

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE RECURSOS HIDRAULICOS
DIRECCION DE INFORMACION BASICA
División de Hidrología
Sedimentología

EL PROBLEMA DE LA EROSION Y SU RELACION CON
LA CONSERVACION Y USO DEL AGUA EN LA ZONA
COSTERA DE FALCON

Caracas, junio de 1972

I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION	1
CARACTER DE LOS PROBLEMAS	1
1 Consumo	1
2 Riego	1
3 Conservación	2
CARACTER DE LOS SUELOS Y SEDIMENTOS	2
FUENTES Y CAUSAS DEL SUMINISTRO DE SEDIMENTOS	4
Tectónica	4
Cobertura Vegetal	5
Caracter de los Suelos	5
REGIMEN PLUVIAL E HIDROLOGICO DE LOS CURSOS DE AGUA	6
ESTADO DE CONSERVACION DE LA CUENCA DE LA QDA .CUJIMA .	7
FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE. QDA . CUJIMA	7
CONDICIONES DEL TRANSPORTE SOLIDO	8
OTROS PROBLEMAS ASOCIADOS A LAS DIVERSAS OBRAS EMBALSE	9
TRANSPORTE AGUAS ABAJO DE LA PRESA	9
CONDUCCION EN CANALES NO REVESTIDOS	10
RECARGA MEDIANTE POZOS	11
COMPORTAMIENTO DE ALGUNAS OBRAS ARTIFICIALES	11
ESTADO DE LA INFORMACION BASICA	15
OTRAS ALTERNATIVAS	16
CONCLUSION	16

INTRODUCCION.

En este informe se plantean algunos problemas derivados de los procesos de erosión de los suelos, el carácter de los sedimentos y su transporte relacionados con el efecto directo ó indirecto que podrían éstos ejercer sobre la conservación, ejecución y proyecto de obras diversas que estan ideándose a objeto de recargar los acuíferos de la llanura costera de Coro. Muchos de los aspectos acá mencionados tienen un carácter cualitativo derivado de observaciones durante un rápido reconocimiento de campo a la zona en compañía del Jefe del Departamento de Aguas Subterráneas de esta División y deben considerarse como de orientación para más detallados y refinados estudios en un futuro.

CARACTER DE LOS PROBLEMAS

El uso del agua en la planicie costera de Falcón está asociado a tres aspectos fundamentales íntimamente ligados al desarrollo de la región.

1 Consumo:

Esto es obvio como resultado de la creciente demografía y las necesidades propias del desarrollo industrial especialmente de la ciudad de Coro, convertida actualmente en un importante centro turístico, para la cual se preven condiciones deficitarias en un futuro no lejano.

2 Riego:

El carácter más especial en la zona es la gran disparidad existente

entre la excelente calidad y carácter de los suelos para diversos renglones agrícolas y la poca disponibilidad de agua con su particular distribución de bido a las adversas condiciones del relieve y clima en la zona.

Los agricultores de la región quizás sean en el país, los de más al ta mística y voluntad de trabajo pero es evidente que muchos de los métodos de laboreo se derivan más de su experiencia que de sistemas tecnificados de riego, uso y tratamientos de la tierra, por ejemplo; no hay criterios técnicos para la selección y rotación de diferentes cultivos.

3 Conservación:

Este es el más crítico y que se hará más grave en los próximos años como resultado de los dos anteriores y de la explotación irracional que se es tá haciendo del agua especialmente de las reservas del subsuelo que van reduciéndose progresiva y continuamente debido al bombeo. De otra parte, la calidad del agua se hace más pobre por efecto de la intrusión del agua de mar, que es más activa conforme aumentan los gradientes de la cuña salina al descender la mesa de agua en las áreas con sobre explotación.

CARACTER DE LOS SUELOS Y SEDIMENTOS

Geológicamente, las planicies costeras de Coro están formados por sedimentos jóvenes. Los horizontes de suelos finos en mayor proporción alteran con conglomerados gruesos bien cementados que constituyen terrazas bien

desarrolladas hacia el pie de la serranía de San Luis, además existen capas lenticulares de areniscas y calizas (cretas) fosilíferas. Estas capas exhiben el mismo rumbo de La Cordillera y han sido dislocadas debido a la actividad orogénica hasta posiciones de ángulos altos ($>75^\circ$) siendo disectadas en un sentido perpendicular por los cursos que descienden desde la Serranía. En algunos lentes de arenas se observa estratificación cruzada y gradación vertical en el tamaño de los materiales. Estos se derivan aparentemente, de la fracción fina de conglomerados ^{de} supuestos a alteración mecánica y selectividad granulométrica debido al transporte fluvial, los cuales a su vez, se han originado previa cementación, de la fracción de tamaño intermedios que forman las terrazas. Estas desde el punto de vista de su gradación, están formadas por materiales con un amplio rango de tamaño, donde los finos formados por arcillas y limos de colores rojos a pardos pueden alcanzar hasta un 15% en peso. En algunas de ellas, especialmente las más distantes del pie de monte la fracción de finos se reduce considerablemente, estos hechos sugieren la ocurrencia de procesos continuos de transporte fluvial y escogimiento en dirección a la costa actual. Las terrazas formadas por materiales muy gruesos han debido acumularse en playas de abruptas pendientes, el grado alto de redondez de los peñones de areniscas es indicativo sin embargo, de apreciable transporte desde la fuente original. Existe finalmente una terraza muy reciente que suprayace discordantemente a las capas más antiguas, y está muy bien expuesta aguas abajo del sitio de presa Cu

lima en las márgenes de la Qda. del mismo nombre, aquí la fracción de finos aumenta significativamente. Hacia las zonas planas los suelos superficiales se tornan areno-limosos ó limosos exclusivamente con presencia de yeso finamente disgregado ó en delgadas láminas.

FUENTES Y CAUSAS DEL SUMINISTRO DE SEDIMENTOS

El problema de la erosión en la región no está restringido a áreas locales de los suelos de cobertura ó tramos específicos de los cursos superficiales, más bien se trata de un tipo de erosión de caracter geológico irreversible; como es sabido, factible de atenuar localmente en algún grado, pero imposible de controlar definitivamente por algún procedimiento ideado hasta ahora. Los siguientes factores y procesos se consideran de gran importancia en el logro del cuadro geomórfico, estado de la erosión y configuración del drenaje superficial que exhibe la región en el presente.

Tectónica

Esta tiene un efecto lento poco persistente sobre las formas de las tierras siendo responsable de la emergencia de cadenas montañosas, lo cual trae consigo reajustes en los gradientes fluviales y aceleración de las ratas de erosión.

En muchas de las cuencas hidrográficas de la región son aparentes las consecuencias de este efecto. En las costas de Falcón, muchas de las co -

rrientes superficiales exhiben sobre los sedimentos costeros, tendencia a profundizar sus lechos lo que ha originado un rejuvenecimiento y más denso patrón de drenaje entre los cursos de menor orden, esto bien puede reflejar un cambio de los perfiles longitudinales en los lechos sobre los tramos superiores que ha traído consigo mayores capacidades de erosión en los niveles más bajos.

Cobertura Vegetal

La cubierta vegetal de los suelos es muy pobre siendo las variedades de xerofitas las más abundantes, esto determina una pobre protección al efecto de las lluvias intensas. En las partes planas y más bajas la vegetación no cambia ni en densidad ni en variedades, la erosión en estas partes se produce en los propios lechos de cauces efímeros, cuyos bancos son muy inestables debido en parte a carecer el suelo de una efectiva protección radicular.

Carácter de los Suelos

Los suelos por su textura fina, baja plasticidad y relativamente poca cohesividad son altamente erosionables por la esorrentía superficial. Un efecto que influye enormemente sobre el comportamiento del suelo son las condiciones antecedentes de sequías las que determinan debido a la alta termicidad del ambiente, desecación activa y pérdida de la consistencia del material más superficial, de forma que la subsiguiente saturación al producirse las lluvias, origina mejores condiciones para su erosión y el transporte por el escurrimiento.

En las partes altas de mayores pendientes se originan deslizamientos naturales de importancia que aportan enormes volúmenes finos de sólidos que son posteriormente llevados por los cursos superficiales.

La presencia de compuestos sulfatados (yeso) en delgadas láminas ó como agregado del suelo puede modificar su caracter físico debido a la expansión volumétrica (0,3-0,5 veces) durante la fijación del agua por la transformación de anhídrita a yeso, cambiar su estado de agregación ó influir en forma soluble (como $SO_4^{=}$) significativamente sobre los procesos de sedimentación y transporte.

REGIMEN PLUVIAL E HIDROLOGICO DE LOS CURSOS DE AGUA

Los totales anuales de pluviosidad en la llanura de Coro no exceden a los 400 mm. y las lluvias ocurren como chubascos intensivos pero de corta duración. Hacia la sierra de San Luis la pluviosidad es creciente y debido a las excesivas pendientes los cursos superficiales presentan un régimen torrencial, de forma que la concentración del escurrimiento afecta las zonas medias y bajas donde son muy importantes los suministros sólidos, esta variación tan marcada en la topografía así como la distribución de las lluvias son los factores que condicionan el régimen hidrológico de estos ríos. Estos en su mayoría son cursos efímeros que presentan crecientes de corta duración en un número reducido durante los meses de la época lluviosa, estas producen inundaciones de las tierras más bajas, donde es efectiva la infiltración y la evaporación, finalmente

el exceso del escurrimiento superficial descarga al mar.

ESTADO DE CONSERVACION DE LA CUENCA DE LA QDA. CUJIMA

Esta cuenca no ofrece rasgos de conservación de los suelos y vegetación diferentes de los observados en otras adyacentes de la región. Aquí las capas de areniscas y calizas casi verticales se mantienen por su resistencia a la erosión, bien conservadas, aunque en el lecho de la Qda. han sido cortadas hasta niveles considerables, sobre estas capas hay ausencia total de desarrollo vegetal. Sobre las lutitas y limolitas aparecen dispersas manchas de vegetación xerofítica poco densas.

La ganadería Caprina poco extensiva se desarrolla al igual que en toda la zona.

FACTIBILIDAD DE UN EMBALSE. QDA. CUJIMA

Se analiza la posibilidad de construir un embalse en la Qda. Cujima a objeto de almacenar la escorrentía de crecientes y permitir ulteriormente la recarga en la zona de aluviones ubicados aguas abajo.

Este embalse inundaría un vaso muy encajonado con las laderas de pendientes muy elevadas, abarcando además porciones del valle de la Qda. Sa- ladero un pequeño contribuyente por la margen izquierda inmediato al sitio de presa.

En las áreas de inundación se han observado algunos focos erosivos

hacia las zonas deltaicas y un problema eventual que debe considerarse es el problema de deslizamientos de materiales en los taludes muy inclinados e inestables bajo condiciones intermitentes de saturación al fluctuar los niveles del embalse, esto es más importante si se considera que este embalse tendrá un efecto disipador de picos de crecientes ó sea que permanecería seco ó lleno según la variación de los aportes líquidos. Un problema adicional no menos importante es el aporte de un gran volumen de sedimentos, esto se discutirá posteriormente.

CONDICIONES DEL TRANSPORTE SOLIDO

Debido al carácter muy fino de los sedimentos y al régimen torrencial del flujo en las crecientes, el transporte sólido es fundamentalmente en suspensión (Wash Load) estos materiales experimentan relativamente corto transporte siendo probable que se mantengan como partículas no discretas y es realmente importante al aporte desde pequeños contribuyentes a los cursos principales. En el lecho de la Qda. Cujima inmediatamente aguas abajo del sitio de presa no se desarrollan estructuras de forma (ripples, dunas) y en algunas zonas depresivas se originan grietas de desecación en el sedimento previamente acumulado por crecientes, con espesores hasta el 2.5 cms. La relación entre el volumen de material sólido depositado a la capacidad de la depresión, indica valores de concentraciones no inferiores al 5% para crecientes particulares.

CUADRO

CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION
DEPOSITADO POR UNA CRECIENTE. QUEBRADA CUJIMA. EDO. FALCON
VENEZUELA. FECHA: 28-05-72.

ANALISIS CON PIPETA 10 CC. Y TUBO DE SEDIMENTACION DE 250 CC.

No se usó dispersante $z = 15$ cms.

Temp °C del análisis 25 °C

(1) Fecha	(2) Hora	(3) Tiempo (min)	(4) V (cm/seg)	(5) Concent.	(6) Concent relativa ×100	(7) Diam.de las parti- culas en mm.
31-05-72	08:33'	-	-	0,0306	-	-
	33'30"	00:30"	0,500	0,0305	99,7	0,072
	00:34'	00:01'	0,250	0,0303	99,0	0,050
	00:38'	00:05'	0,050	0,0298	97,4	0,022
	00:48'	00:15'	0,017	0,0287	93,8	0,013
	09:33'	00:60'	0,004	0,0260	85,0	0,0062
	11:33'	03:00	0,001	0,0193	63,1	0,0031
	15:33'	07:00	0,006	0,0057	18,6	0,0025
31-05-72	08:33'	24:00	0,004	0,0016	5,2	0,002

Peso específico de la muestra:	2,74
% limo:	62% en peso
% arcilla:	38% en peso
Arena:	no aparece

Nota: Esta muestra corresponde al material que formó grietas de desecación en zonas depresivas del lecho. Aguas abajo del sitio de presa.

OTROS PROBLEMAS ASOCIADOS A LAS DIVERSAS OBRAS EMBALSE

Cuando la capacidad de un embalse es muy reducida como el caso de Cujima, su factibilidad económica tiene mucho que ver con la producción de sedimentos de la cuenca y aunque por su forma de operación podría esperarse que tenga menores ratas de atrape de sedimentos, el solo hecho de ser un embalse pequeño, amerita desde este punto de vista mayores precauciones.

Podría pensarse en un embalse regulador de los aportes sólidos en la Qda. Saladero, pero antes debe conocerse la real importancia de ellos y si no es más económico elevar la altura de la presa Cujima para aumentar su vida útil. Este último procedimiento, ha mostrado por experiencia prácticas ser más beneficioso y económico que el primero.

TRANSPORTE AGUAS ABAJO DE LA PRESA

Según los planes sobre el funcionamiento del embalse Cujima se prevé liberar agua limpia a través del cauce para lograr su infiltración en las zonas de recarga situadas aguas abajo. Es improbable que por este procedimiento se logren mantener suficientemente bajas las concentraciones, esto debido a la influencia como aportadores de sólidos de menores tributarios aguas abajo ó por que es factible que se produzca degradación del lecho en intervalos donde a éste lo forman materiales finos. No ocurrirá así, en aquellos donde estan expuestas terrazas estables de gravas y peñones que son desafortunadamente muy cortos.

CONDUCCION EN CANALES NO REVESTIDOS

Se piensa estudiar la factibilidad de conducir e infiltrar en el suelo agua empleando canales naturales ó artificiales no revestidos. Algunos de los inconvenientes que podrían presentarse pueden ser del tipo:

- 1 Socavación en la base y deslizamiento de los taludes formados por material fino de por si muy erosionable, especialmente en altas descargas.
- 2 Deposición de sedimentos finos en los lechos, que pueden hacerse muy estables por desecación después de largos períodos de sequía y exposición a la atmósfera.
- 3 Como consecuencia de lo anterior puede reducirse la capacidad de descarga y las ratas de infiltración del suelo debido a la reducción de las secciones y al bloqueo del material fino.
- 4 Pueden esperarse reajustes en las redes de drenaje.
- 5 Varios de estos a la vez.

El empleo de "melgas" y fosas en el terreno como métodos de lograr infiltración puede implicar problemas de índole muy similar, ambos sistemas en este medio requerirían probablemente de elevados y permanentes gastos

de mantenimiento. En estas últimas, otros problemas adicionales son aparentes. Debido a su mayor superficie de exposición, tanto la evaporación como la generación de oleaje debido a la acción del viento, determinarían pérdidas de agua y erosión de las bermas, ésto último favorecido por la escorrentía desde áreas contribuyentes directas que se añadirían a los anteriores.

RECARGA MEDIANTE POZOS

Este es el método más costoso y que requiere de un mayor cúmulo de información para lograr hacerlo efectivo.

Las aguas a ser infiltradas deben contener el mínimo posible de material en suspensión, y es bien conocido que uno de los contaminantes del agua que precisa de más alto costo para su eliminación, son los sedimentos precisamente, de manera que solo excedentes de los embalses llevados hasta los pozos por tuberías ó canales revestidos pueden ser usados con este fin.

COMPORTAMIENTO DE ALGUNAS OBRAS ARTIFICIALES

Algunas obras realizadas en los últimos años en la zona sirven para evaluar su comportamiento así como para diagnosticar el funcionamiento de las que se acometan en un futuro. Numerosos embalses de pequeña o gran capacidad han sido ejecutadas en la región a objeto de almacenar agua con propósitos de riego y abastecimiento, muchos de los primeros se encuentran actualmente colmatados de sedimentos. Aquí se prefiere resaltar las características de los

construidos recientemente.

Un sistema en serie de dos embalses conocidos como Las Ventosas con capacidades cada uno menores de 10^6 m^3 se construyeron en 1969 por particulares, con fines de riego de 100 has. en las cercanías de Coro. Lo curioso de la obra, fué que se debió realizarse una captura de una vertiente mediante un canal excavado sin revestir que condujese el agua hasta el vaso del primer embalse. En 1971 se llenó éste y descargó sobre el situado aguas abajo, observándose los siguientes hechos:

- 1 Contribución de gran cantidad de sedimentos finos creando gran turbiedad en el primer embalse, como consecuencia se produjo una uniforme distribución de sólidos en todo el reservorio que tiene profundidades máximas de 10 m. Se ha notado que la turbidez se reduce a niveles muy bajos después de un mes de ocurridas las crecientes alimentadoras, en este proceso influye la presencia de $\text{SO}_4 =$ en las aguas que actúa como floculante de las partículas.
- 2 La generación de olas ha erosionado el talud aguas arriba de la presa, la cual era de esperarse debido a que el "Fetch" máximo sigue la misma y mayor orientación longitudinal del vaso. Este es un problema común en todos los embalses construidos en la región.
- 3 Durante el período de alivio en una creciente, se formaron profun-

- das grietas y fuerte socavación aguas abajo de la primera presa.
- 4 La vegetación xerofítica inundada en el embalse inferior, no se ha marchitado hasta esta fecha.
 - 5 La remoción de material de préstamo en el embalse inferior, permitió disectar a poca profundidad la cuña salina.
 - 6 No se observó erosión en las áreas del delta u otras limitantes de los embalses.
 - 7 Se notó un rápido desarrollo de algas e hidrofitas que son distribuidas hacia las orillas por el oleaje, esto es muy ventajoso para preservar a estas áreas de la erosión; pero se desconoce la capacidad de evapotranspiración de éstas, aunque obviamente las mayores pérdidas se producen por evaporación debido al efecto del viento.
 - 8 En estos embalses específicamente es muy reducida la infiltración, y no debe descartarse que el sedimento fino debido a su amplia distribución contribuya progresivamente a impermeabilizar aún más los lechos y áreas inundadas de los vasos.
 - 9 En ciertos tramos del canal, al cual no se ha practicado manteni-

miento desde su construcción, se están iniciando procesos de degradación con desarrollo de meandros y cortes verticales en los tuludes.

10 El costo de estas obras incluido el canal fué de B^s 350.000.

La mayor incógnita de esta ingeniosa obra es en que forma se producirá el reajuste en el régimen de escorrentía y transporte sólido y de que manera se reflejará sobre todo el sistema fluvial. Es aparente que algunas de sus consecuencias inmediatas, ya comienzan a manifestarse.

La carretera Coro-Dabajuro-Mene de Mauroa, opera como un dique que disectó normalmente a muchos de los cursos de drenaje que contribuían directamente al mar, confinándoles mediante alcantarillados ó cajones, esto ha influido considerablemente sobre el drenaje, especialmente de las tierras más altas de la planicie, y al retardarse el escurrimiento sobre suelos con alta capacidad de infiltración las recargas al subsuelo han sido favorecidas, a su vez la erosión se ha aminorado y el proceso de relleno y sedimentación de cauces se ha hecho más efectivo, es evidente que los resultados de esta modificación no se manifiestan en breves períodos de tiempo y se requeriría el control de muchos otros numerosos cauces especialmente los de menor orden para hacerlo más efectivo, pero debería pensarse en esta alternativa como una forma viable de preservar el agua y los suelos de la llanura de Coro. Un modelo con di-

ques de cierre en estos pequeños cauces, para control de la escorrentía y la erosión, puede dar óptimos resultados y complementar desde muchos puntos de vista, a cualesquiera otros procedimientos que se usen para evitar, como señaló el profesor Royo Gómez (op. cit. por el Geol. Luis Ramos), que las aguas de lluvias se fuesen al mar y lo que es muy importante, se trataría de aprovechar inicialmente procesos naturales, sin perturbar en alto grado las condiciones del medio, para recuperar progresivamente las tierras. Esto es fundamental en una zona donde el clima y su interrelación con el medio físico es tan complejo y ciertamente pobremente conocido en la actualidad.

ESTADO DE LA INFORMACION BASICA

Los trabajos y proyectos hidrológicos en zonas semiáridas y áridas requieren de un mayor cúmulo de datos que no son siempre factibles de recabar en corto tiempo. Se piensa por ejemplo, que para tener índices medios aceptables de producción de sedimentos se requieren 15 años mínimos de registros, esto debido a la gran variabilidad del transporte, igualmente otros aspectos hidrológicos no son menos fáciles de diagnosticar. El hecho mismo de estar estas regiones costeras, sujetas al efecto de la intrusión salina es un hecho de gran importancia hidrogeológica, además son poco conocidos los detalles de la geología del subsuelo siendo desde muy reciente cuando se inician los primeros estudios. Un aspecto fundamental es la poca calidad y detalles de la topografía de la región lo que no permite acometer trabajos como los ahora sugeridos. Estos

precisan de cartografía a escala de 1:5000 - 1: 10000.

OTRAS ALTERNATIVAS

Algunos Ingenieros han pensado en el suministro de agua desde la cuenca del río Hueque mediante trasbase a las zonas costeras de Falcón. El rendimiento y la calidad de las aguas de este río son muy aceptables y pueden ser aprovechables con propósitos múltiples. Se cuestiona la real importancia de las rocas de la serranía de San Luis como almacenadoras de agua, este es un aspecto que debe ser investigado en más detalle, éstas pueden representar reducidos volúmenes pero por su buena calidad y reducida carga de sólidos, pueden ser usadas en el futuro sin que ameriten costosos tratamientos.

CONCLUSION

El gran problema de las regiones costeras de Falcón (en especial la llanura de Coro) no se deriva exclusivamente del uso y conservación del agua en sus diferentes medios, sino que está íntimamente asociado a la preservación y aprovechamiento de los suelos; ambos son los recursos que servirán de impulso a la economía y desarrollo de la región. Debe reconocerse que aquí deben resolverse grandes inconvenientes con alternativas que van a ameritar una gran labor de técnicos y de los hombres del campo, y ambos han comenzado a buscar soluciones. Esto tiene ya su importancia.

DPH/mv
06-06-72

David Pérez Hernández