

MEDIO DE SOPORTE PARA PROMOVER EL CRECIMIENTO DE BACTERIAS
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN HUMEDALES
ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

LEIDY VANESSA ACEVEDO VASQUEZ
CARLOS EDUARDO GÓMEZ CAMARGO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA

2017

MEDIO DE SOPORTE PARA PROMOVER EL CRECIMIENTO DE BACTERIAS
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN HUMEDALES
ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

LEIDY VANESSA ACEVEDO VASQUEZ (2090512)
CARLOS EDUARDO GÓMEZ CAMARGO (2030743)

Trabajo de Grado para optar al título de
DISEÑADORES INDUSTRIALES

DIRECTOR DE PROYECTO
EDGAR AUGUSTO SARMIENTO LEON
Diseñador Industrial
Magister en Diseño Industrial

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA

2017

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN.....	20
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.1 PREGUNTA DE DISEÑO	245
1.2 OBJETIVOS	24
1.2.1 Objetivo general.....	24
1.2.2 Objetivos específicos	24
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	25
1.4 GRADO DE INNOVACIÓN	26
1.5 ALCANCE DEL PROYECTO.....	27
1.6 LIMITES DEL PROYECTO	27
2. MARCO TEÓRICO	28
2.1 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES	30
2.2 TIPOS DE CONTAMINANTES DEL AGUA	31
2.2.1 Materia sólida	32
2.2.2 Compuestos orgánicos	33
2.2.3 Compuestos inorgánicos.....	33
2.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA A NIVEL MUNDIAL	34
2.4 CONTAMINACIÓN DEL AGUA A NIVEL NACIONAL	37

3. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL Y MEDIOS DE SOPORTE	40
3.1 TRATAMIENTOS DEL AGUA	40
3.1.1 Pretratamiento:	41
3.1.2 Tratamiento primario	43
3.1.3 Tratamiento secundario	43
3.1.4 Tratamiento terciario	45
3.2 TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES.....	46
3.3 HUMEDALES	47
3.3.1 Humedales artificiales de flujo superficial.....	49
3.3.2 Humedales artificiales de flujo subsuperficial	49
3.3.2.1 Humedales de flujo subsuperficial horizontal	50
3.3.2.2 Humedales de flujo subsuperficial vertical	50
3.3.3 Medio de soporte	51
3.3.3.1 Grava.....	52
3.3.4 Plantas.....	53
3.3.5 Biopelícula	55
3.4 ESTADO DEL ARTE.....	57
3.5. MARCO METODOLÓGICO	63
3.6. REQUERIMIENTOS Y PARÁMETROS	66
4. VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO DE BIOPELÍCULA.....	68
4.1. PRUEBA DE MATERIALES.....	68

4.1.1 Selección de materiales	68
4.1.2 Materiales a utilizar:	73
4.1.3 Pruebas para definir el material a utilizar	74
4.1.3.1 Prueba de crecimiento de biopelícula en materiales y texturas (ver anexo B).....	75
4.1.2.4 Prueba de crecimiento de biopelícula en plásticos (ver anexo C).....	95
4.1.2.4.1 Conclusiones de la prueba de crecimiento de biopelícula en plásticos.	102
5. DISEÑO Y COMPROBACIÓN DE VARIABLES.....	104
5.1. SELECCIÓN DEL CONCEPTO	104
5.1.1 Alternativas	104
5.1.2 Filtrado de conceptos.....	109
5.1.2.1 Matriz de selección	110
5.1.2.2 Ordenar, combinar y mejorar	113
5.1.3 Evaluación de conceptos	115
5.1.3.1 Matriz de evaluación	115
5.1.4 Prueba de concepto.....	118
6. DESARROLLO DE PRODUCTO	125
6.1 EVOLUCION DE LA IDEA	125
6.2 PRUEBA DE AFINAMIENTO.....	127
6.3 VALIDACIÓN DEL CONCEPTO	129
6.3.1 Simulación carga	129
6.3.2 Porosidad (Ver Anexo H)	130

6.3.3 Área superficial específica (Ver Anexo H)	132
6.3.4 Medición de flujo (Ver Anexo I)	135
6.4 PREGUNTA DE DISEÑO	137
6.5 IMPACTO AMBIENTAL (MATERIAL)	141
6.5.1 Matriz de impacto ambiental	142
6.5.2 Conclusiones	144
6.6 COSTOS	145
6.7 PLANOS TÉCNICOS.....	146
6.8 RENDER	148
6.9 MANUAL DE IDENTIDAD GRÁFICA.....	149
7. CONCLUSIONES FINALES	154
BIBLIOGRAFIA.....	215

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Figura 1. Tipos de Aguas Residuales	30
Figura 2. Escasez física y/o económica del agua a nivel mundial.	35
Figura 3. Municipios Colombianos con y sin PTAR clasificados por tipo de empresa y números de sistemas.	39
Figura 4. Tratamientos del Agua	40
Figura 5. Pretratamiento del agua residual	42
Figura 6. Tratamiento Secundario del agua residual	44
Figura 7. Clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas	48
Figura 8. Humedal de flujo Superficial	49
Figura 9. Humedal de flujo Subsuperficial Horizontal	50
Figura 10. Humedal de flujo Subsuperficial Vertical	51
Figura 11. Planta <i>Typha spp</i>	54
Figura 12. Planta <i>Scirpus spp</i>	54
Figura 13. Planta <i>Phragmites spp</i>	55
Figura 14. Biopelícula formada en el medio de soporte ANOXKALNES	56
Figura 15. Grava	57
Figura 16. Anita	58
Figura 17. Anita colonizado	58
Figura 18. Biodiscos	59
Figura 19. Montaje Biodiscos	59

Figura 20. Anoxkaldnes	59
Figura 21. Tabla Anoxhaldnes	60
Figura 22. ETS	60
Figura 23. ETS Referencia tamaño.....	60
Figura 24. Bio-cascada.....	61
Figura 25. Bioesfera.	61
Figura 26. Biobolas.....	62
Figura 27. Biobola abierta.....	62
Figura 28. Canutillos	63
Figura 29. Metodología.....	65
Figura 30 Clasificación de los materiales para ingeniería.	69
Figura 31. Elaboración de Probetas.....	75
Figura 32. Organización de las probetas	76
Figura 33 Variables Prueba de Materiales/Texturas	78
Figura 34. Variables Prueba de Materiales/Formas	79
Figura 35 interfaz del software imagej	82
Figura 36. Montaje Prueba de Materiales y Texturas bajo relieve.....	83
Figura 37. Análisis Estadístico. Prueba de Materiales. (*): Diferencias Significativas	89
Figura 38. Análisis Estadístico. Prueba de Texturas bajo relieve. (*): Diferencias Significativas.....	92
Figura 39. Detalle Probeta agujeros cuadrados	94
Figura 40. Detalle Probeta agujeros ondas	94
Figura 41. Variables Prueba de Plásticos	97

Figura 42. Montaje Prueba de Plásticos	99
Figura 43. Análisis Estadístico. Prueba de Polímeros. (*): Diferencias Significativas	102
Figura 44. Diagrama de frecuencia de Forma Adecuada	121
Figura 45. Diagrama de Frecuencia Tamaño Adecuado	122
Figura 46. Diagrama de frecuencia Producto Innovador	122
Figura 47. Diagrama de frecuencia Mejor Alternativa	123
Figura 48. Relación Área superficial - Volumen	132

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Contaminantes presentes en un agua residual y sus posibles efectos sobre las aguas receptoras.....	31
Tabla 2. Características típicas de los soportes para humedales artificiales de flujo subsuperficial.....	52
Tabla 3. Tipos de Plantas y sus características	54
Tabla 4. Estado del Arte	57
Tabla 5. Requerimientos y Parámetros.....	66
Tabla 6 propiedades básicas de termoplásticos	70
Tabla 7. Implementos para la prueba de Materiales	77
Tabla 8. Tratamientos y repeticiones de la prueba de Materiales/Texturas.....	79
Tabla 9. Tratamientos y repeticiones de la prueba de Materiales/Formas	80
Tabla 10. Análisis de Probeta de Materiales: Yeso Super Corrugado	84
Tabla 11. Tabulación de Resultados de la Prueba de Materiales	84
Tabla 12. Análisis de Probeta de Textura Bajo Relieve con Curvas.....	85
Tabla 13. Tabulación de Resultados de la Prueba de Texturas bajo Relieve.....	85
Tabla 14. Porcentaje de colonización de acuerdo al material.	86
Tabla 15. Medias y desviación estándar para el porcentaje de colonización para cada textura según el tipo de material.	87
Tabla 16. Medias y desviación estándar para el porcentaje de colonización para cada forma según el tipo de material.	87
Tabla 17. Medias y desviación estándar para el porcentaje de colonización para cada material según el tipo de textura.	88

Tabla 18. Medias y desviación estándar para el porcentaje de colonización para cada material según la forma.....	91
Tabla 19. Implementos para Prueba de Plásticos	96
Tabla 20. Tratamientos y repeticiones de la prueba de plásticos	97
Tabla 21. Análisis de Probeta de Plástico- PEAD	100
Tabla 22. Tabulación de Resultados de la Prueba de Plásticos.....	100
Tabla 23. Porcentaje de colonización de acuerdo al material (Polímeros)	101
Tabla 24. Propuestas de Alternativas	105
Tabla 25. VALORES MATRIZ DE SELECCIÓN	111
Tabla 26. MATRIZ DE SELECCIÓN	112
Tabla 27. Propuestas Evolución de Alternativas	113
Tabla 28. VALORES MATRIZ DE EVALUACIÓN	116
Tabla 29. MATRIZ DE EVALUACIÓN.....	117
Tabla 30. Alternativas Seleccionadas.	118
Tabla 31. Alternativas Encuesta	119
Tabla 32. Información Personas Encuestadas	120
Tabla 33. Forma Adecuada	121
Tabla 34. Tamaño Adecuado.....	121
Tabla 35. Producto Innovador.....	122
Tabla 36. Mejor Alternativa	123
Tabla 37. Redondeos Alternativa Tetraedro.....	127
Tabla 38. Valores según tipo de redondeo a la alternativa Tetraedro	128
Tabla 39. Simulación de Cargas	129

Tabla 40. Elementos para la prueba de flujo.....	135
Tabla 41. Resultados Prueba de Flujo	136
Tabla 42. Resultados Prueba de flujo	138
Tabla 43. Características de la Grava.....	138
Tabla 44. Resultados prueba de Apilamiento.....	139
Tabla 45. Área superficial y Textura	140
Tabla 46. Matriz de Impacto Ambiental.....	143

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
ANEXO A: TIPOS DE AGUA	156
ANEXO B: PRUEBA CRECIMIENTO DE BIOPELÍCULA EN MATERIALES Y TEXTURAS	159
ANEXO C: PRUEBA CRECIMIENTO EN PLASTICOS RECICLABLES	167
ANEXO D: DATOS MATRIZ DE SELECCIÓN	171
ANEXO E: DATOS MATRIZ DE EVALUACIÓN.....	180
ANEXO F: FORMATO ENCUESTA.....	183
ANEXO G: PRUEBA DE AFINAMIENTO – TETRAEDRO (FILOS-REDONDEOS)	184
ANEXO H: PRUEBA DE APILAMIENTO	186
ANEXO I: PRUEBA DE FLUJO	194
ANEXO J: PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE MATERIALES	200
ANEXO K: PROCESOS DE TRANSFORMACION DE MATERIAL PLASTICO ..	210
ANEXO L: MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL.....	212

GLOSARIO

AFLUENTE: Agua superficial que entra a un sistema.

AGUA BRUTA: Agua que no ha recibido tratamiento de ningún tipo o agua que entra en una planta para su tratamiento.

AGUA RESIDUAL: Desechos provenientes de residencias, edificios e instituciones.

BIOPELÍCULA: Son conglomerados de grupos complejos de microorganismos donde predominan bacterias heterótrofas, hongos y protozoarios, esta biopelícula está presente en superficies expuestas al contacto con el agua como ríos, lagos, mar, sistemas de aguas subterráneas, membranas en los sistemas digestivos de animales, etc. Los microorganismos se van adhiriendo inicialmente a las paredes del medio de soporte y posteriormente forman la biopelícula encargada en este caso de la depuración de la materia orgánica del agua residual.

EFLUENTE: Agua superficial que sale de un sistema.

EUTROFIZACIÓN: Abundancia de nutrientes que favorecen el crecimiento de las algas y otros organismos en un lago o pantano. El resultado es que cuando mueren van al fondo y en su putrefacción consume el oxígeno, por lo cual se generan malos olores y se degrada el agua.

HUMEDAL ARTIFICIAL (HA): Sistema de tratamiento de aguas residuales que se basa en procesos físicos, químicos y biológicos para tratar un flujo relativamente constante de aguas residuales.

MACROFITA: Especie vegetal o planta comúnmente utilizada en humedales tanto naturales como artificiales.

MEDIO DE SOPORTE: Es el sustrato que soporta los organismos vivientes del humedal los cuales se encargarán de depurar la materia orgánica existente en el agua.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR): Conjunto de obras, instalaciones y procesos para depurar las aguas residuales.

RESUMEN

TÍTULO: MEDIO DE SOPORTE PARA PROMOVER EL CRECIMIENTO DE BACTERIAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL.*

AUTORES: LEIDY VANESSA ACEVEDO VASQUEZ**
CARLOS EDUARDO GÓMEZ CAMARGO**

PALABRAS CLAVES: Humedales artificiales, biopelícula, crecimiento, subsuperficial, medio de soporte

DESCRIPCIÓN:

El proyecto consistió en diseñar un medio de soporte para el tratamiento de aguas residuales en humedales artificiales de flujo subsuperficial, donde éste tenga la capacidad de promover la adherencia de bacterias (biopelícula) para mejorar el proceso de degradación de materia orgánica. La siguiente explicación presenta el proceso que siguió el trabajo: Primero, se identificó el problema describiéndolo concretamente; posteriormente, se reúne la información relacionada con el proyecto, se estudió para obtener mayor conocimiento. En la secuencia, se analizaron las necesidades del usuario con el objetivo de definir los requerimientos y parámetros, se procede a una generación del concepto, realización de pruebas tanto de crecimiento de biopelícula en diferentes materiales y la simulación del flujo de agua. Finalmente se refinó el diseño y se realizó un estudio de producción e impacto ambiental. Cada una de estas etapas es evaluada para llegar a una propuesta final a través de un modelo funcional.

Con las pruebas y validaciones realizadas se concluyó que la textura Supercorrugada aplicada a un plástico brinda propiedades de adherencia similares a un material cerámico, la forma elegida fue mejor para cumplir los requerimientos: área superficial, porosidad, resistencia estructural, permitir el flujo del agua en todas sus posiciones y posee una mejor capacidad de apilarse permitiendo llenar cualquier contenedor.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Físico-Mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: Edgar Sarmiento, Diseñador Industrial.

ABSTRACT

TITLE: SUPPORT MEDIUM TO PROMOTE BACTERIAL GROWTH FOR WASTEWATER TREATMENT IN ARTIFICIAL WETLANDS WITH SUBSURFACE FLOW.*

AUTHORS: LEIDY VANESSA ACEVEDO VASQUEZ**
CARLOS EDUARDO GÓMEZ CAMARGO**

KEYWORDS: Artificial wetlands, biofilm, growth, subsurface, support medium.

DESCRIPTION:

The project was about the design of a support medium for wastewater treatment in artificial wetlands with subsurface flow, where it has the capacity of promote the adherence of bacteria (biofilm) in order to improve the process of organic matter degradation.

The following explanation present the process that follows this work: First, the problem was identified by specifically describing it; afterwards, the information related to the project has been gathered, it was studied to obtain greater knowledge. In the sequence, the user needs are analyzed in order to define the requirements and parameters, then a concept generation, testing of biofilm growth on different materials and simulation of water flow. Finally, the design was refined and the production and environmental impact studies was made. Each of these stages is evaluated to arrive at a final proposal through a functional model.

With the tests and validations carried out, it was concluded that the Supercorrugated texture applied to a plastic provides adhesion properties similar to a ceramic material, the chosen form was better to meet the requirements: surface area, porosity, structural resistance, allow the flow of water in all its positions and has a better capacity to stack allowing to fill any container.

* Bachelor Thesis.

** Faculty of Physics and Mechanics. School of Industrial Design. Director: Edgar Sarmiento, Industrial Designer.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural primordial debido a los múltiples beneficios que presenta para la sobrevivencia de los seres vivos. Por sus diferentes usos, el ciclo del agua se ha visto alterado, siendo contaminado, por lo cual no se puede reutilizar; el agua se debe tratar y regresar al medio lo más descontaminada posible para poder continuar su ciclo.

Durante la segunda etapa del tratamiento del agua, una de las alternativas en este proceso es el uso de humedales artificiales debido a que estos son una opción sostenible por su bajo consumo energético, impacto ambiental y baja producción de residuos; con ellos se busca la degradación de la materia orgánica para que el efluente pueda propiciar la reutilización de esta agua, por ejemplo en regadíos; se debe tener en cuenta que para su potabilización necesita del tratamiento terciario del agua residual.

Los humedales artificiales utilizan un medio de soporte o sustrato el cual se encuentra sumergido y en contacto permanente con el agua. En este medio de soporte se forma una biopelícula que será la encargada de realizar la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual, sin embargo, uno de los principales medios de soporte para los humedales artificiales es la grava, su extracción ocasiona un impacto ambiental negativo. La Universidad Nacional de Bogotá ha incursionado con la propuesta de un medio de soporte plástico para su utilización en humedales artificiales; este elemento se tomará como referencia en la matriz de evaluación, prueba de apilamiento y validación del medio de soporte planteado¹.

¹ OTALORA, Alejandra. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño Gandúl. Trabajo de Magister en Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. 2011. p. 10-22.

Este trabajo de grado busca desde un proceso de diseño mejorar la propuesta que se ha estado trabajando en la Universidad Nacional de Bogotá, utilizando metodología como diseño y desarrollo de producto², Design Thinking (traducido literalmente como "Pensamiento de Diseño", aunque su significado más acertado es "La forma en la que piensan los diseñadores") y experimentaciones, con el objetivo de proponer un medio de soporte que propicie una mayor formación de biopelícula para mejorar la depuración de agua residual en humedales artificiales.

² ULRICH, Karl. EPPINGER, Steven. Diseño y desarrollo de productos. McGraw-Hill/Interamericana Editores, 2009. p.141-158. ISBN-13:978-970-10-6936-3

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La población crece notablemente con el pasar de los años y con ello también se incrementa el consumo de agua y su contaminación³. Colombia ha sido una potencia hídrica pero se ha notado la falta de calidad y cuidado de este recurso al bajar 18 puestos según estudios realizados por la Universidad Nacional de Colombia⁴.

Los humedales artificiales son sistemas de gran ayuda en la depuración del agua residual, estos constan de una parte vegetal o macrófitas y una parte de sustrato o medio de soporte. El conjunto de estos tres elementos (plantas, sustrato y agua residual) hacen posible la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual⁵. El medio de soporte tradicional en humedales artificiales (grava) debe ser extraído, ya sea de canteras o ríos, esto ocasiona impactos ambientales negativos. La grava es el principal medio de soporte en humedales artificiales y también lo era en muchas plantas de tratamiento, pero se ha venido reemplazando por medios de soportes alternos como los plásticos, notándose la mejora en los sistemas⁶.

³ DEPARTAMENTO DE INFORMACIÓN PÚBLICA DE LAS NACIONES UNIDAS. El agua, fuente de vida. 2005. p.8-9.

⁴ MONSALVE, María. ¿El agua en Colombia alcanza para todos? [En línea]. En: El Espectador. 6, Julio, 2016. (Recuperado en 10 agosto 2017). Disponible en <http://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/el-agua-colombia-alcanza-todos-articulo-641927>

⁵ ZAPATA, Aura. Humedales artificiales; una propuesta para la mitigación de la contaminación hídrica de la quebrada la Nutria, de los Cerros Orientales de Bogotá D.C. Trabajo de Magister en Desarrollo Sustentable y Medio Ambiente. Manizales: Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias contables económicas y administrativas. 2014. p.20-23.

⁶ TL INGEAMBIENTE. Rosetón para tratamiento de aguas residuales. [En línea]. 2016. (Recuperado en 5 julio 2016). Disponible en <http://www.tlingeambiente.com/servicios/construccion-consultoria-e-interventoria/>

Al implementar un medio de soporte diferente a la grava y pensando en las variables que pueden llegar a hacerlo más eficiente, se soluciona el problema al reducir la extracción de la grava, se crea una nueva propuesta de medio de soporte que permita aumentar el área superficial para una mayor capacidad de biopelícula adherida, reduciendo los requerimientos de espacio del humedal artificial y aumentando la cantidad de agua a tratar.

1.1 PREGUNTA DE DISEÑO

¿De qué manera se promueve el crecimiento de bacterias en aguas residuales con el diseño de un medio de soporte para humedales artificiales?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL Diseñar y construir un medio de soporte que promueva el crecimiento de bacterias (biopelícula) para el tratamiento de aguas residuales en humedales artificiales de flujo subsuperficial.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a. Caracterizar los sistemas de tratamiento de aguas residuales en humedales artificiales y los que emplean medios de soporte.

b. Determinar las variables físico-químicas (materiales y porosidad) que facilitan el crecimiento de biopelícula (bacterias depuradoras de materia)

c. Determinar las variables geométricas (áreas y superficies) y estructurales que influyen en el diseño del medio de soporte para el crecimiento bacterial.

d. Evaluar y comprobar las variables geométrico-estructurales que influyen el desarrollo de diseño del medio de soporte.

e. Proponer el diseño de un medio de soporte según las variables definidas en el punto b y c, y la relación con la eficiencia, costo e impacto ambiental.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El proyecto centra su atención en la segunda etapa del tratamiento del agua residual, la cual consiste en la eliminación de nutrientes y materia orgánica por medio de humedales artificiales, puesto que estos, aparte de emular los procesos de la naturaleza de depuración del agua, son una opción sostenible por su casi nulo consumo energético, su bajo impacto ambiental y su escasa producción de residuos. Por ello, se busca aumentar la eficiencia y la vida útil de humedales artificiales tradicionales, con la implementación de un medio de soporte que posea mayor porosidad y mayor área superficial por unidad de volumen, para un mejor flujo de agua, una mayor formación de bacterias (biopelícula), quienes son las responsables de eliminar los residuos orgánicos presentes en el agua y al aumentar la eficiencia del humedal artificial hace que se requiera menos terreno para su implementación.

1.4 GRADO DE INNOVACIÓN

Los humedales artificiales son uno de los tratamientos existentes para la descontaminación del agua, estos utilizan por lo general grava como medio de soporte.

Este proyecto busca remplazar la grava tanto por su eficiencia como por el impacto ambiental que genera su extracción, buscando un elemento sustitutivo que permita aumentar la porosidad y el área superficial por unidad de volumen para incrementar la formación de bacterias (biopelícula) ayudando a la depuración del agua residual. De igual manera se busca mejorar el diseño de los medios de soportes plásticos empleados en la industria de plantas de Tratamiento de agua residual (PTAR) al permitir un flujo de agua constante a través del medio de soporte sin que importe como se encuentre ubicado en el espacio.

1.5 ALCANCE DEL PROYECTO

Diseñar, construir y comprobar un modelo funcional de medio de soporte para formación de bacterias (biopelícula) como material de relleno en los humedales artificiales.

Entregables:

- Modelo funcional
- Libro del proyecto (físico y digital)

1.6 LIMITES DEL PROYECTO

Materiales de fabricación del modelo funcional final: el modelo funcional final podría no fabricarse en los materiales reales que se utilizarían para la comercialización del producto debido a la dificultad de producción en cuanto a costos en la industria local.

2. MARCO TEÓRICO

El agua es un elemento de vital importancia para todos los seres, la superficie de la Tierra está cubierta por el 70% de agua mientras que el 30% restante es tierra firme⁷. Por dicha razón se le conoce a la Tierra como “planeta azul” o “planeta de agua”, cabe resaltar que del porcentaje total de agua del planeta, tan solo el 2,53% es agua dulce y de los cuales el 1,7% se encuentra en los glaciares⁸.

Desde la antigüedad surgen las primeras teorías sobre la importancia de este elemento. El filósofo griego Tales de Mileto en el siglo VI a.c. aseguraba que el agua era la sustancia original y de ella se formaban los demás elementos (tierra, fuego y aire)⁹.

Este recurso natural compuesto por dos átomos de Hidrógeno y uno de Oxígeno los cuales se encuentran ubicados de la siguiente manera (H-O-H), con un ángulo de apertura de 104,5°¹⁰. Este elemento no solo se encuentra en los estados (líquido, gaseoso o sólido) que conocemos en el planeta, los seres vivos también estamos formados por un porcentaje de agua: los mamíferos tienen un 70%, los insectos un 45% y animales como las medusas poseen un 95% de agua¹¹. Son

⁷ SCUKA, Federico. ¿Cuánta agua tiene el planeta? [En línea]. 2009. (Recuperado en 12 marzo 2016). Disponible en <http://www.lattice.org/milj/es/fedscu0902es.html>

⁸ EDICIONES UNESCO. Agua para todos, agua para la vida. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo. 2003. p.9.

⁹ FONDO DE CULTURA ECONÓMICA. El agua, ¿qué cosa es? [En línea]. México D.F. 1991. (Recuperado en 9 marzo 2016). Disponible en http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/102/html/sec_4.html

¹⁰ GARCÍA, Águeda. Estructura e importancia del agua en el metabolismo celular. Universidad Nacional Autónoma de México. 2013.

¹¹ HERNÁNDEZ, Edgardo. H₂O Elixir de vida: Importancia del agua para los seres vivos [Base de dato en línea]. Abril de 2010. Revista Elementalwatson “la” revista, 1 (1), 9-12. Universidad de

varios los beneficios del agua para los seres vivos, siendo un elemento que regula la temperatura corporal y nos permite exudar el calor del cuerpo, al estar formados por mayor porcentaje de agua, muchas de las reacciones a nivel celular se llevan a cabo en un medio acuoso, como lo son la captura de nutrientes, su transformación y su excreción. Nuestro cuerpo no es capaz de producir o retener el agua para siempre, lo cual hace de este elemento uno de los más importantes en la alimentación de los seres vivos y necesario para la subsistencia¹².

El agua se encuentra en constante movimiento y presenta su propio ciclo: se evapora de la tierra, ríos, lagunas y océanos; luego se convierte en vapor de agua hasta condensarse y caer nuevamente en forma de lluvia, granizo o nieve. Igualmente, ciertos factores biológicos afectan este ciclo como lo son los fenómenos geológicos y el cambio climático, también las acciones del hombre (cambiar el curso de los ríos, la construcción de ciudades y la contaminación industrial) alteran el curso natural de este ciclo¹³.

El no tratar el agua ocasiona serios problemas en la salud de las personas produciendo enfermedades como la diarrea, cólera, disentería, tífus, hepatitis y otras las cuales anualmente han sido las causantes de la muerte de dos millones de personas a nivel mundial, donde la mayoría son niños¹⁴. Existen diferentes tipos de agua (ver Anexo A) y dependiendo su procedencia y uso, esta debe ser tratada.

Buenos Aires. (Recuperado en 12 agosto 2017). Disponible en <http://www.elementalwatson.com.ar/Revista%201%20N%201b.pdf>

¹² VAQUERO, Pilar. TOXQUI, Laura. Agua para la salud: pasado, presente y futuro. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España. 2012. p.39

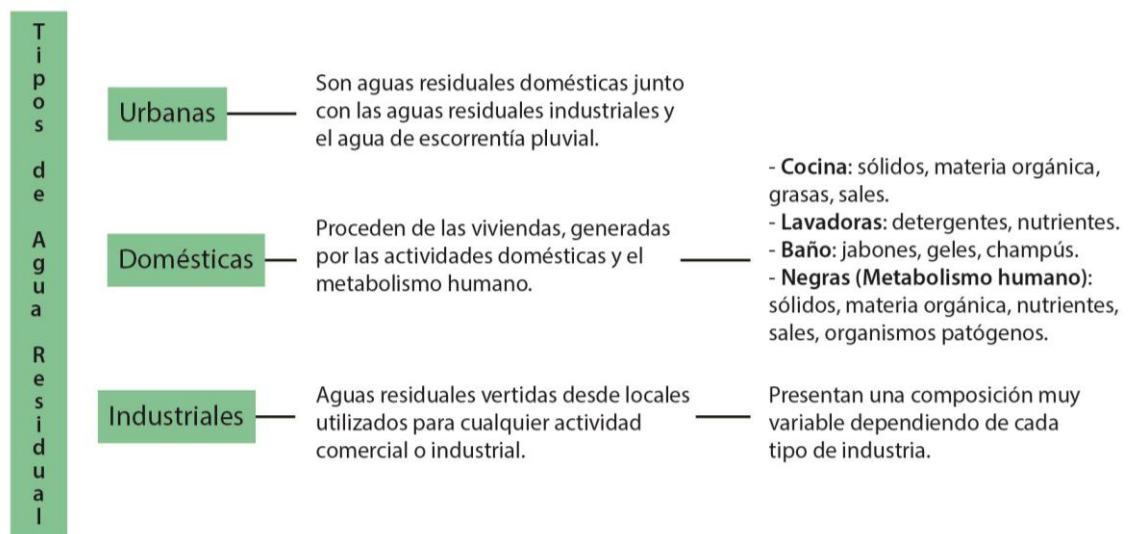
¹³ PROGRAMA NACIONAL OLIMPIADA DE GEOGRAFÍA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA. Textos para el estudiante. Argentina: Universidad Nacional del Litoral. 2012. p. 171-172.

¹⁴ DEPARTAMENTO DE INFORMACIÓN PÚBLICA DE LAS NACIONES UNIDAS. El agua, fuente de vida. 2005. p. 8-9.

2.1 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son el resultado de las aguas que se han usado para alguna actividad, también se debe tener en cuenta los residuos sólidos que se vierten a la red de alcantarillado¹⁵. Según las actividades que se realicen con el agua, el agua residual adquiere características diferentes. En la figura 1 se puede apreciar los tipos de agua residual.

Figura 1. Tipos de Aguas Residuales



Fuente: Adaptado de SECRETARIADO ALIANZA POR EL AGUA/ ECOLOGÍA Y DESARROLLO. Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Edic, Ideasamares. 2008.

¹⁵ ROMERO, Jairo. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2010. p. 17-19.

2.2 TIPOS DE COMPONENTES DEL AGUA RESIDUAL

Los contaminantes del agua varían según el tipo de agua residual, en la Tabla 1, se enuncian los componentes del agua más comunes y sus posibles impactos ambientales.

Tabla 1. Componentes presentes en el agua residual y sus posibles efectos sobre las aguas receptoras

Componentes del agua residual	Impactos más significativos
Materia en suspensión	Aumento de la turbidez del agua (alteración de la fotosíntesis y reducción de la producción de oxígeno).
Compuestos inorgánicos	Ecotoxicidad de algunos compuestos, como las sales de metales pesados. Reacciones con sustancias disueltas en el agua pasando a formar compuestos peligrosos.
Conductividad	Concentraciones elevadas de sales impiden la supervivencia de diversas especies vegetales y animales.
Nutrientes	Crecimiento anormal de algas y bacterias (aumento de la turbidez del agua). Eutrofización del agua.
Materia Orgánica	Su descomposición puede provocar la disminución de la concentración de oxígeno disuelto en el agua hasta alcanzar condiciones sépticas. Eutrofización del agua. Emisión de metano en caso de aparición de procesos anaerobios.
Compuestos orgánicos tóxicos	Toxicidad para la vida acuática. Disminución de la concentración de oxígeno debido a

	<p>los procesos de biodegradación.</p> <p>Producción, en el caso de líquidos no miscibles, de una película superficial que impide la aireación del agua.</p>
<p>Organismos patógenos (bacterias, virus y parásitos)</p>	<p>Inutilización del agua para uso humano.</p> <p>Contaminación de los organismos acuáticos que pueden llegar al hombre con la cadena alimenticia.</p> <p>Enfermedades de transmisión hídrica asociadas a la contaminación microbiológica del agua.</p>
<p>Contaminación térmica por descarga de aguas de refrigeración</p>	<p>Modificación de la solubilidad del oxígeno en el agua.</p> <p>Aceleración del metabolismo de la flora y la fauna acuáticas (eutrofización).</p> <p>Alteración de los ecosistemas acuáticos.</p>

Fuente: Adaptado de Dewisme. Depuración biológica de las aguas residuales urbanas.1997

2.2.1 materia sólida La materia sólida está presente tanto de forma disuelta y particulada (suspendida). Los tipos de materia sólida son:

Sólidos volátiles: están conformados por materia orgánica y son los sólidos que se volatilizan a una temperatura de 550°C.

Sólidos fijos: están conformados por materia inorgánica o mineral, son los sólidos que permanecen cuando se someten a una temperatura de 550°C¹⁶.

¹⁶ KNOBELSDORF, María. Eliminación biológica de nutrientes en un ARU de baja carga orgánica mediante el proceso VIP. Tesis Doctoral. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. Sección de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 2005. p. 11-12.

La materia suspendida (MES) Es la materia más fácil de eliminar; se emplean tratamientos como la decantación, filtración o centrifugación. Para la materia disuelta la cual continua presente en el agua residual, se realiza un proceso de filtración¹⁷. La forma en cómo se encuentre esta materia sólida permite saber qué grado de depuración de agua es posible según cada fase del tratamiento de agua residual.

2.2.2 compuestos orgánicos Al igual que la materia sólida, está formada por compuestos disueltos y particulados y al tener compuestos orgánicos, sirven como alimento a microorganismos y bacterias. Estos compuestos cuentan mínimo con un átomo de carbono llamados por ello compuestos carbonosos, los cuales pueden ser oxidados de manera química donde el proceso se conoce como Demanda Química de Oxígeno (DQO) o de manera biológica donde se conoce como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO); ambos procesos producen Dióxido de Carbono (CO₂)¹⁸.

2.2.3 compuestos inorgánicos Estos compuestos presentan Oxígeno disuelto y nutrientes como el Nitrógeno (N) en forma de Amoniaco, Nitritos y Nitratos y el Fósforo (P) como Ortofosfatos¹⁹.

La presencia de Nitrógeno y Fósforo en gran cantidad puede producir eutrofización (crecimiento descontrolado de algas ocasionando malos olores y bajos niveles de Oxígeno que causan la muerte a varios organismos acuáticos), esto puede ser

¹⁷ Ibid., p.32.

¹⁸ Ibid., p.32.

¹⁹ FERNÁNDEZ, Jesús, et al. Manual de Fitodepuración: Filtros de macrófitas en flotación. Universidad Politécnica de Madrid. 2005. p. 20.

generado de manera natural o por el hombre (antropogénico), por ende es de gran importancia mantener un equilibrio de ambos compuestos²⁰.

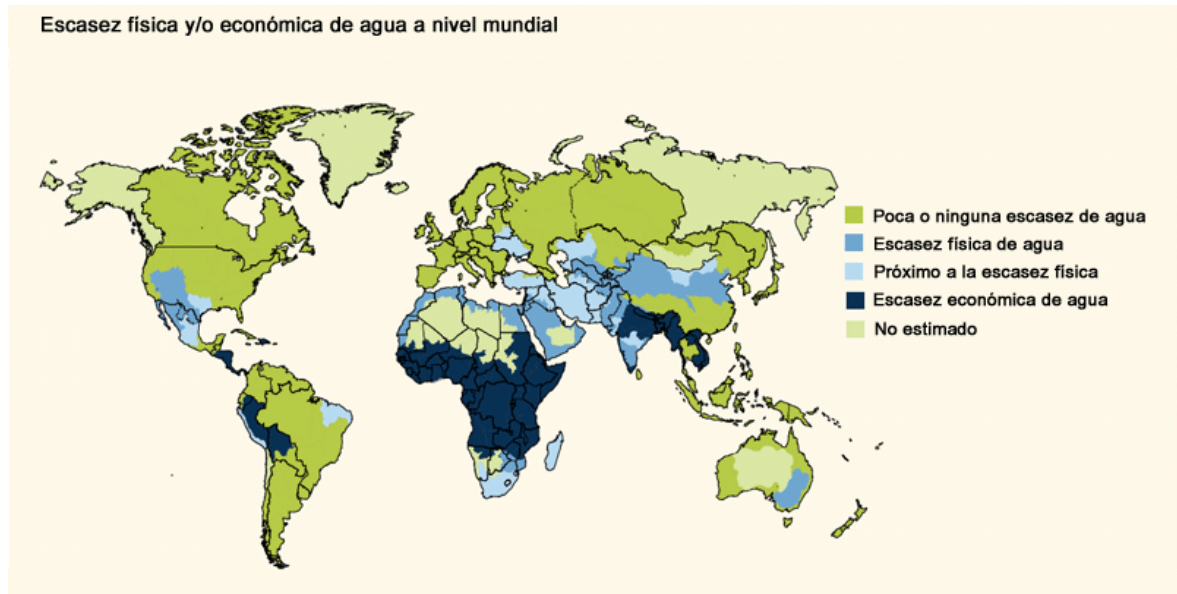
2.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA A NIVEL MUNDIAL

La figura 2 presenta una aproximación sobre la escasez de agua tanto física como económica en varios países del mundo, mostrando que el continente más afectado económicamente por el agua es África; en América algunos países, como Perú y Bolivia, presentan escasez económica de agua, lo que indica que dichos países carecen de infraestructura para transportar el agua desde los ríos y otras fuentes hídricas, en Europa presentan menor ausencia del líquido vital²¹.

²⁰ KNOBELSDORF, María. Eliminación biológica de nutrientes en un ARU de baja carga orgánica mediante el proceso VIP. Tesis Doctoral. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. Sección de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 2005. p. 11-12.

²¹ DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE NACIONES UNIDAS (ONU-DAES) [En línea]. 2012. (Recuperado en 15 abril 2016). Disponible en <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>

Figura 2. Escasez física y/o económica del agua a nivel mundial.



Fuente: *Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP), marzo de 2012.

El incremento de la población demanda mayor consumo de agua y debido a la falta de un buen tratamiento del agua residual, se aumenta la contaminación dando como resultado enfermedades en la comunidad y daños en el medio ambiente²². Aproximadamente el 38% de los hogares de América Latina y el Caribe no cuentan con un sistema de alcantarillado²³. La escasez de agua se mide en relación de agua y población, cuando el suministro de agua por persona es de menos de 1.000 m³ anualmente, se dice que hay escasez de ella²⁴.

²² DEPARTAMENTO DE INFORMACIÓN PÚBLICA DE LAS NACIONES UNIDAS. El agua, fuente de vida. 2005. p. 8-9.

²³ Ibid.

²⁴ DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE NACIONES UNIDAS (ONU-DAES) [En línea]. 2012. (Recuperado en 15 abril 2016). Disponible en <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>

Muchas industrias vierten a las aguas receptoras residuos como desechos químicos, agrícolas, fertilizantes, entre otros; también se debe tener en cuenta los vertidos humanos debido a la falta de redes de alcantarillado de muchas comunidades. Diariamente dos millones de toneladas de residuos contaminan las aguas y se asume que un litro de agua residual llega a contaminar hasta ocho litros de agua dulce²⁵.

Para mejorar las condiciones de agua disponible para la población, se deben implementar consideraciones como: tener calidad en servicios de saneamiento, el hacer partícipe a las comunidades, tener mayor control y planificación en expansión industrial y de infraestructura, una mayor construcción de plantas de tratamiento de agua residual o la implementación de sistemas alternativos de menor costo como lo son los humedales artificiales²⁶.

²⁵ EDICIONES UNESCO. Agua para todos, agua para la vida: Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos den el mundo. 2003. p.9.

²⁶ Ibid.

2.4 CONTAMINACIÓN DEL AGUA A NIVEL NACIONAL

Según estudios por el Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico, en el 2008 solo un 9% de agua alcantarillada es tratada en Colombia. El especialista en aguas subterráneas de la Universidad Hebrea de Jerusalén, Romero Rojas, referente al tratamiento del agua residual en Colombia dijo: “El país no tiene estadísticas confiables sobre el tema, pero se calcula que existen unas 200 plantas de este tipo. Teniendo en cuenta que cada municipio requiere de por lo menos un sistema de estos, se concluye que se necesitan construir unas 900 plantas de tratamiento de agua residual”²⁷. Se ha pensado que Colombia es una potencia mundial hídrica, pero hoy en día y según estudios realizados por la Universidad Nacional de Colombia en el 2015, donde se analizaba sobre la abundancia del agua, su calidad y disponibilidad en el país, Colombia paso de estar ubicado en el 6to lugar para estar situado en un 24 lugar²⁸.

Legislación El Estado colombiano ha mantenido un control respecto a la contaminación hídrica por medio del Decreto 1594/84²⁹ (Normas de control) y el Decreto 901/97³⁰ (tasa retributiva), buscando con estas leyes que las personas y

²⁷ REDACCIÓN NEGOCIOS. Colombia sólo trata 9% de sus aguas residuales. [En línea]. En: El Espectador. 25, septiembre, 2008. (Recuperado en 10 agosto 2017). Disponible en <http://www.elespectador.com/impreso/negocios/articuloimpreso-colombia-solo-trata-9-de-sus-aguas-residuales>

²⁸ MONSALVE, María. ¿El agua en Colombia alcanza para todos? [En línea]. En: El Espectador. 6, Julio, 2016. (Recuperado en 10 agosto 2017). Disponible en <http://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/el-agua-colombia-alcanza-todos-articulo-641927>

²⁹ Normas de vertimientos de residuos líquidos. Art. 1 a 21 Definiciones. Art. 22-23 Ordenamiento del recurso agua. Art. 29 Usos del agua. Art. 37 a 50 Criterios de calidad de agua Art. 60 a 71 Vertimiento de residuos líquidos. Art. 72 a 97 Normas de vertimientos. Art. 142 Tasas retributivas. Art. 155 procedimiento para toma y análisis de muestras. Decreto 1594/84

³⁰ Tasas retributivas por vertimientos líquidos puntuales a cuerpos de agua. Decreto 901/97

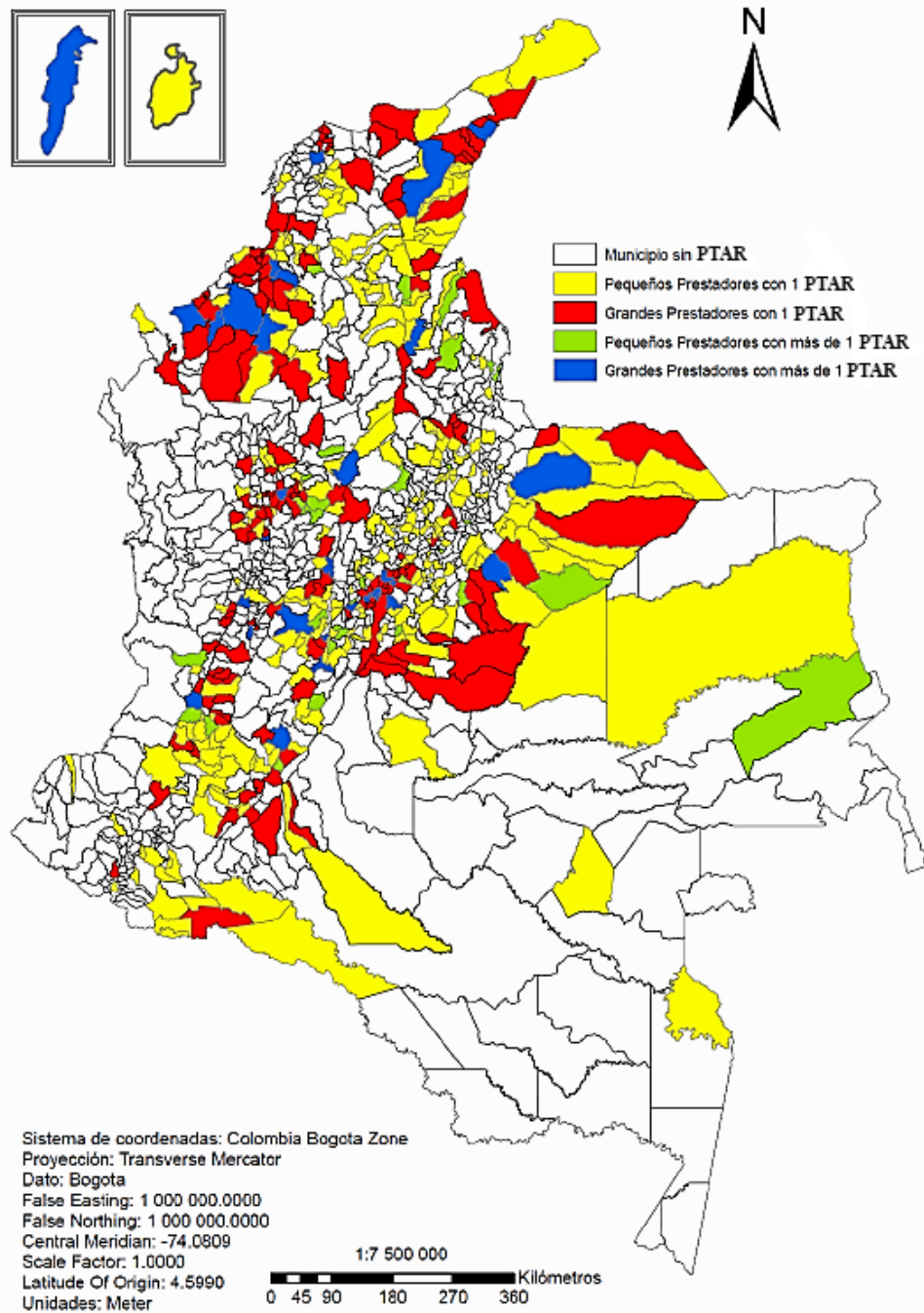
empresas reduzcan sus desechos. Existen varias leyes que regulan todo lo referente para el cuidado de este recurso hídrico, el ambiente y el cuidado del ser humano como el Decreto 2105/83³¹ (potabilización).

La figura 3 muestra los municipios que cuentan con Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), los municipios encontrados en color blanco son aquellos que no cuentan con PTAR, también en ellos se debe incluir las zonas selváticas allí presentes como la Amazonia, se puede ver que, aun así, se evidencian grandes zonas sin un sistema de tratamiento de agua y que son pocas donde cuentan con más de una PTAR. Existen gran variedad de sistemas de tratamiento para el agua residual dependiendo de los residuos y contaminantes que esta contenga. Para realizar estos tipos de tratamientos se requiere de una gran inversión, en especial para sectores industriales. Como medida para ahorrar recursos, aparecen las tecnologías de bajo costo como lo son los humedales artificiales que son una opción muy viable para la eliminación de contaminantes, además de que son sustentables y no necesitan de gran mantenimiento, solo podar las plantas cuando sea necesario y verificar que el sistema no presente obstrucciones en los ductos de entrada y salida del agua³².

³¹ Reglamenta parcialmente la Ley 09 de a 1979 sobre potabilización y suministro de agua para consumo humano. Decreto 2105/83

³² SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Informe técnico sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Línea base 2010. Bogotá D.C. 2012. p. 14-16.

Figura 3. Municipios Colombianos con y sin PTAR clasificados por tipo de empresa y números de sistemas.



Fuente: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Informe técnico sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia línea base 2010. [En línea]. Bogotá. Oct, 2012. Disponible en <http://www.superservicios.gov.co/content/download/3474/36517/version/1/file/%282012%29+I+NFORME+T%C3%89CNICO+SOBRE+SISTEMAS+DE+TRATAMIENTO+DE+AGUAS+RESIDUALES+EN+COLOMBIA+L%C3%8DNEA+BASE+2010.pdf>

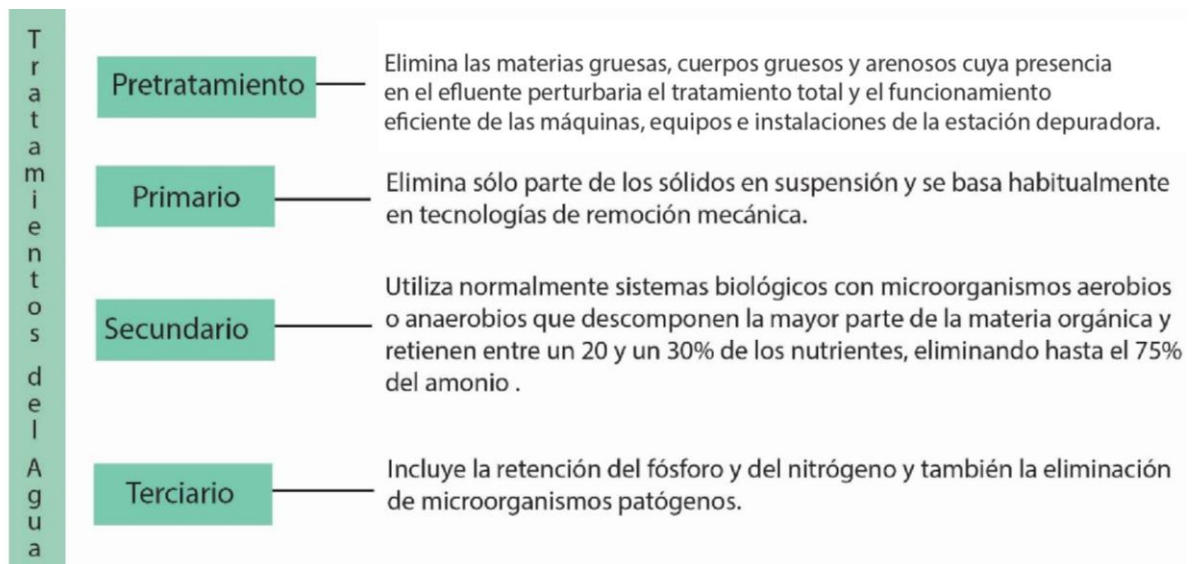
3. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL Y MEDIOS DE SOPORTE

En la actualidad existen gran variedad de procesos para la purificación del agua, estos tienen en común una serie de tratamientos. A continuación, se enunciarán e identificarán los sistemas de tratamientos de agua y medios de soportes actuales para poder determinar los requerimientos y parámetros que facilitarán la resolución del proyecto.

3.1 TRATAMIENTOS DEL AGUA

En la figura 4 se mencionan las etapas del tratamiento del agua residual.

Figura 4. Tratamientos del Agua



Fuente: Adaptado de FERNÁNDEZ, Jesús, *et al.* Manual de Fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación. 2005.

Las aguas residuales no tratadas, pueden ocasionar graves problemas ambientales y sanitarios, como infecciones bacterianas (fiebres tifoideas,

salmonelosis, cólera, gastroenteritis), infecciones víricas (gastroenteritis, hepatitis A), parasitosis (coccidios, amebas, hidatidosis, cisticercosis, nematodosis), además de mantener vectores y hospedadores (moluscos, crustáceos, artrópodos hematófagos)³³.

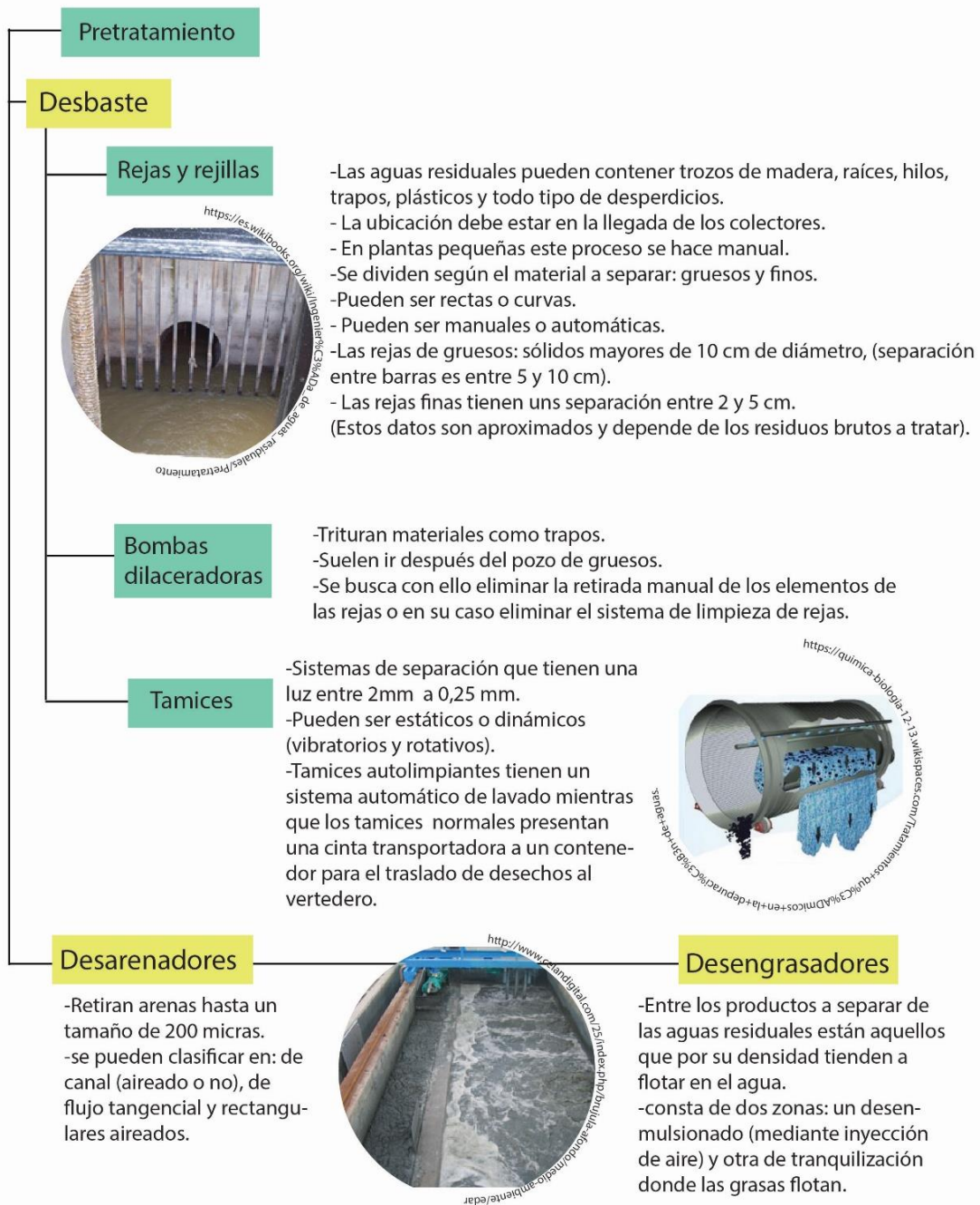
Se debe de realizar un debido tratamiento físico, biológico y químico al agua para que pueda ser consumida y usada en la higiene personal, también para mantener un equilibrio en el ecosistema y el hábitat acuático no se vea desgastado por su contaminación³⁴.

3.1.1 pretratamiento Las aguas residuales deben tener un tratamiento previo para poder recoger los desechos como las basuras y todas las materias gruesas. Se presentan para la etapa de pretratamiento de las aguas residuales los siguientes procesos: desbaste, eliminación de arenas y desengrasado. En la siguiente figura 5 se mencionan los principales métodos utilizados en el pretratamiento del agua residual.

³³ FERNÁNDEZ, Jesús, et al. Manual de Fitodepuración: Filtros de macrófitas en flotación. Universidad Politécnica de Madrid. 2005. p. 20.

³⁴ SECRETARIADO ALIANZA POR EL AGUA/ ECOLOGÍA Y DESARROLLO. Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Edic, Ideasmares. 2008. p. 223-226.

Figura 5. Pretratamiento del agua residual



Fuente: Adaptado de FERNÁNDEZ, Jesús, *et al.* Manual de Fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación. 2005.

3.1.2 tratamiento primario Este tipo de tratamiento elimina sólidos en suspensión y se basa habitualmente en tecnologías de remoción mecánica.

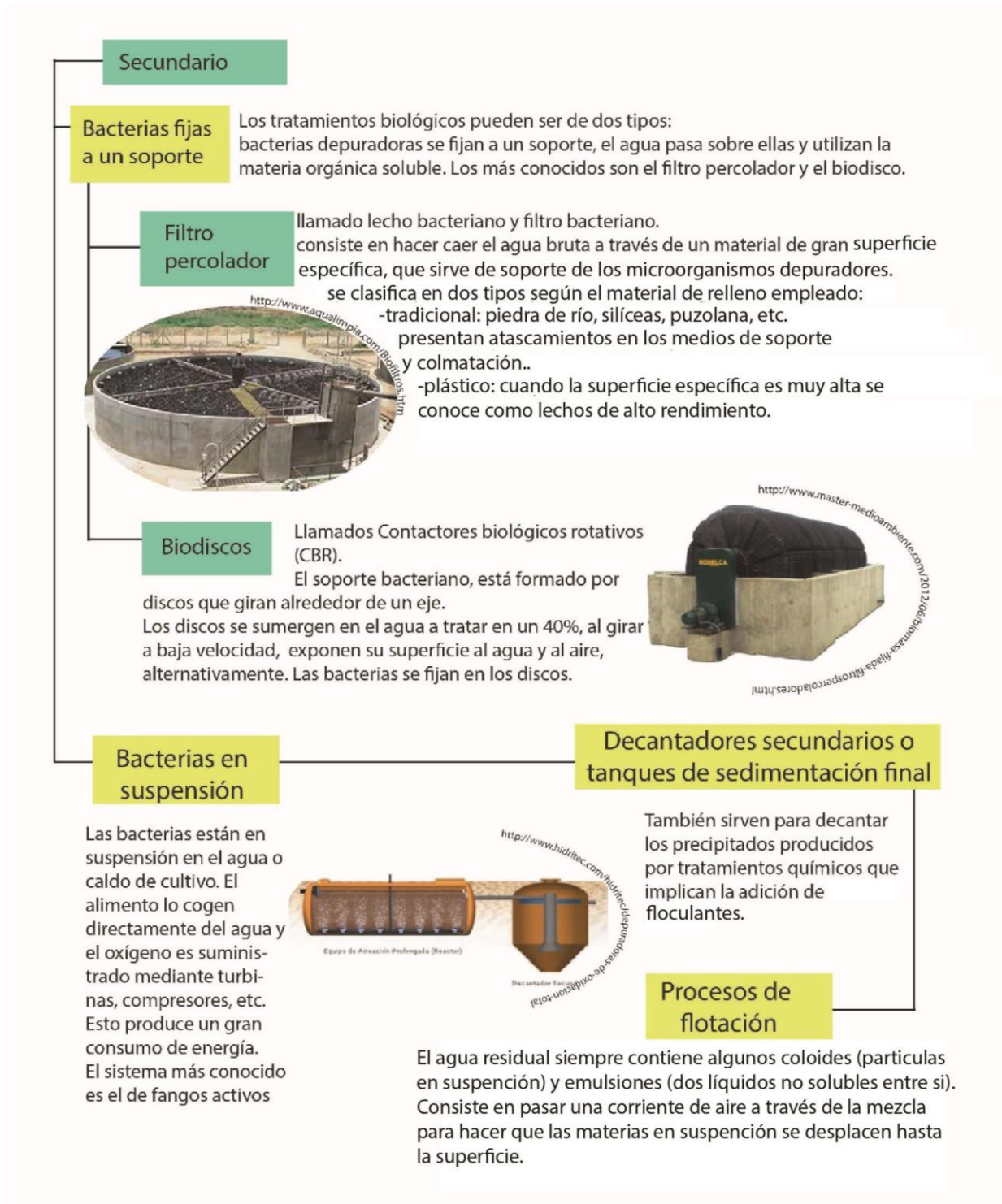
El agua residual contiene elementos que pueden sedimentarse (hundir) o flotar, usándose para este tratamiento decantadores, dado que sirve para decantar y sedimentar el agua residual; estos sólidos son arrastrados hacia un extremo o el centro según sea el tipo de decantador empleado. Posteriormente, estos sólidos van a un pozo de recogida. Desde este pozo se bombean a los sistemas de tratamiento y evacuación de fangos, los residuos flotantes se eliminan mediante barrederas y se llevan a vertederos, se incineran o se entierran³⁵.

3.1.3 tratamiento secundario Este tratamiento usa sistemas biológicos, estos emplean microorganismos que pueden ser aerobios o anaerobios, estos son los encargados de la depuración de la materia orgánica, conteniendo entre un 20 y 30% de nutrientes y depurando de igual manera un 75% de amonio³⁶. En la figura 6 se describen algunos sistemas para tratar el agua residual en la segunda etapa.

³⁵ FERNÁNDEZ, Jesús, et al. Manual de Fitodepuración: Filtros de macrófitas en flotación. Universidad Politécnica de Madrid. 2005. p. 20.

³⁶ Ibid.

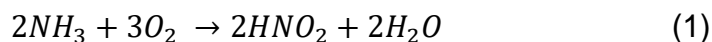
Figura 6. Tratamiento Secundario del agua residual



Fuente: Adaptado de FERNÁNDEZ, Jesús, *et al.* Manual de Fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación. 2005.

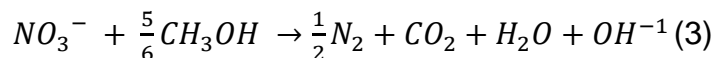
3.1.4 tratamiento terciario En esta etapa física y química, los principales elementos a eliminar son el Fósforo y Nitrógeno, también compuestos como minerales y metales pesados³⁷.

La nitrificación es un proceso aerobio que consta de dos etapas representadas en las siguientes reacciones:



En la primera etapa el nitrógeno amoniacal (NH_3) se oxida para producir nitrito (NO_2^{-1}), como se observa en la reacción 1, y en la segunda etapa el nitrito anteriormente producido se oxida para producir finalmente nitrato (NO_3^{-1}), como se muestra en la reacción 2.

La desnitrificación, por su parte, es un proceso anaerobio en el que los nitratos (NO_3^{-1}) se reducen, dando como producto final nitrógeno gaseoso (N_2) el cual se desprenderá a la atmósfera. La reacción general de desnitrificación se representa en la reacción 3, tomando como fuente de carbono el metanol (CH_3OH)³⁸



El nitrato al igual que el fósforo se pueden eliminar con ayuda de macrófitas por vía radicular (raíces) para luego usarlo para formar sus proteínas³⁹.

³⁷ ARGANDOÑO, Ligia. MACÍAS, Ramón. Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la Parroquia Colón, Cantón Portoviejo, Provincia de Manabí, durante el período de marzo a septiembre 2013. Trabajo de Grado Ingeniero Químico. Ecuador: Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. 2013. p.66.

³⁸ KLEIN, Louis. Biochemical and Physicochemical Aspects of River Pollution. En: River pollution: Causes and Effects. Segunda Edición. Butterworth & Co. (Publishers), (1972); p. 181-253.

³⁹ FERNÁNDEZ, Jesús, et al. Manual de Fitodepuración: Filtros de macrófitas en flotación. Universidad Politécnica de Madrid. 2005. p. 20.

Eliminación de microorganismos: Muchos microorganismos patógenos se han eliminado por cloración. Actualmente se han desechado ya que puede producir cloraminas⁴⁰ y traer consecuencias como: la nitrificación, menor capacidad de oxidación y desinfección, generación de cloruro de cianógeno que puede afectar las vías respiratorias, causar náuseas, vómito y hasta llegar a producir parálisis y muerte a largo plazo⁴¹. Métodos alternativos para eliminar microorganismos son la ozonización, rayos ultravioletas, etc.

3.2 TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES

Lagunajes. Consiste en verter el agua residual sobre una serie de lagunas en las que se produce la depuración. Estas lagunas pueden ser: Anaerobias, facultativas y aerobias o de maduración⁴².

Filtros verdes. Son superficies de terreno con o sin vegetación, sobre las que se vierte el agua residual, actuando como principal elemento depurador el suelo y la rizosfera de las plantas. Entre los sistemas de este tipo están los siguientes: riego sobre superficies herbáceas, escorrentía sobre cubierta vegetal, filtros verdes de especies leñosas e infiltración, una de las consecuencias de este método es la contaminación de acuíferos⁴³.

Limitaciones de los tratamientos de aguas residuales para pequeñas comunidades.

⁴⁰ Ibid., p. 45.

⁴¹ RAMÍREZ, Francisco. Desinfección del agua con cloro y Cloraminas. Técnica Industrial. 2005. p. 62-64.

⁴² FERNÁNDEZ, Jesús, et al. Manual de Fitodepuración: Filtros de macrófitas en flotación. Universidad Politécnica de Madrid. 2005. p. 20.

⁴³ Ibid

- Disponibilidad del terreno, ya sea por topografía como pendientes y erosionabilidad, planes urbanísticos o por las características del suelo (pH, nutrientes, potencialidad de percolación, salinidad, etc).
- La climatología es un factor importante, el análisis de los microclimas, las temperaturas, las precipitaciones, los vientos, la evaporación, etc.
- La hidrología puede ser un factor condicionante e incluso excluyente de algún sistema.
- La proximidad de cursos de agua superficiales o poco profundos, la existencia de acuíferos, mantos de agua, etc.
- Las características de las aguas residuales, dependiendo sobre todo de la existencia de industrias que generen compuestos tóxicos o metales pesados.
- La retención de bacterias y virus por el suelo, que es muy efectiva, sobre todo en cuanto a bacterias se refiere. En general, no se deben realizar cultivos para consumo humano⁴⁴.

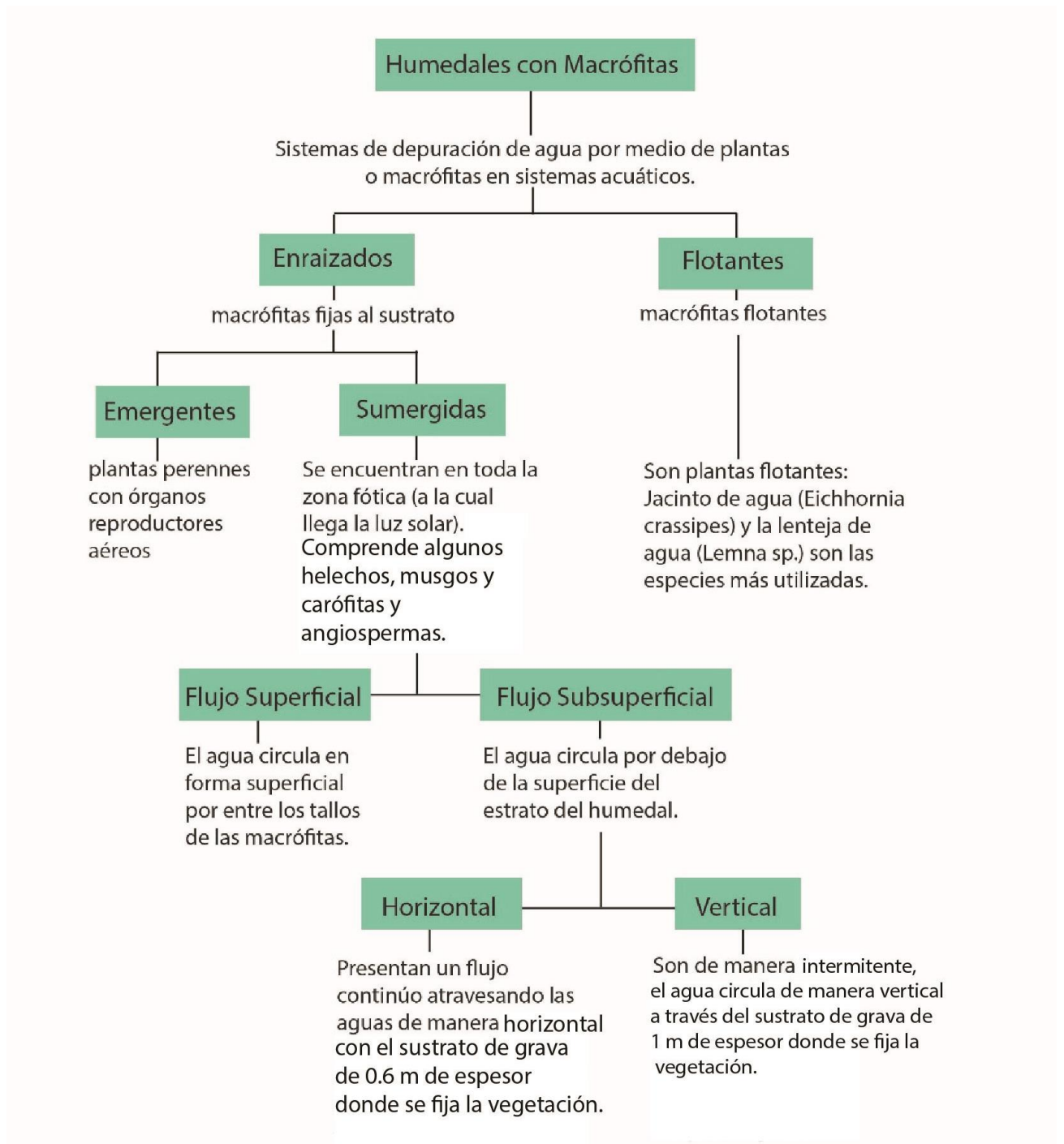
3.3 HUMEDALES

Los humedales como parte del tratamiento secundario permiten mantener un ambiente controlado a bajos costos, con la ayuda de macrófitas (vegetación) y un medio de soporte para degradar la materia orgánica aun contenida en el agua. Los humedales pueden ser naturales o artificiales. Los artificiales pueden ser de varios tipos: de flujo superficial o flujo subsuperficial⁴⁵. En la figura 7 se describen los tipos de humedales artificiales y el tipo de macrófitas que emplean.

⁴⁴ Ibid., p.46.

⁴⁵ FERNÁNDEZ, Jesús, et al. Manual de Fitodepuración: Filtros de macrófitas en flotación. Universidad Politécnica de Madrid. 2005. p. 20.

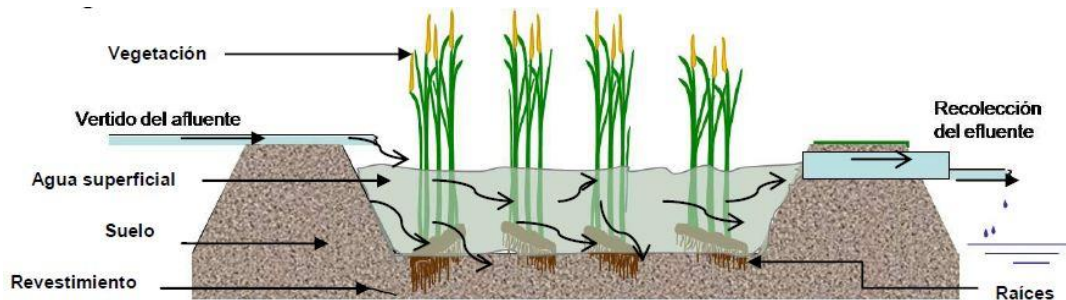
Figura 7. Clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas



Fuente: Adaptado de DELGADILLO, Oscar, *et al.* Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Bolivia. 2010.

3.3.1 Humedales artificiales de flujo superficial Este tipo de humedal presenta el agua en contacto con el medio ambiente, requiere de varias hectáreas y emplea plantas emergentes, estas y sus raíces junto con hojas secas de la misma planta hacen la labor de medio de soporte para la generación de biopelícula (bacterias) las cuales se encargarán de la degradación de la materia orgánica presente en el agua⁴⁶. La figura 8 muestra la disposición de un humedal artificial de flujo superficial.

Figura 8. Humedal de flujo Superficial



Fuente: ESTRADA, Islena. Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (hafss) para remoción de metales pesados en aguas residuales - Universidad Tecnológica de Pereira (2010)

3.3.2 Humedales artificiales de flujo subsuperficial En este humedal artificial el agua fluye a través de la grava en la cual se sujeta las macrófitas para su crecimiento, una macrófita muy común para este humedal es el Carrizo (*Phragmites australis*), estos humedales son de tamaño más reducido con relación a los humedales artificiales de flujo superficial, otra ventaja es que evita la aparición de malos olores y la circulación de mosquitos al mantener el flujo del agua de manera subsuperficial.⁴⁷

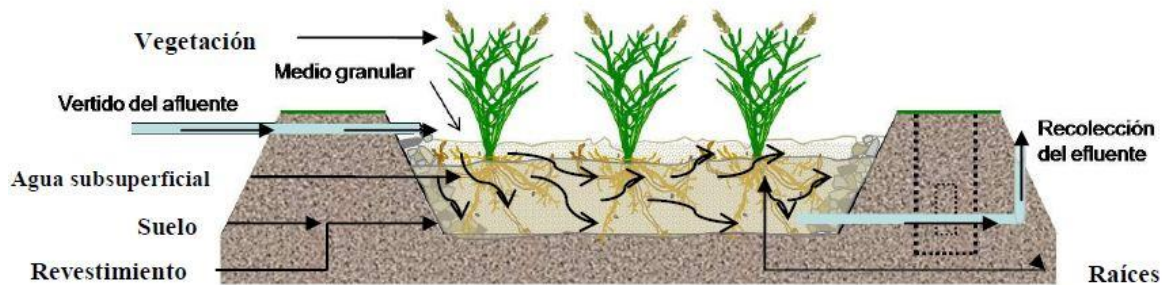
⁴⁶ SECRETARIADO ALIANZA POR EL AGUA/ ECOLOGÍA Y DESARROLLO. Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Edic, Ideasmares. 2008. p. 223-226.

⁴⁷ Ibid

Según la dirección en la que circulan las aguas a través del sustrato, los humedales artificiales de flujo subsuperficial se clasifican en verticales y horizontales.

3.3.2.1 Humedales de flujo subsuperficial horizontal Los humedales de flujo subsuperficial horizontal presentan un flujo continuo atravesando las aguas de manera horizontal con el sustrato de grava de 0.6 m de espesor donde se fija la vegetación⁴⁸. La figura 9 muestra la disposición de un humedal de flujo subsuperficial horizontal.

Figura 9. Humedal de flujo Subsuperficial Horizontal



Fuente: ESTRADA, Islena. Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (hafss) para remoción de metales pesados en aguas residuales - Universidad Tecnológica de Pereira (2010)

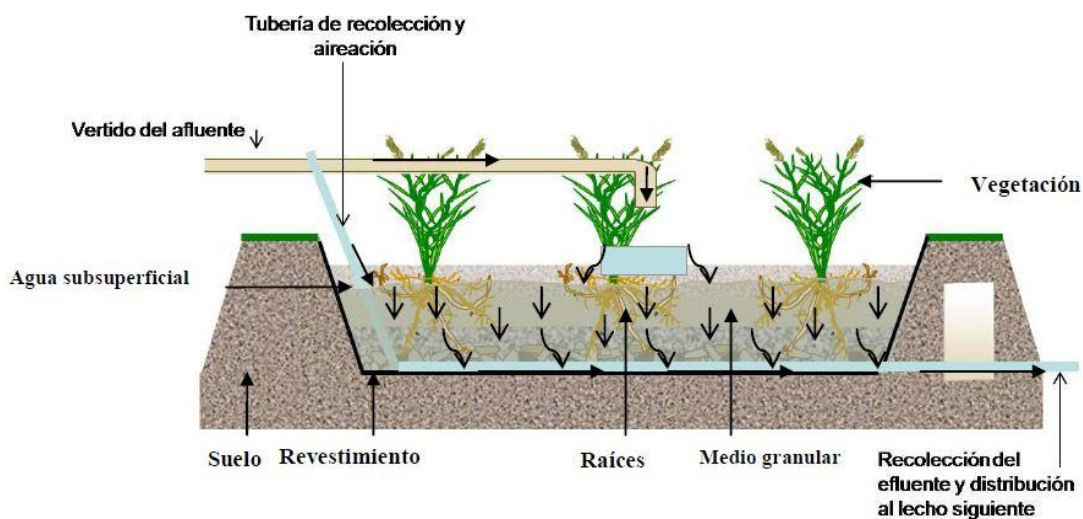
3.3.2.2 Humedales de flujo subsuperficial vertical Los humedales de flujo subsuperficial vertical son de manera intermitente, el agua circula de manera vertical a través del sustrato de grava de 1 m de espesor donde se fija la vegetación. En el fondo de los humedales, se dispone de un drenaje para la recogida del efluente⁴⁹.

⁴⁸ SECRETARIADO ALIANZA POR EL AGUA/ ECOLOGÍA Y DESARROLLO. Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Edic, Ideasamares. 2008. p. 223-226.

⁴⁹ Ibid

La figura 10 muestra la disposición de un humedal de flujo subsuperficial vertical.

Figura 10. Humedal de flujo Subsuperficial Vertical



Fuente: ESTRADA, Islena. Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (hafss) para remoción de metales pesados en aguas residuales - Universidad Tecnológica de Pereira (2010)

3.3.3 Medio de soporte El sustrato o medio de soporte de los humedales está conformado por grava, arena y rocas. Estos se ubican en la base del humedal y soportan los organismos vivientes que se encargarán de depurar la materia orgánica existente en el agua⁵⁰. En la tabla 2 se muestra los tipos de sustratos y sus propiedades.

⁵⁰ SECRETARIADO ALIANZA POR EL AGUA/ ECOLOGÍA Y DESARROLLO. Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Edic, Ideasmares. 2008. p. 223-226.

Tabla 2. Características típicas de los soportes para humedales artificiales de flujo subsuperficial

Tipo de Material	Tamaño efectivo (mm)	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica (m/d)
Arena gruesa	2	28-32	100-1000
Arena gravosa	8	30-35	500-5000
Grava fina	16	35-38	1000-10000
Grava Media	32	36-40	10000-50000
Grava Gruesa	128	38-45	50000-250000

Fuente: OTALORA, Alejandra. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño Gandúl. Trabajo de Magister en Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia. 2011.

3.3.3.1 Grava Son aquellas rocas que se obtienen por su degradación natural como en los ríos, estas rocas redondeadas por el movimiento de los ríos se llaman canto redondeados, por otro lado, las rocas obtenidas por la acción del hombre son llamadas partidas o chancada. Los tamaños de las rocas varían según el uso que se le vaya a dar⁵¹.

Extracción de la grava La minería es altamente contaminante para el medio ambiente, entre sus principales causas se encuentran: la minería informal, la minería legal que no sigue todos los debidos procedimientos, las limitaciones a nivel industrial de algunas empresas y la sobreexplotación del entorno⁵². Los hábitats terrestres y acuáticos son destruidos por estas prácticas, al igual que se

⁵¹ ÁRIDOS ANTOFAGASTA. Grava. [En línea]. Chile. 2017. (Recuperado en 5 agosto 2017). Disponible en <http://www.aridosantofagasta.cl/grava.html>

⁵² LUNA, Alexander. El impacto ambiental por la actividad de explotación de canteras en la localidad de Usme y sus principales medidas de manejo. Especialización en Planeación Ambiental y Manejo de los Recursos Naturales. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada. 2015. p. 6.

contamina el aire. En Colombia el 40% del territorio es solicitado por empresas multinacionales para la extracción de minerales e hidrocarburos⁵³.

Medios de Soporte Plásticos Los medios de soporte plásticos son más comunes en tratamientos industriales como lo son los filtros percoladores; tradicionalmente se implementaba la grava, pero al comprobarse que con medios de soportes alternativos como los plásticos se puede aumentar la eficiencia del tratamiento, optaron por su uso⁵⁴. En Colombia el medio de soporte principal a utilizar en humedales artificiales es la grava, actualmente la Universidad Nacional de Colombia trabaja en una patente en esta misma línea, buscando remplazar la grava como principal medio de soporte⁵⁵.

3.3.4 Plantas La especie de planta depende del tipo de humedal que se vaya a implementar, también depende el lugar, ya que el clima es variante. La tabla 3 muestra algunas plantas implementadas en humedales.

⁵³ GARZÓN, Nathalya. Análisis preliminar de los impactos ambientales y sociales generados por la minería de arcillas a cielo abierto en la vereda el Mochuelo bajo, Ciudad Bolívar, Bogotá D.C., estudio de caso. Trabajo de Grado de Ecología. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. 2013. p. 13.

⁵⁴ TL INGEAMBIENTE. Rosetón para tratamiento de aguas residuales. [En línea]. 2016. (Recuperado en 5 julio 2016). Disponible en <http://www.tlingeambiente.com/servicios/construccion-consultoria-e-interventoria/>

⁵⁵ OTALORA, Alejandra. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño Gandúl. Trabajo de Magister en Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. 2011. p.10-22.

Tabla 3. Tipos de Plantas y sus características

Planta	Características
<p data-bbox="224 401 574 428">Figura 11. <i>Planta Typha spp</i></p>  <p data-bbox="224 779 727 806">Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Typha</p>	<p data-bbox="829 401 1370 1146">Entre sus nombres comunes se encuentran Espadaña, Enea, Anea, Totorá, Bayón, Bayunco, Bohorno, Henea y maza de agua. Es capaz de crecer en diferentes condiciones ambientales y es de fácil propagación, puede llegar a depurar pequeñas cantidades de Nitrógeno y Fósforo. Las raíces penetran en la grava unos 30cm por lo que no se recomienda tanto su uso para humedales subsuperficiales⁵⁶. En la figura 11 se observa la planta <i>Typha spp</i>.</p>
<p data-bbox="224 1169 594 1197">Figura 12. <i>Planta Scirpus spp</i></p>  <p data-bbox="224 1568 730 1625">Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Schoenoplectus_lacustris</p>	<p data-bbox="829 1169 1370 1640">Su nombre común es Junco, es una planta que crece en grupo y dura mucho tiempo, crecen en aguas costeras y humedales, sus raíces penetran en la grava unos 60 cm haciéndola ideal para humedales de flujo subsuperficial⁵⁷. En la figura 12 se observa la planta <i>Scirpus spp</i> en un entorno natural.</p>

⁵⁶ DELGADILLO, Oscar, et al. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Bolivia. 2010. p. 9-13.

⁵⁷ Ibid

<p>Figura 13. <i>Planta Phragmites spp</i></p>  <p>Fuente: http://mbpollen.com/es/las-plantas-gramineas-2/</p>	<p>Su nombre común es Carrizo, son plantas altas con rizomas extensos y duraderos, son eficaces en la transferencia de oxígeno y requieren de bajo valor alimenticio, sus raíces penetran en la grava unos 40 cm, se recomienda en humedales subsuperficiales⁵⁸. La figura 13 muestra la planta <i>Phragmites spp</i>.</p>

Fuente: Adaptado de DELGADILLO, Oscar, et al. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Bolivia. 2010. p. 9-13.

3.3.5 Biopelícula La biopelícula está conformada por la agrupación de diversos microorganismos⁵⁹, entre los cuales se encuentran diferentes especies de bacterias, hongos y protozoos⁶⁰.

Los microorganismos de la biopelícula, inicialmente se adhieren al sustrato o medio de soporte hasta formar varias capas biológicas, ocasionando que las capas superiores al tener mayor contacto con el entorno, presenten una mejor alimentación y captación de oxígeno, mientras que las capas más profundas al

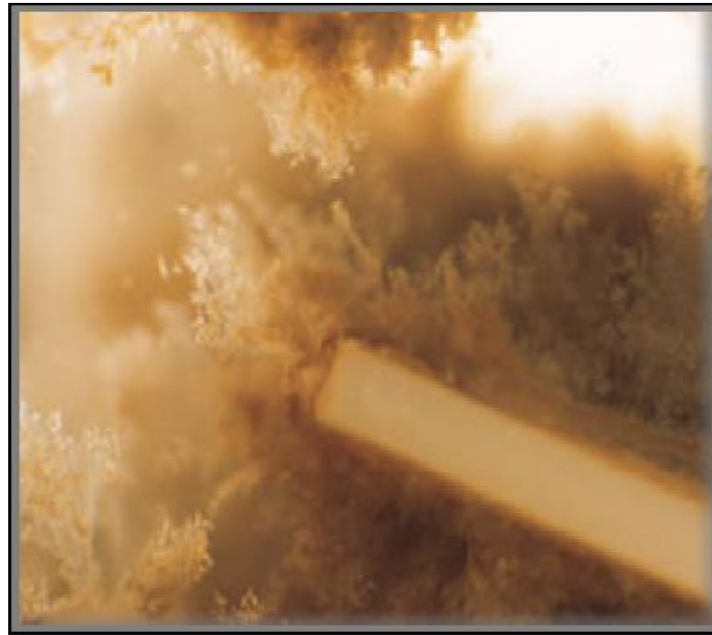
⁵⁸ DELGADILLO, Oscar, et al. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Bolivia. 2010. p. 9-13.

⁵⁹ PÉREZ, Octavio. GONZÁLEZ, Oscar. GONZÁLEZ, Simón. Tratamiento de aguas en zonas industriales, urbanas y rurales: Estructura de películas biológicas en tratamiento de aguas residuales. Ingeniería Ambiental. 2006.

⁶⁰ WELTER, Adriana, et al. La biopelícula en los procesos RBC. Universidad Católica de Córdoba. Facultad de Ingeniería. 2004. p. 4-9.

tener dificultades para alimentarse y captar oxígeno, mueren y se desprenden del medio de soporte⁶¹. En la figura 14 se observa la biopelícula formada en un medio de soporte.

Figura 14. Biopelícula formada en el medio de soporte ANOXKALNES




Fuente: OTALORA, Alejandra. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño Gandúl. Trabajo de Magister en Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia. 2011.

⁶¹ GÓMEZ, David. Diseño de sistemas de biopelícula, para tratamiento aguas residuales. 2002.

3.4 ESTADO DEL ARTE

A continuación, se menciona en la tabla 4, algunas alternativas que han sido usadas como medio de soporte en el tratamiento de agua residual.

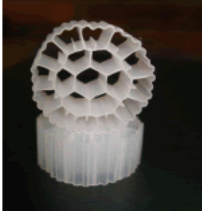

Tabla 4. Estado del Arte

3.4.1 Grava	
<p>Figura 15. Grava</p>  <p>Fuente: https://www.jardineriatj.com/grava</p>	<p>Son aquellas rocas que se obtienen por su degradación natural o por la acción del hombre, los tamaños de las rocas varían según el uso que se le vaya a dar⁶², puede tener tamaños desde 2 mm hasta 128 mm⁶³. La grava se ha empleado como medio de soporte para el tratamiento de agua residual, tanto en humedales artificiales como en plantas de tratamiento; hoy en día este material fue remplazado en varias PTAR por un medio de soporte plástico⁶⁴. La figura 15 muestra que la grava no es homogénea en su forma y</p>

⁶² ÁRIDOS ANTOFAGASTA. Grava. [En línea]. Chile. 2017. (Recuperado en 5 agosto 2017). Disponible en <http://www.aridosantofagasta.cl/grava.html>



⁶³ OTALORA, Alejandra. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño Gandúl. Trabajo de Magister en Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. 2011. p.10-22.

⁶⁴ TL INGEAMBIENTE. Rosetón para tratamiento de aguas residuales. [En línea]. 2016. (Recuperado en 5 julio 2016). Disponible en <http://www.tlingeambiente.com/servicios/construccion-consultoria-e-interventoria/>

	tamaño.
3.4.2 ANITA™ Mox by (Veolia Water Solutions & Technologies)	
<p>Figura 16. Anita</p>  <p>Fuente: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S001273532010000200005&scrip=sci_arttext</p> <p>Figura 17. Anita colonizado</p>  <p>Fuente: http://www.iagua.es/noticias/depuracion/12/05/22/tratamiento-de-efluentes-con-alta-carga-de-amonio-de-forma-sostenible-y-economica-17164</p>	<p>ANITA™ Mox : Medio de soporte empleado en reactor biológico de lechos móviles (MBBR), el cual contiene el agua a tratar junto con los medios de soporte; estos reactores pueden ser aerobios (sistemas de aireación) que permiten movimiento tanto del agua como del medio de soporte o anaerobios (sistema mecánico) para permitir la formación de biofilm⁶⁵. La figura 16 muestra el medio de soporte Anita sin formación de biopelícula. Este tratamiento se mejoró al introducir el material de soporte ya colonizado con biofilm (bacterias anammox); producidas en la granja Biofarm⁶⁶. La figura 17 muestra el medio de soporte Anita con formación de biopelícula.</p> <p>El material de soporte cuenta con un medio granular rugoso de poli-etileno de alta densidad de diámetro de 3 mm y un volumen aplicado equivalente de 3.5L. con un diámetro de 25 mm y un</p>

⁶⁵ VEOLIA. Anita Mox MBBR IFAS Anita Mox. Soluciones sostenibles y económicas para el tratamiento de efluentes con alta carga de amonio. 2016

⁶⁶ Ibid.

	<p>área superficial específica de $500\text{m}^2/\text{m}^3$, con un volumen aplicado de 4L^{67}.</p>
<p>3.4.3 Biodiscos</p>	
<p>Figura 18. Biodiscos</p>  <p>Fuente: http://www.rodelca.com.ve/plan_biodisco.html</p> <p>Figura 19. Montaje Biodiscos</p>  <p>Fuente: http://www.master-medioambiente.com/2012/06/biomasa-fijada-filtrospercoladores.html</p>	<p>Son usados en conjunto de varios discos como los que se muestran en la figura 18, estos discos de material plástico se adaptan a un eje horizontal que permitirá el movimiento giratorio. La velocidad depende del diámetro de los discos; para discos de diámetro aproximado 3 m, se tiene una velocidad entre 1 a 4 r.p.m. Los discos se encuentran en contacto con el agua residual a tratar, y en ellos se formará biopelícula, este sistema se alterna con una fase aerobia al tener contacto con el aire⁶⁸ como se muestra en el montaje en la figura 19.</p>
<p>3.4.4 ANOXKALDNES</p>	
<p>Figura 20. Anoxkaldnes</p>	<p>Los medios soporte AnoxKaldnes™ de Veolia están basados en la formación y acumulación de biofilm, estos soportes son empleados en los reactores con</p>

⁶⁷ Ibid., p. 58


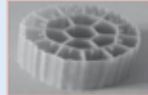


⁶⁸ WELTER, Adriana, et al. La biopelícula en los procesos RBC. Universidad Católica de Córdoba. Facultad de Ingeniería. 2004. p. 4-9.



película biológica de cama móvil (MBBR)⁶⁹. En la figura 20 se muestran varios productos de la misma referencia y en la figura 21 se muestran las características de los medios de soporte AnoxKaldnes™.

Fuente: <http://www.veoliawatertechnologies.es/tecnologias/anoxkaldnes/>

Figura 21. Tabla Anoxhaldnes

Parámetro	AnoxKaldnes tipo K1	AnoxKaldnes tipo K3	Matrix tipo O	Matrix tipo F3
Forma				
Longitud (mm)	7	12	50	37
Diámetro (mm)	10	25	60	46
Grado máximo de llenado	70%	70%	60%	60%
Superficie específica efectiva (m ² /m ³)	500	500	300	200

Fuente: Adaptado de <http://www.veoliawatertechnologies.es/tecnologias/anoxkaldnes/>

3.4.5 ETS

Figura 22. ETS



Elaborados en Polietileno de alta densidad HDPE (nuevo o reciclado), con un tamaño de 12 mm, superficie efectiva de 650 m² / m³. En la figura 22 se muestra el medio de soporte ETS y en la figura 23 una referencia del tamaño real. Son empleados en MBBR aerobios donde las bacterias

Fuente: <http://www.entreso.com/products/moving-bed-bioreactor-mbbr/>

Figura 23. ETS Referencia tamaño

⁶⁹ VEOLIA. Proceso MBBR para depuración biológica: AnoxKaldnes™. [En línea]. 2017. (Recuperado en 5 julio 2016). Disponible en <http://www.veoliawatertechnologies.es/tecnologias/mbbr/>

 <p>Fuente: http://www.entreso.com/products/moving-bed-bioreactor-mbbr/</p>	<p>descomponen la materia orgánica de las aguas residuales, el sistema de aireación mantiene estos soportes en movimiento⁷⁰.</p>
--	---

3.4.6 BIO-CASCADA (MBBR)

<p>Figura 24. Bio-cascada</p>  <p>Fuente: http://www.biotecnologia.com.mx/EMPAQUE.html</p>	<p>Diseñado por Biotecnología Ambiental tiene un área superficial de 300m²/m³ elaborado en resina termoplástica (polipropileno) de gran dureza que permite que las bacterias se agrupen formando la biopelícula (biofilm) para la depuración de la materia orgánica presente en el agua residual⁷¹. La figura 24 nos muestra la forma del medio de soporte Bio-cascada.</p>
--	--

3.4.7 Medio de soporte (MSP). UNAL



<p>Figura 25. Bioesfera.</p>  <p>Fuente: Otalora, Alejandra. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales</p>	<p>Medio de soporte, empleados en humedales artificiales e implementado por la Universidad Nacional, este medio de soporte tiene una superficie específica de 300 m² / m³, sirven de</p>
---	--

⁷⁰ ENTRESO. Medio de soporte ETS. [En línea]. 2015. (Recuperado en 10 abril 2016). Disponible en <http://www.entreso.com/products/moving-bed-bioreactor-mbbr/>

⁷¹ BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL. Tratamiento de aguas residuales: Empaque Bio-cascada. [En línea]. México D.F. 2017. (Recuperado en 20 julio 2017). Disponible en <http://www.biotecnologia.com.mx/EMPAQUE.html>


<p>domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño Gandúl. Trabajo de grado. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. 2011.</p>	<p>soporte para la formación de biopelícula y las macrófitas (plantas empleadas en dicho tratamiento) dentro del lecho del humedal artificial⁷². En la figura 25 se muestra un render y el modelo real.</p>
---	--

3.4.8 Biobolas

<p>Figura 26. Biobolas.</p>  <p>Fuente: http://www.dhresource.com/0x0s/f2-albu-g1-M01-AB-A4-rBVaGVSjnOKASCKuAAD1ldrlaFc823.jpg/acesorios-acuarios-de-18-mm-biol-gicos-bio.jpg</p> <p>Figura 27. Biobola abierta</p> 	<p>Las Biobolas son elementos generalmente con forma esférica, de allí que proviene su nombre. Se emplean en acuarios de agua dulce y salada, proporcionando una superficie para el crecimiento de bacterias, realizando de esta manera un proceso de filtrado natural del agua.</p> <p>Las Biobolas están compuestas por dos partes que se separan por la mitad para poderse abrir, su interior es hueco en donde se le agrega un material más poroso donde se albergarán las bacterias⁷³. La figura 26 muestra una biobola cerrada y la figura 27 una abierta con el material poroso en el interior de esta.</p>
---	---

72 OTALORA, Alejandra. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño Gandúl. Trabajo de Magister en Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. 2011. p.10-22.

73 ZOOTECNIA DOMESTICA. Materiales filtrantes. [En línea]. 2017. (Recuperado en 10 agosto 2017). Disponible en <http://www.zootecniadomestica.com/materiales-filtrantes/>

<p>Fuente: https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTMaGSwk5vhLwN56Vk9Hfhn5SshkfGTWsqJK-PKbljd0NrqRMuYYQ</p>	
<p>3.4.9 Canutillos</p>	
<p>Figura 28. Canutillos</p>  <p>Fuente: https://koisers.files.wordpress.com/2014/05/canutillos-1.jpg</p>	<p>Al igual que las biobolas, los canutillos son material filtrante para acuarios de agua dulce o salada, están elaborados en cerámica, con forma cilíndrica hueca y porosa para soportar la colonización de las bacterias⁷⁴. La figura 28 muestra varios canutillos.</p>

3.5. MARCO METODOLÓGICO

El modelo del proceso de diseño está formado principalmente por los objetivos del proyecto con la realización de pruebas experimentales. Con estas pruebas se busca definir qué materiales y texturas muestran una mejor adherencia y formación de biopelícula, para ello se trabajó con agua residual doméstica obtenida del Reactor Biológico de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB).

Para el proceso de diseño se tuvo en cuenta metodología como Design Thinking en la etapa de generación de alternativas, esta metodología busca empatizar y centrarse en el usuario. Para la labor de plantear una propuesta de medio de soporte hay que tener en cuenta que no hay personas como usuarios, el medio de soporte estará dispuesto en un sistema, por ello se recurrió a conocedores del tema y a la literatura para la recopilación de información que será la base principal a los requerimientos que se tendrán en cuenta a lo largo del todo el proyecto, los

⁷⁴ Ibid., p.62.

requerimientos y parámetros se muestran en la tabla 5, esta metodología no se basará en los requerimientos y parámetros de manera tan estricta a la hora de iniciar el proceso de plantear alternativas. En esta metodología cualquier propuesta es importante, válida y viable por más irracional que parezca⁷⁵. Para obtener una tabulación y evaluación de cada alternativa planteada, se procedió a implementar la metodología de Diseño y desarrollo de producto la cual propone el uso de matrices de selección y evaluación⁷⁶. Para que la tabulación de resultados de cada matriz fuera más objetiva, se realizaron por medio del software SolidWorks (Permite la realización de modelos en 3D, piezas y ensamblajes además análisis y simulaciones a los modelos)⁷⁷, simulaciones de resistencia para ver qué tanto se deforma cada propuesta, simulaciones de flujo para observar su comportamiento y también se obtuvieron los valores de área superficial de cada modelo. Los respectivos valores obtenidos en las simulaciones se recopilaron y evaluaron según cada matriz. Con las dos últimas alternativas se aplicó una encuesta a conocedores del tema para que nos dieran su opinión y recomendaciones, luego a la alternativa seleccionada se le aplican mejoras y refinamiento. A continuación, en la figura 29 se explica cada una de las etapas de este proceso metodológico.

⁷⁵ INSTITUTO DE DISEÑO DE STANFORD. Guía del proceso creativo. Mini guía: Una introducción al Design Thinking + Bootcamp bootleg. 2017. p. 3-10.

⁷⁶ ULRICH, Karl. EPPINGER, Steven. Diseño y desarrollo de productos. McGraw-Hill/Interamericana Editores, 2009. p.141-158. ISBN-13:978-970-10-6936-3

⁷⁷SOLIDWORKS. SolidWorks Standard. [En línea]. 2017. (Recuperado en 10 agosto 2017). Disponible en <https://www.solidworks.es/sw/products/3d-cad/solidworks-standard.htm>

Figura 29. Metodología.



3.6. REQUERIMIENTOS Y PARÁMETROS

Tabla 5. Requerimientos y Parámetros

Enunciado sin interpretar	Parámetro
El medio de soporte debe contener la mayor cantidad de microorganismos que sea posible.	El medio de soporte debe tener un área superficial específica mayor a la referencia (300 m ² / m ³) ⁷⁸ .
El material del medio de soporte debe ser resistente, ya que va a tener contacto con el agua.	El material del medio de soporte debe tener una resistencia igual o mayor a 250 kg/m ³ en compresión ⁷⁹ . El material no debe oxidarse, ni reaccionar con el lecho o microorganismos ⁸⁰ .
El tamaño del medio de soporte no debe ser muy grande ya que hay humedales más artesanales y el medio de soporte debe poder servir para estos.	El tamaño del medio de soporte debe estar entre un rango de 5 cm de diámetro a 10 cm ⁸¹ .
El medio de soporte debe permitir el paso del agua	El medio de soporte debe permitir el flujo constante del agua ⁸² .
El medio de soporte debe permitir el paso	El medio de soporte debe ser simétrico o

⁷⁸ OTALORA, Alejandra. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño Gandúl. Trabajo de Magister en Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. 2011. p.10-22.

⁷⁹ ALIBABA. K1 K2 K3 bio media. [En línea]. 2017. (Recuperado en 10 agosto 2017). Disponible en https://www.alibaba.com/product-detail/K1-K2-K3-bio-media-plastic_604434496.html

⁸⁰ TORRES, Patricia. RODRIGUEZ, Jenny. URIBE, Iris. Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio: influencia del medio de soporte. [Base de datos en línea]. 2003. Revista Scientia et Technica, 3(23), 75-80. (Recuperado en 24 agosto 2017). Disponible en <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7393/4389>

⁸¹ ESPINOSA, Camilo. Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes. Trabajo de Maestría Ingeniería Civil. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. 2014. p. 37

⁸² DELGADILLO, Oscar, et al. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Bolivia. 2010. p. 9-13.

del agua aun estando apilado en desorden.	tener una forma-estructura que permita el paso del agua al ubicarse en cualquiera de sus caras ⁸³ .
Si el medio de soporte tiene ensambles, estos deben ser fáciles de armar.	El medio de soporte debe tener un fácil lenguaje de uso.
El precio por unidad del medio de soporte no debe ser muy alto	El precio por unidad del medio de soporte debe ser competitivo en el mercado actual ⁸⁴ .
Debe tener bajo impacto ambiental	El medio de soporte debe tener bajo impacto ambiental, pensando en materiales que no se puedan reciclar para darle un nuevo uso o materiales reciclables.

⁸³ Ibid., p.66.

⁸⁴ TORRES, Patricia. RODRIGUEZ, Jenny. URIBE, Iris. Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio: influencia del medio de soporte. [Base de datos en línea]. 2003. Revista Scientia et Technica, 3(23), 75-80. (Recuperado en 24 agosto 2017). Disponible en <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7393/4389>

4. VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO DE BIOPELÍCULA

Mediante pruebas experimentales se pretende descubrir qué materiales pueden ser los más propicios para el medio de soporte a plantear. Se realizaron pruebas para conocer cómo reacciona el material al contacto del medio al que será sometido y definir las superficies y estructuras que permitan realizar las tareas del humedal de manera más eficiente en adherencia de biopelícula y resistencia al medio.

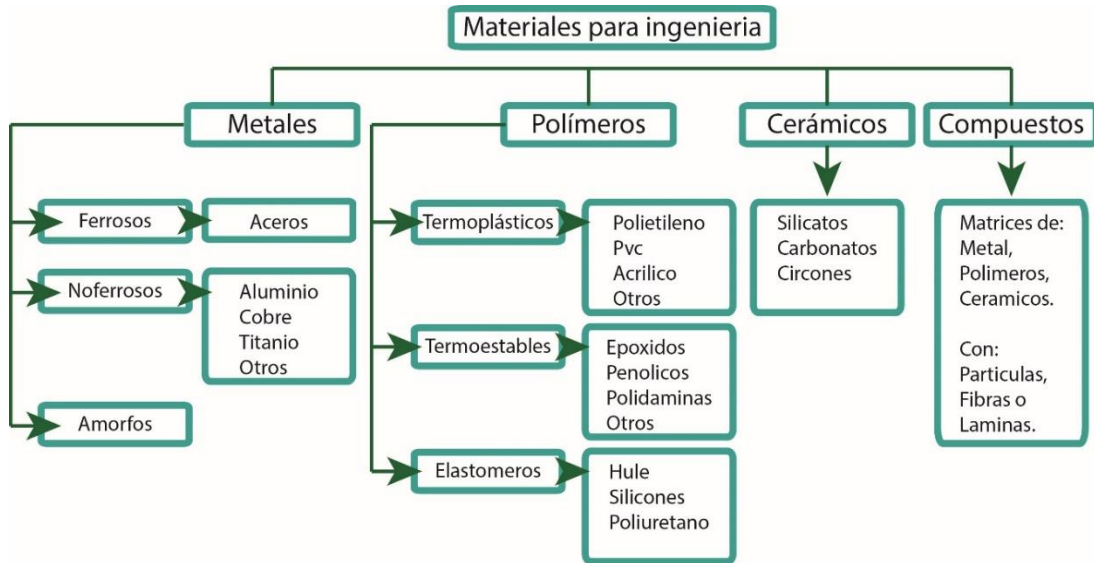
4.1. PRUEBA DE MATERIALES

Al momento de seleccionar los posibles materiales que pueden formar parte del producto, se deben tener en cuenta varios factores, como pueden ser su peso, facilidad de maquinado, energía gastada en los procesos, su reciclabilidad y si soportarán el ambiente al que serán sometidos. Por este motivo, se deben tener en cuenta las características del agua residual, ya que, a lo largo de su vida útil, este producto estará en constante contacto con el agua a tratar. Por este motivo se emulará el ambiente al que serán expuestos durante su uso.

4.1.1 Selección de materiales En el mercado existe gran cantidad de materiales, los cuales tienen distintas propiedades y usos. Unos afectan de forma directa el medio ambiente, ya sea en su extracción, su fabricación, su uso, o su disposición final. Unos tienen la posibilidad de ser reutilizados, otros no. Por lo anterior, se debe ser cuidadoso al momento de escoger el material para minimizar el impacto ambiental que se genera al producir cualquier producto⁸⁵. Los materiales para la industria se pueden clasificar en 4 grupos dependiendo de su composición, como se muestra en la figura 30.

⁸⁵ AGUILAR, Julio. Ciencia de los materiales. [En línea]. 2013. (Recuperado en 10 agosto 2017). Disponible en <http://recursosbiblio.url.edu.gt/Libros/2013/cml/2-cincia-materiales.pdf>

Figura 30 Clasificación de los materiales para ingeniería.



Fuente: Adaptado de AGUILAR, Julio. Ciencia de los materiales. [En línea]. 2013. Disponible en <http://recursosbiblio.url.edu.gt/Libros/2013/cml/2-cincia-materiales.pdf>

a. Polímeros Podemos considerar como un material polimérico sólido aquel que contiene múltiples unidades enlazadas químicamente y que están unidas entre sí para formar un sólido. Los plásticos se dividen en tres grupos: elastómeros, termoplásticos y termofijos, según sean los enlaces químicos de su estructura⁸⁶.

Los *elastómeros* o cauchos pueden alcanzar una deformación elástica muy grande cuando se les aplica una fuerza, y recuperar su forma original (o casi) cuando cesa la fuerza⁸⁷.

A los *termoplásticos* es necesario calentarlos para darles su forma y después enfriarlos, de este modo adquieren y conservan la forma que se les dio. Estos materiales pueden volverse a calentar cierto número de veces para darles nuevas formas sin que haya un cambio significativo en sus propiedades. La mayoría de los termoplásticos están constituidos por cadenas principales muy largas de átomos de carbono, enlazados entre sí en forma covalente⁸⁸.

⁸⁶ SMITH, William. HASHEMI, Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 4 ed. McGraw-Hill, 2011.

⁸⁷ Ibid.

⁸⁸ Ibid.

Los plásticos *termofijos* que adquieren una forma permanente al ser curados por una reacción química, no se pueden volver a fundir y darles forma de nuevo, ya que se degradan o descomponen cuando se calientan a una temperatura muy alta. Por este motivo, los plásticos termofijos no son reciclables. La mayoría de los plásticos termofijos están compuestos por una red de átomos de carbono enlazados en forma covalente para formar un sólido rígido⁸⁹.

Tabla 6 propiedades básicas de termoplásticos

Material	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a la tensión (×1000 psi)*	Resistencia al impacto, Izod (pie · lb/pulg)†	Resistencia dieléctrica (V/mil)‡	Temp. máx. de uso (sin carga)	
					°F	°C
Polietileno:						
Baja densidad	0.92-0.93	0.9-2.5		480	180-212	82-100
Alta densidad	0.95-0.96	2.9-5.4	0.4-14	480	175-250	80-120
PVC clorado, rígido	1.49-1.58	7.5-9	1.0-5.6		230	110
Polipropileno, uso general	0.90-0.91	4.8-5.5	0.4-2.2	650	225-300	107-150
Estireno-acrilonitrilo (SAN)	1.08	10-12	0.4-0.5	1775	140-220	60-104
ABS, uso general	1.05-1.07	5.9	6	385	160-200	71-93
Acrílico, uso general	1.11-1.19	11.0	2.3	450-500	130-230	54-110
Politetrafluoroetileno	2.1-2.3	1-4	2.5-4.0	400-500	550	288
Policarbonato	1.2	9	12-16	380	250	120
Poliéster:						
PET	1.37	10.4	0.8	· · ·	175	80
PBT	1.31	8.0-8.2	1.2-1.3	590-700	250	120
Óxido de polifenileno	1.06-1.10	7.8-9.6	5.0	400-500	175-220	80-105
Polisulfona	1.24	10.2	1.2	425	300	150
Sulfuro de polifenileno	1.34	10	0.3	595	500	260

*1000 psi = 6.9 MPa.

†Prueba Izod con muesca: 1 pie · lb/pulg = 53.38 J/m.

‡1 V/mil = 39.4 V/mm.

Fuente: Adaptado de SMITH, William. HASHEMI, Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 4 ed. McGraw-Hill, 2011.

Algunas propiedades básicas de termoplásticos seleccionados se muestran en la tabla 6. Una de las ventajas más importantes de muchos materiales plásticos para gran número de aplicaciones de ingeniería consiste en que sus densidades son

⁸⁹ SMITH, William. HASHEMI, Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 4 ed. McGraw-Hill, 2011.

relativamente bajas. La mayoría de los plásticos tienen densidades de cerca de 1, en comparación con la densidad de 7,8 del hierro. Las resistencias a la tensión de los materiales plásticos son relativamente bajas y, en consecuencia, esta propiedad puede convertirse en desventaja en algunos diseños de ingeniería. En su mayoría, los materiales plásticos tienen una resistencia a la tensión que varían de 8000 a 12 000 psi (55 a 83 MPa). La resistencia al impacto de los materiales plásticos de la tabla 6, varía entre 0,3 y 16 pies·lb/pulg. El policarbonato tiene una notable resistencia al impacto, que oscila de 12 a 16 pies·lb/pulg. En general, los materiales plásticos son buenos aislantes eléctricos. La temperatura máxima de uso de la mayoría de los materiales plásticos es relativamente baja y varía entre 54 a 150°C, para la mayoría de los materiales termoplásticos. Sin embargo, algunos termoplásticos tienen temperaturas máximas de uso más altas. Por ejemplo, el politetrafluoroetileno puede resistir temperaturas hasta de 288°C y el sulfuro de polifenileno hasta 260°C⁹⁰.

Los polímeros ofrecen gran variedad de alternativas en cuanto a su composición, esto les brinda una amplia gama de propiedades, de las cuales algunas son imposibles de obtener con cualquier otro material. Los termoplásticos son relativamente fáciles de procesar en forma casi terminada o terminada y su procesamiento puede ser automatizado en la mayoría de los casos. Tienen un menor peso con relación a otros materiales, esto da facilidad de transporte. Tienen buena resistencia a la corrosión en muchos ambientes. En la mayoría de los casos su costo es relativamente bajo, y son reciclables casi en su mayoría (termoplásticos)⁹¹.

b. Cerámicos Los cerámicos se definen como sólidos inorgánicos no metálicos, que constan de elementos metálicos y no metálicos enlazados entre sí principalmente por enlaces iónicos y/o enlaces covalentes. Los materiales

⁹⁰ SMITH, William. HASHEMI, Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 4 ed. McGraw-Hill, 2011.

⁹¹ Ibid.

cerámicos se pueden dividir en dos grupos, teniendo en cuenta la cantidad de elementos que lo componen: los tradicionales y los de ingeniería. La cerámica tradicional está hecha de tres componentes básicos: arcilla, sílice y feldespato, ejemplos de cerámicas tradicionales son los vidrios, ladrillos y azulejos que se usan en la construcción. Las cerámicas de ingeniería, en cambio, consisten típicamente en compuestos puros o casi puros como óxido de aluminio (Al_2O_3), carburo de silicio (SiC) y nitruro de silicio (Si_3N_4)⁹².

Gran número de materiales cerámicos contienen estructuras de silicatos que constan de átomos de silicio y oxígeno (iones) enlazados entre sí en diversas distribuciones. Además, gran número de minerales naturales como arcillas, feldespatos y micas son silicatos, puesto que el silicio y el oxígeno son los dos elementos más abundantes en la corteza terrestre. Muchos silicatos son útiles para materiales de ingeniería debido a su bajo costo y disponibilidad⁹³.

En general, los materiales cerámicos son típicamente duros y frágiles, con baja resistencia al impacto y a la ductilidad, Por eso, se evitan altos esfuerzos sobre los materiales cerámicos, en especial los esfuerzos de tensión. Los cerámicos son buenos aislantes eléctricos y térmicos debido a la ausencia de electrones de conducción, por lo cual muchas cerámicas se usan como aislantes eléctricos y refractarios. Estos tienen temperaturas de fusión relativamente altas y gran estabilidad química en muchos ambientes hostiles, corrosivos y tribológicos. Por estas propiedades, los materiales cerámicos son indispensables en muchos diseños de ingeniería⁹⁴.

c. Metales Los metales suelen tener alta densidad, ser dúctiles y maleables, tener un punto de fusión alto, ser duros, y ser buenos conductores del calor y la

⁹² Ibid.

⁹³ Ibid., p. 71.

⁹⁴ SMITH, William. HASHEMI, Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 4 ed. McGraw-Hill, 2011.

electricidad, pero se degradan en contacto con el agua, resultado de la oxidación, además de un alto costo. Esto los descalifica como materia principal⁹⁵.

d. Materiales orgánicos Los materiales orgánicos no poseen mucha resistencia al ambiente, eso sumado al efecto digestivo que la biopelícula tendrá en ellos⁹⁶, por tal razón son descalificados como opción de ser usados como material primario de esta prueba, pero abre otras posibilidades. Al ser mezclado con otros materiales tales como cerámicos o polímeros, en porciones pequeñas que no comprometan la resistencia del material, se le dará una mejora a la superficie del material, haciendo que esta sea más porosa, cuando la materia orgánica sea digerida.

e. Residuos industriales En la mayoría de procesos industriales se generan residuos sólidos, algunos de estos tienen un bajo porcentaje de reciclabilidad, como, por ejemplo, los textiles que tienen solo un 12% de recuperación, el vidrio con un 28% y los cauchos con un 34,5%. Lo que no se logra reciclar se convierte en basura⁹⁷.

4.1.2 Materiales a utilizar Al analizar los grupos de materiales con los cuales se puede realizar el producto se decidió implementar un representante que muestre sus características, y al momento de realizar la prueba nos brinde mayor facilidad en la fabricación y menor costo de producción de las probetas a evaluar, estos materiales no serán necesariamente los utilizados para la elaboración del producto final.

⁹⁵ FEDERACIÓN DE ENSEÑANZA DE CC.OO. DE ANDALUCÍA. Materiales de los Metales. En: Temas para la Educación. Revista: Revista Digital para profesionales de la enseñanza. [En línea]. No 16 (2011). (Recuperado en 5 agosto 2017). Disponible en <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8631.pdf>.

⁹⁶ KNOBELSDORF, María. Eliminación biológica de nutrientes en un ARU de baja carga orgánica mediante el proceso VIP. Tesis Doctoral. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. Sección de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 2005. p. 11-12.

⁹⁷ PÉREZ, Salvador. Introducción a la Química y el ambiente. 1 ed. PATRIA, 2014.

Cemento y yeso La mayor parte de los productos de cerámica se fabrican compactando polvos o partículas en formas que posteriormente se calientan a una temperatura suficientemente alta para que las partículas se unan entre sí. Los pasos básicos del procesamiento de cerámicos por aglomeración de partículas son: 1) preparación del material, 2) formación o vaciado y 3) tratamiento térmico por secado y cocción⁹⁸. El cemento y el yeso, tienen la característica de poderse activar al ser hidratados, se convierten, a medida que va fraguando, en un compuesto sólido. Eliminando la necesidad de utilizar altas temperaturas para su cocción, por lo cual no es necesario que sean horneados, esto reduce el costo de su procesado, por ello el cemento y el yeso serán utilizados durante esta prueba.

Resina de poliéster Los plásticos termofijos se procesan generalmente por medio de compresión o moldeo con transferencia. Sin embargo, se pueden reproducir por medio de moldes flexibles, esto hace que el costo del proceso disminuya. Los precios a granel de los termofijos de uso común se encuentran en el rango de bajo a medio entre los plásticos. Los poliésteres insaturados tienen un precio relativamente bajo (10.000 kilo), en comparación con las resinas epóxicas que tienen altos precios (80.000 kilo). Por esta razón la resina de poliéster será utilizada durante esta prueba⁹⁹.

4.1.3 Pruebas para definir el material a utilizar Para definir el material que va a estar presente en el producto, se debe comprobar ciertas características, las cuales son:

- Resistencia al ambiente que proporciona el contacto con el agua residual.
- La biopelícula no debe reaccionar con el material.
- La biopelícula se debe adherir.

⁹⁸ SMITH, William. HASHEMi, Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 4 ed. McGraw-Hill, 2011.

⁹⁹ Ibid.

- Las formas deben facilitar la adherencia.

4.1.3.1 Prueba de crecimiento de biopelícula en materiales y texturas (ver anexo B) Se realizaron pruebas a distintos materiales con el objetivo de evaluar y comparar su viabilidad uno con respecto del otro, con esto se busca analizar cual material, que textura y que forma (bajo relieve), da una mejor adherencia de la biopelícula.

Se realizaron probetas, las cuales son placas de 9 cm x 10 cm x 1 cm, se mantuvo un volumen y forma similar en las probetas de una misma característica (material y textura), el peso varia ya que se utilizaron materiales con distintas densidades. Las probetas realizadas tienen variedad de superficies para poder ser comparadas y definir qué tipo de formas deben predominar en la configuración formal final. Los materiales usados para la elaboración de las probetas fueron cerámicos y polímeros, a estos también se le agregaron cargas de otros materiales, para analizar cómo se comporta la biopelícula y qué propiedades obtienen y con ello saber qué ventajas y desventajas aportan al diseño final. En la figura 31 se muestra el proceso de elaboración de probetas.

Figura 31. Elaboración de Probetas



Hipótesis:

H1- Los materiales cerámicos tendrán una mayor adherencia de biopelícula.

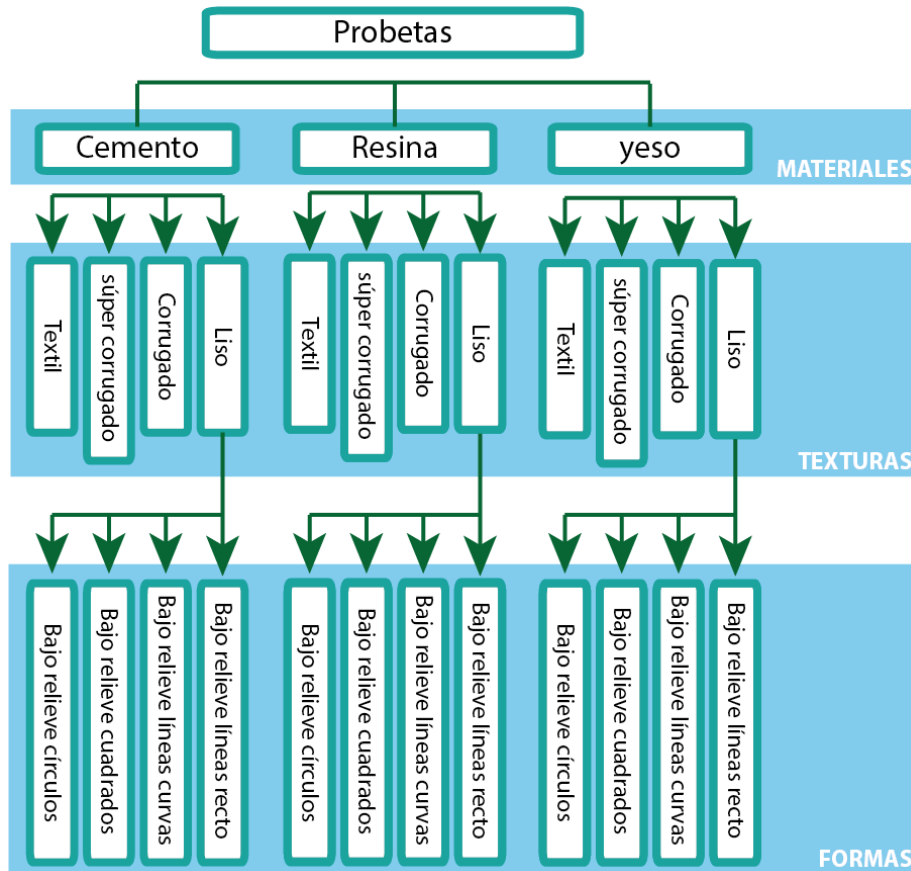
H2- Los espacios vacíos que generan las cargas en el material, permiten una mayor adherencia.

H3- Las líneas rectas generan una mayor formación de biopelícula.

H4- Las probetas con bajo relieve generan mayor adherencia de biopelícula que las probetas totalmente lisas.

Las probetas evaluadas fueron elaboradas con los materiales propuestos (cemento, yeso y resina de poliéster). A cada una de estas se le aplicaron texturas diferentes (liso, corrugado, súper corrugado y fibras). Adicionalmente a las probetas lisas se le aplicaron formas o bajo relieves (grabado recto, grabado de curvas, patrón de cuadrados y patrón de círculos). Como se muestra en la figura 32. En la tabla 7 se muestran las probetas usadas en la prueba y los debidos implementos para llevarla a cabo.

Figura 32. Organización de las probetas



Implementos requeridos para la prueba:

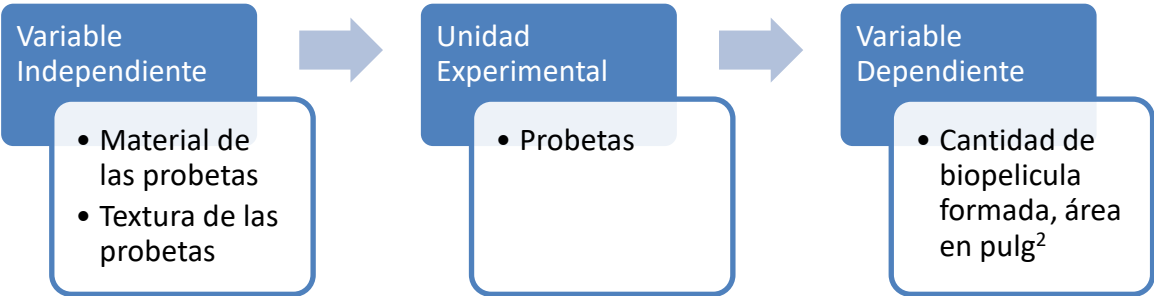
Tabla 7. Implementos para la prueba de Materiales

IMPLEMENTO	IMAGEN
Probetas de materiales texturizadas (liso, corrugado, súper corrugado y fibras)	
Probetas lisas de materiales con bajo relieves (grabado recto, grabado de curvas, patrón de cuadrados y patrón de círculos)	
Tanque (50 cm * 13 cm * 13 cm)	

<p>Limo (Agua residual doméstica del Reactor Biológico de la UPB)</p>	
--	--

Variables Las variables son todas aquellas características o atributos medibles. Para este experimento se tuvo en cuenta la variable independiente, la cual el investigador manipula, en este caso es el material en que se encuentra elaborada cada probeta y su textura superficial, como variable dependiente que es la que nos dará información resultante del experimento, en este caso la cantidad de biopelícula formada en cada probeta dada en Pulgadas cuadradas. En la figura 33 se muestra los tipos de variables.

Figura 33 Variables Prueba de Materiales/Texturas



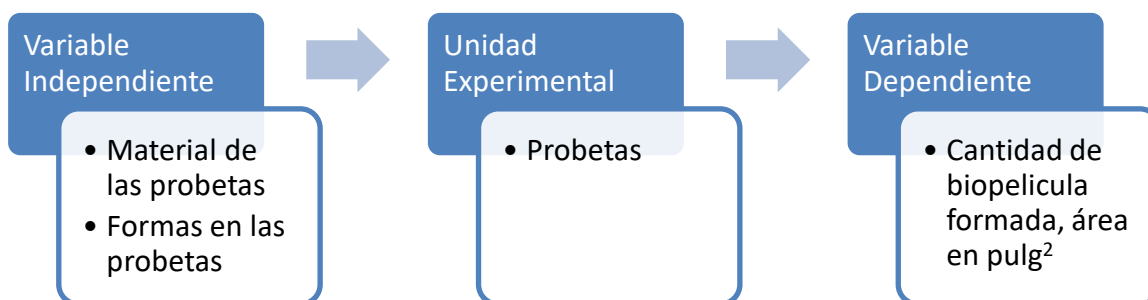
Para la prueba experimental se tuvieron en cuenta tres materiales (cemento, yeso y resina de poliéster) a los cuales se le realizaron a cada uno cuatro tratamientos (liso, corrugado, súper corrugado y fibras) y a cada tratamiento se le realizó dos repeticiones. En la tabla 8 se resume lo dicho anteriormente.

Tabla 8. Tratamientos y repeticiones de la prueba de Materiales/Texturas

Nº d Prueba	Probeta	Tratamientos realizados	Repeticiones
1	Liso	3	2
1	Corrugado	3	2
1	Súper corrugado	3	2
1	Fibras	3	2

Adicionalmente se analizaron probetas de materiales con textura lisa y bajo relieves, La variable independiente en este caso es el material en que se encuentra elaborada cada probeta y las respectivas formas (bajo relieves) realizadas a cada probeta, como variable dependiente que es la que nos dará información resultante del experimento, en este caso la cantidad de biopelícula formada en cada probeta dada en Pulgadas cuadradas. En la figura 34 se muestra los tipos de variables.

Figura 34. Variables Prueba de Materiales/Formas



Para la prueba experimental se tuvieron en cuenta tres materiales (cemento, yeso y resina de poliéster), el cual tiene una textura lisa y se le aplicaron a cada uno cuatro formas o bajo relieves (grabado recto, grabado de curvas, patrón de

cuadrados y patrón de círculos) y a cada tratamiento se le realizó dos repeticiones. En la tabla 9 se resume lo dicho anteriormente.

Tabla 9. Tratamientos y repeticiones de la prueba de Materiales/Formas

Nº d Prueba	Probeta	Tratamientos realizados	Repeticiones
1	Grabado de rectas	3	2
1	Grabado de curvas	3	2
1	Patrón de cuadrados	3	2
1	Patrón de círculos	3	2

Equipo de medida usado:

- Cámara. Nikon D5100
- Calibrador
- software. Imagej

ImageJ es un programa de procesamiento de imágenes de dominio público desarrollado en el National Institutes of Health, para Macintosh. Está disponible para Windows, Mac OS, Mac OS X y Linux¹⁰⁰.

Puede calcular el área y las estadísticas de valor de píxel de selecciones definidas por el usuario y la intensidad de objetos umbral (thresholded objects). Puede medir distancias y ángulos. Puede crear histogramas de densidad y gráficos de línea de perfil. Admite funciones estándar de procesamiento de imágenes como manipulación de contraste, nitidez, suavizado, detección de bordes y filtrado

¹⁰⁰ IMAGEJ. Image Processing and Analysis in Java. [En línea]. 2017. Disponible en <https://imagej.nih.gov/>

mediana. El programa es compatible con cualquier número de imágenes al mismo tiempo, limitado solamente por la memoria disponible¹⁰¹.

La calibración espacial está disponible para proporcionar mediciones dimensionales del mundo real en unidades tales como pulgadas, fue diseñado con una arquitectura abierta que proporciona extensibilidad a través de complementos de Java. Los complementos de adquisición, análisis y procesamiento personalizados se pueden desarrollar utilizando el editor integrado de ImageJ y el compilador de Java. Los complementos escritos por el usuario permiten resolver casi cualquier problema de procesamiento o análisis de imágenes¹⁰².

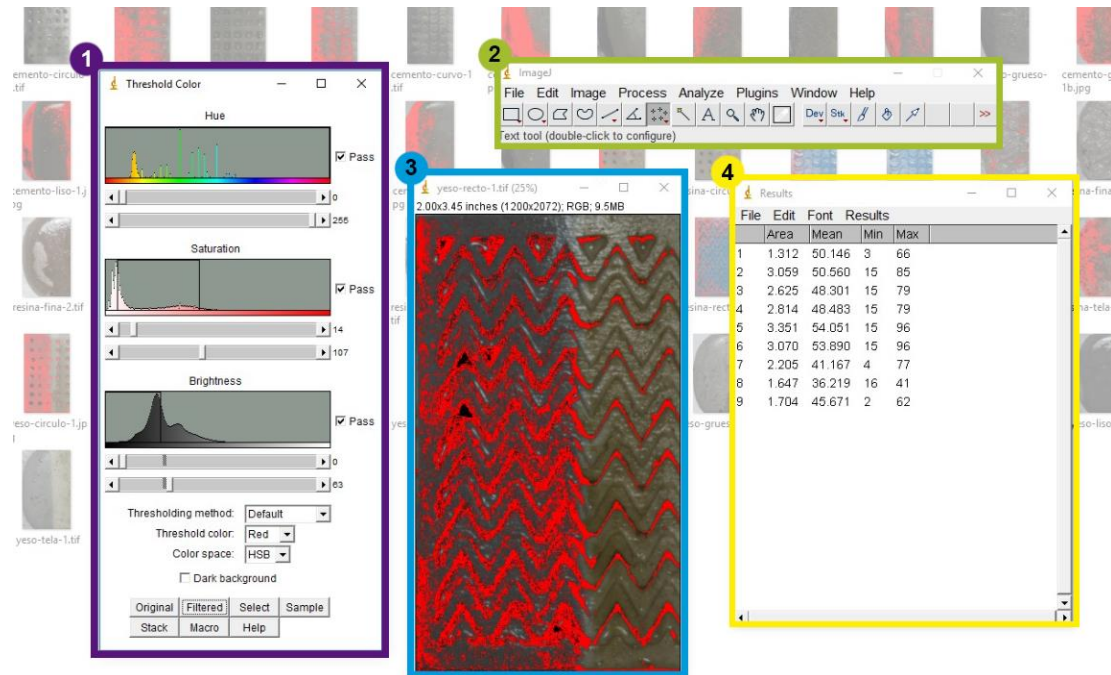
En la figura 35 se puede observar la interface del programa ImageJ. En el numeral 2 vemos la barra de herramientas, con la cual podemos manipular la imagen, en el numeral 1 vemos la pantalla de intensidad de objetos umbral (thresholded objects), el numeral 3 nos muestra la imagen que está siendo analizada donde el color rojo es un acercamiento del área colonizada y en el numeral 4 nos muestra los datos obtenidos de la imagen. El código fuente está disponible gratuitamente. El autor, Wayne Rasband (wayne@codon.nih.gov), se encuentra en la Subdivisión de Servicios de Investigación, Instituto Nacional de Salud Mental, Bethesda, Maryland, EE. UU¹⁰³.

¹⁰¹ Ibid., p. 80.

¹⁰² Ibid., p. 80.

¹⁰³ Ibid., p. 80.

Figura 35 interfaz del software imagej



Procedimiento de la prueba de crecimiento de biopelícula en materiales:

Se adecuaron 6 tanques en los cuales se agregó el agua cargada de material orgánico (obtenido del Reactor Biológico de la Universidad Pontificia Bolivariana), 2 tanques para cada uno de los materiales (resina, yeso y cemento). Se colocaron las mismas probetas en cada uno de los 2 tanques por material, luego se dejaron las probetas por el periodo de un mes. Se llevó un registro del avance de la biopelícula mediante fotografías. Transcurrido este mes se realizó un análisis de la superficie que fue cubierta por biopelícula, por medio del software imagej, el cual da el área en pulgadas cuadradas.

Montaje: Consta de un tanque, el cual tiene un desagüe lateral que nos da el nivel máximo del agua, y un soporte en la parte superior en el cual se dispusieron las probetas para asegurar que estén separadas y facilitar el seguimiento. En la figura 36 se muestra el montaje del tanque para la prueba experimental de materiales y texturas bajo relieve.

Figura 36. Montaje Prueba de Materiales y Texturas bajo relieve



Análisis de la prueba de crecimiento de biopelícula en materiales/textura:

Para el análisis de la adherencia de biopelícula en las probetas se tuvo en cuenta dos pulgadas de su altura, ya que esta fue el área sumergida de cada probeta a lo largo de la duración de la prueba. Se tomó el área superficial como un área plana, sin medir la profundidad de sus poros e irregularidades, ya que no se contaba con los equipos suficientes para realizar este tipo de resultados.

Al seguimiento fotográfico de las probetas, por medio del software Imagej, se obtuvieron datos aproximados del área colonizada, en la Tabla 10 se muestra el análisis de una probeta de la prueba de materiales donde se observa en la primera columna la probeta inicial (antes de ser sumergida en Limo), la imagen de la probeta final (después de 30 días) y la imagen del análisis realizado en el Software Imagej. En la tabla 11 se agrupan los resultados de las demás probetas de esta

misma prueba. Los análisis de las probetas de materiales se pueden encontrar en el Anexo B. Adicionalmente se analizaron probetas de materiales con textura lisa y bajo relieves en la Tabla 12 se muestra el análisis de una probeta de la prueba de texturas donde se observa en la primera columna la probeta inicial (antes de ser sumergida en Limo), la imagen de la probeta final (después de 30 días) y la imagen del análisis realizado en el Software Imagej. En la tabla 13 se agrupan los resultados de las demás probetas con texturas. Los análisis de las probetas de texturas bajo relieve se pueden encontrar en el Anexo B.

Tabla 10. Análisis de Probeta de Materiales: Yeso Súper Corrugado



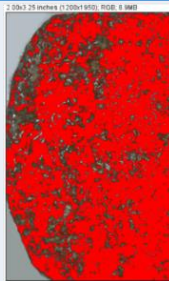
Probeta inicial	Probeta final	Análisis	resultado
			<p>Área total: 6,5 pulg²</p> <p>Área afectada: 4,137pulg²</p> <p>63,65%</p>

Tabla 11. Tabulación de Resultados de la Prueba de Materiales

Material	Cemento		Resina		Yeso		Tamaño Total
	1	2	1	2	1	2	
Súper Corrugado	2.902 pulg ² 44,65%	3.159 pulg ² 48,6%	3.510 pulg ² 54%	3,391 pulg ² 52,17%	4.137 pulg ² 63,65%	3,07 pulg ² 47,23%	6.500 pulg ²
Corrugado	1.823 pulg ² 28,04%	1.939 pulg ² 29,83%	0,327 pulg ² 5,03%	0,774 pulg ² 11,91%	2,634 pulg ² 40,53%	2,740 pulg ² 42,16%	6,500 pulg ²
Liso	1.555 pulg ² 23,92%	2.260 pulg ² 34,77%	0,156 pulg ² 2,40%	0,123 pulg ² 1,89%	1.898 pulg ² 29,2%	1,647 pulg ² 25,34%	6.500 pulg ²
Fibras (Tela)	2,540 pulg ² 39,08%	2,527 pulg ² 38,87%	1,913 pulg ² 29,43%	1,931 pulg ² 29,70%	2,814 pulg ² 43,29%	2,681 pulg ² 41,25%	6.500 pulg ²

Tabla 12. Análisis de Probeta de Textura Bajo Relieve con Curvas

Probeta inicial	Probeta final	Análisis	resultado
			<p>Área total: 6,907 pulg²</p> <p>Área afectada: 3,069 pulg²</p> <p>44,43%</p>

Tabla 13. Tabulación de Resultados de la Prueba de Texturas bajo Relieve

Material	Cemento		Resina		Yeso		Tamaño Total
	1	2	1	2	1	2	
Curvo	2.758 pulg ²	2.884 pulg ²	0,817 pulg ²	1.696 pulg ²	2,496 pulg ²	3.069 pulg ²	6.907 pulg ²
	39,93%	41.75%	11,83%	24.55%	36,14%	44.43%	
Recto	2.673 pulg ²	2.760 pulg ²	0,954 pulg ²	1.623 pulg ²	1,704 pulg ²	2.861 pulg ²	6.907 pulg ²
	38,70%	39.96%	13,81%	23.5%	24,67%	41.42%	
Cuadrados	2.607 pulg ²	2.959 pulg ²	0,951 pulg ²	0,849 pulg ²	2.542 pulg ²	1,968 pulg ²	5,717 pulg ²
	45,60%	51.76%	16.63%	14,85%	44.46%	34,42%	
Círculos	2.064 pulg ²	2.214 pulg ²	0,869 pulg ²	0.921 pulg ²	2,736 pulg ²	3.086 pulg ²	6.877 pulg ²
	30,01%	32.19%	12,64%	13.39%	39,78%	44.87%	

Análisis Estadístico La tabla 14 muestra los porcentajes de colonización obtenidos en cada prueba, para cada textura y forma evaluada en tres tipos de materiales. Para el análisis estadístico se calcularon medidas de tendencia central (medias y desviaciones estándar) para el porcentaje de área colonizada obtenido en las pruebas para cada textura y forma según el tipo de material.

Posteriormente, se realizó un análisis de varianza de una sola vía (ANOVA) para evaluar la hipótesis nula de NO diferencia de medias dentro de: las texturas para cada tipo de material, las formas para cada tipo de material, los materiales de acuerdo a cada textura y los materiales de acuerdo a cada forma. Se consideró

como estadísticamente significativo un valor $p < 0.05$, para rechazar la hipótesis nula. Se utilizó el paquete estadístico stata 12.1 para estos análisis, también a los datos generales de cada prueba se le realizó un análisis Kruskal-Wallis por medio del Software Statistica 10 (Es un software creado por StatSoft para el análisis y representación de datos, es muy usado en investigación y a nivel empresarial)¹⁰⁴ por medio del cual se obtuvo cada gráfica.

Tabla 14. Porcentaje de colonización de acuerdo al material.

	Cemento		Resina		Yeso	
	Probeta %		Probeta %		Probeta%	
Textura	1	2	1	2	1	2
Súper corrugado	44.65	48.6	54.00	52.17	63.65	47.23
Corrugado	28.04	29.83	5.03	11.91	40.53	42.16
Liso	23.92	34.77	2.40	1.89	29.20	25.34
Fibras	39.08	38.87	29.43	29.70	43.29	41.25
Forma						
Curvo	39.93	41.75	11.83	24.55	36.14	44.43
Recto	38.70	39.96	13.81	23.50	24.67	41.42
Cuadrados	45.60	51.76	16.63	14.85	44.46	34.42
Círculos	30.01	32.19	12.64	13.39	39.78	44.87

La tabla 15 muestra que la textura con mayor porcentaje de colonización fue la súper corrugada en los tres materiales evaluados. Cuando se evaluó el tipo de forma de acuerdo al material, solo se identificaron diferencias cuando se usó el cemento, observándose un mayor porcentaje de colonización con la forma cuadrada en este material (Ver tabla 16). Los otros materiales no mostraron

¹⁰⁴ STATSOFT. STATISTICA. [En línea]. 2017. (Recuperado en 5 agosto 2017). Disponible en <http://statistica.io/products/professional/>

diferencias en el porcentaje de colonización de acuerdo a su forma (Resina $p=0.7521$, yeso $p=0.682$).

Tabla 15. Medias y desviación estándar para el porcentaje de colonización para cada textura según el tipo de material.

	Media % (DS)%	<i>p</i>
Cemento		<i>0.033</i>
Super corrugado	46.62 (2.79)	
Corrugado	28.93 (1.26)	
Liso	29.34 (7.67)	
Fibras	38.97 (0.14)	
Resina		<i>0.0001</i>
Super corrugado	53.08 (1.29)	
Corrugado	8.47 (4.86)	
Liso	2.14 (0.36)	
Fibras	29.56 (0.19)	
Yeso		<i>0.0426</i>
Super corrugado	55.4 (11.6)	
Corrugado	41.34 (1.15)	
Liso	27.27 (2.72)	
Fibras	42.27 (1.44)	

Tabla 16. Medias y desviación estándar para el porcentaje de colonización para cada forma según el tipo de material.

	Media % (DS)%	<i>p</i>
Cemento		<i>0.0092</i>
Curvo	40.88 (1.28)	
Recto	39.33 (0.89)	
Cuadrado	48.68 (4.35)	
Círculos	31.1 (1.54)	
Resina		<i>0.7521</i>
Curvo	18.19 (8.99)	
Recto	18.65 (6.85)	
Cuadrado	15.74 (1.26)	
Círculos	13.01 (0.53)	
Yeso		<i>0.682</i>
Curvo	40.28 (5.86)	
Recto	33.04 (11.84)	
Cuadrado	39.51 (7.2)	
Círculos	42.32 (3.6)	

Finalmente, al comparar cada material de acuerdo al tipo de textura, no se observaron diferencias entre los grupos cuando se usó una textura súper corrugada. Cuando se usaron texturas corrugadas y fibras, el yeso tuvo mayores porcentajes de colonización, en contraste, cuando se usó una textura lisa, el cemento tuvo un mayor porcentaje colonizado (Ver tabla 17).

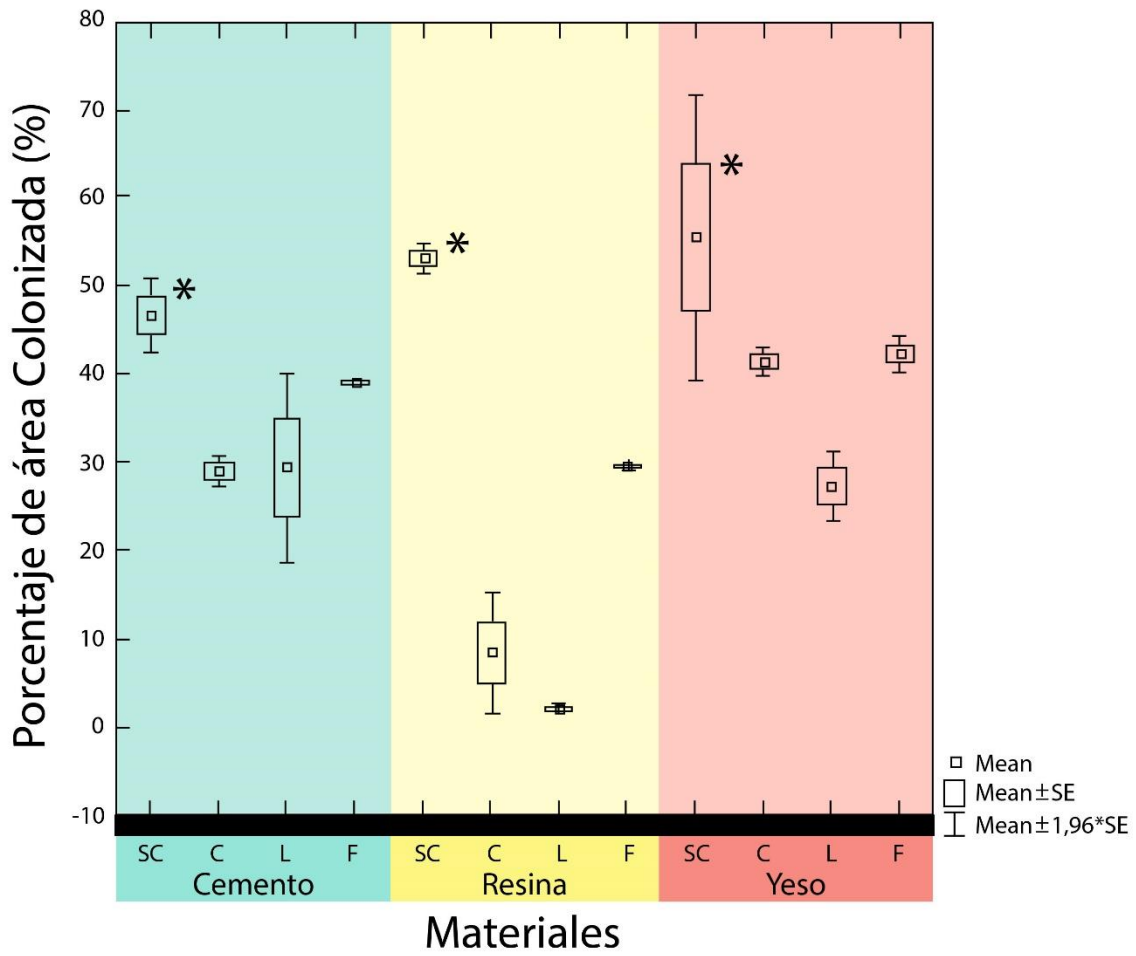
Tabla 17. Medias y desviación estándar para el porcentaje de colonización para cada material según el tipo de textura.

	Media% (DS)%	<i>p</i>
Super corrugado		<i>0.5047</i>
Cemento	46.62 (2.79)	
Resina	53.08 (1.29)	
Yeso	55.4 (11.6)	
Corrugado		<i>0.0036</i>
Cemento	28.93 (1.26)	
Resina	8.47 (4.86)	
Yeso	41.34 (1.15)	
Liso		<i>0.0176</i>
Cemento	29.34 (7.67)	
Resina	2.14 (0.36)	
Yeso	27.27 (2.72)	
Fibras		<i>0.013</i>
Cemento	38.97 (0.14)	
Resina	29.56 (0.19)	
Yeso	42.27 (1.44)	

En esta primera prueba de materiales, los datos son No parámetros. En la figura 37 se muestra tres grupos de materiales cada uno con cuatro tratamientos, la variable de Super Corrugado presenta mejores resultados sin importar el material principal, los materiales cerámicos como el cemento y el yeso obtuvieron mayores resultados de porcentaje de área colonizada. La Resina presenta diferencias

significativas entre material Super Corrugado y Corrugado, junto con el material Liso. [Kw, H (11, N=24) =21,98000 p=0,0245]

Figura 37. Análisis Estadístico. Prueba de Materiales. (*): Diferencias Significativas



SC=Super Corrugado C=Corrugado L=Liso F=Fibras

Conclusiones del análisis estadístico de la prueba de materiales

Según con el análisis estadístico anteriormente descrito se concluye la selección del tratamiento Súper Corrugado como la más viable para la colonización de biopelícula. Por lo observado en las pruebas experimentales, el yeso se descarta debido a su gran capacidad para degradarse en el ambiente expuesto, el cemento se descarta también como material principal debido a los costos de más que puede ofrecer debido a su transformación y la dificultad para reproducir formas, el peso por cantidad hace más difícil su transportación, según su estructura y si se encuentra en movimiento como en algunas plantas de tratamiento de aguas residuales puede llegar a fragmentarse entre sí. Se procede por ello a realizar una prueba en materiales poliméricos para comprobar cuál es el material más viable para el medio de soporte.

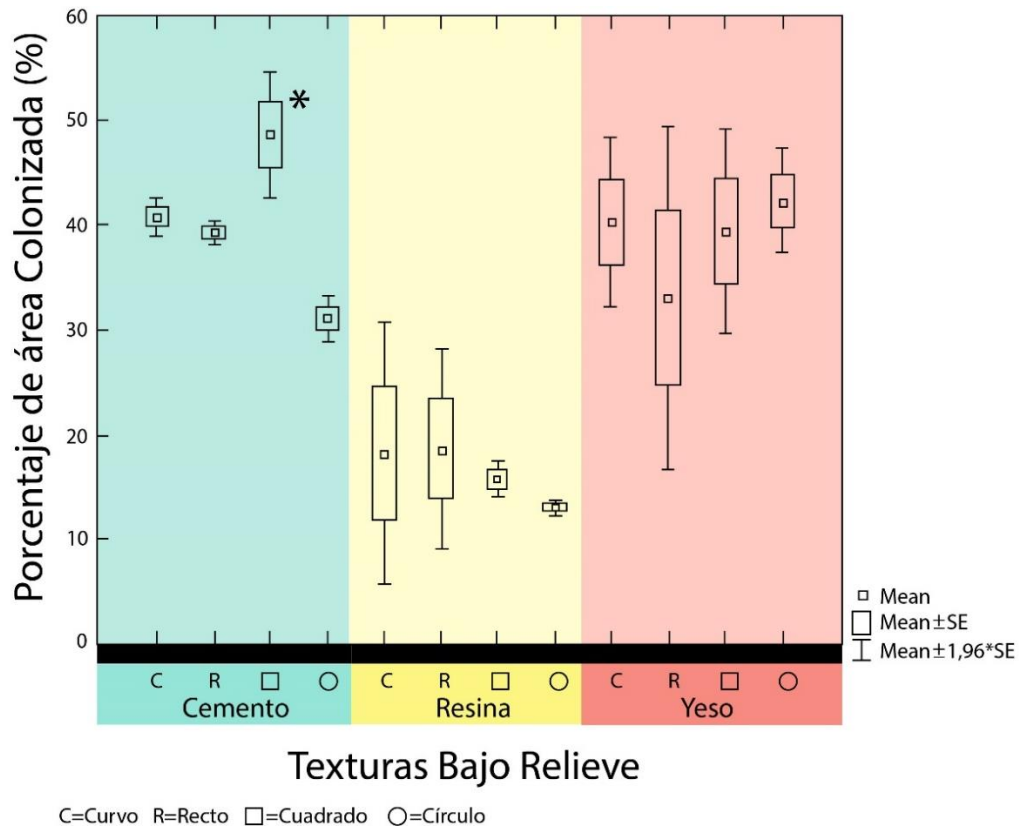
Cuando se utilizó la forma cuadrada el material con mayor porcentaje de colonización fue el cemento (48.68%, $p=0.0143$), mientras que con la forma de círculo el mayor porcentaje de colonización se obtuvo cuando se usó yeso (42.32%, $p=0.0023$). Las demás formas no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los materiales (Ver tabla 18).

Tabla 18. Medias y desviación estándar para el porcentaje de colonización para cada material según la forma.

	Media% (DS)%	<i>p</i>
Curvo		<i>0.0573</i>
Cemento	40.88 (1.28)	
Resina	18.19 (8.99)	
Yeso	40.28 (5.86)	
Recto		<i>0.1602</i>
Cemento	39.33 (0.89)	
Resina	18.65 (6.85)	
Yeso	33.04 (11.84)	
Cuadrado		<i>0.0143</i>
Cemento	48.68 (4.35)	
Resina	15.74 (1.26)	
Yeso	39.51 (7.2)	
Círculos		<i>0.0023</i>
Cemento	31.1 (1.54)	
Resina	13.01 (0.53)	
Yeso	42.32 (3.6)	

En esta prueba de materiales lisos con texturas bajo relieve se muestran las variables de las formas y sus porcentajes de área colonizada obtenidos, los datos son No parámetros. En la figura 38 se muestra tres grupos de materiales cada uno con cuatro tratamientos, el cemento en cuanto a material presenta mayor área de colonización debido a que estadísticamente allí se encuentra la diferencia más significativa con respecto a los otros materiales. [Kw, (11, N= 24) =19,60000 p=0,0511].

Figura 38. Análisis Estadístico. Prueba de Texturas bajo relieve. (*): Diferencias Significativas



Conclusiones del análisis estadístico de la prueba de texturas bajo relieve

Según con el análisis estadístico anteriormente descrito se decide por la no utilización de formas bajo relieve para el medio de soporte a plantear, debido a los grandes desvíos que se muestran en el análisis estadístico.

Respuesta a hipótesis:

H1- Verdadero. Los materiales cerámicos obtuvieron mejores resultados de adherencia de biopelícula.

H2- Verdadero. Los espacios vacíos generados en la textura permiten mayor adherencia al ser los primeros que se llenan de biopelícula.

H3- Falso. La mayor formación de biopelícula se encontró en las texturas irregulares como la Supercorrugada.

H4- Verdadero. Los bajos relieves son los primeros en llenarse de biopelícula.

Conclusiones de la prueba de crecimiento de biopelícula en materiales y texturas:

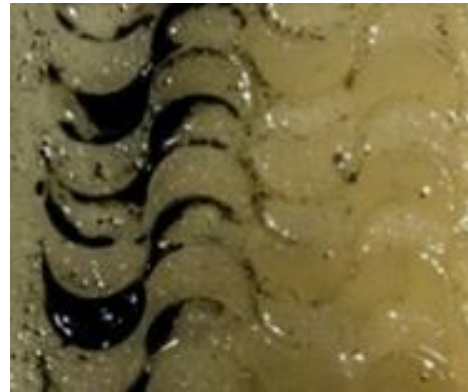
- La Resina obtuvo menor resultado de adherencia de biopelícula, al ser poco poroso la eficiencia no es la más alta.
- El yeso en la mayoría de los casos obtuvo mejores resultados, debido a que su estructura es más porosa, facilitando la colonización de la biopelícula.
- El yeso presentó una adherencia muy similar al cemento, pero durante el transcurso de la prueba se pudo observar que este tiende a degradarse en las condiciones de la experimentación. Esto nos muestra que el yeso no es una opción de material viable para la elaboración del medio de soporte.
- La resina como material independiente tuvo menores resultados en comparación al yeso y el cemento, pero al agregarle una textura se aumenta notablemente su eficiencia, en cuanto a adherencia de biopelícula.
- Las superficies totalmente lisas, no presentan buen resultado, ya que la biopelícula no puede agarrarse o adherirse.
- Las texturas irregulares bien definidas (Super Corrugado) presentan resultados con mejor adherencia de biopelícula, notándose también la contraparte con menores resultados de adherencia (Corrugado) que, a pesar de también ser una textura irregular, presenta pocos picos de cambio que disminuyen su capacidad para albergar biopelícula.
- Las probetas se sumergieron hasta la mitad. Se notó que parte del material que no tenía contacto directo con el agua, pero estaba próximo, también se vio afectado por pequeñas formaciones de biopelícula.
- Los filos y esquinas internos son los primeros lugares donde la biopelícula comienza a formarse.

- Agujeros mayores de 4 mm evitan que la biopelícula obstruya el flujo del agua, (figura 39) y los agujeros menores de 2mm son rápidamente rellenados por la biopelícula (figura 40).

Figura 39. Detalle Probeta agujeros cuadrados



Figura 40. Detalle Probeta agujeros ondas



4.1.2.4 Prueba de crecimiento de biopelícula en plásticos (ver anexo C)

De las pruebas anteriores (Materiales y textura) se concluyó que los polímeros presentan una menor adherencia en comparación a los cerámicos, pero si a este se le agrega una textura, su eficiencia aumenta considerablemente. Por esta razón, sumado a las desventajas de los cerámicos, se tomaron los polímeros como materia principal.

Los polímeros los podemos clasificarlos en 2 grandes grupos, termoplásticos y termoestables. En las pruebas de textura y material se recurrió a un termoestable (resina de poliéster) por la facilidad de poder reproducir las formas requeridas para estas pruebas, sin necesidad de maquinaria especializada. Para la propuesta final se planteará un polímero termoplástico, por sus características de reciclabilidad y al no emplear catalizadores, es menos contaminante.

Para definir qué tipo de plástico será usado en la propuesta final, se realizó la siguiente prueba para comparar la viabilidad de uno con respecto al otro. Con esta prueba se busca analizar qué material plástico da una mejor adherencia de la biopelícula, por su composición. Las probetas son láminas de 3 cm x 4 cm y un espesor variable (de 0,5 mm a 2 mm, condicionados por la fuente). Estas tendrán una cara lisa y la otra esmerilada con lija grano 80, esto para facilitar la adherencia de la biopelícula durante la prueba.

Hipótesis:

- En los diferentes plásticos no varían los resultados.

Las probetas propuestas y a evaluar son plásticos que se pueden reciclar y se escogieron teniendo en cuenta el Código de Identificación Plástico, dichas siglas del sistema de identificación americano Society of Plastics Industry (S.P.I.). Además, se incluyó la resina de poliéster, para tener un punto de comparación relacionado con las pruebas anteriores. En la tabla 19 se muestran las probetas de la prueba de plásticos y los debidos implementos para llevarla a cabo.

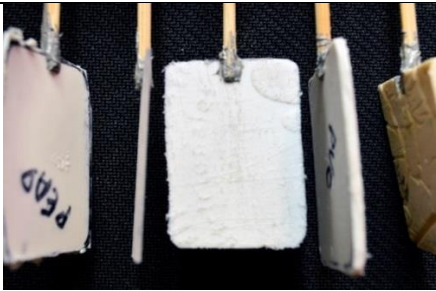


Los materiales de las probetas son:

1. PET o PETE (Polyethylene terephthalate - Tereftalato de polietileno)

2. PE-HD o HDPE (High-density polyethylene - Polietileno de alta densidad)
3. PVC (Polyvinyl chloride - Policloruro de vinilo)
4. PC (policarbonato)
5. PP (Polypropylene - Polipropileno)
6. PS (Polystyrene - Poliestireno)
7. R (Resina de poliéster)

Implementos requeridos para la prueba:

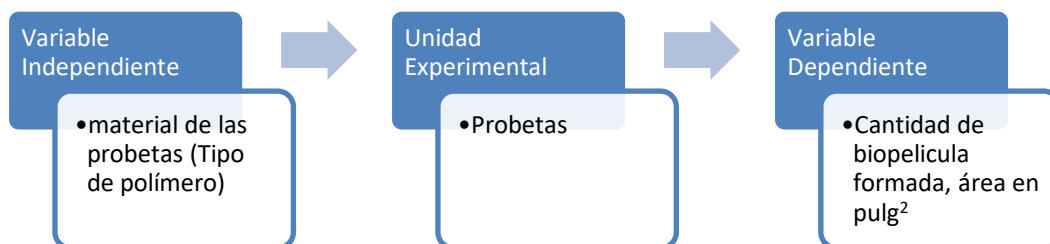
Tabla 19. Implementos para Prueba de Plásticos

Implemento	Imagen
Probetas	
Tanque (50 cm * 13 cm * 13 cm) de tres divisiones internas, impermeabilizados.	
Limo (Agua residual doméstica del Reactor Biológico de la UPB)	

Variables: Las variables son todas aquellas características o atributos medibles. Para este experimento se tuvo en cuenta la variable independiente, la cual el

investigador manipula, en este caso es el material (polímero) de cada probeta, como variable dependiente que es la que nos dará información resultante del experimento, en este caso la cantidad de biopelícula formada en cada probeta dada en Pulgadas cuadradas. En la figura 41 se muestra los tipos de variables.

Figura 41. Variables Prueba de Plásticos



Para la prueba experimental se tuvieron en cuenta siete polímeros diferentes a los cuales se les realizaron un tratamiento a cada uno (superficie esmerilada con lija grano 80), y a cada tratamiento se le realizó dos repeticiones. En la tabla 20 se resume lo dicho anteriormente.

Tabla 20. Tratamientos y repeticiones de la prueba de plásticos

Nº d Prueba	Probeta	Tratamientos realizados	Repeticiones
1	PET	1	2
1	PE-HD	1	2
1	PVC	1	2
1	PC	1	2
1	PP	1	2
1	PS	1	2
1	R	1	2

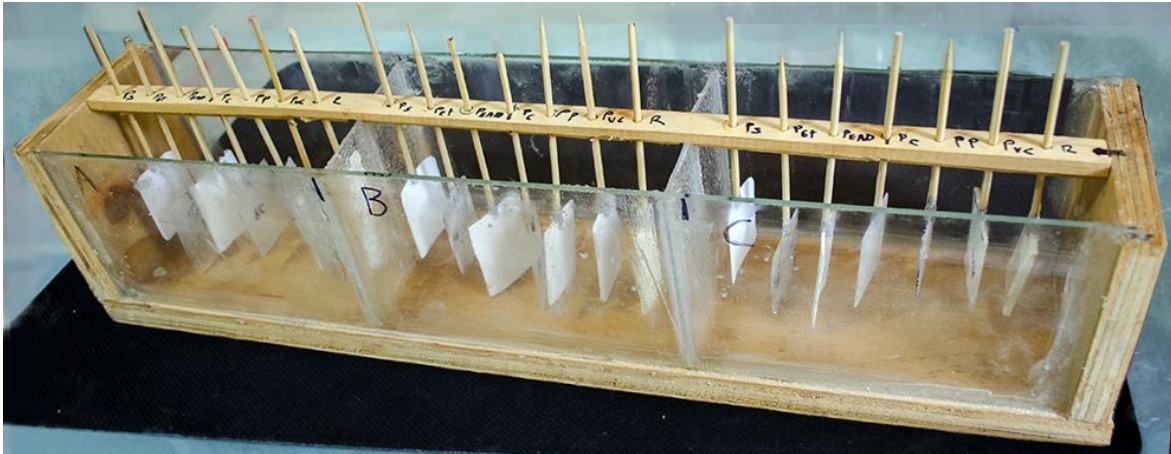
Equipo de medida usado:

- Cámara. Nikon D5100
- software. Imagej
- Calibrador

Procedimiento de la prueba de crecimiento de biopelícula en plásticos: Para esta prueba se adecuó un tanque el cual tiene 3 divisiones, en las cuales se agregó el agua cargada de material orgánico (obtenido del Reactor Biológico de la Universidad Pontificia Bolivariana). Se posicionaron las mismas probetas en cada uno de las 3 divisiones, luego se dejaron por un periodo de 15 días y se llevó un registro del avance de la biopelícula (fotografías). Transcurrido este tiempo se realizó un análisis de la superficie que fue cubierta por biopelícula, esto por medio del software imagej, el cual nos da el área en pulgadas cuadradas.

Montaje: Consta de un tanque dividido en 3 partes, el cual tiene un soporte en la parte superior en el cual se colocaron las probetas para asegurar que estén separadas y facilitar el seguimiento. Este tanque se impermeabilizó con silicona, para evitar la mezcla con el agua de los otros compartimientos, y prevenir fugas. En la figura 42 se muestra el montaje del tanque para la prueba experimental de plásticos.

Figura 42. Montaje Prueba de Plásticos



Análisis de la prueba de crecimiento de biopelícula en plásticos:

Para el análisis de la adherencia de biopelícula en las probetas se tuvo en cuenta el área total de las probetas, ya que estuvieron totalmente sumergidas a lo largo de la prueba. Para el resultado de los análisis se tomó el área superficial como un área plana, sin medir su profundidad, ya que no se contaba con los equipos suficientes para realizar este tipo de resultados.

Al seguimiento fotográfico de las probetas, por medio del software Imagej, se obtuvieron datos aproximados del área colonizada, en la tabla 21 se muestra la probeta inicial (antes de ser sumergida en Limo), la imagen de la probeta final (después de 15 días) y la imagen del análisis realizado en el Software Imagej. En la tabla 22 se agrupan los resultados de las demás probetas. Los análisis de las probetas de plástico se pueden encontrar en el Anexo C.

Tabla 21. Análisis de Probeta de Plástico- PEAD



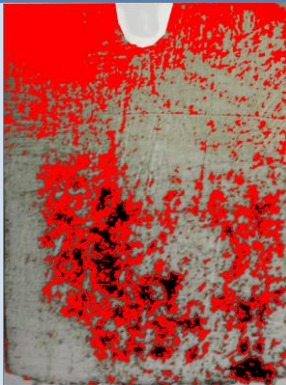
T	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultado
1				<p>Área total: 1,859 pulg²</p> <p>Área afectada: 0,661 pulg² 35,557%</p>

Tabla 22. Tabulación de Resultados de la Prueba de Plásticos

Probeta	Repetición		Tamaño Total
	1	2	
PET	0,294 pulg ² 15,82%	0,237 pulg ² 12,760 %	1,859 pulg ²
PE-HD	0,661 pulg ² 35,56%	0,626 pulg ² 33,690 %	1,859 pulg ²
PVC	0,513 pulg ² 27,60%	0,500 pulg ² 26,870%	1,859 pulg ²
PC	0,025 pulg ² 1,35%	0,021 pulg ² 1,120%	1,859 pulg ²
PP	0,597 pulg ² 32,11%	0,560 pulg ² 30,150%	1,859 pulg ²
PS	0,354 pulg ² 19,04%	0,341 pulg ² 18,320%	1,859 pulg ²
R	0,141 pulg ² 7,59%	0,065 pulg ² 3,490%	1,859 pulg ²

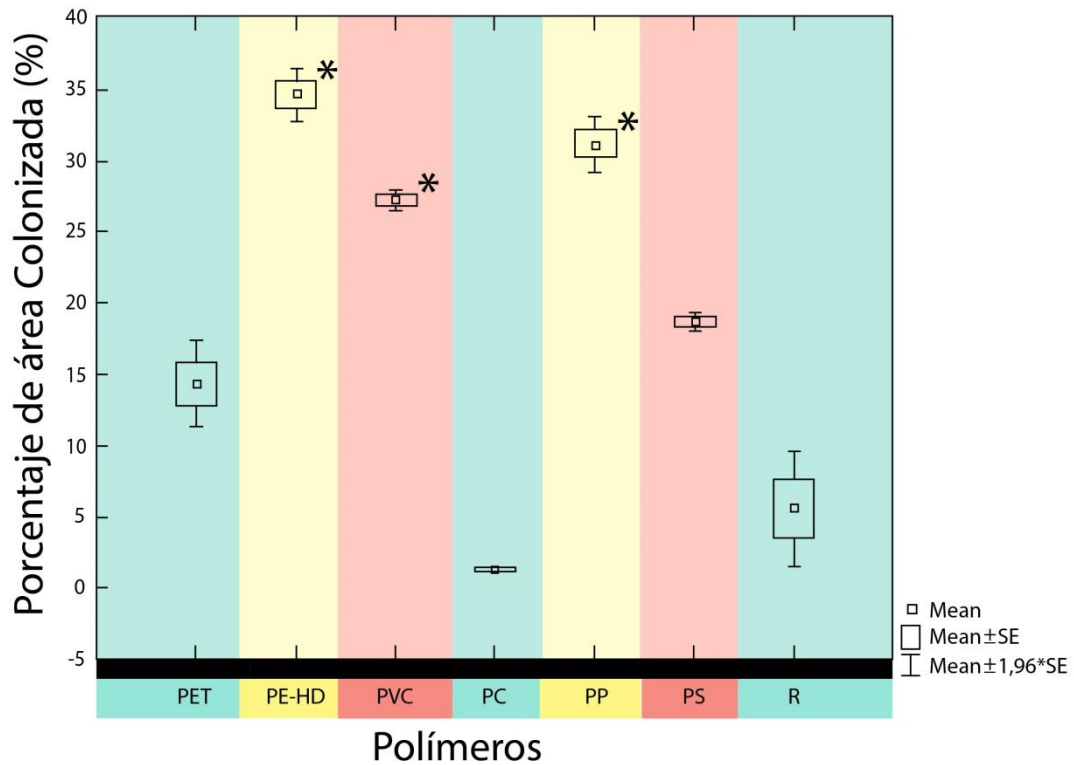
Análisis estadístico de la prueba de materiales plásticos Para la prueba de materiales también se realizó un análisis estadístico por medio del Software Statistica 10, se obtuvieron los datos de Media y Desviación Estándar (DS) como se muestra en la tabla 23.

Tabla 23. Porcentaje de colonización de acuerdo al material (Polímeros)

	Probeta 1 %	Probeta 2 %	Media% (DS)%
PET	15.82	12.76	14.29 (2.16)
PE-HD	35.56	33.69	34.63 (1.32)
PVC	27.60	26.87	27.24 (0.52)
PC	1.35	1.12	1.24 (0.16)
PP	32.11	30.15	31.13 (1.39)
PS	19.04	18.32	18.68 (0.51)
R	7.59	3.49	5.54 (2.89)

En la prueba de materiales poliméricos se muestran las variables de tipo de polímero y sus porcentajes de área colonizada, se emplearon 6 plásticos según la clasificación de plásticos de la Society of Plastics Industry (S.P.I.). y la Resina como material comparativo. Los datos son No paramétricos. En la figura 43 se muestra que el mejor material con porcentaje de área colonizada fue el PE-HD, seguido del PP, las diferencias mas significativas estan entre los tres polímeros (PEAD- PP- PVC) y en los más bajos porcentajes la Resina y el PC que obtuvo valores menores a 5%. [Kw, (6, N= 14) =12,80000 p=0,0463].

Figura 43. Análisis Estadístico. Prueba de Polímeros. (*): Diferencias Significativas



Conclusiones del análisis estadístico de la prueba de polímeros

Según con el análisis estadístico anteriormente descrito se decide por la utilización de materiales poliméricos como el PEAD y el PP como material principal para la fabricación del medio de soporte, ya que presentan mejores porcentajes de área colonizada y debido a su facilidad para reproducir formas complejas.

Respuesta a hipótesis

H1- Falso. Cada probeta presentó diferentes resultados de adherencia de biopelícula.

4.1.2.4.1 Conclusiones de la prueba de crecimiento de biopelícula en plásticos

La mayoría de los plásticos tuvieron mayor desempeño que la referencia a la prueba anterior, la resina de poliéster(R), esto nos da a entender que, utilizando un plástico como el Polietileno o el Polipropileno, tendríamos mejores resultados que los visto en las pruebas anteriores.

En esta prueba se puede apreciar que la textura influye de forma directa en la adherencia, ya que los materiales más cristalinos como el policarbonato (PC), o la Resina (R), ofrecieron mayor resistencia al rayado, por lo cual la textura no quedó de la misma forma de las otras probetas.

A diferencia de lo que se pensaba, los resultados entre plásticos varían notablemente.

Los polímeros con mejores resultados fueron el Polietileno de alta densidad, seguido del Polipropileno, siendo los más eficientes para la elaboración del producto.

5. DISEÑO Y COMPROBACIÓN DE VARIABLES


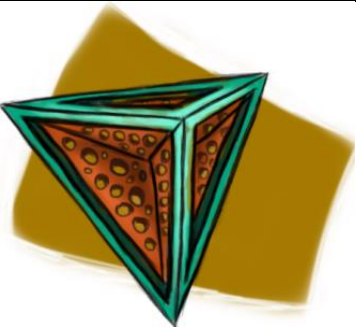
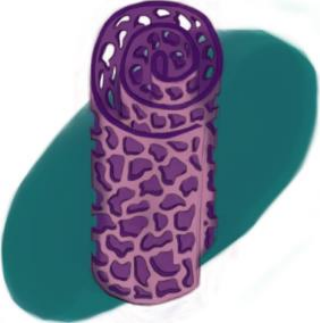
Al conocer los criterios más relevantes que intervienen en el proceso del humedal artificial, se inicia el desarrollo de alternativas que serán evaluadas por medio de matrices para definir la propuesta que cumpla de mejor manera los requerimientos. Cada criterio se analizará por medio del software Solidworks (Permite la realización de modelos en 3D, piezas y ensambles además análisis y simulaciones a los modelos)¹⁰⁵, también se realizará un proceso de evaluación por medio de encuesta a conocedores del tema (tratamiento de agua, humedales y medios de soporte).

5.1. SELECCIÓN DEL CONCEPTO

5.1.1 Alternativas Después de revisar el estado del arte sobre esta problemática, se realizó una lluvia de ideas, luego de consolidar y revisar, se tomaron en cuenta 17 alternativas que se encuentran en la tabla 24.

¹⁰⁵SOLIDWORKS. SolidWorks Standard. [En línea]. 2017. (Recuperado en 10 agosto 2017). Disponible en <https://www.solidworks.es/sw/products/3d-cad/solidworks-standard.htm>

Tabla 24. Propuestas de Alternativas

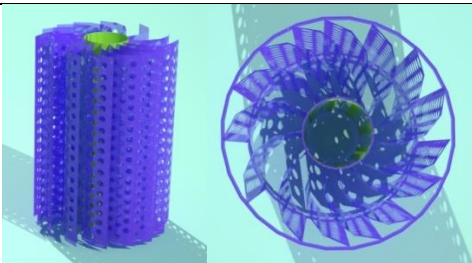
5.1.1.1 Propuesta 1.	
	<p>Este concepto está basado en una figura geométrica regular (icosaedro, tiene 20 caras), al tener gran número de caras y al ser iguales no tendrá problemas en la disposición en el espacio. Cuenta con rejillas en cada cara para permitir el flujo de agua.</p>
5.1.1.2 Propuesta 2.	
	<p>También basado en una figura geométrica regular pero más simple, siendo el tetraedro. Cada cara consta con una extrusión hacia el interior y el centro de la figura. Proporcionando el área de las caras para la adherencia y permitiendo al mismo tiempo el flujo del agua, al tener agujeros.</p>
5.1.1.3 Propuesta 3.	
	<p>Esta propuesta se basa en un cilindro, siendo una lámina la cual ha sido previamente troquelada para luego enrollarse. Los agujeros tienen formas irregulares que simulan las figuras de los corales.</p>

5.1.1.4 Propuesta 4.



El medio de soporte planteado posee dos cubos, uno de mayor tamaño para la estructura y otro de menor tamaño en el centro, los cuales son unidos con las caras laterales al cubo más grande que conforma la estructura. Cada cara presenta agujeros para permitir el flujo de agua.

5.1.1.5 Propuesta 5.

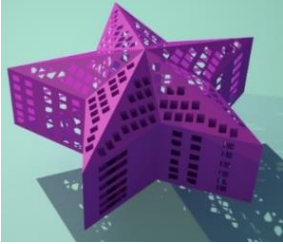

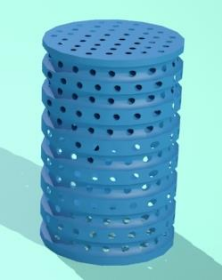
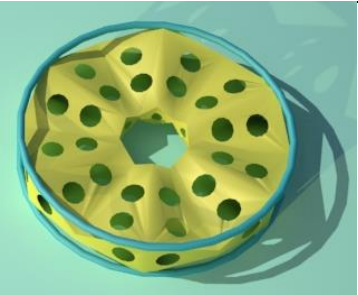


Un cilindro hueco en el centro, con planos levemente doblados en forma de “C”, estos planos con agujeros se ubican de forma radial al cilindro central y teniendo en todo el borde de estos planos una circunferencia de soporte que mantiene la forma y evita que un medio de soporte se atore con otro y obstruya en algunos espacios el fluir del agua.


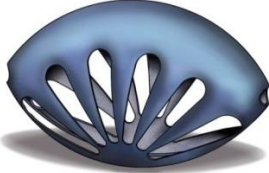

5.1.1.6 Propuesta 6.



Esta propuesta tiene cuadrilateros con agujeros pasantes en sus caras. Varios de estos cuadrilateros se unen por un cilindro pasante

5.1.1.7 Propuesta 7.	
	Este modelo esta basado en la forma de una estrella la cual tiene extrusiones salientes de la cara superior e inferior. Cada cara cuenta con agujeros pasantes para permitir el paso del agua.
5.1.1.8 Propuesta 8.	
	Este concepto se basa en una figura base la cual no se encuentra totalmente nivelada, tiene agujeros en sus caras tanto laterales como la superior y posterior. El elemento se dobla formando casi un circulo, pero quedando una parte más abajo que la otra.
5.1.1.9 Propuesta 9.	
	Este modelo está basado en un cilindro el cual se ha extruido, presenta salientes y entrantes en su cara circular (como si fuese torneado), también tiene agujeros pasantes en todas las caras.
5.1.1.10 Propuesta 10	
	Círculo con un agujero principal en la parte central con salientes y entrantes en zigzag, con sus caras agujereadas y con una circunferencia de estructura en la parte exterior tanto superior como inferior para que no se obstruya un medio con otro.

5.1.1.11 Propuesta 11.	
	Concepto que toma como referencia un resorte con el espacio central reducido y con una textura en “x” a lo largo de la estructura.
5.1.1.12 Propuesta 12.	
	Espiral con forma esférica la cual cuenta también con una textura en “asterisco” a lo largo de la estructura, y posee una extrusión saliente al centro, la cual también posee una textura irregular.
5.1.1.13 Propuesta 13.	
	Tomando el resorte como estructura principal con extrusiones internas cilíndricas las cuales tienen pequeñas esferas a lo largo de cada saliente, estas extrusiones están ubicadas de manera radial por toda la estructura.
5.1.1.14 Propuesta 14.	
	Esfera con agujeros pasantes la cual ha sido compuesta en dos partes, para facilitar su construcción y para su respectivo armado.

5.1.1.15 Propuesta 15.	
	Esta propuesta consiste en una estructura central la cual es una esfera que soporta conos con agujeros; estos conos se encuentran ubicados cada 45° grados de manera radial por toda la esfera.
5.1.1.16 Propuesta 16.	
	Basado en una concha de mar con agujeros alargados en sus caras, permite que el paso del agua no tenga ninguna obstrucción.
5.1.1.17 Propuesta 17.	
	Basado en cítricos como la naranja por mitad donde se toma la forma de las septas o membranas (parte blanca que divide cada gajo de la naranja) como la estructura principal la cual también posee agujeros pasantes en sus caras.

5.1.2 Filtrado de conceptos Para la primera etapa de selección de alternativas se utilizó una matriz de selección, la cual consiste en enumerar los criterios más importantes a tener en cuenta para el diseño del producto. La matriz se usa para filtrar, ordenar y seleccionar los mejores conceptos. Se realiza una sumatoria y se le da un orden numérico a cada alternativa según el puesto ocupado¹⁰⁶.

¹⁰⁶ ULRICH, Karl. EPPINGER, Steven. Diseño y desarrollo de productos. McGraw-Hill/Interamericana Editores, 2009. p.141-158. ISBN-13:978-970-10-6936-3

Los criterios a tener en cuenta son:

Permite flujo de agua: El medio de soporte debe permitir el flujo de agua a través de su estructura, por ello debe contar ya sea con agujeros o pasantes para evitar que el agua golpee y se choque haciendo esa parte de la estructura poco funcional al no permitir que en esa zona se adhiera biopelícula.

Resistencia estructural: Debe soportar tanto los otros medios que estarán por encima de él como también las plantas y el flujo del agua sin sufrir deformaciones algunas en su estructura.

Facilidad manufactura: La facilidad de manufactura es de gran importancia ya que también nos permite ahorrar en costos y procesos de producción.

Cantidad área superficial: Este criterio nos muestra la eficiencia del medio de soporte, al tener mayor área superficial, tendrá más área para soportar biopelícula.

Fácil ensamble: Este es un criterio que puede no todas las alternativas lo tengan, pero si alguna cuenta con algún ensamble, estos deben ser los menores posibles y fáciles para optimizar en costos.

5.1.2.1 Matriz de selección La matriz de selección se basa en una matriz de decisiones donde se miran todas las alternativas planteadas, se enumeran los criterios más relevantes con los cuales se evaluará cada alternativa y se le asignará una valoración. Esta matriz de selección nos dará pie para elegir las alternativas más viables, las que se deben continuar o las que se deben descartar. Las alternativas planteadas se evaluaron con el software Solidworks por medio del cual se obtuvieron valores aproximados de área superficial, datos y gráficos de la simulación del flujo del agua (frecuencia de 70 m/s) y la resistencia (con fuerza aplicada de 10 N) en cada elemento. En la tabla 25 se muestran todos los valores obtenidos con ayuda del Software Solidworks y en la tabla 26 se muestran los

valores anteriores, traducidos en la matriz de selección. Los gráficos de las simulaciones realizadas a cada alternativa se pueden encontrar en el Anexo D.

Tabla 25. VALORES MATRIZ DE SELECCIÓN

Alternativa	A. Superficial (mm ²)	Flujo Agua (Pa, N/m ²) (valor critico)	Resistencia (mm) (valor critico)		Manufactura	Ensamble
1	31906.19	3102595.63	3.712e-005	0.00003712	inyección	
2	48497.42	3143736.87	9.613e-006	0.000009613	inyección	
3	99288.76	9298475.26	7.400e-004	0.00074	Calandrado Troquelado enrollado	
4	52438.18	3575762.21	1.989e-004	0.0001989	inyección	
5	53101.56	3393315.27	1.488e-001	0.1488	inyección	
6	46279.43	2770259.48	5.836e-002	0.05836	Inyección ensamble	
7	3650.02	4963428.59	2.841e-002	0.02841	inyección	
8	19391.60	3587140.04	2.282e-003	0.002282	inyección	
9	23109.22	2971760.47	3.634e-003	0.003634	inyección	
10	21639.41	6701279.01	5.494e-002	0.05494	inyección	
11	92058.33	21900000.0	2.288e-001	0.2288	extrusión	
12	99073.64	6703359.68	5.600e+000	5.600	extrusión	
13	99363.45	4896213.67	1.698e+002	169.8	extrusión	
14	50021.97	5123253.98	2.345e-005	0.00002345	Inyección ensamble	si
15	27662.76				Inyección (2 tipos pieza) ensamble	si
16	20653.57	2830527.72	6.917e-002	0.06917	inyección	
17	37799.57	6338790.36	1.183e-004	0.0001183	inyección	

Los valores en rojo de la tabla 25, fueron los valores más bajos en cada criterio de selección y los valores en verde fueron los que obtuvieron mejores puntuaciones.

Área superficial: En la segunda columna varias alternativas tuvieron valores alrededor de 90000.00 mm². A aquellas alternativas que tuvieron estas cifras se les atribuyó el color verde como referenciador de que están entre los mejores, se tomó un rango entre 40000.00 hasta 90000.00 como alternativas con valores

intermedios, a los cuales se les atribuyó un color amarillo, varias de estas alternativas en otros criterios obtuvieron valoraciones muy positivas (verde) por ello también se tuvieron en consideración.

Flujo de agua: En la tercera columna valores entre 4000000.00 a 30000000.00 se agruparon en valores con el color rojo y como valores intermedios se agruparon de 2900000.00 a 5000000.00 con un color amarillo.

Resistencia: En la cuarta columna para la clasificación de valores se tomaron rangos entre 0,2 a 170 como los peores valores, dándoles un color de rojo. Y en color amarillo valores entre 0,002 a 0,15.

Estos valores se representaron en la siguiente matriz de selección en la tabla 26.

Tabla 26. MATRIZ DE SELECCIÓN

CRITERIOS de selección	CONCEPTOS																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Cantidad área superficial	-	0	+	0	0	0	-	-	-	-	+	+	+	0	-	-	-
Permite flujo de agua	0	0	-	0	0	+	0	0	0	-	-	-	-	-	0	+	-
Resistencia estructural	+	+	+	+	0	0	0	0	0	0	-	-	-	+	0	0	+
Facilidad manufactura*	-	+	-	0	0	-	0	+	-	0	+	0	0	0	0	+	0
Fácil ensamble**	-	+	+	0	0	-	0	+	0	0	+	+	+	0	-	+	+
Suma +	1	3	3	1	0	1	0	2	0	0	3	2	2	1	0	3	2
Suma 0	1	2	0	4	5	2	4	2	3	3	0	1	2	3	3	1	2
Suma -	3	0	2	0	0	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1
Total	-2	3	1	1	0	-1	-1	1	-2	-2	1	0	1	0	-2	2	1
Lugar	6	1	3	3	4	5	5	3	6	6	3	4	3	4	6	2	3
Continuar	no	sí	sí	R	R	no	no	no	no	no	R	R	no	R	no	R	R

R=Revisar

*Pasos: 0=+ 1-2=0 3 a +---

**Cantidad ensambles: 0=+ 1-2=0 3 a +---


Esta matriz de selección maneja valores negativos (-) al cual se le aplicó un color rojo diferenciador, una valoración intermedia (0) con un color amarillo y valores positivos (+) con un color verde. Para los criterios de fácil manufactura se atribuyó

una nomenclatura donde las alternativas que tuviesen cero pasos de manufactura, es decir un solo proceso de fabricación se tendría una valoración Positiva (+), los que tuvieran de 1 a 2 pasos un valor intermedio (0) y de 3 a más pasos de fabricación una valoración negativa (-). Para el criterio de fácil ensamble también se atribuyó una nomenclatura donde si la alternativa no presenta ensambles tiene valoración positiva (+), si tiene 1 a 2, una valoración intermedia (0) y de 3 a más, un valor negativo (-). Después de traducir los datos a cada alternativa con respecto a la tabla 25, se suma la cantidad de valores positivos (+), intermedios (0) y negativos (-) en cada alternativa, para realizar una sumatoria total que la posicionará.

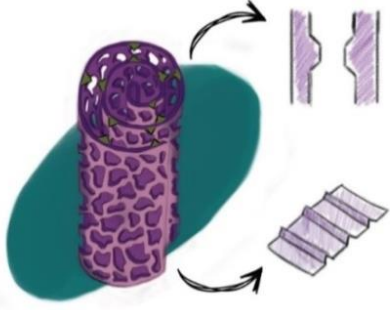
Las alternativas que obtuvieron una mayor valoración fueron la propuesta número 2 (quedando en 1er lugar). La 16 en 2do lugar y la 3,4,8, 11,13 y 17 en 3er puesto. El último puesto lo obtuvo las siguientes alternativas: 1,9,10 y 15.

5.1.2.2 Ordenar, combinar y mejorar Después de haber realizado el proceso con la matriz de selección, se procede a realizar los respectivos cambios y mejoras que se muestran en la siguiente tabla 27.

Tabla 27. Propuestas Evolución de Alternativas

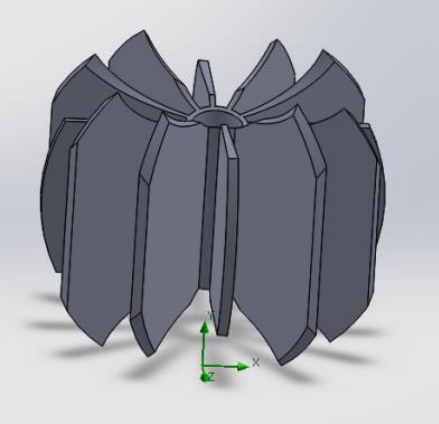
ALTERNATIVA 18	
	<p>Al analizar esta alternativa anteriormente se notó que, en la parte central del elemento, generaba retroceso del agua, haciendo inactiva esta área del elemento. Se realizó una apertura esférica en el centro del elemento para permitir el flujo del agua.</p>

ALTERNATIVA 19



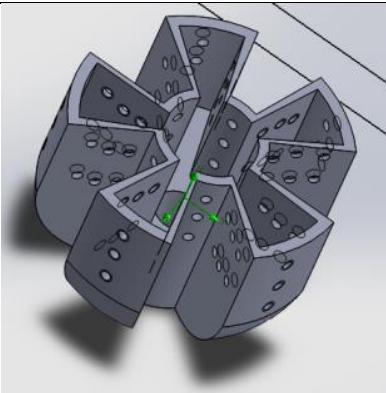
Esta alternativa tiene deficiencia en resistencia estructural al ubicarse de manera horizontal, se buscó mejorarla mediante dobleces salientes en la lámina que impidan que se pegue una cara con la otra.

ALTERNATIVA 20



Esta alternativa se basa en la alternativa cinco y quince, donde se toma la forma esférica de la quince y disposición radial de ambas, los planos de media luna contienen agujeros en sus caras que permiten el flujo del agua. En la parte interna se encuentra un agujero que evita el retroceso del agua. Se mejora la resistencia estructural y su manufactura al tener menos componentes.

ALTERNATIVA 21



Esta alternativa se basa en la alternativa número diecisiete, donde se continúa con el concepto de las septas. Esta alternativa no es maciza como la anterior, tiene menor gasto de material y mayor área superficial.

5.1.3 Evaluación de conceptos Como resultado de la matriz de selección se redujo la cantidad de conceptos iniciales y se realizó un análisis de sus posibles falencias a un nivel burdo. A continuación, se realiza una matriz de evaluación a los conceptos resultantes para un nuevo análisis, con el objetivo de elegir las mejores opciones.

5.1.3.1 Matriz de evaluación Con la matriz de evaluación se busca comparar y ponderar de una manera más refinada cada concepto con respecto a cada criterio, así mismo a cada criterio se le asigna un porcentaje según su importancia¹⁰⁷. Con ayuda del software Solidworks se evaluaron nuevamente las alternativas planteadas junto con la referencia para compararla y tener valores más próximos realizando simulaciones de resistencia (con fuerza aplicada de 10 N) y flujo de agua (frecuencia de 70 m/s). Los gráficos de las simulaciones realizadas a cada alternativa se pueden encontrar en el Anexo E.

Se trabajó con la Biosfera, mostrada anteriormente en la figura 25, como medio de soporte comparativo, en la siguiente matriz de evaluación. En la tabla 28 se muestra los valores obtenidos de las simulaciones realizadas en el software Solidworks y en la tabla 29 se muestra la debida tabulación de los resultados en la matriz de evaluación.

¹⁰⁷ ULRICH, Karl. EPPINGER, Steven. Diseño y desarrollo de productos. McGraw-Hill/Interamericana Editores, 2009. p.141-158. ISBN-13:978-970-10-6936-3

Tabla 28. VALORES MATRIZ DE EVALUACIÓN

Alternativa	A. Superficial (mm ²)	Flujo Agua (Pa, N/m ²) (valor critico)	Resistencia (mm) (valor critico)		Pasos de fabricación
Referencia	36943.40	2698607.24	9.128e-003	0.009128	2
18	14929.27	3625577.97	9.838e-005	0.00009838	1
19	97595.27	8871688.50	3.529e-003	0.003529	3
20	29980.98	4571496.70	3.091e+000	3.091	1
21	32585.45	4119245.44	1.244e-003	0.001244	2

En la tabla 28, los valores de color verde son los que presentan mejores comportamientos respecto a cada criterio evaluado, los valores en rojo fueron los peores resultados y el valor en naranja fue un valor intermedio.

La matriz de evaluación en la tabla 29 funciona de la siguiente manera: a cada criterio de selección se le da un porcentaje según su importancia, a este valor se le conoce como Peso. Cada alternativa se califica según un rango donde igual a la referencia es 3, peor que la referencia 1 y mejor que la referencia es 5, estos valores se encuentran en la parte inferior de la matriz de evaluación. La referencia recibió una valoración neutral ya que respecto a esta las demás alternativas serán evaluadas. Esta tabulación se hizo con base a los valores numéricos de la tabla 28, si en dicha tabla la alternativa presentaba menores valores a la referencia, en la columna de Calificación (C), se ponía un 1 o 2, según si la alternativa era peor o mucho peor que la referencia. Luego, se procedió a completar las columnas de Evaluación Ponderada (EP), donde este valor se obtiene de la multiplicación de la columna de Calificación (C) respectiva a cada referencia con el valor asignado en la columna de Peso. Se finaliza con una sumatoria total de cada Evaluación Ponderada (EP) y con ello se asigna posicionamiento de cada alternativa.

Tabla 29. MATRIZ DE EVALUACIÓN

Criterios de selección	Peso	Referencia		Conceptos							
				18		19		20		21	
		C	EP	C	EP	C	EP	C	EP	C	EP
Cantidad área superficial	30%	3	0.9	2	0.6	5	1.5	2	0.6	2	0.6
Permite flujo de agua	30%	3	0.9	2	0.6	1	0.3	2	0.6	2	0.6
Resistencia estructural	20%	3	0.6	5	1	4	0.8	1	0.2	4	0.8
Pasos fabricación	20%	2	0.4	4	0.8	1	0.2	4	0.8	3	0.6
Total	Puntos	2.8		3		2.8		2.2		2.6	
	Lugar	2		1		2		4		3	
	Continuar?	No		Si		Si		No		No	

C= Calificación EP=Evaluación Ponderada


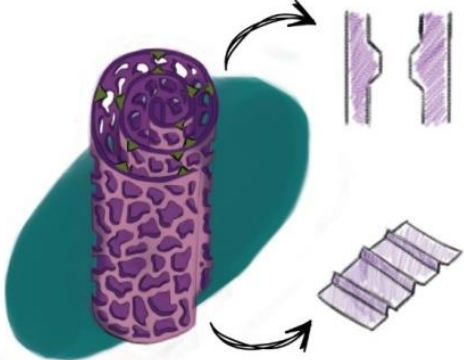
Calificación:

Desempeño Relativo	Calificación
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

Las alternativas de la matriz de evaluación con mayor votación fueron la 18 y 19, teniendo la 18 un valor de 3 y la 19 un valor de 2.8. La alternativa de referencia también presentó igual resultado que la alternativa 19.

Las alternativas que se piensan continuar y evaluar con mayor detalle son la 18 y 19 que se muestran en la siguiente tabla 30.

Tabla 30. Alternativas Seleccionadas.

ALTERNATIVA 18	ALTERNATIVA 19
	

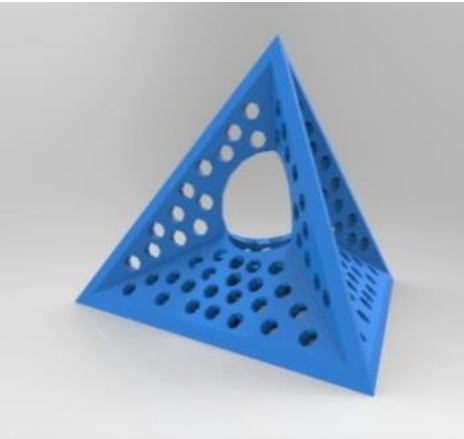
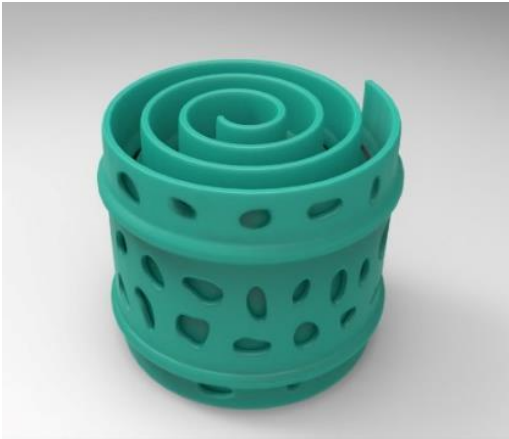
5.1.4 Prueba de concepto Al ser un producto que no interactúa directamente con un usuario, nos remitimos a conocedores en el tema para recibir una observación directa del futuro del producto. Estas observaciones las recibimos por medio de encuestas. La tabla 31 muestra los renders de las dos alternativas elegidas.

Propósito de la prueba: Conocer por medio de personas que han tenido alguna experiencia relacionada con el tratamiento de agua residual y humedales, sus opiniones y criterios que puedan ayudar al concepto elegido.

Población de encuesta: La encuesta se realizó a personas que han trabajado con procesos del tratamiento del agua e ingenieros ambientales conocedores del tema. Siendo la muestra 14 personas.

Formato: Encuesta. (Ver Anexo F)

Tabla 31. Alternativas Encuesta

ALTERNATIVA 18	ALTERNATIVA 19
	

Comunicar el concepto: Se realizó una descripción verbal: El producto es un medio de soporte que busca remplazar el uso de **grava** empleada en los humedales artificiales como medio para degradar la materia orgánica del agua. El medio de soporte está elaborado en un material plástico.

Respuesta Encuesta: La encuesta se le realizó a una muestra de 14 personas de los cuales 9 son hombres y 5 son mujeres, el rango de edad de los encuestados es de 19 a los 49 años. Los encuestados son Profesionales en Ingeniería Ambiental, Ingenieros civiles, Biólogo, Ingenieros químicos y estudiantes de Ing. Ambiental que conocían del tema de aguas y del funcionamiento de los humedales artificiales. Los resultados de edades, profesión y experiencia en el tema se pueden evidenciar en la tabla 32.

Tabla 32. Información Personas Encuestadas

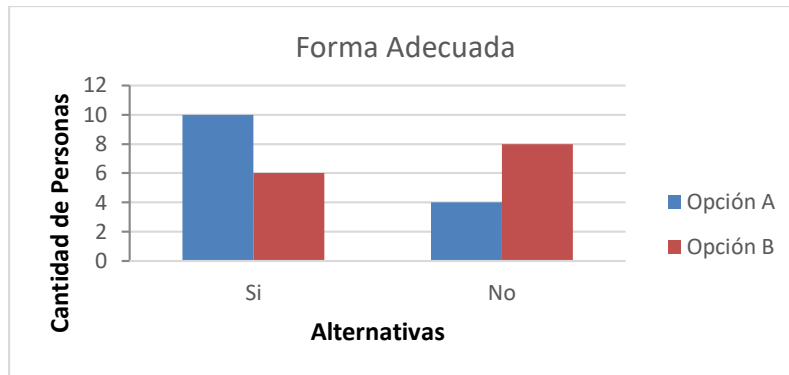
Nombre	Edad	Profesión	Trabajó con agua	¿Cuál?
Pablo Cubides	30	Ing. Químico	Si	Lab. Ing. Ambiental
Carlos García	30	Biólogo	Si	Uso microalgas para obtener aceites a partir de agua residuales
Iván Malagon	25	Ing. Civil	Si	Diseño e interventoría PTAR y PTAP
Luis Gámez	28	Ing. Químico	si	Trabajo en la planta de tratamiento de agua potable de Coca-Cola Femsa en Tocancipa
Nicolás	22	Estudiante	No	Ninguna
Lady Fonseca	25	Ing. Ambiental	No	Ninguna
Karen	25	Ing. Ambiental	Si	Agua residual y potable
Daniel	19	Estudiante	No	
Jenny Marcela Vega Herrera	23	Ing. Químico	Si	Curtiembre
Nicolás Gil	20	Estudiante	No	Ninguna
Cristian	22	Ing. civil	Si	Acueducto
Efraín Carvajal	25	Ing. Ambiental	No	No
Nathalie Blanco	49	Química farmacéutica	Si	Docente calidad de agua, recurso agua y aguas subterráneas UTS
María Fda. Latorre Silva	24	Estudiante	Si	Laboratorio recurso agua UTS

En la Tabla 33 y la figura 44 se muestran los resultados de la pregunta:
¿Considera el medio de soporte tiene una forma adecuada?

Tabla 33. Forma Adecuada

Forma Adecuada	Si	No
Opción A	10	4
Opción B	6	8

Figura 44. Diagrama de frecuencia de Forma Adecuada



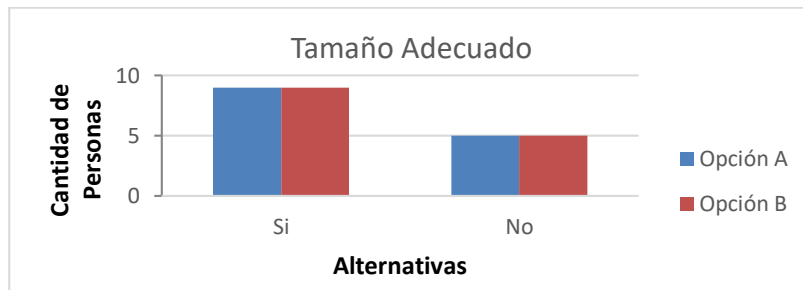
La forma que consideraron más adecuada para un medio de soporte fue la opción A con un valor de 10.

En la Tabla 34 y la figura 45 se muestran los resultados de la pregunta:
¿Considera el medio de soporte tiene un tamaño adecuado?

Tabla 34. Tamaño Adecuado

Tamaño Adecuado	Si	No
Opción A	9	5
Opción B	9	5

Figura 45. Diagrama de Frecuencia Tamaño Adecuado



El tamaño obtuvo un empate en ambas opciones, pero cabe resaltar que en las consideraciones que nos dieron fue disminuir el tamaño sobre todo de la segunda opción.

En la Tabla 35 y la figura 46 se muestran los resultados de la pregunta: **¿Considera es un producto novedoso en el mercado colombiano?**

Tabla 35. Producto Innovador

	Si	No
Producto Innovador	13	1

Figura 46. Diagrama de frecuencia Producto Innovador



La gran mayoría de encuestados (13) consideraron es un producto innovador en el mercado colombiano, lo consideraron como una propuesta diferente que puede lograr mejores resultados

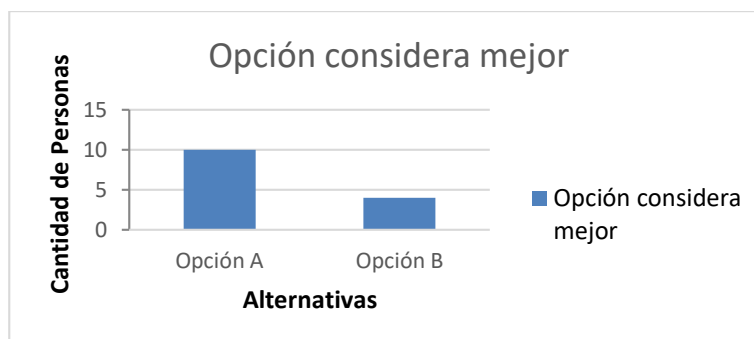
En la Tabla 36 y la figura 47 se muestran los resultados de la pregunta:

¿Cuál de las dos opciones considera mejor? ¿Por qué?

Tabla 36. Mejor Alternativa

	Opción A	Opción B
Opción considera mejor	10	4

Figura 47. Diagrama de frecuencia Mejor Alternativa



Muchos consideraron mejor opción porque:

-Opción A: “presenta mejor circulación del agua y atraparía sólidos de diferente tamaño, requiere menos material y ocupa menos espacio, es más práctica, por la forma que tiene”

-Opción B: “por el área de contacto, permite mejor flujo y se acomoda mejor, mayor área de contacto para formar la biopelícula”

¿Cómo podría mejorar este producto?

-Opción A:” Puedo decir que una forma de mejorar la efectividad del soporte que proponen es disminuir el tamaño del medio al mínimo, producción en masa, más aristas, creo que como está es lo ideal, me parece ideal”

-Opción B: “Teniendo en cuenta el ciclo de los polímeros y su efecto en el medio ambiente, haciéndolo más pequeño, conseguir la máxima porosidad sin perder el soporte”

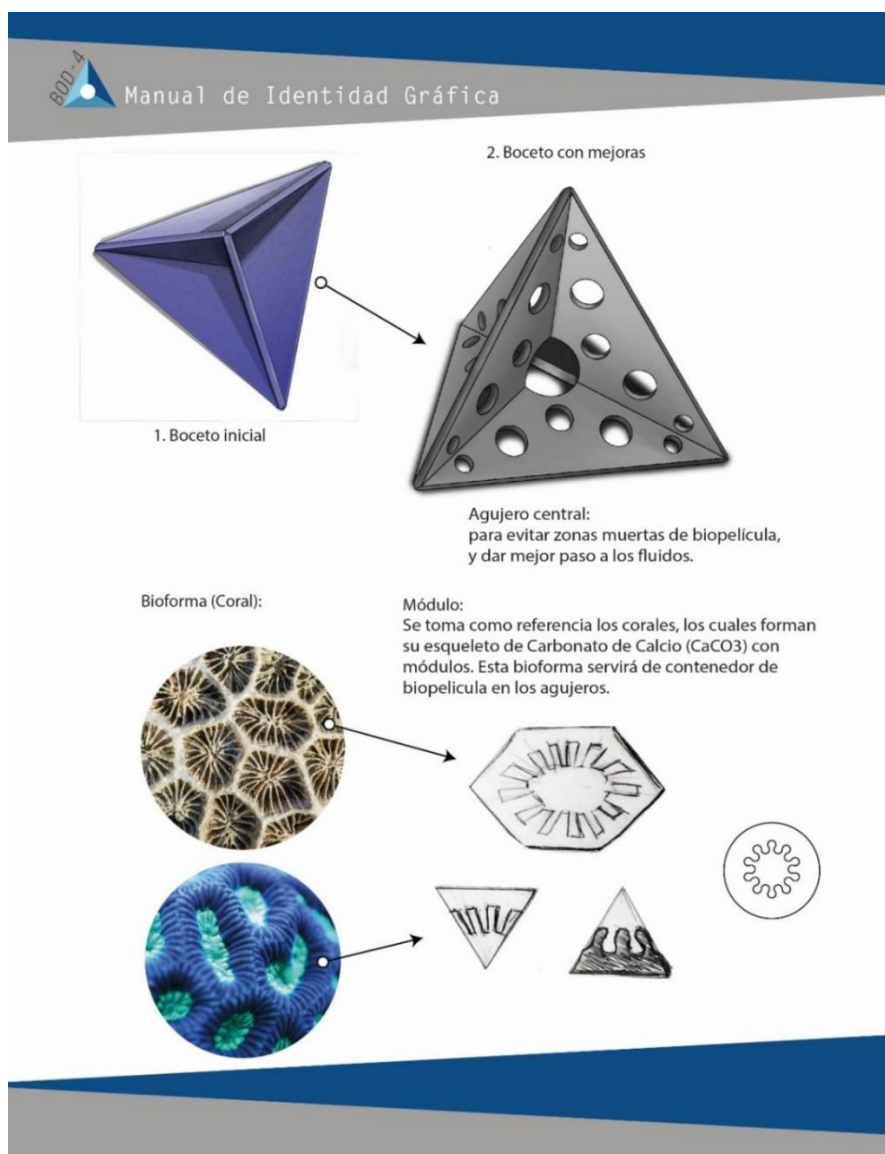
Retroalimentación: La opción con mejores resultados fue la opción A.

Presenta un mejor flujo del agua y a pesar de poseer menor área o tamaño con respecto al otro modelo, abarca más unidades en apilamiento lo cual permite mejores resultados por volumen. También para aumentar el área de contacto y adherencia con la biopelícula se propone agregar una textura al elemento, se considera cambiar la forma a los agujeros para aumentar su área superficial.

6. DESARROLLO DE PRODUCTO

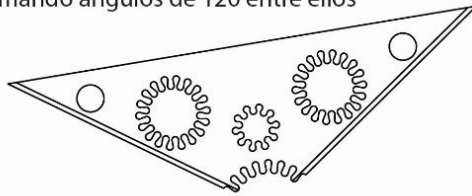
Se realiza una evolución de la propuesta seleccionada y se validan sus características principales, se realiza un costo estimado y un estudio del impacto ambiental que presenta el medio de soporte.

6.1 EVOLUCION DE LA IDEA



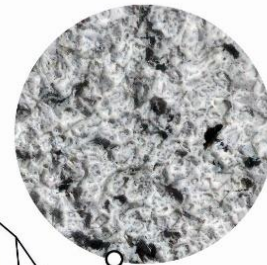
Perfil de las caras:

El módulo final esta formado por 6 perfiles unidos en sus filos de a 3, formando ángulos de 120 entre ellos

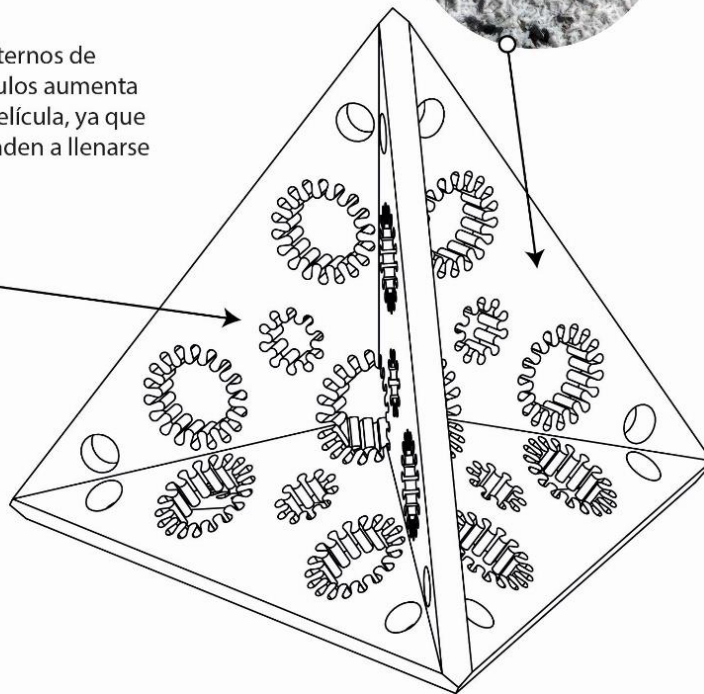
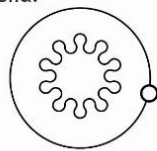


Textura:

Mejora la adherencia de la biopelícula a los módulos.



Las franjas en los filos internos de los agujeros de los módulos aumenta la adherencia de la biopelícula, ya que ese tipo de espacios tienden a llenarse de ella.



6.2 PRUEBA DE AFINAMIENTO

Aunque el medio de soporte no va a tener contacto directo con un usuario durante su uso, si existe una manipulación previa del elemento, también presenta manipulación durante los respectivos mantenimientos al humedal artificial. Las terminaciones del medio de soporte pueden llegar a ser peligrosas al ocasionar alguna herida, teniendo en cuenta las condiciones en las que van a estar expuestos (aguas residuales), por esto, se consideró aplicar redondeos para eliminar esos filos sin ver alterado el desempeño del medio de soporte.

Con el fin de mejorar la propuesta anteriormente planteada y poder determinar que terminaciones presentan mejores resultados en el modelo, se realizaron simulaciones de fluidos con el software Solidworks, manejando la herramienta de Flow Simulation. Para la simulación se tuvo en cuenta el tipo de fluido (agua) y una frecuencia de fluido de 70 m/s, simulaciones de esfuerzo (con una carga aplicada de 10 N) y con el software también se determinó el área superficial a la propuesta (tetraedro con un espesor de 3mm) con variantes de redondeos en los filos: sin redondeos, redondeo de 1mm y redondeo de 1,5 mm. La tabla 37 muestra los redondeos aplicados al modelo final y en la tabla 38 se reunieron los valores obtenidos de las simulaciones realizadas en el software Solidworks. Los gráficos de las simulaciones realizadas a cada alternativa se pueden encontrar en el Anexo G.

Tabla 37. Redondeos Alternativa Tetraedro

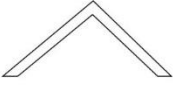


Sin Redondeo	Redondeo 1mm (Parcial)	Redondeo 1.5mm (Total)
		

Tabla 38. Valores según tipo de redondeo a la alternativa Tetraedro

Alternativa	A. Superficial (mm ²)	Flujo (Pa, N/m ²) (valor critico)	Resistencia (mm) (valor critico)	
ORIGINAL	14929.27	3625577.97	9.838e-005	0.00009838
Redondeo 1mm	14573.24	2134013.60	8.865e-005	0.00008865
Redondeo 1.5mm	14386.96	3252754.60	8.517e-005	0.00008517

En esta tabla se recopilan los valores de la prueba de afinamiento, los valores en verde son los que presentan mejores resultados mientras que los que se encuentran enmarcados en color rojo fueron los peores.

Conclusiones de la prueba de afinamiento:

- Según los datos obtenidos de las simulaciones realizadas, se puede evidenciar que los redondeos tienden a mejorar el flujo del agua, pero los redondeados totales no son tan efectivos como un redondeo parcial como se puede apreciar en los resultados donde el redondeo total siendo de 1.5 mm presenta un valor de 3252754.60 Pa tendiendo hacia el Original que tiene un valor de 3625577.97 Pa, mientras que el redondeo parcial de 1 mm presentó un mejor fluido del agua con valor de 2134013.60 Pa.
- La mejor alternativa en cuanto a resistencia fue la que contaba con un redondeo total (1.5 mm), quedando en segundo lugar la alternativa con redondeo de 1mm y la que no presenta redondeos en sus filos obtuvo el peor resultado.
- Por lo anterior el acabado que presenta resultados más óptimos es la de filos con redondeados parciales (1 mm).

6.3 VALIDACIÓN DEL CONCEPTO

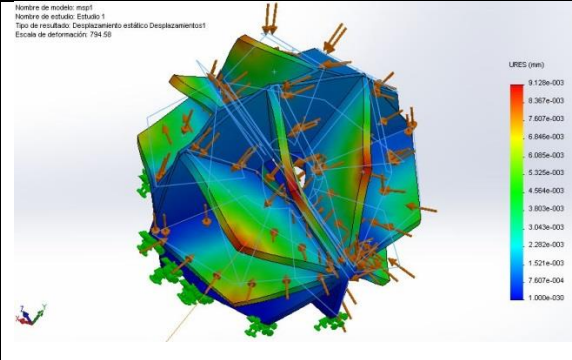
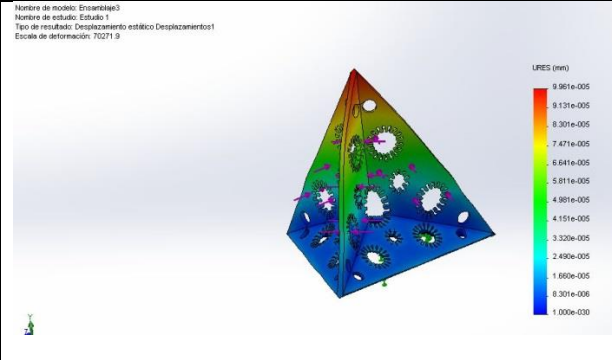
Para que el producto sea viable, debe cumplir con los requerimientos establecidos inicialmente, esto nos dan la pauta de lo que debe tener el producto:

- Resistencia estructural
- Flujo constante
- Porosidad
- Área superficial específica

Para validar su competencia, este fue sometido a un comparativo con un producto comercial (el mismo que fue usado en la matriz de evaluación- Figura 25), se realizaron varias simulaciones tanto digitales como experimentales con el fin de establecer las características de cada uno de los elementos, y así determinar las ventajas que ofrece.

6.3.1 Simulación carga Mediante un software CAE (Solidworks), se sometieron a simulación de carga (10 N) los elementos. En la tabla 39 se muestran los gráficos de las simulaciones obtenidas.

Tabla 39. Simulación de Cargas

Resistencia (mm) – Valor critico	
Referencia	Tetraedro (espesor 2.5 mm)
 <p>Nombre de modelo: mcp1 Nombre de estudio: Estudio 1 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1 Escala de deformación: 794.58</p> <p>LRRES (mm)</p> <p>9.128e-003 8.367e-003 7.607e-003 6.846e-003 6.085e-003 5.325e-003 4.564e-003 3.803e-003 3.043e-003 2.282e-003 1.521e-003 7.607e-004 1.000e-000</p>	 <p>Nombre de modelo: Ensamblaje3 Nombre de estudio: Estudio 1 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1 Escala de deformación: 70271.9</p> <p>LRRES (mm)</p> <p>9.961e-005 9.131e-005 8.301e-005 7.471e-005 6.641e-005 5.811e-005 4.981e-005 4.151e-005 3.320e-005 2.490e-005 1.660e-005 8.301e-006 1.000e-000</p>
Resistencia: 0.009128 mm	Resistencia: 0.00009961 mm

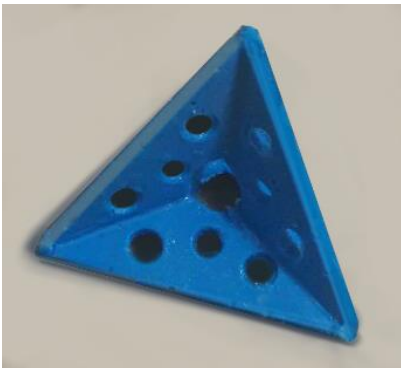
Conclusiones:

El tetraedro presenta una estructura más estable con respecto a la referencia, y sus valores críticos al aplicarle una carga son menores con respecto a esta. La referencia tiende a fallar más en cada lateral mientras que el tetraedro solo en la parte superior y siendo muy poco.

6.3.2 Porosidad (Ver Anexo H) Porosidad hace referencia a la medida de espacios vacíos en un material, es la porción del volumen de huecos sobre el volumen total, como un porcentaje entre 0-100 %.

Se realizarán pruebas de apilamiento a la propuesta final junto con la referencia (Bioesferas), esto con el fin de tener un estimado de la cantidad de elementos necesarios para llenar un volumen determinado, y así determinar su porosidad. Con este dato y el volumen de cada elemento, podemos conocer el porcentaje (%) de porosidad de cada elemento, en donde P es Porosidad.

a. Tetraedro



Unidades por metro cubico:

13125

Volumen del elemento:

$9,36867 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

Volumen de metro cubico de elementos:

$13125 * 9,36867 \cdot 10^{-6} = 0,11435746875 \text{ m}^3$

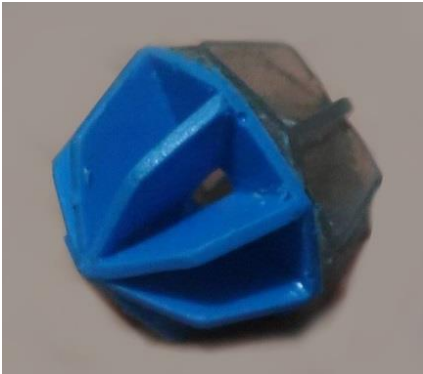
Porcentaje de porosidad (P):

$$P = 100\% - \frac{100\% * 0,12296379375 \text{ m}^3}{\text{m}^3}$$

$$P = 100\% - 12,3\%$$

$$P = 87,7\%$$

b. Esfera



Unidades por metro cubico:

4330

Volumen del elemento:

$2,975477 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

Volumen de metro cubico de elementos:

$4330 * 2,975477 \cdot 10^{-5} = 0,1288381541 \text{ m}^3$

Porcentaje de porosidad (P):

$$P = 100\% - \frac{100\% * 0,1288381541 \text{ m}^3}{\text{m}^3}$$

$$P = 100\% - 12,88\%$$

$$P = 87,12\%$$

Conclusiones:

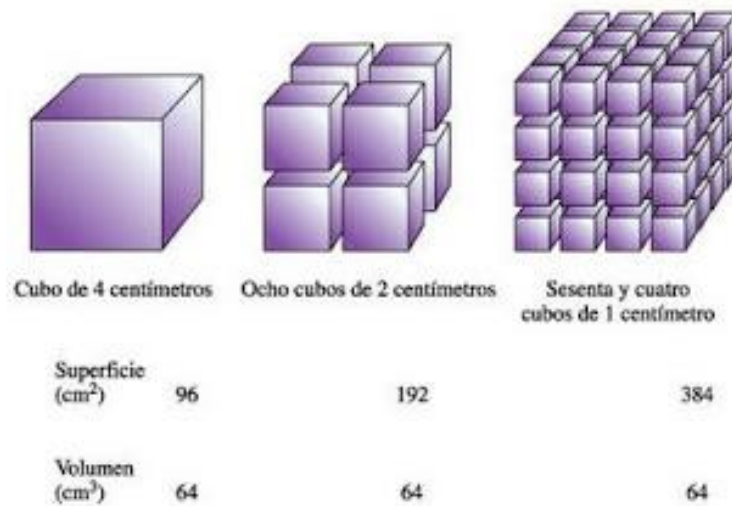
- La propuesta presenta un porcentaje de porosidad de 87,7%.
- La referencia presenta un porcentaje de porosidad de 87,12%.
- La propuesta presenta una ventaja de 0,58%, frente a la referencia.
- Según bibliografía, la grava ofrece en promedio 40% de porosidad, las dos opciones presentan un incremento considerable.

6.3.3 Área superficial específica (Ver Anexo H) La superficie específica es la relación entre el área superficial total y el volumen en bruto del elemento, se define como área superficial dividida por masa (en cuyo caso sus unidades son m^2/kg), o área superficial dividida por el volumen (en cuyo caso sus unidades son m^2/m^3 o m^{-1})¹⁰⁸

Cálculo: La superficie específica se puede calcular de una manera simple a partir de conocer la distribución de tamaños de partículas, y realizando una suposición sobre la forma de las partículas. Este método, sin embargo, no toma en cuenta la superficie asociada a la textura superficial de las partículas.

- Hay una relación inversa entre tamaño de partícula y superficie específica como se observa en la figura 48.

Figura 48. Relación Área superficial - Volumen



Fuente:

http://4.bp.blogspot.com/_VLonqa9WWQE/SYH8aQEnDeI/AAAAAAAAAJQ/tDup6IOSKxI/s1600-h/5-2.jpg

¹⁰⁸ RAMCODES. Superficie específica y plasticidad. [En línea]. 2012. Disponible en <http://blogramcodes.blogspot.com.co/2012/09/superficie-especifica-y-plasticidad.html>

- Debido a que la superficie real presenta poros y distorsiones propias del material, estas son mayores que el cálculo obtenido de una manera geométrica.
- La superficie específica de un sólido es definida como la relación entre su superficie y su volumen (o su masa). Este parámetro es de suma importancia cuando se quiere tener un índice para medir el potencial de interacción de este sólido con su entorno. Se sabe que mientras mayor es la superficie específica, mayor es la interacción.

Se realizaron pruebas de apilamiento a la propuesta final junto con la referencia (Bioesferas), esto con el fin de tener un estimado de la cantidad de elementos necesarios para llenar un volumen determinado, y así calcular su área superficial específica. Con este dato y el área superficial de cada elemento, podemos conocer el área superficial específica por cada metro cúbico de elementos.

a. Tetraedro



Unidades por metro cúbico:

13125

Área superficial del elemento:

0.01375 m²

Área por metro cúbico de elementos:

$13125 * 0.01375 \text{ m}^2 = 180,47 \text{ m}^2$

b. Esfera



Unidades por metro cubico:

4330

Área superficial del elemento:

0.03694 m²

Área por metro cubico de elementos:




4330 * 0.03694 m² = 159,95 m²

Conclusiones:

- La propuesta presenta 180,47 m²/m³,
- La referencia presenta 159,95 m²/m³.
- La propuesta presenta una ventaja de 20,52 m²/m³, frente a la referencia.
- Los datos aquí representados hacen referencia a elementos con sus lados lisos, no se ha tenido en cuenta el incremento por las texturas aplicadas al material.

6.3.4 Medición de flujo (Ver Anexo I) Se realizaron replicas a ½ de escala de los elementos, estos se vertieron en un contenedor que se instaló en la máquina: Anillo de calibración de flujo (ubicada en el laboratorio de instrumentación en la Universidad Pontificia Bolivariana), con una frecuencia constante de: 20 Hz, el flujo del agua es medido por el sensor de Flujo Endress and Hauser de tipo electromagnético ubicado en el anillo que transmite la señal estándar de 4-20 mA.¹⁰⁹ También se tomaron los valores de presión aguas arriba y aguas abajo, sin carga y luego con las 2 muestras, y así comparar cual genera mayor resistencia al paso del agua. En la tabla 40 se observa los elementos elaborados por los estudiantes para la realización de la prueba y la tabla 41 muestra los resultados obtenidos en la prueba.

Tabla 40. Elementos para la prueba de flujo.

Contenedor	Elemento 1	Elemento 2
		

¹⁰⁹ MELO, Sebastián. PABÓN, Andrea. Implementación de las condiciones de proceso para la medición de las variables requeridas en el primer anillo de calibración de flujo de acuerdo a las especificaciones de la norma ntc1063-3 referente al ensayo mediante el método de “recolección”. Trabajo de grado Ingeniería Electrónica. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Electrónica. 2016. p. 95-96

Tabla 41. Resultados Prueba de Flujo

Probeta	Flujo (l/min)	Presión aguas arriba (psi)	Presión aguas abajo (psi)
Vacío	51.3	0	1.2
Tetraedro	42.2	4.6	0.6
Esfera	33.2	4.9	0

Conclusiones prueba flujo:

- La presión que generan los tetraedros en comparación con el tubo de vacío es 9.1 l/min.
- La presión que generan las probetas esféricas en comparación con el tubo de vacío es 18.1 l/min.
- Las probetas tetraédricas generan la mitad de resistencia al flujo del agua en comparación a las probetas esféricas.

6.4 PREGUNTA DE DISEÑO

¿De qué manera se promueve el crecimiento de bacterias en aguas residuales con el diseño de un medio de soporte para humedales artificiales?

En los requerimientos del proyecto se pudo determinar las siguientes variables a tener en cuenta para el mejor desempeño del producto:

- Resistencia estructural
- Flujo constante
- Porosidad
- Área superficial específica

Durante el proceso de diseño se realizó un comparativo con elementos del mercado,

Flujo constante: Uno de los puntos importantes a tener en cuenta para un óptimo funcionamiento de un humedal, es el poder brindar un flujo constante y lo menos obstruido, ya que esto nos garantiza una distribución del fluido a través de todo el medio de soporte, permitiendo el contacto del mismo con la mayor cantidad de biopelícula, y reduciendo efectos nocivos, como puntos muertos en donde el fluido se estanque.

La porosidad y la geometría de un medio de soporte están relacionadas con el flujo, ya que estas variables lo determinan. A mayor porosidad mayor flujo, y una geometría adecuada permite evitar los efectos nocivos, ángulos muy agudos pueden generar retrocesos de flujo y estancamientos.

En elementos más estructurados se puede conseguir un mayor rendimiento. Al someter los 2 elementos (propuesta y referencia) a un flujo constante en un Anillo de calibración de flujo, a una frecuencia constante de: 20 Hz, se obtuvo que en vacío se obtiene un flujo de 51,3 l/min. (Litro/minuto). En la tabla 42 se muestran los resultados obtenidos de la prueba de flujo.

Tabla 42. Resultados Prueba de flujo

Alternativa	Bioesferas	Bod-4
Resultado	33.2 l/min	42.2 l/min
Diferencia con vacío	18.1 l/min	9.1 l/min

Al comparar los resultados de las 2 alternativas con los resultados en vacío, se obtuvo que Bod-4, generó la mitad de la reducción del flujo, demostrando que la configuración de ángulos obtusos permite un mayor flujo.

Porosidad: La porosidad es la cantidad de espacio vacío en un elemento, esto está representado en un porcentaje de 0 a 100, para el mejor desempeño de un humedal, se debe garantizar el desplazamiento del agua a través de este, al tener un mayor porcentaje (%) de porosidad, nos indica que hay menor cantidad de obstáculos para el flujo,

La grava dependiendo de su tamaño nos ofrece una porosidad de 35% al 45%, esto se debe a que su forma es maciza y no hay espacios en su interior, el vacío es el que se forma en los espacios que quedan en el contacto con otros granos, a mayor tamaño de grano mayor será su porosidad, en la siguiente tabla 43 se muestran las características según el tamaño de la grava.

Tabla 43. Características de la Grava

Tipo de Material	Tamaño efectivo (mm)	Porosidad (%)
Grava fina	16	35-38
Grava Media	32	36-40
Grava Gruesa	128	38-45

En elementos más estructurados se puede conseguir una mayor porosidad, por medio de datos experimentales y simulaciones, se concluye una porosidad aproximada de los elementos (propuesta y referencia). En la tabla 44 se muestran los resultados de la prueba de apilamiento.

Tabla 44. Resultados prueba de Apilamiento

Alternativa	Bioesferas	Bod-4
Elementos por m³	4330 unidades	13125 unidades
Porosidad	87.12%	87.7%

Las 2 alternativas tienen una alta porosidad, en comparación con la grava que ofrece una mayor porosidad, tienen más del 42%.

Área superficial específica: Para generar una reducción de los residuos orgánicos a una mayor velocidad, se debe garantizar una gran área a colonizar por la biopelícula.

Por medio de datos experimentales y simulaciones, se concluye un área superficial específica aproximada de los elementos (propuesta y referencia), esta área superficial no toma en cuenta la textura del material, la cual aumenta de gran forma por esta. En la tabla 45 se muestran los valores del área superficial y su textura.

Tabla 45. Área superficial y Textura

Alternativa	Grava Gruesa	Bioesferas	Bod-4
Elementos por m³		4330 unidades	13125 unidades
Área superficial específica	67 m ² /m ³	159,95 m ² /m ³	180,47 m ² /m ³
Textura			

Bod-4 tiene aproximadamente 20 m²/m³, en comparación a la referencia. En adición a esto la textura de Bod-4 ofrece una mayor área, según bibliografía la referencia ofrece 300 m²/m³, esto nos indica que su textura casi duplica el área superficial que tiene, teniendo en cuenta esto, podemos suponer que Bod-4, supera los 350 m²/m³, sin ningún problema.

6.5 IMPACTO AMBIENTAL (MATERIAL)

Todos los materiales afectan de forma directa o indirecta el medio ambiente, ya sea en su extracción, su fabricación, su uso o su disposición final. Al pensar en un producto se debe elegir el material que brinde la mejor relación entre: impacto, precio y eficiencia, esto sumado a minimizar el gasto de material y energía, también se debe tener en cuenta su fabricación y distribución, todo esto con el fin de minimizar el impacto ambiental que se genera al producirlo.

Teniendo en cuenta las pruebas de materiales y de plásticos previamente realizadas se concluye:

Los cerámicos a pesar de que ofrecen mayor adherencia lo que los hace más eficientes, su proceso de fabricación requiere de mayor consumo de energía (Cerámica horneada) y agua (por ejemplo, el cemento). Además de ser un material frágil en elementos esbeltos, presenta desventajas como tener mayor peso, lo cual dificulta su transporte.

Las resinas son altamente contaminantes para el agua debido a sus catalizadores, esto dificulta su reciclaje ya que no se les puede aplicar calor para la generación de nuevos elementos. En las pruebas fueron utilizadas, ya que brindan propiedades similares a los demás polímeros, y tienen gran facilidad de reproducir elementos a un bajo costo. (Ver Anexo J)

Los plásticos son la mejor opción debido a su facilidad para trabajar con estos materiales y poder realizar formas complejas, también algunos plásticos presentan mayor capacidad para ser reciclados. Por eso se eligió este material para el medio de soporte teniendo como proceso de transformación la inyección de plástico. (Ver Anexo K)

6.5.1 Matriz de impacto ambiental Teniendo en cuenta la información obtenida de la identificación de aspectos e impactos ambientales significativos asociados a las actividades en el proceso de producción del medio de soporte, se procedió a realizar la evaluación de los mismos con el fin de valorar su trascendencia ambiental.

Para la evaluación se utilizó la Metodología de Empresas Públicas de Medellín (EPM) donde por medio de una matriz se sintetiza en una cifra la importancia del impacto ambiental con base a los factores ambientales considerados: su clase, presencia, duración, evolución y la magnitud de los mismos. La importancia del impacto se expresa en función del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida y del grado de manifestación del efecto. Es un método sencillo que permite evaluar de manera cuantitativa y cualitativa la magnitud de los impactos, determinando aquellos impactos que son más significativos. Los criterios de evaluación empleados en la elaboración de la matriz se encuentran en el anexo L del presente documento.

A continuación, en la tabla 46, se presenta la correspondiente matriz de evaluación de impactos ambientales.

Convenciones tabla Matriz de Impacto Ambiental

C	Clase
P	Presencia
E	Evolución
M	Magnitud
D	Duración
a=7 y b=3	Constantes
Ca	Calificación ambiental
I.A	Impacto Ambiental
M.M	Medida de Manejo

Tabla 46. Matriz de Impacto Ambiental

Actividad	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	C	P	E	M	D	a	b	Ca	I.A.	M.M.
Manufactura molde	Consumo de energía	Agotamiento de recursos naturales	-	0.9	0.5	0.7	1	7	3	4.905	Media	Control
	Emisión de vapores	Contaminación atmosférica	-	0.8	0.7	0.7	0.8	7	3	4.664	Media	Control
	Generación de empleo	Mejoramiento de la calidad de vida	+	0.9	0.7	0.5	0.08	7	3	2.421	Baja	Preventivos
Uso de plástico (pellets) para elaboración de moldes	Generación de residuos solidos (rebaba)	Reutilización del residuo del plástico	+	0.2	0.5	0.3	0.3	7	3	0.39	Muy baja	Preventivos
		Recarga de relleno sanitario(contaminación del suelo)	-	0.8	0.7	0.7	1	7	3	5.144	Media	Compensación
Funcionamiento de la inyectora	Consumo de energía	Agotamiento de recursos naturales	-	0.9	0.5	0.7	1	7	3	4.905	Media	Control
	Consumo de agua		-	0.9	0.5	0.7	1	7	3	4.905	Media	Control
	Generación de ruidos	Contaminación auditiva	-	0.5	0.5	0.5	0.7	7	3	1.925	Muy Baja	Preventivos
Comercialización del producto (medio de soporte)	Implementación del medio del soporte en humedales artificiales	Mejoramiento en el rendimiento de la depuración de la materia orgánica del agua residual.	+	0.9	0.7	0.7	0.8	7	3	5.247	Media	Compensación
	Disminución en la extracción de la grava	Disminución de la alteración de ecosistemas	+	0.9	0.7	0.8	0.8	7	3	5.688	Media	Compensación
	Beneficio monetario	Mejoramiento de la calidad de vida	+	0.7	0.5	0.5	0.6	7	3	2.485	Baja	Preventivos

6.5.2 Conclusiones

- Con base a la matriz de evaluación de impactos ambientales expuesta anteriormente, se evidenció que dentro de los impactos catalogados como medios que presentan una medida de manejo de compensación, es la recarga del relleno sanitario, teniendo una valoración de clase negativa. Para compensar esta medida se podría optar por reciclar el material sobrante de manera obligatoria.
- Así mismo se obtuvo que el 36% de los impactos corresponden a impactos ambientales bajos y muy bajos, y el 64% corresponden a impactos ambientales medios que no afectan tan significativamente el ambiente.
- Dentro de los impactos ambientales positivos se tuvo: Mejoramiento de la calidad de vida, la reutilización del residuo del plástico, el mejoramiento en el rendimiento de la depuración de la materia orgánica del agua residual, la disminución en la extracción de la grava y el beneficio monetario.
- El medio de soporte como producto presenta un impacto ambiental medio, siempre y cuando se manejen prácticas adecuadas en su elaboración y reutilización de residuos.

6.6 COSTOS

Costo de Producción. Para la fabricación del medio de soporte planteado, se realizaron varias cotizaciones a empresas inyectoras, ya que no se comprarán maquinarias, sino que se realizará la producción por medio de prestación de servicios, donde se necesita: realización del molde y servicio de inyección.

La empresa Hencas de Colombia Ltda. de Bogotá cotizó la fabricación del molde en un rango de 12 a 15 millones y el servicio de las piezas a inyectar tendrían un valor de entre 800 y 1000 pesos la unidad.

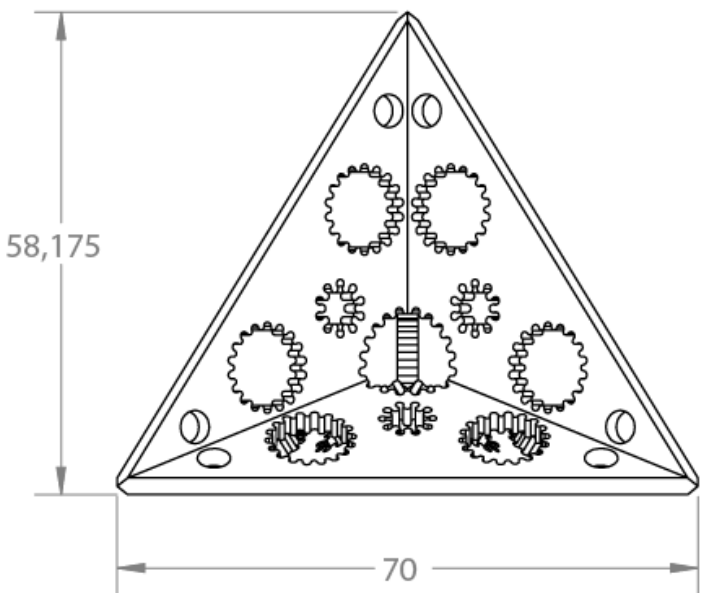
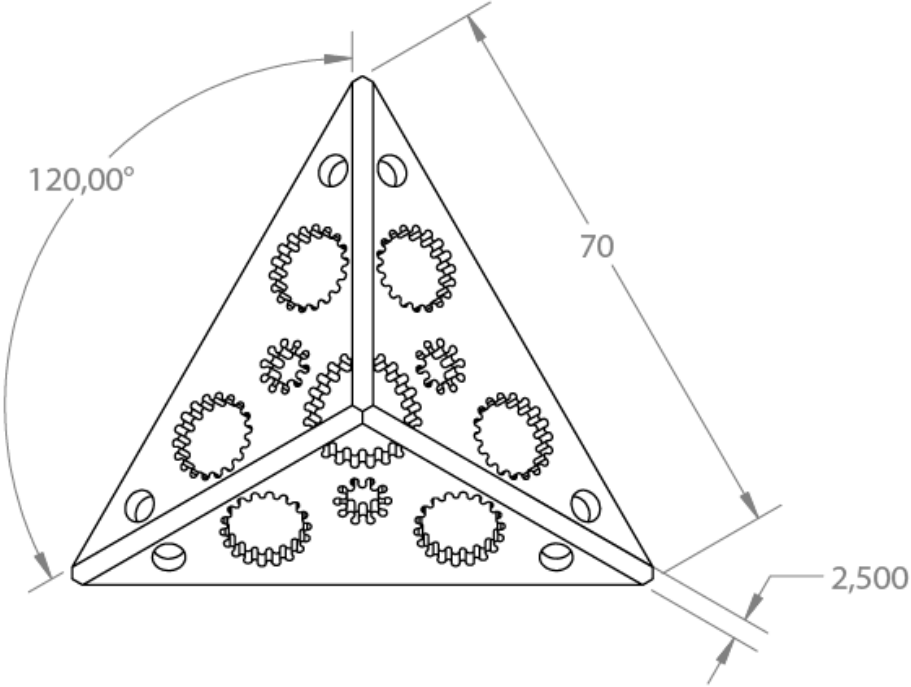
12.000 elementos ocupan un volumen de 1 metro cubico

Valor por metro cubico= 15.000.000 + 12.000 (1.000) = COP 27.000.000

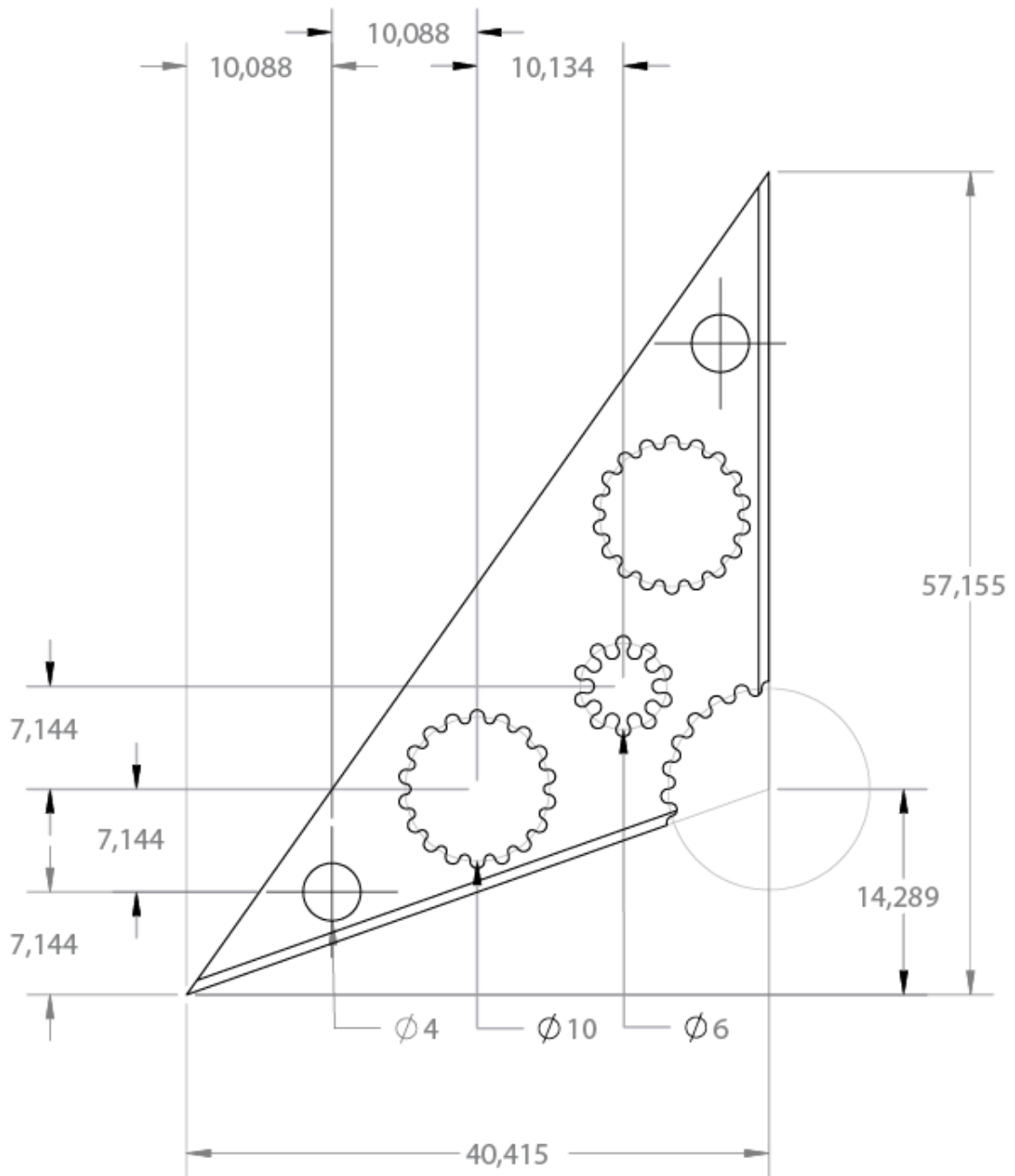
La empresa Magic Plast s.a.s. de Bogotá cotizó la fabricación del molde alrededor de los 7 millones, con el valor de servicio de inyección a 3500 por unidad.

Valor por metro cuadrado=7.000.000+ 12.000 (3.500) = COP 49.000.000

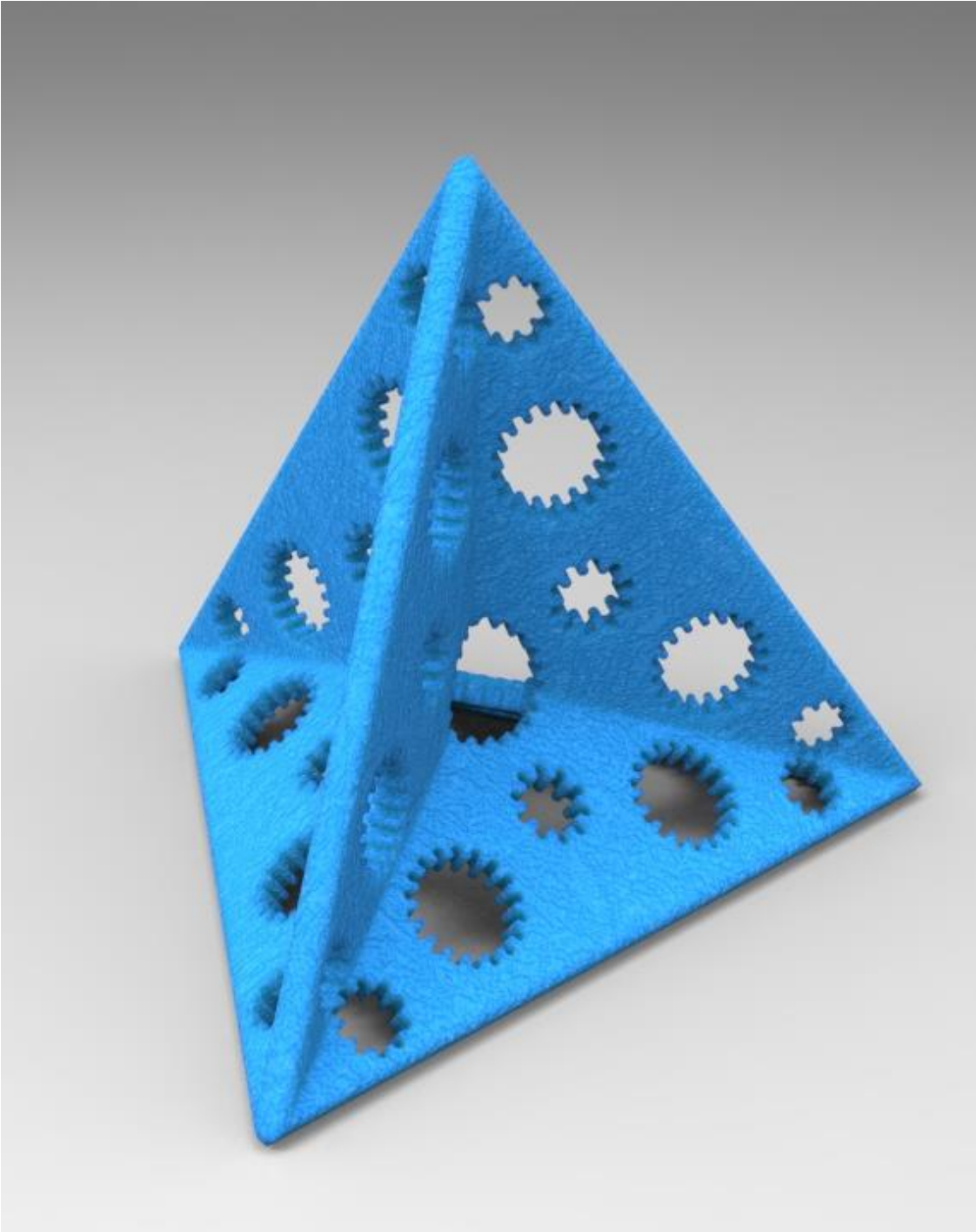
6.7 PLANOS TÉCNICOS

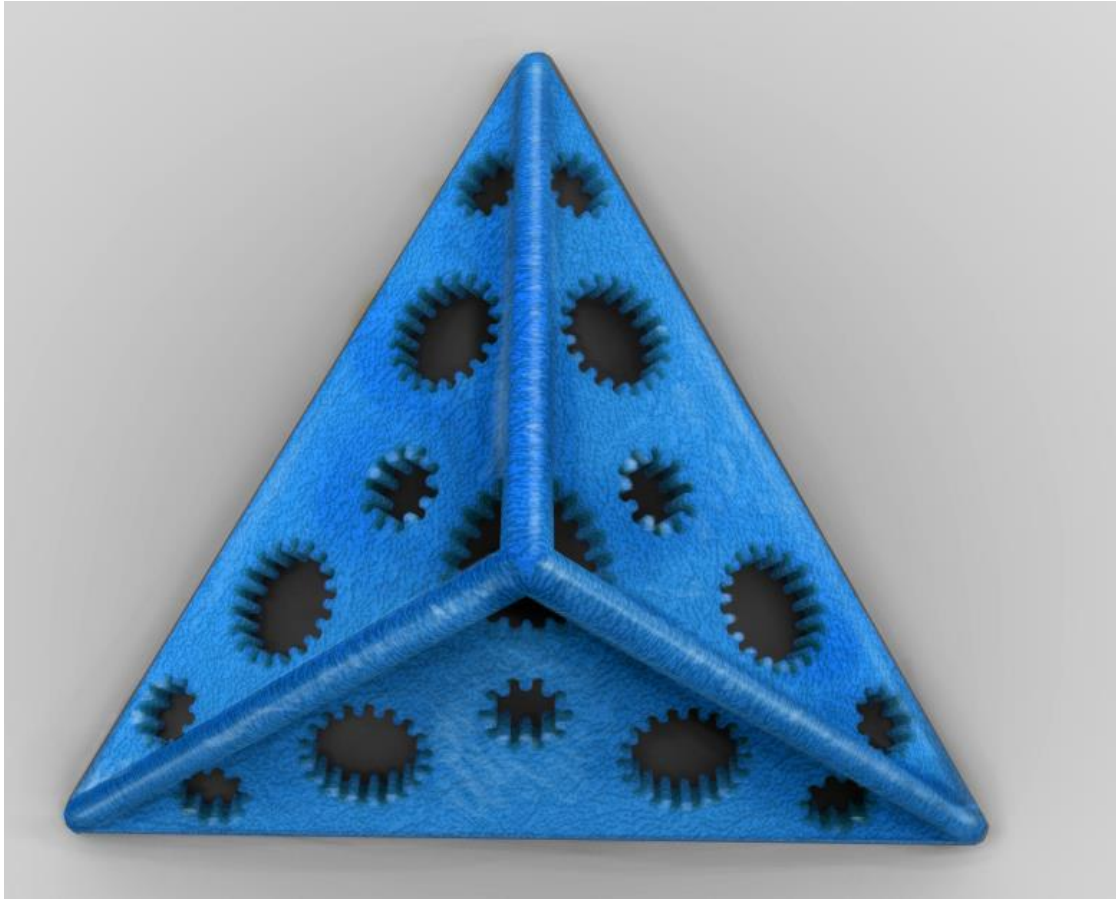


Detalle lados del modelo



6.8 RENDER





6.9 MANUAL DE IDENTIDAD GRÁFICA

Nombre: BOD-4 proviene de la unión de las letras BOD, donde la BO hace referencia a Bio (vida), debido a que el medio de soporte albergará biopelícula y D4 a los cuatro lados que tiene el tetraedro.

Brief para el diseño de Logotipo

Anunciante: BOD-4, medio de soporte para la depuración de la materia orgánica del agua residual en humedales artificiales.

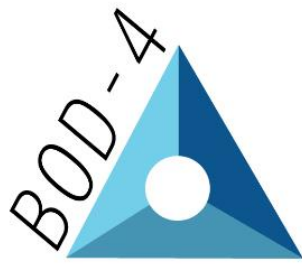
Objetivos de la campaña: Generar identidad, reconocimiento y recordación por medio de un logotipo y un nombre.

Descripción del público objetivo: Va dirigida a empresas que emplean humedales artificiales para la depuración de la materia orgánica en el agua residual, también para PTAR (plantas de tratamiento de agua residual) que utilicen tratamientos con carga biológica, en pequeña escala puede ser empleado para acuarios de los hogares.

Posicionamiento deseado de la marca: Los usuarios directos e indirectos deben ser convencidos que tendrán un producto de calidad, e innovador capaz de generar una nueva experiencia en el proceso de depuración de materia orgánica del agua.

Mensaje prioritario: Mejoramiento en el rendimiento de la depuración de la materia orgánica presente en el agua residual.

Planificación: El logotipo será empleado en papelería, empaque y publicidad del producto.



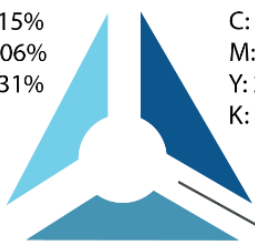
Manual de Identidad Gráfica



C: 50% R: 115%
M: 0% G: 206%
Y: 7% B: 231%
K: 0%

C: 97% R: 70%
M: 71% G: 147%
Y: 20% B: 177%
K: 5%

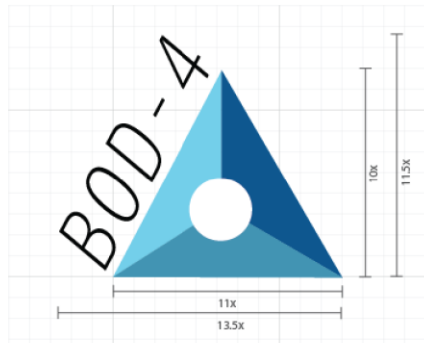
Color



C: 72% R: 7%
M: 29% G: 85%
Y: 21% B: 139%
K: 0%

C: 0% R: 255%
M: 0% G: 255%
Y: 0% B: 255%
K: 0%



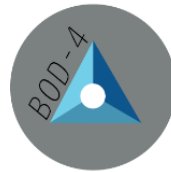


Retícula

La retícula base del logotipo toma como referencia el ancho de la base del triángulo (11x).



Aplicaciones Fondo-Color





Tipografía

La tipografía empleada en la realización del logotipo es:

Letter Gothic Std

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z
a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.



Usos Indebidos



El logotipo por ningún motivo debe ser elongado verticalmente u horizontalmente, de forma que no pierda su proporción.

Tampoco es correcto alterar el orden de sus componentes

7. CONCLUSIONES FINALES

- Los plásticos con mejores resultados de adherencia fueron: PEAD y PP, permiten una mayor adherencia de la biopelícula, además de tener mejores propiedades de reciclabilidad según el sistema de identificación americano Society of Plastics Industry (SPI).
- Se comprobó que la característica con mayor importancia para la adherencia de biopelícula es la textura, siendo las texturas irregulares, en este caso la Súper Corrugada la que obtuvo mayores porcentajes de área colonizada de biopelícula, esta textura tuvo buen rendimiento sin importar el material empleado.
- El medio de soporte al tener una forma tetraédrica, al ser uno de los poliedros más estables en cuanto a forma y estructura ofrece mayor resistencia a la deformación, también tiene gran facilidad de acomodarse a cualquier contenedor, manteniendo generalmente sus espacios uniformes y permitiendo un mejor flujo del agua, la textura aplicada y sus agujeros tipo coral permiten zonas con capacidad de albergar biopelícula.
- Se pudo comprobar que la propuesta de medio de soporte (BOD-4) cumple con los requisitos planteados al ser muy viable y con mejores propiedades respecto a la grava y la referencia.
- Con el estudio realizado se obtuvo como aprendizaje que los métodos y las tecnologías siempre están cambiando y tomar una metodología como guía es un muy buen inicio. El mismo proyecto nos va a ir indicando cuales son los pasos a seguir, replanteando de esta manera la metodología para garantizar resultados objetivos.

- Con el proyecto se llegó a un primer acercamiento al problema, cumpliendo con los objetivos que se plantearon al comienzo del mismo, dando una respuesta para no tener que tomar simplemente lo que se encuentra en el medio, sino buscar una alternativa para reducir el impacto ambiental ya que al utilizar recursos naturales es nuestro deber intentar regresarlos al entorno lo más cercano a como los tomamos. Esta medida de tratamiento se puede utilizar a nivel local, por ejemplo, las fincas. El agua que se utilizó de manera doméstica al ser sometida a este proceso de purificación de agua (humedal artificial) puede ser vertida de nuevo al río sin problema o reutilizada para labores donde no se necesite su potabilización.

ANEXO A: TIPOS DE AGUA

Existen diferentes tipos de agua, las cuales se pueden clasificar en:

Tipo de Agua	Definición
Agua Potable	Puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades.
Agua Salada	La concentración de sales es relativamente alta (más de 10 000 mg/l).
Agua salobre	Contiene sal en una proporción significativamente menor que el agua marina, comprendida entre 1000 - 10 000 mg/l. Este tipo de agua no está contenida entre las categorías de agua salada y agua dulce.
Agua dulce	Agua natural con una baja concentración de sales, generalmente considerada adecuada, previo tratamiento, para producir agua potable.
Agua Dura	Contiene un gran número de iones positivos. La dureza está determinada por el número de átomos de calcio y magnesio presentes. El jabón generalmente se disuelve mal en las aguas duras.
Agua blanda	Agua sin dureza significativa
Aguas negras	Agua de abastecimiento de una comunidad después de haber sido contaminada por diversos usos. Puede ser una combinación de residuos, líquidos o en suspensión, de tipo doméstico, municipal e industrial, junto con las aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que puedan estar presentes.
Aguas grises	Aguas domésticas residuales compuestas por agua de lavar procedente de la cocina, cuarto de baño, fregaderos y lavaderos.
Aguas	Fluidos residuales en un sistema de alcantarillado. El gasto o



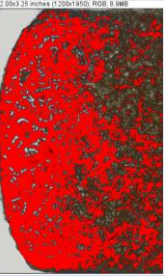


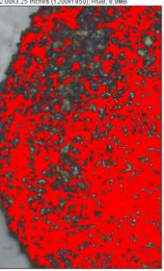


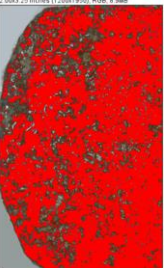
residuales	agua usada por una casa, una comunidad, una granja o una industria, que contiene materia orgánica disuelta o suspendida.
Agua bruta	Agua que no ha recibido tratamiento de ningún tipo o agua que entra en una planta para su tratamiento.
Aguas muertas	Agua en estado de escasa o nula circulación, generalmente con déficit de oxígeno.
Agua alcalina	Agua cuyo pH es superior a 7.
Agua capilar	Agua que se mantiene en el suelo por encima del nivel freático debido a la capilaridad.
Agua de adhesión	Agua retenida en el suelo por atracción molecular, formando una película en las paredes de la roca o en las partículas del suelo.
Agua de formación	Agua retenida en los intersticios de una roca sedimentaria en la época en que ésta se formó.
Agua de suelo	Agua que se encuentra en la zona superior del suelo o en la zona de aireación cerca de la superficie, de forma que puede ser cedida a la atmósfera por evapotranspiración.
Agua estancada	Agua inmóvil en determinadas zonas de un río, lago, estanque o acuífero.
Agua fósil	Agua infiltrada en un acuífero durante una antigua época geológica bajo condiciones climáticas y morfológicas diferentes a las actuales y almacenada desde entonces.
Agua freática	Agua subterránea que se presenta en la zona de saturación y que tiene una superficie libre.
Agua funicular	Agua presente en los mayores poros que rodea las partículas del suelo formando, en los puntos de contacto con dichas partículas, anillos que se fusionan entre ellos.
Agua primitiva	Agua proveniente del interior de la tierra que no ha existido antes en forma de agua atmosférica o superficial.
Agua	Agua impulsada hasta la superficie terrestre desde gran

magmática	profundidad por el movimiento ascendente de rocas ígneas intrusivas.
Agua metamórfica	Agua expulsada de las rocas durante el proceso de metamorfismo.
Agua vadosa	Cualquier agua que aparece en la zona no saturada.
Agua subterránea	Agua que puede ser encontrada en la zona saturada del suelo, zona formada principalmente por agua. Se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y presión hacia lugares de baja elevación y presión, como los ríos y lagos.
Agua superficial	Toda agua natural abierta a la atmósfera, como la de ríos, lagos, reservorios, charcas, corrientes, océanos, mares, estuarios y humedales.

Fuente: Centro del Agua del Trópico Húmedo para la América Latina y el Caribe (CATHALAC). [Online]. México. Available from Internet:
 <URL:http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=category&id=16&Itemid=300016>

ANEXO B: PRUEBA CRECIMIENTO DE BIOPELÍCULA EN MATERIALES Y TEXTURAS



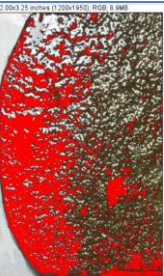


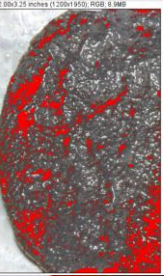


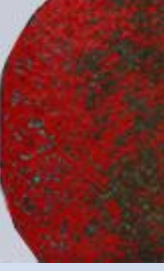
1. Probetas Súper corrugada:

	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultado
1				<p>Área total: 6,5 pulg²</p> <p>Área afectada: 3,159 pulg²</p> <p>48,6%</p>
2				<p>Área total: 6,5 pulg²</p> <p>Área afectada: 3,51 pulg²</p> <p>54%</p>
3				<p>Área total: 6,5 pulg²</p> <p>Área afectada: 4,137 pulg²</p> <p>63,65%</p>

Observaciones:

- La biopelícula se acumula primero en los agujeros.
- Texturizados marcados facilitan la adherencia de la biopelícula.

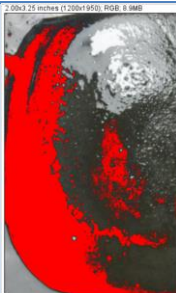

2. Probeta corrugada:

	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultado
1				<p>Área total: 6,5 pulg²</p> <p>Área afectada: 1,939 pulg²</p> <p>29,83%</p>
2				<p>Área total: 6,5 pulg²</p> <p>Área afectada: 0,774 pulg²</p> <p>11,91%</p>
3				<p>Área total: 6,5 pulg²</p> <p>Área afectada: 2,740 pulg²</p> <p>42,16%</p>

Observaciones:

- La biopelícula se adhiere principalmente en las zonas donde hay porosidad.
- La biopelícula se acumula en los agujeros.
- La resina tubo un blanqueamiento por el agua.



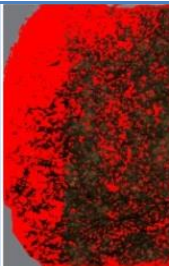


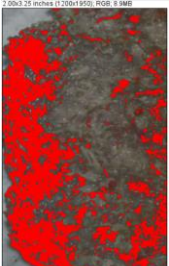


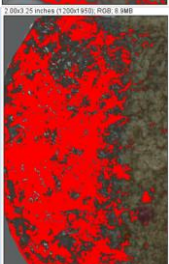
3. Probeta Lisas:

	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultado
1				Área total: 6.500 pulg ² Área afectada: 2.260 pulg ² 34.77%
2				Área total: 6.500 pulg ² Área afectada: 0.123 pulg ² 1.89%
3				Área total: 6.500 pulg ² Área afectada: 1.898 pulg ² 29.2%

Observaciones:

- La biopelícula se adhiere principalmente en las zonas donde hay desgaste del material (porosidad).
- La superficie lisa de la resina dificulta la adherencia de la biopelícula.
- El yeso sufrió desgaste durante la prueba.

4. Probeta Fibras:





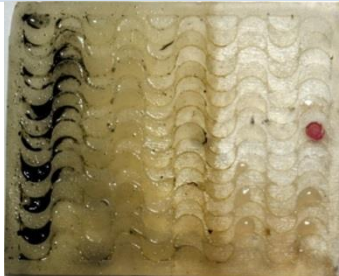



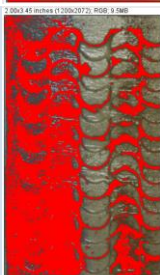
	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultado
1				<p>Área total: 6,5 pulg²</p> <p>Área afectada: 2,540 pulg²</p> <p>39,08%</p>
2				<p>Área total: 6,5 pulg²</p> <p>Área afectada: 1,913 pulg²</p> <p>29,43%</p>
3				<p>Área total: 6,5 pulg²</p> <p>Área afectada: 2,814 pulg²</p> <p>43,29%</p>

Observaciones:

- La biopelícula se acumula primero en los agujeros formados en el material.
- Texturizados marcados facilitan la adherencia de la biopelícula.

5. Probeta curvas:

Descripción: Estas probetas están realizadas en un solo material (Cemento, Resina de poliéster y Yeso) y tienen un bajo relieve, el cual consta de líneas onduladas, la profundidad del bajo relieve es de 1,5 milímetros y su espesor varia de 2 a 5 milímetros entre sus curvas.



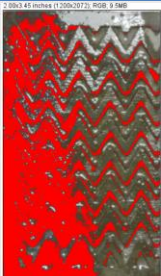






	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultado
1				Área total: 6,907 pulg ² Área afectada: 2,884 pulg ² 41,75%
2				Área total: 6,907 pulg ² Área afectada: 1,696 pulg ² 24,55%
3				Área total: 6,907 pulg ² Área afectada: 3,069 pulg ² 44,43%

Observaciones:

- La biopelícula se adhiere principalmente al bajo relieve, en las zonas donde hay ángulos a 90 grados.
- La separación entre las paredes es más eficiente cuando es menor, 2 a 3 milímetros.
- La superficie porosa del yeso facilitó la adherencia.
- El yeso sufrió desgaste durante la prueba.

6. Probeta rectas:

Descripción: Estas probetas están realizadas en un solo material (Cemento, Resina de poliéster y Yeso) y tienen un bajo relieve, el cual consta de líneas rectas en zig-zag, la profundidad del bajo relieve es de 1 milímetros y su espesor es de 1.5 milímetros.

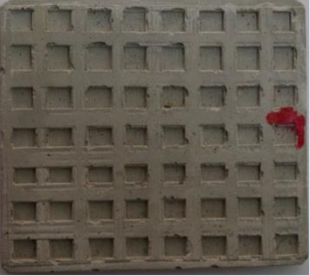
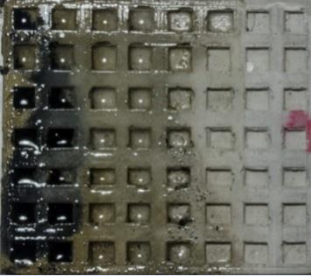

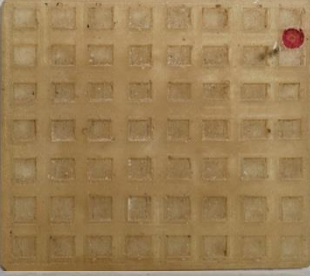
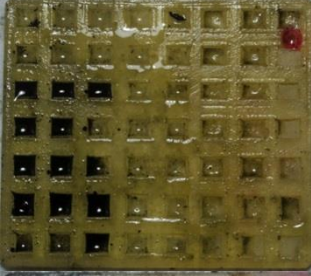

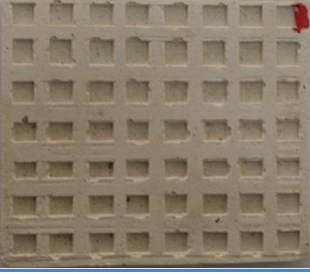
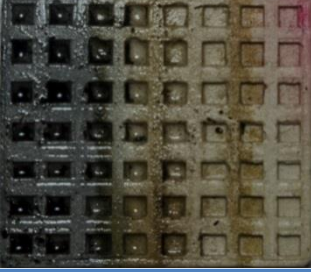

	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultad o
1				Área total: 6,907 pulg ² Área afectada: 2,760 pulg ² 39,96%
2				Área total: 6,907 pulg ² Área afectada: 1,623 pulg ² 23,5%
3				Área total: 6,907 pulg ² Área afectada: 2,861 pulg ² 41,42%

Observaciones:

- La biopelícula se adhiere principalmente al bajo relieve, en las zonas donde hay ángulos a 90 grados.
- La biopelícula se adhiere primero a las esquinas internas.
- Las superficies porosas facilitan la adherencia.

7. Probeta Agujeros cuadrados:

Descripción: Estas probetas están realizadas en un solo material (Cemento, Resina de poliéster y Yeso) y tienen un bajo relieve, el cual consta de agujeros rectangulares, la profundidad del bajo relieve es de 2 milímetros y su dimensión es de 5 x 6 milímetros.

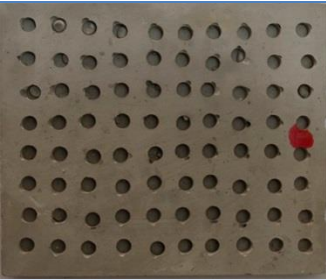
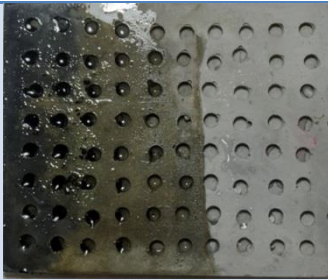
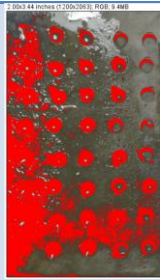
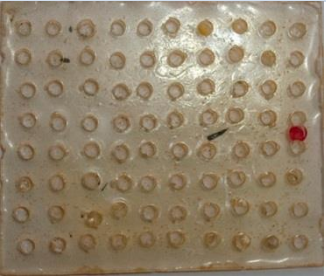
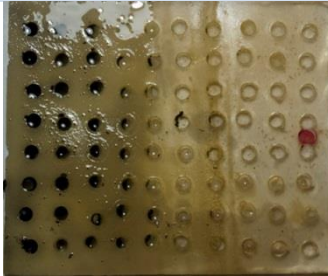

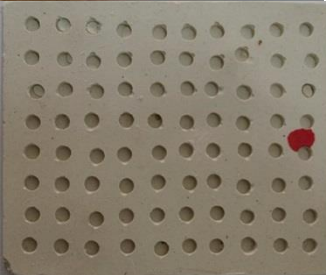
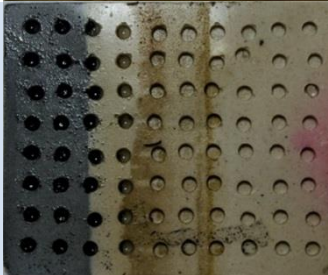

	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultado
1				Área total: 5,717 pulg ² Área afectada: 2,959 pulg ² 51,76%
2				Área total: 5,717 pulg ² Área afectada: 0,951 pulg ² 16,63%
3				Área total: 5,717 pulg ² Área afectada: 2,542 pulg ² 44,46%

Observaciones:

- La biopelícula se adhiere principalmente al bajo relieve, llena principalmente los agujeros.
- La separación entre las paredes es más eficiente cuando es menor de 3 milímetros.
- Las superficies porosas facilitan la adherencia.

8. Probeta Agujeros círculos:

Descripción: Estas probetas están realizadas en un solo material (Cemento, Resina de poliéster y Yeso) y tienen un bajo relieve, el cual consta de agujeros circulares, la profundidad del bajo relieve es de 3 milímetros y su diámetro es de 4.5 milímetros.

	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultado
1				Área total: 6,877 pulg ² Área afectada: 2,214 pulg ² 32,19%
2				Área total: 6,877 pulg ² Área afectada: 0,921 pulg ² 13,39%
3				Área total: 6,877 pulg ² Área afectada: 3,086 pulg ² 44,87%




Observaciones:

- La biopelícula se adhiere principalmente al bajo relieve, llena principalmente los agujeros.
- La separación entre las paredes es más eficiente cuando es menor de 3 milímetros.
- La superficie porosa del yeso facilitó la adherencia.
- El yeso sufrió un pequeño desgaste durante la prueba.

ANEXO C: PRUEBA CRECIMIENTO EN PLASTICOS RECICLABLES



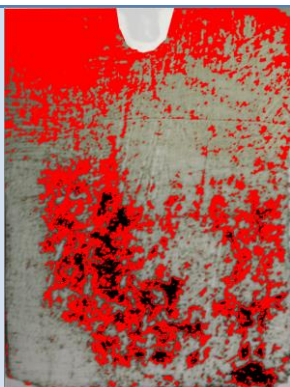
1. Probeta en PET reciclado:

Descripción: PET o PETE (Polyethylene terephthalate - Tereftalato de polietileno)

T	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultado
1				Área total: 1,859 pulg ² Área afectada: 0,294 pulg ² 15.815%


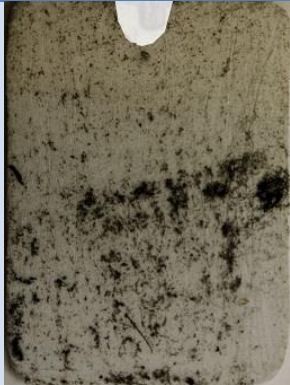

2. Probeta en PE-HD reciclado:

Descripción: PE-HD o HDPE (High-density polyethylene - Polietileno de alta densidad)

T	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultado
1				Área total: 1,859 pulg ² Área afectada: 0,661 pulg ² 35.557%




3. Probeta en PVC reciclado:

Descripción: PVC (Polyvinyl chloride - Policloruro de vinilo)

T	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultado
1				Área total: 1,859 pulg ² Área afectada: 0,513 pulg ² 27.595%




4. Probeta en policarbonato reciclado:

Descripción: PC (policarbonato)

T	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultado
1				Área total: 1,859 pulg ² Área afectada: 0,025 pulg ² 1.345%



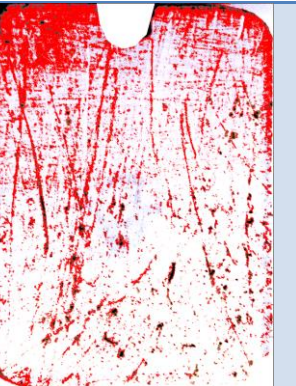
5. Probeta en PP reciclado:

Descripción: PP (Polypropylene - Polipropileno)

T	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultado
1				Área total: 1,859 pulg ² Área afectada: 0,597 pulg ² 32.114%




6. Probeta en PS reciclado:

Descripción: PS (Polystyrene - Poliestireno)

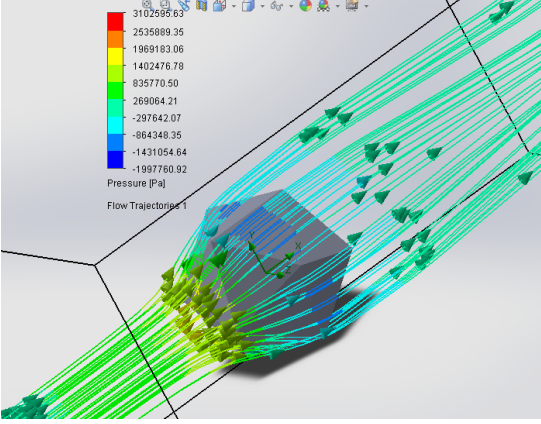
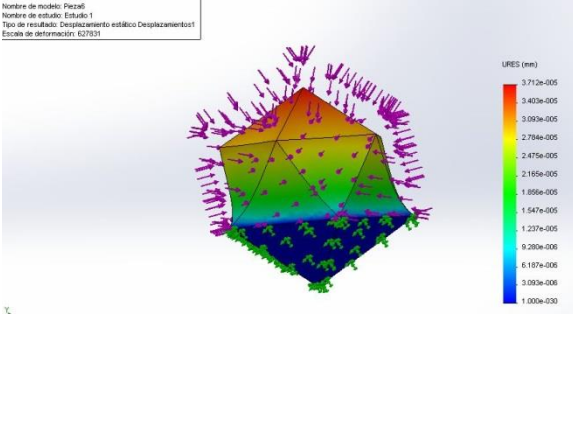
T	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultado
1				Área total: 1,859 pulg ² Área afectada: 0,354 pulg ² 19.042%

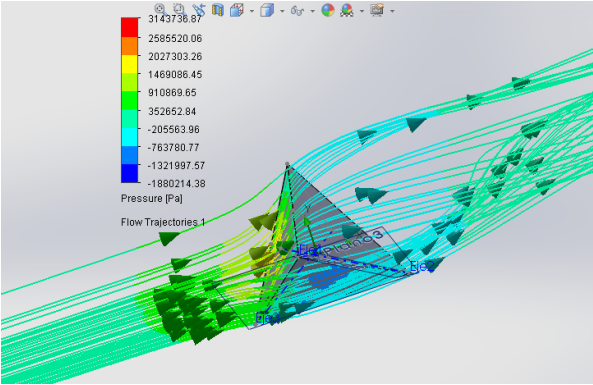
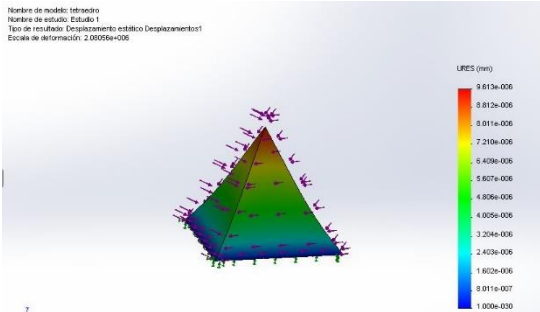
7. Probeta en R:

Descripción: Resina de poliéster,

T	Foto inicial	Foto final	Análisis	resultado
1				Área total: 1,859 pulg ² Área afectada: 0,141 pulg ² 7.585%

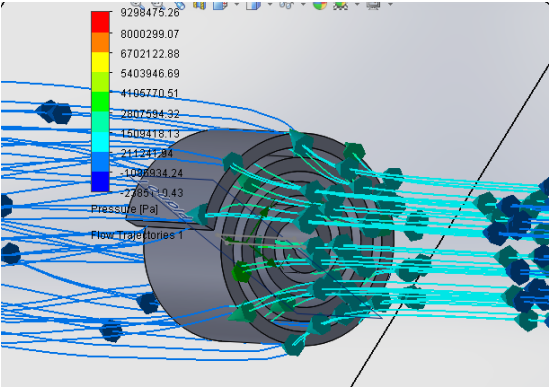
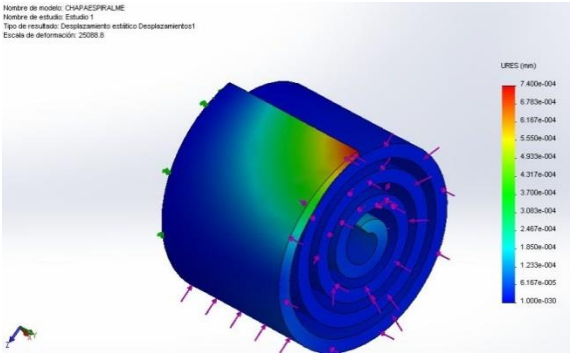
ANEXO D: DATOS MATRIZ DE SELECCIÓN

ALTERNATIVA 1	
<p style="text-align: center; margin: 0;">FLUJO DE AGUA</p> 	<p style="text-align: center; margin: 0;">RESISTENCIA</p> 
<p>AREASUPERFICIAL: 31906.198 mm²</p> <p>Flujo de Agua: 3102595.63 Pa</p> <p>Resistencia: 0.00003712 mm</p>	<p>MANUFACTURA: Inyección</p> <p>ENSAMBLE: No</p>

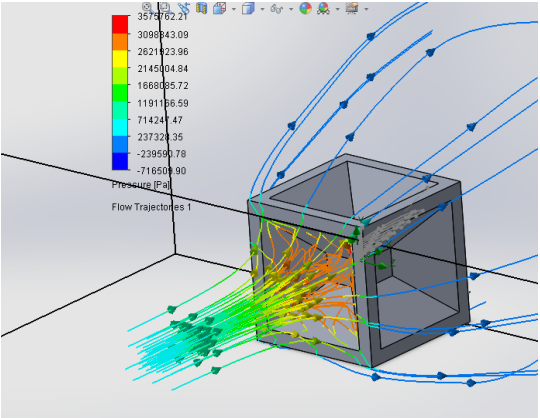
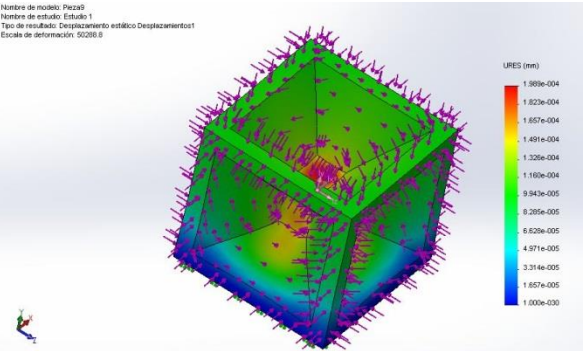
ALTERNATIVA 2	
<p style="text-align: center; margin: 0;">FLUJO DE AGUA</p> 	<p style="text-align: center; margin: 0;">RESISTENCIA</p> 
<p>AREA SUPERFICIAL: 3148497.42 mm²</p> <p>Flujo de Agua: 3143736.87 Pa</p> <p>Resistencia: 0.000009613 mm</p>	<p>MANUFACTURA: Inyección</p> <p>ENSAMBLE: No</p>

--	--

ALTERNATIVA 3

<p>FLUJO DE AGUA</p> 	<p>RESISTENCIA</p> 
<p>AREA SUPERFICIAL: 99288.76 mm²</p> <p>Flujo de Agua: 9298475.26 Pa</p> <p>Resistencia: 0.00074 mm</p>	<p>MANUFACTURA: Calandrado, Troquelado, enrollado</p> <p>ENSAMBLE: No</p>

ALTERNATIVA 4

<p>FLUJO DE AGUA</p> 	<p>RESISTENCIA</p> 
<p>AREA SUPERFICIAL: 52438.18 mm²</p>	<p>MANUFACTURA: Inyección</p>

<p>Flujo de Agua: 3575762.21 Pa</p> <p>Resistencia: 0.0001989 mm</p>	<p>ENSAMBLE: No</p>
--	---------------------

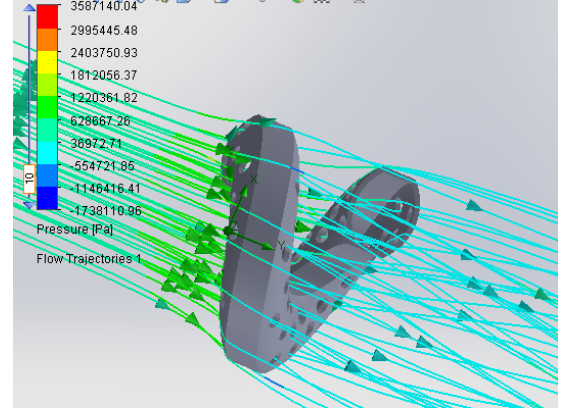
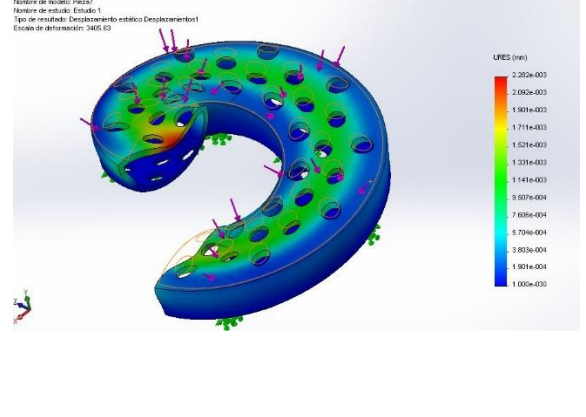
ALTERNATIVA 5	
<p>FLUJO DE AGUA</p>	<p>RESISTENCIA</p>
<p>AREA SUPERFICIAL: 53101.56 mm²</p> <p>Flujo de Agua: 3393315.27 Pa</p> <p>Resistencia: 0.1488 mm</p>	<p>MANUFACTURA: Inyección</p> <p>ENSAMBLE: No</p>

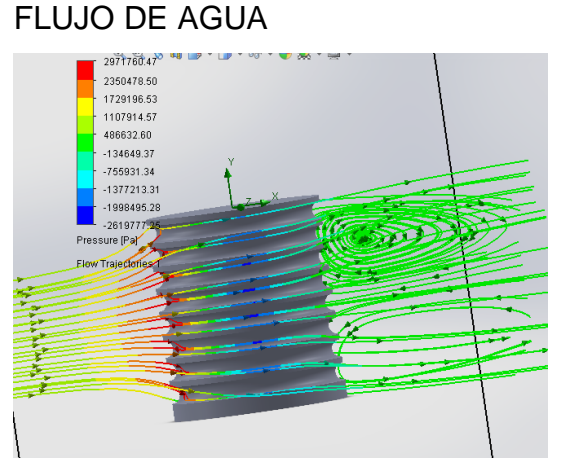
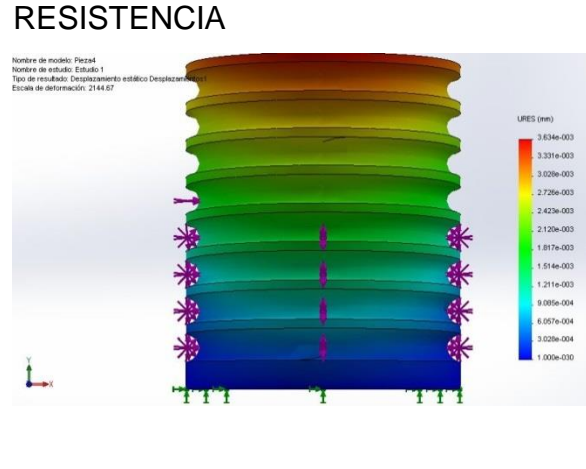
ALTERNATIVA 6	
<p>FLUJO DE AGUA</p>	<p>RESISTENCIA</p>

<p>AREA SUPERFICIAL: 46279.43 mm²</p> <p>Flujo de Agua: 2770259.48 Pa</p> <p>Resistencia: 0.05836 mm</p>	<p>MANUFACTURA: Inyección, ensamble</p> <p>ENSAMBLE: No</p>
---	---

ALTERNATIVA 7	
FLUJO DE AGUA	RESISTENCIA
<p>4963428.59 4314107.47 3664786.35 3015465.23 2366144.11 1716822.99 1067501.86 41800.74 -231740.38 -880461.50</p> <p>Pressure [Pa]</p> <p>Flow Trajectories 1</p>	<p>Nombre de modelo: star Nombre de estudio: Estudio 1 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamiento1 Escala de deformación: 201.063</p> <p>UPRES (mm)</p> <p>2.841e-002 2.804e-002 2.367e-002 2.131e-002 1.896e-002 1.657e-002 1.420e-002 1.194e-002 9.470e-003 7.102e-003 4.735e-003 2.367e-003 1.000e-030</p>
<p>AREA SUPERFICIAL: 3650.02 mm²</p> <p>Flujo de Agua: 4963428.59 Pa</p> <p>Resistencia: 0.02841 mm</p>	<p>MANUFACTURA: Inyección</p> <p>ENSAMBLE: No</p>

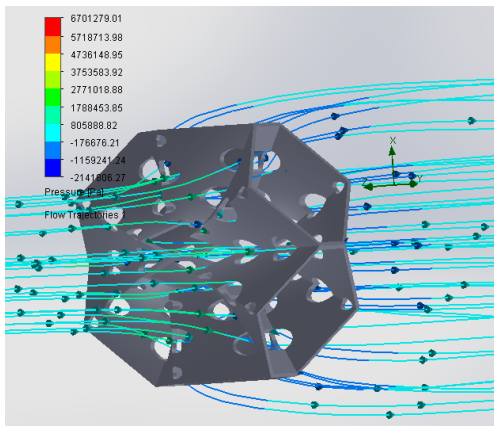
ALTERNATIVA 8	
FLUJO DE AGUA	RESISTENCIA

	
<p>AREA SUPERFICIAL: 19391.60 mm² Flujo de Agua: 3587140.04 Pa Resistencia: 0.002282 mm</p>	<p>MANUFACTURA: Inyección ENSAMBLE: No</p>

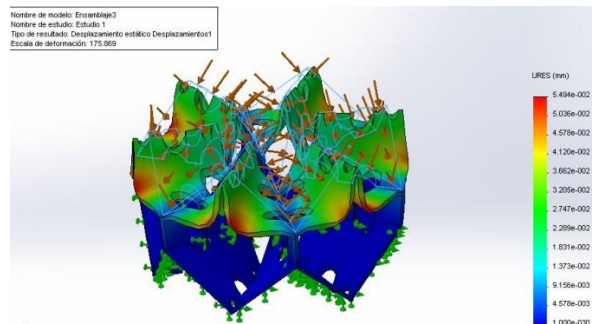
ALTERNATIVA 9	
<p style="text-align: center;">FLUJO DE AGUA</p> 	<p style="text-align: center;">RESISTENCIA</p> 
<p>AREA SUPERFICIAL: 23109.22 mm² Flujo de Agua: 2971760.47 Pa Resistencia: 0.003634 mm</p>	<p>MANUFACTURA: Inyección ENSAMBLE: No</p>

ALTERNATIVA 10

FLUJO DE AGUA



RESISTENCIA



AREA SUPERFICIAL: 21639.41 mm²

Flujo de Agua: 6701279.01 Pa

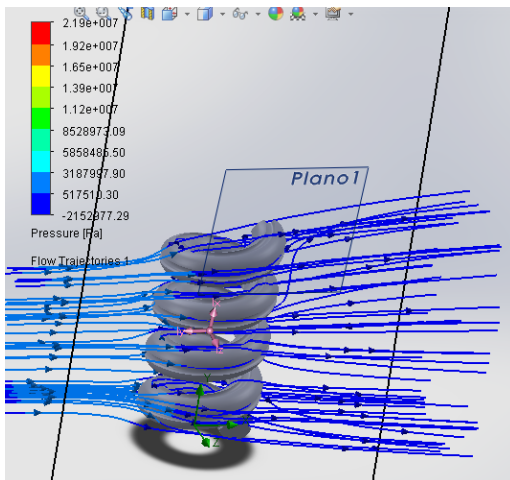
Resistencia: 0.05494 mm

MANUFACTURA: Inyección

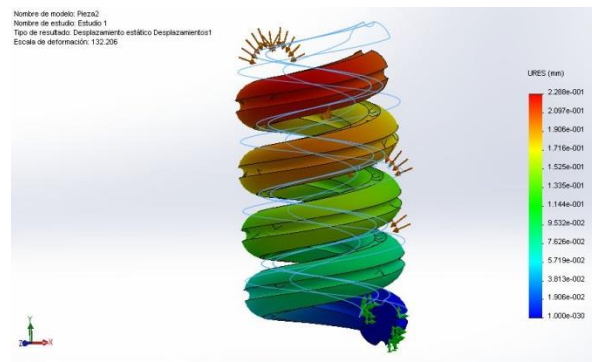
ENSAMBLE: No

ALTERNATIVA 11

FLUJO DE AGUA



RESISTENCIA



AREA SUPERFICIAL: 92058.33 mm²

Flujo de Agua: 21900000.0 Pa

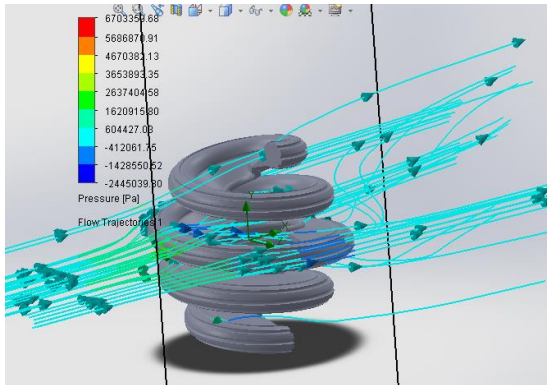
Resistencia: 0.2288 mm

MANUFACTURA: Extrusión

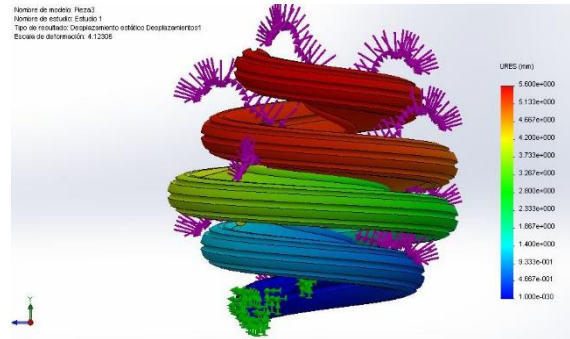
ENSAMBLE: No

ALTERNATIVA 12

FLUJO DE AGUA



RESISTENCIA

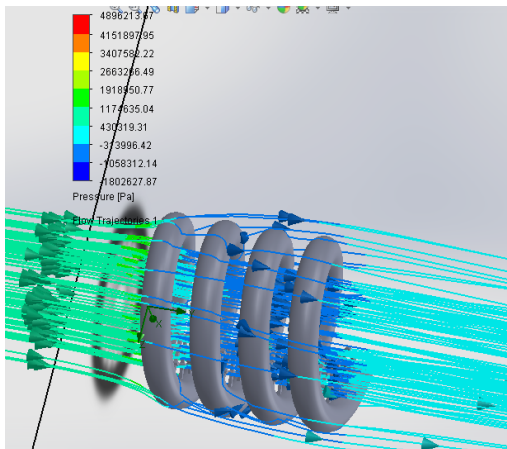


AREA SUPERFICIAL: 99073.64 mm²
Flujo de Agua: 6703359.68 Pa
Resistencia: 5.600 mm

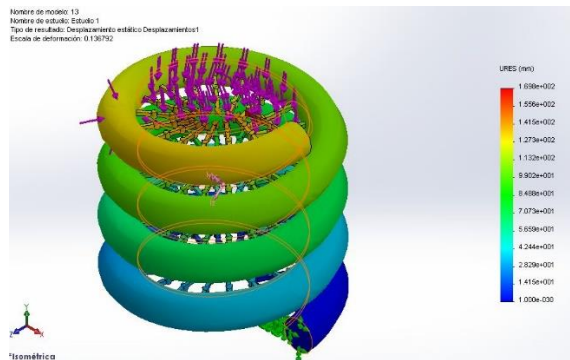
MANUFACTURA: Extrusión
ENSAMBLE: No

ALTERNATIVA 13

FLUJO DE AGUA



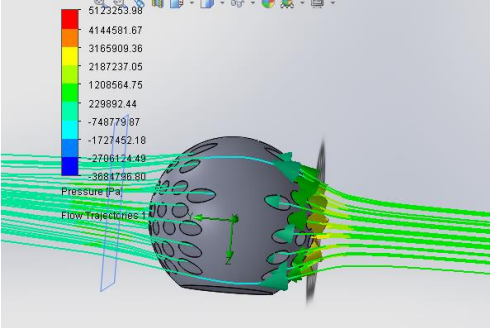
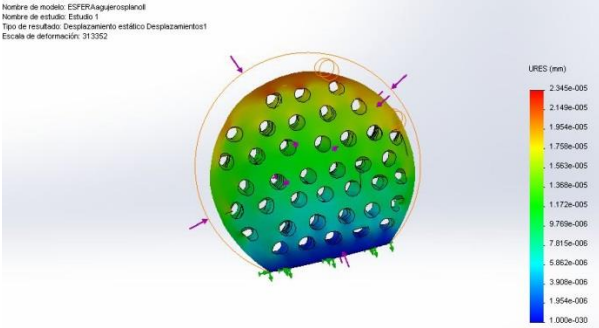
RESISTENCIA



AREA SUPERFICIAL: 99363.45 mm²
Flujo de Agua: 4896213.67 Pa
Resistencia: 169.8 mm

MANUFACTURA: Extrusión
ENSAMBLE: No

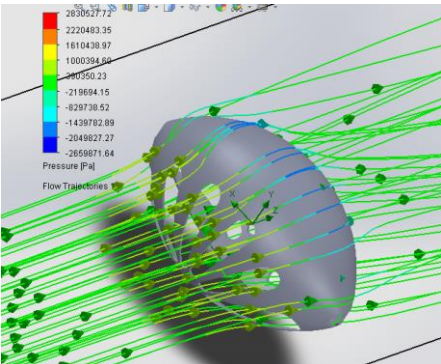
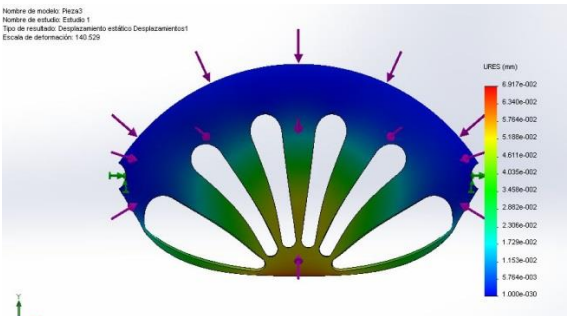
ALTERNATIVA 14

<p>FLUJO DE AGUA</p> 	<p>RESISTENCIA</p> 
<p>AREA SUPERFICIAL: 50021.97 mm²</p> <p>Flujo de Agua: 5123253.98 Pa</p> <p>Resistencia: 0.00002345 mm</p>	<p>MANUFACTURA:</p> <p>ENSAMBLE: No</p>

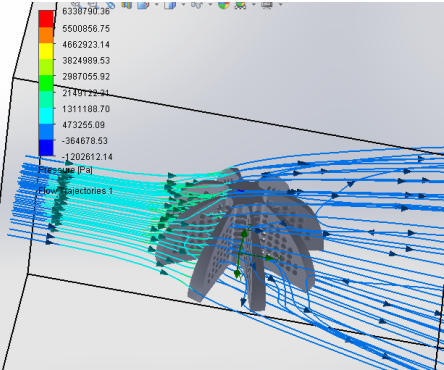
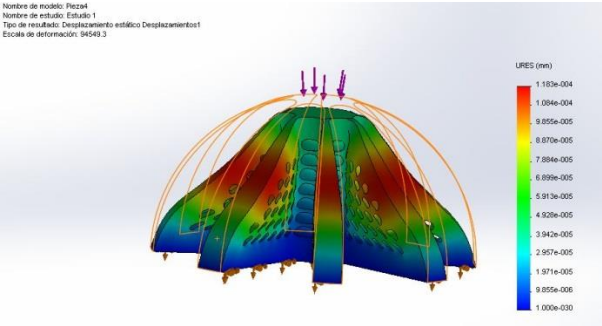
ALTERNATIVA 15

<p>FLUJO DE AGUA</p>	<p>RESISTENCIA</p>
<p>AREA SUPERFICIAL: 27662.76 mm²</p>	<p>MANUFACTURA: Inyección de dos tipos de piezas y ensamble</p> <p>ENSAMBLE: No</p>

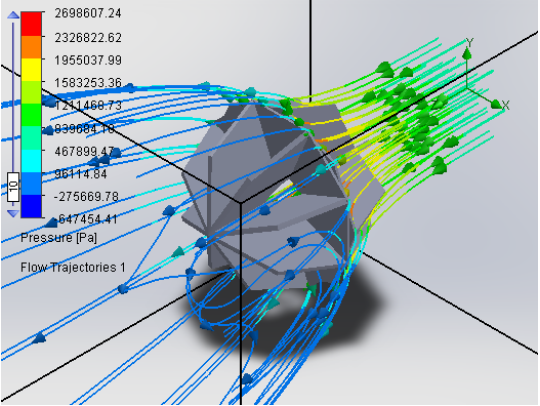
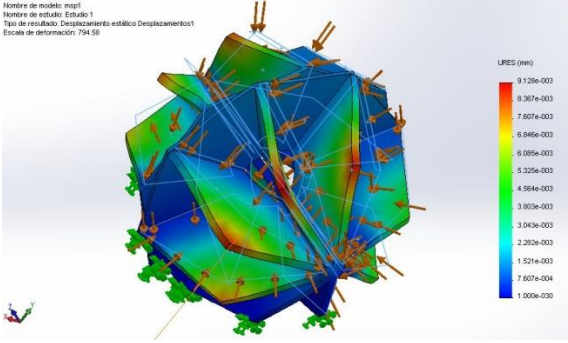
ALTERNATIVA 16

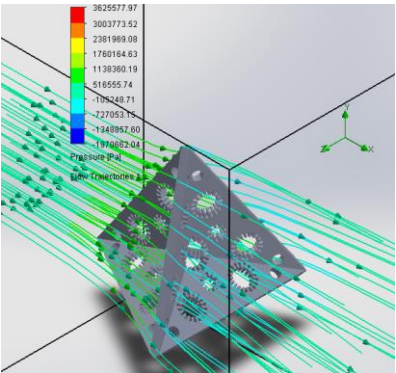
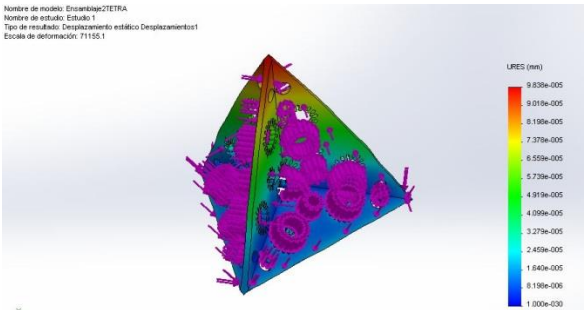
<p>FLUJO DE AGUA</p> 	<p>RESISTENCIA</p> 
---	--

<p>AREA SUPERFICIAL: 20653.57 mm²</p> <p>Flujo de Agua: 2830527.72 Pa</p> <p>Resistencia: 0.06917 mm</p>	<p>MANUFACTURA: Inyección</p> <p>ENSAMBLE: No</p>
---	---

ALTERNATIVA 17	
<p>FLUJO DE AGUA</p> 	<p>RESISTENCIA</p> 
<p>AREA SUPERFICIAL: 37799.57 mm²</p> <p>Flujo de Agua: 6338790.36 Pa</p> <p>Resistencia: 0.0001183 mm</p>	<p>MANUFACTURA: Inyección</p> <p>ENSAMBLE: No</p>

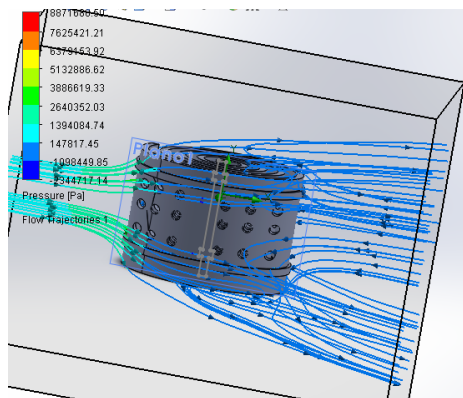
ANEXO E: DATOS MATRIZ DE EVALUACIÓN

ALTERNATIVA (REFERENCIA)	
<p style="text-align: center; margin: 0;">FLUJO DE AGUA</p> 	<p style="text-align: center; margin: 0;">RESISTENCIA</p> 
<p>AREA SUPERFICIAL: 36943.40 mm² Flujo de Agua: 2698607.24 Pa Resistencia: 0.009128 mm</p>	<p>MANUFACTURA: Inyección, Ensamble ENSAMBLE: Si</p>

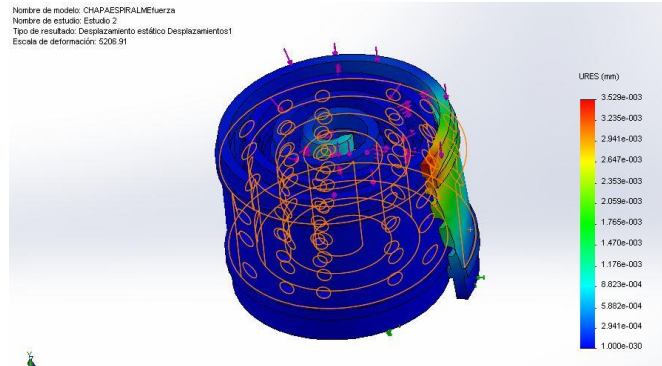
ALTERNATIVA 18	
<p style="text-align: center; margin: 0;">FLUJO DE AGUA</p> 	<p style="text-align: center; margin: 0;">RESISTENCIA</p> 
<p>AREA SUPERFICIAL: 14929.27 mm² Flujo de Agua: 3625577.97 Pa Resistencia: 0.00009838 mm</p>	<p>MANUFACTURA: Inyección ENSAMBLE: No</p>

ALTERNATIVA 19

FLUJO DE AGUA



RESISTENCIA

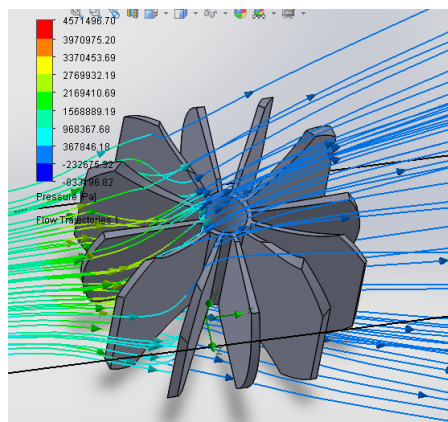


AREA SUPERFICIAL: 97595.27
 mm²
Flujo de Agua: 8871688.50 Pa
Resistencia: 0.003529 mm

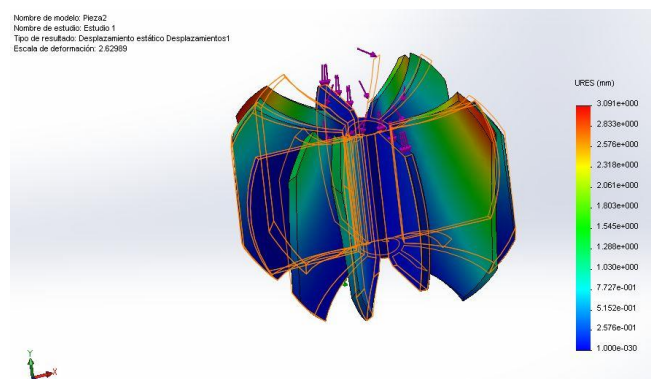
MANUFACTURA: Calandrado,
 Troquelado, Enrollado
ENSAMBLE: No

ALTERNATIVA 20

FLUJO DE AGUA



RESISTENCIA

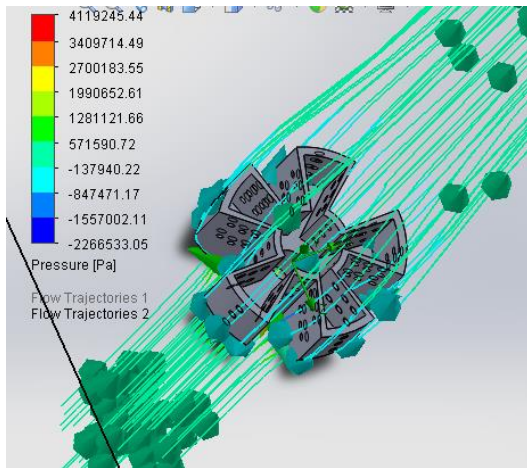


AREA SUPERFICIAL: 29980.98
 mm²
Flujo de Agua: 4571496.70 Pa
Resistencia: 3.091 mm

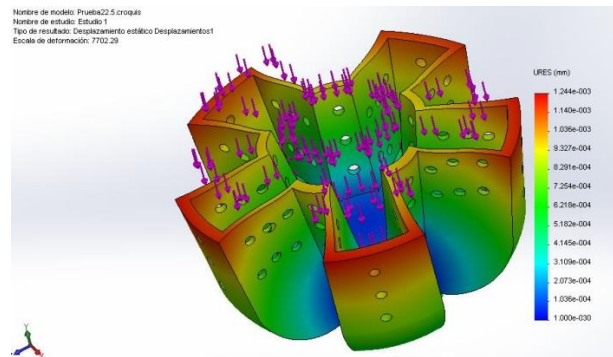
MANUFACTURA: Inyección
ENSAMBLE: No

ALTERNATIVA 21

FLUJO DE AGUA



RESISTENCIA



AREA SUPERFICIAL: 32585.45 mm²

Flujo de Agua: 4119245.44 Pa

Resistencia: 0.001244 mm

MANUFACTURA: Inyección, Ensamble

ENSAMBLE: No

ANEXO F: FORMATO ENCUESTA

Medio de Soporte para Humedales Artificiales - Formato Encuesta

La siguiente encuesta busca evaluar y mejorar las propuestas (medio de soporte) seleccionadas:

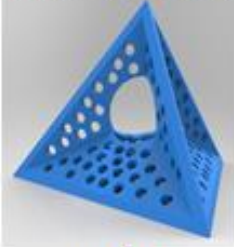

El producto es un medio de soporte que busca remplazar el uso de **grava** empleada en los humedales artificiales como medio para depurar la materia orgánica del agua. El medio de soporte está elaborado en un material plástico.

Nombre:

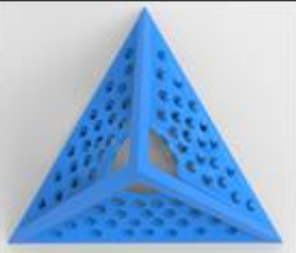

Edad:

Profesión:

1. ¿Ha trabajado en alguna área relacionada con el tratamiento del agua? ¿En cuál?
2. ¿Considera el medio de soporte tiene una forma adecuada?

 <p style="text-align: center;">OPCIÓN A</p>	 <p style="text-align: center;">OPCIÓN B</p>
Sí___ No___	Sí___ No___

3. ¿Considera el medio de soporte tiene un tamaño adecuado?

 <p style="text-align: center;">OPCIÓN A Lado: 7cm</p>	 <p style="text-align: center;">OPCIÓN B Alto:10 cm diámetro: 6cm</p>
Sí___ No___ Qué medida propone:_____	Sí___ No___ Qué medida propone:_____

4. Considera es un producto novedoso en el mercado colombiano
5. ¿Cuál de las dos opciones considera mejor? ¿Por qué?
6. ¿Cómo se podría mejorar este producto?

ANEXO G: PRUEBA DE AFINAMIENTO – TETRAEDRO (FILOS-REDONDEOS)

ALTERNATIVA 18 – ORIGINAL –SIN REDONDEO	
<p>FLUJO DE AGUA</p>	<p>RESISTENCIA</p>
<p>AREA SUPERFICIAL: 14929.27 mm²</p> <p>Flujo de Agua: 3625577.97 Pa</p> <p>Resistencia: 0.00009838 mm</p>	<p>MANUFACTURA: Inyección</p> <p>ENSAMBLE: No</p>

ALTERNATIVA 18- CON REDONDEO 1mm	
<p>FLUJO DE AGUA</p>	<p>RESISTENCIA</p>
<p>AREA SUPERFICIAL: 14573.24mm²</p> <p>Flujo de Agua: 2134013.60 Pa</p> <p>Resistencia: 0.00008865mm</p>	<p>MANUFACTURA: Inyección</p> <p>ENSAMBLE: No</p>

ALTERNATIVA 18- CON REDONDEO 1.5 mm

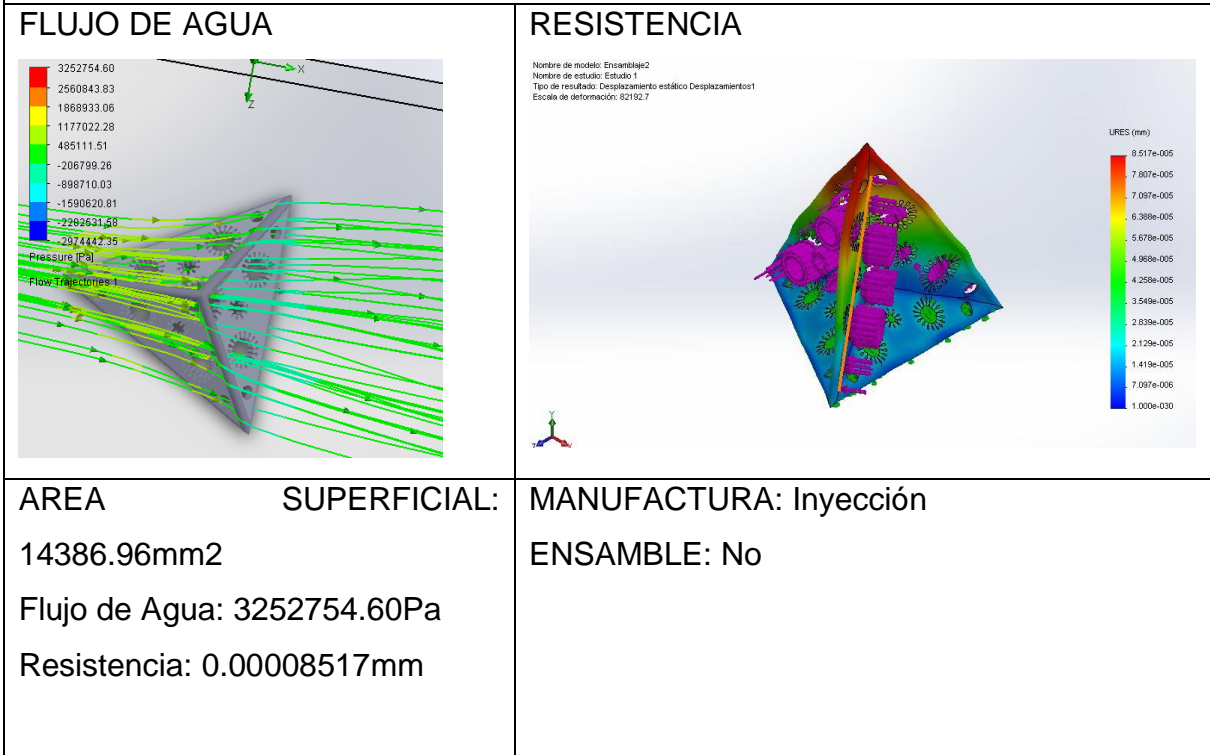


Tabla. Resultados Prueba de Afinamiento

	A. Superficial (mm ²)	Flujo (Pa, N/m ²) (valor critico)	Resistencia (mm) (valor critico)	
ORIGINAL	14929.27	3625577.9 7	9.838e-005	0.00009838
Redondeo 1mm	14573.24	2134013.6 0	8.865e-005	0.00008865
Redondeo 1.5 mm	14386.96	3252754.6 0	8.517e-005	0.00008517

ANEXO H: PRUEBA DE APILAMIENTO

Se realizarán pruebas de apilamiento a la propuesta final junto con la referencia, esto con el fin de tener un estimado de la cantidad de elementos necesarios para llenar un volumen (1 metro cubico), y así determinar su porosidad y área superficial específica.

OBJETIVO:

Determinar la cantidad de elementos que se requieren para ocupar un volumen específico, teniendo en cuenta que se agruparán de manera aleatoria, y depende del contenedor, y con esto calcular el porcentaje de porosidad.

HIPOTESIS:

H1- Las probetas tetraédricas requieren el doble de elementos para ocupar el mismo volumen en comparación con el elemento de referencia.

H2- La porosidad varía según la cantidad de elementos.

H3- La porosidad varía según el tamaño de los elementos.

PARTICIPANTES:

Los realizadores de las pruebas son estudiantes de diseño Industrial de la UIS.

Las probetas propuestas y a evaluar serán elaboradas en resina a una escala de $\frac{1}{2}$ donde se apilará de manera aleatoria la propuesta planteada y la que se tomó como referencia.

1. Probeta tetraédrica
2. Probeta Esférica

IMPLEMENTOS REQUERIDOS PARA LA PRUEBA:

Tanques



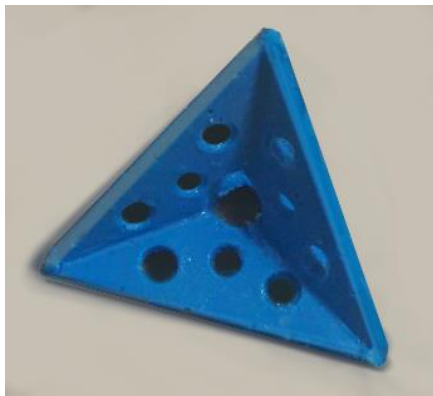
Probetas (elaboradas por los estudiantes)



TIPOS DE PROBETAS:

Las probetas que se realizarán son dos (tetraedro y esfera) para poder compararlas y conocer la cantidad requerida de elementos y si el flujo de agua es continuo.

1.Tetraedro



2.Esfera



VARIABLE INDEPENDIENTE:

Variable Independiente	Tipo de Variable
-Apilamiento: Organización en el espacio	Cualitativa, ordinal, politómica

Nº d Prueba	Probeta	Tratamientos realizados	Repeticiones
1	Tetraedro	4	1
1	Esfera	4	1

VARIABLE DEPENDIENTE:

Variable Dependiente	Tipo de Variable
-Cantidad de elementos (und)	Cuantitativa, Razón , continua

EQUIPO DE MEDIDA USADO:

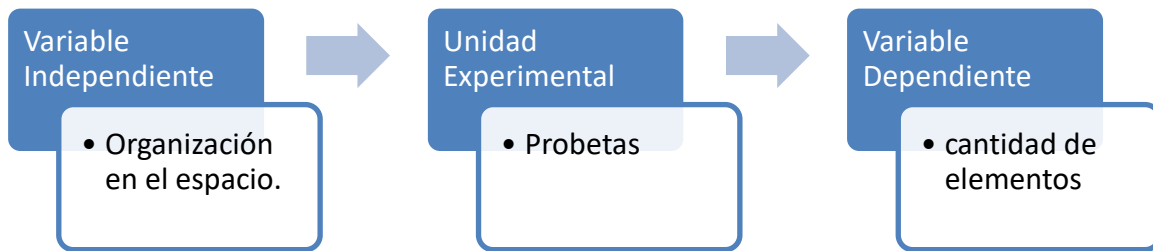
- Cámara. Nikon D5100
- Calibrador

PROCEDIMIENTO:

Esta prueba experimental tendrá como fin conocer la cantidad de elementos necesarios para ocupar el espacio específico, además de ver como se disponen los elementos de manera aleatoria.

Se adecuaron 4 contenedores donde se verterán diferentes cantidades de elementos, hasta saber cuántos elementos se necesitan para llenar cada uno de estos. Se realizará 1 repetición por cada uno de los 4 tratamientos, los 4 contenedores tienen aproximadamente el mismo volumen (350 cm^3), luego se

promediarán los resultados, y se tendrá un aproximado de la cantidad de elementos, se escalará y se obtendrá la cantidad de elementos por metro cubico.



ANÁLISIS

Para el análisis del apilamiento de las probetas se tuvo en cuenta el volumen del contenedor con relación a la escala manejada (1/2).

- Volumen: 350 cm³
- Volumen escalado 2:1: 2800 cm³
- Volumen a llenar 1 m³ = 1000000 cm³

Promediando la cantidad de elementos requeridos para el volumen designado, en cada una de sus configuraciones, se tiene que:

1. Tetraedro:

$$\frac{34 + 38 + 36 + 39}{4} = 36.75 \text{ unidades}$$

2. Esfera:

$$\frac{11.5 + 13 + 11.5 + 12.5}{4} = 12.125 \text{ unidades}$$

Para cada metro cubico de elementos se requieren:

1. Tetraedro:

$$\frac{2800}{1000000} \rightarrow \frac{36.75}{x}$$

$$\frac{36.75 * 1000000}{2800} = 13125 \text{ unidades}$$

2. Esfera:

$$\frac{2800}{1000000} \rightarrow \frac{12.125}{x}$$

$$\frac{12.125 * 1000000}{2800} = 4330 \text{ unidades}$$



1.

PROBETA	IMAGEN	RESULTADOS
1. Tetraedro		Número de elementos: 34
2. Esfera		Número de elementos: 11.5



2.

PROBETA	IMAGEN	RESULTADOS
1. Tetraedro		Número de elementos: 38
2. Esfera		Número de elementos: 13

3.

PROBETA	IMAGEN	RESULTADOS
1. Tetraedro		Número de elementos: 36
2. Esfera		Número de elementos: 11.5

4.

PROBETA	IMAGEN	RESULTADOS
1. Tetraedro		Número de elementos: 39
2. Esfera		Número de elementos: 12.5

RESPUESTA A HIPOTESIS

H1- Falso. Las probetas tetraédricas requieren más del doble de elementos para ocupar el mismo volumen en comparación con el elemento de referencia.

H2- Verdadero. La porosidad varía según la cantidad de elementos.

H3- Verdadero. A mayor tamaño mayor su porosidad.

CONCLUSIONES:

- Para llenar un volumen de un metro cúbico son requeridos 13125 elementos tetraédricos.

- Para llenar un volumen de un metro cubico son requeridos 4330 elementos esféricos.
- Se requieren en promedio el triple de elementos tetraédricos para llenar el mismo volumen.
- El elemento tetraédrico se adapta mejor a los diferentes contenedores.
- El elemento esférico genera espacios menos uniformes, tiende a dejar espacios más grandes en unas zonas.

ANEXO I: PRUEBA DE FLUJO

Se realizarán pruebas de flujo a la propuesta final junto con la referencia, esto con el fin de determinar, qué elemento genera menor resistencia al flujo del agua.

OBJETIVO:

Determinar la resistencia al flujo del agua que ofrece cada elemento.

HIPOTESIS:

H1- El tetraedro al no tener caras que formen ángulos agudos, permitirá un mejor flujo del agua.

H2- La probeta esférica al tener una mayor cantidad de caras genera un mayor retroceso del flujo de agua.

PARTICIPANTES:

Los realizadores de las pruebas son estudiantes de diseño Industrial de la UIS.

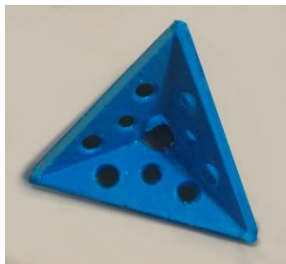
Las probetas propuestas y a evaluar serán elaboradas en resina a una escala de $\frac{1}{2}$ donde se apilará de manera aleatoria la propuesta planteada y la que se tomó como referencia.

- Probeta tetraédrica
- Probeta Esférica
- Contenedor de probetas

IMPLEMENTOS REQUERIDOS PARA LA PRUEBA:

PROBETAS

1.Tetraedro



2.Esfera



CONTENEDOR DE PROBETAS



Cilindro de 45 cm de largo y diámetro interno de 3.5 cm.

MÁQUINA: ANILLO DE CALIBRACIÓN DE FLUJO



VARIABLE INDEPENDIENTE:

Variable Independiente	Tipo de Variable
- Forma de las probetas	Cualitativa, ordinal, politómica

Nº d Prueba	Probeta	Tratamientos realizados	Repeticiones

1	Contenedor sin probetas	1	1
1	Tetraedro	1	1
1	Esfera	1	1

VARIABLE DEPENDIENTE:

Variable Dependiente	Tipo de Variable
-Flujo de agua (litros/min)	Cuantitativa, Razón , continua

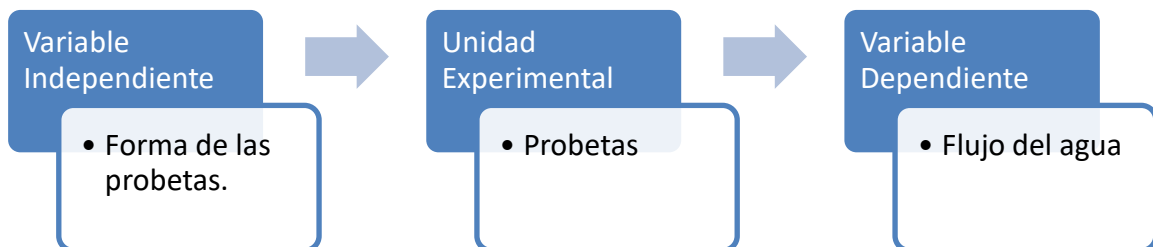
EQUIPO DE MEDIDA USADO:

- Anillo de calibración de flujo

PROCEDIMIENTO:

Esta prueba experimental tendrá como fin conocer qué probeta presenta menor resistencia al flujo del agua, para ello esta prueba se realizará en los laboratorios de instrumentación en la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB).

Se adecuó un contenedor el cual se llenará de cada probeta respectivamente, este contenedor se acoplará a la máquina: Anillo de calibración de flujo, la cual se encuentra en los laboratorios de la UPB. Cada análisis se realizará con una frecuencia de 20 Hz. Se tomará una medición inicial con el contenedor vacío (sin probetas dentro) y otra con cada elemento. Se inicia la máquina, y al cabo de unos segundos se registra el valor de flujo para cada caso. Se hará 1 repetición por cada uno de los elementos.



ANÁLISIS

Los datos de flujo obtenidos son expresados en l/min,

VACIO



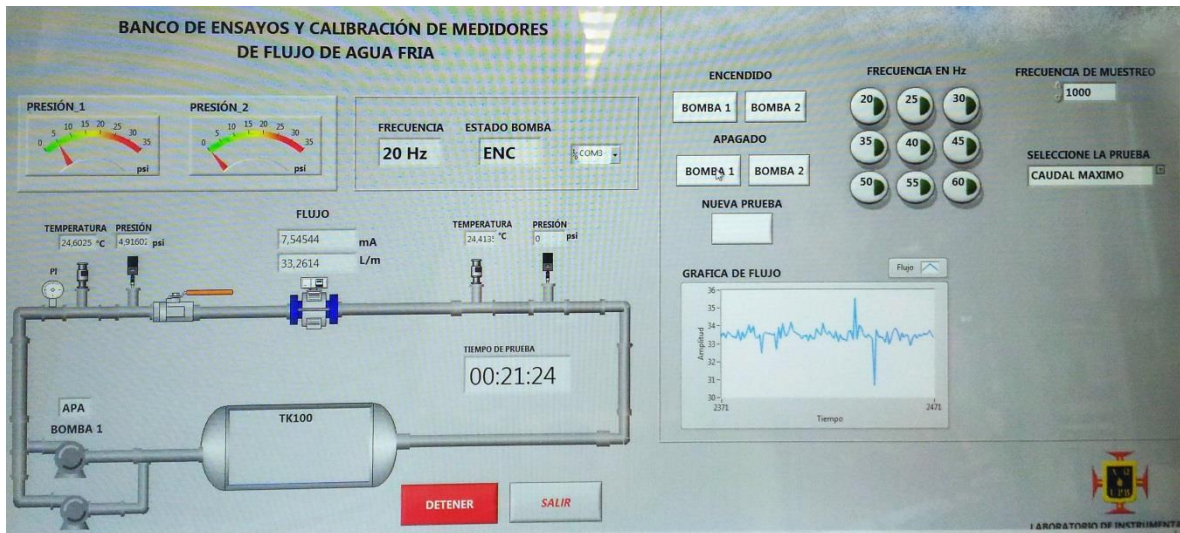
El contenedor no tiene probetas.

TETRAEDRO



Se requirieron de 41 probetas tetraédricas para llenar el contenedor.

ESFERA



Se requirieron de 16 probetas esféricas para llenar el contenedor.

RESULTADOS

Probeta	Flujo (l/min)	Presión aguas arriba (psi)	Presión aguas abajo (psi)
Vacío	51.3	0	1.2
Tetraedro	42.2	4.6	0.6
Esfera	33.2	4.9	0

RESULTADO DE HIPOTESIS

H1- Verdadero. El tetraedro presenta un mejor flujo de agua en comparación a la referencia.

H2- La probeta esférica, debido a que varias caras quedan perpendiculares al flujo del agua, presenta retroceso o disminución en el flujo de agua.

CONCLUSIONES:

- La presión que generan los tetraedros en comparación con el tubo de vacío es 9.1 l/min.

- La presión que generan las probetas esféricas en comparación con el tubo de vacío es 18.1 l/min.
- Las probetas tetraédricas generan la mitad de resistencia al flujo del agua en comparación a las probetas esféricas.

ANEXO J: PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE MATERIALES

CEMENTO

PROCESO

Existen dos métodos de producción del cemento: método en húmedo y en seco donde se realiza un proceso a la materia prima, la cual generalmente es piedra caliza y arcilla en proporciones de 4:1.

El método en húmedo se prepara y se muele con agua donde luego se formará un lodo con un porcentaje de 35 a 40% de agua. Esta agua luego se evapora durante la cocción. Este método requiere de mayor cantidad de energía que con el método seco, además de generar mayor cantidad de gases de escape. Para este proceso ha decrecido la fabricación de hornos, por ende, se han reconvertido varias antiguas en procesos en seco.

El método en seco, la materia prima se tritura a la vez que se seca, se precalienta y se cuece normalmente en un horno tubular giratorio a una temperatura aproximada de 1400°C. Estos hornos tienen mayor capacidad de producción que los del método húmedo.

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=258>

IMPACTO

Uno de los mayores impactos en el proceso del cemento es la emisión de polvo y de otros contaminantes procedentes de la combustión de los combustibles empleados en el horno. Gases como óxidos de nitrógeno y anhídrido sulfuroso. Según la EPA de Estados Unidos, el factor de emisión de los óxidos de nitrógeno es de 1,3 kg por tonelada de cemento producido. También el ruido es otro de los impactos debido a las explosiones del proceso de combustión.

Monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas muy finas

El contacto con el polvo emitido en las fábricas puede ser nocivo para los trabajadores ya que el polvo, especialmente la sílice puede ocasionar problemas respiratorios hasta llegar a una silicosis (enfermedad ocasionada por un depósito de polvo en los pulmones).

La producción de cemento puede ocasionar grandes erosiones en las canteras de donde se obtiene la materia prima para su elaboración, su mala transportación tanto en la misma fábrica como para su distribución emite grandes cantidades de polvo. Los polvos que son residuos del horno llamados Clinker pueden contener metales pesados y demás contaminantes que si se desechan sin el debido cuidado pueden contaminar el mismo suelo.

PLÁSTICOS

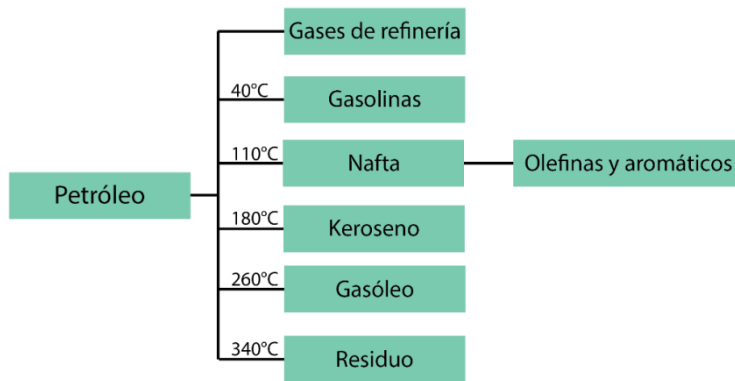
PROCESO

Los plásticos son compuestos químicos con forma de cadena, conocidos químicamente como polímeros. La gran mayoría de los plásticos se obtienen de materias primas como el petróleo.

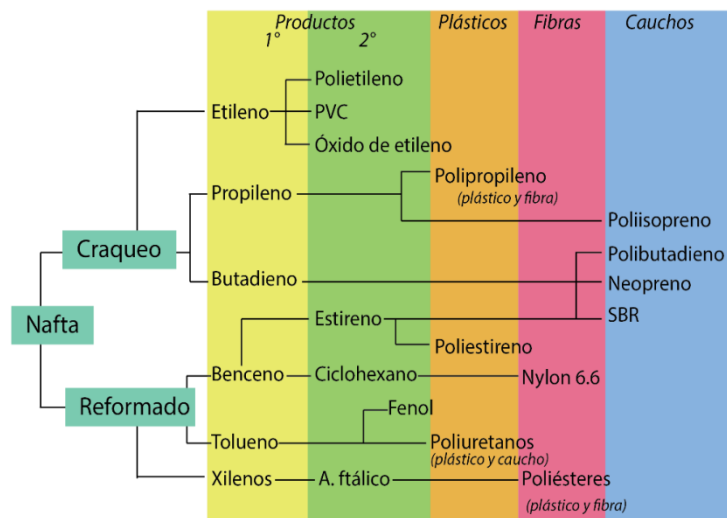
<http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep159/pia/pia.html>

El primer proceso que recibe el petróleo es un refinado donde se separan los diferentes componentes por medio del calor, de estos componentes la nafta (mezcla de hidrocarburos de más de cinco átomos de carbono con un punto de ebullición de hasta 150°C) es la utilizada para la fabricación de plásticos sometiénndola previamente a los procesos de craqueo y reformado.

Destilación fraccionada del petróleo

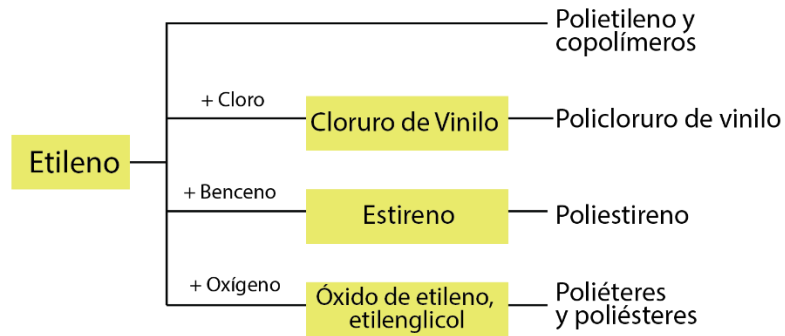


Transformación de la Nafta a Olefinas y Aromáticos

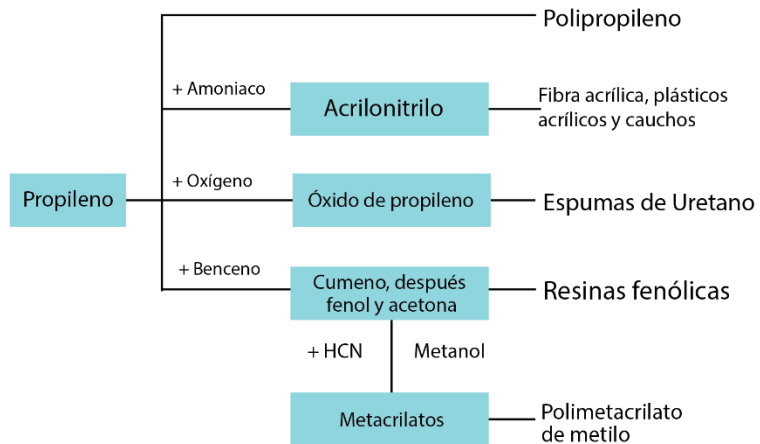


El Craqueo es un proceso en el cual se produce la ruptura de cadenas hidrocarbonadas dando lugar a moléculas pequeñas de dos a cuatro átomos de carbono con dobles enlaces. El reformado es el proceso en el cual se modifica la estructura de las moléculas para obtener sobre todo compuestos aromáticos, llamados fracción BTX (Benceno, Tolueno, Xilenos)

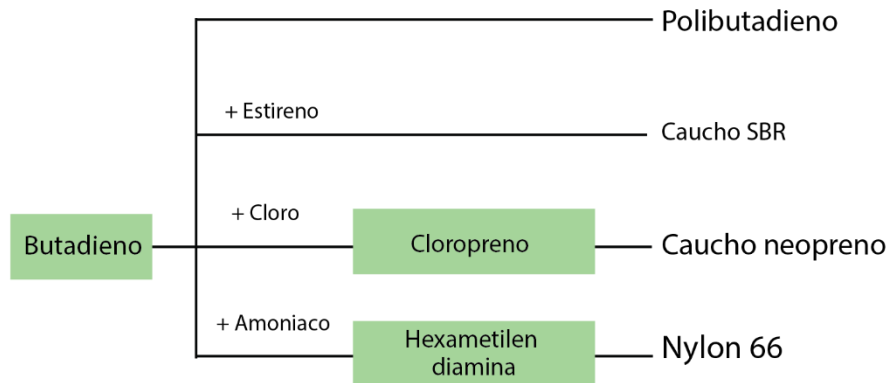
Transformación de olefinas y aromaticos a Polímeros (Etileno)



Transformación de olefinas y aromaticos a Polímeros (Propileno)



Transformación de olefinas y aromáticos a Polímeros (Butadieno)



Los aditivos son sustancias que se introducen intencionalmente para modificar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los polímeros, estas modificaciones dependen del tipo de aditivo agregado.

Tabla. Tipos de aditivos según la función que realizan en el material.

Funciones	Denominación
Facilitan la transformación	Lubricantes
Modifican las propiedades mecánicas	Plastificantes, cargas reforzantes, mejoran la tenacidad
Abaratan el material	Cargas, diluyentes y extendedores
Modificadores superficiales	Antiestáticos, promotores de la adhesión
Modificadores de las propiedades ópticas	Colorantes
Aditivos antienviejecimiento	Antioxidantes, estabilizantes, contra la radiación ultravioleta
Varias funciones	Agentes espumantes, retardadores de llama, biocidas

Después de agregados los respectivos aditivos, se procede a utilizar las respectivas tecnologías de transformación según el polímero y resultado deseado donde se emplean calor, fuerza, uso de moldes y procesos de enfriamiento para su solidificación, entre ellas se encuentran el calandrado, colada, compresión, extrusión, inyección, rotomoldeo, soplado, termoformado, etc.

IMPACTO

Existe un alto consumo, enfocado en productos desechables y de un solo uso; esto ha sido consecuencia de la industrialización y la alta demanda ocasionando también más residuos en nuestra sociedad. Se podría decir, se creó la sociedad de “usar y tirar”. El plástico al ser un material de bajo costo y gracias a su versatilidad para moldearse ha sido muy empleado para la producción en masas. A pesar de todo ello, no todos los plásticos se pueden reciclar, además de que los plásticos tienen una degradación lenta lo que genera un impacto ambiental, la más común es en los océanos y mares.

El proceso de reciclaje de los plásticos posibles es el siguiente:

En la primera fase se separan los diferentes tipos de plásticos ya sea de manera manual, por densidad (poner los plásticos dentro de un tanque que contenga un líquido con una densidad específica) o por medios ópticos (varios plásticos tienen estructuras químicas diferentes y se pueden distinguir como ondas infrarrojas, UV o rayos X).

Para el reciclado existen tres métodos según el uso que se le vaya a dar al plástico:

El reciclado mecánico que consiste en aplicar calor y presión a los objetos para darles una nueva forma, solo se puede emplear este tipo de reciclado con los termoplásticos que se funden con el calor.




El reciclado químico consiste en separar como su nombre lo indica, sus componentes químicos e invirtiendo las etapas que se siguieron para crearlo.


La tercera manera de reciclaje es el energético que consiste en calentar los plásticos para usarlos como combustible, lo contraproducente de este proceso es la producción de dióxido de carbono.

PLASTICOS QUE GENERAN MENOR IMPACTO

La identificación de los plásticos se logra fácilmente gracias a un sistema de siglas que se encuentran en los envases de los productos, dichas siglas del sistema de identificación americano SPI (Society of Plastics Industry), es implantado a partir de 1988 y actualmente se utiliza a nivel internacional como el estándar de identificación siendo obligatorio en muchos países.

1. PET o PETE (Polyethylene terephthalate – Tereftalato de polietileno)	
The image shows a standard recycling symbol consisting of three chasing arrows forming a triangle. Inside the triangle is the number '01'. Below the triangle, the letters 'PET' are printed in a bold, sans-serif font.	El PET es uno de los plásticos reciclados más utilizados. Es frecuente, por ejemplo, en todo tipo de botellas de agua, refrescos y otras bebidas. Es un plástico transparente, con buena resistencia y que ofrece barrera para los gases y vapor de agua.
2. PE-HD o HDPE (High-density polyethylene – Polietileno de alta densidad)	
The image shows a standard recycling symbol consisting of three chasing arrows forming a triangle. Inside the triangle is the number '02'. Below the triangle, the letters 'PE-HD' are printed in a bold, sans-serif font.	Este tipo de plástico reciclable es también muy frecuente en productos de consumo. Se puede encontrar en envases para lácteos, zumos, champús, perfumes, botes de detergentes líquidos y en ocasiones en tuberías para agua. Es permeable a gases, pero es resistente a la humedad y duro.
3. PVC (Polyvinyl Chloride – Policloruro de vinilo)	
The image shows a standard recycling symbol consisting of three chasing arrows forming a triangle. Inside the triangle is the number '03'. Below the triangle, the letters 'PVC' are printed in a bold, sans-serif font.	El PVC se forma por la polimerización de cloruro de vinilo, por lo que el nombre correcto es el policloruro de vinilo y no cloruro de polivinilo como frecuentemente se le llama. Este plástico es muy utilizado para embalar elementos no alimenticios, tuberías, aislamiento de cables eléctricos o la fabricación de discos de vinilo. Es un plástico rígido, duro y muy versátil. No se utiliza en contacto directo con los alimentos debido a que los

	plastificadores utilizados para hacer flexible el PVC y darle forma son productos tóxicos.
4.LDPE (Low Density Polyethylene – Polietileno de baja densidad)	
	El plástico reciclable marcado con el número 4 y con las siglas LDPE es el polietileno de baja densidad. Las características más destacadas de este plástico es su impermeabilidad al vapor de agua y su flexibilidad. Se utiliza en bolsas para congelar alimentos, botellas exprimibles (como los botes de miel o ketchup), tapas flexibles o bolsas de basura.
5.PP (Polypropylene – Polipropileno)	
	El propileno es uno de los plásticos más utilizados en la industria automovilística y en la construcción. Tiene alta dureza, resistencia mecánica, resistencia al calor y resistencia a una amplia variedad de productos químicos, así como a las grasas y aceites. Es impermeable al vapor. En el hogar se puede encontrar en utensilios de cocina expuestos al calor, por ejemplo, espumaderas o platos de plástico para microondas, vajilla y cubertería desechable, envases para yogur, las pajitas para beber, etc. Fuera del hogar podemos encontrar el polipropileno en carcasas de baterías de coche o en embudos para gasoil.
6.PS (Polystyrene – Poliestireno)	
	El poliestireno es un plástico muy versátil y muy fácil de moldear. Se utiliza con frecuencia como material protector para juguetes y material electrónico, por ejemplo, espuma de embalaje (llamada también espuma de poliestireno). También se utiliza frecuentemente en vasos, platos, bandejas, contenedores de comida para

	llevar, etc.
7.O (Otro)	
	<p>Como el número 7 y la letra O se marcan otros tipos de plásticos diferentes a los anteriores o mezclas de varias resinas. Los más frecuentes de esta categoría son el policarbonato y el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno). Generalmente estos plásticos no se pueden reciclar, o no se puede hacer fácilmente, ya sea por la propia naturaleza del polímero utilizado o por ser objetos fabricados con una mezcla de varios tipos de resinas. Existen, no obstante, algunos productos marcados como “O” que se pueden reusar, por ejemplo, las botellas reusables de policarbonato para agua.</p>

<https://curiosoando.com/que-tipos-de-plastico-se-pueden-reciclar>

RESINAS

PROCESO

Las resinas son sustancias sólidas o semisólidas obtenidas por reacciones químicas de materias primas resinosas con diferentes composiciones químicas y comportamiento respecto a sus reactivos.

Las resinas sintéticas se dividen en tres grandes grupos:
 Resinas acrílicas: Son muy poco resistentes a la abrasión, son fácilmente fisurables y muy porosas; sin embargo presentan resistencia media a productos químicos.

Resinas de poliuretano: Son resistentes a la abrasión y ácidos.

Resinas epóxicas: Muy resistentes a la fuerza mecánica y al ataque químico.

IMPACTO

Los gases que se eliminan son resultado de la combustión como el disulfuro de carbono (CS₂) e hidrocarburos volátiles, en cuanto a la contaminación del agua, los efluentes del proceso de producción de las resinas contienen la mayoría de contaminantes como catalizadores y sólidos en suspensión, además de la contaminación de los disolventes usados para la limpieza de los reactores. La resina es un material muy difícil de reciclar, no se le puede aplicar calor para generar nuevos elementos.

<http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/repj59/pia/pia.html>

ANEXO K: PROCESOS DE TRANSFORMACION DE MATERIAL PLASTICO

CALANDRADO

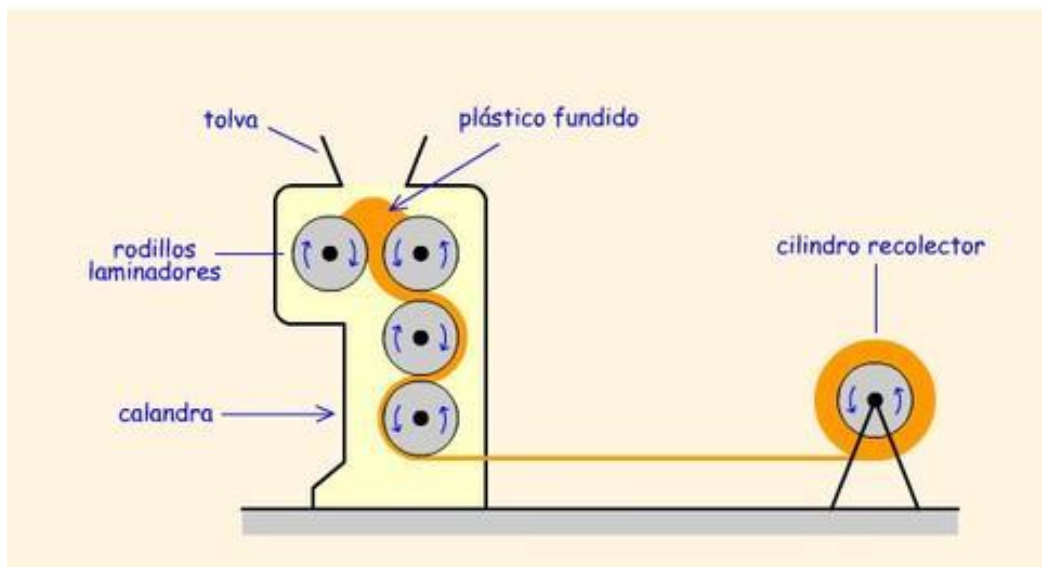
Es una tecnología muy antigua utilizada en la industria papelera y del caucho, y que se aprovecha también en la industria de los materiales poliméricos; casi el 90% de las hojas de PVC que se fabrican se obtienen por Calandrado.

PROCESO

El PVC por lo general bajo forma de polvo, se mezcla con estabilizantes, lubricantes, cargas, colorantes.

La calandra propiamente dicha, que presenta el núcleo central de toda la transformación, está compuesta por tres y cinco cilindros; se encuentran colocado en forma de “L” o de “F”, de hasta 250 cm de longitud, que se calienta por medio de vapor o de agua caliente, y ejerciendo fuertes presiones sobre el material en estado plástico, le confiere uniformidad en el espesor y resistencia. Luego se enrollan las hojas.

Figura. Proceso Calandrado en plásticos.



Fuente: <https://tecnologia-materiales.wikispaces.com/Pol%C3%ADmeros+-+M%C3%A9todo+de+conformado>

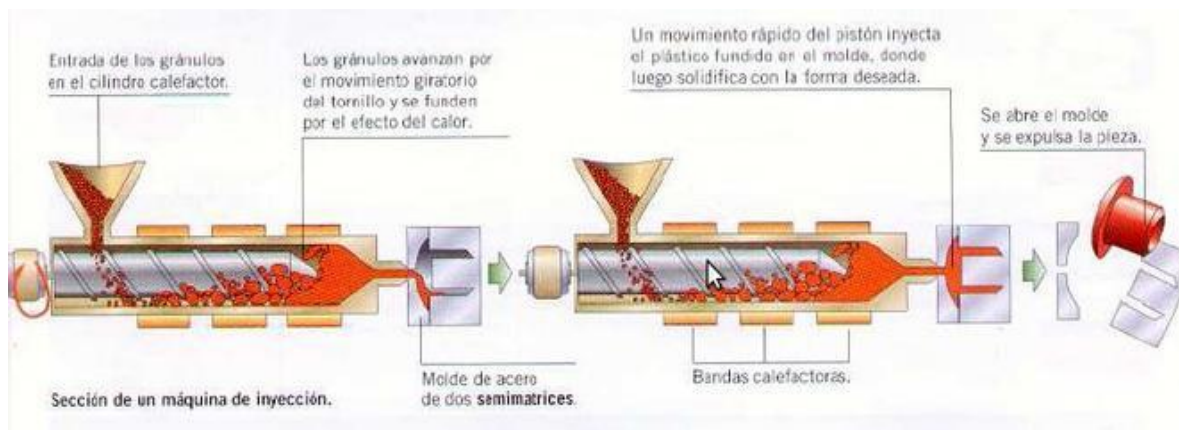
ELABORACIÓN MECÁNICA

Los materiales poliméricos ya sean termoplásticos o termofijos pueden ser trabajados con herramientas y maquinaria adoptando los mismos métodos usados para la elaboración de la madera. De tal manera que se pueden tornearse, fresarse, horadar con el taladro, enclavar, enroscar, cizallar, aserrar.

INYECCIÓN

El proceso de inyección se basa en prensas que al reblandecerse el material por efecto del calor y de volver a su estado normal al enfriarse. Bajo la doble acción ejercida por un embolo y por el calentamiento, los gránulos de materia prima ya en estado de fluidez son enviados a un cilindro caliente y luego inyectados a través de una boquilla dentro de las cavidades del molde, manteniéndolo adecuadamente refrigerado, el material se solidifica y al abrirse el molde, la pieza puede ser extraída sin que exista riesgo de deformaciones.

Figura. Proceso Inyección en plásticos.



Fuente: <https://tecnologia-materiales.wikispaces.com/Pol%C3%ADmeros+-+M%C3%A9todo+de+conformado>

Martinez Bernal. Sergio. Polímeros. Universidad Industrial de Santander. 2001

ANEXO L: MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL

Plan de Manejo Ambiental

Acción: Es el conjunto de actividades necesarias para la ejecución del proyecto.

Aspecto: Es el proceso físico, biológico, social, económico o cultural que puede ser activado, suspendido o modificado por una determinada acción del proyecto y puede producir cambios o alteraciones que gobiernan la dinámica de los ecosistemas.

Impacto: Es el cambio neto o resultado final (beneficio o perjudicial) que se produce en alguno de los elementos ambientales por una determinada acción del proyecto.

Evaluación de los impactos

Los diagramas de identificación permiten obtener una lista de impactos ambientales que pueden ser generados por una determinada acción del proyecto, pero no indican nada de su significado y jerarquía. Es por eso que en esta etapa se procede a evaluar cada impacto individualmente. Los atributos ambientales o criterios utilizados para la calificación son: clase, presencia o probabilidad, duración, evaluación y magnitud. La estimación de los factores de la evaluación ambiental se basa en la utilización de conceptos de profesionales especialistas. Para la calificación ambiental, se utilizó igualmente el método definido por las Empresas Públicas de Medellín. De acuerdo con este método la calificación ambiental es la expresión de la interacción o acción conjugada de los criterios o factores que caracterizan los impactos ambientales y está definida por la siguiente ecuación:

$$Ca = C (P (a \times E \times M) + (b \times D))$$

Dónde:

Ca: Calificación Ambiental (varía entre 0.1 y 10)

C: Clase expresado por el signo + o – de acuerdo al tipo de impacto

P: Presencia (Varía entre 0.0 y 1)

E: Evolución (Varía entre 0.0 y 1)

M: Magnitud (Varía entre 0.0 y 1)

a y b: Constantes de ponderación cuya suma debe ser igual a 10 (donde $a=7$ y $b=3$)

El índice denominado Calificación Ambiental (Ca), se obtiene a partir de cinco criterios o factores característicos de cada impacto, los cuales se explican de la siguiente manera:

Clase (C): Define el sentido del cambio ambiental producido por una determinada acción del proyecto. Puede ser positiva o negativa dependiendo si mejora o degrada el ambiente actual o futuro.

Presencia (P): Como no se tiene certeza absoluta de que todos los impactos se presenten, la presencia califica la probabilidad de que el impacto pueda darse, se expresa entonces como un porcentaje de la probabilidad de ocurrencia.

Duración (D): Evalúa el periodo de existencia activa del impacto y sus consecuencias, se expresa en función del tiempo que permanece el impacto (muy larga, larga, corta, etc.)

Evolución (E): Evalúa la velocidad de desarrollo del impacto, desde que aparece hasta que se hace presente plenamente con todas sus consecuencias, se expresa en unidades relacionadas con la velocidad con la que se presenta el impacto.

Magnitud (M): Califica la dimensión o tamaño del cambio ambiental producido por la actividad o proceso constructivo u operativo. Los valores de magnitud absoluta, cuantificados o referidos se transforman en términos de magnitud relativa, que es una expresión mucho más real del nivel de afectación del impacto.

Tabla de Criterios para la evaluación ambiental

CRITERIO	RANGO	VALOR (1)
CLASE	Positivo (+) Negativo (-)	
PRESENCIA	Cierta Muy probable Probable Poco probable No probable	1,0 0,7<0,99 0,3<0,69 0,1<0,29 0,0<0,09
DURACION	Muy larga o permanente: Si es > de 10 años Larga: Si es > de 7 años Media: Si es > de 4 años Corta: Si es > de 1 año Muy corta: Si es < de 1 año	1,0 0,7<0,99 0,4<0,69 0,1<0,39 0,0<0,09
EVOLUCION	Muy rápida: Si es < de 1 mes Rápida: Si es < de 12 meses Media: Si es < de 18 meses Lenta: Si es < de 24 meses Muy lenta: Si es > de 24 meses	0,8≤1,0 0,6<0,79 0,4<0,59 0,2<0,39 0,0<0,19
MAGNITUD	Muy alta: Si Mr (2) > del 80 % Alta: Si Mr varía entre 60 y 80 % Media: Si Mr varía entre 40 y 60 % Baja: Si Mr varía entre 20 y 40 % Muy baja: Si Mr < del 20 %	0,8≤1,0 0,6<0,79 0,4<0,59 0,2<0,39 0,0<0,19
IMPORTANCIA AMBIENTAL	Muy alta: Si Ca varía entre 8,0≤10,0 Alta: Si Ca varía entre 6,0<7,9 Media: Si Ca varía entre 4,0<5,9 Baja: Si Ca varía entre 2,0<3,9 Muy baja: Si Ca varía entre 0,0<1,9	
CONSTANTES DE PONDERACION		a=7,0 b=3,0

(1) Valores que se utilizan para calificar cada uno de los criterios en la ecuación

(2) Magnitud relativa

Fuente: Método EPM

Calificación Ambiental	Importancia	Medida de Manejo
< 2.5	Baja o Muy Baja	Preventivos
>2.5 y <5.0	Medio	Control
>5.0 y <7.5	Alta	Compensación
>7.5	Muy Alto	Restauración

BIBLIOGRAFIA

ARGANDOÑO, Ligia. MACÍAS, Ramón. Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la Parroquia Colón, Cantón Portoviejo, Provincia de Manabí, durante el período de marzo a septiembre 2013. Trabajo de Grado Ingeniero Químico. Ecuador: Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. 2013. p.66.

ÁRIDOS ANTOFAGASTA. Grava. [En línea]. Chile. 2017. (Recuperado en 5 agosto 2017). Disponible en <http://www.aridosantofagasta.cl/grava.html>

BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL. Tratamiento de aguas residuales: Empaque Biocascada. [En línea]. México D.F. 2017. (Recuperado en 20 julio 2017). Disponible en <http://www.bioteconologia.com.mx/EMPAQUE.html>

DELGADILLO, Oscar, *et al.* Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Bolivia. 2010. p. 9-13.

DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE NACIONES UNIDAS (ONU-DAES) [En línea]. 2012. (Recuperado en 15 abril 2016). Disponible en <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>

DEPARTAMENTO DE INFORMACIÓN PÚBLICA DE LAS NACIONES UNIDAS. El agua, fuente de vida. 2005. p. 8-9.

EDICIONES UNESCO. Agua para todos, agua para la vida: Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo. 2003. p.9.

ENTRESO. Medio de soporte ETS. [En línea]. 2015. (Recuperado en 10 abril 2016). Disponible en <http://www.entreso.com/products/moving-bed-bioreactor-mbbr/>

ESPINOSA, Camilo. Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes. Trabajo de Maestría Ingeniería Civil. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. 2014. p. 37

FERNÁNDEZ, Jesús, *et al.* Manual de Fitodepuración: Filtros de macrófitas en flotación. Universidad Politécnica de Madrid. 2005. p. 20.

FONDO DE CULTURA ECONÓMICA. El agua, ¿qué cosa es? [En línea]. México. D.F. 1991. (Recuperado en 9 marzo 2016). Disponible en http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/102/html/sec_4.html

GARCÍA, Águeda. Estructura e importancia del agua en el metabolismo celular. Universidad Nacional Autónoma de México. 2013.

GARZÓN, Nathalya. Análisis preliminar de los impactos ambientales y sociales generados por la minería de arcillas a cielo abierto en la vereda el Mochuelo bajo, Ciudad Bolívar, Bogotá D.C., estudio de caso. Trabajo de Grado de Ecología. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. 2013. p. 13.

GÓMEZ, David. Diseño de sistemas de biopelícula, para tratamiento aguas residuales. 2002.

HERNÁNDEZ, Edgardo. H₂O Elixir de vida: Importancia del agua para los seres vivos [Base de dato en línea]. Abril de 2010. Revista Elementalwatson "la" revista,

1 (1), 9-12. Universidad de Buenos Aires. (Recuperado en 12 agosto 2017). Disponible en <http://www.elementalwatson.com.ar/Revista%201%20N%201b.pdf>

INSTITUTO DE DISEÑO DE STANFORD. Guía del proceso creativo. Mini guía: Una introducción al Design Thinking + Bootcamp bootleg. 2017. p. 3-10.

KLEIN, Louis. Biochemical and Physicochemical Aspects of River Pollution. En: River pollution: Causes and Effects. Segunda Edición. Butterworth & Co. (Publishers), 1972. p. 181-253.

KNOBELSDORF, María. Eliminación biológica de nutrientes en un ARU de baja carga orgánica mediante el proceso VIP. Tesis Doctoral. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. Sección de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 2005. p. 11-12.

LUNA, Alexander. El impacto ambiental por la actividad de explotación de canteras en la localidad de Usme y sus principales medidas de manejo. Especialización en Planeación Ambiental y Manejo de los Recursos Naturales. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada. 2015. p. 6.

MELO, Sebastián. PABÓN, Andrea. Implementación de las condiciones de proceso para la medición de las variables requeridas en el primer anillo de calibración de flujo de acuerdo a las especificaciones de la norma ntc1063-3 referente al ensayo mediante el método de "recolección". Trabajo de grado Ingeniería Electrónica. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Electrónica. 2016. p. 95-96

OTALORA, Alejandra. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño Gandúl. Trabajo de Magister en Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. 2011. p.10-22.

PÉREZ, Octavio. GONZÁLEZ, Oscar. GONZÁLEZ, Simón. Tratamiento de aguas en zonas industriales, urbanas y rurales: Estructura de películas biológicas en tratamiento de aguas residuales. Ingeniería Ambiental. 2006.

PROGRAMA NACIONAL OLIMPIADA DE GEOGRAFÍA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA. Textos para el estudiante. Argentina: Universidad Nacional del Litoral. 2012. p. 171-172.

RAMÍREZ, Francisco. Desinfección del agua con cloro y Cloraminas. Técnica Industrial. 2005. p. 62-64.

ROMERO, Jairo. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2010. p. 17-19.

SCUKA, Federico. ¿Cuánta agua tiene el planeta? [En línea]. 2009. (Recuperado en 12 marzo 2016). Disponible en <http://www.lattice.org/milj/es/fedscu0902es.html>

SECRETARIADO ALIANZA POR EL AGUA/ ECOLOGÍA Y DESARROLLO. Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Edic, Ideasmares. 2008. p. 223-226.

SOLIDWORKS. SolidWorks Standard. [En línea]. 2017. (Recuperado en 10 agosto 2017). Disponible en <https://www.solidworks.es/sw/products/3d-cad/solidworks-standard.htm>

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Informe técnico sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Línea base 2010. Bogotá D.C. 2012. p. 14-16.

TL INGEAMBIENTE. Rosetón para tratamiento de aguas residuales. [En línea]. 2016. (Recuperado en 5 julio 2016). Disponible en <http://www.tlingeambiente.com/servicios/construccion-consultoria-e-interventoria/>

TORRES, Patricia. RODRIGUEZ, Jenny. URIBE, Iris. Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio: influencia del medio de soporte. [Base de datos en línea]. 2003. Revista Scientia et Technica, 3(23), 75-80. (Recuperado en 24 agosto 2017). Disponible en <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7393/4389>

ULRICH, Karl. EPPINGER, Steven. Diseño y desarrollo de productos. McGraw-Hill/Interamericana Editores, 2009. p.141-158. ISBN-13:978-970-10-6936-3

VAQUERO, Pilar. TOXQUI, Laura. Agua para la salud: pasado, presente y futuro. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España. 2012. p.39

VEOLIA. Anita Mox MBBR IFAS Anita Mox. Soluciones sostenibles y económicas para el tratamiento de efluentes con alta carga de amonio. 2016

VEOLIA. Proceso MBBR para depuración biológica: AnoxKaldnes™. [En línea]. 2017. (Recuperado en 5 julio 2016). Disponible en <http://www.veoliawatertechnologies.es/tecnologias/mbbr/>

WELTER, Adriana, *et al.* La biopelícula en los procesos RBC. Universidad Católica de Córdoba. Facultad de Ingeniería. 2004. p. 4-9.

ZAPATA, Aura. Humedales artificiales; una propuesta para la mitigación de la contaminación hídrica de la quebrada la Nutria, de los Cerros Orientales de Bogotá D.C. Trabajo de Magister en Desarrollo Sustentable y Medio Ambiente. Manizales: Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias contables económicas y administrativas. 2014. p.20-23.

ZOOTECNIA DOMESTICA. Materiales filtrantes. [En línea]. 2017. (Recuperado en 10 agosto 2017). Disponible en <http://www.zootecniadomestica.com/materiales-filtrantes/>