

**II SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CONTROL DE LA EROSIÓN
Lima 2004**

CONFERENCIA

**ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS DEL MANEJO DE
CUENCAS EN ZONAS ÁRIDAS SUJETAS AL
FENÓMENO DE EL NIÑO**

Arturo Rocha Felices

Consultor de Proyectos Hidráulicos
Profesor Emérito de la Universidad Nacional de Ingeniería

El tema de esta conferencia, dictada con motivo del II Simposio Latinoamericano de Control de la Erosión-Lima, 2004, correspondió a una actualización y complementación de la ponencia que con igual título fue presentada al XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil (Iquitos 2003). En la presente versión se ha actualizado las Referencias a agosto del 2012. El texto se ha conservado, sin actualización, como un testimonio de lo escrito en su momento.

CONTENIDO

Resumen, 2
Introducción, 3
Los problemas sedimentológicos de los proyectos hidráulicos, 5
El Fenómeno de El Niño y su incidencia en la erosión, 7
Los proyectos hidráulicos binacionales y el manejo de cuencas, 11
La cuenca como una unidad hidrológica y sedimentológica, 16
Conclusiones y Recomendaciones, 25
Referencias, 27

RESUMEN

Las cuencas ubicadas en zonas áridas y semi áridas, sujetas además a la aparición eventual del Fenómeno de El Niño o a fuertes lluvias, suelen tener graves problemas originados por la fuerte erosión que sufren, cuya consecuencia es una gran producción de sedimentos que resulta sumamente perjudicial para numerosos proyectos hidráulicos, tales como irrigaciones, centrales hidroeléctricas y los de abastecimiento de agua poblacional. Esto ocurre en diversas partes del territorio peruano, en especial en la costa norte. Los daños causados por los sólidos a las estructuras hidráulicas, y los esfuerzos por contrarrestar sus efectos, tienen un costo, generalmente muy grande, que debe ser considerado dentro de los proyectos de aprovechamiento integral de la cuenca. En el Perú se vive intensamente estos problemas en proyectos nacionales y binacionales, especialmente en lo que respecta a la conservación del volumen útil de los embalses de almacenamiento en zonas áridas y semiáridas sujetas al Fenómeno de El Niño. La pérdida de volumen útil de nuestros embalses en actual funcionamiento es una realidad que estamos afrontando.

En este trabajo se intenta demostrar que la solución de los problemas originados por la erosión de cuencas, producción de sedimentos y consiguientes daños a las estructuras hidráulicas, debe ser necesariamente parte de la planificación del uso de la cuenca y de su manejo. En el Perú, en algunos casos, el Manejo de la Cuenca tiene repercusiones internacionales, pues se trata de cuencas que dan lugar a ríos cuyas aguas son compartidas por dos o más países. En conclusión, el trabajo muestra a través de consideraciones teóricas y ejemplos peruanos, la enorme vinculación que debe existir entre la concepción de los proyectos de aprovechamiento hidráulico, el diseño de las respectivas estructuras y el Manejo de Cuencas Hidrográficas. Se concluye también que en el Manejo de la Cuenca y en la concepción de los proyectos de aprovechamiento es necesario conocer y respetar la Unidad Hidrológica y Sedimentológica de la Cuenca, sea ésta nacional o internacional.

Introducción

La presente exposición se refiere fundamentalmente a algunos de los problemas de los proyectos hidráulicos de la costa norte peruana, cuyas cuencas, casi siempre áridas o semiáridas, sufren eventual e intensamente los efectos del Fenómeno de El Niño, lo que produce fuerte erosión y trae como consecuencia graves problemas económicos y sociales, de cuyo aspecto sedimentológico se trata más adelante.

Generalmente se considera que la costa peruana es un inmenso desierto, porque en ella usualmente no llueve. Es decir, que en la costa no llueve con la persistencia y oportunidad requeridas para el desarrollo de la agricultura. En los estrechos valles que forman los ríos, que es donde se encuentran los asentamientos humanos, existe ancestralmente agricultura basada en el riego y en los que, desde hace miles de años, el hombre ha cultivado la tierra adaptándose a las condiciones naturales.

El área de la costa ocupada por la población, por la agricultura, y prácticamente por todas las actividades, es sólo de unas 800 000 hectáreas (8000 km²), que representan el 6% de su extensión total. Esto explica que a la costa se le califique como un desierto, pues prácticamente el 94% de su extensión superficial realmente lo es. El Perú no sólo tiene el problema del centralismo, en virtud del cual casi el 30% de la población del país vive en Lima, sino, además, el problema de la gran concentración poblacional costeña. Como expresión de esta "litoralización", bastante más del 50% de la población nacional vive en la costa, donde sólo se encuentran disponibles menos del 2% de los enormes recursos hidráulicos superficiales del Perú. En la costa, al igual que en todo el Perú, hay escasez de tierras aptas para la vida humana, lo que guarda relación con el hecho de que en el Perú el recurso tierra es uno de los más escasos. El desordenado crecimiento de las ciudades, la ocupación territorial antitécnica, la concentración

demográfica en áreas no aptas para los asentamientos humanos, junto a la pobreza de una parte importante de la población y la falsa creencia de que el clima es permanentemente seco, son los factores que contribuyen a que los daños producidos por el Fenómeno de El Niño, cuando aparece con características de Meganiño, sean cada vez mayores. La aridez de la costa ha obligado a ejecutar proyectos de aprovechamiento hidráulico, los que, además de irrigación, suelen incluir generación hidroeléctrica y abastecimiento poblacional.

Dada la irregularidad de las descargas de los ríos, dichos proyectos requieren muchas veces de obras de almacenamiento y regulación. Así ocurre con los embalses en operación creados por la presa de Poechos del proyecto Chira-Piura y por la presa Gallito Ciego del Proyecto Jequetepeque-Zaña. En el futuro, si es que se demuestra su factibilidad sedimentológica, se tendrá embalses originados por las presas proyectadas para el aprovechamiento del río Puyango-Tumbes, por la presa de Limón del proyecto Olmos y la de Palo Redondo del proyecto CHAVIMOCHIC, para citar solo algunos ejemplos.

Actualmente vivimos la dramática realidad de que los embalses en operación, debido a la sedimentación (azolvamiento) que sufren, vienen perdiendo rápidamente su volumen útil. La fuerte producción de sedimentos se debe a los factores propios de la erosión de cuencas en climas áridos y semiáridos, agravados por una serie de circunstancias vinculadas a la falta de un adecuado manejo de las cuencas y a la presencia ocasional del Fenómeno de El Niño. Dada la irregularidad temporal de los recursos hidráulicos superficiales, la regulación de las aguas resulta ser fundamental para su aprovechamiento y para la existencia de los proyectos hidráulicos que son los que hacen posible la vida en la costa peruana. Esto implica la conservación del volumen útil de los embalses durante el mayor tiempo posible. No debemos olvidar que la vida en la costa peruana sólo es posible como una gran obra de ingeniería.

En 1994, como consecuencia de desbordes ocurridos en varios ríos del departamento de Lima, de los daños producidos por las inundaciones y frente al hecho de no existir de parte del Estado *“un control efectivo sobre la problemática de las cuencas en su conjunto”*, el Colegio de Ingenieros del Perú, a través de su Consejo Departamental de Lima, luego de encargar un estudio a una comisión especializada, reiteró la *“necesidad imperiosa de conformar una Autoridad responsable de cada cuenca... ”*. Este organismo debía *“planificar y coordinar, con los diferentes sectores involucrados, el manejo integral de la cuenca, comprendiendo lo relativo a la conservación y mantenimiento de la cuenca, las acciones de forestación, las obras de defensa, encauzamiento, mantenimiento de puentes y el aprovechamiento del agua del río en sus múltiples usos.”*

El tiempo ha seguido pasando y hasta el momento no se encara tan importante problema. En esta exposición se busca llamar la atención hacia uno de los gravísimos problemas asociados a la cuencas, que es el de la sedimentación de embalses y se intenta demostrar que en las zonas áridas y semiáridas sujetas al Fenómeno de El Niño, el Manejo de las Cuencas, sean éstas nacionales o binacionales, regionales o, como es usual, que abarquen varias regiones, debe verse como una actividad vital para el control de la erosión, y debe estar indisolublemente ligado a la factibilidad y a la ejecución de los grandes proyectos de aprovechamiento hidráulico, basados en embalses de regulación.

Los Problemas Sedimentológicos de los Proyectos Hidráulicos

Las causas de la fuerte erosión de las cuencas de la costa norte son varias y comunes a otras cuencas, pero agravadas por la pobreza de la población y la fuerte irregularidad de las lluvias. Dichas cuencas tienen, en general, un serio proceso de deforestación, de despoblamiento y de falta de cuidado y conservación. Los pobladores de las partes altas de las cuencas, generalmente deprimidas económicamente, contribuyen a la destrucción de la cobertura

vegetal. A esto se agrega que desde hace varios años la Humanidad vive un acelerado proceso de desruralización. El hombre tiene ahora más que nunca el deseo de abandonar el campo y concentrarse en ciudades.

Las consecuencias de este proceso son varias. Hay algunas de enorme interés para nuestro tema, como la disminución de la capacidad de retención de la cuenca, el aumento de las avenidas, la agudización de los estiajes, el incremento de la erosión y la intensificación de la desertificación. Pero, en nuestro país ocurre algo que es aún más grave. Como consecuencia de la destrucción de la cuenca se origina gran producción de sedimentos, los que son llevados por la corriente hacia las zonas de aprovechamiento ubicadas aguas abajo. Los sólidos producto de la erosión de la cuenca causan numerosos daños a las estructuras hidráulicas.

Hasta acá, y con todo lo expuesto, tendríamos razones más que suficientes para realizar programas de Manejo de Cuencas. Sin embargo, se debe reconocer que la protección de cuencas para controlar la erosión es una tarea que se desarrolla en el tiempo y que por sus propias características es lenta y costosa. La cuenca debe tratarse como un conjunto armónico, como un sistema vivo con profunda interacción entre cada una de sus partes.

La preocupación por la erosión de cuencas y por su tratamiento integral no es reciente en el Perú. Así, en 1972 se realizó en el Colegio de Ingenieros del Perú un Simposio sobre Deslizamientos (Huaicos) e Inundaciones, que fue motivado por las fuertes lluvias que se presentaron ese año en diversas partes del territorio nacional y que dieron lugar a la aparición de huaicos e inundaciones y a cuantiosos daños materiales. Según se ha podido reconstruir se trató de un Fenómeno de El Niño. Una de las recomendaciones de dicho Simposio fue que *“los estudios de las cuencas deben tener como fin el planeamiento integral del desarrollo de esta unidad. Parte del plan debe ser el control de los deslizamientos e inundaciones...”* y se añadía que *“la forma más positiva y realista de disminuir*

los daños causados por los deslizamientos e inundaciones es considerar las medidas de control de estos fenómenos dentro de planes integrales de desarrollo de las cuencas hidrográficas.”

El tratamiento de la cuenca, en el caso de la costa norperuana, no puede separarse del planeamiento, diseño y operación de los grandes proyectos de aprovechamiento hidráulico existentes. Se ha invertido, y se continúa invirtiendo, grandes cantidades de dinero en proyectos hidráulicos cuyo éxito y cuya vida dependen del manejo sedimentológico vinculado a la realidad de la cuenca. En las partes bajas de las cuencas ejecutamos proyectos de aprovechamiento hidráulico para resolver el problema de la aridez, pero se presentan grandes problemas con el manejo de los sólidos. Uno de ellos es la conservación del volumen útil de los embalses.

La pérdida del volumen útil de los embalses tiene grandes repercusiones económicas y sociales, pero su determinación está sujeta a muchas incertidumbres. Es por eso que, al planificar el uso de la cuenca y el planeamiento de proyectos en su parte baja, debe considerarse la totalidad de ella. En algunos países se encarga a la misma autoridad la conducción de los proyectos hidráulicos y el Manejo de la Cuenca.

El Fenómeno de El Niño y su Incidencia en la Erosión

El Fenómeno de El Niño (FEN) es un fenómeno natural que representa para la ingeniería, la economía y las actividades humanas en general, una modificación transitoria, eventualmente fuerte, y algunas veces desastrosa, del clima predominante en una parte importante del planeta. Algunas veces el FEN aparece con gran magnitud e intensidad y entonces recibe el nombre de Meganiño. En los últimos 120 años el Fenómeno de El Niño se ha presentado en el Perú varias veces, cuatro de ellas como Meganiño, en las que produjo ingentes daños materiales, económicos y, lo que es más lamentable, con pérdida de vidas

humanas. En el siglo XX, principalmente a partir de la década de los setenta, se emprendió el estudio y construcción de grandes proyectos hidráulicos, algunos de los cuales implicaban embalses de regulación, cuyo volumen útil debía conservarse. Las circunstancias de la época hicieron que se considerase por lo general un periodo de 50 años para la ocupación del Volumen Muerto previsto para los sedimentos. Pero, ahora sabemos que un periodo tan corto es incompatible con el lento proceso de maduración de los proyectos, la necesidad de su permanencia en el tiempo, la gran erosión de las cuencas áridas y semi áridas de nuestro territorio sujetas al FEN, y sobre todo, con el periodo de recurrencia de los grandes Niños. Como es sabido, en las partes bajas de las cuencas de la costa norte peruana suele llover muy poco o casi nada. Cuando se presenta el FEN uno de sus aspectos más característicos es la aparición de fuertes lluvias, especialmente en las zonas de la costa norte próximas al mar, es decir, en las partes bajas de las cuencas.

Las descargas de los ríos de la costa son muy variables en el tiempo. Las avenidas que ocurren durante el Fenómeno de El Niño se caracterizan por su larga duración. Por lo tanto, además de alcanzarse valores instantáneos muy altos, se tiene que el volumen total descargado es sumamente importante y dañino. Generalmente, las grandes descargas fluviales van acompañadas de enormes cantidades de sólidos. Resulta interesante presentar algunos ejemplos de esta afirmación.

El Catamayo-Chira es un importante río peruano-ecuatoriano, sobre cuyo lecho se encuentra la presa de Poechos, estructura clave del proyecto Chira-Piura. La cuenca, muy erosionable, está sometida a la aparición del Fenómeno de El Niño, cuya ocurrencia eventual con características de Meganiño da lugar a fuertes precipitaciones, a un notable incremento de las descargas fluviales y de la erosión de la cuenca y a un intenso transporte sólido. Durante el periodo 1976-1999, correspondiente a 24 años de operación de la presa, han ocurrido dos Meganiños con un intervalo de sólo quince años, los de 1982-83 y 1997-98.

Durante el lapso mencionado de 24 años (288 meses), el 30 % de la masa hídrica total descargada por el río ocurrió en 11 meses (enero-junio 1983 y enero- mayo 1998); es decir, en algo menos del 4% del tiempo. En lo que respecta al transporte sólido la incidencia de los Meganiños es proporcionalmente mayor. Así, en el mismo periodo de 288 meses, el 70% de los sólidos descargó en el 3,5% del tiempo. Las mediciones realizadas, aunque no muy completas ni muy precisas, han permitido comprobar que la cuenca Catamayo-Chira tiene las características de erosionabilidad que se temía, y a las que se hace referencia más adelante. La cuenca del Catamayo-Chira tiene, para el periodo de 24 años antes señalado, una Erosión Específica Media no menor de 1300 t/km²/año; la que, sin embargo, es muy variable a lo largo del tiempo. Se tiene así que la relación entre las Erosiones Específicas Máxima y Mínima es por lo menos de 350.

La presa de Gallito Ciego, sobre el río Jequetepeque, es la estructura clave del proyecto Jequetepeque-Zaña. La presa entró en operación en 1987, y desde entonces ha sufrido una importante pérdida de su volumen útil como consecuencia de la sedimentación ocurrida, principalmente durante el Meganiño 1997-1998. La Autoridad del proyecto promovió el año 2003 la realización de un “Estudio de Prefactibilidad para la protección del embalse Gallito Ciego de la colmatación por acarreo”.

En los Términos de Referencia para dicho estudio se señala que la cantidad de sólidos acarreados por el río Jequetepeque y los depósitos ocurridos en el embalse representan “*variaciones sustanciales*”, con respecto a los valores establecidos en los estudios que sirvieron de base para la elaboración del proyecto. Los estudios actuales estiman para el río Jequetepeque un transporte sólido anual de 2,9 MMC, en vez de los 1,7 MMC considerados en los estudios originales del proyecto. Es decir, que hay un aumento del 70%. En el río Jequetepeque, al igual que en otros ríos de la costa norte, materia del presente trabajo, hay un notable contraste en el transporte sólido de un año a otro, es así

como se tiene desde un mínimo de casi cero a un máximo de 31,4 MMC en un solo año.

La cuenca del río Santa está expuesta a un intenso fenómeno de erosión. Produce sedimentos en gran cantidad que dificultan y encarecen el uso de sus aguas. La Erosión Específica Media de la cuenca es de 2 565 t/km²/año, lo que la coloca entre las más altas del país. En años de fuertes lluvias este valor ha llegado a 5 713 t/km² /año. Estas enormes cantidades de sólidos crean grandes dificultades en los aprovechamientos hidráulicos de aguas abajo. En correspondencia con el valor anterior, el caudal sólido del río Santa es de 27,7 millones de toneladas, como promedio plurianual, lo que implica una concentración media de 5,15 g/l. En los meses de avenidas (Enero-Abril) la concentración media es de 7 g/l. En años extraordinarios, como los correspondientes al Fenómeno de El Niño, la cantidad de sólidos que transporta el río Santa aumenta por lo menos al doble.

A pesar de que el río Santa, debido a las características de autorregulación de su cuenca, cuya continuidad en el tiempo debe ser materia de análisis, se ha caracterizado hasta ahora por no tener grandes variaciones en sus descargas, es claramente perceptible la influencia del Fenómeno de El Niño, cuya aparición da lugar a un gran transporte sólido fluvial, muy concentrado en los meses de avenidas. Así, al pensar en una derivación de las aguas del río Santa, puede ocurrir que en un sólo día, con un caudal de captación de 90 m³/s y una concentración registrada de 30 g/l, se capte unas 230 000 toneladas de sólidos. Tenemos una clara representación de las características y del estado de la cuenca al observar la variabilidad del transporte sólido y su mayor incidencia en determinados meses. Así, entre enero y abril pasa en promedio el 87% del transporte sólido anual en suspensión del río Santa. En 1983 este último porcentaje se elevó al 92%, y en 1984, al 98%. En el período 1979-1986 el transporte sólido total del río Santa fue de 173 millones de toneladas. De este total, el 52% pasó en el período 1983-84. Estos valores nos indican con toda

claridad la importancia que tienen los meses de avenidas (especialmente los días de mayores concentraciones) y los años del Fenómeno de El Niño, en el transporte de sedimentos. Tratar de controlar tan grandes cantidades de sólidos a nivel de proyecto (desarenadores, decantadores, etc.) es una labor ardua, dado que se trata de partículas muy finas, de lenta decantación.

Estos ejemplos nos ilustran claramente que frente a estas enormes cantidades de sólidos es imprescindible actuar sobre el origen, es decir sobre la cuenca, y que la concepción, desarrollo y operación de los grandes proyectos hidráulicos no pueden separarse de lo que ocurre con la cuenca.

Los Proyectos Hidráulicos Binacionales y el Manejo de Cuencas

A veces ocurre que cuando se proyecta aprovechar las aguas de un río nos encontramos con que se trata de un río internacional. Se dice que un curso de agua es internacional cuando su recorrido se realiza en más de un Estado [10]. Cada Estado ejerce soberanía sobre su respectiva parte de la cuenca, pero las aguas de los ríos internacionales son recursos compartidos entre dos o más Estados. Constituyen un patrimonio común. Sin embargo, para fines de aprovechamiento el concepto de río no puede independizarse del de cuenca. El río es el elemento natural de drenaje de la cuenca, de modo que lleva hacia aguas abajo la escorrentía, las grandes avenidas, la contaminación y los sedimentos producto de la erosión de la cuenca. En un río internacional cada Estado tiene, como se dijo antes, soberanía sobre una parte de la cuenca, pero el río es un elemento natural, continuo, móvil e indivisible que no puede desagregarse. El río debe ser visto y tratado unitariamente. Algo similar debe ocurrir con la cuenca. Lo que se haga o se deje de hacer en una parte de la cuenca influye inexorablemente en otras partes de ella, independientemente de las demarcaciones políticas.

El concepto de cuenca puede analizarse desde varios puntos de vista. La cuenca es, hidrológicamente, el área comprendida dentro de una formación topográfica

en la cual las aguas concurren a un mismo lugar como el mar, un lago o una corriente de agua. También podríamos decir que la cuenca es, funcionalmente hablando, un área, una región física, en la que se da una profunda interdependencia entre el manejo del agua y el manejo de la tierra. En tal sentido, el tratamiento de la cuenca debe ser holístico; vale decir, que dentro de una concepción de totalidad debe considerar, sin excepción, los factores interdependientes que están presentes en la evolución de una cuenca. Todo esto es importante, no sólo como una aproximación conservacionista, sino que tiene profundas implicancias económicas. La Unidad de la Cuenca, que algunos autores llaman “coherencia hidrográfica” es una realidad dentro de la que tenemos que actuar. El ciclo hidrológico está más allá de cualquier concepto de límites o fronteras. La necesidad del tratamiento unitario de la cuenca debe ser independiente de que la cuenca constituya o no una unidad económica, política, agrícola o de cualquier tipo y, por lo tanto, la consideración de la Unidad Hidrológica y Sedimentológica de la cuenca deriva de su propia naturaleza y no de otras circunstancias.

Los departamentos, hoy regiones de Piura y Tumbes, tienen en su parte costera tres importantes ríos que son los que han permitido ancestralmente que ese desierto sea habitable. De ellos, el río Piura tiene comparativamente menores y más erráticos recursos hidráulicos, lo que ha sido compensado por medio del Proyecto Chira-Piura. El aprovechamiento de las aguas de los otros dos ríos, Puyango-Tumbes y Catamayo-Chira, compartidos por Perú y Ecuador, es vital para el desarrollo económico y social y para la existencia misma de los seres vivos en dicho territorio. Los ríos Puyango-Tumbes y Catamayo-Chira nacen y se desarrollan en el Ecuador, atraviesan la frontera y llegan finalmente al mar. Son, pues, ríos binacionales; sin embargo, no puede ignorarse la realidad física en virtud de la cual cada río constituye una continuidad natural desde su nacimiento hasta su desembocadura en el mar.

En 1971 se celebró un Convenio entre Perú y Ecuador para la realización de un conjunto de acciones vinculadas a ambas cuencas. Dentro de dichas acciones se previó y se convino el aprovechamiento de los ríos Puyango-Tumbes y Catamayo-Chira. Pero, además el Convenio tuvo otros tres grandes objetivos y alcances específicos, que por corresponder al tema del presente trabajo se mencionan detalladamente. Ellos son los siguientes:

- a) *“Realizar estudios sobre las condiciones de las cuencas y las implicancias que para ellas tienen los proyectos actuales y futuros, con el fin de establecer un programa de acciones y obras de conservación y mejoramiento, fijando el financiamiento que corresponda a cada país; así como ejecutar los programas de obras que se acuerden.*

- b) *Establecer un programa coordinado para la obtención, manejo y procesamiento de la información hidrológica, meteorológica y de medición de sedimentos, unificando las normas a las que deben sujetarse ambos países; así como para construirlas, instalarlas y operarlas, centralizando la información y publicando las estadísticas respectivas.*

- c) *Realizar un programa para la conservación de las cuencas binacionales Puyango-Tumbes y Catamayo-Chira en forma conjunta”.*

De la lectura y análisis de los objetivos citados para la cooperación binacional en ambas cuencas se nota la gran visión que se tuvo hace cuarenta años al apreciar la importancia que se le dio a acciones como obtención sistemática de información, programas de conservación de cuencas e impacto de los proyectos, todo lo que actualmente formaría parte de un Manejo de la Cuenca. Cada una de las cuencas debe considerarse como un sistema, cuyo aprovechamiento no puede ni debe limitarse a la distribución y uso de sus aguas. El aprovechamiento debe ser integral. Existe una continuidad indisoluble entre las partes altas y bajas de las cuencas. Podríamos decir con toda propiedad que cada cuenca es una

unidad que no reconoce fronteras ni nacionalidades. Si descuidamos la parte alta de una cuenca, deforestándola y agravando las condiciones naturales existentes, el resultado será una incontenible e inmanejable cantidad de sólidos en la parte baja, lo que hará insostenibles los proyectos de aprovechamiento hidráulico. Debe haber, pues, un manejo ambiental de cada cuenca, tanto para las condiciones existentes como para las que se producirán como consecuencia del impacto de las grandes obras de regulación, indispensables para el aprovechamiento de los ríos.

Cabe acá comentar que en lo que respecta a las cuencas Puyango-Tumbes y Catamayo-Chira existe una gran separación, una discontinuidad, entre la parte alta, ubicada en el Ecuador, y aguas arriba con respecto a la frontera, y la parte baja de cada cuenca, ubicada en el Perú, aguas abajo con respecto a la frontera. En la práctica, la parte alta y la parte baja de cada cuenca están independizadas desde el punto de vista operativo, agrícola y social. Sin embargo, los problemas de deforestación y de falta de manejo adecuado de la cuenca alta tienen una enorme influencia en la parte baja. Se ve acá, una vez más, la necesidad de tener en cuenta el concepto de Unidad Hidrológica y Sedimentológica de la Cuenca. Entre la parte alta y la parte baja de cada cuenca existe de hecho una “continuidad hidrológica y sedimentológica indivisible” que es independiente de las voluntades y de las decisiones humanas. Los buenos propósitos del Convenio de 1971 no se han traducido en acciones concretas de Manejo de Cuencas, las que siguen sometidas a una intensa erosión, lo que produce gran cantidad de sólidos, los que al ingresar al embalse de Poechos están produciendo su rápida sedimentación, con las graves consecuencias económicas y sociales que es de prever.

En lo que respecta al proyecto binacional Puyango-Tumbes, el aprovechamiento de sus aguas implica necesariamente la ejecución de obras de regulación, las que también estarán sometidas al peligro de sedimentación. Los primeros esquemas de aprovechamiento binacional del río Puyango-Tumbes, realizados entre 1968 y

1976, a partir del concepto de presas pequeñas y medianas, señalaron el peligro que existía de su colmatación acelerada debido al gran caudal sólido de sus aguas. Los esquemas siguientes de aprovechamiento consideraron, por otras razones, grandes embalses, que en algunos casos eran de varios miles de millones de metros cúbicos, lo que alejaba el peligro de sedimentación acelerada. En la medida en la que se pretenda construir embalses pequeños, su pérdida de volumen será más rápida.

Los problemas en las cuencas mencionadas se agravan por la presencia ocasional del Fenómeno de El Niño, especialmente cuando se presenta como Meganiño. Es entonces cuando en una zona predominantemente árida aparecen fuertes lluvias, que en las partes medias y bajas de las cuencas tienen carácter extraordinario, que dan lugar a graves procesos de erosión, lo que obliga necesariamente a que el FEN deba ser tomado en cuenta para el Manejo de Cuencas y para la concepción de los proyectos hidráulicos de aprovechamiento.

La Cuenca como una Unidad Hidrológica y Sedimentológica.

El problema de los embalses, especialmente los ubicados sobre el lecho fluvial, es su tendencia a perder capacidad útil, es decir, a sedimentarse, como consecuencia del gran transporte sólido de muchos ríos. Este fenómeno recibe muchos nombres; en el Perú se le suele llamar colmatación, también recibe los nombres de azolvamiento, atarquinamiento o aterramiento. La evaluación de las cantidades de sólidos aportados por la cuenca es incierta y difícil, sobre todo cuando no se realizan programas de toma de muestras con la continuidad necesaria.

Frecuentemente se piensa en varias medidas para disminuir el depósito de sólidos en los grandes embalses, tales como compuertas de purga, reglas de operación adecuadas, creación de corrientes de densidad y, sobre todo, en el

control de la erosión de la cuenca. No cabe la menor duda de que el control de la erosión de la cuenca, como forma de disminuir el aporte de sólidos, siempre ha estado en la mente de quienes formularon los grandes proyectos de aprovechamiento hidráulico, basados en uno o más embalses, cuyo volumen útil debía mantenerse a lo largo del tiempo.

A continuación se señala que en los respectivos estudios para el aprovechamiento de cinco ríos, mediante embalses, dos de ellos binacionales, y que sirven a la costa norte peruana, se conoció y recomendó oportunamente la necesidad de ejecutar acciones y obras especiales en la cuenca con el objeto de controlar la erosión.

a) En 1973, en el Estudio de Factibilidad del Proyecto Jequetepeque-Zaña, al describirse las medidas que podrían tomarse para aumentar la vida del embalse creado por la presa de Gallito Ciego, ubicada sobre el lecho del río Jequetepeque, se señaló lo siguiente: *“Todos los esfuerzos para controlar el problema de acarreo y material en suspensión a lo largo del tiempo no logran obtener la eficiencia deseada si el mal no es extirpado en sus raíces, es decir que por lo menos se trate de disminuir la erosión de superficie y con ello el aporte de material en suspensión, aunque la erosión no pueda ser evitada por completo. Por lo tanto es recomendable empezar cuanto antes con un programa de reforestación y de cultivos para las zonas afectadas...”* [18]. Sin embargo, estas medidas no fueron tomadas oportunamente ni con la intensidad debida y, como se ha visto, la cuenca produce gran cantidad de sedimentos. El volumen útil del embalse creado por la presa de Gallito Ciego viene sufriendo las consecuencias de este hecho, agravadas por el periodo de vida muy pequeño considerado (50 años), y por la aparición eventual del Fenómeno de El Niño. Las estimaciones hechas recientemente sobre la pérdida de volumen del embalse Gallito Ciego consideran que entre 1987 y el año 2000 (14 años) hubo una pérdida del orden del 10% del volumen total, gran

parte de la cual se debió al Meganiño 1997-98. La futura colmatación dependerá de la aparición de Meganiños.

- b) En la cuenca Catamayo-Chira se previó en el Convenio binacional de 1971 el aprovechamiento del río del mismo nombre mediante la ejecución de los respectivos proyectos nacionales del Perú y del Ecuador [8]. Para el Perú se trataba del proyecto Chira-Piura, cuya estructura principal era la presa de Poechos, sobre el río Chira. En una publicación ecuatoriana se señalaba que *“La foresta natural se ha destruido en forma alarmante tanto que, no sólo que han desaparecido valiosos bosques, sino que el proceso de pérdida de suelos agrícolas por erosión es aceleradamente creciente.”* [1]. En el mencionado Convenio de 1971 se acordó acertadamente la ejecución de acciones encaminadas a disminuir la erosión de la cuenca, tal como se ha detallado en el punto anterior. De esta manera, se estableció claramente la vinculación entre la conservación del volumen útil de la presa de Poechos y el tratamiento de la cuenca. Lamentablemente, las acciones respectivas no fueron implementadas. Como consecuencia del fuerte transporte sólido mencionado el embalse creado por la presa de Poechos viene experimentando un fuerte proceso de sedimentación, agravado por el periodo de vida muy pequeño considerado (50 años), por no haberse tomado las medidas de conservación de la cuenca y por la aparición de dos Meganiños con una diferencia de apenas 15 años (1982-83 y 1997-98) [4, 12,15]. El embalse de Poechos tenía originalmente, cuando entró en funcionamiento en 1976, un volumen total de 885 MMC. En los 24 años transcurridos hasta 1999 el embalse había perdido, como consecuencia de la colmatación ocurrida, unos 357 MMC de su volumen total [4]. En consecuencia, el volumen total quedó reducido en 24 años a 528 MMC, lo que representaba el 60% de su volumen original. Durante dichos 24 años los dos Meganiños mencionados fueron causantes de la mayor parte de la colmatación ocurrida (aproximadamente, de las dos terceras partes). La información disponible hasta la fecha permite establecer que la probabilidad de que el embalse reduzca su volumen a un valor dado en un periodo

determinado, depende de la probabilidad de que ocurran uno o más Meganiños durante dicho periodo.

- c) Con respecto a la cuenca del Puyango-Tumbes se previó en 1971, como parte del Convenio con el Ecuador, antes mencionado, su aprovechamiento hidráulico mediante un gran proyecto binacional [8]. Sin embargo, se sabía que *“la foresta natural de la cuenca se halla en gran parte devastada por talas, quemas y pastoreos excesivos...”*. Con respecto a las cuencas Puyango-Tumbes y Catamayo-Chira se afirmaba en una publicación ecuatoriana, antes de 1971, que *“Ambas cuencas se hallan afectadas por una deforestación casi catastrófica, que se debe a factores socio-económicos de la población asentada en ellas. El afán de buscar tierras para la agricultura y ganadería, sin dirección ni consejo técnico alguno, permitió que nuestros campesinos del austro subieran hasta las mismas crestas de las montañas dispuestos a talar inmisericordemente la foresta primitiva. Tal deforestación sumada a las pésimas prácticas en el uso de la tierra, constituyen la causa de que las aguas pluviales que se precipitan sobre la cordillera, escurran violentamente por los cauces naturales abriendo cárcavas y arrancando la capa vegetal, pues el efecto de retención y detención va desapareciendo a tal punto que el tiempo de la base de los hidrogramas de las crecientes irá reduciéndose cada vez más, si no se toman las medidas del caso con las consecuencias gravísimas que este hecho ocasiona en el desarrollo integral de una cuenca hidrográfica.”* En aquella oportunidad, al igual que con el aprovechamiento del Catamayo-Chira, se acordó entre ambos países la ejecución de acciones encaminadas a disminuir la erosión de la cuenca, tal como se ha expuesto en el punto anterior. De esta manera se estableció claramente la vinculación entre la conservación del volumen útil de los embalses, los que necesariamente debían ejecutarse dada la irregularidad de las descargas fluviales, y el tratamiento de la cuenca. Lamentablemente, las acciones respectivas no han sido desarrolladas. A pesar de la escasa información existente se prevé un transporte sólido importante en la cuenca Puyango-Tumbes; en consecuencia,

no debe insistirse en embalses pequeños, cuyo periodo de vida útil es necesariamente corto.

d) El proyecto CHAVIMOCHIC, ejecutado parcialmente, considera la captación de las aguas del río Santa para su uso en un proyecto de propósito múltiple que incluye la regulación de los excedentes en el futuro reservorio de Palo Redondo, el que correría el peligro de colmatarse rápidamente debido a la gran cantidad de sedimentos de la cuenca, a la peculiar modificación de su concepción original, a la poca eficiencia del desarenador, al periodo de vida muy pequeño considerado (50 años) y a la aparición eventual del Fenómeno de El Niño [13]. El volumen total previsto para el reservorio es de 260 MMC y el volumen reservado para el depósito de los sólidos es de unos 80 MMC. Cuando el proyecto CHAVIMOCHIC llegue a su máximo desarrollo captará el 36% de las aguas del río Santa y el 21% de los sedimentos acarreados en suspensión. En un cálculo alternativo de la eficiencia del desarenador, que se ha realizado como parte del Estudio del Control de Sólidos [13], se ha estimado que desde la salida del desarenador se incorporarían anualmente 3 millones de toneladas de sólidos al sistema CHAVIMOCHIC. Gran parte de estos sólidos quedarían retenidos en el embalse de Palo Redondo. Evidentemente que la vida útil de 50 años considerada para el embalse de Palo Redondo en su Estudio de Factibilidad, y su forma de operación en virtud de la cual ingresa al reservorio toda el agua del proyecto y no sólo la que requiere regulación, no es admisible para el éxito del Proyecto y, en consecuencia, no debería seguirse considerando.

e) En el estudio del Proyecto Olmos, cuyo éxito depende de la conservación del volumen útil de la presa de Limón, sobre el río Huancabamba, se señaló con toda claridad los problemas de erosión que se presentan en la cuenca [9]. En él se decía que *“El proceso de cargarse las aguas fluviales con partículas minerales es más netamente marcado en el valle del río Huancabamba. La cuenca del río es pobremente cubierta de bosques y las laderas abruptas (30°*

a 50°) del valle están constituidas por rocas meteorizadas erodables. La formación del caudal sólido es facilitada por la presencia de numerosas quebradas en las cuales se efectúa el transporte de material suelto arrastrado por la escorrentía durante los procesos de derrumbes y deslizamientos...”. El proyectado embalse de Limón tiene un volumen total de 191 MMC (Millones de metros cúbicos), de los cuales 80 MMC están reservados para el depósito de los sólidos acarreados por el río Huancabamba a lo largo de 50 años; en consecuencia el volumen disponible para la regulación de caudales es de 111 MMC. Este último volumen debe regular una masa de agua que en la Primera Etapa del proyecto es 11 veces mayor. En el estudio definitivo se estimó que en 50 años el transporte sólido sería de 140 MMC, de los cuales 80 MMC depositarían dentro del embalse. Si se tiene en cuenta que hubo poquísimas mediciones, que no se consideró eventos extremos, que el lapso de 50 años es inadmisibles y que el pequeño volumen del embalse no tiene capacidad de absorber errores y, si a todo esto, se añade la posibilidad de un desfase entre la primera etapa, o parte de ella, y la culminación del Proyecto, se comprende la urgente necesidad de una Evaluación del Riesgo Sedimentológico involucrado, tanto en el proyecto Integral como, especialmente, en el esquema de aprovechamiento alternativo que se habría introducido recientemente.

A través de estos cinco ejemplos vemos claramente la necesaria vinculación que debe existir entre un proyecto de aprovechamiento hidráulico y el Manejo de la respectiva cuenca. Para los proyectos todavía no construidos, algunos de los cuales han sido mencionados, resulta imperativo efectuar un Estudio de Riesgo Sedimentológico. Sea que se trate de una cuenca regional, nacional o binacional, ésta debe ser tratada como una Unidad Hidrológica y Sedimentológica. Dicha vinculación no debe ser meramente declarativa, sino efectiva. Como los proyectos mencionados se desarrollan en las partes bajas de las cuencas es acá oportuno recordar que uno de los aspectos esenciales del Manejo de Cuencas es que se debe considerar todos los factores, con especial énfasis entre las

relaciones que existen entre las partes altas y las partes bajas de una cuenca, sus características físicas y sus habitantes.

El concepto de Manejo de Cuencas se ubica dentro de un concepto más amplio que es el de la racional explotación de la Naturaleza en provecho del hombre. Frente a la Naturaleza en general, y frente al agua en particular, el hombre tiene una doble relación. De un lado, la Naturaleza le proporciona sus medios de subsistencia. El hombre tiene a su disposición los frutos y animales del mundo natural. En este sentido, la Naturaleza es fuente de vida. Pero, de otro lado, la Naturaleza también es fuente de muerte, pues ofrece peligros y el hombre debe aprender a defenderse de ella. Esta complejidad de la relación Hombre-Naturaleza, como lo han señalado muchos autores, genera una doble reacción. El hombre busca adaptarse a la Naturaleza, es decir, a las condiciones imperantes en el lugar y en el momento que le toca vivir y, trata también, de modificar la Naturaleza y adecuar su hábitat.; es en esto último en lo que se diferencia de otros seres vivos. Esta dualidad señalada para la relación entre el hombre y la naturaleza en general, ocurre con el agua en particular. El aprovechamiento de la naturaleza debe ser racional, ordenado y armónico. De lo contrario estaremos depredando nuestros recursos y causando un daño irreparable a las generaciones futuras.

La Humanidad viene experimentando progresivamente, y a veces de un modo acelerado, una disminución de los recursos naturales que tiene a su disposición. Como los ellos son los que permiten la existencia del hombre sobre la tierra es necesario recordar que un lugar de embalse es un recurso natural. De lo expuesto resulta evidente que entre los programas de Manejo de Cuencas en zonas áridas y semiáridas y los estudios y acciones para ejecutar proyectos de aprovechamiento hidráulico debe existir, especialmente si se trata de conservar el volumen de regulación de los embalses, una íntima y profunda relación.

Es conocido que en las zonas áridas y semiáridas el agua, por escasez o por abundancia, es la variable que controla su planificación. No puede lograrse el desarrollo de la cuenca, allí donde no hay suficiente agua de lluvia, si no se organiza el uso de las aguas superficiales y subterráneas. El Plan de Gestión de la Oferta de Agua debe establecer la compatibilización debida entre la calidad del agua en lo que respecta a sedimentos y la factibilidad de embalses de regulación.

El Manejo de la Cuenca debe necesariamente incluir las acciones encaminadas a su preservación, a la disminución de la contaminación y de la erosión y, por lo tanto, a la disminución de la producción de sedimentos. De esta manera, los proyectos de aprovechamiento hidráulico serán técnica y económicamente factibles. Debe haber un trabajo coordinado y conjunto, en el que la Autoridad de la Cuenca y la del gran proyecto hidráulico se fusionen y constituyan, por lo menos a nivel de planeamiento, una sola unidad. Así lo exige la Unidad Hidrológica y Sedimentológica de la cuenca. Pretender divorciar ambos aspectos es no sólo inconveniente, sino suicida. A la vez, uno y otro aspecto deben considerar que se encuentran bajo la influencia del FEN.

La situación que vivimos en el Perú es que generalmente existe acuerdo entre autoridades, planificadores, proyectistas, y demás partes involucradas en el desarrollo, acerca de la necesidad de implementar en cada cuenca las acciones conducentes a su conservación y manejo. Pero, una cosa es una idea y otra pasar a la acción. Naturalmente que la ejecución de un programa de Manejo de Cuencas supone tener un cierto grado de madurez con respecto a la planificación del desarrollo, a la ocupación territorial y en la conducción de los grandes problemas nacionales. Generalmente, no tenemos una autoridad encargada del Manejo de cada cuenca. Hay una fuerte fragmentación de responsabilidades. El problema es tan grave, que muchas veces ni siquiera hay una Autoridad responsable de cada río. Cada tramo fluvial, arbitrariamente determinado por circunstancias administrativas o de cualquier orden, está a cargo de una cierta autoridad. Son frecuentes los conflictos, los vacíos, las soluciones parciales y,

finalmente, el abandono del río a su suerte. Si esto ocurre con el río, es fácilmente imaginable lo que ocurre con la cuenca. Sabido es que en una cuenca lo que se haga o se deje de hacer en la parte alta repercutirá inevitablemente en la parte baja.

Los grandes proyectos de aprovechamientos hidráulicos, como los antes mencionados, y muchos otros, dependen íntegramente de lo que ocurra en la parte alta de la cuenca. Según se ha visto, en el momento de concebir estos proyectos se tuvo conciencia de estas circunstancias y se llegó a plantear “acciones complementarias” de manejo y conservación de la cuenca, como recomendaciones genéricas, pero que no eran integrantes del proyecto mismo, ni un requisito para su realización. Por cierto, que uno de los problemas cruciales es la definición de quien debe pagar los gastos inherentes a un programa de Manejo de Cuencas.

La erosión de cuencas, la producción de grandes cantidades de sólidos, la aparición de avenidas y otras manifestaciones propias de cuencas “abandonadas” son cada vez mayores. La factibilidad, en el más amplio sentido del término, de efectuar el Manejo de la Cuenca no debería desligarse de la factibilidad de ejecutar un gran proyecto hidráulico en la parte baja, cuya vida depende de lo que ocurra con la cuenca. En otro trabajo hemos planteado la necesidad de que todo gran proyecto hidráulico tenga una Evaluación del Riesgo Sedimentológico involucrado en su realización. El hecho de que muchas cuencas estén sometidas a la aparición eventual del Fenómeno de El Niño y que algunas cuencas sean binacionales no hace sino agravar el problema.

La Regionalización ha dado lugar a la exacerbación de varios problemas, que ya existían y que deben ser resueltos, sobre el uso y aprovechamiento de las aguas, pero además, y fundamentalmente, tiene que encararse el problema de las cuencas. De todo lo expuesto anteriormente resulta clarísimo que una cuenca no puede “regionalizarse”. La cuenca es una y su Manejo también debe serlo.

A lo largo de este texto se ha presentado suficiente evidencia que demuestra que siempre ha habido conciencia de la vulnerabilidad de los proyectos hidráulicos frente a la erosión de las cuencas, pero nunca se ha ejecutado el conjunto de acciones indispensables, a la luz de la concepción holística de la cuenca, para garantizar su éxito. A lo anterior debe añadirse que la evidencia demuestra que 50 años es un periodo absolutamente corto e inadmisibles para la vida útil de un gran proyecto. Esta vida tan corta adquiere para su análisis una dimensión diferente cuando se trata de dar en concesión un proyecto durante algunas décadas, al cabo de las cuales regresará al Estado, probablemente con su volumen útil casi perdido. Se concluye entonces en la gran pregunta, ¿debemos continuar ejecutando proyectos de 50 años de vida útil en cuencas erosionables, en las que no se considera su Manejo, y que están sometidas al Fenómeno de El Niño?

Conclusiones y Recomendaciones

- I. En el Perú, específicamente en la costa norte, se encuentran en estudio, ejecución u operación proyectos de aprovechamiento hidráulico, cuyo éxito y existencia depende de la conservación del volumen útil de sus embalses.
- II. Sin embargo, las respectivas cuencas se encuentran sometidas a una intensa erosión, lo que produce gran cantidad de sólidos, cuyo ingreso a los embalses da lugar a su progresiva, y a veces acelerada, sedimentación.
- III. El Fenómeno de El Niño (FEN), especialmente cuando se presenta como Meganiño, produce una alteración del clima, caracterizada entre otras manifestaciones por fuertes lluvias, que en las partes medias y bajas de las cuencas tienen carácter extraordinario, lo que da lugar a graves procesos de erosión. El FEN debe ser tomado en cuenta para el Manejo de Cuencas.

- IV. El impacto económico y social resultante de la pérdida de la capacidad de regulación de los embalses es muy alto. A ello debe añadirse las implicancias de todo orden resultantes de que un gran proyecto salga de servicio.**
- V. Las cuencas asociadas a los grandes proyectos hidráulicos, para los que sean muy dañinos los sedimentos, deben ser objeto de un Manejo integral y específico con participación plena de las autoridades de los proyectos de aprovechamiento hidráulico.**
- VI. En el caso particular de las cuencas binacionales el planeamiento del Manejo de la Cuenca debe ser integral, considerándola como una unidad. Debe aplicarse el principio de la Unidad Hidrológica y Sedimentológica de la Cuenca. El mismo principio debe aplicarse a las cuencas que resultan afectadas o “fragmentadas” por la regionalización puesta en marcha en el país.**
- VII. Debe prestarse especial atención acerca de lo que ocurrirá con los proyectos que se den en concesión por unas décadas, al cabo de las cuales gran parte del volumen útil del embalse podría estar perdido.**
- VIII. Si no se toman las medidas pertinentes continuará el proceso de erosión de cuencas, su empobrecimiento, la gran producción de sedimentos y los daños irreparables a los grandes proyectos hidráulicos ubicados aguas abajo.**

Referencias

1. CARRERA DE LA TORRE Luis. **La aventura internacional del Puyango-Tumbes.** Quito, 1976.
2. CARRERA DE LA TORRE Luis. **El Proyecto Binacional Puyango-Tumbes.** AFESE ILDIS, Quito, 1990

3. COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ-CONSEJO DEPARTAMENTAL DE LIMA. **Proyecto de ley “Autoridad Responsable de las cuencas hidrográficas de los ríos Chillón, Lurín y Rímac.”** Lima, 1994.
4. COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ. **Conclusiones y Recomendaciones del Simposio sobre Deslizamientos (Huaicos) e Inundaciones.** Lima, 1972.
5. ENERGOPROJEKT-HIDROINZENJERING. **Estudio Hidrológico, de sedimentación y determinación de los límites de inundación aguas abajo de la presa Poechos.** Belgrado, Diciembre, 2000.
6. KANE B. y JULIEN Pierre. **Specific Degradation of Watersheds.** International Journal of Sediment Research, Vol. 22, No. 2, 2007.
7. MORELLI PANDO Jorge. **Las hipotecas territoriales del Perú.** Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, 1995.
8. PROYECTO ESPECIAL CHAVIMOCHIC. **Términos de Referencia para el Estudio del Decantador Pampa Blanca.** Trujillo, Noviembre, 2003.
9. PROYECTO ESPECIAL JEQUETEPEQUE-ZAÑA. **Términos de Referencia del Estudio de Factibilidad para la protección del embalse Gallito Ciego de la colmatación por acarreos.** Yonán – Cajamarca, Enero, 2003.
10. REPÚBLICAS DEL PERÚ Y DEL ECUADOR. **Convenio para el aprovechamiento de las cuencas hidrográficas binacionales Puyango-Tumbes y Catamayo-Chira, por parte del Perú y del Ecuador.** 1971.
11. ROCHA FELICES Arturo. **Los embalses laterales y sus aspectos sedimentológicos. Aplicación al reservorio de Palo Redondo.** IV Congreso Internacional HIDRO 2011, Obras de Saneamiento, Hidráulica, Hidrología y Medio Ambiente. Lima, mayo 2011.
12. ROCHA FELICES Arturo. **Regiones Políticas y Comarcas Hidráulicas.** Revista Técnica del Capítulo de Ingeniería Civil del Colegio de Ingenieros del Perú-CDL, Año 9 N° 40, 2009.
13. ROCHA FELICES Arturo. **La problemática de la sedimentación de embalses en el aprovechamiento de los ríos peruanos, aplicada al embalse de Poechos.** Primer Congreso Internacional de Hidráulica, Hidrología, Saneamiento y Medio Ambiente, HIDRO 2006, Lima.
14. ROCHA FELICES Arturo. **Caracterización hidrometeorológica de los Meganiños en la costa norte peruana.** XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Iquitos, 2003.
15. ROCHA FELICES Arturo. **Consideraciones de diseño de estructuras hidráulicas sujetas al FEN.** XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Iquitos, 2003.
16. ROCHA FELICES Arturo. **Control del Material Sólido en el Sistema de Aprovechamiento del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC.** Informe. 1999.
17. ROCHA FELICES Arturo. **La Sedimentación de Poechos.** El Ingeniero Civil N° 77, 1992.
18. ROCHA FELICES Arturo. **El desarrollo de la Región Grau y el Convenio Peruano-Ecuatoriano de aprovechamiento hidrográfico conjunto.** El Ingeniero Civil N° 69, 1990
19. ROCHA FELICES Arturo. **Sedimentación Acelerada de Embalses.** El Ingeniero Civil N° 25, 1983.
20. ROCHA FELICES Arturo. **Revisión de los Aspectos Hidrológicos y Sedimentológicos del Estudio Definitivo del Proyecto Olmos.** Informe 1981.
21. SALZGITTER INDUSTRIEBAU GmbH. **Proyecto Jequetepeque-Zaña – Estudio de Factibilidad Técnica y Económica.** 1973■