

## DIQUES Y ESTRUCTURAS PARA EL FUNCIONAMIENTO AMBIENTAL DE LA CIENAGA EL LLANITO Y SAN SILVESTRE – BARRANCABERMEJA COLOMBIA.

### **Autor**

J.A. Murcia Plaza, Project Management Engineer Universidad de Los Andes Colombia, Civil Engineer Universidad Nacional de Colombia, Turn Key Project Department, member Mexichem Colombia SAS, Bogota, Colombia.

### **COAUTOR**

F.W. Carballo, CEO Geobiotechnica SAS, MBA Universidad del Norte Barranquilla Colombia, Civil Engineer Universidad Javeriana Bogota Colombia.

C.A. MORENO. Commercial Manager Region Center Mexichem Colombia SAS, Msc Geotechnics, Civil Engineer Universidad Nacional de Colombia Bogota Colombia.

### **RESUMEN**

El impacto ambiental ocasionado por ser humano, junto con la meta de no incrementar más de 2° C la temperatura promedio mundial para el 2100 es el reto más grande que ha enfrentado la humanidad, nosotros como ingenieros civiles debemos generar obras y proyectos que logren proteger y garantizar la sustentabilidad ambiental, cumpliendo con las necesidades de la sociedad. En Colombia debido a la construcción de la Hidroeléctrica sobre el río Sogamoso en el departamento de Santander, los ecosistemas ubicados aguas abajo de esta, sufrirían graves daños ambientales debido al decrecimiento de los niveles del río, por esta razón se construyó una serie de diques y estructuras hidráulicas para salvaguardar los niveles de las ciénagas el Llanito y San Silvestre, ecosistemas muy ricos en Biodiversidad que albergaban especies en peligro de extinción como el Manatí antillano, y de los cuales dependen una comunidad de pescadores de alrededor de 1000 familias. La construcción de estos diques involucraba un reto técnico y ambiental que la tecnología de construcción tradicional no podía cumplir, debido a esto se aplicaron soluciones con Geosintéticos que lograron la construcción de estas obras sin mayor deterioro ambiental, instalando de alrededor de 12.000 Geobags llenas con material arenoso de la zona y recubiertas con un sistema de formaleta flexible en concreto, el cual protegía la estructura de posibles ataques o deterioro, la construcción de estas obras significó el aumento del nivel de las ciénagas en más de 40 cm, logrando la sostenibilidad de estos ecosistemas y de la comunidad.

### **ABSTRACT**

The environmental impact cause by the human being action, together with the goal of not increasing more than 2 ° C the global average temperature for 2100 is the biggest challenge that humanity has faced, we as civil engineers must generate works and projects that protect and guarantee environmental sustainability while meeting the needs of society. In Colombia, due to the construction of a hydroelectric plant on the Sogamoso river in the state of Santander, the ecosystems located downstream of it would suffer serious environmental damage due to the decrease in river levels, for avoid this a series of dikes and hydraulics structures were built to safeguard the levels of the Llanito and San Silvestre swamp, ecosystems very rich in Biodiversity that harbored endangered species such as the Antillean Manatee, and on which a fishing community of around 1000 families depended, the construction of these dikes involved a technical and environmental challenge that conventional construction methodologies wasn't enough, through the Geosynthetics technology, the construction of these works was achieved without major environmental impact, accomplishing the installation of around 12,000 Geobags filled with sandy material from the area and covered with a flexible framework system which protected the structure from possible attacks or deterioration, the construction of these works meant the increase of the level of the swamp by more than 40 cm, achieving the sustainability of these ecosystems and the community.

## 1. INTRODUCCION

Compartir las buenas prácticas y tecnologías innovadoras que han mostrado buenos resultados es una de las principales herramientas para replicar experiencias y disminuir el impacto ambiental que supone la acción del hombre sobre la tierra, este proyecto contempla varias aplicaciones con Geosintéticos que potencian los beneficios de esta tecnología utilizando materiales de sitio, generando menores movimientos de materiales, manejando materias primas no nocivas para el medio ambiente, y logrando implantar un proyecto en un área de conservación ambiental con resultados positivos para el medio ambiente. Este proyecto parte como un requerimiento ambiental dado el posible daño que la construcción de una represa hidroeléctrica suponía para este ecosistema, buscamos que mediante su socialización podamos replicar esta tecnología generando menores impactos ambientales en la sociedad.

El crecimiento y la demanda de infraestructura para las necesidades de la sociedad se ha convertido en un gran desafío, la disponibilidad de recursos es cada vez más limitada y los requisitos de infraestructura son mayores, las tecnologías aplicadas a la industria requieren una construcción innovadora, sostenible, ecoeficiente y duradera que reduzca el impacto ambiental y la huella de carbono que produce. Actualmente en Colombia la Generación de energía comprende principalmente energía Hidráulica debido a dos factores locativos importantes, el primero es el aprovechando la gran precipitación media promedio en todo el territorio colombiano y la segunda es la trifurcación de la cordillera de los andes que forma tres estructuras montañosas con relieves importantes, que propician la generación de energía eléctrica por medio de Hidroeléctricas.

El Proyecto Hidroeléctrico SOGAMOSO o como se conoce Hidrosogamoso, propiedad de la empresa de origen colombiano ISAGEN, dedicada a la generación de energía y al desarrollo de proyectos de generación, tiene una capacidad instalada de 820 mW y una capacidad de generación de 5.056 Gwh / año, genera alrededor del 8.3% del consumo de energía de Colombia en un año, conformada por una presa con 190 m de altura y cuenta con las 3 unidades de generación mas grandes de Colombia actualmente en operación, el embalse con mayor capacidad de almacenamiento del país con alrededor de 4.800 millones de m3 y cerca de 7000 hectáreas, tuvo un costo de 4,3 billones de pesos, y para su construcción se realizaron 51.3 km de vías, 2 túneles vehiculares 16 puentes y 6 escuelas, su construcción empezó en el 2009 y termino en el 2014, el costo aproximado de la obra fue de 4.3 billones de pesos, en los que se invirtieron 1,2 billones de pesos en el plan de manejo ambiental entre los cuales se encontraba contemplado la protección de los ecosistemas agua abajo.

### 1.1 Ubicación del Proyecto:

La represa esta situada en inmediaciones de la cordillera Oriental, en el valle del rio Sogamoso en su recorrido hacia el Rio Magdalena, Jurisdicción de la ciudad de Barrancabermeja Santander, se encuentran las Ciénagas de El Llanito y San Silvestre (corregimientos de Barrancabermeja).



Ilustración 1: Ubicación general del Proyecto.

En esta vista general de la Ilustración 1: Ubicación general del Proyecto. Podemos observar la complejidad hídrica del sistema compuesto entre el Río Sogamoso, las ciénagas el Llanito y San Silvestre, y el río Magdalena, este complejo hídrico maneja una cuenca que comprende varios departamentos de Colombia, y

que traspasa diversos ecosistemas, en la desembocadura del río Sogamoso en el Río Magdalena se forman las ciénagas el Llanito y San Silvestre, las cuales se alimentan principalmente del río Sogamoso y de quebradas cercanas, este complejo Hidrico es manejado por los niveles del río Magdalena, el cual el río más importante de Colombia, su caudal en este punto de aproximadamente 7.200 m<sup>3</sup>/s, lo convierte en el cuerpo de agua que gobierna los niveles de agua en la zona.

Antes de la construcción de la presa Hidrosogamoso, el río Sogamoso variaba considerablemente su nivel en épocas de sequía y de verano, las ciénagas se alimentaban directamente del agua de este río funcionando como un amortiguador de inundaciones y controlando los flujos de agua, también mantenía unos niveles altos todo el año evitando la mayoría de las veces que el agua del río Magdalena se devolviera por el río Sogamoso y entrara a las ciénagas. Es importante aclarar que el río Magdalena constituye uno de los ríos con mayor carga contaminante de Colombia.



Ilustración 2: Complejo Hidráulico ciénaga Llanito, Ciénaga San Silvestre y río Sogamoso

Este complejo hidráulico se conecta mediante canales denominados “caños”, estos conectan las ciénagas el Llanito y la Ciénaga San Silvestre con el Río Sogamoso, y generan complejos sistemas de flujos que no tienen direcciones fijas variando de dirección dependiendo de la época del año, de los regímenes de precipitación, del nivel del río Magdalena, y posterior a la construcción de la represa Hidrosogamoso de la apertura de las compuertas de esta hidroeléctrica.

La importancia de estas ciénagas radica en la profundidad de sus aguas ya que dependiendo de la temperatura en el fondo de la ciénaga los peces de la zona son más propensos a desovar, por ende, si existen niveles bajos en la ciénaga, los peces no desovan, el ecosistema acuático se ve seriamente afectado, y los pescadores de la zona se quedan sin el sustento diario.

#### PROBLEMÁTICA A SOLUCIONAR

Con la construcción y puesta en marcha de la Hidroeléctrica Hidrosogamoso, se generó una alteración considerable en el complejo hidráulico de estas ciénagas, afectando los regímenes de inundación y vaciado de estas, lo cual perturbó directamente la fauna acuática existente, y a los pobladores que encontraban su sustento en esta fauna acuática, debido a estas razones y a lo estipulado en la licencia ambiental del proyecto, la empresa dueña del proyecto diseñó, propuso y construyó obras que mitigaran la afectación presentada por la construcción de la hidroeléctrica.

Entre muchas de las obras propuestas y construidas por los dueños de la Hidroeléctrica, las obras que más impactaban positivamente la ciénaga se constituían de una serie de diques que disminuían el paso y el flujo de agua, con el fin de mantener los niveles altos de la ciénaga, estos diques fueron diseñados específicamente para disminuir considerablemente los flujos de agua de las ciénagas, teniendo en cuenta que se debía mantener el paso tanto por vía fluvial para los pobladores, como para las múltiples especies que habitaban la zona, se tuvo especial cuidado con una especie el Manatí Antillano, el cual es una especie amenazada de manatí que habita la zona, se cree que solo en la ciénaga el Llanito y San Silvestre habitan alrededor de 200 Manatís de los 2500 existentes en el mundo.

La construcción de estos diques contemplaba los siguientes retos ingenieriles:

- Las obras a construir debían ser lo más amigables con el medio ambiente y enmarcados en la licencia ambiental se deben realizar mediciones de impactos al medio ambiente, mediciones de calidad de agua, aire y lodos, fauna y flora, por lo que se monitoreo antes durante y después el estado ambiental.
- Los lugares donde se proponen a realizar las obras no tenían acceso por vía terrestre, la única manera de alcanzar las obras es mediante los caños y teniendo en cuenta que en época seca la profundidad del caño disminuye considerablemente imposibilitando embarcaciones con calado mayores a 1 metro.
- Las estructuras debían construirse en el menor tiempo posible.
- Podrían presentar inundaciones repentinas debido al aumento del río Sogamoso dificultando la navegabilidad de los caños. además, se presentaba gran cantidad de material Vegetal en el caño denominados tapones o Taruya, la cual imposibilitaba el paso e impedía el desempeño de las lanchas, también el caño presentaba gran cantidad de arrastre de troncos que golpeaban a las lanchas.

#### SOLUCIÓN:

Para el manejo de este problema se planteó la siguiente Solución:



Ilustración 3: Obras a construir para mejorar las condiciones de la Ciénaga el Llanito y San Silvestre.

Los diseños efectuados arrojaron las siguientes obras: Construcción de la estructura de control Caños San Silvestre Construcción de la protección contra la erosión en la Curva del caño San Silvestre Construcción de la estructura del caño Cocos y Construcción de la estructura del caño Chu

Las estructuras y diques propuestos se diseñaron mediante la tecnología de Geobags, estos elementos son bolsas hechas con Geosintéticos que se llenan de diversos materiales con una capacidad de 1 m<sup>3</sup>, los Geobags pueden ser izados varias veces sin problema, pudiendo

#### PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO GENERAL

Para la construcción de las estructuras de control en los caños se realizó el siguiente procedimiento constructivo general. Llenado transporte y manejo de Geobags, Excavación y nivelación del terreno, Instalación de Geobags, Nivelación y conformación de estructuras. Recubrimiento con sistema de Formaleta Flexible.

El llenado de Geobags generalmente en este tipo de proyectos se convierte en la actividad crítica debido a la gran cantidad de unidades requeridas. Los rendimientos de esta actividad dependen del suministro de material de llenado de los Geobags y la cantidad de cuadrillas que puedan destinarse, la metodología que se empleó en el proyecto logro rendimientos entre 100 y 300 diarios.



Ilustración 4: Llenado y costura de Geobags.

Los frentes de Geobags estaban a 10.8 km de distancia del campamento donde se llenaron los Geobags, se movilizaron principalmente mediante lanchas y planchones la totalidad de los Geobags, también se aprovechó material de sitio para llenar estos, pero debido a la gran cantidad de unidades se empleo arena de la zona a tan solo 5 km de distancia.



Ilustración 5: Transporte de Geobags.

La construcción de las estructuras empezaba con la excavación del lecho del caño, este material extraído del lecho del caño se utilizó en gran medida para aumentar los niveles y los taludes de los canales, propiciando una mejor estabilidad cuando se produzcan crecientes importantes de los caños. Debido a que toda la obra no tenía acceso mediante vía terrestre, en los frentes de obra se trabajó mediante planchones, barcazas y remolcadores que hacían las veces de plataformas de trabajo sobre las cuales se desarrollaron los trabajos.



Ilustración 6: Excavación del lecho del caño San Silvestre.

El procedimiento de instalación de las Geobags fue hecho desde planchones con máquina retroexcavadora de brazo largo, y con ayuda de guías en superficie, miras topográficas, buzos de río y sondeos con ecosonda, se acomodaron ordenadamente bajo agua, generando la plataforma estable y solida de las estructuras hidráulicas. Estas estructuras fueron realizadas por personal profesional experto en la colocación

de Geobags en profundidad, operarios de maquinaria de gran experiencia, y buzos de río los cuales tenían gran experticia en la colocación de estos elementos.

Para poder garantizar la conformación correcta de la estructura las Goebags se reordenaron en repetidas ocasiones y se llenaron los intersticios con Bolsas de polipropileno llenas de material de sitio, las cuales funcionaron acomodándose entre los espacios de los Geobags, evitando huecos o fallas en el dique.



Ilustración 7: Instalación de Geobags en las estructuras.

Como acabado final se realizó el revestimiento de las estructuras en formaletas flexibles rellenas de concreto, el concreto se fundió in situ mediante una mezcla de concreto fluido se recubrieron las estructuras para darles un acabado final.



Ilustración 8: sistema de Formaleta Flexible lleno de concreto fluido.

Estructura de Caño San Silvestre:

La estructura del caño San Silvestre, de dimensiones 76,5 m de largo, 62,0 m de ancho, y una altura máxima de 10,5 m en su parte mas profunda, donde se emplearon 8244 m<sup>2</sup> de Geotextil No Tejido de polipropileno 200 gramos, 5200 m<sup>2</sup> de sistema de formaleta Flexible para su recubrimiento fabricado a base de Nylon y Poliester lleno de Concreto in situ, 6893 m<sup>3</sup> de Geobags de 1 m<sup>3</sup> de capacidad hechos en Geotextil Tejido de polipropileno especial para Geobolsas, y un total de 584 m<sup>3</sup> Bolsas de concretos de 1 m<sup>3</sup>. En total se excavaron alrededor de 6863 m<sup>3</sup> con un Tiempo de ejecución de 8 meses.

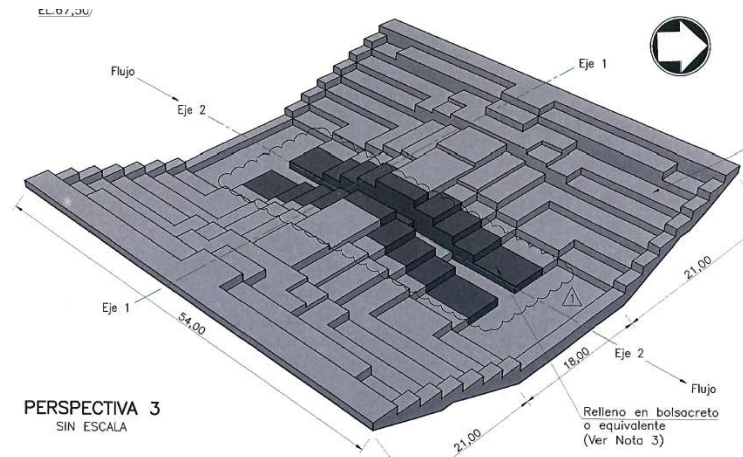


Ilustración 9: Diseño y construcción de la Estructura Caño San Silvestre.

Estructura de protección contra la erosión en el Caño San Silvestre.

Las modelaciones realizadas mostraban un aumento significativo en los caños, generados por las crecientes súbitas de descarga de la hidroeléctrica, por esta razón se requirió la protección de la rivera del Caño principal San Silvestre mediante una combinación de Geosintéticos como Geotextil no tejido, sistema de Formaleta Flexible rellena de concreto y Geobags llenos de suelo cemento, en este punto se protegió 187 metros lineales.



Ilustración 10: Estructura de control de erosión en Caño San Silvestre.

### Dique del Caño Cocos

El dique de 104,3 m de largo, 34,0 m de ancho, y una altura máxima de 5,30 m. donde se usó Geotextil de polipropileno 200 gramos 2078 m<sup>2</sup> Sistema de Formaleta Flexible 1553 m<sup>2</sup> y Geobags 2360 m<sup>3</sup> Volumen de material Excavado 1715 m<sup>3</sup> Tiempo de ejecución 3 meses

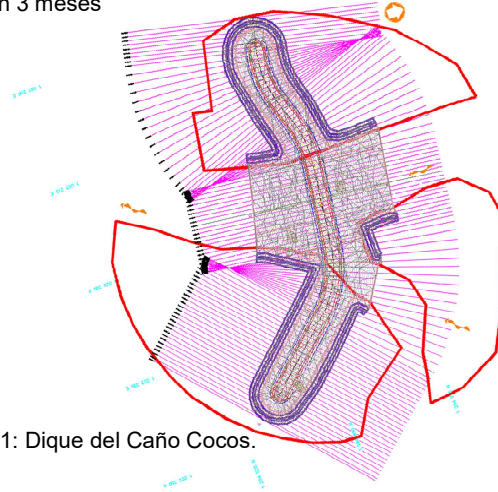


Ilustración 11: Dique del Caño Cocos.

### Dique del Caño Chu

La estructura del Caño Chu de dimensiones 60,2 m de largo, 33,9 m de ancho, y una altura máxima de 6,50 m donde se emplearon, Geotextil no tejido de polipropileno de 200 gramos 1816 m<sup>2</sup> sistema de formaleta flexible 1553 m<sup>2</sup> Geobags 2305 m<sup>3</sup> con un volumen total excavado de 1102 m<sup>3</sup> y un tiempo de ejecución total de 2 meses.

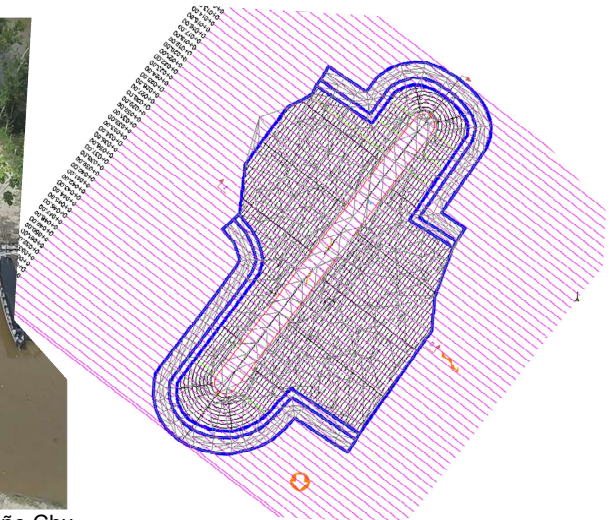


Ilustración 12: Dique Caño Chu.

### CONCLUSIONES.

Mediante el uso de la tecnología en Geosintéticos empleando diversos sistemas (geobolsas, sistemas de formaleta flexible, geotextiles tejidos y no tejidos y metodologías constructivas innovadoras), se logró formular el proyecto utilizando materiales de la zona conjunto con nuevas metodologías de construcción se logró la instalación de Geosintéticos a profundidades grandes en canales con flujos variables, logrando desarrollar el proyecto con bajos costos económicos y sin afectar negativamente la fauna y flora del lugar.

Gracias a la tecnología de Geosintéticos empelada en este proyecto se garantizó mediante la construcción de este proyecto la preservación de los recursos ecológicos a largo plazo, la flora y fauna única del lugar, además de proteger el estilo de vida y sustento de miles de familias que viven de esta ciénaga.