

MODELO PRE COMERCIAL

NANO-BIORREMEDIACIÓN EN CURTIEMBRES

Investigación y desarrollo de un sistema de nano-biorremediación para el tratamiento de aguas residuales de las curtiembres en la cuenca alta del río Bogotá del departamento de Cundinamarca







1. Introducción

La industria del procesamiento del cuero ha pasado por cambios importantes dadas las regulaciones medioambientales globales y locales. Los compuestos orgánicos volátiles, los metales pesados y los residuos de las operaciones de post-secado y acabado fueron creando una gran preocupación, generando una gran cantidad de desechos sólidos como el lodo de cal y el lodo de cromo que terminan en nuestros ríos. De esta problemática general se constituyó el proyecto de investigación y desarrollo de un sistema de nano-biorremediación para el tratamiento de aguas residuales de las curtiembres en la cuenca alta del río Bogotá del departamento de Cundinamarca.

El presente documento nace de los resultados del proyecto generando un modelo pre comercial para la implementación escalada del piloto desarrollado, detallando los procesos establecidos en la metodología propuesta.

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Gobernación de

Cundinamarca por brindar los espacios de confianza y facilitar el contacto con la industria de las curtiembres en la cuenca alta del río Bogotá. Su apoyo y colaboración fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación y la consecuente implementación del sistema piloto de nano-biorremediación.

Asimismo, deseamos extender nuestro reconocimiento al Sistema General de Regalías por la financiación otorgada, la cual resultó vital para la ejecución exitosa de este proyecto. Su compromiso con el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente ha permitido materializar iniciativas innovadoras como la que presentamos en este documento.

Estamos profundamente agradecidos por la confianza depositada en nuestro equipo y por la oportunidad de contribuir al mejoramiento de las condiciones ambientales en la cuenca alta del río Bogotá.

2. Antecedentes

El presente documento nace como resultado del proyecto *“INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE NANO-BIORREMEDIACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS CURTIEMBRES EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA”* donde se conformó una alianza donde participaron como cooperantes la Universidad Central y la Gobernación de Cundinamarca, teniendo como origen el interés común de las dos instituciones en realizar investigación con pertinencia a la sociedad y en concordancia con los planes de desarrollo tanto a nivel departamental como a nivel nacional.

El grupo de investigación de la Universidad Central en Nanotecnología, Bioingeniería y Transferencia Tecnológica, clasificado A1 en la convocatoria de categorización de grupos del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación de 2021 y el equipo de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación del Departamento de Cundinamarca, iniciaron el trabajo conjunto en el 2018 cuando realizaron visitas a la comunidad de Villapinzón donde identificaron algunas necesidades del gremio curtidor. La experiencia de las dos instituciones en ejecución de proyectos de investigación garantizó el éxito del proyecto lo que permitió brindar una alternativa al problema del tratamiento de los vertimientos.



Sistema General de Regalías



UNIVERSIDAD
CENTRAL
Ignacio Márquez



Gobernación de
Cundinamarca

Como parte de la metodología propuesta para el desarrollo del proyecto en términos de un modelo pre comercial, se realizó un estudio del estado actual del mercado, por lo que al inicio del proyecto se identificó que en Cundinamarca se concentraba cerca del 80% del total de las empresas curtidoras del país con una producción promedio de 103.000 cueros al mes, generando el 38% de la producción nacional (Martinez Buitrago, 2017). Además, se ha estimado que durante el proceso de transformación de las pieles en cuero se consumen aproximadamente 100 m³ por tonelada de piel bruta salada (Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2012). Con base en los datos anteriores y teniendo en cuenta que una piel procesada en peso húmedo equivale aproximadamente a 30 kg podemos inferir que mensualmente en este sector productivo de Cundinamarca se consume aproximadamente 300 m³ de agua que se convierten en vertimientos, algunos de los cuales son dispuestos en la cuenca del río Bogotá sin tratamiento previo.

En los municipios de Villapinzón y Chocontá el curtido es la principal fuente de ingresos para sus habitantes, ya que genera alrededor de 4.000 empleos entre directos e indirectos (Ledesma, 2017). No obstante, también resalta como la principal problemática ambiental que afecta a las fuentes hídricas circundantes de la región, siendo el Río Bogotá la más importante y la más perjudicada. Debido a esto, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, estableció en su momento como línea base de carga contaminante para la cuenca alta en la actividad del curtido, parámetros como la demanda biológica de oxígeno (DBO) y los sólidos sedimentables totales (SST) de 49,97 tonelada/año y 115,33 tonelada/año, respectivamente (CAR, 2014). No obstante, en los años 2017 y 2018, el Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá (ORARBO, 2017), reportó una carga contaminante de 113,12 tonelada/año en los SST y de 161,51 tonelada/año para DBO en la cuenca alta, significando esto que se dispone en el río casi el doble de la línea base.

En los últimos cinco años se ha observado una disminución en el índice de la calidad del agua (ICA) de la cuenca alta del Río Bogotá después de su paso por los municipios de Villapinzón y Chocontá. Este índice permite conocer las condiciones de la calidad de un cuerpo de agua en función de su composición fisicoquímica y microbiológica (CAR, 2019). Aguas arriba, el índice se encuentra entre 0,80 y 0,90 (siendo 1,0 el máximo para agua no contaminada) mientras que aguas abajo del municipio el valor está entre 0,35 y 0,5, valores que sobrepasan ampliamente las

metas para la calidad del agua establecidos por la CAR en su Acuerdo 043 de 2006 (CAR, 2006). El cambio en el índice es generado por una importante pérdida de oxígeno disuelto e incremento de materia orgánica, además de otros parámetros como cloruros, sulfatos, conductividad, contenido de sólidos y cromo (CAR, 2019). La secretaria distrital de ambiente de Bogotá ha estimado que una curtiembre puede llegar a generar vertimientos que se caracterizan por altos valores de demanda química de oxígeno (DQO) [$3-10 \text{ g L}^{-1}$], DBO [$0,5-4 \text{ g L}^{-1}$], sólidos totales disueltos (STD) [$5-15 \text{ g L}^{-1}$], Cromo (VI) [$5-20 \text{ mg L}^{-1}$], Cromo (III) [$0-300 \text{ mg L}^{-1}$], sulfuros [$> 200 \text{ mg L}^{-1}$] y compuestos fenólicos [$100-500 \text{ mg L}^{-1}$], con fuerte olor y color café.

Por otra parte, las empresas curtidoras de Cundinamarca deben enfrentarse al reto de cumplir con los requerimientos exigidos por la autoridad ambiental. Hacia el año 2018, los permisos de vertimientos en la región de Villapinzón y Chocontá oscilaron cerca de 200 solicitudes (CAR, 2018); esto sumando a los 35 ya aprobados en su momento, que contrastaban con las 120 empresas registradas oficialmente dedicadas a esta actividad económica (CAR, 2019). Estos datos demuestran que la actividad estaba en aumento, creando la necesidad de gestionar y ejecutar proyectos de índole tecnológico que contribuyeran tanto en la optimización de la principal fuente de ingresos y desarrollo de los municipios en mención a través de las buenas prácticas ambientales, como en la protección y conservación de uno de los Ríos más importantes para el departamento de Cundinamarca.

3. Desarrollo Piloto - Modelo Pre Comercial

Teniendo en cuenta los antecedentes presentados y el desarrollo del proyecto de investigación, recogemos en este apartado los datos correspondientes y relevantes para el desarrollo de un modelo pre comercial de la planta piloto desarrollada como resultado de la implementación. Para datos técnicos del desarrollo experimental, técnico y tecnológico, por favor dirigirse a los documentos respectivos del proyecto (fuente a desarrollar una vez publicados los resultados).

De acuerdo a las necesidades planteadas en la problemática, el proyecto planteó y desarrolló una planta a escala piloto para realizar el proceso de nano-biorremediación. Para ello, se inició con un estudio general de costos, teniendo en cuenta fuentes secundarias en procesos de curtiembres (Tapia, 2019), (Bernal Rubiano, 2022) y (Aguilar Ruelas, 2021), dividiendo el análisis en costos de producción y costos de tratamiento por cuero producido en etapas, dando un aproximado en pesos colombianos (tablas individuales) para finalmente llegar a un total en dólares de una orden referencia de 800 cueros. Esto hace parte del estudio tecnológico, financiero, administrativo y de suministros, establecidos en la metodología del proyecto

Costos de producción

Primero se revisó el costo relacionado para la producción de cuero tratado, por lo que se separó el proceso en etapas según el estudio realizado basado en las fuentes mencionadas.

Etapa 1 - Salado

Materia Prima	Valor
Cuero	30000
Sal Industrial	2800
Mano de Obra	Valor
Operario Fijo	208,64
CIF	Valor
Sal de segunda	1400
Cerdas	370,5
Total	34779,14

Etapa 2 - Sulfurado

Materia Prima	Valor
Sulfuro	1250
Cal	600
Mano de Obra	Valor
Operario Fijo	208,64
CIF	Valor
Servicio de Luz	222,5
Pelo	890,63
Tratamiento de agua	3250
Total	6421,77

Etapa 3 - Descarnado

Mano de Obra	Valor
Operario Fijo	208,64
Operario descarnado	1600
CIF	Valor
Servicio de Luz	111,25
Unche	125
Total	2044,89

Etapa 4 - Encalado

Materia Prima	Valor
cal	225
Mano de Obra	Valor
Operario Fijo	133,93
Total	358,93

Etapa 5 - Dividida

Mano de Obra	Valor
Operario Fijo	208,64
Operario de Dividir	2500
Operario Transporte	500
Total	3208,64

Etapa 6 - Curtido

Materia Prima	Valor
Jabon	18,75
Coropón	97,5
Maxipón	936
Bisulfito	87,5
Sulfato	123,75
sellanon	175
Sal industrial	140
Ácido sulfúrico	342
Cromo	3906,25
Bicarbonato	150
Mano de Obra	Valor
Operario Fijo	208,64
CIF	Valor
Servicio de Luz	370,83
Aserrín Húmedo	106,88
Tratamiento de agua	1625
Total	8288,1

Etapa 7 - Rebajada

Materia Prima	Valor
Aserrín de madera	333,33
Mano de Obra	Valor
Operario Fijo	208,64
Operario Rebajada	2500
CIF	Valor
Servicio de Luz	111,25
Aserrín Seco	1781,25
Total	4934,47

Etapa 8 - Re-curtido

Materia Prima	Valor
Bicarbonato	300
Cromo	500
Formiato	400
Re-curtiente	550
Mano de Obra	Valor
Operario Fijo	208,64
CIF	Valor
Servicio de Luz	27,81
Total	1986,45

Etapa 9 - Teñido

Materia Prima	Valor
Tinta amarilla	600
Dioxido	400
Grasa policuero	2560
Ácido sulfúrico	228,57
Mano de Obra	Valor
Operario Fijo	208,64
CIF	Valor
Tratamiento de agua	1625
Servicio de Luz	2966,67
Total	8588,88

Total para orden referencia de 800 cueros

Unitario	Cantidad Por Orden de producción	Costo Total por orden de produccion	USD
67402,63	800	53922104	10784,42

Costos de tratamiento

Después de recopilar información aproximada en el estado del arte acerca de los costos de producción del cuero, se hizo un acercamiento a los costos de tratamiento del agua relacionados a los procesos de curtiembres, basado en las mismas fuentes secundarias mencionadas en la sección anterior en dólares.

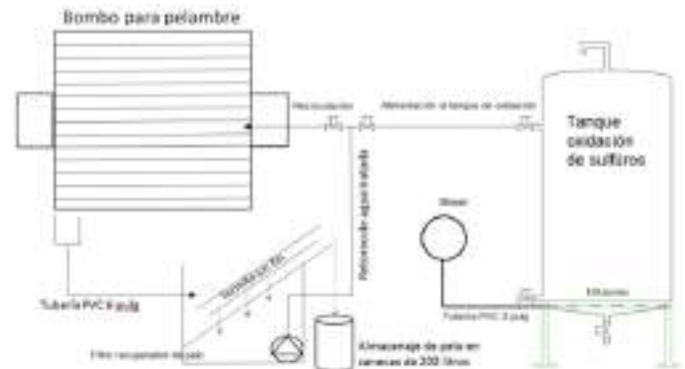
Costo sistema de tratamiento convencional

Equipo	Número de unidades	Costo equipos (Dólares)	Costo de instalación (Dólares)	Costo Total (Dólares)
Bananas para recolectar efluentes de pelambre	2	1100	200	1300
Filtro recuperador de pelo	1	5100	500	5600
Unidad de oxidación de sulfuros	1			180
Difusores	24	1080	120	1200
Tubo de conexión de aire a los difusores	6	210	120	330
Blower	1	690	300	990
Bananas de recolección de efluentes de curtido	2	900	200	110
Bomba alimentadora de la unidad de precipitación de cromo	1	664,3	100	764,3
Unidad de precipitación de cromo	1	3867	400	4267
Eras de secado para lodos con cromo	2	600	100	700
Tanque de homogenización	1	7317		7317
Bomba Alimentadora para el filtro de solidos	1	2000	20	2020
Filtro de solidos	1	5500	300	5800
Bomba dosificadora 1	1	280,41	60	340,41
Bomba dosificadora 2	1	280,41	60	340,41
Serpentín para la mezcla de productos coagulantes y floculantes	1	400	200	600
Unidad de sedimentación final	1	11697	400	12097
Tanque alimentador del compactador de lodos	1	2033	200	2233
Máquina compactadora de lodos	1	13400	150	13550
Costo Total				59739,12

Costo de mantenimiento y operación, gasto de energía

Equipo	Potencia(kW)	Horas de funcionamiento semanal/trabajo	Precio kW/h (USD) Salario	Costo mensual (USD)
Filtro recuperador de pelo	9	2	0,12	8,64
Blower	4	10	0,12	19,2
Bomba alimentadora de la unidad de precipitación de cromo	0,75	5,5	0,12	1,98
Bomba Alimentadora para el filtro de solidos	1,1	5,5	0,12	2,9
Filtro de solidos	1,5	5,5	0,12	3,96
Bomba dosificadora 1	0,37	5,5	0,12	0,973
Bomba dosificadora 2	0,25	5,5	0,12	0,641
Compactador de lodos	1,1	6,5	0,12	3,27
Operario		20		182
Costo Total/Mes				223,564

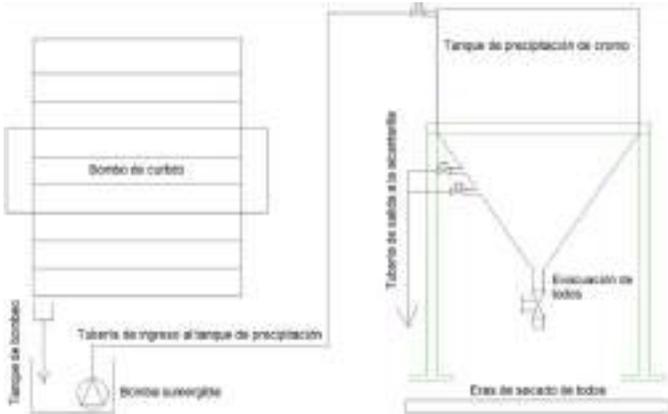
Equipos convencionales para proceso y tratamiento de pelambre



Costo mantenimiento y operación mensual

Elemento	Volumen de agua semanal (m3)	Cantidad kg	Costo unitario dólares	Tiempo de trabajo	Costo al mes (USD)
Sulfato de manganeso	26,1	26,1	0,6	15,66	62,64
Soda cáustica	7,48	22,44	0,58	13,015	52,06
Coagulante	240	290	2,1	609	2436
Floculante	240	120	1,8	216	864
Costo por tratamiento de lodos de la unidad de precipitación de cromo	1,48	74	0,45	3,33	133,2
Costo Total/Mes					3547,9

Equipos convencionales para proceso y tratamiento de curtido

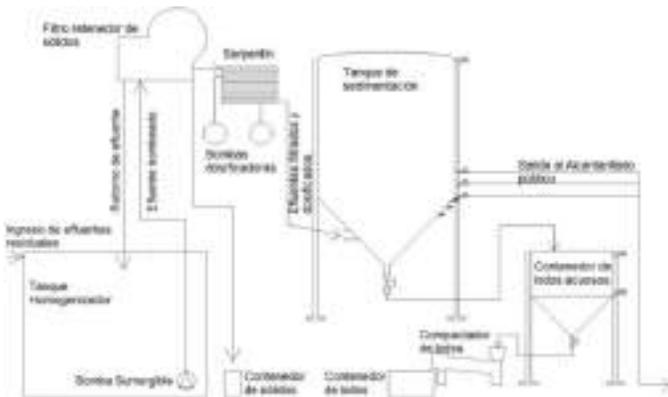


Luego de establecer el estudio inicial de costos presentado, se establecen los costos necesarios para la implementación del prototipo de planta piloto descrita en el proyecto presentado para realizar el proceso de nano-biorremediación.

Teniendo en cuenta que la construcción se basa de resultados de un proceso de investigación, el desarrollo presenta costos altos mientras se comprueban las hipótesis presentadas en la concepción de la propuesta.

Una vez concluido el proyecto, las proyecciones de escalamiento presentan la disminución respectiva al pasar de piloto a una posible implementación con un modelo pre comercial.

Equipos convencionales para proceso y tratamiento de curtido



A continuación se presentan los costos iniciales proyectados para la implementación de la planta piloto del sistema de nano-biorremediación.

MATERIALES E INSUMOS	Unidad de medida	CANT.	VALOR UNITARIO	TOTAL
Acido Nitrico (HNO3)	1 Litro	5	\$ 196.830	\$ 984.150
Fosfato monoácido de potasio (K2HPO4)	1 kilogramo	1	\$ 285.000	\$ 285.000
Fosfato sódico heptahidratado	1 kilogramo	1	\$ 390.000	\$ 390.000
Cloruro de amonio (NH4Cl)	500 gramos	2	\$ 95.000	\$ 190.000
Sulfato de magnesio heptahidratado	500 Gramos	2	\$ 198.000	\$ 396.000
Cloruro de calcio (CaCl2)	1 kilogramo	1	\$ 285.000	\$ 285.000
Cloruro férrico hexahidratado (FeCl3).6H2O	500 gramos	1	\$ 395.000	\$ 395.000
Acido sulfúrico (H2SO4)	1 Litro	5	\$ 250.000	\$ 1.250.000
Hidróxido de sodio (NaOH)	1 kilogramo	5	\$ 182.000	\$ 910.000
Sulfito de Sodio	1 kilogramo	1	\$ 152.800	\$ 152.800
Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado	1 kilogramo	1	\$ 275.000	\$ 275.000
Acido Gallico	100 gramos	2	\$ 782.000	\$ 1.564.000
Carbonato de sodio (Na2CO3)	100 gramos	3	\$ 450.000	\$ 1.350.000
Reactivo de Polin	500	1	\$ 245.000	\$ 245.000
1,5-difenilcarbazona	100 gramos	2	\$ 1.660.000	\$ 3.320.000
Alcohol etílico 70%	Litros	6	\$ 120.050	\$ 720.300
Acetona	1 Litro	6	\$ 150.000	\$ 900.000
Acido fosfórico (H3PO4) (al 25%)	1 litro	1	\$ 450.000	\$ 450.000
Fluato de hidrógeno de potasio (C8H5KO8)	1 kilogramo	1	\$ 281.200	\$ 281.200
Dicromato de potasio	2 kilogramo	1	\$ 350.000	\$ 350.000
Bicarbonato de sodio anhidro (NaHCO3)	1 kilogramo	1	\$ 25.000	\$ 25.000
papel de filtro grado 42 libre de ceniza	caja con 100 unidades	7	\$80.500,00	\$ 563.500
Reactivos Hach para analisis de DQO	caja	7	\$1.350.000,00	\$ 9.450.000
N-N-dimethyl-p-phenylenediamine dihydrochloride	25 gramos	2	\$ 1.280.000	\$ 2.560.000
Nanoparticulas + gastos de envio	1 kilogramo	5	\$2.000.000,00	\$ 10.000.000
Guantes	Cajas	25	\$25.300,00	\$ 632.500
Tapa boca	Cajas	10	\$21.800,00	\$ 218.000
Filtros 0,2 micras de polipropileno	paquete	4	\$ 1.073.448	\$ 4.293.792
Acido Clorhidrico	Litros	5	\$150.000,00	\$ 750.000
Filtros N95 para material particulado y olores ofensivos	cajas	10	\$98.200,00	\$ 982.000
Tubos falcon no estériles de 15 ml	paquete con 200 unidades	200	\$2.000,00	\$ 400.000
Tubos falcon no estériles de 50 ml	paquete con 200 unidades	200	\$1.800,00	\$ 360.000
Tubos falcon esteriles 15 ml	paquete de 50 unidades	4	\$98.500,00	\$ 394.000
Tubos falcon esteriles 50 ml	paquete de 50 unidades	4	\$98.500,00	\$ 394.000
Puntas para micropipeta azules de 1000 ul	paquete de 200 unidades	3	\$33.700,00	\$ 101.100
Puntas para micropipeta de 100 ul	paquete de 200 unidades	5	\$29.600,00	\$ 148.000
Puntas para micropipeta de 10 ul	paquete de 200 unidades	5	\$76.000,00	\$ 380.000
Puntas para micropipeta de 10 mL	paquete de 200 unidades	5	\$33.700,00	\$ 168.500
micropipeta brand de 0,5 a 10 ul	Unidad	3	\$647.000,00	\$ 1.941.000
micropipeta brand de 10 a 100 ul	Unidad	3	\$588.000,00	\$ 1.764.000
papel Wypall X 40 metros para secado de derrame en laboratorios	Unidad	5	\$26.944,00	\$ 134.720
cinta de enmascarar	Unidad	10	\$14.200,00	\$ 142.000
Marcadores permanentes para vidrio	unidad	20	\$22.151,00	\$ 443.020
micropipeta brand de 0,5 a 10 mL	Unidad	2	\$598.000,00	\$ 1.196.000
Equipo de filtracion por membrana	unidad	2	\$1.930.220,00	\$ 3.860.440
Frascos youility de 1000 mL	caja con 4 unidades	2	\$195.068,00	\$ 390.136
Tubos de borosilicato tapa rosca 8 mL	caja con 100 unidades	2	\$368.900,00	\$ 737.800
Frascos youility 500 mL	caja con 4 unidades	2	\$135.947,00	\$ 271.894
Recipientes de vidrio para pruebas de laboratorio vasos erlenmeyer,	caja con 5 unidades	2	\$1.782.000,00	\$ 3.564.000
Embudo de adición	caja con 5 unidades	3	\$300.000,00	\$ 900.000
Balón de triple entrada de 250 mL	caja con 5 unidades	3	\$300.000,00	\$ 900.000
Balones aforados de 5 mL	caja con 5 unidades	2	\$157.000,00	\$ 314.000
Balones aforados de 10 mL	caja con 5 unidades	2	\$157.000,00	\$ 314.000
Balones aforados 25 mL	caja con 5 unidades	2	\$160.000,00	\$ 320.000
Balones aforados de 50 mL	caja con 5 unidades	2	\$160.000,00	\$ 320.000
Balones aforados (kit de 5)	caja con 5 unidades	2	\$180.000,00	\$ 360.000
Balones aforados de 100 mL	caja con 5 unidades	2	\$180.000,00	\$ 360.000
Balones aforados 500 mL	caja con 2 unidades	2	\$140.000,00	\$ 280.000
Balones aforados 1000 mL	caja con 2 unidades	2	\$140.000,00	\$ 280.000
Frascos de vidrio con tapa transparentes de 100 mL	caja con 2 unidades	3	\$160.000,00	\$ 480.000
Frascos de vidrio con tapa transparentes 50 mL	caja con 2 unidades	2	\$350.000,00	\$ 700.000
Tubos de ensayo 18 cm	caja de 100 unidades	2	\$110.000,00	\$ 220.000
Pipetas de vidrio de volumenes variables	caja con 6 unidades	2	\$400.000,00	\$ 800.000
Frascos de vidrio ambar para reactivos	Unidad	2	\$250.000,00	\$ 500.000
Vasos de precipitados volumenes variables	caja con 5 unidades	2	\$250.000,00	\$ 500.000
Jeringas de vidrio	2 mL	2	\$500.000,00	\$ 1.000.000
Jeringas de vidrio	5 mL	2	\$90.000,00	\$ 180.000

Jeringas de vidrio	20 mL	2	\$90.000,00	\$ 180.000
Jeringas de vidrio	50 mL	2	\$160.000,00	\$ 320.000
Lampara de catodo hueco para Cr referenciada	unidad	2	\$1.950.000,00	\$ 3.900.000
Recargas de acetileno para equipo de Absorcion atomica	unidad	3	\$304.165,00	\$ 912.495
Patron NIST de Cr para control de calidad por Absorcion atomica	Unidad	2	\$280.000,00	\$ 560.000
Puntas de AFM	paquete	4	\$ 2.730.000	\$ 10.920.000
PELCO® High Performance Silver Paste	50 g	1	\$ 1.050.000	\$ 1.050.000
Celdas para medición de potencial Z	paquete	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
Insumos electricos para desarrollo de circuito de control (soldadura, targetas de control, semiconductores, fusibles)	Global	2	\$ 4.000.000	\$ 8.000.000
insumos para construccion del reactor POA con nVI como tubería en PVC, acoples, cables, pegante, limpiador	Global	2	\$ 500.000	\$ 1.000.000
Recipiente de vidrio de 10 L con doble capa y tres salidas para ensayos del POA con nVI	Unidad	1	\$ 3.200.000	\$ 3.200.000
Canecas plasticas para reactor	Unidad	8	\$60.000,00	\$ 480.000
HyperLaddert 1kb	100ul	2	\$498.863,00	\$ 997.726
HyperLadder™ 100bp	500 gramos	2	\$498.863,00	\$ 997.726
filtros Esterivex	caja de 10 filtros	5	\$750.000,00	\$ 3.750.000
AGAROSE RA™	500 gramos	1	\$1.000.000,00	\$ 1.000.000
Quant-IT dsDNA BR Kit, 100rxns, Rango DNA de 2-1000 ng. Para uso con el Qubit.	100 reacciones	1	\$1.138.295,00	\$ 1.138.295
Whatman™ Membranas hidrófilas de policarbonato Nucleopore™	caja con 100 filtros	1	\$480.000,00	\$ 480.000
Kit de extraccion de filtros esterivex	caja de 10 reacciones	5	\$480.000,00	\$ 2.400.000
insumos para la construccion del humedal	Global	2	\$ 1.000.000	\$ 2.000.000
Canecas para manejo de residuos	Unidad (53 litros)	6	\$80.000,00	\$ 480.000
TOTAL				\$ 115.453.094

De acuerdo a lo anterior, el desarrollo del piloto, después de ciertos ajustes de presupuesto, llegó alrededor de los 134 millones de pesos, rubro relativamente alto debido al proceso de investigación y al desarrollo de sistemas redundantes de agitación y dosificación necesarios para validar diferentes experimentos de remediación.

Una vez establecidos dichos costos, se continuó aislando la construcción del sistema piloto para establecer una línea base para la producción de un sistema similar en el modelo pre comercial discutido en la siguiente sección de escalamiento.

A continuación se establecen los costos de la implementación de la planta piloto por subsistemas como base de estructuración del modelo pre comercial.

Teniendo en cuenta los costos asociados anteriormente, el prototipo en su parte de nanorremediación estaría costando alrededor de los 16 millones de pesos. Hay que mencionar que esta sólo es la primera etapa de la planta piloto, por lo que habría que incluir la etapa de biorremediación, la cual es descrita a continuación.

Subsistema - Planta bio humedales



Costo Planta Bio (Humedales Piloto)	
Insecticida	\$ 5.292,00
Lava Pitillos y esponjas	\$ 14.050,00
Materiales plásticos / Homecenter (Conexiones hidráulicas y contenedores)	\$ 370.000,00
Gravilla y Zeolita	\$ 464.000,00
Peróxido de Hidrogeno	\$ 40.300,00
Macetas	\$ 24.000,00
Válvulas de Nivel	\$ 99.900,00
Total	\$ 1.017.542,00

Con esta última etapa construida, la planta piloto completa estaría cercana a un costo de construcción de los 18 millones de pesos, sin tener en cuenta los insumos, ya que sería la inversión inicial para contar con la tecnología de nano biorremediación.

Teniendo en cuenta los costos iniciales descritos en los antecedentes, podemos incluir los costos de los insumos necesarios para el proceso completo de la nano-biorremediación. Esto será tomado en cuenta en la siguiente sección para la proyección de escalamiento del prototipo.

Finalmente, antes de culminar el desarrollo del modelo pre comercial de escalamiento y de acuerdo a la metodología propuesta, se realizó un estudio del posible impacto ambiental alcanzado con el prototipo aquí presentado.

La evaluación ambiental para el proyecto de “INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE NANO-BIORREMIACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS CURTIEMBRES EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA” es destinada a la identificación, descripción y valoración de los impactos generados por las actividades, considerando los efectos directos e indirectos que genera dicho proyecto sobre el entorno.

Para dicho estudio se tuvieron como insumos la descripción y la caracterización del área de influencia del proyecto y la implementación de la metodología de valoración cualitativa, la cual consiste en la identificación de las actividades en dos etapas: escenario con proyecto y escenario sin proyecto. Posteriormente, se cruzaron en una matriz simple de doble entrada, en donde se tienen en cuenta los criterios de calificación sugeridos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). De esta manera se estiman las relaciones entre

las actividades y los elementos del medio, para finalmente realizar un análisis de los resultados comparando las afectaciones potenciales en el área de influencia.

Con base en los resultados señalados en las matrices, se realiza la interpretación de datos, por medio de gráficos dinámicos, los cuales permiten observar los impactos generados en ambos escenarios (con proyecto y sin proyecto) según las actividades y los medios. Para más detalles, ver documentos de investigación del proyecto.

4. Nivel de alistamiento tecnológico y comercial

Previo a realizar las proyecciones de escalamiento requeridas para el modelo pre comercial, es necesario establecer el nivel de alistamiento o maduración tecnológica y comercial del sistema piloto realizado, para sustentar su costo preliminar dados los niveles alcanzados.

El nivel de alistamiento tecnológico o TRL por sus siglas en inglés, es un instrumento que permite establecer en qué punto se encuentra un desarrollo tecnológico iniciando por la investigación básica y aplicada, pasando por el establecimiento de un producto mínimo viable y finalizando en productos fortalecidos y validados para una etapa comercial.

A continuación se establecen los niveles logrados dentro del alcance del proyecto con sus respectivas descripciones.

TRL		CARACTERÍSTICAS	
#	Actividad	Descripción	Proyecto
1	Observación de los principios básicos	Los principios básicos de la idea han sido cualitativamente postulados y observados.	Las nanopartículas fueron desarrolladas por el Centro de Tecnologías y materiales avanzados de Republica Checa bajo la dirección del Dr. Jan Filipe aliado del proyecto [1]

TRL		CARACTERÍSTICAS	
#	Actividad	Descripción	Proyecto
2	Formulación del concepto	Se ha formulado el concepto de la tecnología, su aplicación y puesta en práctica. Se perfila el plan de desarrollo. Estudios y pequeños experimentos proporcionan una "prueba de concepto" para los conceptos de la tecnología. Se comienzan a formular posibles usos o aplicaciones de la tecnología.	Se realizan estudios sobre las propiedades físicas de las nanopartículas y se inicia su producción comercial. Esta actividad es desarrollada por el Centro de Tecnologías y materiales avanzados de Republica Checa. Se inician ensayos de aplicación acuíferos contaminados con Cr (VI)
3	Prueba experimental del concepto	Las actividades que se llevan a cabo son fuertemente de investigación y desarrollo, que incluyen estudios analíticos y estudios a escala laboratorio para validar físicamente las predicciones de los elementos separados de la tecnología. El trabajo ha evolucionado de un artículo científico a trabajo experimental que verifica que el concepto funciona como esperado. Los componentes de la tecnología son validados, pero aún no hay una intención de integrar componentes a un sistema completo.	Se inician los ensayos en la Universidad Central, se hacen pruebas preliminares para evaluar si las nanopartículas de nZVI pueden ser utilizadas para tratamiento de vertimientos de curtiembres. Se realizan ensayos bajo un diseño experimental y se realizan pruebas de coexistentes y reusó de las nanopartículas

TRL		CARACTERÍSTICAS	
#	Actividad	Descripción	Proyecto
4	Validación del desarrollo en entorno laboratorio	Validación de componentes o el sistema en un ambiente de laboratorio. Los componentes básicos están integrados, estableciendo que funcionarán en conjunto. Los componentes de la tecnología han sido identificados. Una unidad de desarrollo de prototipo ha sido construida en el laboratorio. Las operaciones han proporcionado datos para identificar el potencial de ampliación y cuestiones operativas.	El componente nanotecnológico y el biotecnológico fueron diseñados en la Unidad de desarrollo tecnológico de la Universidad Central y el componente fue probado en laboratorio. Los componentes nano y bio se integran para formar una unidad y se inician las pruebas en laboratorio.
5	Validación del desarrollo en entorno pertinente	Componentes tecnológicos integrados de manera que la configuración del sistema sea similar a su aplicación final en casi todas sus características. Su operatividad es aún a nivel laboratorio. Se dan pruebas a escala en laboratorio en un sistema operativo condicionado. La tecnología se ha validado a través de pruebas en el entorno previsto simulada o real.	Se continúa con los ensayos en laboratorio, pero con vertimiento de pelambre, y curtido real. Se analizan los efectos del las <u>nZVI</u> sobre las comunidades microbianas de los vertimientos de pelambre.

TRL		CARACTERÍSTICAS	
#	Actividad	Descripción	Proyecto
6	Demostración del desarrollo en entorno pertinente	Sistema en validación en ambiente en condiciones relevantes a las reales operativas. Prototipo piloto con diseño detallado y con condiciones de escalamiento que le permitirán a la tecnología llegar a un sistema operativo. El prototipo debe ser capaz de desarrollar todas las funciones requeridas por un sistema operativo	El sistema de nanobiorremediación es trasladado a la curtiembre XXX del municipio de Villapinzon y se realizan ensayos en entorno real durante 6 meses.

De acuerdo con los resultados, se pudo establecer que la planta piloto de nanobiorremediación logró obtener un TRL de 6, lo que significa que se obtuvo lo esperado del alcance del proyecto presentado. Teniendo en cuenta esto, podemos pasar a realizar las proyecciones de escalamiento respectivas.

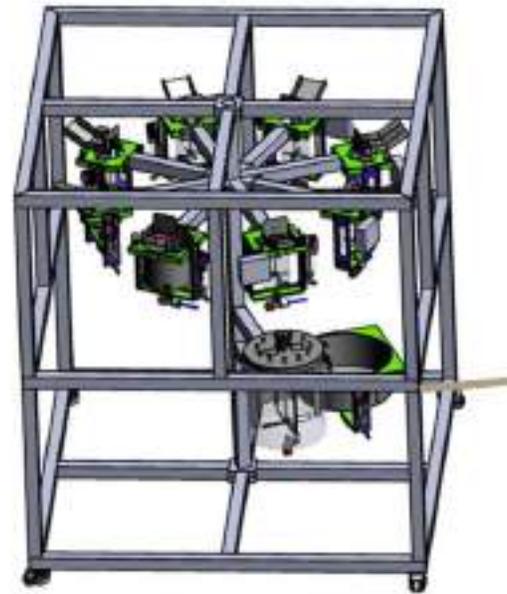
5. Proyecciones de escalamiento

Una vez establecidos los costos requeridos para la construcción del prototipo de planta piloto de nano-biorremediación y su respectivo nivel de alistamiento tecnológico y comercial, se procedió a fortalecer el modelo pre comercial con una proyección de escalamiento inicial que pretende impactar el mercado establecido de las 60 empresas curtidoras mencionadas en el alcance del proyecto.

Primero que todo, mediante encuestas realizadas a los actores respectivos, se estableció una medida estándar para comparar los costos asociados a esta nueva tecnología con los incurridos en los procesos convencionales actuales llevados a cabo por dichas empresas. La medida estándar que se estableció fue la del costo necesario para remediar un metro cúbico de agua de curtiembre.

Actualmente, basado en los hallazgos del estudio del estado de la técnica mencionados en la sección del desarrollo del piloto y en las encuestas realizadas a los actores de la industria de las curtiembres en Villapinzón y Chocontá, se estableció que el costo promedio para remediar un metro cúbico de agua está en alrededor de los 15.000 pesos colombianos.

Teniendo en cuenta los costos actuales para el desarrollo del proyecto y que la planta piloto tiene una capacidad de remediar 40 metros cúbicos en un tiempo promedio de 24 horas con alrededor de 100 gramos de nanopartículas, se establece un primer escalamiento para lograr una remediación de 5 mil litros en 24 horas.



Se tuvo en cuenta también un resultado no esperado que afectaría los costos del escalamiento propuesto: las nanopartículas usadas se pudieron reutilizar hasta 5 veces sin que se perdiera la efectividad de la remediación lograda, por lo que este insumo importante y vital para el proyecto, logra bajar el costo inicial proyectado para dicho sistema.

Es importante y lógico, conocer que el proceso de producción en masa de un producto, logra bajar los costos para el consumidor final. Esto se logra ver en la proyección mencionada en esta sección, pero dado que el mercado no es extremadamente grande, los costos logran bajar, pero no de manera considerable. Aún así el costo-beneficio, logra que la tecnología tenga oportunidad de crecer en el mercado de proceso de remediación de aguas de curtiembres. Para recordar dichos beneficios técnicos y el detalle de los mismos, favor revisar los documentos respectivos del proyecto (fuentes a citar una vez se publiquen los resultados del proyecto).

Conociendo los hallazgos anteriormente mencionados y los costos relacionados del posible escalamiento, se llegó a establecer que el sistema novedoso de nanobiorremediación logrará costar alrededor de 20.000 a 25.000 pesos colombianos.

Aunque esta proyección está por encima del costo actual de los procesos convencionales actuales, el sistema logra indicadores de remediación mucho mejores (ver datos técnicos en los documentos de investigación), por lo que el costo-beneficio abre puertas al mercado de este dispositivo, incluso conociendo que una vez se logre impactar más allá del mercado objetivo de las 60 empresas establecidas, los costos de producción bajarán de una manera considerable, llegando a iguales los costos actuales convencionales, lo cual es una esperanza para generar un proceso adicional a los resultados de este proyecto.

6. Conclusiones

Luego de establecer el modelo pre comercial basado en el estudio de costos inicial para procesos de producción y tratamiento de cueros, y los costos incurridos en el proyecto para la implementación de la planta piloto, se pueden observar las siguientes conclusiones:

- A pesar del alto costo inicial embebido en el proceso de investigación del presente proyecto, comparativamente a los costos mensuales de operación y de las maquinarias convencionales observados en el presente documento, la alternativa de nanobiorremediación tiene posibilidad de implementación gracias a su costo-beneficio comparativamente a los tratamientos convencionales.
- De acuerdo a las proyecciones de escalamiento, los costos iniciales presentados en este proyecto para la implementación del piloto, bajarán considerablemente, dado que la redundancia establecida inicialmente no será necesaria en un posible producto final, donde el cliente establece cuántas etapas de dosificación/integración serían necesarias para su proceso en particular.
- En las proyecciones se encontró un posible costo por m³ de agua a remediar más alto del que actualmente incurren los curtidores encuestados. Esto se debe a que el mercado inicial proyectado sólo incluía a 60 empresas del sector de Villapinzón y Chocontá, por lo que los costos de producción de la planta bajan comparado al establecido en este proyecto. Una vez el mercado crezca en una etapa posterior (llegar a más mercados nacionales e incluso internacionales), los costos de producción bajarán de manera considerable, logrando igualar los costos actuales, pero logrando resultados de remediación más satisfactorios y conformes a la regulación.
- Como resultado del proceso de investigación y validación de la planta piloto, se encontró que las nanopartículas empleadas podían ser reutilizadas hasta 5 veces, sin perder el porcentaje de remediación de manera significativa. Lo cual logra disminuir los costos en este insumo. Dado el tiempo limitado en los procesos de validación, no se logró hacer pruebas por más de 5 veces, lo cual abre la puerta a explorar cuántas veces más dichas nanopartículas

pueden ser reutilizadas en el proceso sin perder efectividad.

- Otra importante característica que logrará disminuir costos en futuras implementaciones, es la posibilidad de sintetizar las nanopartículas localmente, dado que el alcance del proyecto logró que uno de los participantes se capacitara en la República Checa en lo referente a ese proceso de sintetización, encontrando que los insumos, materiales y equipos requeridos estarían al alcance en el mercado colombiano.

7. Referencias

- Aguilar Ruelas, B. &. (2021). *Eficiencia y rentabilidad de la aplicación del tratamiento por electrocoagulación para la reducción del cromo hexavalente en las aguas residuales de Curtiembre*. Arequipa: Universidad César Vallejo.
- Bernal Rubiano, A. M. (2022). *Mitigación de Costos por Medio de Estrategias Orientadas al Manejo de Residuos en la Empresa Curtiembres Villa Grande del Municipio de Villapinzón Cundinamarca*. Bogotá D.C.: Universidad Santo Tomás.
- CAR. (2006). *Acuerdo 043 de 2006*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca:
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=22067>
- CAR. (2014). *Línea base carga contaminante Cuenca Río Bogotá*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional:
<https://www.car.gov.co/uploads/files/5ade34e9745aa.pdf>
- CAR. (2018). *Solicitudes permisos de vertimientos*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca:
<https://www.car.gov.co/uploads/files/5ada1ba11aefa.pdf>
- CAR. (2019). *Boletín del índice de calidad del agua en corrientes superficiales "ICA"*. Bogotá D.C.: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
- CAR. (2019). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca:
<https://www.car.gov.co/vercontenido/3691>
- CAR. (2019). *Sector curtidor de Choconta y Villapinzón presenta avances importantes en el tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca:
<https://www.car.gov.co/saladeprensa/sector-curtidor-de-choconta-y-villapinzon-presenta-avances-importantes-en-el-tratamiento-de-aguas-residuales>
- Ledesma, D. L. (15 de 04 de 2017). *Calidad de vida y efectos en salud asociados a la generación de olores ofensivos por industrias de curtiembres en los habitantes de dos veredas de Villapinzón durante el 2017*. Obtenido de U.D.C.A.:
<https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/865/1/proyecto%20calida%20de%20vida%20final%2012.pdf>
- Martinez Buitrago, S. Y. (2017). Revisión del estado actual de la industria de las curtiembres en sus procesos y productos: un análisis de su competitividad. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 113-124.
- ORARBO. (2017). *Información Ambiental para la Gestión Integral de la Cuenca Hídrica del Río Bogotá*. Obtenido de Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá:
<http://www.orarbo.gov.co/es/indicadores?log=0&id=1407&v=l>
- Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. (2012). *El sector curtiembres de Bogotá Enfoque en vertimientos y residuos*. Bogotá D.C.: Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá.
- Tapia, Z. R. (2019). Estudio de las tecnologías para el tratamiento de los efluentes generados por una planta de curtiembres en Ecuador. *Ciencia e Ingeniería*, 125-136.
- Aguilar Ruelas, B. &. (2021). *Eficiencia y rentabilidad de la aplicación del tratamiento por electrocoagulación para la reducción del cromo hexavalente en las aguas residuales de Curtiembre*. Arequipa: Universidad César Vallejo.

- Bernal Rubiano, A. M. (2022). *Mitigación de Costos por Medio de Estrategias Orientadas al Manejo de Residuos en la Empresa Curtiembres Villa Grande del Municipio de Villapinzón Cundinamarca*. Bogotá D.C.: Universidad Santo Tomás. <https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/865/1/proyecto%20calida%20de%20vida%20final%2012.pdf>
- Martinez Buitrago, S. Y. (2017). Revisión del estado actual de la industria de las curtiembres en sus procesos y productos: un análisis de su competitividad. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 113-124.
- CAR. (2006). *Acuerdo 043 de 2006*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=22067>
- ORARBO. (2017). *Información Ambiental para la Gestión Integral de la Cuenca Hídrica del Río Bogotá*. Obtenido de Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá: <http://www.orarbo.gov.co/es/indicadores?log=0&id=1407&v=l>
- CAR. (2014). *Línea base carga contaminante Cuenca Río Bogotá*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ade34e9745aa.pdf>
- Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. (2012). *El sector curtiembres de Bogotá Enfoque en vertimientos y residuos*. Bogotá D.C.: Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá.
- CAR. (2018). *Solicitudes permisos de vertimientos*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ada1ba11aefa.pdf>
- Tapia, Z. R. (2019). Estudio de las tecnologías para el tratamiento de los efluentes generados por una planta de curtiembres en Ecuador. *Ciencia e Ingeniería*, 125-136.
- CAR. (2019). *Boletín del índice de calidad del agua en corrientes superficiales "ICA"*. Bogotá D.C.: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
- CAR. (2019). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca: <https://www.car.gov.co/vercontenido/3691>
- CAR. (2019). *Sector curtidor de Choconta y Villapinzón presenta avances importantes en el tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca: <https://www.car.gov.co/saladeprensa/sector-curtidor-de-choconta-y-villapinzon-presenta-avances-importantes-en-el-tratamiento-de-aguas-residuales>
- Ledesma, D. L. (15 de 04 de 2017). *Calidad de vida y efectos en salud asociados a la generación de olores ofensivos por industrias de curtiembres en los habitantes de dos veredas de Villapinzón durante el 2017*. Obtenido de U.D.C.A.:



Gobernación de
Cundinamarca



ALCALDÍA DE
VILLAPINZÓN

