REMEDIAR GANANDO - TRATAMIENTO DE SEDIMENTOS DEL RÍO HUANUNI, COMO ALTERNATIVA DE REMEDIACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO LOCAL DE COMUNIDADES AFECTADAS

Dr.- Ing. Gerardo Zamora E.
M. Sc. Ing. Octavio Hinojosa C.
Dr.- Ing. Antonio Salas C.
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE ORURO

La Cuenca Huanuni, que se encuentra en la Provincia Pantaleón Dalence de la Ciudad de Oruro, presenta problemas ambientales generados por una intensa actividad minero-metalúrgica de la Empresa Minera Huanuni, sin la componente ambiental en sus operaciones.

Dicha actividad de beneficio mineral, genera deshechos que se vierten, sin disposición final o dique de colas, hacia el río que desemboca en el río Sora Sora y finalmente en el Lago Poopó. Estos residuos minerales, con presencia de sulfuros, expuestos al contacto con el aire, sufren un proceso de intensa oxidación asociada con la disolución de metales pesados tóxicos, formación de acidez y generación de sulfato, alterando así la calidad de las aguas superficiales y subterráneas de la zona.

El presente trabajo de investigación enfoca su objeto de estudio al tratamiento de los sedimentos del cauce del Río Huanuni mediante concentración gravimétrica centrífuga para recuperar el Sn fino diseminado; y al mismo tiempo, con las utilidades del proceso, llevar adelante el desarrollo económico local de las comunidades afectadas.

Las pruebas metalúrgicas con muestras de sedimentos del río Huanuni, han permitido obtener concentrados de Sn, a partir de una flotación de sulfuros; concentración gravimétrica centrífuga del now float; y posterior separación magnética, posibles de ser comercializados.

El dimensionamiento de la planta de tratamiento industrial, establece que debe tratarse 5000 TPD; a este ritmo de trabajo el proyecto tendría una duración de 9 años.

El análisis económico muestra datos positivos para el Proyecto; a partir de una inversión de 9 millones de dólares aproximadamente y en un lapso de tiempo de nueve años, se pretende recuperar estaño del lecho del río que se encuentra en interesante cantidad junto con otras impurezas, con tecnología adecuada para la recuperación de finos. El análisis económico establece que a una cotización actual del estaño, en el mercado internacional, de 6.45 $us/libra fina y con una producción de 996,900 libras finas/año, el proyecto es muy rentable, aspecto que permite reinvertir los excedentes en otros proyectos necesarios en la zona afectada.

Los costos de inversión de la planta (equipo y maquinaria), ascienden a 3.2 millones de dólares. Es requerido un capital total de inversión de cerca de 9.0 millones de dólares. La utilidad neta del proyecto es de 2.3 millones de dólares por año.

El Valor Actual Neto (VAN) alcanza la suma de 10 millones aproximadamente, a una tasa de retorno del 30%. La Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanza a 390,60; por lo que, el proyecto, para este caso en particular, es altamente atractivo

REMEDIAR GANANDO - TRATAMIENTO DE SEDIMENTOS DEL RÍO HUANUNI, COMO ALTERNATIVA DE REMEDIACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO LOCAL DE COMUNIDADES AFECTADAS

Dr.- Ing. Gerardo Zamora; M. Sc. Ing. Octavio Hinojosa; Dr.- Ing. Antonio Salas

1. ANTECEDENTES

La cuenca Sora Sora se encuentra localizada en la Provincia Pantaleón Dalence del departamento de Oruro, aproximadamente entre las coordenadas 66º45' de Longitud Este y 18º15' Latitud Sud; limita al Norte con el municipio de Oruro, al Sud con los municipios de Poopó y Antequera, al Este con el Departamento de Potosí y al Este con los municipios de El Choro y Machacamarca, ver figura 1.

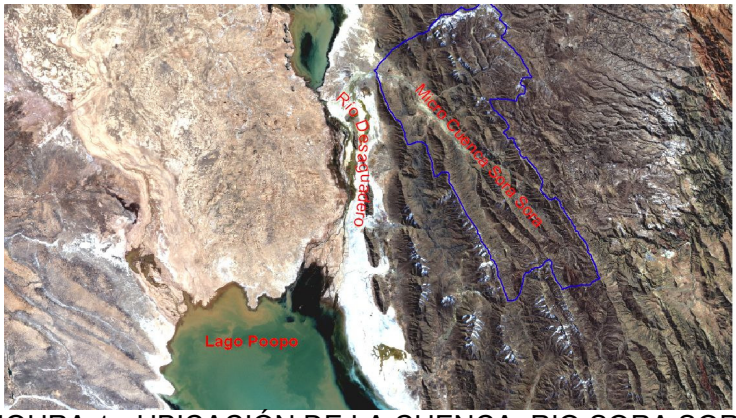


FIGURA 1.- UBICACIÓN DE LA CUENCA, RIO SORA SORA

Esta cuenca está contaminada, principalmente, por la actividad minera; el área afectada comprende 5,86 Km^2, aproximadamente, a partir del punto de descarga de colas del Ingenio Santa Elena hasta el puente, cerca de la localidad de Machacamarca, en la carretera interdepartamental hacia Potosí. El río contaminado continúa bordeando el distrito de Machacamarca hacia el lago Poopó.

Realizar una remediación ambiental de toda esta zona es por demás difícil, especialmente por el aspecto económico que conlleva una actividad de esta envergadura; en efecto, será difícil lograr un financiamiento a fondo perdido para remediar toda la contaminación que actualmente se tiene en la zona; pero, si se recupera parte del contenido de un elemento valioso como es el estaño (como mineral de casiterita) que se encuentra en el lecho del río y acumulado por décadas de actividad minera, se puede allanar esta dificultad y dependiendo de la cotización de este importante elemento en el mercado internacional puede, inclusive, no solo costear todo el proyecto de remediación; sino que, podría subvencionar otros gastos que requiere toda esta compleja tarea y generar ingresos para el desarrollo local.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Contribuir a mejorar la calidad de vida de las comunidades de la subcuenca Huanuni a partir del estudio técnico, económico y ambiental del Tratamiento de los Sedimentos del río como alternativa objetiva y práctica de remediación ambiental y fuente financiera para encarar el desarrollo económico local.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar el diagnóstico socioeconómico y ambiental de la subcuenca
- Caracterizar los sedimentos del lecho del río mediante pruebas geoquímicas estáticas y dinámicas.
- Estudiar la factibilidad técnica, socioeconómica y ambiental de la recuperación del mineral de estaño que se encuentra en fina granulometría en los sedimentos del río, empleando la concentración centrifuga y/o la concentración gravimétrica.
- Proponer alternativas de desarrollo económico local de las comunidades que involucre las componentes técnica, económica, social y ambiental.

3. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

A partir del Estudio de Evaluación Ambiental del Lago Poopó y sus Ríos Tributarios (UTO-MINCO-FUNDECO-KOMEX) 2005/2007, es posible establecer el grado de contaminación de las aguas superficiales, sedimentos y especies bénticas del río Huanuni en su desembocadura hacia el lago Poopó. Los resultados de dicha investigación, demuestran que:

- El río Huanuni, es el río más contaminado por la actividad minera entre los tributarios del Lago Poopó por ser el que excede mayor cantidad de límites permisibles por elementos como Al, Fe, Ni, Cu, Zn y Cd, estos metales son tóxicos.
- El pH del río Huanuni, debajo del puente Machacamarca, es de 2,6 y posiblemente sea aún más ácido aguas abajo debido a la oxidación de las colas de sulfuros del ingenio de Machacamarca que yacen en el lecho del río.
- La concentración de iones sulfato, $SO_4^{=}$, de 1162 mg/l, es muy elevada; es producto de la oxidación de las piritas y el drenaje de aguas ácidas que ingresan o se forman en las playas del río.
- La concentración en sólidos disueltos, de 2562 mg/l, sobrepasan en mucho el límite máximo permisible que es de 1500 ppm.
- La carga ambiental descargada al lago Poopó en los siguientes valores:
  Sólidos en suspensión: 15557 kg/día; Cloruros: 5390 kg/día; Zinc: 1363 kg/día; Arsénico: 124 gr/día; Cadmio: 24,46 kg/día y Plomo: 1,63 kg/día

4. PRUEBAS EXPERIMENTALES

Para lograr los objetivos plateados en este proyecto fueron necesarios efectuar pruebas experimentales con muestras representativas tomadas en diferentes lugares del lecho del río.

4.1. Toma de Muestras

Las muestras se obtuvieron en 3 puntos a lo largo del río Huanuni, cuidando de tomar las mismas a igual profundidad. La altura del lecho o profundidad que fue definida en 60 cm, fue establecida a través de sondeos preliminares observando la presencia de minerales sulfurosos cada 10 cm. El análisis de Sn promedio es de 0.14%

4.2. Pruebas Metalúrgicas

Las pruebas experimentales se realizaron siguiendo el flujograma que se muestra en la figura 2. Un resumen de los resultados alcanzados en las pruebas experimentales se detalla en la tabla 4.

Tabla 1.- Resumen de resultados de las pruebas metalúrgicas

Muestra N°	Producto	Peso total, %	Ley % Sn	Distribución total, %	Contenido de azufre, %
PUNTO 1	Concentrado	0.08	59.38	25.93	
	Sulfuros	1.30	0.50	3.70	25.35
PUNTO 2	Concentrado	0.07	46.14	21.55	
	Sulfuros	1.11	0.90	6.37	24.86
PUNTO 3	Concentrado	0.07	42.54	19.93	
	Sulfuros	0.71	0.90	4.55	25.18

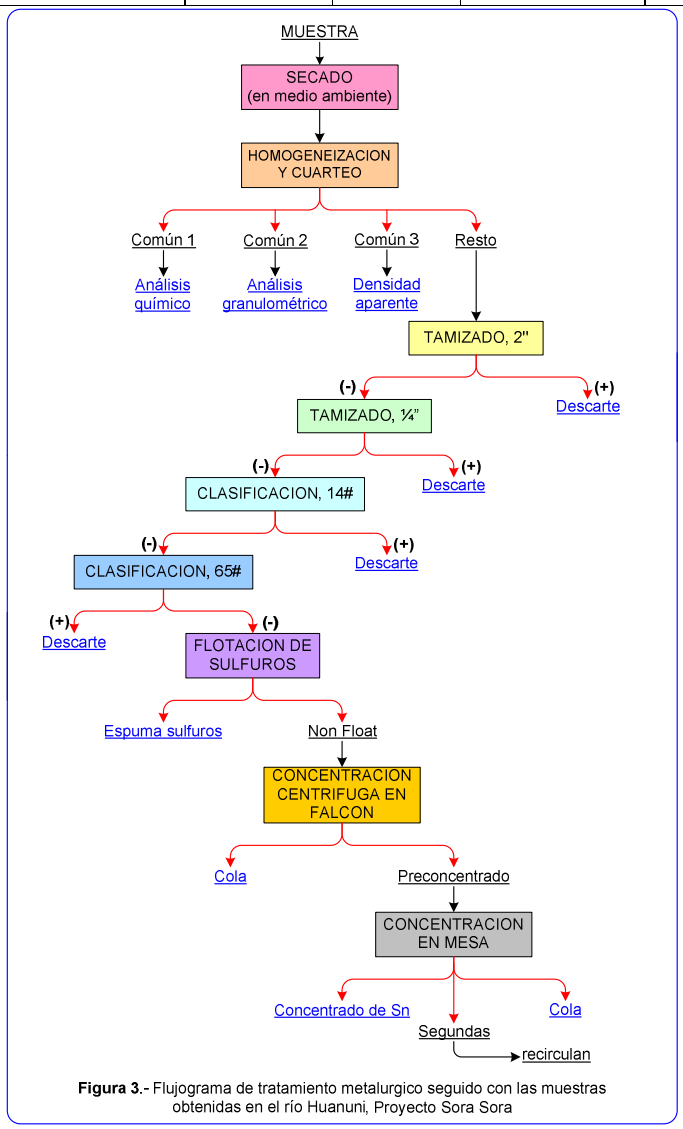


Figura 3.- Flujograma de tratamiento metalurgico seguido con las muestras obtenidas en el río Huanuni, Proyecto Sora Sora

5. EL PROYECTO

El proyecto debe considerar los siguientes aspectos:

Reservas: Se ha calculado una superficie total del lecho del río de 5.86 Km^2 y si se considera el dragado del río hasta una profundidad de 1.5 m, se tendrá un volumen total de

8’790,000 m^3; si la densidad aparente es de aproximadamente 1.7 ton/m^3, se tendrá un tonelaje de 14’943,000 toneladas con un contenido mínimo de estaño de 0.14%.

Agua: La necesidad de agua para un proyecto de esta envergadura, felizmente, no será problema ya que se proveerá del mismo río, el nivel freático de este río está a unos 60 a 80 cm de la superficie.

Tamaño de la planta: Cuanto menor es el contenido de un elemento valioso en el mineral, como en este caso, mayor debe ser el tonelaje tratado y por tanto mayor debe ser el tamaño de la planta para conseguir condiciones de rentabilidad. No se puede pensar en tratar tonelajes menores a 5000 TPD, no sería rentable; este aspecto se analizará mas adelante. También debe considerarse que al tratar un tonelaje importante de carga del lecho del río se obtendrá una cantidad interesante de por lo menos el 1.11% en peso de material sulfuroso y que solamente el 16% en peso, aproximadamente, debe ser tratado para la recuperación de la casiterita, el resto es material de descarte que también debe ser adecuadamente dispuesto, seguramente en la orillas del río.

Tiempo de tratamiento: Otro aspecto importante que debe tomarse en cuenta es el tiempo que se requiere para mover todo el tonelaje mencionado. Seguramente, para autoridades y principalmente, para la población de las comunidades afectadas por la contaminación, este tratamiento debería efectuarse en el menor tiempo posible; por tanto, el tiempo lo determinará el tamaño de la planta y el tamaño de la planta estará en función del resultado económico.

La cotización del estaño: Quizás el factor determinante en este proyecto sea la cotización del Sn; en efecto, hasta hace unos 5 años atrás era imposible imaginarse un proyecto de esta naturaleza que sea autofinanciado, la cotización del estaño estaba alrededor de 2.5 $us/libra fina. Hoy por hoy esta cotización es elevada y puede posibilitar el éxito del proyecto. Se hizo el proyecto para una cotización pesimista de 6.35 $us/libra fina.

Los residuos: Si se efectiviza la construcción y posterior operación de la planta, esta descartará residuos sólidos y líquidos. Gran parte de los residuos sólidos serán gravas gruesas y de diferente granulometría que serán depositadas en la ribera del río y a ambos lados. No será lo mismo con la fracción fina, -65 Mallas Tyler, que debe ser tratada para la recuperación de la casiterita y que debe contar con una etapa de flotación de sulfuros para la recuperación de estos sulfuros usando reactivos. La planta de tratamiento de estos finos debe considerar este aspecto. Tanto para hacer un dique de colas de sulfuros hermético y una unidad de tratamiento de aguas para la descontaminación de reactivos principalmente xantatos y espumantes que por lo demás son de uso muy generalizado en el área.

5.1. DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

La planta fue dimensionada en función de los resultados alcanzados siguiendo el flujograma de la figura 2; por otro lado, también se consideró que el tonelaje de tratamiento de la planta debe ser 5000 TPD, a este ritmo el proyecto durará un tiempo aproximado de 8.5 años.

5.1.1 Planta móvil, Draga

Se requerirá de una draga flotante con una capacidad de extracción de 125 m^3/hr de carga del lecho del río, este volumen equivale a tratar 5000 TPD. En la draga debe instalarse el circuito de cernido y clasificación.

También debe considerarse la posibilidad de instalar los concentradores centrífugos Falcon en la Draga, con la finalidad de evacuar las colas de esta directamente al río.

5.1.2. Planta fija

Esta debe ser diseñada para el tratamiento de 800 TPD, figura 5, que será la fracción fina -0.212 mm que producirá la draga. Esta planta será implementada en un lugar intermedio de la trayectoria del río Huanuni, debe contar con los siguientes equipos:

- 2 equipos de concentración centrifuga Falcon, con capacidad de 400 TPD cada una.
- 10 Mesas concentradoras con capacidad de tratamiento de 232 TPD
- 1 Batería de celdas con capacidad de tratamiento de 59.5 TPD

Estos equipos y otros que son necesarios, deben ser instalados en la futura planta de procesamiento, de acuerdo a lo que se ha esquematizado en la figura 5.

5.2. DIMENSIONAMIENTO, SELECCIÓN Y VALOR DE LOS EQUIPOS

El cálculo de capacidades y tamaño de maquinaria requerida tanto en la Draga como en la planta de concentración, permite presentar a continuación los equipos y maquinaria requeridos:

Tabla 2.- Equipamiento requerido para la Planta de concentración, Proyecto Sora Sora

N°	Can-tidad	Descripción	Potencia total, HP
1	1	Draga cap. 125 m^3/h	
2	3	Trommel 4' x 12'	30
3	3	Correa trans. de 24" x 15 m	60
4	3	Cedazo vibratorio 4' x 6'	12
5	2	Bomba centrífuga 5" x4"	30
6	2	Distribuidor de carga y/o pulpa	-
7	2	Acondicionador de pulpa 6' x 6'	10
8	2	Concentrador Falcon, cap. 400 tpd	
9	10	Mesa concentradora N° 6, lamera	20
10	1	Tanque acondicionador 4' x 4'	2
11	1	Batería de 6 celdas N° 18 SP	15
12	1	Separador magnético	
13	2	Bomba centrífuga de 4" x 3"	20

5.3 PRESUPUESTO Y ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO

5.3.1 Equipos

La inversión programada en lo referente a la compra de maquinaria y equipo, para el proyecto de recuperación de estaño de la Cuenca de Sora Sora, se detalla en la tabla 3.

Tabla 3.- Costo de los equipos requeridos para la Planta de beneficio

Nº	Cantidad	Descripción	Potencia HP	Valor, $us Unitario	Valor, $us Total
1	1	Draga cap. 125 m^3/h		2.000.000	2.000.000
2	3	Trommel 4' x 12'	30	56.500	169.500
3	3	Correa trans. de 24" x 15 m	60	26.000	78.000
4	3	Cedazo vibratorio 4' x 6'	12	43.200	129.600
5	2	Bomba centrífuga 5" x4"	30	29.750	59.500
6	2	Distribuidor de carga y/o pulpa	-	1.000	2.000
7	2	Acondicionador de pulpa 6' x 6'	10	15.000	30.000
8	2	Concentrador Falcon, cap. 400 tpd		150.000	300.000
9	10	Mesa concentradora N° 6, lamera	20	35.800	358.000
10	1	Tanque acondicionador 4' x 4'	2	10.000	10.000
11	1	Batería de 6 celdas N° 18 SP	15	17.000	17.000
12	1	Separador magnético		15.000	15.000
13	2	Bomba centrífuga de 4" x 3"	20	20.000	40.000
			TOTAL EQUIPOS		3.208.600

5.3.2. Inversión total

Asimismo, tomando como referencia literatura especializada al respecto, se tiene la tabla 4, en la que se detalla la inversión que se requerirá para la implementación de la Planta de tratamiento.

Tabla 4- Detalle de la inversión para la Planta de beneficio

ITEM	INVERSIÓN	$us
1	Total inversión de equipos	3.208.600,00
2	Costo de equipo instalado	4.588.298,00
3	Tuberías del proceso	550.595,76
4	Instrumentación	137.648,94
5	Edificios y desarrollo del lugar	1.605.904,30
6	Instalaciones auxiliares	458.829,80
7	COSTO TOTAL DE LA PLANTA FÍSICA	7.341.276,80
8	Imprevistos	734.127,68
9	COSTO CAPITAL FIJO	8.075.404,48
10	Capital de trabajo	969.048,54
	CAPITAL TOTAL DE INVERSIÓN	**9.044.453,02**

5.3.3. Estructura de costos

La estructura de costos, a partir de una producción anual de 996,900 libras finas/año, se muestra en la tabla 5.

Tabla 5.- Estructura de costos del proyecto

	COTIZACION DEL ESTAÑO, $us/libra fina			
DESCRIPCION	**6.45**	**5.0**	**3.5**	**6.45/55%***
1. Ingreso bruto	6'430,005.00	4'984,500.00	3'489,180.00	3'536,502.00
2. Costo variable	1'030,167.00	1'030,167.00	1'030,167.00	1'030,167.00
3. Costo fijo	213,594,07	213,594.07	213,594.07	213,594.07
4. Pago intereses, 12%	976,800.93	976,800.93	976,800.93	976,800.93
5. Depreciación	356,511.11	356,511.11	356,511.11	356,511.11
6. Utilidad antes imptos.	3'852,931.89	2'407,426,89	912,076.89	959,429.64
7. Impuesto utilidad, 25%	963,232.97	601,856.72	228,019.22	239,857.41
8. Utilidad después impts.	2'889,698.92	1'805,570.17	684,057.67	719,572,23
9. Depreciación	356,511.11	356,511.11	356,511.11	356,511.11
10. Amortización	904,445.30	904,445.30	904,445.30	904,445.30
11. Flujo de fondos neto	2'341,764.73	1'257,635.98	136,123.48	171,638.04

*Se refiere a una baja de la producción de estaño hasta un 55%

En la tabla anterior, se muestra que a una cotización pesimista de 6.45 $us/libra fina, el proyecto es rentable y con excedentes para afrontar la realización de otros proyectos complementarios para desarrollar la agropecuaria de la zona afectada por la contaminación. Esta situación se da, con algunos excedentes hasta una cotización de 4.0 $us/libra fina; a una cotización un tanto menor como 3.5 $us /libra fina, el proyecto de la remediación ambiental del río todavía puede realizarse, pero sin la producción de excedentes. Si la cotización baja de 3.5 $us/libra fina, el proyecto se torna no rentable.

En la ultima columna de la tabla 8, se puede ver un calculo, a una cotización de 6.45 $us/libra fina, de la situación en la que la producción de estaño pueda decrecer hasta un 55%, es decir, que no se produzcan las 996,900 libras finas de estaño programadas sino solamente el 55% de este valor; aun en estas condiciones extremas de producción, el

proyecto de remediación todavía puede darse, pero sin la producción de excedentes. Naturalmente que también podría producirse una interacción de los dos parámetros, que disminuya la cotización del estaño y que sufra un decremento la producción de estaño.

7. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos y el correspondiente análisis de estos, se puede concluir lo siguiente:

- Es absolutamente factible recuperar el estaño del lecho del río Huanuni en condiciones favorables para promover la remediación ambiental y generar excedentes para el desarrollo productivo de la sub cuenca.
- La caracterización de los sedimentos del lecho del río han permitido establecer la presencia del mineral de estaño liberado del resto de los minerales y en fina granulometría, también se ha evidenciado la presencia de una importante cantidad de sulfuros. El Potencial Neto de Neutralización es de 32.53 kg $CaCO_3$/t sedimento.
- El retratamiento de los sedimentos del río Huanuni, en las pruebas experimentales, ha demostrado ser una técnica viable para recuperar el mineral de estaño que se encuentra en fina granulometría, empleando la concentración centrifuga y/o la concentración gravimétrica. Es posible obtener concentrados en promedio de 43% de ley y recuperaciones de 20%.
- El dimensionamiento de la planta de tratamiento industrial, establece que debe tratarse 5000 TPD; a este ritmo de trabajo el proyecto tendría una duración de 9 años.
- El análisis económico establece que a una cotización actual del estaño, en el mercado internacional, de 6.45 $us/libra fina y con una producción de 996,900 libras finas/año, el proyecto es muy rentable, aspecto que permite reinvertir los excedentes en otros proyectos necesarios en la zona afectada.
- Los costos de inversión de la planta (equipo y maquinaria), ascienden a 3.2 millones de dólares. Es requerido un capital total de inversión de cerca de 9.0 millones de dólares. La utilidad neta del proyecto es de 2.3 millones de dólares por año.
- El análisis económico, también muestra que el proyecto puede llevarse a cabo aun cuando la cotización del estaño descienda hasta 3.5 $us/libra fina manteniendo la producción de estaño constante; lo mismo puede decirse en caso de que la producción descienda hasta un 55% del programado, manteniendo la cotización de 6.45 $us/libra fina.
- Las utilidades del proyecto deben ser empleadas para el desarrollo local de las comunidades afectadas a través de:

    - Plan de conservación, recuperación y protección de la fauna y flora con una inversión de 7.4 millones de dólares aproximadamente
    - Plan de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales con una inversión aproximada de 3.3 millones de dólares aproximadamente.