socavándolo profundamente. Á la izquierda está la lengua de arena con su bolsa detrás, llena de material arcilloso, y todo cubierto de depósitos sedimentarios, con una ligera capa encima de tierra vegetal de reciente formación. No podría encontrarse una demostración más concluyente de los principios formulados en la Parte I de este estudio. Es probable que si se hubieran practicado cuidadosas excavaciones en la línea "C-D" la demostración hubiera sido igualmente buena, pero en mayor escala, puesto que las distancias son mayores.

La depresión que muestran las curvas de nivel puede ser la bolsa original dejada atrás de la playa, profundizada en su extremidad superior por las aguas de las inundaciones de Mayo de 1891 (véase el final de la pág. 183 y el principio de la 184 del Apéndice de la De-

manda de los Estados Unidos). (a) Sin embargo, es probable que el fondo de la antigua bolsa esté situado más profundamente y que las curvas de nivel representen simplemente ondulaciones accidentales de la superficie.

El intervalo entre estas curvas (0.2 metros), cuando se le compara con la escala del plano (1 á 10,000, ó sean 800 pies por pulgada) hace que la depresión parezca mucho más notable de lo que realmente es sobre el terreno. Tómese, por ejemplo, aquel punto al lado Norte de la depresión donde la línea "C D" corta á las curvas de nivel. Cruza á cuatro de ellas en 40 metros, y esto sólo significaría una elevación de 0.8 metros en 40 metros, ó sea un declive de 2 por ciento. En el lado Sur sucede otro tanto: se cortan ocho curvas en 80 metros, y éste es también un declive de 2 por ciento. En el terreno tal pendiente no habría sido notada por un observador casual. Lo que aparece en el plano como un cauce bien definido no es sino una ligera ondulación del suelo.

El 21 de Diciembre de 1895, el que esto escribe, entonces ingeniero ayudante de la Comisión, trazó una línea de tránsito y nivelación á través del terreno en el cual se muestra este cauce, con el objeto de localizar la fundición y los árboles que muestra el plano No. 4, y las cotas que contiene su antiguo libro de campo no dan indicación alguna de semejante depresión. El terreno más bajo que encontró estaba en las inmediaciones de la fundición y al Norte ó Noroeste de ella, siendo allí horizontal el terreno, mientras que la fundición (señalada con ese mismo nombre en el plano No. 5) se muestra en este plano como fuera de la depresión en él marcada. El punto más alto se encontró á 360 metros al Noroeste de la fundición; está indicado en el plano como situado en la depresión; pero en él el terreno estaba un metro más alto que en la fundición; el plano No. 5 lo muestra 0.8 metros más bajo. Á 40 metros al Sur de éste, estaba un punto, también indicado como en la depresión, que estaba al nivel del terreno de la fundición, ó sea un metro más bajo que el punto situado 40 metros al Norte, demostrando así que la superficie era algo quebrada. Otro punto estaba como á 100 metros al Este de la línea "C D" y en el centro de la depresión: el terreno allí estaba 0.4 metros más alto que en la fundición; el plano No. 5 lo muestra 0.8 metros más bajo. No hubo inundaciones entre Di-

(a) Se refiere Mr. Follett al principio del Acta de Julio 10 de 1896 de la primera vista del caso del Chamizal, pp. 733 y 734 de este Apéndice.—(Nota de F. B. Puga.)

ciembre de 1895 y Mayo de 1896, fecha del plano No. 5, que cambiaran las ondulaciones de la superficie. El que esto escribe no puede explicarse las discrepancias que hay entre estas cotas, mostrando las suyas terrenos uniformemente al nivel ó más altos que la fundición en toda la zona que este plano indica como una depresión.

Hay una modificación importante de las condiciones usuales en lo que ocurre aquí en El Paso. Ordinariamente, á la vez que el río estaba destruyendo El Chamizal debería de haber estado atacando el borde izquierdo en la curva en sentido opuesto situada río-arriba, y mucho antes de que hubiera alcanzado su extrema posición Sur en 1888, habría deslavado arriba suficiente terreno para estar invadiendo la extremidad superior de la playa; pero el río aquí sale de un cañón de roca un poco arriba de este recodo y el borde izquierdo está formado de materiales duros por una distancia considerable—unos 500 metros—abajo de la presa mexicana, como hasta el punto marcado "headgate" (compuerta principal) en el plano No. 1, é imprime al río una dirección Sureste. El cauce de Salazar, mostrado en verde en dicho plano No. 1, no se adapta bien al terreno, pues penetra en esta punta pedregosa de los Estados Unidos y á la Acequia Madre del lado mexicano—ambas cosas imposibles;—pero se verá, refiriéndose á los planos que su curso general coincide muy exactamente con el río de 1896, con la excepción de que aquél no era tan derecho como este último y que estaba situado un poco más al Sur—ó al Oeste—que él. Este borde rocalloso ha desempeñado el papel de un regularizador y ha mantenido al río virtualmente en la misma posición hasta una milla abajo durante muchos años.

#### 4.—Proporción del movimiento.

Un examen del plano No. 3 descubre el hecho de que entre los años de 1827 y 1852 el movimiento extremo del río hacia el Sur frente al Paso fue de 870 metros, ó sea un promedio de 35 metros por año.

Entre 1852 y 1888 el movimiento extremo fue de 840 metros, ó sea un promedio de 24 metros por año. Esta distancia es entre el borde Sur del cauce de 1852 y la línea puntuada marcada "*borde Sur del río en 1838*" é inclusive el área marcada "*terreno recuperado por las defensas*." Los testimonios demuestran que hubo algún movimiento apreciable entre los años de 1852 y 1863, uno muy grande durante los cinco años transcurridos de 1864 á 1868, inclusive, y otro considera-

ble entre los años de 1869 y 1888. No se descubre de una manera clara qué parte del movimiento ocurrió durante cada uno de estos períodos; pero la lectura cuidadosa de los testimonios indica que el siguiente sería un equitativo prorrateo de los 840 metros:—

1852 á 1863.—11 años.— $\frac{1}{8}$  de movimiento—140 metros—13 metros por año.

1864 á 1868.—5 años.— $\frac{1}{2}$  de movimiento—420 metros—85 metros por año.

1869 á 1888.—20 años.— $\frac{1}{4}$  de movimiento—280 metros—14 metros por año.

Indudablemente hubo años secos en el primero y el último de estos grupos durante los cuales no ocurrió ningún movimiento, de suerte que el promedio por los años en que sí lo hubo sería mayor del que se da arriba. Durante los cinco años transcurridos de 1864 á 1868 hubo, según las declaraciones, una creciente cada año, de suerte que el promedio respectivo representaría, en promedio, la erosión en cada una de las cinco crecientes. Surge la duda acerca de si es éste un movimiento erosivo normal del río Grande durante sus avenidas ó es tan anormal que no pueda clasificarse como un cambio erosivo. La mejor manera de zanjar la cuestión es compararlo con otros movimientos conocidos del río desde que ha estado bajo observación sistemática.

Véase el plano anexo No. 10. Es éste un plano mixto formado bajo la dirección del que esto escribe y según datos que obraban en su oficina. Su título lo describe ampliamente. El río de Salazar es incierto en algunos lugares. El cauce de Heldt es inexacto y se le debe considerar simplemente como indicativo de la localización general del río en 1889. El cauce marcado "Río de Follett en 1899" fue tomado de una mensura que hizo personalmente el que esto escribe en Marzo de 1899 y es exacto. El marcado "Río de Follett, 1907" fue tomado de un levantamiento hecho en Octubre y Noviembre de 1907 bajo la dirección del infrascrito, y es exacto; muestra las posiciones relativas y correctas de los dos cursos anteriores.

En Julio de 1898 se cortó un gran recodo situado abajo del Paso, formando el banco de San Lorenzo y acortando el río en unas tres millas. En 1899 se produjo el corte artificial de Córdoba, que acortó el río unas cuatro millas. Ese año no hubo creciente que ahondara el cauce; pero en 1900 el río corrió por él. Estos dos cambios aumentaron la velocidad é impulsaron la erosión, como lo hicieron antes los cortes efectuados por los años de 1840 y de 1856-57.

Se llama la atención hacia la parte del plano mixto llamada "Bosque de Córdoba." Se ve que el río se movió hacia el Noreste desde el curso de Salazar de 1852 unos 110 metros hasta el cauce de 1899, ó sea un promedio de 23 metros por año, contando todo el período de 47 años. En otras palabras, el río se movió aquí al Noreste penetrando á terrenos de los Estados Unidos prácticamente con la misma rapidez media anual con que avanzó al Sur al penetrar al Chamizal.

También se llama la atención á las posiciones relativas de los cauces de Follett en tres lugares. El primero, justamente abajo del corte, en Woodlawn; el segundo, del lado mexicano del río, frente al banco de San Lorenzo; y el tercero, frente á "Alfalfa." Las dos mensuras se hicieron con un intervalo entre sí de 8 años 6 meses, ó posiblemente mediaron entre ambas nueve estaciones de avenidas. En cada uno de estos tres puntos el río se ha movido, en una extensión importante, manifiestamente por erosión y depósito. La escala del plano da los siguientes cambios máximos:

Woodlawn, 700 metros en 9 años. . . .	Promedio, 78 mts. por año.
San Lorenzo, 560 metros en 9 años. . . .	" 62 " " "
Alfalfa, 540 metros en 9 años. . . . .	" 60 " " "
Promedio de los tres: 67 metros por año.	

En 1899 no hubo en realidad corriente, ni en 1900 y 1902 avenidas. En 1901 la crecida fue pequeña; pero si se la cuenta, seis años de los nueve causaron más ó menos erosión en Woodlawn y en San Lorenzo. En "Alfalfa," al que esto escribe le consta que no ocurrió erosión alguna en 1906 y 1907, lo que significa que la erosión total mostrada allí ocurrió en cuatro años. Resultan entonces los siguientes promedios de erosión para los años en que hubo crecientes:—

Contando 1901.

Woodlawn, 700 metros en 6 años. . . .	Promedio, 117 mts. por año.
San Lorenzo, 560 metros en 6 años. . . .	" 93 " " "
Alfalfa, 540 metros en 4 años. . . . .	" 135 " " "
Promedio: 112 metros por año.	

Omitiendo el año de 1901.

Woodlawn, 700 metros en 5 años. . . .	Promedio, 140 mts. por año.
San Lorenzo, 560 metros en 5 años. . . .	" 112 " " "
Alfalfa, 549 metros en 3 años. . . . .	" 180 " " "
Promedio: 1,800 metros en 13 años. Medio: 138 metros por año.	

Durante la creciente de 1905, cuando ocurrió el movimiento más rápido del río en "Alfalfa", el que esto escribe visitó el terreno varias veces durante lo más alto de ella y vio á las aguas minando el camino del Condado y deslavándolo á razón de tres ó cuatro metros por hora. Ésta fue la violencia extrema ó máxima, y solamente duró dos ó tres días.

Hay muchos lugares en el río Grande, tanto en el valle del Paso como abajo de él, endonde las indicaciones son de que la erosión ha tenido lugar tan rápidamente como en los tres citados. Se han mencionado estos tres debido á que están inmediatos al Paso y á que hay un plano que muestra gráficamente y con exactitud los cambios ocurridos. Se concede que estos cambios hayan sido acelerados por el corte; pero es de llamarse la atención respecto al hecho de que casi la mitad del aumento en la velocidad de la corriente fue originada por el cambio avulsivo natural del banco de San Lorenzo, y también respecto al de que frecuentemente ocurren cambios análogos, debido á causas naturales, y producen resultados similares á éstos. El hecho de que el corte fuera producido artificialmente no coloca á los cambios de él resultantes en una clase especial. Son los mismos que si el río hubiera, sin ayuda alguna, verificado el corte por sí mismo.

La siguiente es una comparación de los movimientos medios de 1899 á 1907 con los del Chamizal,

1852 á 1888.—36 años.—840 metros.—23 metros por año.
1899 á 1907.— 9 "—Medio 600 metros.—67 metros por año.

Ó los tres últimos movimientos dieron un promedio tres veces mayor que el del Chamizal.

Comparando los cinco años de crecientes transcurridos de 1864 á 1868 con los años de 1903 á 1907 (1903-5 para "Alfalfa"):—

1864-1868.—5 años.—420 metros.—85 metros.
1903-1907.—5 " (3 para "Alfalfa").—138 metros.

Ó sea, la proporción para los años de crecientes de los tres últimos movimientos fue una y media veces más rápida que la del Chamizal. No ha habido, hasta donde el que esto escribe tiene conocimiento, la idea de parte de nadie de considerar estos cambios recientes de otro modo que como erosivos, á pesar de que fueron mucho más rápidos que cualquiera de los alegados en El Chamizal. Todos fueron "lentos y graduales," en contraposición con los avulsivos:— por ejemplo, con el que formó el banco de San Lorenzo, en el que el río mudó su cauce

á más de una milla del antiguo y abandonó unas tres millas de éste en unas cuantas horas.

Debería fijarse la atención en el hecho de que tanto en Woodlawn como en San Lorenzo y "Alfalfa," el terreno situado fuera del alcance de las inundaciones ordinarias fue presa de la erosión y arrastrado, y que en San Lorenzo ese terreno era muy antiguo, no existiendo noticias que pudieran indicar que el lecho del río ocupó alguna vez el área atacada. El terreno en Woodlawn y en "Alfalfa" también era antiguo; pero la capa de limo no era tan gruesa como en San Lorenzo. En este último punto las condiciones sí eran aparentemente las mismas que las del Chamizal, pues era terreno antiguo, con casas, campos cultivados y árboles.

#### 5.—Cambio avulsivo.

No hay señales de que alguna vez haya ocurrido un cambio avulsivo frente al Paso. El Chamizal era un terreno á nivel situado fuera del alcance de las inundaciones, con un grueso estrato superficial, habitado, cultivado y cubierto de casas huertas y viñedos. Que estaba cultivado, lo demuestra el plano de Salazar (plano No. 7), y que la playa de arena y el bosque situados sobre el terreno recientemente formado frente al Paso no estaba cultivado, ó siquiera cubierto de árboles grandes en 1852, también queda demostrado por ese plano. Si hubiera ocurrido un cambio avulsivo, sólo podría haber sido por el corte erosivo de un recodo ó banco, porque El Chamizal estaba fuera del alcance de los desbordes y no hay evidencia física ó oral de que haya existido allí semejante banco. Si hubiera tenido lugar un cambio avulsivo, las casas, los viñedos y árboles, así como el estrato grueso superficial habrían sido pasados al Norte del río, y ni una casa, ni un viñedo quedaron allí. En su lugar quedó una playa de arena que se fue formando gradualmente con los depósitos aluviales traídos por las crecientes y luego acumulados en una delgada capa de tierra arable. Todo esto queda admirablemente demostrado por la sección transversal del plano No. 5. Este plano por sí sólo, sin necesidad de otro testimonio, bastaría para probar de una manera concluyente que no ocurrió allí ningún cambio avulsivo. Además, si hubiera ocurrido un cambio tal, el cauce habría sido acortado, y una mirada al plano convence de que no ocurrió ningún cambio que acertara el curso del río.

#### 6.—Conclusión.

Solamente puede haber una conclusión de la discusión que precede, y es que el río se movió por erosión hacia el interior de la zona del Chamizal, y no por avulsión.

W. W. Follett.

Brownsville, Texas, Marzo 30 de 1911.