



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE SEDIMENTOS EN EL CANAL DE PANAMÁ CON EL  
RÍO CHECUA.**

**LAURA VALENTINA DOBLADO CHACÓN CODIGO: 506495**

**MARÍA ALEJANDRA RODRÍGUEZ MORALES CODIGO: 506456**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**2020**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE SEDIMENTOS EN EL CANAL DE PANAMÁ CON EL  
RÍO CHECUA.**

**LAURA VALENTINA DOBLADO CHACÓN CODIGO 506495**

**MARÍA AEJANDRA RODRÍGUEZ MORALES CODIGO 506456**

**VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL PANAMÁ**

**JESÚS ERNESTO TORRES QUINTERO**

**INGENIERO CIVIL MAGISTER EN RECURSOS HIDRÁULICOS**

**DIRECTOR DE PROYECTO**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ D.C.**

**2020**



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

**Notas de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bogotá D.C., 01 de julio de 2020**

## TABLA DE CONTENIDO

FICHA TÉCNICA.....	14
ENCABEZADO.....	14
TÍTULO.....	14
ALTERNATIVA.....	14
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN Y EJE TEMATICO.....	14
LINEA DE INVESTIGACIÓN.....	15
EJE TEMATICO.....	15
INTRODUCCIÓN.....	16
1. GENERALIDADES.....	18
1.1. ANTECEDENTES.....	18
1.2. ESTADO DEL ARTE.....	20
1.3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA.....	22
1.4. OBJETIVOS.....	22
1.4.1. Objetivo General.....	22
1.4.2. Objetivos Específicos.....	22
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	23
2. MARCO DE REFERENCIA.....	24
2.1. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1.1. Información general de la cuenca del río Checua.....	24
2.1.2. Información general del canal de Panamá.....	38
2.1.3. Sedimentación y sus procesos de control.....	42

2.2. MARCO LEGAL.....	52
2.2.1. Normatividad aplicada en Panamá .....	52
2.2.2. Normatividad aplicada en Colombia .....	52
3. ALCANCES Y LIMITACIONES .....	53
3.1. ALCANCE.....	53
3.2. LIMITACIONES .....	53
4. METODOLOGÍA.....	54
5. ANALISIS DE INFORMACIÓN DE SEDIMENTOS Y SUS PROCESOS DE CONTROL EN CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ (CHCP) Y CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CHECUA (CHRC) .....	61
5.1. SEDIMENTOS Y SUS PROCESOS DE CONTROL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ.....	61
5.1.1. Procesos de dragado .....	68
5.1.2. Estructuras de contención.....	77
5.2. SEDIMENTOS Y SUS PROCESOS DE CONTROL EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RÍO CHECUA .....	81
5.2.1. Terrazas .....	86
5.2.2. Franjas escarificadas.....	86
5.2.3. Pocetas .....	87
5.2.4. Reservorios .....	88
5.2.5. Banquetas .....	88

5.2.6.	Fajinas.....	89
5.2.7.	Muros en piedra.....	90
5.2.8.	Pozos.....	91
5.2.9.	Trinchos.....	91
6.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE SEDIMENTOS Y SUS PROCESOS DE CONTROL ENTRE CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO CHECUA (CHRC) Y CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ (CHCP) .....	93
7.	TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA .....	103
7.1.	COMPLEMENTACIÓN DEL MANEJO INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO CHECUA POR MEDIO DE MEDIDAS DIRECTAS DE CONTROL DE SEDIMENTOS.....	104
7.2.	PROPUESTA DE SELECCIÓN DE DRAGA. ....	105
7.3.	LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS EN CAMPO .....	107
8.	CONCLUSIONES .....	109
9.	RECOMENDACIONES.....	112
10.	BIBLIOGRAFÍA .....	114
11.	ANEXOS.....	120

## Lista de ilustraciones.

Ilustración 1. Ubicación cuenca Checua.....	24
Ilustración 2. Estado de la cuenca río Checua .....	28
Ilustración 3. Erosión cuenca río Checua .....	28
Ilustración 4. Área protegida cuenca río Checua.....	30
Ilustración 5. Matriz de índice de vulnerabilidad al desabastecimiento Hídrico. ....	34
Ilustración 6. IVH para cuenca del Rio Checua.....	35
Ilustración 7. Índice de calidad de agua estación puente Rio Checua .....	36
Ilustración 8. Indicador TCCN Cuenca Rio Checua.....	37
Ilustración 9. Localización del canal de panamá .....	39
Ilustración 10. Estaciones hidrometereológicas cuenca hidrológica del canal de Panamá.....	40
Ilustración 11. Historia sobre sedimentos- Museo ubicado esclusas Miraflores- Canal Panamá .....	42
Ilustración 12. Historia sobre sedimentos-Museo ubicado esclusas Miraflores- Canal Panamá .....	42
Ilustración 13. Representación esquemática del transporte de sedimentos. ....	44
Ilustración 14. Esquema general de las zonas de depósito de un embalse .....	45
Ilustración 15. Esquema básico del depósito de sedimentos. ....	45
Ilustración 16. Clasificación de dragas. ....	48
Ilustración 17. Dragado por hidrosucción de corte.....	49
Ilustración 18. Esquema de dragado mecánico con cucharón .....	50
Ilustración 19. Esquema de dragado mecánico con almeja .....	50
Ilustración 20. Proceso de remoción hidráulica de sedimentos durante la extracción.....	51
Ilustración 21. Imagen de autor- Visita esclusas Miraflores.....	55



Ilustración 22. Imagen de autor- Paso de buque- Visita esclusas Miraflores. ....	55
Ilustración 23. Imagen de autor- Museo de centro de visitantes- Visita esclusas Miraflores..	55
Ilustración 24. Imagen de autor- Museo centro de visitantes. Visita esclusas Miraflores. ....	56
Ilustración 25. Imagen de autor- Visita esclusas Agua Clara. ....	56
Ilustración 26. Imagen de autor- Visita SPIA. ....	56
Ilustración 27. Imagen de autor- Visita administración del Canal de Panamá. ....	58
Ilustración 28. Visita técnica internacional Panamá año 2019- Administración del Canal de Panamá.....	61
Ilustración 29. Aportes de sedimento en la cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá para el período del 1998 al 2007 .....	63
Ilustración 30. Comparación de caudal de sedimentos suspendidos CHCP para el año 2010 contra período 1998-2007.....	65
Ilustración 31. Aporte de sedimentos del 7-9 de diciembre de 2010 con respecto al aporte anual CHCP .....	66
Ilustración 32. Comparación entre caudales promedio mensuales de 2010 y el promedio histórico (m <sup>3</sup> /s) estaciones hidrométricas ubicadas en CHCP .....	67
Ilustración 33. Aporte de sedimentos en CHCP año 2018 .....	67
Ilustración 34. Aportes promedios mensuales y anuales de los períodos de comparación de 2018 y el historico1934-2017 CHCP.....	68
Ilustración 35. Dato corte culebra- Museo ubicado en esclusas Miraflores- Canal Panamá ...	69
Ilustración 36. Dragas de succión hidráulica Culebra- Museo ubicado en esclusas Miraflores Canal Panamá .....	71
Ilustración 37. Dragas Alberto Alemán Zubieta .....	72
Ilustración 38. Dragas Alberto Alemán Zubieta- Museo ubicado en esclusas Miraflores- Canal de Panamá.....	73

Ilustración 39. Draga Il príncipe.....	74
Ilustración 40. Draga Il Príncipe- Museo ubicado en Esclusas Miraflores del Canal de Panamá.....	74
Ilustración 41. Draga Quibián I .....	75
Ilustración 42. Draga Quibian I- Museo ubicado en esclusas Miraflores del Canal de Panamá .....	76
Ilustración 43. Draga D’artagnan .....	77
Ilustración 44. Draga D’artagnan-Museo ubicado en esclusas Miraflores del Canal de Panamá .....	77
Ilustración 45. Información de reutilización de agua por sistema de esclusas- Museo ubicado en esclusas Miraflores- Canal de Panamá.....	79
Ilustración 46. Esclusas Miraflores Canal de Panamá .....	79
Ilustración 47. Esclusas Miraflores Canal de Panamá.....	80
Ilustración 48. Esclusas Agua Clara- Canal de Panamá .....	80
Ilustración 49. Valores medios mensuales de sedimentos PTE CHECUA.....	82
Ilustración 50. Valores medios mensuales de caudales Río Checua .....	84
Ilustración 51. Histograma mensual de caudales- Estación Pte Checua.....	84
Ilustración 52. Perfil de una ladera donde se ha construido terrazas .....	86
Ilustración 53. Franjas escarificadas en el suelo.....	87
Ilustración 54. Poceta revegetalizada.....	87
Ilustración 55. Reservorio en el municipio de Ubaté.....	88
Ilustración 56. Perfil esquemático de Banquetas.....	89
Ilustración 57. Banquetas.....	89
Ilustración 58. Fajinas colocadas en ladera .....	90
Ilustración 59. Muro en piedra pegada construido en la Cuenca del Río Checua .....	90

Ilustración 60. Pozo revegetalizado con Sauce.....	91
Ilustración 61. Relación caudal medio-concentración media de solidos totales en la Cuenca del Río Checua entre 1999-2003 .....	92
Ilustración 62. Draga anfibia multipropósito.....	106

## Lista de Tablas

Tabla 1. Información geográfica del río Checua .....	25
Tabla 2. Clasificación del transporte de sedimentos.....	43
Tabla 3. Comparación de las profundidades del dragado para diferentes métodos .....	50
Tabla 4. Actividades realizadas durante la visita técnica internacional.....	55
Tabla 5. Resumen de información recolectada durante la visita técnica internacional .....	58
Tabla 6. Generalidades hidrológicas CHCP. ....	61
Tabla 7. Comparación de aporte de sedimentos entre período 1998-2007 versus año 2010...64	
Tabla 8. Datos geomorfológicos de la cuenca Checua .....	81
Tabla 9. Aporte de sedimentos Cuenca Hidrográfica Río Checua período 1991-2002.....	82
Tabla 10. Tipos de obras de control de erosión- sedimentos Cuenca Río Checua .....	85
Tabla 11. Tabla resumen de comparación entre cuencas hidrográficas.....	93
Tabla 12. Análisis comparativo de procesos de control de sedimentos.....	97
Tabla 13. Opciones de transferencia, adquiridas durante la visita técnica .....	103

## **Lista de Anexos**

Anexo A. Folleto acerca de ampliación Canal de Panamá. ....	120
Anexo B. Registro fotográfico visita Técnica Internacional Panamá.....	121
Anexo C. Entrevista a Técnico operario del Canal de Panamá .....	122
Anexo D. Producción de sedimentos suspendidos Cuenca Hidrográfica Canal de Panamá año 2018 .....	123
Anexo E. Comparación de maquinaria para trabajos en aguas poco profundas. ....	124

## FICHA TÉCNICA

### ENCABEZADO

**Período:** 2020-II

Programa Académico: Ingeniería Civil

**Estudiantes:** Laura Valentina Doblado Chacón **Código:** 506495, María Alejandra Rodríguez Morales **Código** 506456.

**Director de Trabajo:** Ingeniero Jesús Ernesto Torres Quintero

Lugar de la visita: Panamá

**Duración y fechas:** La visita fue programada del 29 de noviembre al 6 de diciembre del 2019, tuvo una duración de ocho días en los cuales se realizaron diferentes visitas a lugares que brindaron nuevos conocimientos y experiencias.

### TÍTULO

Análisis comparativo de sedimentos en el Canal de Panamá con el Río Checua.

### ALTERNATIVA

**Visita técnica internacional:** Investigación y comparación de factores constructivos y técnicos adquiridos mediante la visita técnica realizada al país de Panamá, transfiriendo por medio de conocimiento alguna tecnología observada aportando a la solución de la problemática mencionada.

### LÍNEA DE INVESTIGACIÓN Y EJE TEMÁTICO

## **LINEA DE INVESTIGACIÓN**

Gestión y tecnologías para la sustentabilidad de las comunidades

## **EJE TEMATICO**

Análisis del control de sedimentos con sus procedimientos en el Canal de Panamá, para transferencia tecnológica al Río Checua ubicado en Colombia.

## INTRODUCCIÓN

Los sedimentos, se consideran como un conjunto de partículas sueltas que suelen depositarse en el fondo de una masa de agua, su origen puede ser del proceso de erosión del suelo o por descomposición de la naturaleza (plantas o animales). Estos conjuntos pueden permanecer en el sitio durante muchos años consolidándose finalmente como rocas, o por otro lado pueden ser desplazados por fuerzas naturales con suficiente potencia.(Garcia Flores Manuel, n.d.)

El exceso de estas partículas o no tener control sobre éstas, es una de las mayores causas de la contaminación en el agua, por esto los sedimentos son calificados como una problemática ambiental y la búsqueda de una solución para esto se ha convertido prácticamente en una prioridad.

El canal de Panamá es un recurso fundamental para la economía panameña, sin embargo, éste presenta problemas ambientales comunes por bosques aledaños y además obtuvo un aumento notorio de sedimentos por la erosión del suelo como consecuencia de la construcción del tercer juego de esclusas, reduciendo la capacidad de los lagos de acumular agua, causando afectaciones en el funcionamiento del canal y finalmente generando problemas de sequias y restricciones al paso de los buques.

El Río Checua, ubicado en Colombia cuenta con una cuenca que hace parte de la cuenca del Río Bogotá, siendo uno de los principales tributarios en el norte de la sabana de Bogotá; según varios informes y estudios su situación actual por abundancia de sedimentos es desfavorable, adicionalmente el Río Checua es uno de los que más aporta sedimentos a la planta de tratamiento de agua potable -Tibitoc por el gran arrastre de partículas de suelo y materia orgánica. Por ello la recuperación de la cuenca del Río es un propósito común para las poblaciones aledañas y todos aquellos que se benefician de su recurso hídrico.

A partir de la alerta que generó la situación del río, se han venido realizando estudios sobre la concentración de sedimentos en los cuerpos de agua. La toma de datos se ha venido realizando en



estaciones hidrológicas que reportan datos en tiempo real y todo es controlado por entidades legales (CAR). (González Castro Francisco, Cubillos Malagón Mario Alonso, 2016)

Panamá cuenta con procesos de dragado frecuentes y con un convenio internacional para el control y gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques, que han permitido la reducción de los sedimentos. Por esto se plantea que, por medio del análisis comparativo entre las partes, los procedimientos aplicados en el canal de Panamá pueden realizar aportes o soluciones a los problemas que se presentan en el Río Chocoma realizando transferencia de conocimientos o tecnologías obtenidas durante la visita técnica a realizar.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. ANTECEDENTES.

Al ser la concentración de sedimentos una problemática ambiental, desde tiempo atrás se han ido realizando proyectos o investigaciones de cómo se puede disminuir o mitigar esta problemática.

- “Cuenca hidrográfica del río Checua, exploración por el tiempo y el espacio”, Documento oficial brindado por la CAR, elaborado por el equipo técnico de Maljacu S.A.S, en este se presenta una breve descripción de la cuenca, la afectación que hay en ella, la ausencia de agua por causa de contaminación por sedimentos, los cambios que ha sufrido al transcurrir el tiempo y sugerencias para realizar un aporte para la recuperación de la cuenca.
- “Experiencias y resultados en control de erosión en el territorio CAR, Proyecto Checua-PROCAS”, Documento oficial de la CAR, publicado en el año y realizado en Bogotá Colombia el año 2006, bajo el diseño y diagramación de Leonardo H. Rodríguez M, del Depto. De diseño Ladiprint editorial Ltda., por medio de éste se presentan principales características, actividades y experiencias que se lograron durante el proyecto Checua/Procas de la CAR. Abarca temas y soluciones para el control de la erosión con base en resultados brindados por las estaciones hidrográficas. Se muestran sus resultados y además la importancia, ventajas y desventajas de cada fase del proyecto.
- “Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá” Documento oficial de la CAR, donde se describe el estudio que realizó el consorcio planeación ecológica LTDA-ecoforest LTDA bajo la supervisión de los funcionarios de administración de recursos naturales y áreas protegidas de la CAR. En éste se presenta el diagnóstico de la cuenca del río Bogotá, en donde se nombra que el río Checua genera afectaciones ambientales por su abundancia de

sedimentos. Durante la realización del proyecto se realizaron estudios mediante los cuales se tienen cifras de las afectaciones que causan las erosiones.

- “Proyecto Checua contra erosión”” Checua un proyecto de vidas” Archivos digitales, redactados por EL TIEMPO, que corresponden a períodos entre 1997-2001, en estos se demuestra la afectación que ha traído desde hace muchos años el río Checua, en los cuales se indica que en ese periodo de tiempo el 50% del territorio del río se encontraba con problemas de erosión.
- “Relación entre procesos de erosión y geoquímica de sedimentos y suelos de Checua, cuenca alta del río Bogotá”, escrito por Sergio Gaviria, Orlando Hernández y Orlando Vargas, en éste plasman los resultados de un estudio realizado a los tipos de sedimentos de la cuenca Checua identificando el comportamiento de éstos y su difícil remoción.
- “Resolución 957 del 02 de abril del año 2019” por la cual se aprueba el ajuste y actualización del plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá. (CAR, 2019).
- “ Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá” Archivo digital, con autoría de la CAR, publicado en el año 2019, mediante el cual se evidencia que la cuenca del Río Checua hace parte de las afectaciones presentadas en la cuenca hidrográfica del río Bogotá, ya que se encuentra ubicada en la cuenca alta del Río Bogotá y las estaciones instaladas dentro esta cuenca (Río Checua) realizan aportes de parámetros climatológicos e hidrológicos que son usados para la caracterización de la cuenca del Río Bogotá . Además, en este documento, se presenta el último registro de estado de la cuenca del Río Checua teniendo en cuenta aspectos como: Vulnerabilidad de desabastecimiento del recurso hídrico, calidad del agua, tasa de cambio de coberturas naturales, vegetación remanente, entre otros.

Además de los anteriores documentos que se basan en investigaciones sobre los sedimentos en suspensión del Río Checua, existen proyectos de años pasados comprendidos entre 1989 y 1995 en los

cuales se informa de las condiciones en las que se encontraba la cuenca y de esta manera se puede evidenciar que el avance de la recuperación de la cuenca no ha sido progresivo.

## **1.2. ESTADO DEL ARTE**

Los sedimentos son una problemática que se ha observado a lo largo del tiempo y se ha extendido por el mundo por ser los contaminantes más comunes en ríos, arroyos, lagos y embalses según lo considera la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency) de Estados Unidos. (Bhattacharyya & Singh, n.d.)

Los procesos de control de sedimentos varían conforme las condiciones existentes en cada una de las cuencas hidrográficas, alguna de ellas son la morfología de las cuencas, el uso del suelo en zonas aledañas, la precipitación, los procesos de erosión en la zona de estudio, los niveles de caudal, entre otras; las cuales son importantes para determinar el proceso que se debe llevar a cabo para controlar la cantidad de sedimentos presentes en las cuencas.

En general existen estrategias utilizadas globalmente para la gestión de sedimentos:

- Reducción del aporte de sedimentos aguas arriba del embalse (Reduction of Sediment Yield)
- Control del trayecto de sedimentos o enrutamiento de sedimentos (Sediment Routing)
- Remoción depósitos de sedimentos y lavado de sedimentos (Sediment removal)
- Medidas de no manipulación de sedimentos (Adaptative Strategies) (Bhattacharyya & Singh, n.d.)

En países como India las principales técnicas utilizadas para control de sedimentos son las represas de control, el enrutamiento de sedimentos e instalaciones de lavado en presas.

En china también utilizan las técnicas anteriormente mencionadas además de utilizar los dragados, la determinación de utilizar cada uno de estos métodos depende de que las condiciones de la zona sean favorables para cada método.

La principal técnica de manejo de sedimentos empleada en Japón es el BY-PASS, el cual desvía el flujo de transporte de sedimentos de alta concentración por medio de un paso alterno.(Bhattacharyya & Singh, n.d.)

Otra de las alternativas utilizadas para el control de sedimentos se basan en las medidas de conservación del suelo, por ejemplo, en Estados Unidos el Organismo para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos propone técnicas de conservación del suelo para controlar los fuertes procesos erosivos, tales como Ordenación ecológica de los cultivos, labranza conservacionista, cultivo en curvas de nivel, plantación en las zonas más expuestas, construcción de terrazas, entre otras. Estas medidas de conservación se basan en los análisis de la deforestación que sufren algunos lugares debido a la baja cobertura vegetal que presentan, por lo que nace la necesidad de gestionar acciones de reforestación. (FAO & Ongley, 1997b, 1997a)

En la actualidad se utilizan todos los métodos mencionados anteriormente para el control de sedimentos y se expanden a lo largo de los continentes como buenas prácticas de reducción de sedimentos en las Cuencas hidrográficas del mundo, sin embargo, coinciden en que la acumulación de sedimentos causa pérdidas de volumen en las cuencas, ríos y embalses, y deterioro general del recurso hídrico, es por esto que las medidas del manejo de los sedimentos se basan en fases de intervención y a su vez en fases de prevención por medio de la investigación como eje articulador del crecimiento sostenible para anticiparse a los efectos futuros y poder reducir el riesgo de sedimentación, tal como se expone en el documento de Mario Franca para el Congreso Nacional de Agua, Bogotá en asociación con la UNESCO y la IHE DELFT(Delf Institute for Water Education). (Franca, 2018)

Como se puede observar existen varias técnicas de control de sedimentos que han sido estudiadas y utilizadas en el territorio nacional e internacional, cada una de ellas beneficia en mayor o menor medida porque depende de las características morfológicas y climatológicas de cada zona.

### **1.3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA**

Debido a la problemática de sedimentos provenientes principalmente del proceso de erosión que se presenta en la cuenca del río Checua; fuente que abastece parte del caudal de la planta de tratamiento de agua potable Tibitoc, la cual distribuye agua potable a una parte de la capital del país, así como a los municipios aledaños, es importante hacer el estudio del control de sedimentos aplicado en el canal de Panamá y de esta manera comparar y responder a la pregunta: ¿El proceso utilizado para el control de sedimentos en el canal de Panamá, es aplicable en la cuenca del río Checua?

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Analizar el proceso de retiro o control de sedimentos que se lleva a cabo en el canal de Panamá como transferencia tecnológica a la cuenca del río Checua, mediante comparación de resultados de sedimentos entre las dos zonas de estudio.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

Identificar el proceso que se lleva a cabo para el control de sedimentos en el canal de Panamá y la cuenca hidrográfica del Río Checua.

Comparar el proceso que se lleva a cabo actualmente para el control de sedimentos en la cuenca del río Checua y la cuenca del canal de Panamá.

Determinar si el proceso utilizado para el control de sedimentos en la cuenca hidrográfica del canal de Panamá es aplicable en la cuenca hidrográfica del río Checua y realizar comparación de resultados de investigación de la producción de sedimentos en las zonas mencionadas

### **1.5. JUSTIFICACIÓN**

Basados en los procedimientos ante el control de sedimentos del canal de Panamá y los programas de saneamiento, se realizó un análisis de las buenas prácticas que han realizado para mantener el canal en buen funcionamiento y de manera eficaz, plasmándolo como una alternativa a la problemática actual del río Checua.

El río Checua a pesar de tener varios intentos y estudios para la recuperación de su cuenca, actualmente sigue afectado, por lo que permite evidenciar que las técnicas propuestas no han sido suficientes para acabar con ello, por tanto, transferir conocimiento obtenidos sobre otras tecnologías es una propuesta que aportaría al bienestar de la comunidad afectada, a la región y al país en general.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

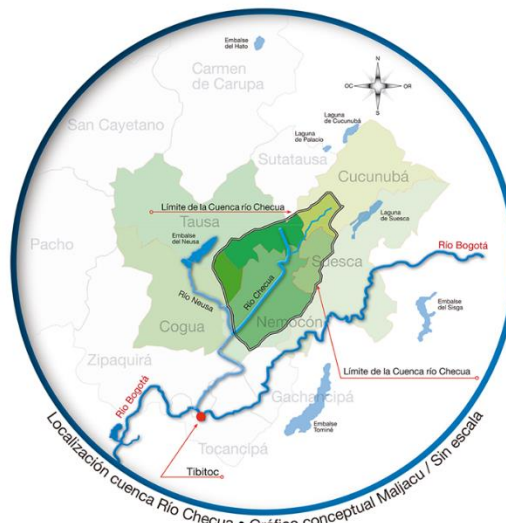
### 2.1. MARCO TEÓRICO

El desarrollo del presente proyecto se realizará con base en las diferentes fuentes de información y visitas realizadas en la cuenca hidrográfica del canal de Panamá, las cuales han sido previamente consultadas, para así poder clasificar, separar y procesar los datos obtenidos y generar una comparación con respecto a la cuenca del río Checua, más detallada de los procesos para el control de los sedimentos.

#### 2.1.1. Información general de la cuenca del río Checua.

La cuenca del río Checua está localizada en el Departamento de Cundinamarca en Colombia, hacia el costado norte de la sabana de Bogotá. Pertenece a cinco municipios: Cucunubá, Suesca, Tausa, Cogua y Nemocón. Su capacidad es de 17500 Hectáreas que son distribuidas en tres zonas (Jara Iva, Albarracín Cuenu Juanita. Rosas Nava Diana Carolina, 2016).

*Ilustración 1. Ubicación cuenca Checua*



(CAR, 2019)



Tabla 1. Información geográfica del río Checua

<b>Latitud</b>	4.9666667
<b>Longitud</b>	-73.95
<b>Ufi</b>	-580487
<b>Uni</b>	-819370
<b>Utm</b>	XL14
<b>Jog</b>	NB18-15

(“Río Checua (Cundinamarca) - Colombia :: Datos Geográficos,” n.d.)

- Con un 28% del terreno total se encuentra la cuenca baja que no tiene peligro de erosión, pero sí de inundación, lo que indica que hay un 72% donde se evidencian problemas de erosión del suelo.
- 9369 hectáreas, corresponden a una segunda zona que tiene daños no tan altos de erosión.
- El restante del terreno, es la zona con susceptibilidad de erosión conocida como la cuenca alta.

El Río Checua desemboca en el Río Neusa, que aguas abajo recibe el nombre de Río Barandilla hasta su confluencia con el Río Bogotá. La cuenca se extiende entre alturas de 2.550m y 3.400m.

La cuenca del Río Checua es un dependiente con respecto a la zona norte de la Sabana de Bogotá, por tanto, el objetivo de las autoridades de la sabana es la recuperación de esta fuente hídrica, que hace mucho se consideró como el río sagrado de los Muiscas. (González Castro Francisco, Cubillos Malagón Mario Alonso, 2016).

A través de diferentes estudios se han planteado diversos proyectos para la recuperación de la cuenca del río Chueca, a continuación, se nombrarán algunos de ellos, tomándolos como apoyo investigativo para el proyecto realizado. Cabe resaltar que la entidad que ha realizado todos estos proyectos ha sido la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca). La importancia de la cuenca, es relevante pues es el agua el factor primordial que necesita un ser para vivir. “En la naturaleza los

territorios están agrupados por cuencas, es decir, el agua que rueda de las partes altas de las montañas hacia un río central, está delimitando el territorio de la cuenca. Allí todos los seres se encuentran interrelacionados entre sí y con el agua, su estado y calidad expresa la condición de la salud del territorio (González Castro Francisco, Cubillos Malagón Mario Alonso, 2016)

- **El camino del agua**

El río Bogotá, es el eje central de la cuenca que se extiende por el páramo de Guacheneque en el norte del departamento de Cundinamarca hasta el sur en el puerto de Girardot a las orillas del río Magdalena.

- **Cuenca Alta del río Bogotá**

En el páramo de Guacheneque, algunas corrientes de agua se unen con reducidos depósitos pantanosos para abrirse camino y dar origen a un pequeño cauce que al ir bajando la montaña define su identidad como el Río Bogotá. Más abajo el río contribuye aguas para riego de cultivos.

Su camino prosigue hasta el municipio de Chocontá, disponiéndose a llegar a la sabana luego de atravesar un cañón de rocas para avanzar a Suesca. Momentos antes de que éste llegue a Suesca se encuentra con el embalse del Sisga, que se construyó al igual que el del Neusa y Tominé, para controlar las frecuentes inundaciones del río y a su vez tener reserva para los tiempos de sequía.

Una vez el río llega la sabana, la corriente asume control que le brinda la escasa pendiente, es en este punto donde las aguas avanzan con alguna contaminación que se denota en la ausencia de peces.

Después de su recorrido el río entrega alguna porción de su agua a una laguna de sedimentación para que ésta sea convertida en potable en la planta de tratamiento Tibitoc. Es en este punto donde las aguas que provienen de la cuenca del río Checua confluyen hacia el mismo destino.

Del acueducto que tiene como punto de salida la planta de tratamiento Tibitoc, se abastecen los municipios de Chía, Cajicá, Gachanchipá, Tocancipá y la zona norte de la ciudad de Bogotá, es decir,

el aporte que realice el río Checua a ésta planta es importante debido a la cantidad de población que se abastece por medio de esta potabilizadora.

Por la abundancia de contaminación que se presenta desde hace muchos años en el Río Checua, la CAR optó por generar campañas de conciencia a las comunidades afectadas, esto por medio de informes y estudios realizados para tal fin.

*“Nada hoy es tan importante como encontrar un equilibrio entre nuestra capacidad de modificar el mundo y nuestra necesidad de conservarlo, entre la tarea de construir una morada humana y el deber profundo de respetar un universo natural” (Ospina, 2009)*

- **El agua en el tiempo**

Además de los cambios naturales que generan daños en la calidad del agua, el paso del tiempo ha traído con él problemáticas que actualmente son la razón de la contaminación del Río.

Las arenas y arcillas, la materia orgánica, el carbón formado durante millones de años, o la vegetación nativa de Alisos, Encenillos, Gaques o el Bosque seco, le dan un rasgo característico a la cuenca del Checua, pero a su vez son las principales causas de la problemática del Río Checua.

La vegetación de la zona de la cuenca de Checua es de bajo porte, se caracteriza por ser una de las zonas más secas, como una de las primeras afectaciones en el recorrido de la historia, se puede nombrar el uso de leña de los bosques aledaños, realizando un impacto en el proceso de deforestación de la cuenca que se acentúa años después.

La sobreexplotación del suelo, la fertilización química y deforestación que se ha realizado al pasar los años, contribuyeron a que la cuenca del Río Checua extendiera sus zonas de erosión, terminando en una afectación generada por los sedimentos.

Fueron millones de años para que la naturaleza brindara una forma al territorio. y la sociedad en tan solo 60 años ha generado un impacto drástico en las fuentes de agua, desde la pérdida de cobertura vegetal hasta la extensión de zonas erosionadas, La desaparición de una valiosa parte del bosque Nativo y la disminución del ecosistema de bosque Seco que es considerado propio de la cuenca del río Checua. (González Castro Francisco, Cubillos Malagón Mario Alonso, 2016)

*Ilustración 2. Estado de la cuenca río Checua*



(Torres Caldas Elizabeth, 2005)

*Ilustración 3. Erosión cuenca río Checua*



(Torres Caldas Elizabeth, 2005)

Todo ha sido un resultado de una naturaleza cambiante y de un ser vivo inconsciente, por ello, la CAR considero importante tener en cuenta esa mirada en el tiempo para valorar la importancia del medio natural de la región para fortalecerlo y conservarlo.

“Este camino de la mano del agua y el paisaje regional debe abrir una vía a la conservación con la tierra, a entender que el centro no es el hombre (antropocentrismo) sino que por el contrario el centro lo ocupa la vida (Biocentrismo)” (“PROYECTO CHECUA CONTRA EROSIÓN - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com,” 1997)

- **Cuenca del río Checua ausencia de agua**

El río Checua reúne aguas que discurren de las zonas altas de los cerros ubicados en Cucunubá a 3100 m.s.n.m vertiendo sus aguas en la quebrada Barracas. Allí inicia un camino recibiendo el primer aporte a su cauce de las quebradas de Hoyo Hondo, Quebrada seca, Quebrada Alto pelado, Blanca y el Salitre. (González Castro Francisco, Cubillos Malagón Mario Alonso, 2016)

Desde Neusa, las veredas Ladera Grande, Rasgatá alto y bajo, Pajarito y Chorillo corren las quebradas Pajarito, Honda, El Altillo el Chorillo y el río Tiguanique para realizar su aporte hídrico al río Checua. Realizan aportes hídricos también, por medio de quebradas el municipio de Cogua y Nemocón.

A pesar de los diferentes aportes que recibe la cuenca, se caracteriza por ser una zona de lluvias escasas, anualmente caen en promedio 800mm, junto a esto se suma el alto nivel de deterioro como resultado de la deforestación y erosión de un área significativa que evita que el agua sea retenida y aprovechada de la manera adecuada

- **Cuenca hidrográfica del Río Checua**

La cuenca cuenta con áreas de protección designadas, que se mostrarán a continuación:

Ilustración 4. Área protegida cuenca río Checua



(Ministerio de Ambiente desarrollo sostenible, 2017)

La cuenca presenta zonas diferenciales por las características del suelo y vegetación

- **Planicie:**

En la parte baja el valle del río Checua, zona en donde se demanda la mayor cantidad de mano de obra local y por ello se señalan como los responsables de los mayores desequilibrios ambientales por la perforación de pozos profundos para los cultivos de flores.

El paisaje de esta zona se soporta en los suelos nacidos en los procesos de sedimentación del lago que existía en la Sabana de Bogotá, junto con los depósitos de cenizas volcánicas y la erosión de las laderas del entorno.

- **Cerros y laderas orientales de la cuenca**

Zonas de escasos cultivos, colina ancha que en su parte más alta facilita el proceso de infiltración de aguas lluvias en un proceso que se dificulta por la disminución de las coberturas vegetales.

Es una zona conocida como recarga hídrica, en esta existía una relación en donde se hacía posible la infiltración de las aguas hacia los acuíferos profundos del valle del río, pero en procesos de

deforestación en las zonas altas y extracción de agua en pozos profundos de partes bajas, la minería del carbón de la colina cumplió su función desconfiando los acuíferos a su paso y contaminando las aguas subterráneas.

- **Laderas desérticas erosionadas.**

Hacia el norte de la cuenca está la continuación de las Laderas de Mogua, encontrando un paisaje árido y seco que no finaliza, sino por el contrario aumenta en la parte alta de la vereda Checua, en este punto el panorama es más crítico que el anterior. Llegando finalmente por esta zona al desierto de la tatacoita, de vegetación más baja.

En este sitio específico de la cuenca Hidrográfica del río Checua y a inicios de la década de los años 80's se estableció el proyecto Checua, el cual se centró en los altos niveles de degradación de los suelos que presentaron consecuencias de manera notoria en la planta de tratamiento Tibitoc, su sedimentación superaba el 60% del volumen captado. Por medio de un fuerte programa de intervención, las zonas erosionadas, en especial las laderas fueron adecuándose por medio de medidas como terrazas, plantación de árboles, reservorios entre otras..("PROYECTO CHECUA CONTRA EROSIÓN - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com," 1997)

- **Laderas de patio bonito, Pajarito y Cerro Verde.**

La arcilla definió lo que se conoce hoy como el sector, en esta zona se presentan alteraciones al ambiente fuertes y extendidas, las explotaciones de las arcillas, generan emisiones de sustancias químicas y partículas al aire, la erosión y finalmente a causa de estas, la contaminación del agua y el deterioro del paisaje.

- **Laderas Occidentales, Noroccidentales y laderas Norte de la cuenca del Río Checua**

Son las partes medias y altas, cuenta con suelos agrícolas de mediana profundidad que tienen un destino predecible, erosión y esterilidad del suelo. En su subsuelo se encuentra un gran volumen de reservas de carbón. En esta parte nacen quebradas principales que alimentan el río.

- **Recuperar la cuenca un propósito común**

Hace algunos años, debido a los procesos de erosión originados en la cuenca del río Checua, y para evitar el deterioro de la zona, la CAR, en convenio con la GTZ (Agencia alemana de cooperación técnica al desarrollo) inició acciones de control de sedimento mediante la ejecución del proyecto Checua. (Bankengruppe, 2006)

Desde su origen el proyecto mencionado anteriormente, propuso aumentar la cobertura vegetal, la implementación de prácticas de conservación de agua y suelos, mediante la construcción de obras biomecánicas evitando el aumento de sedimentos en zonas de alteración de suelo.

Las acciones después de un tiempo considerado aportaron cierta mejoría a la situación socio económica, ya que han desarrollado sistemas sencillos y eficientes para trabajar los suelos y de esta manera mitigar los daños producidos por la erosión, sin embargo, esto no ha sido suficiente para bajar la cifra de concentración de sedimentos de manera significativa, se demostró que se puede recuperar la zona afectada o quizá restaurarla, pero con mucho tiempo y compromiso lo que para la comunidad no es tan bueno. (“CHECUA, UN PROYECTO DE VIDA - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com,” 2001)

Por otro lado, los diagnósticos siguen aun sin obtener una solución definitiva o por lo menos con resultados notorios, por lo tanto, como referencia para limitar la comparación de técnicas realizadas para el control de sedimentos entre cuencas, se tomaron como referencia además de lo nombrado anteriormente, los siguientes:



- Un diagnóstico de la cuenca hidrográfica del río Bogotá en el año 2006, elaborado para realizar mejoras en las zonas afectadas y por el cual se demuestra que el río Checua sigue generando daños directos al río Bogotá. Supervisado por la CAR y ejecutado por el consorcio que se encontraba al frente de la ejecución de las mejoras.

Las técnicas que se presentan en este documento para mitigar los daños causados a través del tiempo se derivan en 4 líneas de acción, 10 programas, 720 proyectos, en los cuales se comprende (CAR, 2006)

- ✓ Saneamiento básico
- ✓ Programa estratégico de abastecimiento de agua potable
- ✓ Programa estratégico de conservación y protección de cuerpos de agua
- ✓ Programa estratégico de desarrollo industrial y agroindustrial
- ✓ Programa estratégico de desarrollo Urbano
- ✓ Programa estratégico de riesgos y amenazas

Dos investigaciones de proyectos académicos en donde se realiza diagnóstico de los sedimentos del río Checua.

Un proyecto de estos basados de prácticas de laboratorio y simulaciones con equipos brindados por Ingeominas, determinó las concentraciones de los sedimentos en el Río Checua por medio de Técnicas nucleares, aportando a este proyecto cifras bases para conocer estado de la cuenca. (Torres Caldas Elizabeth, 2005)

El segundo, se basa en el análisis de muestras de sedimentos con origen de procesos de erosión de la región del Checua, localizada en la cuenca Alta de Bogotá. Permitiendo evaluar procesos de meteorización que reflejan cambios sucesivos en las condiciones ambientales. El estudio de los procesos de erosión, permitió caracterizar fuentes de aporte e identificación de los materiales susceptibles a transporte. (Gaviria, Hernández, & Vargas, n.d.)

Para conocer el estado actual de la cuenca hidrográfica del Río Checua, se tomó como referencia la última actualización del Plan de ordenación y manejo de la cuenca del Río Bogotá (POMCA río Bogotá 2019) en donde, por medio de indicadores presentados en el transcurso del documento se puede evidenciar que la Cuenca Hidrográfica del Río Checua aún presenta problemáticas y no cuenta con acciones que generen soluciones a corto plazo. Para la lectura de los índices, es necesario tener en cuenta que el código de la cuenca del río Checua es: 21201302

Algunos de los aspectos que permitieron concluir el estado actual de la cuenca se nombran a continuación:

- Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico (IVH): El índice es determinado a través de una matriz de relación de categorías/rangos: el índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso de agua (IUA).

*Ilustración 5. Matriz de índice de vulnerabilidad al desabastecimiento Hídrico.*

Vulnerabilidad del recurso hídrico relación IRH - IUA					
IUA Extremo = porcentaje (Oferta/demanda)		Índice de regulación			
Rango	Categoría	Alta	Moderado	Baja	Muy baja
<1	Muy bajo	Muy baja	Baja	Media	Media
1 - 10	Bajo	Baja	Baja	Media	Media
10 - 20	Moderado	Media	Media	Alta	Alta
20 - 50	Alto	Media	Alta	Alta	Muy alta
50 - 100	Muy alto	Media	Alta	Alta	Muy alta
> 100	Crítico	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta

(HUITACA, 2017)

Por medio de una comparación entre los resultados de estos índices, se permite establecer el nivel de vulnerabilidad hídrica en el que se encuentra la cuenca. De manera general, si IUA tiene valores altos y IRH valores bajos, se tendrá un alto nivel de vulnerabilidad. A continuación, se muestra el resultado indicado en el POMCA 2019.

Ilustración 6. IVH para cuenca del Rio Checua

No.	Código Microcuenca	Rango IUA	Rango IRH	IVH	Área (ha)
107	21201301	Alto	Bajo	Alto	12462,57
108	21201302	Alto	Moderado	Alto	17042,99
109	21201303	Alto	Bajo	Alto	6906,14
110	21201304	Alto	Bajo	Alto	6902,41
111	21201701	Muy Alto	Muy Bajo	Muy Alto	3261,16
112	21201702	Bajo	Muy Bajo	Medio	2460,14
113	21200801	Alto	Alto	Medio	16075,97
114	21200802	Bajo	Muy Bajo	Medio	3297,16
115	21200803	Bajo	Muy Bajo	Medio	4612,10
116	21200804	Bajo	Muy Bajo	Medio	5531,58
117	21200805	Medio	Muy Bajo	Alto	6307,32
118	21200601	Muy Alto	Alto	Medio	5766,72
119	21200602	Muy Alto	Muy Bajo	Muy Alto	1707,55
120	21200603	Muy Alto	Moderado	Alto	4777,83
121	21200604	Medio	Bajo	Alto	4997,69
122	21200605	Bajo	Muy Bajo	Medio	1796,22
123	21200606	Bajo	Muy Bajo	Medio	2618,57
124	21200607	Muy Bajo	Muy Bajo	Medio	4085,87
125	21200608	Muy Bajo	Muy Bajo	Medio	3208,31
126	21200609	Muy Bajo	Muy Bajo	Medio	5726,76
127	21200610	Alto	Bajo	Alto	1959,12
128	21200611	Alto	Bajo	Alto	1552,73
129	21200612	Muy Alto	Moderado	Alto	1799,42

(HUITACA, 2017)

Como se observa el índice indica que el nivel de vulnerabilidad es alto, esto es debido a las sequias generadas en el rio Checua por diferentes causas. Este indicador manifiesta la necesidad de salvaguardar el recurso que se tiene con el objetivo de evitar el desabastecimiento en futuras ocasiones.

- Calidad del agua: La estación puente caldas Rio Checua, se considera como un punto estratégico para medir el índice de calidad de agua afluente, dentro de la parte alta de la cuenca del Rio Bogotá. El resultado que se obtuvo de la calidad del agua, se muestra a continuación:

Ilustración 7. Índice de calidad de agua estación puente Rio Checua

Punto	Cuenca	Nombre	Época de lluvia. Campaña 2016-I	
1	Alta	Descarga Embalse Neusa 26A	0.8424	Aceptable
2	Alta	Puente Caldas Rio Checua 26B	0.5378	Regular
3	Alta	Rio Neusa en vía Zipaquirá-Nemocón 26C	0.7156	Aceptable
4	Alta	Río Teusacá - Pte La Cabaña 30A	0.6109	Regular
5	Media	Río Frío - Virginia37A	N.D.	Buena
6	Media	Río Arzobispo- Circunvalar43A	0.7345	Aceptable
7	Media	Río San Cristóbal antes de Bogota53A	N.D.	Buena
8	Media	Río Tunjuelo antes de Bogotá56A	0.6221	Regular

(HUITACA, 2017)

En este indicador se obtuvo el resultado para la calidad de agua en el Rio Checua: Regular, esto se debe a altas concentraciones entre materia orgánica (DBO), solidos suspendidos, o agentes químicos.

Indicador de tasa de cambio de coberturas naturales de la tierra (TCCN): El indicador mide los cambios de área de las coberturas naturales del suelo a partir de un análisis multitemporal en un período de análisis no menor de 10 años, en este caso 11 años y 13 años (bosque no bosque) mediante el cual se identifican las pérdidas de hábitat para los organismos vivos. La tasa de cambio estima el grado de conservación de la cobertura, la cantidad de hábitat natural intacto y los patrones de conversión.

La cuenca del Rio Checua, presenta una tasa de cambio baja (-3.08%) de las coberturas naturales con respecto al periodo analizado.

Ilustración 8. Indicador TCCN Cuenca Río Checua

DESCRIPCIÓN		
Quebrada 1205 Sisga - Tibitoc	Baja	-5,55
Río Los Andes	Baja	-4,94
Río Bogotá (Sector Tibitoc - Chia)	Baja	-4,62
Directos cuenca baja Río Teusacá	Baja	-4,38
Directos cuenca media Río Frio	Baja	-4,35
Quebrada Puná	Baja	-4,07
Quebrada Santa Marta	Baja	-3,98
Directos Cuenca media Río Balsillas	Baja	-3,86
Directos Río Tunjuelo (Sector Usme - Av. Boyacá)	Baja	-3,75
Río Bogotá (Sector Salto - Tena)	Baja	-3,65
Directos Cuenca alta Río Balsillas	Baja	-3,58
Directos cuenca baja Río Frio	Baja	-3,56
Acequia San Cristóbal	Baja	-3,54
Otros directos al Embalse de Muña	Baja	-3,50
Quebrada Campos	Baja	-3,48
Quebrada Pilas	Baja	-3,35
Río Chiguanos	Baja	-3,33
Directos Embalse de Neusa	Baja	-3,30
Quebrada Cachimbula	Baja	-3,25
Río Checua	Baja	-3,08
Quebrada La Modelia	Baja	-2,57
Río Juan Amarillo	Baja	-2,57
Directos Embalse de Sisga	Baja	-2,22
Río Bogotá (Sector Nacimiento - Villapinzón)	Baja	-2,10
Río Lindo	Baja	-2,06
Río Bogotá (sector Q. Susana - Tocancipá)	Baja	-2,05
Directos cuenca Alta Río Siecha	Baja	-2,00
Quebrada La Ruidosa	Baja	-1,97
Quebrada La Socha	Baja	-1,96

(HUITACA, 2017)

Durante el desarrollo del documento, se exponen otros tipos de indicadores que permiten concluir: “Con el análisis multitemporal se puede apreciar que en la microcuenca la zona boscosa tiende a ganar de manera moderada pequeños espacios naturales, lo que evidencia una efectividad de las acciones de restauración que se han hecho, sin embargo, en el mismo periodo de tiempo las zonas de preservación también han ganado espacio en una proporción mayor a las zonas boscosas en la cobertura vegetal, lo cual indica que en el territorio toca seguir implementando las acciones de restauración.” (HUITACA, 2017)

El proyecto con más relevancia con respecto a las intervenciones realizadas para el control de la erosión dentro de la cuenca del Río Checua, es “*proyecto Checua/Procas*”, ya que, es un proyecto que se ha realizado desde el año 1980 y ha permitido que por medio de prácticas agropecuarias y ambientales se logren mejoras dentro de la cuenca. Sin embargo, las medidas adoptadas dentro de este proyecto, son poco eficientes en cuestión de tiempo, pues a pesar de que el proyecto ha sido ejecutado durante más

de 30 años realizando intervenciones, mantenimientos y demás, la problemática de la cuenca persiste, como se evidencia en el POMCA río Bogotá 2019. Esto no significa que el proyecto Checua haya sido un intento fallido, sino que no ha cumplido con la recuperación total de la cuenca y al ser el agua un recurso fundamental para vivir, se considera que la protección a éste debe ser de carácter prioritario y con acciones de intervención directas.

Por lo anterior, la necesidad del uso de otras técnicas ante el control de sedimentos se hace fundamental, pues ya se ha demostrado que, por medio de procesos ambientales, no es posible vencer por completo las concentraciones de sedimentos presentadas. Además, la recuperación total de esta cuenca carece de otras opciones que brinde su mejoría en periodos de tiempo más cortos.

### **2.1.2. Información general del canal de Panamá**

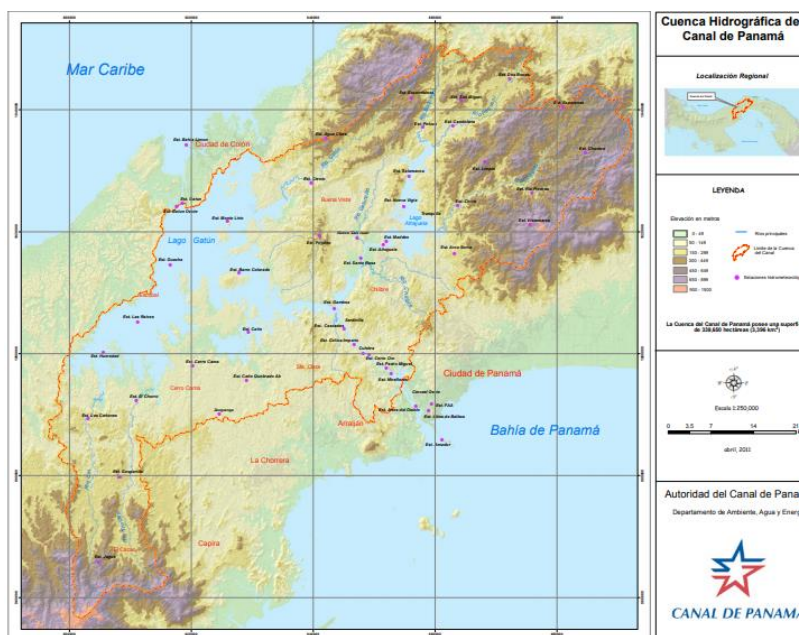
El canal de Panamá es considerado como el paso de navegación entre el mar Caribe y el Océano Pacífico, cruzando el istmo de Panamá en su parte más angosta, con una longitud de 82 km. Su inauguración fue el día 15 de agosto del 1914. (Donald Langmead & Donald Langmead, 2001)

La cuenca Hidrográfica del canal de Panamá cumple diferentes funciones como: Navegación de buques, actividades agropecuarias, producción industrial, pesca, turismo, investigación, generación de energía y como función más importante producción de abastecimiento de agua potable.

*“La ley 44 de 31 de agosto de 199, estableció los límites de la cuenca hidrográfica del canal de Panamá con un área de 552.762hc, identificadas en dos regiones denominadas como: La región oriental y la región occidental, la ley 44 fue derogada a través de la ley 20 de 21 de junio 2006. Al quedar sin efecto la ley 44, la cuenca hidrográfica del canal de Panamá quedó definida por la ley 19 de 11 de Junio de 1997 la cual establece un área de 343421.96 Hc y la define como área geográfica cuyas agua, superficiales y subterráneas, fluyen hacia el canal o son vertidas en éste, así como en sus embalses y lagos” (Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del canal de Panamá, n.d.)*

La cuenca del canal de Panamá es una fuente hídrica principal que provee 95% del agua potable para habitantes de zonas aledañas.

Ilustración 9. Localización del canal de Panamá



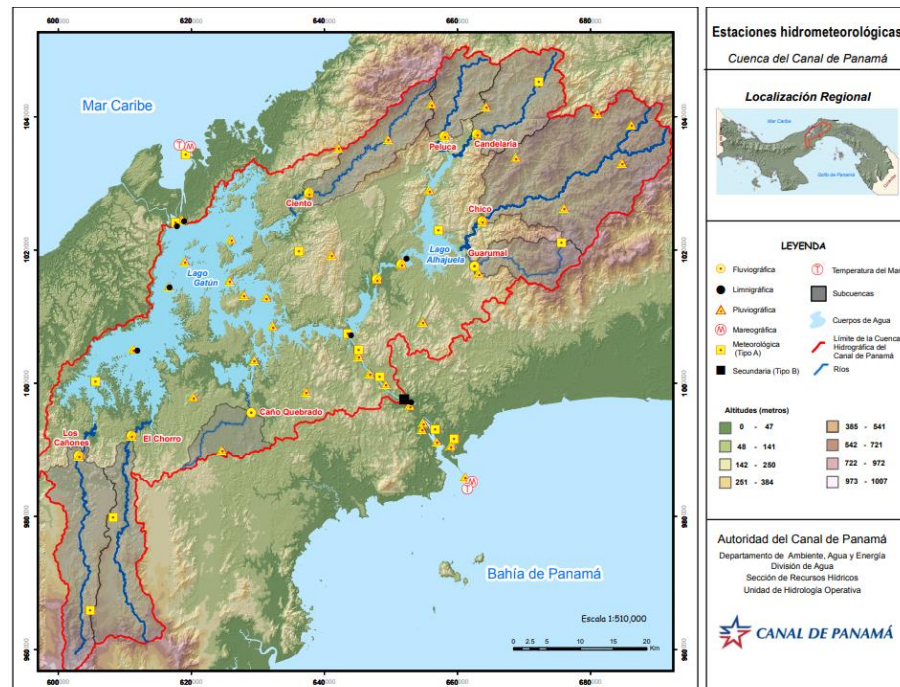
(A. del C. Panamá, n.d.)

La cuenca hidrográfica del canal de Panamá tiene un área de drenaje de 3338km<sup>2</sup> y se constituye de 47 subcuencas de los embalses Gatún y Alhajuela. Tiene una superficie total de 339,639 hectáreas. El área de la CHCP está distribuida entre 3 provincias, Panamá, Panamá Oeste y Colón, y comprende 7 distritos: Panamá, Arraiján, La Chorrera y Capiira (provincia de Panamá); Colón, Portobelo, y una muy pequeña porción de Chagres (provincia de Colón) (Comision interinstitucional de la cuenca Hidrografica del canal de Panamá, 2008)

La autoridad del Canal de Panamá opera 58 estaciones activas hidrometereológicas en toda su cuenca, su localización se divide en la región oriental y occidental, operadas por la administración del canal de panamá. La mayoría de estas son telemétricas registran datos en tiempo real: Elevaciones de lagos, ríos, nivel de mareas, precipitación pluvial, temperatura del mar, dirección del viento entre otra. Actualmente se hacen aforos de ríos una vez por mes durante las campañas de crecidas, se miden

solidos suspendidos en 7 estaciones de estas Y se realizan campañas de aforos durante la estación seca en subcuentas sin control hidrométrico.

Ilustración 10. Estaciones hidrometeorológicas cuenca hidrológica del canal de Panamá



(P. M. Panamá, 2011)

En el año 2015 la precipitación que es una fuente de aporte de agua del canal disminuyó, lo que genero más importancia en los programas ya existentes con respecto a la administración y conservación del recurso hídrico, dado que es uno de los beneficios que los habitantes de las ciudades aledañas tiene. Aproximadamente el 60% del área de la cuenca del canal de Panamá está cubierta por vegetación (bosques), lo que permite un gran aporte de reducción en concentración de sedimentos en los lagos. Los estudios realizados indican que la pérdida de zona boscosa hizo que se incrementara la sedimentación, permitiendo concluir que la vegetación con su respectivo mantenimiento es una buena opción para evitar la gran concentración de sedimentos. (Jaén Núñez & Shirota, n.d.)

Las alteraciones en el suelo de la cuenca hicieron que el proceso de sedimentación se diera de manera más rápida, disminuyendo la capacidad de los lagos de acumular agua dentro del canal produciendo una disminución de profundidad del Lago Gatún, evitando el paso de Buques, por esta y otras razones



la administración del canal de Panamá adopta medidas de procesos de dragado de manera continua dentro del canal.(Jaén Núñez & Shirota, n.d.)

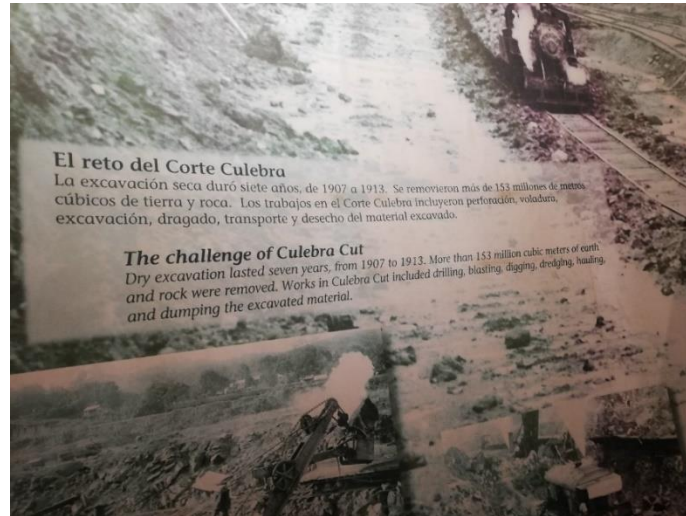
Las acciones de dragado dentro del Canal de Panamá son realizadas hace 130 años, desde el primer esfuerzo por parte de los franceses por unir los océanos. Luego, en 1907 durante la intervención y aporte de Estados Unidos se originó el departamento de Excavación y dragado, debido a la importancia de esta faena para el éxito del proyecto.

En el proceso de ampliación del canal, la técnica de dragado cumple un papel importante, al encargarse de llevar y de mantener los cauces de la vía dentro del calado que exigirá el paso de buques de mayores dimensiones. (ver anexo A)

La División de Dragado de la Administración del canal de Panamá tiene bajo su poder dragas de succión y de corte, dragas mecánicas, barcazas de perforación y voladuras conocidas algunas como las más poderosas del mundo.

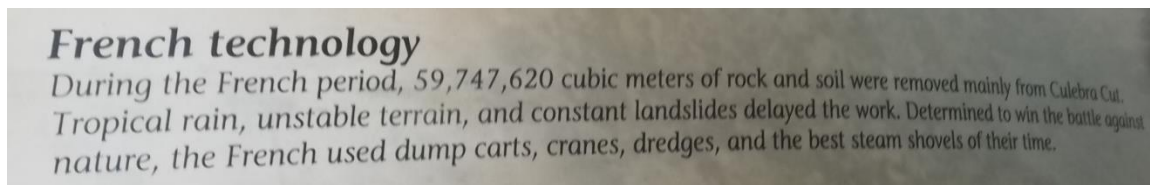
El área de procesos de dragado del canal de Panamá es la comunidad de Gamboa, la cual opera desde 1936 por decisión estratégica de mantener y disponer los equipos cerca de áreas como el corte de culebra y lago Gatún que son las más críticas en el tema de concentración de sedimentos debido a que son las áreas más angostas dentro de la extensión del canal, por tanto necesitan de permanente procesos de dragado .(Jaén Núñez & Shirota, n.d.)

Ilustración 11. Historia sobre sedimentos- Museo ubicado esclusas Miraflores- Canal Panamá



(Imagen de autor)

Ilustración 12. Historia sobre sedimentos- Museo ubicado esclusas Miraflores- Canal Panamá



(Imagen de autor)

### 2.1.3. Sedimentación y sus procesos de control

El nombre de sedimentos se otorga a las partículas que provienen de rocas o suelos, se transportan por medio de aguas que escurren o por fuerzas de viento. Dichos materiales suelen depositarse a lo largo de los recursos hídricos, principalmente en la planicie. (Garcia Flores Manuel, n.d.)

**Fuentes de sedimentos:** Aunque todas las fuentes de los sedimentos son diferentes se puede generalizar en dos grandes grupos: Artificiales y naturales.

Dentro de las fuentes naturales se encuentra: Erosión de la superficie del terreno, erosión del cauce principal y sus tributarios y movimientos naturales del terreno. Por su parte las fuentes artificiales: Destrucción de la vegetación, obras de construcción/ingeniería, explotación de minas y cantera y desechos urbanos e industriales, todos estos producidos por el hombre.

De igual forma en problemas de ingeniería el origen puede ser dividido en tres: Sedimentos originados en la superficie de la cuenca, sedimentos provenientes del fondo y orillas del río y sedimentos que proviene de los desechos industriales y urbanos.(John & Construction Industry Research and Information Association., 2000)

**Propiedades de los sedimentos:** La caracterización de estas partículas permite identificar el proceso de erosión, el transporte y el depósito de material erosionado de la superficie de la cuenca.

Si se habla por clase de material se puede clasificar en tres grandes grupos.

- Cohesivo
- No cohesivo o friccionante
- Rocoso

Aunque cabe aclarar que los sedimentos por fuente natural se constituyen por gran variedad de partículas y se diferencian entre sí por su tamaño y forma.

En conjuntos grandes de partículas es importante conocer la distribución granulométrica y su peso volumétrico para comprender la dinámica de los sedimentos.

**Transporte de sedimentos:** El transporte de partículas se puede dar por diferentes razones por el flujo de una corriente o por rodamiento o deslizamiento. Los sedimentos granulares se transportan rodando o deslizando apoyándose sobre el fondo.

Una forma de clasificar el transporte de sedimentos, es resumida en la tabla 2.1, así mismo se muestra en la Tabla No.2 los conceptos que en ella se mencionan. (Garcia Flores Manuel, n.d.)

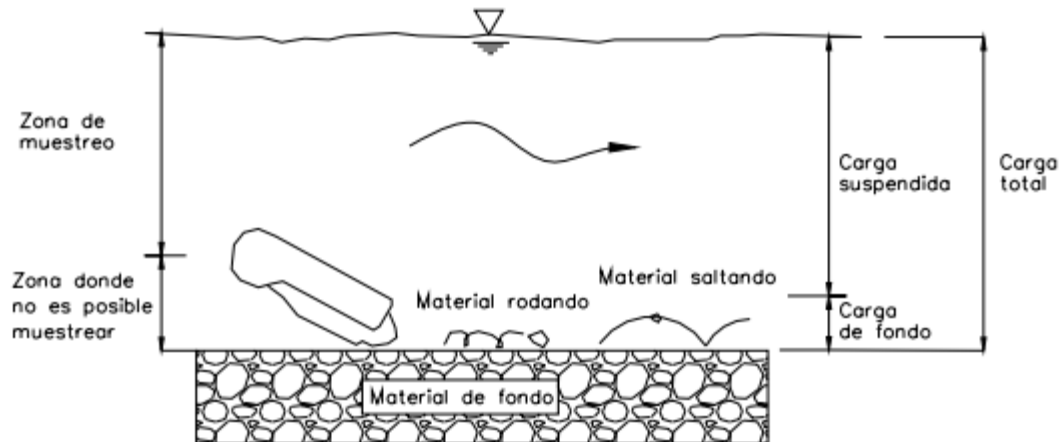
*Tabla 2. Clasificación del transporte de sedimentos*

<b>Tipo de transporte</b>	<b>Descripción</b>
Transporte en la capa de fondo	Material del fondo del cauce que rueda, salta o es arrastrado por la corriente dentro de la capa de fondo.
Transporte de fondo en suspensión	Material del fondo del cauce que es transportado en suspensión debido a la velocidad y turbulencia de la corriente.
Transporte total de fondo	Material de fondo transportado por la corriente tanto dentro de la capa de fondo como en suspensión.

Tipo de transporte	Descripción
Transporte de lavado	Material generalmente fino (limo y arcillas) transportado en suspensión, el cual es originado en la superficie de la cuenca al ser erosionada por las gotas y el escurrimiento de la lluvia.
Transporte en suspensión	Es constituido por el material de fondo, así como por material de lavado arrastrado de la cuenca por el escurrimiento, los cuales son transportados en suspensión debido a la turbulencia de la corriente y su reducción de peso.
Transporte total de fondo	El total del material que es transportado por el río, considera las diferentes fuentes del material y las diferentes formas de transporte.

(Sedimentos En Suspensión En Fuentes Hídricas Lóticas Sandra Milena Valencia Quintero Randhy Thompson Perdomo Richard Andrés Pardo González & C, 2005)

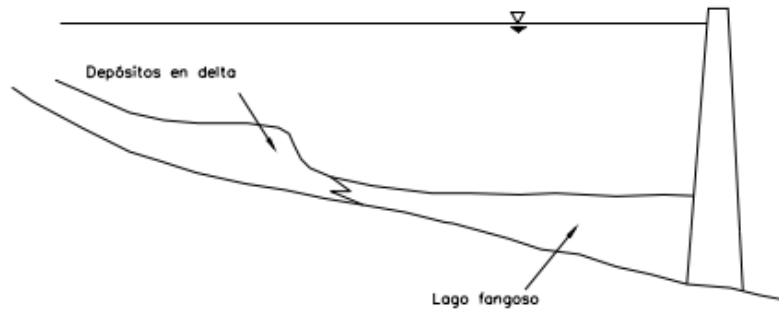
Ilustración 13. Representación esquemática del transporte de sedimentos.



(Estudios De Posgrado Facultad De Ingeniería Estudio Teórico Y Experimental De La Remoción Hidráulica De Sedimentos En Un Embalse & Requisito Para Obtener Título De, 2005)

**Zonas de depósito dentro del embalse:** Son el sitio final de los sólidos suspendidos, las zonas de depósito longitudinales se pueden clasificar en tres grupos: La zona delta siendo esta el fragmento donde los sedimentos se depositan de manera rápida, la parte media que se caracteriza por tener una pendiente alta y un decremento en el tamaño de las partículas y la zona baja que en su mayoría está formada por sedimento de grano fino. (García Florez & Maza Álvarez, 1998)

Ilustración 14. Esquema general de las zonas de depósito de un embalse

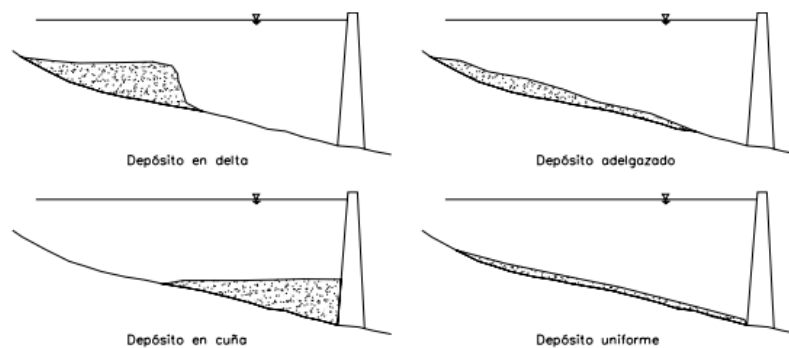


(Estudios De Posgrado Facultad De Ingeniería Estudio Teórico Y Experimental De La Remoción Hidráulica De Sedimentos En Un Embalse & Requisito Para Obtener Título De, 2005)

En las partes bajas de las secciones transversales existirán mayores concentraciones si algunos de los siguientes procesos se presentan:

- Depósito de sedimentos por la erosión aguas arriba
- Distribución uniforme de los sedimentos y su asentamiento en caída vertical.

Ilustración 15. Esquema básico del depósito de sedimentos.



(Estudios De Posgrado Facultad De Ingeniería Estudio Teórico Y Experimental De La Remoción Hidráulica De Sedimentos En Un Embalse & Requisito Para Obtener Título De, 2005)

- Depósito uniforme: Son los menos comunes, pero aun así ocurre, se presentan en embalses encañonados con fluctuaciones frecuentes en los niveles.
- Depósitos adelgazados: Común en embalses que tiene un nivel alto constante, esto se da cuando el depósito se adelgaza de manera progresiva y a su vez se acerca a la cortina.

- Depósito en cuña: En proporción a la cortina, estos son gruesos y se hacen delgados hacia agua arriba, se pueden encontrar en pequeños embalses en donde la captación de sedimentos es alta o en embalses grandes con nivel de operación mínimo.
- Depósito en delta: Son formados comúnmente por sedimentos gruesos ( $D > 0.062\text{mm}$ )

Como se sabe la erosión y el transporte de sedimentos son fenómenos naturales y constantes dentro de una cuenca hidrográfica, en cantidades moderadas o mínimas estos procesos se hacen necesarios para los ecosistemas. Por otro lado, el desequilibrio en el transporte de sedimentos genera deterioro importante en las masas de agua, la cantidad y calidad de estos genera alteración en las características físicas, químicas y biológicas de lagos, ríos o cualquier otro recurso hídrico, adicional la erosión generada por los suelos causa dificultades de mantenimiento en los sistemas de drenaje y redes de abastecimiento de agua potable. (“Control de erosión y sedimentos Erosed - Projar Restauración ambiental,” n.d.)

El principal problema que se presenta y afecta los embalses, es su pérdida de capacidad debido a la concentración de sedimentos en su interior. En el momento que se realizan obras de construcción, el suelo se comporta de manera frágil ante la erosión hidráulica, por ello el control ante esto y los sedimentos son de gran importancia antes y después de un proceso constructivo, además en todo el mundo, existen normas que requieren la protección y la 5.1

Al analizar que la problemática que se presenta en las dos cuencas estudiadas es causa de la alta concentración de sedimentos, se indaga sobre los posibles métodos o técnicas para la mitigación de esta problemática. A continuación, se relacionarán la más importantes y de esta manera evidenciar cuales se aplican o no en cada lugar de estudio.

De manera general existen dos modos para el control de estos sucesos: Previniendo la generación de sedimentos por medio de técnicas de control ante la erosión en el momento de la construcción o, por otro lado, retención y captación de partículas durante las fases de transporte o asentamientos de las mismas.

**Sistema para el control de sedimentación:** Es difícil eliminar por completo la concentración de sedimentos dentro de alguna fuente hídrica como lago, río u otros, pero disminuir y mantener una baja concentración es posible siempre y cuando se realice combinación de varias técnicas dependiendo de su problemática en particular.

- Métodos indirectos: Esto se basa en prevenir la erosión de los suelos de las cuencas por medio de prácticas de conservación de suelo y del recurso hídrico. De esta manera evitar la erosión del suelo también favorecerá a otras prácticas como forestales y agrícolas. Sin embargo, en cuencas grandes, que tengan escasas de naturaleza, los trabajos de conservación se convierten en una difícil tarea y más si se piensa realizar de manera rápida. Se pueden usar técnicas como hidrosiembras, instalaciones de mantas orgánicas o mallas volumétricas. Este tipo de soluciones puede ser mecánicas, manuales y biológicas.

Dentro de las prácticas de control de erosión se encuentran: Manejo de cobertura vegetal, amortiguación de la velocidad de escurrimiento en laderas, captación y/o conducción de escurrimiento en las laderas, modificación de la longitud de la pendiente, barreras vivas y modificación del gradiente de la pendiente.

- Soluciones directas: Pueden definirse como las soluciones efectivas ante la remoción de partículas por medio de técnicas avanzadas que necesitan de algún tipo de maquinaria o conocimiento profesional.
  1. **Dragado:** Es un conjunto de operaciones que se hacen necesarias para extraer, verter y transportar los materiales que se suspenden bajo el agua, puede ser en el medio marino, fluvial o lacustre. (*PRIMERA PARTE TÉCNICAS DE DRAGADO*, n.d.). Los dragados son de gran importancia en obras portuarias, tanto en mantenimiento y mejoramiento de sus calados, como en la instalación de nuevas obras o creación de nuevos puertos.

La mayoría de puertos requieren en algún momento procesos de dragado para mejorar las condiciones de su navegación en el interior. Además de ser el dragado una solución para la remoción de partículas, es una técnica vital en obras en las que se pretende generar grandes superficies o estructuras dentro del mar.

Ilustración 16. Clasificación de dragas.



(PRIMERA PARTE TÉCNICAS DE DRAGADO, n.d.)

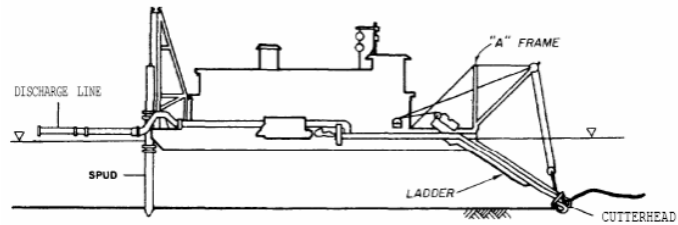
La elección acertada del tipo de draga a emplear depende de: factores marítimos, meteorológicos, tipo de sedimento, tráfico marítimo, distancia al punto de vertido, tipo de obra, volumen a tragar, grado de contaminación del material y sobre todo el factor económico.

1.1. Dragado hidráulico o hidrosucción: Por medio de este sistema, se remueven los sedimentos que han sido depositados utilizando para esto un dispositivo que extrae de manera directa desde el fondo del embalse el sedimento y lo ubica en un contenedor para su posterior depósito en sitio final. No requiere de energía adicional para el transporte de los sedimentos desde el punto en donde inicia la remoción al punto de descarga.

1.1.1. Dragado por hidrosucción simple: Este método cuenta con una tubería cercana al fondo del embalse que tiene una gran longitud comprendida desde los depósitos de sedimentos hasta el lugar de descarga.



Ilustración 17. Dragado por hidrosucción de corte.



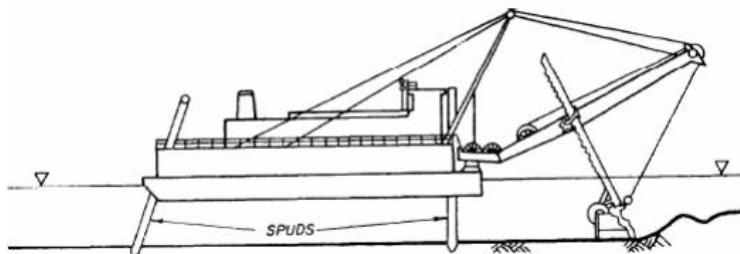
(Garcia Chamacho, 2005)

1.1.2. Dragado por hidrosucción con tubo de paso: Su proceso de transportar el sedimento es igual, pero adicional a esto usa estación permanente de tomas de entrada aguas arriba de las zonas de depósito del embalse para recoger el sedimento y ponerlo dentro de las tuberías de remoción.

Estos sistemas no son factibles si hay restricciones en el incremento de la turbiedad de las aguas receptoras.

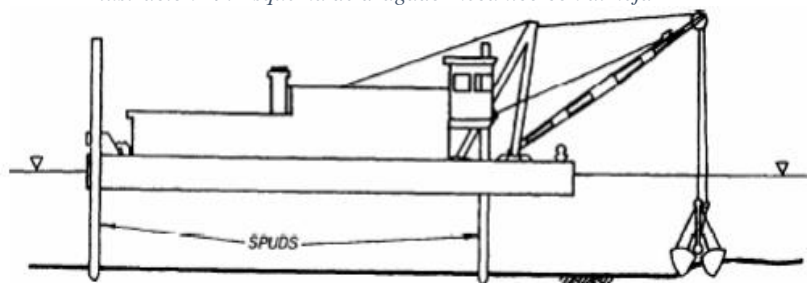
1.2. Dragado mecánico: Son equipos de excavación adaptados para cierta profundización de lechos marinos y fluviales. Su función es extraer material sobrante por medio de una pala mecánica. Dentro de este grupo se encuentran las dragas de cucharón o draga de almeja, su limitación es con respecto a la profundidad de dragado, su gran desventaja se centra en la turbiedad que causa mientras la operación se realiza. Además, en el momento de operar esta máquina, ocurre un posible retorno de sedimentos al estado de suspensión produciendo turbidez en el agua del embalse. Es importante recalcar que para que el funcionamiento del equipo sea efectivo, el entorno debe contener suficiente espacio para que la excavadora funcione de manera adecuada y así extraiga y elimine materiales.

Ilustración 18. Esquema de dragado mecánico con cucharón



(Garcia Chamacho, 2005)

Ilustración 19. Esquema de dragado mecánico con almeja



(Garcia Chamacho, 2005)

Tabla 3. Comparación de las profundidades del dragado para diferentes métodos

Método	Profundidad de dragado (m)
Dragado por succión	30
Dragado por succión de corte	30
Dragado de succión con bomba sumergible	85
Dragado por cucharón	20
Dragado por escalera	30
Dragado con sistema de gravas	150
Remoción por aire	80
Bombas sumergibles	150

(Roovers, 1989)

2. **Bombas Venturi, neumáticas y remoción por aire:** Este tipo de proceso requiere gran proporción de energía a profundidades elevadas, consumen además agua y la eficiencia de estas decae con el aumento de la cohesión de los depósitos de sedimento, no son aptas para sedimentos cohesivos.

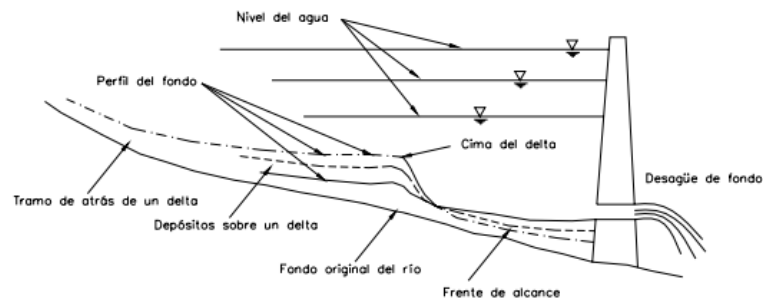
3. **Gancho de control remoto para limos consolidados:** Este método es el que menos desventajas tiene, es funcional a grandes profundidades, cuenta con características como:

Dragado limitado

- Método capaz de remover cualquier tipo de sedimento como grava, rocas u otros tamaños
- El consumo de agua es mínimo
- Contaminación baja en el agua ya que no mezcla sedimentación con el recurso ni causa turbiedad
- Es fácil de operar, se puede controlar por medio de un pc.
- Lo más probable es que no se interrumpa la operación del embalse.

4. **Remoción hidráulica de sedimentos.** Este proceso se basa en la remoción de partículas o material por medio de la fuerza erosiva del agua, socavando los depósitos de sedimentos generando transporte de estos a lo largo del embalse, cuando las descargas del fondo de la presa son abiertas,

*Ilustración 20. Proceso de remoción hidráulica de sedimentos durante la extracción*



(Garcia Chamacho, 2005)

En 1997, Fan y Morris realizaron una clasificación de los métodos de remoción hidráulica: Remoción de sedimentos durante las avenidas, extracción por chorros de agua, vaciado del embalse y remoción por corros de agua y desfogue de corrientes de densidad.

## **2.2. MARCO LEGAL**

### **2.2.1. Normatividad aplicada en Panamá**

- Ley 35 de 1996, mediante la cual se reglamenta el uso de las aguas. (*ASAMBLEA LEGISLATIVA LEY No. 35 ( De mayor de 1996) Por la cual se dictan disposiciones sobre la propiedad industrial.*, n.d.)
- Ley 19 del 11 de junio de 1997, “por la cual se organiza la autoridad del Canal de Panamá.”(*ASAMBLEA LEGISLATIVA LEY No. 19 (De 11 de junio de 1997) Por la que se Organiza la Autoridad del Canal de Panamá PREÁMBULO*, n.d.)
- A través de la Ley 41 de 1 de julio de 1998, “se establece que la administración del ambiente, es una obligación del Estado y por tanto es necesaria su protección, conservación y recuperación”.
- Ley 44 de 5 de agosto de 2002, “que establece el régimen administrativo especial para el manejo, protección y conservación de las cuencas hidrográficas de la República de Panamá”.

### **2.2.2. Normatividad aplicada en Colombia**

- Decreto 2811 de 1974, “Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”(De Ambiente, n.d.)
- Decreto 1640 de 2012 el cual reglamenta ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y comisiones conjuntas. (Manuel et al., n.d.)
- Decreto 509 de 2013, “por la cual se definen los lineamientos para la conformación de los consejos de Cuenca y su participación en las fases del Plan de Ordenación de la Cuenca y se dictan otras disposiciones”.
- Resolución 957 de 2019 del 2 de abril de 2019 “Por la cual se aprueba el ajuste y actualización del POMCA río Bogotá”.

### **3. ALCANCES Y LIMITACIONES**

#### **3.1. ALCANCE**

El alcance de la investigación es analizar y comparar las tecnologías utilizadas en el canal de Panamá para el control de sedimentos y evaluar la posibilidad de transferir dichas tecnologías a la problemática de sedimentos existente en la cuenca del Río Checua.

La investigación se realizó basada en la visita técnica internacional a Panamá comprendida entre el 04 de noviembre y el 11 de noviembre del 2019.

#### **3.2. LIMITACIONES**

Una de las limitaciones que se presenta para la ejecución del proyecto, es la dependencia que se tiene con las entidades que regulan las cuencas nombradas en el presente trabajo, al ser un proyecto que necesita de información de estaciones hidrográficas el conducto regular indica la solicitud a estas entidades teniendo márgenes de demora para la recolección de la información.

#### 4. METODOLOGÍA

La metodología para ejecución este proyecto de investigación se dividió en fases las cuales permitieron cumplir con los objetivos propuestos.

- **FASE 1: Investigación previa**

Para facilitar el proceso de investigación exhaustiva y aprovechar los recursos brindados durante la visita técnica Internacional, se realizó recopilación de información general e hidrológica, sobre las cuencas Hidrográficas del Río Checua y del Canal de Panamá. Una vez se obtienen resultados sobre la investigación previa, presentados por medio de un informe de propuesta, se procede a resaltar los temas que serán puntos principales de estudio durante la visita técnica Internacional.




- **FASE 2: Visita técnica internacional**

Obtenidos por medio de la Fase 1 los puntos principales a investigar, se realiza visita técnica internacional a la ciudad de Panamá en el segundo periódico académico del año 2019 desde el día 29 de Noviembre hasta el 06 de Diciembre del año en mención, en compañía del grupo de estudiantes y la Ingeniería a cargo, Camila Jaramillo (ver anexo B), esto con el objetivo de enriquecer la investigación por medio de visitas a lugares de interés y de esta manera obtener fuentes de información brindadas por la autoridad del Canal de Panamá y técnicos pertenecientes a la operación diaria dentro del mismo.

Las actividades que aportaron al desarrollo del proyecto y cumplimiento de objetivos, se mencionan a continuación:


Tabla 4. Actividades realizadas durante la visita técnica internacional

ACTIVIDADES ESPECIFICAS REALIZADAS EN VISITA TECNICA INTERNACIONAL			
LUGAR	FECHA/ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	EVIDENCIA
ESCLUSAS MIRAFLORES	El sábado 30 de noviembre del año 2019, se realiza visita a esclusas Miraflores mediante la cual se apreció el paso de Buques y se contempló el funcionamiento de las esclusas del Canal de Panamá. Se visita museo ubicado en el centro de visitantes Miraflores.	<p>Durante la visita realizada a las esclusas Miraflores se realizó una entrevista a técnico operario del Canal, el señor Edwin Miranda cuenta con más de 20 años de experiencia dentro del canal, escalando diferentes cargos dentro del mismo. La entrevista aportó información sobre los procesos de control de sedimentos que se manejan dentro de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá basándose en su gran recorrido como operario y en los procesos que ha podido evidenciar. Además, dio una breve explicación del funcionamiento de las esclusas del Canal, las cuales se caracterizan por reusó y ahorro del recurso hídrico. En la visita al museo ubicado en el centro de visitantes, se pudo identificar los tipos de dragas usados para las técnicas de dragado dentro del canal de Panamá, por medio de breves explicaciones y maquetas de cada una de ellas. Adicional, en el museo se adquirieron conocimientos sobre la historia del canal, las técnicas y procesos constructivos del mismo, su funcionamiento, la forestación y medio ambiente de la cuenca, biodiversidad, importancia del canal y otros aspectos que permitieron enriquecimiento intelectual y aportes al presente informe. Cabe resaltar que la información del museo no se encuentra en ninguna referencia bibliográfica.</p> <p>Este sitio se consideró como uno de los puntos claves para la realización de la presente investigación, pues</p>	 <p><i>Ilustración 21. Imagen de autor- Visita esclusas Miraflores.</i></p>  <p><i>Ilustración 22. Imagen de autor- Paso de buque- Visita esclusas Miraflores.</i></p>  <p><i>Ilustración 23. Imagen de autor- Museo de centro de visitantes- Visita esclusas Miraflores.</i></p>

ACTIVIDADES ESPECIFICAS REALIZADAS EN VISITA TECNICA INTERNACIONAL			
LUGAR	FECHA/ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	EVIDENCIA
		por aportes del Señor Edwin Miranda e información del museo se logró la identificación de técnicas de control de sedimentos empleadas en Panamá.	 <p><i>Ilustración 24. Imagen de autor- Museo centro de visitantes. Visita esclusas Miraflores.</i></p>
ESCLUSAS AGUA CLARA	El día Lunes 02 de Diciembre del año 2019, se realizó visita en las nuevas esclusas del lago Gatún llamadas Agua clara	En ésta visita se aprecia el pase de buques evidenciando el funcionamiento de las nuevas esclusas desde otro punto. Adicional se corrobora la explicación mencionada en la entrevista al técnico operario en esclusas de Miraflores, en esta visita también se tuvo acceso a la sala de proyecciones donde se adquirieron conocimientos acerca de los primeros esfuerzos de procesos constructivos dentro del canal y los planes a futuro, por medio de un video con duración de 15 minutos. Esta visita brindo aportes de datos hidrográficos e históricos dentro de la Cuenca del Canal de Panamá.	 <p><i>Ilustración 25. Imagen de autor- Visita esclusas Agua Clara.</i></p>
SOCIEDAD PANAMEÑA DE INGENIEROS Y ARQUITECTOS	El día martes 03 de Diciembre del año 2019, se realiza visita al edificio de SPIA	Durante esta visita se logra una entrevista con dos Ingenieros Civiles que han sido participes en los procesos de construcción del Canal de Panamá. El Ing. Domingo Perdomo que actualmente tiene más de 35 años de experiencia dentro del canal y tiene cargo de Coordinador dentro de la comisión del Canal, además de sugerir fuentes bibliográficas y lugares donde encontrarlas (como biblioteca de la administración del Canal, museo interoceánico y libros en segunda lengua), comparte	 <p><i>Ilustración 26. Imagen de autor- Visita SPIA.</i></p>



<b>ACTIVIDADES ESPECIFICAS REALIZADAS EN VISITA TECNICA INTERNACIONAL</b>			
<b>LUGAR</b>	<b>FECHA/ACTIVIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>EVIDENCIA</b>
		<p>relatos desde su gran experiencia con respecto a la ampliación del canal. Cuenta sobre la hidrología y las problemáticas de la cuenca, afirma, además, que el año que ha presentado más sequía durante los últimos 100 años ha sido el año 2019 y que según lo pronosticado el año 2020 será el año crítico, lo que hace que los procesos de dragado sean continuos para así salvaguardar el recurso hídrico, ya que la prioridad del canal es dar agua potable. También comenta sobre un proyecto que se encuentra en proceso de licitación que consiste en la construcción de un vertedero que nivele el lago Gatún y las esclusas Miraflores. Esta visita también es considerada como una de las más importantes para la realización de la investigación, pues allí fue donde se sugirieron las referencias de las cuales se extrajeron los datos presentados en el actual informe, además, la gran experiencia de compartir y oír anécdotas de Ingenieros que actuaron como primeros participantes en las esclusas y otras obras dentro del canal se considera como uno de los privilegios de esta visita técnica internacional.</p>	
BIBLIOTECA DE LA ADMINISTRACION DEL CANALA DE PANAMÁ	El día martes 03 de Diciembre, se realiza visita al edificio de la administración del canal de Panamá.	Teniendo en cuenta las sugerencias brindadas por el Ing. Domingo Perdomo, se realiza visita al edificio de la administración del canal de Panamá con el objetivo de encontrar cifras de sedimentos, información de los procesos mencionados por el técnico Edwin mirada y datos que aportarán al	

ACTIVIDADES ESPECIFICAS REALIZADAS EN VISITA TECNICA INTERNACIONAL			
LUGAR	FECHA/ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	EVIDENCIA
		desarrollo del proyecto de investigación. Considerada esta como una visita clave, se logra el objetivo inicial, pues de allí se obtienen anuarios hidrológicos y de sólidos en suspensión , libros en segunda lengua acerca de los procesos de dragado, libros sobre las técnicas para el control de sedimentos y otros que fueron de gran aporte para la realización del presente proyecto.	 <p><i>Ilustración 27. Imagen de autor- Visita administración del Canal de Panamá.</i></p>

(Tabla de autor)

• **FASE 3: Abstracción de información**

La información recolectada durante el presente proyecto de investigación, se debe a las experiencias y lugares concurridos durante la visita técnica internacional, cumpliendo con el objetivo de entrevistar a técnico operario con amplia experiencia dentro del Canal de Panamá (ver anexo C) y con las visitas a puntos estratégicos de la Autoridad del Canal de Panamá, entre ellos Esclusas Miraflores, Aguas Claras, Sociedad Panameña de Ingenieros y Arquitectos, museo interoceánico del canal de Panamá y Biblioteca oficial del Canal, descritas en la etapa II.

De las visitas realizadas se extrajo información así:

*Tabla 5. Resumen de información recolectada durante la visita técnica internacional*

LUGAR VISITADO	INFORMACIÓN EXTRAIDA
Esclusas Miraflores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrevista a técnico Edwin Miranda</li> <li>• Imágenes del centro de visitantes (Tipos de dragas, información sobre construcción del canal, biodiversidad, etc.)</li> </ul>
Esclusas Agua Clara	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apuntes hidrológicos y técnicos tomados durante la proyección del video informativo sobre la</li> </ul>

LUGAR VISITADO	INFORMACIÓN EXTRAIDA
	construcción de la ampliación del canal de Panamá.
Sociedad Panameña de Ingenieros y Arquitectos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entrevista grupal con Ing. Domingo Perdomo, Coordinador y miembro del Canal de Panamá. Obteniendo recomendaciones bibliográficas y testimonios con respecto a las técnicas para el control de sedimentos.</li> </ul>
Biblioteca oficial de la administración del canal de Panamá	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se extraen por medio de imágenes y abstracción digital libros, anuarios, investigaciones relacionadas en la bibliografía.</li> </ul>
Museo interoceánico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Folletos e imágenes sobre la historia y el funcionamiento del canal de Panamá.</li> </ul>

(Tabla de Autor)

La información recolectada se encuentra citada durante el desarrollo del documento.

Cumpliendo con el cronograma establecido por la Universidad Católica de Colombia y complementado por otras visitas realizadas por el equipo, consideradas de interés en la investigación; la recolección de información fue exitosa y aportó un gran porcentaje a la indagación presentada con respecto a las técnicas de control de sedimentos realizados dentro de la cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá.

- **FASE 4: Análisis de información**

Con la información recopilada antes y durante la visita se analizan los procesos utilizados para el control de sedimentos dentro del Canal de Panamá y posteriormente se realiza la comparación con los procesos que se realizan en Colombia, específicamente en la cuenca hidrográfica del río Checua.

Se realiza la siguiente metodología para hacer posible una comparación entre los dos sitios de estudio:

Análisis de datos de aportes sedimentos en cada cuenca: Al tener cuencas con diferentes tipos de uso, con características morfológicas diferentes además de un comportamiento hidráulico diferente, pero

con un requerimiento de control de sedimentos en común, además de un mismo objetivo (abastecer agua a la población) se realiza un estándar en las unidades de medida de los aportes, de manera que la comparación se pueda realizar por cada kilómetro cuadrado. Es decir, el valor del aporte de sólidos dentro de cada una de las cuencas se analiza en toneladas por cada km<sup>2</sup>. Este análisis permite verificar cual cuenca presenta valores mayores de sedimentos, para determinar que la transferencia tecnológica planteada sea una alternativa adecuada para reducir sedimentos.

Análisis de técnicas empleadas para el control de cada cuenca: Teniendo en cuenta que el objetivo de la presente investigación es la comparación de técnicas de control o retiro de sedimentos entre la cuenca del país nacional con la Cuenca del país extranjero, se realizó un cuadro resumen de cada una de las técnicas empleadas en los dos sitios de estudio, informando sobre las ventajas y desventajas de cada uno de estos, permitiendo que se realice propuesta de transferencia tecnológica y de conocimientos adquiridos y evidenciados durante lo observado en la visita técnica internacional.

- **FASE 5: Producto final**

Se evalúa la viabilidad de transferir y comparar la tecnología estudiada para el control de sedimentos en el canal de Panamá para ser aplicada en la cuenca del río Checua, basados en el análisis elaborado en la fase 4 con base en los estudios y datos hidrológicos indicados por las entidades reguladoras dentro de las cuencas de estudio.

Se realizan recomendaciones y propuesta de transferencia tecnológica específica en el área de estudio.

**5. ANALISIS DE INFORMACIÓN DE SEDIMENTOS Y SUS PROCESOS DE CONTROL EN CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ (CHCP) Y CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CHECUA (CHRC)**

**5.1. SEDIMENTOS Y SUS PROCESOS DE CONTROL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ.**

Datos principales de la cuenca hidrográfica del canal de Panamá.

*Tabla 6. Generalidades hidrológicas CHCP.*

<b>AREA CUENCA</b>	3434.2 km <sup>2</sup>
<b>AREA DRENAJE</b>	3338 km <sup>2</sup>
<b>PENDIENTE MEDIA</b>	47% Y 56%
<b>PROMEDIO DE PRECIPITACION COSTA ATLANTICA AÑO 2018</b>	3500mm
<b>PROMEDIO PRECIPITACION COSTA DEL PACIFICO AÑO 2018</b>	1500mm
<b>CAUDAL PROMEDIO ANUAL AÑO 2018</b>	188 M <sup>3</sup> /S
<b>VOLUMEN DE AGUA AÑO 2018</b>	5929 MMC
<b>TEMPERATURA PROMEDIO</b>	32°C

(De Agua, Ambiente, & De Panamá, 2018; Vargas, 1997)

Para la caracterización de la cuenca hidrográfica del canal de Panamá se usó información extraída de la biblioteca de la administración del canal de Panamá y Del museo ubicado en las esclusas Miraflores en visitas realizadas durante la visita técnica internacional.

*Ilustración 28. Visita técnica internacional Panamá año 2019- Administración del Canal de Panamá*



(Imagen de autor)

## **SEDIMENTOS**

La cuenca hidrográfica del canal de Panamá cuenta con constante monitoreo de los sólidos suspendidos en siete estaciones hidrométricas ubicadas en puntos estratégicos de los ríos pertenecientes a la CHCP, con el objetivo de evaluar de manera veraz los volúmenes de sedimentos transportados por los ríos. Esto se realiza además para calcular y pronosticar la capacidad disponible de almacenamiento de agua en los embalses, permitiendo que la administración del canal de Panamá ejecute medidas de control con respecto a la pérdida de suelo en aquellas áreas que aportan una gran concentración de sedimentos y así poder garantizar al máximo el aprovechamiento de los embalses por un período largo.

## **BATIMETRIAS**

La toma de muestras es realizada en sitios en los cuales se hacen aforos, el procesamiento de estas partículas se fundamenta en tres aspectos: La obtención de la muestra, la determinación de su concentración en el laboratorio y el cálculo de la tasa diaria, mensual y anual de los sedimentos. Las muestras significativas son obtenidas mediante muestreadores integradores de profundidad US DH-48, US DH-59 y US D-74, los cuales son diseñados para tomar la muestra a una velocidad pareja a la de la corriente.

Como se sabe, la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá por su constante operación, cuenta con altas concentraciones de sólidos suspendidos dentro del canal, sin embargo, al estar sometido a procesos para el control de estos, se logra mitigar el impacto y el aumento significativo de las partículas. Dentro de las grandes consecuencias que estos sólidos tienen se encuentran: Reducción de la capacidad de cada uno de los embalses para almacenar el recurso hídrico, obstrucción de buques, evitar tomar de agua y descargas de fondo, daños en equipos de las plantas potabilizadoras, incremento de turbiedad de agua afectando la producción de agua potable y por último sobre costos en la operación.

A continuación, se mostrarán los aportes de sedimentos registrados en la cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá desde el año 1998 hasta el año 2007.

Ilustración 29. Aportes de sedimento en la cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá para el período del 1998 al 2007

AÑO	ENE (t/mes)	FEB (t/mes)	MAR (t/mes)	ABR (t/mes)	MAY (t/mes)	JUN (t/mes)	JUL (t/mes)	AGO (t/mes)	SEP (t/mes)	OCT (t/mes)	NOV (t/mes)	DIC (t/mes)	ANUAL	
													(t/año)	t/año/km <sup>2</sup>
1998	37.5	195	8.70	10114	10678	899	24939	9864	5176	708	998	13277	76896	570
1999	364	390	180	7229	5418	10172	15808	5361	948	2029	3388	75444	126732	939
2000	1488	82.9	22.6	19.1	2129	4284	3224	4254	1712	5148	1836	59680	83880	621
2001	1495	19.6	14.4	13.8	558	1948	10260	2619	3560	897	21358	23647	66390	492
2002	287	20.3	3176	14290	583	227	11627	10307	548	1654	71555	1954	116229	861
2003	20.8	11.9	7.49	230	772	816	241	18693	1628	1193	11256	21254	56122	416
2004	63.3	16.7	13.8	2058	18561	2419	531	3605	2738	1687	93605	16224	141522	1048
2005	356	36.9	23.0	5370	347	357	1414	3285	2291	520	1450	456	15906	118
2006	28.4	18.6	422	7993	19329	5638	42023	5751	1063	5500	29197	1689	118652	879
2007	88.6	29.1	22.3	3366	2499	9975	12636	7392	727	465	60839	80610	178648	1323
Total	4229	821	3891	50683	60873	36733	122703	71133	20392	19801	295482	294237	980978	
Promedio	423	82.1	389	5068	6087	3673	12270	7113	2039	1980	29548	29424	<b>98098</b>	<b>727</b>
%	0.43	0.08	0.40	5.17	6.21	3.74	12.5	7.25	2.08	2.02	30.1	30.0	100	

(García, 2010)

El mayor aporte de sedimentos dentro de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá comprendido en este período, se dio en el año 2007 como consecuencia de la voladura efectuada para la ampliación en el Cerro Paraíso. Por otro lado el año con menos aporte de sedimentos es el 2005, año en el que se implementa un nuevo sistema de arqueo de buques basado en el TEU (unidad de medida de capacidad inexacta del transporte marítimo de buques)(A. del C. Panamá, 2005)

Según los anuarios de sedimentos suspendidos suministrados por la autoridad del Canal de Panamá, en el año 2010 la cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá presento las más altas concentraciones de sólidos con respecto a los anteriores años, superando los promedios anuales registrados en los últimos informes hidrológicos. Además de los eventos y causas generales, el gran incremento de los sólidos se dio por la ocurrencia del evento meteorológico extremo tormenta “La purísima” presentada entre los días 7 y 9 de Diciembre del año en mención, evidenciada como la tormenta con más cantidad de lluvia dentro de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá en más de cien años de registro.(P. M. Panamá, 2011)

Las exageradas lluvias que se vivieron entre el 7 y 9 de diciembre del 2010 causaron grandes efectos en los valores de las concentraciones de solidos suspendidos que generalmente son registrados en los ríos que descargan en el embalse Alhajuela. La mayor afectación se dio en las subcuencas Alhajuela y Gatún, la cobertura boscosa abarca más del 85% de sus áreas de drenaje, al ser sometidas a lluvias

promedio que se totalizaron entre 173mm y 42mm para una duración de 24 horas y entre 366mm y 775mm para una duración de tres días, se generaron condiciones de saturación en el suelo y finalmente se provocaron numerosos deslizamientos de tierras de diferentes magnitudes. Estudios en zonas tropicales, indican que cuando las lluvias alcanzan valores estimados en 162,184, y 197, para duraciones de 24, 48 y 72 horas en terrenos con pendientes mayores a 12 grados o 21%, su desenlace será el deslizamiento de tierra. (Stallard & Kinner, 2005).

Como producto de los deslizamientos de tierras que se generaron y de la erosión de los causes de las subcuencas ubicadas en el noreste de la cuenca, las concentraciones de sedimentos aumentaron entre cinco y diez veces más que un valor normal, alcanzando valores por encima de 10000 mg/l y 15000 mg/l. Como consecuencia de esto en la planta potabilizadora Federico Guardia Conte tuvo el mayor valor de turbiedad el día 10 de diciembre con un valor de 601 NTU. Las grandes concentraciones de sedimentos suspendidos y por consiguiente la turbiedad que trajo la tormenta, provocó la mayor crisis de suministro de agua potable en la ciudad de Panamá y zonas aledañas.

El comportamiento de los sedimentos suspendidos desde enero hasta noviembre del 2010 fue normal con respecto al histórico registrado del período 1998-2007. Sin embargo, para diciembre del mismo año y como consecuencia de la tormenta la Purísima, los caudales sólidos anuales se duplicaron en el sector oeste de la cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, mientras que al noreste su aumento fue hasta 10 veces mayor con respecto al período histórico, lo anterior se muestra en la siguiente tabla resumen.

*Tabla 7. Comparación de aporte de sedimentos entre período 1998-2007 versus año 2010*

<b>MES</b>	<b>ESTACIÓN</b>	<b>APORTE DE SEDIMENTOS (TON) PERÍODO 1998-2007</b>	<b>APORTE DE SEDIMENTOS (TON) AÑO 2010</b>	<b>COMPORTAMIENTO PERÍODO 1998-2007 VS AÑO 2010</b>
Noviembre	Los Cañones	34000	45000	Normal
Noviembre	Chico	185000	160000	Normal



MES	ESTACIÓN	APORTE DE SEDIMENTOS (TON) PERÍODO 1998-2007	APORTE DE SEDIMENTOS (TON) AÑO 2010	COMPORTAMIENTO PERÍODO 1998-2007 VS AÑO 2010
Diciembre	Los Cañones	39000	89000	Se duplica
Diciembre	Chico	234000	2.58 Millones	Aumenta 10 veces

(P. M. Panamá, 2011)

El total de aporte de sedimentos que dejó el evento natural al embalse Alhajuela fue de 3.37 millones de toneladas que represento el 65% del caudal anual de sedimentos total para ese año. Para la subcuenca del embalse Gatún el aporte de partículas suspendidas debido a la tormenta generada fue de 555 mil toneladas y representa aproximadamente el 31% del caudal anual de sedimentos total y 13% con respecto a lo que se aportó al embalse durante el período de comparación.

A continuación, se presentará un análisis de comparación entre el aporte total que tuvo la producción de sedimentos del año 2010 vs el período comprendido entre 1998 y 2007.

Ilustración 30. Comparación de caudal de sedimentos suspendidos CHCP para el año 2010 contra período 1998-2007

Subcuenca del lago Alhajuela					
Subcuencas del lago Alhajuela	Área km <sup>2</sup>	ql (l/s/km <sup>2</sup> )	qs (t/año/km <sup>2</sup> )	Qs (t/año)	% Aporte
Río Chagres en Chico (CHI)	407	108	6346	2582681	50
Río Pequení en Candelaria (CDL)	145	131	6637	962419	19
Río Boqueron en Peluca (PEL)	90.6	127	6715	608373	12
Madden Local (No medido)	333	85.3	3023	1006695	19
<b>Total 2010</b>				<b>5160168</b>	<b>100</b>
<b>Total 1998-2007 (t)</b>				<b>5310954</b>	
<b>Promedio 1998-2007 (t/año)</b>				<b>531095</b>	
<b>% de aporte 2010 respecto 1998-2007</b>				<b>97%</b>	
Subcuenca del lago Gatún					
Subcuencas del lago Gatún	Área km <sup>2</sup>	ql (l/s/km <sup>2</sup> )	qs (t/año/km <sup>2</sup> )	Qs (t/año)	% Aporte
Río Trinidad en El Chorro (CHR)	171	52.1	430	73573	4
Río Ciri Grande en Los Cañones (CAN)	192	63.7	462	88619	5
Río Gatún en Ciento (CNT)	119	96.3	3684	438362	25
Gatun Sur (No Medido)	733	58.6	599	439139	25
Gatun Norte (No Medido)	679	63.8	1072	727606	41
<b>Total 2010</b>				<b>1767299</b>	<b>100</b>
<b>Total 1998-2007 (t)</b>				<b>4419227</b>	
<b>Promedio 1998-2007 (t/año)</b>				<b>441923</b>	
<b>% de aporte 2010 respecto 1998-2007</b>				<b>40%</b>	
<b>Relación Aporte 2010 Alhajuela/Gatún</b>				<b>2.9</b>	

(P. M. Panamá, 2011)

En la ilustración No. 30 se evidencia la afectación que tuvo la tormenta la purísima con respecto al aporte total de sedimentos para el año 2010.

*Ilustración 31. Aporte de sedimentos del 7-9 de diciembre de 2010 con respecto al aporte anual CHCP*

**Cuadro 7. Aportes de sedimentos suspendidos del 7 al 9 de diciembre de 2010  
respecto al aporte anual en las subcuencas del embalse Alhajuela**

Subcuenca	Area de Drenaje km <sup>2</sup>	t	% de aporte al embalse	t/año	% del total anual
Río Boqueron en Peluca	90.6	388822	11	608373	64%
Río Pequení en Candelaria	145	511903	15	962419	53%
Río Chagres en Chico	407	1813186	54	2582681	70%
Area no medida	333	657782	20	1006695	65%
<b>Total</b>	<b>976</b>	<b>3371693</b>	<b>100</b>	<b>5160168</b>	<b>65%</b>

**Cuadro 8. Aportes de sedimentos suspendidos del 7 al 9 de diciembre de 2010  
respecto al aporte anual en las subcuencas del embalse Gatún**

Subcuenca	Area de Drenaje km <sup>2</sup>	t	% de aporte al embalse	t/año	% del total anual
Río Trinidad en El Chorro	171	12130	2	73573	16%
Río Ciri Grande en Los Cañones	192	17562	3	88619	20%
Río Gatún en Ciento	119	171620	31	438362	39%
Gatun Sur (No Medido)	733	110626	20	439139	25%
Gatun Norte (No Medido)	679	243900	44	727606	34%
<b>Total</b>	<b>1894</b>	<b>555838</b>	<b>100</b>	<b>1767299</b>	<b>31%</b>

(P. M. Panamá, 2011)

Cabe resaltar que a pesar de las grandes cantidades de producción de sedimentos suspendidos que superan las 3000 t/año/km<sup>2</sup>, las cuencas afectadas están ubicadas dentro de las áreas protegidas que constan de poca población y gran cobertura vegetal y boscosa.

Además de presentar aumento en la cantidad de sedimentos en suspensión, el caudal promedio anual en toda la cuenca en el año 2010 fue 41% encima del valor promedio histórico.

Ilustración 32. Comparación entre caudales promedio mensuales de 2010 y el promedio histórico (m<sup>3</sup>/s) estaciones hidrométricas ubicadas en CHCP

Comparación entre caudales promedio mensuales del 2010 y el promedio histórico (m <sup>3</sup> /s)																		
Estaciones hidrométricas ubicadas en la CHCP																		
MESES	Chagres Chico A = 407 km <sup>2</sup>			Pequeñí Candelaria A = 145 km <sup>2</sup>			Boquerón Peluca A = 90.6 km <sup>2</sup>			Gatún Ciento A = 119 km <sup>2</sup>			Trinidad El Chorro A = 171 km <sup>2</sup>			Ciri Grande Los Cañones A = 192 km <sup>2</sup>		
	1933-2009	2010	%	1933-2009	2010	%	1933-2009	2010	%	1943-2009	2010	%	1948-2009	2010	%	1947-2009	2010	%
Ene	26.1	13.7	-47	10.5	4.28	-59	5.49	2.40	-56	4.73	2.64	-44	4.27	2.14	-50	6.62	2.86	-57
Feb	15.5	10.6	-31	5.83	3.70	-37	2.79	2.25	-19	2.47	1.64	-34	2.20	1.37	-38	3.05	1.83	-40
Mar	11.6	15.6	34	4.33	6.31	46	1.97	3.60	82	1.65	1.51	-9	1.37	1.03	-25	1.98	1.57	-21
Abr	16.0	13.8	-14	7.19	6.68	-7	3.93	3.75	-5	2.05	1.18	-43	1.47	2.52	72	2.04	2.59	27
May	27.9	20.5	-26	14.8	12.1	-18	8.08	8.16	1	4.40	3.38	-23	4.03	4.24	5	6.05	5.84	-4
Jun	29.2	30.5	4	14.9	16.1	8	8.32	12.2	46	5.75	5.40	-6	6.28	4.85	-23	9.49	9.39	-1
Jul	32.1	23.4	-27	17.1	10.1	-41	9.78	6.27	-36	7.02	5.74	-18	6.50	9.55	47	9.92	11.4	15
Ago	35.8	45.2	26	17.5	15.5	-12	9.88	6.87	-30	7.84	11.3	45	8.23	10.6	28	12.4	14.9	20
Sep	33.4	26.8	-20	14.9	9.96	-33	7.67	4.80	-37	7.54	6.06	-20	10.1	11.7	15	14.4	14.3	-1
Oct	38.8	29.2	-25	15.3	11.6	-24	7.82	9.50	21	10.9	14.5	33	13.1	11.5	-12	17.0	12.9	-24
Nov	52.5	51.1	-3	21.7	22.8	5	13.3	17.6	32	15.7	28.7	83	13.6	21.1	55	18.1	25.1	39
Dic	49.2	245	398	22.0	108	391	13.1	60.6	363	11.2	55.4	396	8.93	25.6	187	12.3	43.9	258
Caudal Anual (m <sup>3</sup> /s)	30.7	43.8	43	13.8	18.9	37	7.68	11.5	50	6.77	11.5	69	6.68	8.84	32	9.44	12.2	29

(Autoridad del canal de Panamá, 2011)

Por último, se muestra un resumen de los valores de aportes de sedimentos suspendidos del año 2018 dentro de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá, suministrado por la administración del Canal de Panamá. Para información completa de los aportes de sedimentos en el año 2018 dentro de la cuenca en mención (Ver anexo D).

Ilustración 33. Aporte de sedimentos en CHCP año 2018

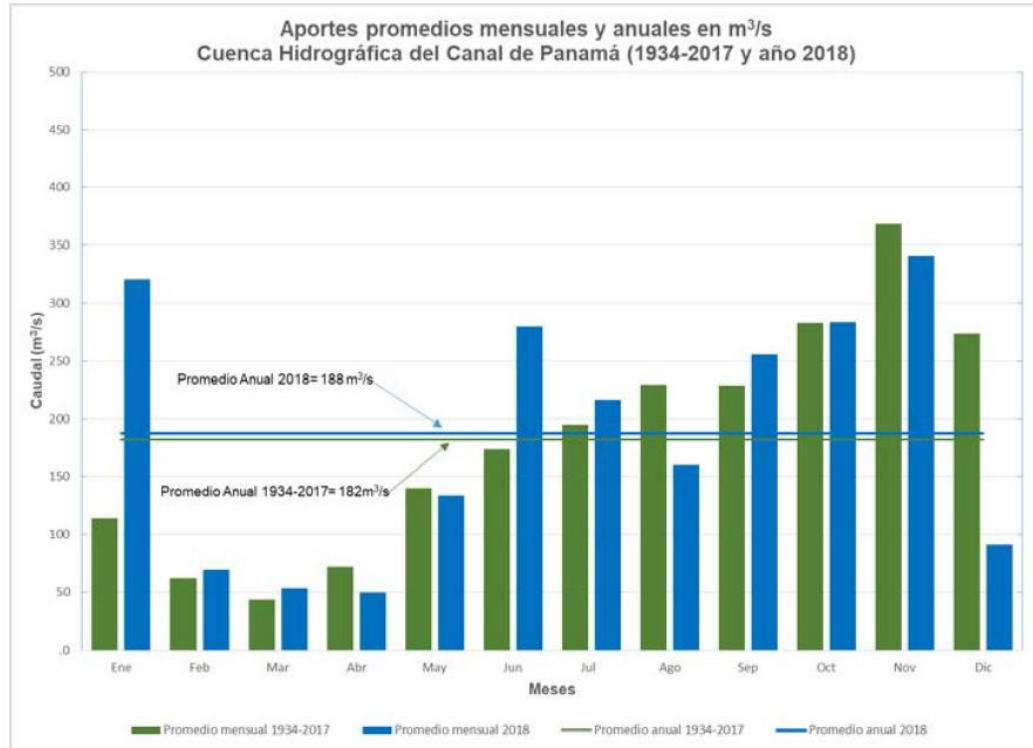
**Resumen del caudal líquido y de sedimentos suspendidos del año 2018**

Subcuenca-estación	Area km <sup>2</sup>	Caudal Específico l/s/km <sup>2</sup>	Producción de Sedimentos t/año/km <sup>2</sup>
Río Chagres-Chico	407	74.5	555
Río Pequeñí-Candelaria	145	102	656
Río Boqueron-Peluca	90.6	95.9	618
Río Gatún-Ciento	119	65.3	350
Río Trinidad-El Chorro	171	47.6	354
Río Ciri Grande-Los Cañones	192	57.2	286
Río Caño Quebrado-CQA	68.2	37.4	131
Madden Local	347	41.0	212
Gatún Norte	651	39.1	198
Gatún Sur	678	42.9	227

(De Agua, Ambiente, & De Panamá, 2018)

Teniendo en cuenta que la producción de sedimentos suspendidos esta en ton/año/km<sup>2</sup> y que la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá cuenta con diferentes estaciones para la medición de los mismos, se concluye que el promedio de solidos suspendidos para el año 2018 fue de 360 Ton/año/km<sup>2</sup>.

Ilustración 34. Aportes promedios mensuales y anuales de los períodos de comparación de 2018 y el histórico 1934-2017 CHCP



(De Agua et al., 2018)

Como se evidencia en el año 2018 el caudal promedio anual supero el promedio histórico por  $6\text{m}^3/\text{s}$  en comparación con el período de 1934 a 2017.

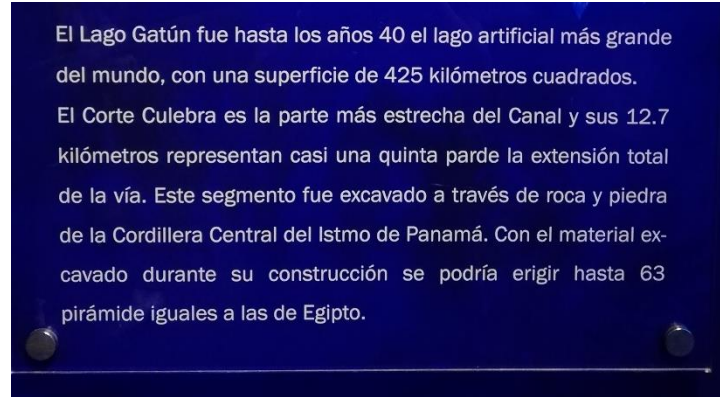
Debido a que los aportes de sedimentación dentro de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá son altos pero controlados y estos causan gran impacto al recurso hídrico, la administración del Canal toma como medidas de prevención y mantenimiento lo siguiente:

### 5.1.1. Procesos de dragado

Como se sabe el proceso de dragado es la acción de limpiar, profundizar, remover o extraer materiales naturales o de construcción como, rocas, arenas, bargo, vegetación subacuática y flotante, productos de la erosión, sedimentación y otros dentro de un río, canal o puerto. Para ello es obligatorio el uso de dragas que se conocen como poderosas maquinas flotante provistas de las herramientas necesarias para

realizar esta actividad de limpieza.(THE PANAMA CANAL COMMISSION DREDNING DIVISION, n.d.)

*Ilustración 35. Dato corte culebra- Museo ubicado en esclusas Miraflores- Canal Panamá*



(Imagen de autor)

La mayor concentración de sedimentos dentro del canal de Panamá es localizada en las zonas del corte culebra (por ser una de las zonas más angosta del canal) y a su vez esta es mayor en períodos de invierno que se contemplan entre los meses de Octubre – Mayo, esto hace que la administración del canal de Panamá tenga continuo mantenimiento y acciones de limpieza en estos espacios. En tiempos críticos el mantenimiento se realiza cada dos meses. Los materiales extraídos mediante los procesos de dragado tienen un sitio final en Gamboa área asignada por la administración del canal, la roca basáltica que se extrae se reusa en otras partes de la estructura del canal como esclusas o bordes de la estructura.

Los procesos de dragado dentro del área del canal, incluyendo lago Gatún, corte culebra y Miraflores es realizado por la entidad del canal de Panamá, por otro lado, los procesos de extracción de sedimentos a las entradas como extremo norte (Caribe) y extremo sur (Pacífico) son realizados por sub contratistas. En zonas menos expuestas a los sedimentos como el lago Gatún la administración del canal de Panamá realiza estas acciones con menor frecuencia. Todas estas medidas se realizan pensando en que el cliente y la calidad del agua no se vean afectados por los movimientos de tierras que se presentan. (Miranda, 2019)

El dragado es una actividad que se realiza durante todo el año en el canal. La sedimentación que resulta de las variaciones de la marea en las entradas del canal que están a nivel del mar y de los ríos que desembocan en las represas y lagos del canal. De igual manera que la erosión que se conduce a lo largo de las riveras de la vía, sumándole el movimiento de las hélices de las embarcaciones, hacen necesario vigilar constantemente el cauce para asegurar una apropiada profundidad de navegación para los barcos transitados. (THE PANAMA CANAL COMMISSION DREDNING DIVISION, n.d.)

El canal cuenta diferentes tipos de dragas: Dragas de succión, dragas de perforación, dragas mecánicas y voladuras, unas usadas para el proceso de ampliación del canal y otras que son usadas actualmente para el control de sedimentos.

Además, el canal de Panamá debido a sus grandes obras cuenta con una División de dragados, ésta es una organización establecida oficialmente por el gobernador por medio de la circular No. 660-75 del 16 de abril de 1935. Esta división es considerada como el motor principal del canal de Panamá, cuenta con grandes maquinarias y equipos avanzados, como dragas, grúas de diferentes especificaciones remolcadores, barcazas. Lanchas etc., todos operando para un mismo fin, el cuidado del recurso hídrico y el exitoso paso de buques por el canal sin alguna interrupción a causa de los sedimentos.

La división de dragado, cuenta con áreas que juegan un papel importante en el estado del canal como: Sección de control de la vegetación flotante, sección de control de la vegetación sumergida, sección de control de la contaminación por hidrocarburos.

#### **5.1.1.1. Dragas de succión**

Se mencionarán las dragas más importantes usadas en procesos de limpieza y construcción en el Canal de Panamá

### **Draga Hidráulica de succión.**

Con apariencia de un gran barco, la draga de succión hidráulica “Culebra” fue construida en estados unidos en el año 1907, su capacidad de personal es de 69 hombre, su rendimiento es de hasta ocho excavadoras a vapor. Este tipo de draga utiliza tuberías que van succionando los materiales que puedan pasar a través de ellas, transportándolas al lugar de desecho o descarga.

Este tipo de draga utiliza tuberías que van succionando los materiales que puedan pasar a través de ellas, transportándolas al lugar de desecho o descarga. El tamaño de una draga hidráulica de succión lo determina el diámetro interno de la tubería de transporte, es usada para excavar materiales como barros, arena, grava, tierra, rocas de pequeña dimensión provenientes de movimientos de tierras o adecuaciones dentro del canal. Esta draga es usada comúnmente en zonas con mayor concentración de sedimentos.

*Ilustración 36. Draga de succión hidráulica Culebra- Museo ubicado en esclusas Miraflores Canal Panamá*



(Imagen de autor)

### **5.1.1.2. Dragas de corte-perforación-excavación**

#### **Draga de cuchara- Alberto Alemán Zubieta.**

La draga Alberto Alemán Zubieta, nombrada así en honor a quien fue administrador del canal durante 16 años, es una draga retroexcavadora modificada y adecuada por el fabricante para trabajos de dragado, por una parte, tiene aditamentos para excavaciones grandes y cucharón para el dragado, esto



montado sobre una base especialmente diseñada en una barcaza que permiten un buen posicionamiento y estabilidad en el proceso de dragado y avanzar sobre el área a dragar. Esta draga opero en distintos proyectos a cargo de la división de Dragado del canal de panamá por ejemplo en grandes obras como: el corte de culebra y mejoras en la planta termina de Miraflores. Actualmente está draga se encuentra en la parte de las esclusas Miraflores, dispuesta a cumplir con sus procesos de dragado cuando estos sean necesarios.

*Ilustración 37. Dragas Alberto Alemán Zubieta*



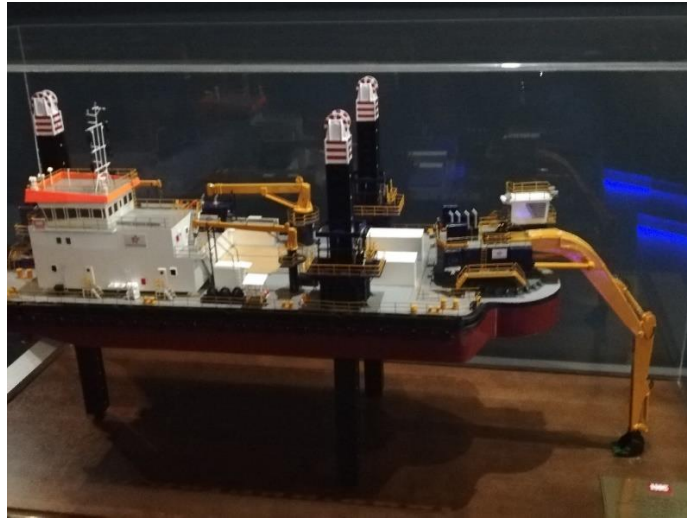
(Roy Adolfo Ahumada Marco Ameglio S Rafael E Bárcenas P Guillermo O Chapman, Nicolás Corcione Ricardo De la Espriella Toral Norberto Delgado D Eduardo A Quirós B Alfredo Ramírez, & José Sosa A Jorge L Quijano Administrador Manuel E Benítez Subadministrador, n.d.)

Esta draga cuenta con una gran pala mecánica que opera desde una barcaza. Extrae materiales que no pueden ser removidos por una draga hidráulica, pero también extrae materiales suaves que se encuentran mezclados con materiales de otra clase los cuales son difíciles de extraer. Esta draga requiere de poca tripulación en comparación a la draga hidráulica. Su capacidad de dragado es igual a la capacidad que ésta tiene de flotar y su mayor desventaja es que necesita tener un lugar de desecho



del material removido para su depósito (uso necesario de barcaza)(“Alberto Aleman Zubieta Backhoe Dredger - Ship Technology,” n.d.)

*Ilustración 38. Draga Alberto Alemán Zubieta- Museo ubicado en esclusas Miraflores- Canal de Panamá*



*(Imagen de Autor)*

En las zonas con mejores condiciones con respecto a la concentración de sedimentos como lo es el lago Gatún, la administración del canal de Panamá opta por realizar procesos de dragado con esta draga, los operarios realizan el proceso con la cuchara de la máquina, se deposita en la barcaza y finalmente se ubica en el sector autorizado del canal.

### **Draga retroexcavadora II Príncipe**

En el año 2005 se presentó la draga retroexcavadora auto pulsadora “Il príncipe” por su empresa propietaria belga Jan De Nul, fue contratada por la división de dragado de la autoridad del Canal de Panamá para realizar procesos de dragado dentro de la ampliación del canal. La draga ofrece gran capacidad de izado, profundidad de dragado de máximo 31 m.

Ilustración 39. Draga Il príncipe.



(IL PRINCIPE, n.d.)

Ilustración 40. Draga Il Príncipe- Museo ubicado en Esclusas Miraflores del Canal de Panamá



(Imagen de autor)

Realizando procesos de dragado a diario, se logró una remoción en el año 2008 de hasta 3.2 millones de metros cúbicos (MMC), dentro de las áreas más críticas que se dragaron dentro de este período con la draga Il Príncipe, se encuentra al corte culebra y el Lago Gatún. (“Dragado: Una labor de todos los días - ElCapitalFinanciero.com - Noticias Financieras de Panamá,” n.d.)

Bajo el contrato de dragado del acceso norte del Pacífico, se realizaron además de las actividades de dragado, el mantenimiento y la preparación de la orilla e inicio de operaciones con la draga

mencionada. La autoridad del Canal de Panamá siguió contratando sus servicios para cuestiones de dragado y en operaciones importantes dentro de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá. (“Importante avance en dragado de Corte Culebra y Gatún,” n.d.)

### **Draga de Corte y Succión Quibián I**

Por solicitud de la autoridad del Canal de Panamá en el año 2008, se diseñó y se inició con la fabricación de la draga de corte y succión bautizada como Quibián I, su construcción tardo aproximadamente tres años en el país de Holanda. La adquisición de esta draga se hizo para el apoyo de los trabajos de ampliación durante y después de está. Tiene una profundidad máxima de dragado de 25 m, además cuenta con un apropiado diseño que permite realizar los procesos de limpieza en las zonas más vulnerables de la cuenca hidrográfica del canal de Panamá

Su trabajo inicial fue brindar apoyo en los trabajos de la ampliación hasta el año 2014 y desde entonces ha sido utilizada en proyectos de mantenimiento (dragado constante dentro de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá) y modernización de la vía interoceánica. La draga al contar con equipos, sistemas y componentes modernos ha sido de gran utilidad y eficiente con su operación, desde su llegada al canal, la productividad dentro del mismo ha aumentado (“Bautizan nueva draga del Canal – Canal de Panamá,” n.d.) .

*Ilustración 41. Draga Quibián I*



(“Quibian 1 - Cutter suction dredgers - Equipment | Dredging Database,” n.d.)

*Ilustración 42. Draga Quibian I- Museo ubicado en esclusas Miraflores del Canal de Panamá*



(Imagen de Autor)

### **Draga de corte y succión D'artagnan**

La draga D'artagnan es una draga de corte y succión, que se mueve por sus propios medios, es esencial para remover o triturar aquellos sedimentos que debido al paso del tiempo se comportan como roca. Además, cuenta con un movimiento pendular que facilita su uso dentro del canal pues no ocasiona interrupción al paso de una embarcación.

Esta dentro una de las dragas más consideradas del mundo, su propietario es la empresa Dredging International, construida en Holanda en el año 2009. Esta draga a pesar no ser propiedad del Canal de Panamá es quien apoya los trabajos de dragados del Canal en la parte del pacifico, se reconoce por tener el cortador más potente del mundo. Su profundidad de dragado es de hasta 35 m. Durante la ampliación del canal la draga alcanzo a remover hasta los 9.1 millones de metros cúbicos de sedimentos, de esta manera es como marco su huella en la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá.



*Ilustración 43. Draga D'artagnan*



(“Custom built cutter suction dredger - Royal IHC,” n.d.)

*Ilustración 44. Draga D'artagnan-Museo ubicado en esclusas Miraflores del Canal de Panamá*



(Imagen de autor)

### **5.1.2. Estructuras de contención**

Para evitar el paso de sedimentación o remoción de tierras de las zonas aferentes del canal, la autoridad optó por incluir dentro del diseño de estas zonas muros de contención, pues en primer momento al no contar con este tipo de estructuras, el canal sufrió contaminación por grandes deslizamientos presentados en el año 1907 en la zona del corte de culebra.(Miranda, 2019)

La zona más crítica del canal (Corte de culebra), cuenta además con escalerillas de concreto y varas de 6ft de largo aproximadamente, para contener el desliz, que bajo un procedimiento estandarizado y controlado remueve el material contenido en esta zona por medio de dragas. Esto debe realizarse en tiempos que no afecten el paso de los Buques y para ello es necesario informar con anticipación el proceso que se realizara.

Durante la visita técnica internacional al canal de Panamá se realizaron visitas a las esclusas de Agua Clara y Miraflores, en esta última se logró entrevistar a personal operativo dentro del canal, brindando desde su experiencia información acerca de cuidado del recurso hídrico dentro del canal y el manejo de sedimentos, citado a continuación.

Para temas más manejables como desechos orgánicos o inorgánicos, el canal de Panamá compromete al dueño del buque y da total responsabilidad en caso de que éstos caigan al canal.

Adicional el canal Panamá tiene como enfoque fundamental el cuidado del recurso hídrico. Durante la operación de las esclusas el agua que va pasando del lago hacia el mar por medio de las tinajas, pasa de manera transversal causando que, por cada esclusaje, el ahorro del recurso sea de hasta dos veces del mismo. Es decir que por cada paso de Buque se realiza dos veces “ahorro” en cuanto a la contaminación del recurso hídrico (De agua dulce a salada). Teniendo en cuenta que al menos pasan 30 buques diarios y el gasto que cada uno de estos tiene con respecto al recurso es de 100'000.000 Litros, se considera que el ahorro que se tiene es adecuado para que el recurso perdure al menos hasta que llegue la temporada de lluvias. (Miranda, 2019).

Teniendo en cuenta que el canal recibe aporte de sedimentos no solo por las acciones de mantenimiento o pase de buques, sino también por cambios naturales dentro de la cuenca, la administración propone medidas no directas para mitigar su concentración y garantizar la protección del suelo, calidad de agua y manejo de sedimentos, algunas de estas medidas se exponen en la tabla No.12

Ilustración 45. Información de reutilización de agua por sistema de esclusas- Museo ubicado en esclusas  
Miraflores- Canal de Panamá



(Imagen autor)

Ilustración 46. Esclusas Miraflores Canal de Panamá



(Imagen de autor)

*Ilustración 47. Esclusas Miraflores Canal de Panamá.*



(Imagen de autor)

*Ilustración 48. Esclusas Agua Clara- Canal de Panamá*



(Imagen de autor)



## 5.2. SEDIMENTOS Y SUS PROCESOS DE CONTROL EN LA CUENCA

### HIDROGRAFICA DEL RÍO CHECUA

Datos de la geomorfología de la Cuenca hidrográfica del Río Checua.

*Tabla 8. Datos geomorfológicos de la cuenca Checua*

<b>AREA CUENCA</b>	178.04 Km <sup>2</sup>
<b>PENDIENTE MEDIA</b>	20%
<b>PROMEDIO DE PRECIPITACION</b>	631.10mm
<b>CAUDAL PROMEDIO ANUAL</b>	0.11 m <sup>3</sup> /s
<b>TEMPERATURA PROMEDIO</b>	12.4°c

(Ecológica, 2006; *Planeación Ecológica Ltda TIPO EST C A R-CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA SISTEMA DE INFORMACIÓN NACIONAL AMBIENTAL VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)*, n.d.)

### SEDIMENTOS.

La cuenca del Río Checua se ha caracterizado por sufrir procesos erosivos causados principalmente por el agua ocasionando grandes cantidades de sedimentos en la cuenca.

La mayor cantidad de sedimentos son transportados por el agua de escorrentía del río Checua hasta el Río Bogotá y luego a la planta de tratamiento de agua potable Tibitoc, donde se debe realizar el tratamiento adecuado para la potabilización del agua para Bogotá, el cual presenta costos elevados; los sedimentos de gran tamaño que no logran ser transportados por el flujo natural del agua se depositan en el fondo del cauce y reducen su capacidad para almacenar el recurso hídrico y en general incrementan el deterioro hidrológico de la cuenca.

La información de sedimentos de la cuenca del Río Checua está bajo el control de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, la cual realiza el monitoreo de sedimentos desde el año 1988 en la estación hidrométrica PUENTE CHECUA ubicada a 2600 m.s.n.m en la parte media de la cuenca.

A continuación, se relaciona la información de medios mensuales de sedimentos de la cuenca del Río Checua en el período comprendido entre el año 1991 y 2001.

Ilustración 49. Valores medios mensuales de sedimentos PTE CHECUA

ESTACION		210875		PTE CHECUA				
LATITUD	5 07	X=N=1058500	CATEGORIA	LG	DEPTO	CUNDI	FECHA	Sep-86
LONGITUD:	73 53	Y=N=1023600	ENTIDAD	22 CAR	MUNICIPIO	NEMOCON	INSTALACIÓN:	
ELEVACIÓN:	2600 m.s.n.m		REGIONAL	ZIPAQUIRA	CORRIENTE	RÍO CHECUA	FECHA SUSPENSIÓN	
N:								

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZ	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	MEDI
1991	0.026			0.145								0.5492	0.232
1992											0.1804	0.4695	0.117
1993								0.024			0.0616	0.0503	0.077
1994	0.034		0.187		0.119	0.011			0.058	0.3318			0.112
1995		0.007	0.187		0.036			0.17					0.992
1996		1.021	0.399	0.534			0.033		0.0843			0.4518	0.297
1997	2.928			0.0009	0.002					0.2388			0.179
1998					0.087								0.079
1999	0.257	0.064	0.107	0.14					0.8382	0.1772	0.205		1.672
2000	0.31		0.608	0.804				0.007	0.1197	0.1374	0.0033	0.0416	0.342
2001			0.001								0.0079		0.012
2002		0.001											0.309
MEDIO	0.711	0.2733	0.248	0.32478	0.061	0.011	0.033	0.067	0.2751	0.2213	0.0917	0.3125	0.368
MAXIMO	2.928	1.021	0.608	0.804	0.119	0.011	0.033	0.17	0.0843	0.1373	0.205	0.5491	1.672
MINIMO	0.026	0.001	0.001	0.0009	0.002	0.011	0.033	0.024	0.8381	0.3318	0.0079	0.0416	0.079

(Torres Caldas & Reina Gómez, 2005)

Tabla 9. Aporte de sedimentos Cuenca Hidrográfica Río Checua período 1991-2002

AÑO	Kton/día	Ton/año	Ton/año/km2
1991	0,232	84680	1845
1992	0,117	42705	930
1993	0,077	28105	612
1994	0,112	40880	891
1995	0,992	362080	7888
1996	0,297	108405	2362
1997	0,179	65335	1423
1998	0,079	28835	628
1999	1,672	610280	13296
2000	0,342	124830	2720
2001	0,012	4380	95
2002	0,309	112785	2457
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,368</b>	<b>134320</b>	<b>2926</b>

(Torres Caldas & Reina Gómez, 2005)

Según la información registrada en la estación, la producción de sedimentos en la cuenca del río Checua son en promedio de 368 Ton/día lo que equivale a 134320 Ton/año y a una cantidad de sedimentos de 2926 Ton/año/km2.

En el año 1991 se presentó una media de sedimentos de 232 Ton/día, mientras que en los años 1992 y 1993 la producción de sedimentos se redujo en un 50% y un 30% respectivamente.

La concentración de sedimentos en el año 1994 aumento nuevamente con un valor de 112Ton/día, es decir, se incrementaron 45% más que en el año anterior.

Sin embargo, dentro del período analizado los años más críticos fueron 1995 con una media de 992 Ton/día y el año 1999 con una producción de sedimentos de 1672 Ton/día.

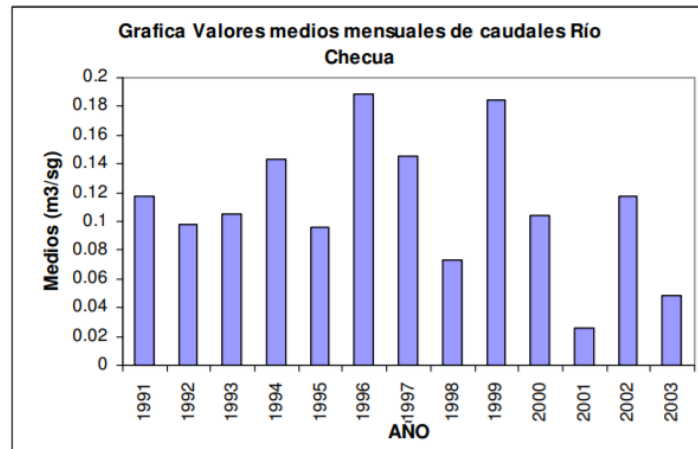
Después del registro más alto en 1995 la cantidad de sedimentos fue disminuyendo progresivamente hasta que en el año de 1999 se registra un nuevo pico.

El valor mínimo de sedimentos registrado en el período en estudio fue en el 2001 con un valor medio de 12 Ton/día.

Para los años del 2003 hasta la fecha no se encuentran registros de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) de la concentración de sedimentos en la cuenca del Río Checua, por lo cual resulta difícil establecer si la cuenca actualmente presenta mayores valores de sedimentos que los analizados anteriormente o si por el contrario se han disminuido teniendo en cuenta todas las intervenciones realizadas que se describirán posteriormente en este documento; sin embargo el POMCA río Bogotá 2019 indica que la calidad del agua del río Checua es regular y presenta un nivel de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico alto, lo cual permite concluir que la problemáticas de sedimentos y contaminación del agua continúan.

Junto con el análisis de sedimentos, es importante evidenciar el bajo caudal que predomina en la cuenca. La ilustración No. 50 muestra los caudales medios de la cuenca del Río Checua desde 1999 hasta 2003

Ilustración 50. Valores medios mensuales de caudales Río Checua

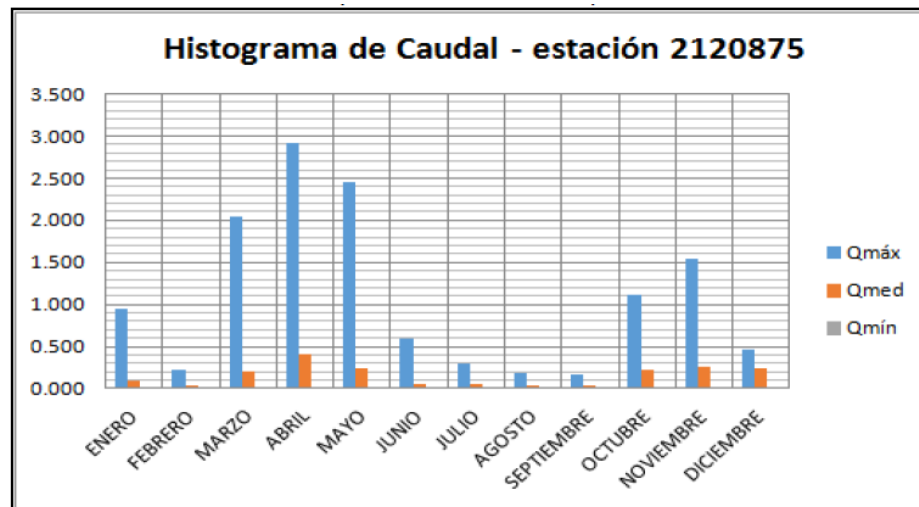


(Torres Caldas & Reina Gómez, 2005)

El caudal medio que la cuenca del río Checua presento entre 1991 y 2003 fue de 0.109m3/s.

El valor mínimo se presentó en el año de 2001 con un caudal medio de 0.026 m3/s, mientras que el mayor caudal se presentó en el año 1996 con un valor de 0.189 m3/s.

Ilustración 51. Histograma mensual de caudales- Estación Pte Checua



(HUITACA, 2017)

En la ilustración 51 se muestra el histograma de caudal con registros de la estación Pte Checua (2120875) donde se evidencia el régimen bimodal que predomina en la zona, los dos periodos con máximos pronunciados son abril-mayo y octubre-diciembre. (HUITACA, 2017)

Debido a que los aportes de sedimentación dentro de la cuenca hidrográfica del Río Checua son altos y estos causan gran impacto al recurso hídrico, los procesos de control de sedimentos en Colombia para la cuenca del Río Checua se realizan desde el año 1980 mediante el proyecto CHECUA-PROCAS de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) con el apoyo del Ministerio Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) a través de la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (Deutsche Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit GTZ) y del Banco Alemán para la Reconstrucción (Kreditanstalt fuer Wiederaufbau KfW).

A continuación, se relacionarán los procesos de prevención y mantenimiento del proyecto Checua-PROCAS para el control de sedimentos en la cuenca del río Checua:

*Tabla 10. Tipos de obras de control de erosión- sedimentos Cuenca Rio Checua*

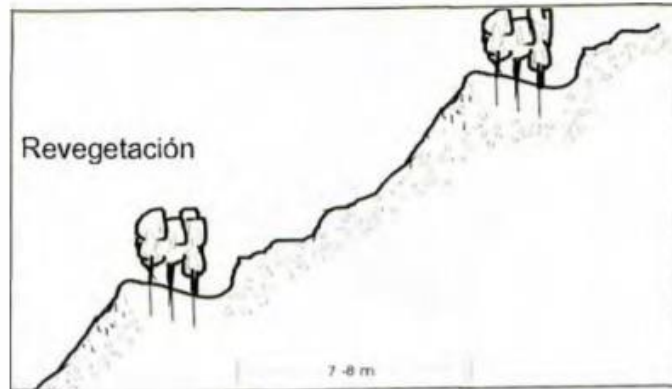
<b>Obras de control de erosión</b>		
<b>Tipo de obra</b>	<b>Nombre</b>	<b>Objetivo primordial</b>
Mecánicas	Terrazas	*Modificar la pendiente del terreno.
	Franjas escarificadoras	
	Pocetas	*Suavizar la pendiente del cauce. *Disminuir la velocidad al agua de escorrentía y propiciar el establecimiento de cobertura vegetal.
	Reservorios	
Manuales	Banquetas	*Disipar la energía del curso natural de agua.
	Fajinas	
	Muros en piedra pegada	*Retener sedimentos.
	Pozos	
	Trinchos	
Biológicas	Revegetalización	*Establecer cobertura vegetal para retención de sedimentos y propiciar la regeneración natural de especies.
	*Siembra de árboles en bolsa	
	*Siembra de árboles a raíz desnuda	*Amarrar el suelo. *Mejorar las condiciones del suelo.
	*Siembra directa de semillas	
	*Empradización o revegetalización por punto m <sup>2</sup>	

(Bankengruppe, 2006)

### 5.2.1. Terrazas

Las terrazas escarificadas son explanaciones de terreno con pendientes entre el 45% y el 100%, las cuales se ubican en lugares con ausencia de vegetación y se construyen desde la parte alta del terreno y a lo largo del mismo a través de la pendiente del sitio. La distancia entre las terrazas debe estar entre un rango de 7 a 12 metros según el grado de la pendiente existente. La construcción de las terrazas tiene por objeto modificar la pendiente del terreno, acumular sedimentos provenientes de la erosión y activar la infiltración de agua de escorrentía al terreno mediante la plantación de árboles en estas terrazas. (Bankengruppe, 2006)

*Ilustración 52. Perfil de una ladera donde se ha construido terrazas*



(Bankengruppe, 2006)

### 5.2.2. Franjas escarificadas

Las franjas escarificadas son cortes verticales que se hacen en el suelo mediante un cincel accionado con un Buldózer el cual tiene la capacidad de cortar a una profundidad mínima de 0.70m. Este tipo de obra se hace con el fin de interrumpir zonas planas y uniformes del suelo y favorecer la infiltración de agua de escorrentía al terreno.

*Ilustración 53. Franjas escarificadas en el suelo*



(Bankengruppe, 2006)

### **5.2.3. Pocetas**

Son obras que se realizan con el objeto de obtener acumulación de agua y sedimentos en volúmenes aproximados de 500m<sup>3</sup>. Se realiza por medio de la construcción de un dique en tierra con material de excavación de la poceta. Para excesos de agua en la poceta, se realiza la construcción de un rebosadero al lado del dique.

*Ilustración 54. Poceta revegetalizada*



(Bankengruppe, 2006)

#### **5.2.4. Reservorios**

Los reservorios son excavaciones de forma rectangular que se realizan mediante la construcción de diques que se construyen cerca a lugares de captación de agua con material excavado del reservorio con el fin de acumular volúmenes de agua entre los 100 y los 150m<sup>3</sup>. Estos reservorios son útiles para retener el recurso hídrico de la zona, al igual que los sedimentos transportados y en algunos casos son fuente para el consumo humano.

*Ilustración 55. Reservorio en el municipio de Ubaté*



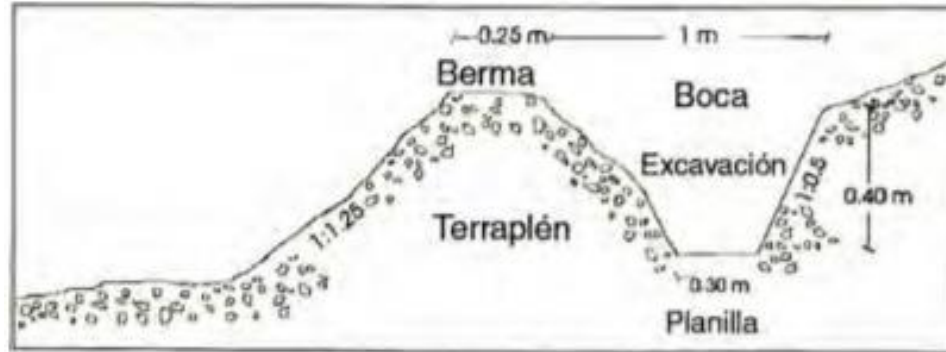
(Bankengruppe, 2006)

#### **5.2.5. Banquetas**

Las banquetas son zanjas transversales a la pendiente del terreno construidas desde la parte más alta del terreno hacia abajo. Sus medidas son de 4 a 5m de longitud. El material excavado se utiliza para construir el terraplén. Se construyen con el fin de disipar la energía del agua de esorrentía, para generar infiltración de agua al terreno y acumular los sedimentos.



Ilustración 56. Perfil esquemático de Banquetas.



(Bankengruppe, 2006)

Ilustración 57. Banquetas



(Bankengruppe, 2006)

### 5.2.6. Fajinas

Las fajinas son rollos de ramas con diámetros de 0.15 a 0.25m que se forman a lo largo de taludes con pendientes muy fuertes para lograr la retención de sedimentos provenientes de la erosión y suavizar la pendiente del terreno. Las fajinas deben ser instaladas sobre una zanja y sujetadas mediante estacas al suelo, así mismo, deben tener un amarre cada 0.50m de longitud para garantizar su estabilidad. Se instalan fajinas cada 2 o 3 metros dependiendo de la pendiente del terreno. Este tipo de obra requiere constante mantenimiento.

*Ilustración 58. Fajinas colocadas en ladera*



(Bankengruppe, 2006)

### **5.2.7. Muros en piedra**

Los muros en piedra se construyen en fondos de cauce y funcionan como barrera transversal para la retención de grandes volúmenes de sedimentos y para regular el caudal del cauce. Para su construcción se utiliza piedra pegada de 0.15 a 2m de diámetro, y debe ser ubicado en partes donde el terreno sea estable para que el muro quede empotrado adecuadamente.

*Ilustración 59. Muro en piedra pegada construido en la Cuenca del Río Checua*



(Bankengruppe, 2006)

### 5.2.8. Pozos

Los pozos son excavaciones manuales realizadas en las zonas con presencia de surcos en áreas erosionadas con el objeto de retener el agua y los sedimentos de la zona. Son construidos para retener desde 0.5 a 4m<sup>3</sup>. El material excavado es utilizado y compactado para formar un terraplén aguas abajo del pozo para ser revegetalizado.

*Ilustración 60. Pozo revegetalizado con Sauce*



(Bankengruppe, 2006)

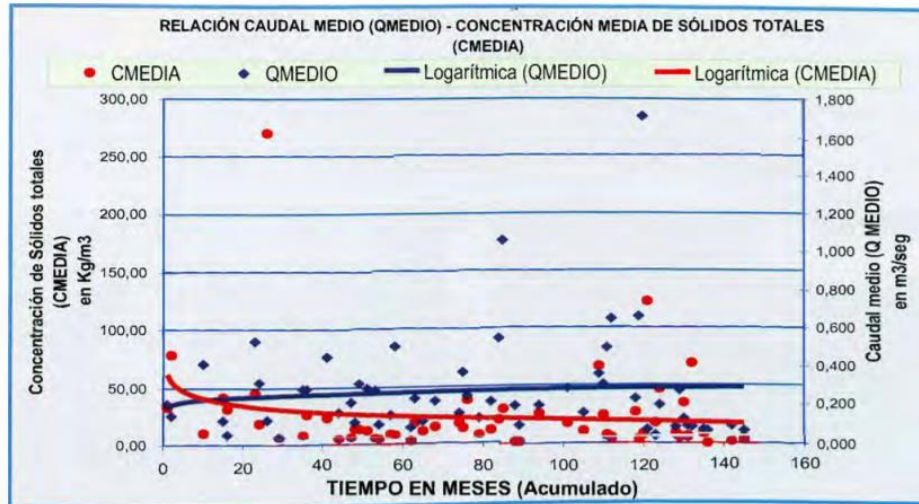
### 5.2.9. Trinchos

Son estructuras transversales que se construyen en cárcavas o cauces, se utilizan para disminuir la velocidad del agua de escorrentía, para retener sedimentos y regenerar la vegetación de la zona. Los trinchos pueden ser construidos con costales de polipropileno, madera, piedra o la mezcla de estos materiales. Deben ser instalados perpendicular a la dirección del flujo del agua.

Durante la intervención de la cuenca para su recuperación la CAR instaló 10 estaciones que midieran el transporte de sedimentos y caudales para analizar y controlar cada uno de los procesos que se iban realizando en la cuenca.

Los resultados de sedimentos y caudales que se evidencian en la Ilustración 61 son registros tomados desde el año 1990 hasta el 2001, período aproximado en el que se realizó dicha intervención.

*Ilustración 61. Relación caudal medio-concentración media de sólidos totales en la Cuenca del Río Checua entre 1999-2003*



(Bankengruppe, 2006)

Mediante la relación de caudal y concentración de sólidos que la CAR presenta, establece que la cuenca se recupera poco a poco debido a que presenta en una escala logarítmica un aumento en el recurso hídrico y disminución en la concentración de sólidos debido a la intervención de recuperación de la cuenca.

**6. ANALISIS COMPARATIVO DE SEDIMENTOS Y SUS PROCESOS DE CONTROL ENTRE CUENCA HIDROGRAFICA RÍO CHECUA (CHRC) Y CUENCA HDRIGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ (CHCP)**

*Tabla 11. Tabla resumen de comparación entre cuencas hidrográficas.*

	<b>ASPECTO DE COMPARACIÓN</b>	<b>CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO CHECUA</b>	<b>CUENCA HIDROGRÁFICA CANAL DE PANAMÁ</b>	<b>ANÁLISIS DE COMPARACIÓN</b>
<b>DATOS GEOMORFOLOGICOS CUENCA HIDROGRÁFICA</b>	Uso	La cuenca del Río Checua hace parte de la cuenca del Río Bogotá, ésta cuenca es uno de los principales tributarios en el norte de la Sabana de Bogotá. Tras realizar un largo recorrido, el recurso hídrico que proviene de la cuenca del Río Checua confluye finalmente en la planta de tratamiento Tibitoc.	Los aportes hídricos dentro de la cuenca del canal de Panamá son usados para el consumo humano en las ciudades aledañas, además para el funcionamiento del canal de Panamá (permitiendo el pase de buques por medio de sus esclusas) y por ultimo para generación de energía hidroeléctrica.	Las dos cuencas hidrográficas tienen un uso en común que es por medio de sus aportes hídricos y procedimiento de potabilización, abastecer agua para el consumo humano en poblaciones aledañas.  Por otro lado la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá debido a su gran extensión, interconexión entre diferentes puntos del mundo y avances tecnológicos, permite que el paso de buques cargados de diferentes productos y dirigidos a distintas partes del mundo sea posible.
	Área	178.04 km <sup>2</sup>	3434.2 km <sup>2</sup>	La cuenca hidrográfica del canal de Panamá cuenta con 3256 km <sup>2</sup> más de área, con respecto al área de la cuenca del Río Checua , es decir, la cuenca del Canal de Panamá es 19 veces más grande que la cuenca en comparación.
	Temperatura.	12.4°C	32°C	La temperatura de la cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá es 2.25 mayor con respecto a la temperatura de la cuenca del Río Checua. Sin embargo, en zonas específicas de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá, la temperatura puede estar hasta en 20°C, su variación se debe a la gran extensión dentro de la CHCP

	<b>ASPECTO DE COMPARACIÓN</b>	<b>CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO CHECUA</b>	<b>CUENCA HIDROGRÁFICA CANAL DE PANAMÁ</b>	<b>ANÁLISIS DE COMPARACIÓN</b>
	Precipitación promedio.	631.10 mm	1500mm-3500mm	<p>La precipitación dada en la cuenca Hidrográfica del Río Checua es 5.5 veces menor a la que se presenta en la costa atlántica del Canal de Panamá y 2.4 veces menor con respecto a la precipitación presentada en la costa del pacifico de la cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá.</p> <p>A pesar de las temperaturas presentadas en la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá , la precipitación dentro de ésta es alta, debido a que el clima de ésta Cuenca es Tropical y por ende las lluvias son constantes e intensas, además Panamá cuenta con invierno desde el mes de Mayo hasta Octubre o Noviembre,.</p> <p>Por otro lado, en la Cuenca Hidrográfica del Río Checua, a pesar de sus bajas temperaturas, las lluvias no se presentan a diario ni por tantos meses.</p>
	Caudal promedio anual.	0.11m <sup>3</sup> /s	188 m <sup>3</sup> /s	<p>La diferencia entre los caudales de las cuencas en comparación es exagerada debido a distintas razones, por un lado, la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá recibe aportes hídricos de diferentes fuentes mientras que la cuenca Hidrográfica del Río Checua no. Por otro lado las altas precipitaciones y largas temporadas de lluvia dentro de la CHCP hacen que éste pueda abastecerse de manera continua.</p> <p>Adicional el continuo mantenimiento y procesos de cuidado con el recurso hídrico y con la producción</p>



	ASPECTO DE COMPARACIÓN	CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO CHECUA	CUENCA HIDROGRÁFICA CANAL DE PANAMÁ	ANÁLISIS DE COMPARACIÓN
				de sedimentos, hace que el caudal líquido se mantenga o incluso aumente.
	Pendiente media.	20%	47%-56%	La pendiente media de la cuenca Hidrográfica de Río Checua es 2.6 veces menor a la pendiente media de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. La CHRC disminuyó su pendiente, debido a las obras realizadas para aliviar los valores de la misma y de esta manera mitigar deslizamientos de tierras.
<b>SEDIMENTOS Y SUS PROCESOS DE CONTROL</b>	Aporte de sedimentos año 1998	628 Ton/año/km <sup>2</sup>	570 Ton/año/km <sup>2</sup>	En el año 1998 la cuenca Hidrográfica del Río Checua presentó 58 Ton/año por cada km <sup>2</sup> más, con respecto a la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá
	Aporte de sedimentos año 1999	13296 Ton/año/km <sup>2</sup>	939 Ton/año/km <sup>2</sup>	Como se evidencia, el aporte de sedimentos suspendidos que tuvo la cuenca Hidrográfica del Río Checua fue mayor en el año 1999, con respecto a lo registrado en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Su diferencia es de 12330 Ton/año por cada km <sup>2</sup>
	Aporte de sedimentos año 2000	2720 Ton/año/km <sup>2</sup>	621 Ton/año/km <sup>2</sup>	Los aportes de sedimentos en la cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá en el año 2000, fueron 4.4 veces menor con respecto a los registrados en la cuenca Hidrográfica del Río Checua.
	Aporte de sedimentos año 2001	95 Ton/año/km <sup>2</sup>	492 Ton/año/km <sup>2</sup>	En este año, La cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá superó el aporte de sedimentos presentado en la Cuenca Hidrográfica del Río Checua, con un valor 5.1 Veces mayor.

	<b>ASPECTO DE COMPARACIÓN</b>	<b>CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO CHECUA</b>	<b>CUENCA HIDROGRÁFICA CANAL DE PANAMÁ</b>	<b>ANÁLISIS DE COMPARACIÓN</b>
	Aporte de sedimentos año 2002	2457 Ton/año/km <sup>2</sup>	861 Ton/año/km <sup>2</sup>	Por diferencia de 1596 Ton/año por cada km <sup>2</sup> , en el año 2002 se presentó mayor aporte de sedimentos suspendidos en la cuenca del Río Checua.
	Aporte de sedimentos promedio período 1998-2002	3839 Ton/año/km <sup>2</sup>	697 Ton/año/km <sup>2</sup>	El valor de aporte de sedimentos promedio dentro de la cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá para este período de tiempo, corresponde al 20% de la cantidad presentada en la cuenca de comparación.

(Tabla de Autor)



Tabla 12. Análisis comparativo de procesos de control de sedimentos

		<b>PROCESO</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	
<b>CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CHECUA</b>	<b>MEDIDAS INDIRECTAS</b>	<b>TERRAZAS</b>	Las terrazas son procesos para el control de la erosión que se presentan en la cuenca del Río Checua, como principales procesos que se obtienen de las terrazas esta disminuir la velocidad del agua de escorrentía, aumentar la infiltración del agua en el suelo y propiciar el establecimiento de la cobertura vegetal. Al reducir la erosión en el suelo se reduce la producción de sedimentos.	Disminuye el problema de erosión	Saturación de agua en la terraza	
					Mantenimiento periódico adecuados	
		<b>FRANJAS ESCARIFICADAS</b>	Las franjas escarificadas permiten que el agua lluvia se infiltre en el terreno y permite la restauración del mismo	Desarrollo de cobertura vegetal	Mejora condiciones físicas del suelo	costos elevados para su elaboración
					Requiere maquinaria	
		<b>POCETAS RESERVORIOS</b>	Las pocetas permiten la acumulación de agua y de sedimentos en puntos estratégicos de la cuenca del río Checua. La acumulación de sedimentos en banquetas	Controla la erosión	Aporta recurso hídrico a la comunidad	Requiere de maquinaria
					Bajo costo de construcción	Afectación ambiental
					Utiliza mano de obra local	

		<b>PROCESO</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
			proporciona efectos positivos en la recuperación de la cuenca, a su vez el agua acumulada es aprovechada por la comunidad tanto para consumo como para usos específicos en sus fincas.	Reduce contaminación del agua	
		<b>BANQUETAS TRINCHOS</b>	Las banquetas disipan la energía del agua de escorrentía y ayudan a la retención de sedimentos.	Bajo costo No requiere mantenimiento Utiliza mano de obra local	No es útil para altas precipitaciones
		<b>MUROS EN PIEDRA</b>	Los muros de piedra son utilizados y dispuestos como barrera para impedir el paso de los sedimentos, se ubican transversales al cauce	Retiene sedimentos Regula el caudal Reduce contaminación del agua	costos elevados para su elaboración Disponibilidad de piedra
		<b>POZOS</b>	Los pozos al igual que las pocetas permiten la acumulación de sedimentos y de agua, su construcción es manual.	Bajo costo Utiliza mano de obra local	
		<b>REVEGETALIZACION</b>	La revegetalización es la técnica más utilizada en la cuenca del río Checua ya que permite una cobertura permanente del suelo generando la restauración del mismo. Previene el proceso de erosión, por lo tanto, disminuye la producción de sedimentos.	Protección de cultivos Controla la erosión Reduce contaminación del agua	

		PROCESO	CARACTERISTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ</b>	<b>MEDIDAS INDIRECTAS</b>	<b>TRAMPAS DE SEDIMENTOS</b>	Las trampas de sedimentos, son estructuras que permite la recolección de sedimentos evitando que estos sigan causando afectaciones por medio de su transporte dentro del recurso hídrico.	Esta estructura permitió conocer la cantidad de sedimentos que se presentaron durante tiempos determinados.	No son útiles en zonas que presenten altas cantidades o concentraciones de sedimentos, debido a que se llenan y dejan de funcionar.
				Mitiga el arrastre de sedimentos	Requieren de remoción y vaciado constante de partículas sedimentadas
				Fácil construcción	
		<b>COLCHONES “FABRIFORMS” RELLENOS CONCRETO</b>	Por medio de esta alternativa, se pretende realizar la estabilización de taludes, evitando el deslizamiento de estos. Se usó una copa de geocolchón sintético relleno de piedra de 0,3m de espesor.	Permitió estabilidad de los taludes que se intervinieron por este método, evitando deslizamientos.	Los costos de los insumos como lo son: Geotextil y piedra, son altos en comparación al aporte que esta medida brinda al manejo y eliminación de sedimentos
				Evita concentración de sedimentos causada por deslizamientos.	No elimina o extrae partículas.
		<b>PLANTACIÓN DE DE GRAMÍNEAS CRECIMIENTO RÁPIDO</b>	Se realiza protección de superficies con material estabilizador, como mallas o paja y como ítem final, se siembran gramíneas de	Realiza aportes positivos la vegetación del sitio.	No se elimina por completo la erosión del suelo, solo se mitiga.
Se mitiga el proceso de erosión del suelo.	Los insumos son costosos y además son				

		<b>PROCESO</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
			crecimiento rápido para controlar el proceso de erosión en el suelo.		necesarios dos procesos para tener un solo sistema ( Estabilización y siembra)
		<b>ESTRUCTURAS PARA RETENCIÓN DE SEDIMENTOS.</b>	Construcción de vertederos o muros intermedios transversales, evitando el paso de sedimentos entre el desarrollo de la cuenca hidrográfica.	Evita el paso de sedimentos, lo que permite que el recurso hídrico no sea afectado en su totalidad.	Necesita continua limpieza para garantizar obstrucciones que generen otro tipo de problemáticas.
				Sirve también como depósito para toma de muestras de sedimentos.	No es una solución que remueve las partículas, sino que acumula
		<b>VALLAS DE FILTROS DE TELA</b>	Ubicadas en puntos estratégicos y con bajas concentraciones de sedimentos, las vallas actúan como cortinas de tela, permitiendo que en la partes con lámina de agua muy reducida, la cuenca pueda realizar el paso de agua.	Mitiga el arrastre de sedimentos durante lo largo del Recuso hídrico	Necesidad de procesos de excavación (profundidad =15-20), para poder brindar un adecuado funcionamiento.
					Requiere inspección constante para garantizar que se mantienen estables.

		<b>PROCESO</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
	<b>MEDIDAS DIRECTAS</b>	<b>PROCESOS DE DRAGADO PARA CONTROL DE SEDIMENTOS</b>	Con respecto a los sedimentos, la técnica de dragado es el Proceso directo, que por medio de dragas, realiza limpieza de alguna fuente hídrica.	Se acomoda a las condiciones del sitio de aplicación	Si no se usa adecuadamente, la maquinaria puede generar afectaciones físicas en el sitio de aplicación.
Remueve las partículas por completos				Técnica costosa debido al alquiler de maquinaria	
Sus máquinas tienen diferentes dimensiones, alcanzando profundidades de hasta 112 m				Necesita varios operarios, dependiendo de su magnitud	
Los tiempos en los que se evidencian los resultados son cortos, siempre y cuando se realicen constantemente y de manera adecuada.					
Algunas dragas cuentan con un sitio de disposición de material, que sirve como acumulador durante diferentes intervenciones, para que finalmente se realice la disposición en área adecuada.					
				Tiene capacidad de remover hasta 46000 metros cúbicos.	

		<b>PROCESO</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
				Permite que la lámina de agua del recurso hídrico sea mayor, debido a la extracción de sedimentos. Preserva el flujo natural de un río.	

(Tabla de Autor)

## 7. TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Se entiende por transferencia de tecnología: “el proceso por el cual se lleva a cabo la transmisión del saber hacer (Know-how), de conocimientos científicos y/o tecnológicos y de tecnología de una organización o de un proyecto a otro”(“El proceso de transmisión de conocimientos científicos y tecnológicos,” n.d.).

Teniendo en cuenta lo anterior, la propuesta de transferencia tecnológica del presente trabajo investigativo, es de carácter conceptual soportada bajo investigación y experiencias adquiridas durante la visita técnica internacional.

El propósito de este capítulo es determinar cuál de las técnicas identificadas de control de sedimentos que se llevan a cabo en la cuenca del canal de Panamá, se ajusta mejor a las necesidades de la cuenca del río Checua para realizar la propuesta de transferencia tecnológica.

Cabe resaltar que dicha transferencia se propone con el fin de salvaguardar el recurso hídrico en la cuenca del río Checua. A continuación, se analizan las posibles técnicas a apropiar:

*Tabla 13. Opciones de transferencia, adquiridas durante la visita técnica*

<b>OPCIONES DE TRANSFERENCIA, ADQUIRIDAS DURANTE LA VISITA TECNICA.</b>	
<b>PROPUESTA DE TRANSFERENCIA</b>	<b>¿PUEDE SER TRANSFERIDA EN CHRC?</b>
<b>TRAMPAS DE SEDIMENTOS</b>	Debido a que existen tecnologías similares en la cuenca del Río Checua, esta propuesta no tendría un impacto relevante.
<b>COLCHONES "FABRIFORMS" RELLENOS DE CONCRETO</b>	Este proceso puede ser transferido, ya que este tipo de estabilización, aún no ha sido empleado en el sitio de estudio (CHRC), Este tipo de colchones al impedir deslizamientos causados por los movimientos de tierra (en caso de presentarse), mitiga el aporte de estas partículas dentro del recurso hídrico.
<b>PLANTACIÓN DE GRAMÍNEAS DE CRECIMIENTO RÁPIDO</b>	La transferencia no se considera viable, debido a que en la cuenca del Río Checua, se realizó una gran inversión en

<b>OPCIONES DE TRANSFERENCIA, ADQUIRIDAS DURANTE LA VISITA TECNICA.</b>	
<b>PROPUESTA DE TRANSFERENCIA</b>	<b>¿PUEDE SER TRANSFERIDA EN CHRC?</b>
	el proceso de revegetalización, para protección del suelo de los procesos erosivos.
<b>ESTRUCTURAS PARA RETENCIÓN DE SEDIMENTOS.</b>	La transferencia de esta técnica no causaría gran impacto , dado que, la CHRC cuenta con muros en piedra que cumplen con la misma función de éste proceso.
<b>PROCESOS DE DRAGADO PARA EL CONTROL DE SEDIMENTOS</b>	La tecnología propuesta, es viable y genera gran impacto, ya que sería la única medida directa que aportaría al proceso de recuperación de la cuenca, cabe resaltar que la medida no ha sido implementada en la cuenca del río Checua.

(Tabla de autor)

Como se evidencia en la tabla 13 y con base al proceso desarrollado por medio de investigaciones, visitas técnicas y entrevistas que fueron posibles gracias a la visita técnica internacional, además de los análisis y comparaciones expuestas en el documento, se propone como transferencia de conocimiento la **“Complementación del manejo integral del recurso hídrico en la cuenca del río Checua por medio de medidas directas de control de sedimentos”**.

### **7.1. COMPLEMENTACIÓN DEL MANEJO INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO CHECUA POR MEDIO DE MEDIDAS DIRECTAS DE CONTROL DE SEDIMENTOS**

La propuesta expuesta se planea como su nombre lo indica, como un complemento por medio de medidas directas de los procesos de prevención de erosión que se construyeron y se adecuaron a lo largo de la cuenca del río Checua en los últimos 30 años.

Dicha propuesta de transferencia se basa en dos componentes importantes que se consideran exitosos en la cuenca del Canal de Panamá:



1. Tecnología en el proceso de dragado para la remoción de sedimentos.
2. Tecnología del proceso de seguimiento y control de sedimentos que se lleva a cabo en Panamá, la cual se relaciona a la implementación de procesos para planear, hacer, verificar y actuar de acuerdo a los parámetros requeridos dentro de la cuenca del río Checua.

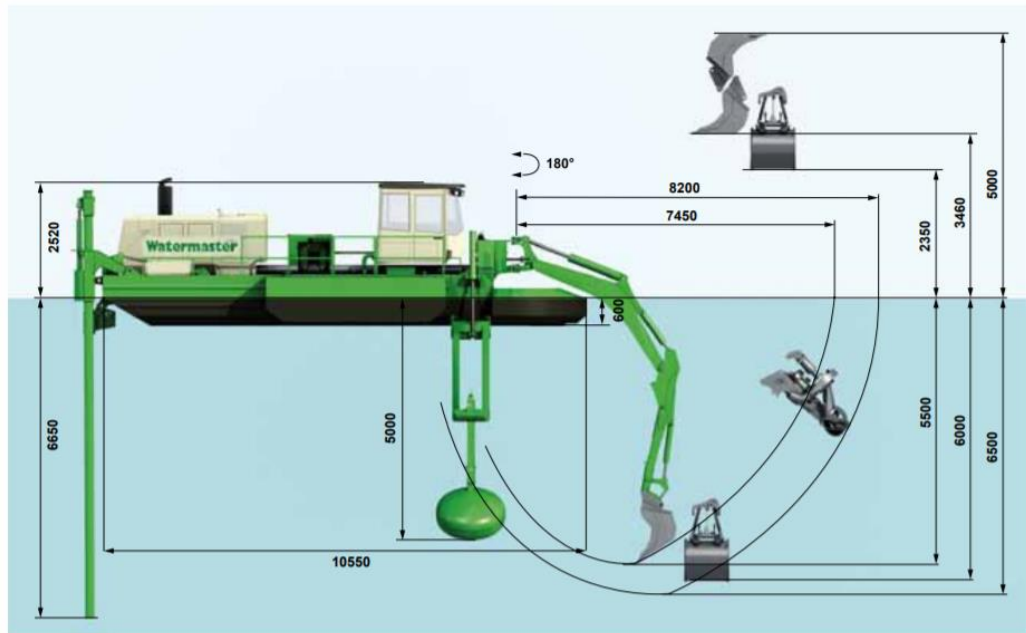
Dentro del componente de la tecnología para la remoción de sedimentos se realiza la propuesta de la selección de la draga y se describen sus características y principales aplicaciones.

## **7.2. PROPUESTA DE SELECCIÓN DE DRAGA.**

Para la selección de la draga, se debe tener en cuenta las condiciones físicas del lugar exacto donde se va a realizar la actividad de dragado. Como esta tecnología es una medida directa en la reducción de sedimentos el lugar estratégico para su aplicación debe ser la zona con más concentraciones de sedimentos acumuladas, esto es, la cuenca alta del río Checua, la cual presenta los mayores problemas de erosión.

Por lo anterior, se propone la DRAGA ANFIBIA MULTIPROPISTO: Ideal para todo el trabajo en aguas poco profundas desde tierra hasta 6.5m de profundidad y aplicaciones para dragado entre otras. (ver anexo E).

Ilustración 62. Draga anfibia multipropósito



(“Draga multipropósito anfibia · Watermaster,” n.d.)

### Características de la draga anfibia multipropósito

- Transportada al sitio como unidad completa y lista para la actividad.
- Ingreso al cuerpo de agua sin necesidad de grúa.
- Bomba sumergible de succión
- Posibilidad de descarga hasta 1.5 km de distancia.(“Draga multipropósito anfibia · Watermaster,” n.d.)

### Aplicaciones

- Aplicaciones de dragado: Mantenimiento y profundización de vías acuáticas poco profundas.
- Aplicaciones ambientales: Prevención de inundaciones, remoción de basura y vegetación invasiva
- Otras aplicaciones como la construcción e industriales. (“Draga multipropósito anfibia · Watermaster,” n.d.)

Pese a que no hace parte del alcance de este documento, se recomienda que en caso de que la propuesta pueda ser implementada, esta debe estar soportada con estudios sociales, económicos y ambientales actualizadas a la fecha de la implementación, además de estar soportada y aprobada por las entidades competentes para tal fin. Por último, se resalta la importancia de disponer del sitio de acopio o disposición del material retirado.

La metodología que se propone transferir dentro del componente de técnicas de seguimiento y control para la cuenca del río Checua, utilizada en la cuenca del canal de Panamá se describe a continuación:

### **7.3. LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS EN CAMPO**

Las muestras representativas se obtienen por medio de muestreadores integradores de profundidad, los cuales están diseñados para tomar muestras a una velocidad similar a la de la corriente. Existen tres tipos de muestreadores, los cuales se usan dependiendo de las condiciones del río al momento de tomar las muestras. (García, Tomas A. Esoinosa, 2000)

- Muestreador para zonas de poca profundidad en donde se puede realizar aforos por vadeo.
- Muestreador para zonas con velocidades de flujo menores a cinco pies por segundo, pero que por sus profundidades no se puede realizar aforo por vadeo y requiere del uso de cable.
- Muestreador para crecidas. (García, Tomas A. Esoinosa, 2000)

#### **1. La determinación de su concentración en laboratorio:**

La metodología consiste en filtrar una muestra de agua a través de un filtro de fibra de vidrio con tamaño de poro de 1 micrómetro, previamente pesado y luego secado en un horno a una temperatura entre 103 y 105°C, hasta obtener un peso constante del filtro más sedimento retenido. (García, Tomas A. Esoinosa, 2000)

#### **2. El procesamiento de los datos para la obtención de la producción diaria, mensual y anual:**

El procesamiento de la información para la determinación de la concentración promedio diaria de sedimentos suspendidos consiste en la elaboración de una curva de concentración continua en el tiempo a partir de las concentraciones individuales determinadas en el análisis de laboratorio. El promedio diario de concentración de sedimentos suspendidos se determina al integrar los valores de concentración sobre la curva durante el periodo de un día, para todos los días de cada mes y anual.(García, Tomas A. Esoinosa, 2000)

Esto es de vital importancia ya que teniendo esta información se pueden tomar decisiones asertivas frente a los procesos que se están implementando para el control de sedimentos y realizar acciones que impacten de acuerdo a las condiciones requeridas, para posteriormente de acuerdo a la acción tomada verificar sus resultados en el corto, mediano y largo plazo teniendo en cuenta siempre como objetivo la conservación del recurso hídrico.

## 8. CONCLUSIONES

- Se identificó que los procesos para la remoción de sedimentos empleados en la cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá son medidas directas e indirectas, las directas se basan en su mayoría en las técnicas de dragado. Mientras que, las medidas en la cuenca Hidrográfica del Río Checua son indirectas y varían de acuerdo a las características o condiciones de la zona a intervenir dentro de la cuenca.
- Se determina que el proceso para el control de sedimentos y las acciones realizadas para el seguimiento de los mimos, dentro de la cuenca hidrográfica del canal de Panamá, tienen un impacto relevante al ser aplicados dentro de la cuenca hidrográfica del río Checua, ya que complementan y aceleran el proceso de restauración existente en la cuenca, permitiendo salvaguardar el recurso hídrico.
- Al comparar el proceso de remoción de sedimentos que se lleva a cabo en la cuenca del río Checua y la cuenca del Canal de Panamá se concluye que los procesos de directos que maneja esta última, son capaces de remover cantidades considerables de sedimentos, pues como se evidencia en el último año de registro, el aporte de Sedimentos suspendidos en la Cuenca del Canal de Panamá es de 358 Ton/año/km<sup>2</sup>, siendo éste un valor bajo teniendo en cuenta las lluvias constantes, el paso continuo de buques y las erosiones causadas en cada fase de mantenimiento dentro del Canal. Mientras que, en la Cuenca Hidrográfica del Río Checua, aunque se evidencia que la producción de sedimentos tuvo reducciones por medio de las obras instaladas a través del tiempo, su último registro obtenido es de 2457 Ton/año/km<sup>2</sup>, el cual es mucho mayor a la cantidad de sedimentos obtenida en el canal, es decir las medidas aplicadas en la cuenca son preventivas, pero no remueven partículas.
- Se determina que la técnica de dragado dentro de la Cuenca Hidrográfica del Río Checua, es una alternativa adecuada para mitigar la concentración de sedimentos, pero es importante tener

en cuenta que el lugar de disposición de la Draga debe ser en un punto estratégico y de esta manera brindar un proceso de remoción exitoso.

- Teniendo en cuenta que la cuenca Hidrográfica del Río Checua es tributaria de la cuenca hidrográfica del Río Bogotá, es importante su recuperación por tanto el proceso de dragado mitigara de manera notoria su problema de sedimentación permitiendo salvar guardar el recurso hídrico que es el objetivo principal.
- La continuidad y persistencia de los procesos de control de sedimentos suspendidos dentro de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá han sido factores claves que han permitido el éxito dentro de su operación y mantenimiento, por eso se recomienda transferir sus medidas de control a la cuenca Hidrográfica del Río Checua y de esta manera tener acciones asertivas con respecto a la problemática de la cuenca.
- Teniendo en cuenta la ausencia de información en la cueca del rio Checua, es importante que la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca oriente el desarrollo de acciones que permitan brindar un control y seguimiento frecuente con respecto a este tema tomando como ejemplo, la autoridad del canal de Panamá que brinda información útil para el desarrollo de una investigación.
- La falta de actualización de cifras de sedimentos en la cueca del rio Checua se da por ausencia de información suministrada por la entidad reguladora, lo que permite concluir que no se lleva un constante monitoreo a los aportes de sedimentos.
- El buen y adecuado manejo que brinda la Cuenca hidrográfica del canal de panamá para el control de sedimentos es exitoso, porque, además, de su técnica de remoción de sedimentos, se tiene una constancia periódica con respecto a las acciones preventivas, cumpliendo con el objetivo Primordial que es salvaguardar el recurso hídrico.

- Para la elección de la tecnología, el factor que tuvo prioridad fue el cuidado y mantenimiento del agua, es decir se considera que la importancia de este recurso, sobrepasa todas las otras consideraciones que se pueden tener en cuenta dentro de una propuesta, pues si se permite el desabastecimiento de este recurso que es considerado vital, se afecta directamente la sociedad.
- Como transferencia tecnológica se plantea es la complementación del manejo integral del recurso hídrico en la cuenca del río Checua por medio de medidas directas de control de sedimentos, además se propone tener en cuenta las medidas de control manejadas en Panamá como: Toma de muestras, tiempos para cada toma de muestras, procesos en laboratorios, etc.

## 9. RECOMENDACIONES

- Como recomendación académica, se sugiere seguir implementando la visita técnica internacional, debido a que el estudiante tiene una gran experiencia a nivel académico, pues se adquieren conocimientos no solo culturales sino también técnicos que permiten tener otras perspectivas con respecto a temas de Ingeniería. Además, la transferencia de tecnología, resulta ser muy útil para brindar posibles soluciones a problemáticas nacionales.
- A pesar de las acciones realizadas por la CAR y debido a que el tiempo de recuperación de la cuenca hidrográfica del Río Checua es lento con respecto a la cantidad de sedimentos que se producen anualmente, se recomienda estudiar la viabilidad de procesos de control directos, como dragado dentro de la cuenca, pues la eficiencia de este proceso de control, aportaría un gran avance dentro de la recuperación de la cuenca.
- Con respecto a los cuidados que se realizan en la cuenca hidrográfica del Río Checua, se sugiere más constancia debido a la importancia que ésta cuenca presenta en el tratamiento de agua potable que se distribuye.
- Como sugerencia hidrológica y teniendo en cuenta la importancia de las afectaciones que producen los sedimentos, se recomienda de manera general, realizar de manera constante el estudio y comportamiento de estos sólidos, pues se debe mantener un monitoreo continuo de estas partículas para evitar la pérdida total de la cuenca y que por medio de estos estudios se puedan tomar acciones asertivas.
- Teniendo en cuenta la cantidad de información extraída de las fuentes brindadas por la autoridad del canal de Panamá, se recomienda a la CAR realizar Anuarios hidrológicos e informes de sólidos suspendidos de la cuenca hidrográfica del río Checua anuales, con el objetivo de realizar un mejor control de estos factores y poder realizar análisis de información que permita definir las mejores técnicas para el manejo de la problemática de la cuenca.



- Teniendo en cuenta que la cuenca del río Checua cuenta con sedimentos producidos por diferentes razones, se recomienda realizar un análisis morfológico detallado, que permita establecer un patrón de estas partículas y así tomar acciones para evitar la producción de sedimentos.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Alberto Aleman Zubieta Backhoe Dredger - Ship Technology. (n.d.). Retrieved March 31, 2020, from <https://www.ship-technology.com/projects/alberto-aleman-zubieta-backhoe-dredger/>

ASAMBLEA LEGISLATIVA LEY No. 19 (De 11 de junio de 1997) Por la que se Organiza la Autoridad del Canal de Panamá PREÁMBULO. (n.d.).

ASAMBLEA LEGISLATIVA LEY No. 35 ( De mayor de 1996) Por la cual se dictan disposiciones sobre la propiedad industrial. (n.d.).

Autoridad del canal de Panamá. (2011). *AUTORIDAD DEL CANAL DE PANAMÁ*.

Bankengruppe. (2006). *Proyecto Checua-PROCAS g tz COOPERACION REPUBLICA DC COLOMBIA*. Retrieved from [www.car.gov.co](http://www.car.gov.co)

Bautizan nueva draga del Canal – Canal de Panamá. (n.d.). Retrieved May 8, 2020, from <https://micanaldepanama.com/bautizan-nueva-draga-del-canal/>

Bhattacharyya, K., & Singh, V. P. (Vijay P. . (n.d.). *Reservoir sedimentation*.

CAR. (2006). *PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO BOGOTÁ*.

CAR. (2019a). Así se ha recuperado la cuenca del río Checua de la erosión severa | CONtexto ganadero | Noticias principales sobre ganadería y agricultura en Colombia. Retrieved June 5, 2020, from <https://www.contextoganadero.com/regiones/asi-se-ha-recuperado-la-cuenca-del-rio-checua-de-la-erosion-severa>

CAR. (2019b). *resolucion\_957 de 2019 adpcion POMCA río Bogotá.pdf*.

CHECUA, UN PROYECTO DE VIDA - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde

- 1.990 - eltiempo.com. (2001). Retrieved October 13, 2019, from <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-562907>
- Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del canal de Panamá, d. (n.d.). CICH - Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Retrieved May 2, 2020, from <http://www.cich.org/LaCuenca.html>
- Comision interinstituriconal de la cuenca Hidrografica del canal de Panamá. (2008). Plan de accion Inmediata II para el desarrollo humano, apoyo a la produccion y Manejo ambienral de la cuenca Hidrografica del canal de Panamá. Retrieved from <http://www.cich.org/>
- Control de erosión y sedimentos Eroded - Projar Restauración ambiental. (n.d.). Retrieved April 19, 2020, from <https://www.solucionesambientalesprojar.com/control-erosion-eroded/>
- Custom built cutter suction dredger - Royal IHC. (n.d.). Retrieved May 9, 2020, from <https://www.royalihc.com/products/dredging/cutter-dredging/custom-built-cutter-suction-dredger>
- De Agua, V., Ambiente, Y., & De Panamá, R. (2018). *AUTORIDAD DEL CANAL DE PANAMÁ ANUARIO HIDROLÓGICO 2018*.
- De Ambiente, V. (n.d.). *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Política Nacional para la Gestión Integral del*.
- Donald Langmead, C. G., & Donald Langmead, C. G. (2001). *Encyclopedia of Architectural and Engineering Feats*.
- Draga multipropósito anfibia · Watermaster. (n.d.). Retrieved June 5, 2020, from <https://watermaster.fi/es>
- Dragado: Una labor de todos los días - ElCapitalFinanciero.com - Noticias Financieras de Panamá.

- (n.d.). Retrieved May 8, 2020, from <https://elcapitalfinanciero.com/dragado-una-labor-de-todos-los-dias/>
- Ecológica, P. (2006). *Elaboración del Diagnostico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá*.
- El proceso de transmisión de conocimientos científicos y tecnológicos. (n.d.). Retrieved June 3, 2020, from <https://techpress.es/el-proceso-de-transmision-de-conocimientos-cientificos-y-tecnologicos/>
- Estudios De Posgrado Facultad De Ingeniería Estudio Teórico Y Experimental De La Remoción Hidráulica De Sedimentos En Un Embalse, D. DE, & Requisito Para Obtener Título De, C. EL. (2005). *UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO TESIS SAÚL GARCÍA CAMACHO*.
- FAO, & Ongley, E. D. (1997a). CAPÍTULO 2 - CONTAMINACIÓN PROVOCADA POR LOS SEDIMENTOS. Retrieved May 9, 2020, from Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55) website: [http://www.fao.org/3/w2598s/w2598s04.htm#problemas de escala](http://www.fao.org/3/w2598s/w2598s04.htm#problemas%20de%20escala)
- FAO, & Ongley, E. D. (1997b). LOS FERTILIZANTES, EN CUANTO CONTAMINANTES DEL AGUA. In *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55)* (FAO, pp. 1–17). <https://doi.org/M-56>
- Franca, M. (2018). *Márió Franca River Basin Development IHE Delft, Holanda*.
- García, Tomas A. Esoinosa, D. (2000). *REVISIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DEL CAUDAL DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS*. Panamá.
- Garcia Chamacho, S. (2005). *PRIMERA PARTE TÉCNICAS DE DRAGADO*. Retrieved from

www.bnd.nl

García Flores Manuel, M. Á. J. A. (n.d.). *Origen y propiedades de los sedimentos*.

García Florez, M., & Maza Álvarez, J. A. (1998). *Manual de Ingeniería de Ríos*.

García, T. A. (2010). *Informe del Programa de Sedimentos Suspendedos Periodo 1998-2007*. 1–123.

Gaviria, S., Hernández, O., & Vargas, O. (n.d.). *RELACIÓN ENTRE PROCESOS DE EROSIÓN Y GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS Y SUELOS DE CHECUA, CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ por CIENCIAS DE LA TIERRA*.

González Castro Francisco, Cubillos Malagón Mario Alonso, M. S. A. . (2016). *Cuenca Hidrográfica del Río Checua Exploración por el tiempo y espacio*. 44.

HUITACA, C. (2017). *Ajuste Del Plan De Ordenación Y Manejo De La Cuenca Del Río Bogotá Río*. 1(Código 2120).

*IL PRINCIPE*. (n.d.). Retrieved from [www.jandenul.com](http://www.jandenul.com)

Importante avance en dragado de Corte Culebra y Gatún. (n.d.). Retrieved May 8, 2020, from <https://www.laestrella.com.pa/economia/110428/corte-avance-dragado-culebra-importante>

Jaén Núñez, E., & Shirota, R. (n.d.). *Valoración económica del servicio ambiental de reducción de sedimentos de los bosques de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá*.

Jara Iva, Albarracín Cuenca Juanita, Rosas Nava Diana Carolina, B. M. J. C. (2016). 1 Informe Cuenca Checua | Río | Inundación. Retrieved October 14, 2019, from 2016 website: <https://es.scribd.com/doc/105513619/1-Informe-Cuenca-Checua>

John, S. A., & Construction Industry Research and Information Association. (2000). *Scoping the assessment of sediment plumes from dredging*. CIRIA.

- Manuel, J., Calderón, S., Vallejo, G., Viceministro De Ambiente, L., Vieira Samper, P., & Pineda González, C. P. (n.d.). *Presidente de la República*.
- Ministerio de Ambiente desarrollo sostenible. (2017). *RESOLUCION No. 1595 DE 2017*. Retrieved from [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/b2-RESOL 1595.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/b2-RESOL_1595.pdf)
- Miranda, E. (2019). *Entrevista a tecnico del Canal de Panamá*.
- Panamá, A. del C. (n.d.). *AGUA Y BOSQUES en la cuenca del canal: TENDENCIAS A LARGO PLAZO*.
- Panamá, A. del C. (2005). *NOTICIAS DEL CANAL DE PANAMÁ*.
- Panamá, P. M. (2011). *Anuario de sedimentos suspendidos 2010*. 83.
- Planeación Ecológica Ltda TIPO EST C A R-CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA SISTEMA DE INFORMACIÓN NACIONAL AMBIENTAL VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)*. (n.d.).
- PROYECTO CHECUA CONTRA EROSIÓN - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com. (1997). Retrieved October 13, 2019, from <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-540739>
- Quibian 1 - Cutter suction dredgers - Equipment | Dredging Database. (n.d.). Retrieved May 9, 2020, from <https://www.dredgepoint.org/dredging-database/equipment/quibian-1>
- Río Checua (Cundinamarca) - Colombia :: Datos Geográficos. (n.d.). Retrieved October 14, 2019, from <https://tierra.tutiempo.net/colombia/rio-checua-co010332.html>
- Roovers, M. (1989). *The removal, treatment and use of sediment from revervoirs international water pover & dam construction*.

Roy Adolfo Ahumada Marco Ameglio S Rafael E Bárcenas P Guillermo O Chapman, R. A., Nicolás Corcione Ricardo De la Espriella Toral Norberto Delgado D Eduardo A Quirós B Alfredo Ramírez, J. R., & José Sosa A Jorge L Quijano Administrador Manuel E Benítez Subadministrador, J. A. (n.d.). *Febrero 2013-No.58*.

Sedimentos En Suspensión En Fuentes Hídricas Lóticas Sandra Milena Valencia Quintero Randhy Thompson Perdomo Richard Andrés Pardo González, C. DE, & C, B. D. (2005). *ESTUDIO DE TÉCNICAS NUCLEARES APLICADAS A LA MEDICIÓN DE LA UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL*.

Stallard, R. F., & Kinner, D. A. (2005). Estimation of Landslide Importance in Hillslope Erosion Within the Panama Canal Watershed. In *The Río Chagres, Panama* (pp. 281–295).  
[https://doi.org/10.1007/1-4020-3297-8\\_19](https://doi.org/10.1007/1-4020-3297-8_19)

THE PANAMA CANAL COMMISSION DREDGING DIVISION. (n.d.). *DREDGING DIVISION ORGANIGRAMA Y FUNCIONAMIENTO*.

Torres Caldas, E., & Reina Gómez, C. F. (2005). *Estudio de técnicas nucleares aplicadas a la medición desedimentos en suspensión y de fondo en fuentes hídricas*.

Torres Caldas Elizabeth, R. G. C. F. (2005). *Estudio de tecnicas nucleares aplicadas a la medicion de sedimentos en suspension y de fondo en fuentes hidricas*.

# 11. ANEXOS.

## Anexo A. Folleto acerca de ampliación Canal de Panamá.

### Un poco de historia

El Canal de Panamá es una obra de ingeniería que conecta el Océano Atlántico con el Océano Pacífico. Fue construido entre 1914 y 1915 por el gobierno de Estados Unidos.

### ¿Cómo funciona?

El Canal de Panamá funciona gracias a un sistema de esclusas que permiten a los buques pasar de un nivel de agua a otro más alto o más bajo.

### Ampliación del Canal

La ampliación del Canal de Panamá es un proyecto que busca aumentar el tamaño de los buques que pueden pasar por él. Esto se logrará mediante la construcción de nuevas esclusas y la ampliación de las existentes.

### Un Canal panameño

El Canal de Panamá es una obra de ingeniería que conecta el Océano Atlántico con el Océano Pacífico. Fue construido entre 1914 y 1915 por el gobierno de Estados Unidos.

### El Canal de Panamá

El Canal de Panamá es una obra de ingeniería que conecta el Océano Atlántico con el Océano Pacífico. Fue construido entre 1914 y 1915 por el gobierno de Estados Unidos.

### Datos interesantes

- El Canal de Panamá es una obra de ingeniería que conecta el Océano Atlántico con el Océano Pacífico.
- Fue construido entre 1914 y 1915 por el gobierno de Estados Unidos.
- El Canal de Panamá es una obra de ingeniería que conecta el Océano Atlántico con el Océano Pacífico.

[www.pacanal.com](http://www.pacanal.com)

### El Canal de Panamá

El Canal de Panamá es una obra de ingeniería que conecta el Océano Atlántico con el Océano Pacífico. Fue construido entre 1914 y 1915 por el gobierno de Estados Unidos.

## Ampliación del Canal de Panamá

### Tercer Juego de Esclusas

Las esclusas actuales tienen una capacidad limitada de buques. El tercer juego de esclusas permitirá a buques más grandes pasar por el Canal de Panamá.

### Componentes del Programa de Ampliación

- Perfeccionamiento de las esclusas en el Pacífico y el Atlántico.
- Operación y mantenimiento de las esclusas de navegación del Lago Gatón y profundización del Canal Gatón.
- Operación y mantenimiento de las esclusas de navegación del Lago Gatón.
- Operación y mantenimiento de las esclusas de navegación del Lago Gatón.

(Museo Interoceánico- Visita Técnica internacional 2019)



Anexo B. Registro fotográfico visita Técnica Internacional Panamá



(Autor)

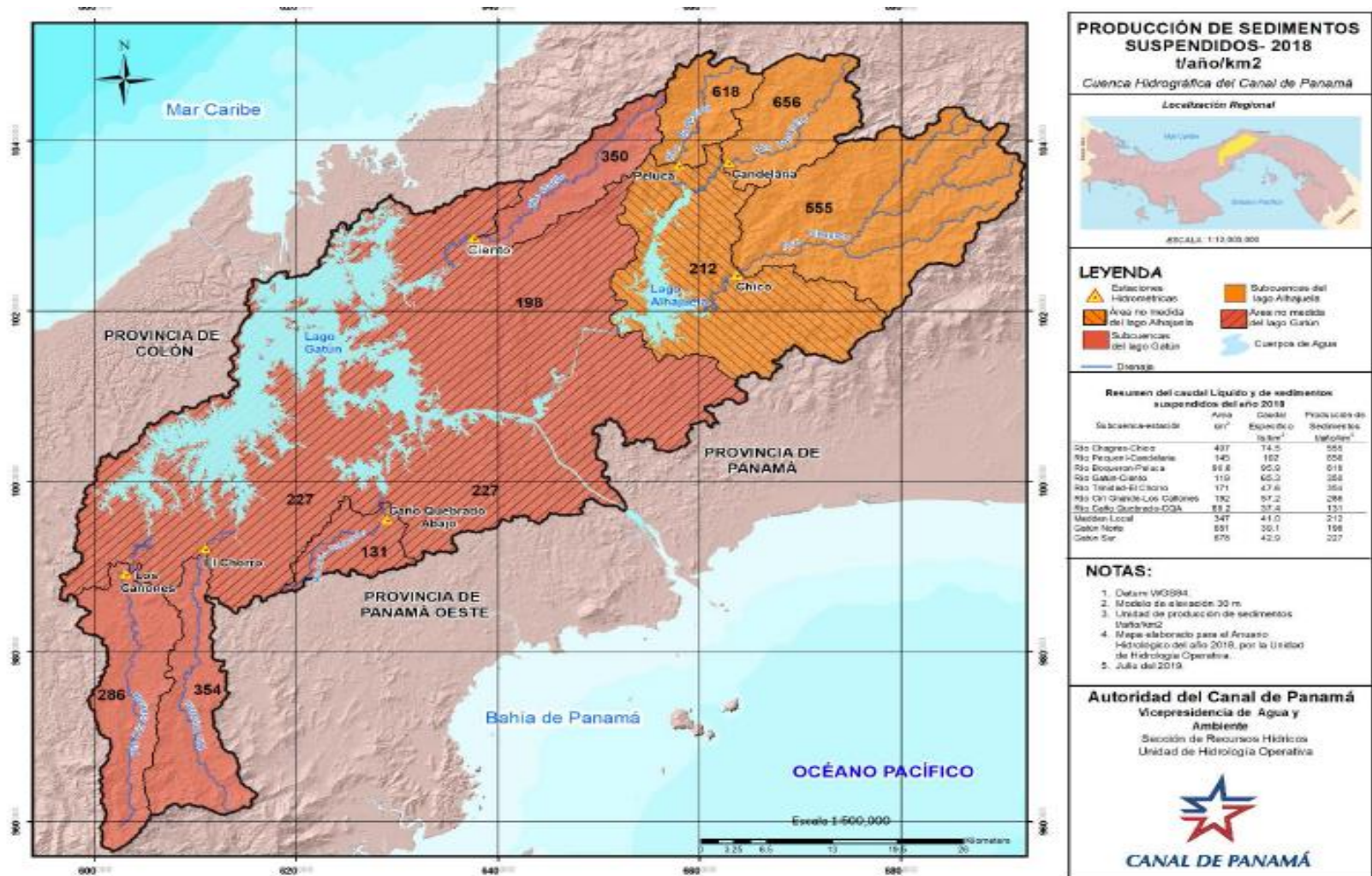
*Anexo C. Entrevista a Técnico operativo del Canal de Panamá*

[PANAMA 1.m4a](#)

[PANAMA 2.m4a](#)

(Autor)


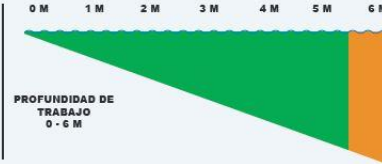

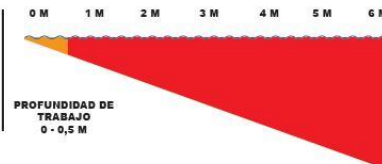

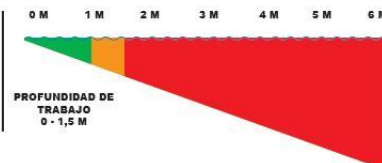

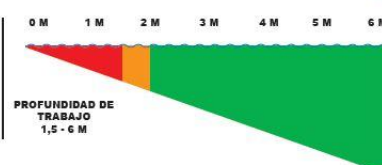

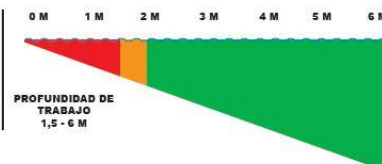
Anexo D. Producción de sedimentos suspendidos Cuenca Hidrográfica Canal de Panamá año 2018



(De Agua et al., 2018)



Anexo E. Comparación de maquinaria para trabajos en aguas poco profundas.

	PROFUNDIDAD DE TRABAJO	VERSATILIDAD	SEGURIDAD EN EL AGUA	MOVILIDAD	TRANSPORTE EN CARRETERA E INSTALACIÓN	USO PRINCIPAL
<b>WATERMASTER</b> 	 <p>PROFUNDIDAD DE TRABAJO 0 - 6 M</p>	<p>DRAGADO POR SUCCIÓN EXCAVACIÓN RASTRILLADO PILOTAJE + otros</p>	<p>EMBARCACIÓN DE DRAGADO TOTALMENTE CERTIFICADA</p>	<p>TOTALMENTE ANFIBIA autopropulsada</p>	<p>COMO UNA UNIDAD COMPLETA autolanzable, no necesita grúa</p>	<p>TODOS LOS TRABAJOS EN AGUAS POCO PROFUNDAS, DESDE TIERRA FIRME HASTA 6 M DE PROFUNDIDAD</p>
<b>EXCAVADORA DE BRAZO LARGO</b> 	 <p>PROFUNDIDAD DE TRABAJO 0 - 0,5 M</p>	<p>EXCAVACIÓN + otros</p>	<p>EMBARCACIÓN DE DRAGADO SIN CERTIFICAR</p>	<p>MÓVIL SOLO EN TIERRA</p>	<p>COMO UNA UNIDAD COMPLETA</p>	<p>EXCAVACIÓN EN TIERRA FIRME</p>
<b>EXCAVADORA FLOTANTE</b> 	 <p>PROFUNDIDAD DE TRABAJO 0 - 1,5 M</p>	<p>EXCAVACIÓN + otros</p>	<p>EMBARCACIÓN DE DRAGADO SIN CERTIFICAR</p>	<p>MOVILIDAD Y SEGURIDAD EN EL AGUA LIMITADAS inestable en aguas con una profundidad superior a 1,5 m</p>	<p>DEPENDE DEL MODELO montaje in situ y, a menudo, necesidad de grúa</p>	<p>EXCAVACIÓN EN ZONAS DE HUMEDALES, AGUAS CON UNA PROFUNDIDAD DE 0 M - 1 M</p>
<b>EXCAVADORA MONTADA EN BARCAZA</b> 	 <p>PROFUNDIDAD DE TRABAJO 1,5 - 6 M</p>	<p>EXCAVACIÓN + otros</p>	<p>NOT A CERTIFIED DREDGING VESSEL</p>	<p>MÓVIL SOLO EN AGUAS ABIERTAS no adecuada para profundidades de 0 a 1,5 m</p>	<p>POR PIEZAS montaje in situ y necesidad de grúa</p>	<p>EXCAVACIÓN EN AGUAS CON UNA PROFUNDIDAD DE 2 M Y MÁS</p>
<b>DRAGA DE SUCCIÓN CONVENCIONAL</b> 	 <p>PROFUNDIDAD DE TRABAJO 1,5 - 6 M</p>	<p>DRAGADO POR SUCCIÓN</p>	<p>EMBARCACIÓN DE DRAGADO TOTALMENTE CERTIFICADA</p>	<p>MÓVIL SOLO EN AGUAS ABIERTAS no adecuada para profundidades de 0 a 1,5 m</p>	<p>POR PIEZAS montaje in situ y necesidad de grúa</p>	<p>DRAGA POR SUCCIÓN AGUAS CON UNA PROFUNDIDAD DE 2 M Y MÁS</p>

(“Draga multipropósito anfibia · Watermaster,” n.d.)