

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería y Educación



Diseño, implementación, mejora y capacitación para uso de  
sistemas de captación y tratamiento de agua en el Caserío Cumbre  
de San Agustín, Morales, Izabal

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

Diana Alejandra Morales Velasquez para optar  
al grado académico de Licenciada en Psicopedagogía; y

José Guillermo Shin Jo,  
Juan Jose Gudiel Gonzalez,  
Karla Verónica Mazariegos López y  
María Jesús García Alvarez para optar  
al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química

Guatemala,

2015



Diseño, implementación, mejora y capacitación para uso de sistemas de captación y tratamiento de agua en el Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería y Educación



Diseño, implementación, mejora y capacitación para uso de  
sistemas de captación y tratamiento de agua en el Caserío Cumbre  
de San Agustín, Morales, Izabal

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

Diana Alejandra Morales Velasquez para optar  
al grado académico de Licenciada en Psicopedagogía; y


José Guillermo Shin Jo,  
Juan Jose Gudiel Gonzalez,  
Karla Verónica Mazariegos López y  
María Jesús García Alvarez para optar  
al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química

Guatemala,

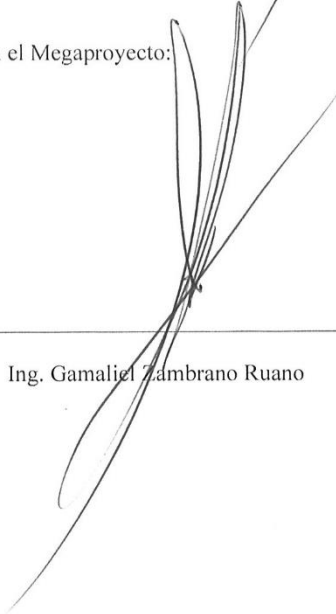
2015

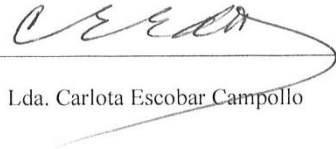
Vo. Bo. :

(f)   
Ing. Cristián Rossi Sosa

(f)   
Ing. Gamaliel Zambrano Ruano

Directores de los estudiantes que trabajaron el Megaproyecto:

(f)   
Ing. Gamaliel Zambrano Ruano

(f)   
Lda. Carlota Escobar Campollo

Fecha de aprobación: Guatemala, 16 de Noviembre de 2015

# ÍNDICE

LISTA DE TABLAS.....	VIII
LISTA DE ILUSTRACIONES .....	X
RESUMEN.....	XIII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
A. Objetivo general:.....	2
B. Objetivos específicos:.....	2
III. JUSTIFICACIÓN .....	5
IV. MARCO TEÓRICO.....	7
A. El agua y su importancia.....	7
B. Agua potable .....	8
C. Formas de captación de agua .....	10
D. Sistema de captación pluvial.....	11
E. Agua residual.....	13
F. Consideraciones para el diseño de plantas de tratamiento de agua residual: .....	21
G. Operaciones y procesos unitarios de una planta de tratamiento de agua residual .....	25
H. Sedimentación.....	29
I. Tratamiento secundario de agua residual con sistemas naturales .....	29
J. Filtros intermitentes.....	30
K. Biofiltración sobre lecho orgánico fijo de estado estacionario .....	31
L. Operaciones adsorción .....	32
M. Cocos nucifera L. ....	35
N. Humedales .....	37
O. Mecanismos de eliminación de los contaminantes.....	40
P. Jabón y detergentes.....	41
Q. Bombas .....	42
R. Fenómenos de flujo de fluidos .....	49
S. Válvulas de cheque.....	55
T. Diseño de una bomba .....	55
U. Androgogía .....	59
V. Empoderamiento humano .....	61
W. Aprendizaje significativo .....	62
X. Constructivismo .....	65
Y. Educación para y por la comunidad .....	66

Z. Teoría existencial central en el cliente .....	67
AA. Psicoterapia humanista .....	69
V. ANTECEDENTES .....	71
A. Izabal.....	71
B. Morales.....	72
C. Situación del agua en Guatemala .....	73
D. Legislación de aguas en Guatemala .....	80
VI. METODOLOGÍA .....	85
VII. RESULTADOS .....	104
VIII. DISCUSIÓN.....	124
IX. CONCLUSIONES .....	145
X. RECOMENDACIONES .....	149
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	152
XII. ANEXOS .....	157
A. Diseño sistema de captación del agua .....	157
B. Diseño Bomba de ariete .....	166
C. Diseño Bomba de pistón.....	170
D. Diseño de sedimentador .....	175
E. Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes .....	177
F. Diseño de un biofiltro a escala planta piloto .....	181
G. Caracterización del material filtrante .....	183
H. Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes .....	186
I. Balance de masa de biofiltro planta piloto .....	190
J. Diseño de un biofiltro para tratamiento biológico de aguas de pilas y duchas .....	191
K. Costos de construcción de planta de tratamiento de aguas residuales .....	193
L. Análisis de error .....	193
M. Manual de funcionamiento bomba de pistón .....	194
N. Métodos de análisis realizados .....	195
O. Planificación de talleres.....	202
P. Registro gráfico .....	207
XIII. GLOSARIO.....	228

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para que sea potable.....	9
Tabla 2 - Eficiencia de escurrimiento según tipo de superficie .....	12
Tabla 3 - Constituyentes del agua residual .....	14
Tabla 4 - Definiciones para sólidos encontrados en agua residual .....	15
Tabla 5 - Niveles de tratamiento del agua residual.....	19
Tabla 6 - Factores a tener en cuenta en la evaluación y elección de operación y procesos .....	20
Tabla 7 - Efecto del caudal y la carga de contaminantes sobre la elección y el tamaño de las instalaciones para el tratamiento de agua residual .....	21
Tabla 8 - Consideraciones en la planeación de estudios de planta piloto .....	22
Tabla 9 - Donadores de electrones y productos finales en reacciones biológicas en el tratamiento secundario de agua residual .....	27
Tabla 10 - Clasificación de los Sistemas naturales de tratamiento de agua residuales .....	30
Tabla 11 - Relación de eficiencia de bombeo respecto a la relación de alturas h/H.....	48
Tabla 12 - Accesorios y sus coeficientes .....	54
Tabla 13 - Guías generales para la selección preliminar de bombas .....	57
Tabla 14 - Comparación entre el modelo pedagógico y el modelo andragógico (ITE s.f) .....	60
Tabla 15 - Uso del agua en el año 2006 y uso potencial del agua en el año 2025 en Guatemala .....	74
Tabla 16 - Información acerca de los muestreos realizados durante el trabajo de campo en el Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal .....	79
Tabla 17 - Resumen de los resultados obtenidos en los análisis de las fuentes de agua del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal realizados en el 2014 .....	79
Tabla 18 - Eficiencia de remoción de contaminantes del biofiltro con lecho orgánico residuales con sistemas naturales en base a diferentes parámetros .....	80
Tabla 19 - Pasos y validación del enfoque basado en evidencia. Elaboración propia. ....	103
Tabla 20 - Precipitación promedio mensual de los 5 años analizados.....	104
Tabla 21 - Acumulación de agua mensual.....	104
Tabla 22 - Especificaciones de canaletas.....	104
Tabla 23 - Especificaciones de área de captación en iglesia .....	105
Tabla 24 - Especificaciones de tanque de primeras agua .....	105
Tabla 25 - Especificaciones de tanque de almacenamiento .....	105
Tabla 26 - Costo del sistema .....	105
Tabla 27 - Características físicas y organolépticas .....	106
Tabla 28 - Costos de fabricación de la bomba de ariete implementada.....	108
Tabla 29 - Comparación de las pérdidas de energía para las bombas monopulsor y multipulsor evaluadas..	109
Tabla 30 - Características de la bomba de ariete implementada.....	109
Tabla 31 - Comparación entre la bomba de ariete implementada y una diseñada industrialmente .....	109
Tabla 32 - Rangos de operación de la bomba de pistón .....	109
Tabla 33 - Características de operación de la bomba de pistón .....	110
Tabla 34 - Costo de la estructura de metal que soporta la bomba de pistón .....	110
Tabla 35 - Materiales y precios para la construcción de la bomba de pistón .....	110
Tabla 36 - Eficiencia de remoción de contaminantes de un sedimentador variando la concentración de jabón .....	111
Tabla 37 - Eficiencia de remoción de contaminantes de los biofiltros variando el tamaño de partícula promedio con base en diferentes parámetros .....	112
Tabla 38 - Eficiencia de remoción de contaminantes de un biofiltro a escala planta piloto utilizando cáscara de coco como lecho orgánico.....	115
Tabla 39 - Eficiencia de remoción de contaminantes de la planta de tratamiento propuesta.....	118
Tabla 40 - Costos de equipo para el sistema de tratamiento de aguas provenientes de duchas y pilas .....	118
Tabla 41 - Cumplimiento de los pasos del método de intervención .....	118
Tabla 42 - Resultados educativos obtenidos.....	119
Tabla 43 - Resultados cuantitativos de educación .....	121
Tabla 44 - Precipitación promedio mensual en el año 2011 .....	157
Tabla 45 - Promedio de precipitaciones en el mes de Enero de los 5 años analizados.....	157
Tabla 46 - Precipitaciones mensuales del año 2011 a 2015 (mm agua o L/m <sup>2</sup> .....	163

Tabla 47 - Determinación de caudal en canaleta .....	163
Tabla 48 - Cantidad de días que presentan lluvia al mes .....	164
Tabla 49 - Caudal en área de captación .....	164
Tabla 50 - Determinación de agua sobrante en tanque de almacenamiento .....	165
Tabla 51 - Sobredimensionamiento en tanque de almacenamiento .....	165
Tabla 52 - Resultado de análisis de agua en duplicado .....	166
Tabla 53 - Valores experimentales de operación de la bomba .....	173
Tabla 54 - Datos experimentales para determinar el caudal de la bomba.....	173
Tabla 55 - Aforo del volumen del trasto utilizado.....	173
Tabla 56 - Datos teóricos calculados para la bomba de pistón .....	173
Tabla 57 - Materiales y precio para la estructura de metal .....	174
Tabla 58 - Materiales y precios para la construcción de la bomba de pistón .....	175
Tabla 59 - Pruebas de sedimentador a lo largo del tiempo con una solución de 400 ppm de jabón.....	175
Tabla 60 - Pruebas de sedimentador a lo largo del tiempo con una solución de 200 ppm de jabón.....	175
Tabla 61 - Porcentaje de remoción de contaminantes de un sedimentador .....	176
Tabla 62 - Caracterización afluente de agua a biofiltro variando el tamaño de partícula a 1.5 y 3 cm .....	177
Tabla 63 - Pruebas a efluente de agua de biofiltro variando el tamaño de partícula a 1.5 y 3 cm .....	177
Tabla 64 - Porcentaje de remoción promedio de sulfatos a lo largo del tiempo de biofiltros con tamaño de partícula de 1.5 y 3 cm.....	179
Tabla 65 - Porcentaje de remoción promedio de nitratos a lo largo del tiempo de biofiltros con tamaño de partícula de 1.5 y 3 cm.....	179
Tabla 66 - Porcentaje de remoción promedio de fosfatos a lo largo del tiempo de biofiltros con tamaño de partícula de 1.5 y 3 cm.....	180
Tabla 67 - Porcentaje de remoción promedio de la demanda biológica de oxígeno a lo largo del tiempo de biofiltros con tamaño de partícula de 1.5 y 3 cm .....	180
Tabla 68 - Porcentaje de variación promedio del pH a lo largo del tiempo de biofiltros con tamaño de partícula de 1.5 y 3 cm .....	180
Tabla 69 - Especificaciones de equipos para el tratamiento biológico de aguas grises .....	181
Tabla 70 - Cargas máximas permitidas para un biofiltro, determinadas experimentalmente por IMTA.....	182
Tabla 71 - Caudal máximo a tratar el biofiltro .....	183
Tabla 72 - Largo, ancho y alto de una muestra aleatoria de 50 pedazos de cascara de coco cortada .....	183
Tabla 73 - Volumen de espacios vacíos para un volumen de cáscara de coco de 1000 mL .....	184
Tabla 74 - Volumen de espacios vacíos para un volumen de piedrín de 1000 mL.....	184
Tabla 75 - Análisis estadístico del largo, ancho y alto de una muestra aleatoria de cáscara de coco que se utilizó para la planta piloto.....	184
Tabla 76 - Promedio del área y volumen de un pedazo de cáscara coco .....	185
Tabla 77 - Porosidad de la cascara del coco .....	185
Tabla 78 - Porosidad del piedrín.....	185
Tabla 79 - Caracterización de afluente de aguas grises al biofiltro escala planta piloto.....	186
Tabla 80 - Prueba efluente de agua de biofiltro en planta piloto .....	187
Tabla 81 - Promedio de caracterización de afluente de agua a biofiltro .....	188
Tabla 82 - Promedio de efluente en el biofiltro .....	189
Tabla 83 - Eficiencia de remoción de contaminantes de un biofiltro a escala planta piloto utilizando cáscara de coco como lecho orgánico.....	189
Tabla 84 - Tiempo de residencia hidráulico promedio. ....	192
Tabla 85 - Costos totales de equipo y otros generales para el diseño propuesto .....	193
Tabla 86 - Planificación de taller 1 y 2.....	203
Tabla 87 - Planificación de taller 3.....	205
Tabla 88 - Planificación de taller 4.....	206

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Funcionamiento de sistema interceptor de primeras aguas .....	12
Ilustración 2 - Sistema de recolección de agua pluvial.....	13
Ilustración 3 - Diagramas de flujo para el tratamiento de agua residual en el punto de generación.....	23
Ilustración 4 - Diagrama de flujo de sistemas convencionales para tratamiento de pequeños caudales.....	24
Ilustración 5 - Diagramas usuales para tratamiento de agua residual proveniente de comunidades pequeñas .....	24
Ilustración 6 - Onda de adsorción.....	34
Ilustración 7 - Partes del coco .....	35
Ilustración 8 - Tipos de humedales construidos .....	38
Ilustración 9 - Dibujo esquemático del carrizo ( <i>Phragmites australis</i> ).....	39
Ilustración 10 - Bombas de engranaje .....	44
Ilustración 11 - Bomba centrífuga de succión sencilla.....	45
Ilustración 12 - Bomba de Ariete hidráulico de Whitehust .....	47
Ilustración 13 - Bomba de Ariete hidráulico .....	47
Ilustración 14 - Bomba de ariete de diseño industrial .....	48
Ilustración 15 - Gráfica que relaciona Re, k/D y f.....	52
Ilustración 16 - Rangos de operación comerciales de las bombas disponibles.....	56
Ilustración 17 - Mapa del departamento de Izabal.....	71
Ilustración 18 - Caudales de las diferentes vertientes del país.....	75
Ilustración 19 - Fuentes de abastecimiento de agua para uso en el hogar .....	76
Ilustración 20 - Uso de agua por sector de consumo .....	76
Ilustración 21 - Captación de lluvia por pobladores de Cumbre San Agustín .....	77
Ilustración 22 - Vertiente del Atlántico .....	78
Ilustración 23 - Captura de un sector del Caserío Cumbre de San Agustín.....	82
Ilustración 24 - Cultivos agrícolas del Caserío Cumbre de San Agustín.....	83
Ilustración 25 - Fuentes de abastecimiento de agua de la comunidad .....	83
Ilustración 26 - Balance de masa.....	85
Ilustración 27 - Materiales utilizados para la válvula de cheque .....	90
Ilustración 28 - Pistón de la bomba .....	92
Ilustración 29 - Bomba ensamblada .....	93
Ilustración 30 - Esquema de los pasos del enfoque basado en evidencia .....	100
Ilustración 31 - Esquema de los componentes del Método de intervención .....	101
Ilustración 32 - Sistema de captación pluvial instalada.....	106
Ilustración 33 - Toma de agua de la bomba diseñada.....	106
Ilustración 34 - Cabeza de la bomba multipulsor evaluada .....	107
Ilustración 35 - Cabeza de la bomba monopulsor evauada.....	107
Ilustración 36 - Dimensiones de los filtros instalados .....	108
Ilustración 37 - Comportamiento en el tiempo de SO <sub>4</sub> en el efluente de los biofiltros variando el tamaño de partícula.....	111
Ilustración 38 - Comportamiento en el tiempo de NO <sub>3</sub> en el efluente de los biofiltros variando el tamaño de partícula.....	111
Ilustración 39 - Comportamiento en el tiempo de PO <sub>4</sub> en el efluente de los biofiltros variando el tamaño de partícula.....	112
Ilustración 40 - Comportamiento en el tiempo de pH en el efluente de los biofiltros variando tamaño de partícula .....	112
Ilustración 41 - Comportamiento en el tiempo de SO <sub>4</sub> en el efluente del biofiltro a escala planta piloto .....	113
Ilustración 42 - Comportamiento en el tiempo de NO <sub>3</sub> en el efluente del biofiltro a escala planta piloto.....	113
Ilustración 43 - Comportamiento en el tiempo de PO <sub>4</sub> en el efluente del biofiltro a escala planta piloto .....	113
Ilustración 44 - Comportamiento en el tiempo de DBO en el efluente del biofiltro a escala planta piloto ....	114
Ilustración 45 - Comportamiento en el tiempo de DQO en el efluente del biofiltro a escala planta piloto ....	114
Ilustración 46 - Comportamiento en el tiempo de pH en el efluente del biofiltro a escala planta piloto .....	114
Ilustración 47 - Vista de planta de planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de las pilas y duchas usando sistemas biológicos.....	115

Ilustración 48 - Vista de perfil de planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de las pilas y duchas usando sistemas biológicos.....	116
Ilustración 49 - Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de agua utilizando sistemas biológicos .....	117
Ilustración 50 - Resultados obtenidos en la aplicación de talleres tradicionales vs. Talleres basados en la teoría constructivista y educación para y por la comunidad. ....	122
Ilustración 51 - Instalación de bombas en serie .....	132
Ilustración 52 - Diagrama de la comunidad del Caserío de San Agustín .....	174
Ilustración 53 - Diagrama de entradas y salidas del biofiltro. ....	190
Ilustración 54 - Batería de Biofiltros para tratamiento secundario de aguas grises .....	193
Ilustración 55 - Método de determinación de DQO .....	196
Ilustración 56 - Método para determinar SST .....	197
Ilustración 57 - Método de determinación de sulfatos.....	198
Ilustración 58 - Método de determinación de fosfatos .....	199
Ilustración 59 - Método de determinación de Nitratos .....	200
Ilustración 60 - Método de determinación de Turbidez.....	201
Ilustración 61 - Casas del Caserío cumbre de San Agustín, Morales Izabal y escuela del caserío.....	207
Ilustración 62 - Punto de captación de agua .....	207
Ilustración 63 - Punto de descarga.....	208
Ilustración 64 - Filtros de malla utilizados .....	208
Ilustración 65 - Punto de aforo de la tubería inundada previo a la instalación de la cabeza de la bomba .....	209
Ilustración 66 - Cabeza de presión elaborada .....	209
Ilustración 67 - Sistema monopulsor en operación.....	210
Ilustración 68 - Bomba multipulsor en operación .....	210
Ilustración 69 - Terreno desproporcionado en donde se colocó el sistema de bombeo .....	211
Ilustración 70 - Abertura de agujeros, para enterrar la estructura de metal .....	211
Ilustración 71 - Enterramiento de la mesa en el terreno de tierra .....	212
Ilustración 72 - Bomba de pistón ya instalada en la comunidad.....	212
Ilustración 73 - Abertura de canaleta en la comunidad .....	213
Ilustración 74 - Enterramiento de la tubería .....	213
Ilustración 75 - Tubería enterrada .....	214
Ilustración 76 - Bomba de pistón en funcionamiento .....	214
Ilustración 77 - Tonel de succión de la bomba .....	215
Ilustración 78 - Vista del tonel que recibe el agua bombeada .....	215
Ilustración 79 - Sistema de bombeo sin enterrar .....	216
Ilustración 80 - Sistema de bombeo enterrado e instalado .....	216
Ilustración 81 - Mesocarpio del coco a un tamaño de partícula de 1.5 cm de diámetro .....	217
Ilustración 82 - Pruebas preliminares con dos diferentes tamaños de partícula, 1.5 cm y 3 cm. ....	217
Ilustración 83 - Batería de biofiltros inundados con agua residual a tratar.....	217
Ilustración 84 - Batería de biofiltros para determinar el mejor tamaño de partícula funcionando .....	218
Ilustración 85 - Introducción de primeras aguas al biofiltro a escala planta piloto .....	218
Ilustración 86 - Crecimiento del biofilm sobre el lecho orgánico a lo largo del tiempo.....	219
Ilustración 87 - Biofiltro al día 50 de operación.....	219
Ilustración 88 - Variación de color del efluente a lo largo del tiempo.....	220
Ilustración 89 - Prueba de DQO del efluente de agua del biofiltro a escala planta piloto .....	220
Ilustración 90 - Ejemplo de mapa de organización comunitaria.....	221
Ilustración 91 - Compañeros del proyecto trasladando material para la instalación del sistema .....	222
Ilustración 92 - La facilitadora camina hacia la comunidad .....	222
Ilustración 93 - Río Amatillo.....	223
Ilustración 94 - Material didáctico usado en los talleres 1 y 2.....	223
Ilustración 95 - Explicación de las consecuencias del uso inadecuado del agua .....	224
Ilustración 96 - Pobladores de la comunidad Caserío Cumbre de San Agustín.....	224
Ilustración 97 - Explicación con material didáctico .....	225
Ilustración 98 - Explicación del funcionamiento del proyecto .....	225
Ilustración 99 - Preparación del lugar.....	226
Ilustración 100 - La facilitadora comparte con los niños.....	226
Ilustración 101 - Actividad de teléfono descompuesto.....	227

Ilustración 102 - Actividad de Telaraña .....	227
Ilustración 103 - Dramatización de la organización comunal .....	227

## RESUMEN

El presente proyecto tuvo como finalidad diseñar e implementar sistemas de captación y tratamiento de agua, realizando una capacitación respectiva al uso de estos, en el Caserío Cumbre de San Agustín. La principal problemática del Caserío Cumbre de San Agustín es la carencia de agua. El caserío se encuentra en un área de difícil acceso, no cuenta con energía eléctrica, drenajes ni agua potable. Su única fuente de agua son dos pozos artesanales y dos quebradas proviene del Río Amatillo, estas fuentes de agua se encuentran altamente contaminadas. La importancia del agua potable en la vida y su relación con la dificultad de su obtención motiva la necesidad de realizar una serie de actividades.

Una solución a la problemática fue la implementación de un sistema de captación de agua pluvial para suplir de este servicio a la comunidad, para esto se realizó un estudio del diseño del techo de la iglesia y la precipitación de pluvial en el lugar. Como parte del sistema se incluye un tanque de recolección de agua, complementado con un sistema de tuberías y un tanque interceptor de primeras aguas que recibe los contaminantes que puede encontrarse en el techo.

Además se llevó a cabo la implementación de una bomba de pistón para la distribución del agua del río hacia un tanque de recolección. Parte de la metodología incluyó la construcción de válvulas de cheque, la construcción un pistón para la bomba y el ensamblaje de la misma en el lugar donde fue instalada. Complementado a este trabajo se realizó el diseño e implementación de una bomba de ariete para la extracción de agua de río Amatillo, las fases de esta instalación incluyó el diseño y la implementación a partir de estudios de topografía del lugar, caudal de río y una serie de sistemas auxiliares para el funcionamiento de la bomba. Una vez diseñados estos sistemas se procedió a la determinación de las características de operación de estas bombas.

Otra propuesta fue diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de las duchas y pilas, utilizando procesos biológicos para disminuir la carga de contaminantes. Para cumplir con el objetivo se realizó una serie de pruebas de eficiencia de remoción de contaminantes a un sedimentador y biofiltro como propuesta para el sistema de tratamiento. El diseño del biofiltro requirió la utilización del mesocarpio del coco ya que es de fácil acceso para la población del Caserío.

Finalmente se implementó un programa educativo de talleres en el caserío. La metodología empleada fue el “Enfoque basado en la evidencia” y el “Modelo de intervención”, la cual debió adaptarse al tipo de población y a las características de la misma. De igual manera se utilizaron métodos tradicionales, constructivista y de la educación para y por la comunidad.

Los resultados principales fueron la instalación un sistema de captación de agua pluvial con capacidad de almacenar 290L/día, la instalación de una bomba de pistón capaz de distribuir un caudal de 0.08L/s, la bomba

de ariete implementada logró desarrollar una cabeza total de 4.67m y un flujo promedio de  $4.07E-06 \text{ m}^3/\text{s}$ . El biofiltro con cáscara de coco como material orgánico filtrante tuvo una eficiencia de remoción de  $49.16 \pm 4.27\%$  de sulfatos,  $55.23 \pm 5.31 \%$  de nitrógeno en forma de nitratos,  $8.43 \pm 4.43\%$  de fósforo en forma de fosfatos,  $54.11 \pm 0.82\%$  en la demanda bioquímica de oxígeno y  $40.68 \pm 0.54\%$  en la demanda química de oxígeno. En base a estas pruebas se determinó un tiempo de retención hidráulico para el biofiltro de 5.06 días. Respecto al programa educativo implementado se logró empoderar a la comunidad con la iniciativa de talleres para la capacitación de promotores de salud.

# I. INTRODUCCIÓN

El Caserío Cumbre de San Agustín, del municipio Morales, del departamento de Izabal, está ubicado en la cima de una montaña y se localiza a 15 kilómetros de la cabecera de dicho municipio. En 2014 el grupo de la Universidad del Valle de Guatemala que dio inicio a este megaproyecto y que hizo un estudio de campo, encontró que la comunidad, dentro de sus rutinas diarias presentó un problema muy serio en relación al uso del agua. Actualmente la mayoría de las familias que habitan en la comunidad obtienen el agua a través de dos pozos en los cuales hay nacimientos de agua, del río Amatillo y del agua llovida que cae de las láminas. Siendo un lugar en donde la mayoría del año llueve, los habitantes colocan baños, ollas y otros recipientes debajo de las láminas para la recolección del líquido vital.

Para referirse a las condiciones de higiene del agua que se usa para el consumo diario y otros usos en el hogar, en relación a los pozos se puede indicar a primera vista y basada en las entrevistas de primera fuente realizadas con los pobladores del lugar, que el agua de dichos pozos no cuenta con las condiciones necesarias para prácticas saludables. Los habitantes usan el agua que obtienen de los pozos, ríos y láminas, principalmente para preparar alimentos, lavar ropa, algunos se bañan en el lugar, regar sus plantaciones, que en su mayoría son de piñas.

Según las entrevistas realizadas en el lugar, los habitantes manifestaron en cuanto al padecimiento de enfermedades que las más frecuentes son problemas estomacales, diarrea, gripes y otras. Derivado de lo anterior, puede evidenciarse que el uso inadecuado del agua, es un problema que afecta directamente la salud comunitaria y que les ha estado afectando durante años.

Debido a los problemas mencionados y en la búsqueda de soluciones se desarrollaron los trabajos:

- Implementación de un Sistema de Recolección de Agua Pluvial para el Abastecimiento de la Iglesia Comunal
- Diseño e implementación de una bomba de ariete para captación de agua de río.
- Diseño e implementación de una bomba mecánica manual para distribución de agua.
- Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales usando procesos biológicos.
- Proceso educativo para la formación y empoderamiento de promotores de salud.

## II. OBJETIVOS

### A. Objetivo general:

Diseñar, implementar, mejorar y capacitar en el uso de sistemas de captación y tratamiento de agua en el Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal.

### B. Objetivos específicos:

1. Implementar y adaptar un diseño de sistema de captación de agua pluvial evaluando el diseño del techo de la iglesia comunal para el abastecimiento de agua.
  - a. Estudiar el diseño de sistema de captación y almacenaje de agua pluvial a través de un análisis del mismo para determinar su factibilidad y adecuarlo a las características del techo de la iglesia tomando en consideración la precipitación pluvial del área.
  - b. Instalar un sistema de captación de agua pluvial adaptándolo al diseño de la iglesia para beneficio de la población.
  - c. Determinar características físicas y organolépticas del agua captada mediante análisis fisicoquímicos para evaluar su utilización en el área.
  - d. Determinar los costos del sistema de captación de agua instalado mediante la recolección del costo de cada parte del mismo, como una propuesta de réplica en futuros proyectos.
2. Diseñar e instalar una bomba mecánica manual de pistón para el transporte de agua en la comunidad según las necesidades de sus pobladores, involucrando a todas las personas, para que valoren el sistema y lo usen adecuadamente.
  - a. Seleccionar el tipo y diseñar la bomba mecánica manual para que satisfaga la demanda diaria de agua de la comunidad.
  - b. Determinar los rangos de operación de la bomba mecánica manual de pistón y sus accesorios, realizando pruebas en distintas circunstancias con la bomba y los accesorios.
  - c. Realizar un diagrama de la bomba mecánica manual de pistón junto con un manual de construcción para que el diseño de esta sea replicable y adecuada a las necesidades de las personas que utilicen el dispositivo.
3. Diseñar e implementar un sistema de bombeo y colección de agua de río para el abastecimiento de agua del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal.

- a. Diseñar una bomba para agua y un sistema de filtrado que no dependa de la electricidad, minimizando los costos económicos, para la obtención de agua de río.
  - b. Implementar una bomba que no utilice electricidad y un sistema de filtrado *in situ*, minimizando los costos económicos, para la obtención de agua de río en la comunidad Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal.
  - c. Diseñar un plan de mantenimiento adecuado para el correcto funcionamiento de una bomba para la comunidad Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal.
4. Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de las duchas y pilas, utilizando procesos biológicos para disminuir la carga de contaminantes.
- a. Diseñar un sedimentador de tratamiento primario, para la remoción de sólidos suspendidos totales (SST), de efluentes de las duchas y pilas para el sistema de tratamiento de aguas.
  - b. Determinar la eficiencia de adsorción de la cáscara de coco como medio para la remoción de contaminación de agua, variando el tamaño de partícula del mesocarpo del coco realizando una evaluación preliminar del mismo, con el agua superficial expuesta.
  - c. Diseñar de un biofiltro con lecho orgánico utilizando cáscara de coco, para disminuir los valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (NT), sulfatos y fósforo total (PT), como un tratamiento secundario de los efluentes de las duchas y pilas.
  - d. Determinar la necesidad del diseño de un humedal, utilizando materiales y plantas locales de la comunidad, para la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (NT), sulfatos y fósforo total (PT), como un tratamiento secundario de los efluentes de las duchas y pilas.
  - e. Determinar los costos de equipo del sistema de tratamiento de agua residual de duchas y pilas del diseño propuesto.
  - f. Determinar con base en la norma 236 – 2006, Reglamento de las descargas y reusó de aguas residuales y la disposición de lodos, los usos que se le pueden dar al agua que se obtiene del sistema de tratamiento de aguas residuales.
5. Empoderar a vecinos de la comunidad Caserío Cumbre de San Agustín para la formación de promotores de salud.
- a. Actualizar la información usando diagnósticos comunitarios, como entrevistas e investigación con el fin de responder a las necesidades actuales.

- b. Determinar el nivel de educativo de las personas que participarán en los talleres del proceso educativo usando entrevistas, observaciones y datos de la Escuela Oficial Rural Mixta – EORM. Ubicada en el Caserío Cumbre de San Agustín.
- c. Diseñar y planificar usando la metodología “enfoque basado en la evidencia” y “método de intervención” para ejecutar los talleres que formen a los promotores de la salud.
- d. Diseñar y planificar talleres para concientizar a la comunidad en prácticas saludables del uso del agua, con base en los hallazgos del equipo utilizando métodos tradicionales, constructivistas y de la teoría por y para la comunidad.
- e. Ejecutar y evaluar el programa educativo, diseñado para formación de promotores de la salud.
- f. Diseñar y evaluar el uso de material didáctico que se utilizará en los talleres de capacitación, el cual debe adecuarse al nivel educativo de la comunidad.

### III. JUSTIFICACIÓN

El caserío Cumbre San Agustín es una de tantas poblaciones en Guatemala donde sus habitantes viven de escasos recursos y carecen de los servicios mínimos de urbanización, entre ellos la falta de agua potable. Al observar esta problemática se vio la necesidad de llevar a cabo el diseño de sistemas de captación y tratamiento de agua, estos sistemas deberán ser acompañados de un programa educativo que permita a los pobladores de la comunidad, en primera instancia, conocer las consecuencias del uso y consumo inadecuado del agua, además de tener la información clara y precisa de cómo mantener y usar los sistemas de captación y tratamiento de agua que se les instalará.

Según datos obtenidos del Plan de Desarrollo Morales Izabal, 2010, en este municipio la cobertura de agua potable en el área rural es de 79%, el resto se abastece por medio de pozos artesanales y ríos. (PDM, 2010). Anualmente en Guatemala, se generan 140 millones de m<sup>3</sup> de aguas residuales según el MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales), por lo que ríos, lagos y fuentes de agua se encuentran contaminados. Ya sea por desechos orgánicos, o por fuertes concentraciones de desechos químicos. La deficiencia en la potabilización del agua para consumo humano repercute en los índices de morbilidad en el sector. Según caracterización estadística de la República de Guatemala 2011, las principales causas de morbilidad en la población guatemalteca en general son enfermedades de parasitosis intestinal, diarreas agudas, infección intestinal bacteriana y amebiasis (Política Nacional del Agua de Guatemala, 2011).

Según un estudio realizado en el 2014 por Caballeros, se determinó que el agua de estas fuentes posee un alto porcentaje de DBO, DQO, *E. coli* y coliformes. Según la norma COGUANOR NTG 29001 el agua potable no debe tener presencia de la *E. coli* y coliformes, la presencia de estas bacterias son la causa de varias enfermedades como lo es la diarrea. Por lo tanto el agua disponible en la comunidad no es adecuada para consumo humano.

La ubicación y topografía de Cumbre San Agustín hace complicada la forma de vida de sus habitantes. Las fuentes de agua no son accesibles porque los habitantes tienen que caminar largas distancias de aproximadamente 1 ó 2 km para llegar a las mismas y regresar a sus hogares con agua suficiente para un día. El proyecto presentado a continuación se basa en la instalación de un sistema de captación de agua que permita la recolección y purificación de agua, que beneficien las condiciones de salud de los pobladores de la comunidad.

Un dato relevante es que Izabal presenta altas cantidades de precipitaciones lluviosas a lo largo del año, de acuerdo informe del INSIVUMEH, las lluvias se presentan durante 9 meses al año, con un promedio anual de precipitaciones de 2,459.5 mm de agua. Este es un factor que se puede aprovechar para que los pobladores cuenten con una fuente extra de agua. A partir de esto se propuso la instalación de un sistema de captación de agua pluvial en la iglesia del caserío ya que la ubicación

geográfica de la misma es más accesible que la del río, así como tener en un lugar neutral el sistema para que los pobladores puedan ir a recolectar el agua de manera más fácil.

Guatemala es un país con un caudal hídrico de 93,389 millones de metros cúbicos según estudios del INSIVUMEH. De este total, las fuentes superficiales son las que abastecen mayoritariamente a las comunidades, especialmente en el interior del país. Este problema conlleva a que se utilice de forma directa el agua de los afluentes por parte de los pobladores de dichas comunidades sin realizar ningún tratamiento previo, teniendo que transportar el agua en recipientes por largos caminos. Además según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el consumo de agua al día en las zonas rurales de la América Latina y Zonas del Caribe es de 70 a 190 litros ( $7.0E-02$  a  $1.9E-01$  m<sup>3</sup>). Al enfocarse únicamente en la necesidad de lavado de agua e higiene personal la OMS menciona que el consumo de agua por persona es de aproximadamente 26 litros ( $2.6E-02$  m<sup>3</sup>). Tomando esto en cuenta, se propuso la instalación de una bomba de ariete para la recolección y una bomba de pistón para la distribución de agua de río en la comunidad, esto como una opción para suplir la necesidad de extracción de agua del río.

En la actualidad, existen muchas tecnologías desarrolladas para el tratamiento de agua, sin embargo estas llegan a ser muy costosas y requieren de grandes cantidades de energía y aditivos químicos para funcionar. Es por esto que es necesario buscar tecnologías innovadoras que se puedan poner al servicio de la comunidad, que sean de bajo costo y fácil mantenimiento. Por lo que se propone diseñar un sistema de tratamiento de agua residual con procesos biológicos para el caserío, utilizando material orgánico como medio filtrante para la adsorción de nutrientes y contaminantes, que no emplee altos consumos de energía y evite el uso de aditivos químicos. Uno de los beneficios que presentan este tipo de tratamiento biológico es su alta eficiencia ya que esta es mayor a 90% de remoción de contaminantes: Sólidos suspendidos, coliformes fecales y alcanzando casi un 90% de eficacia y capacidad para deducir la DBO y DQO (Garzón-Zúñiga, 2003). Se pretende que el agua captada por los diferentes sistemas y tratada con procesos biológico sea utilizada por la comunidad para diferentes usos domésticos y agrícolas.

Con la incidencia educativa se pretende, principalmente, influir en la vida de la comunidad para mejorar sus condiciones de salud, por medio del plan educativo de promoción. Todas las personas o la mayoría debe conocer las consecuencias del uso y consumo inadecuado del agua, y así comprender la importancia del proyecto, su uso y mantenimiento para un considerable período de tiempo. Para detallar más que es una organización comunitaria la Universidad de Buenos Aires, por sus siglas UBA (s.f) define una organización comunitaria como, al conjunto de personas que se organizan a partir de un factor común –la conciencia de una carencia o necesidad– e intentan producir una transformación de esa realidad. Su accionar se orienta según valores e intereses compartidos por sus integrantes, imágenes y creencias comunes sobre la sociedad y su transformación. (UBA, s.f) De esta manera las capacitaciones que se brindarán en el Caserío Cumbre de San Agustín, beneficiarán directamente a los pobladores en relación a los conocimientos del uso y consumo adecuado del agua y así contrarrestar las enfermedades relacionadas con el líquido vital.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. El agua y su importancia

El agua es el compuesto químico más familiar para los seres humanos, el más abundante y el de mayor significado para la vida. Su excepcional importancia, desde el punto de vista químico, reside en que casi la totalidad de los procesos químicos que ocurren en la naturaleza, no solo en organismos vivos, sino también en la superficie de la tierra dependen del agua.

Tres cuartas partes de la superficie terrestre está cubierta por agua. El 98% es agua salada por lo que no puede utilizarse para beber ni para muchos procesos industriales. Un poco menos del 2% del agua de la Tierra se encuentra congelada en los casquetes polares, dejando así un 1% de agua dulce disponible para uso y consumo. (Hill, 1999)

En la Tierra el agua puede ser de la superficie o subterránea. El agua de la superficie se refiere a los ríos, lagos, casquetes polares, mares y océanos. El agua subterránea está por debajo de la superficie formando corrientes que pueden salir al exterior en las fuentes naturales como pozos y manantiales. (Pastor, 2014)

Según la Real Academia de la Lengua Española (2015) un río es una corriente de agua continua y más o menos caudalosa que va a desembocar a otra, en un lago o en el mar. A nivel más técnico Elliot (2010) hace referencia a la formación de estos iniciando por la lluvia que de forma preliminar únicamente humedece la tierra, pero que eventualmente llega a infiltrar los suelos. Cuando esta infiltración es muy lenta o bien se ha llegado a la saturación del suelo se forma una película de agua que se acumula en la superficie y que tiende al movimiento debido a los declives existentes en su alrededor por acción de la gravedad. (Elliot, 2010). El ciclo del agua permite la disponibilidad del agua en toda la Tierra. El ciclo inicia con la evaporación del agua que está en la tierra por el calor que el sol le da a nuestro planeta por radiación, toda el agua evaporada forma las nubes. Las lluvias se dan cuando las nubes llegan a su punto de saturación, es decir que ya llegaron a su concentración de vapor de agua máxima. Cuando las lluvias terminan aparece de nuevo el sol, para dar inicio de nuevo al ciclo.

Los ríos y lagos constituyen una importante fuente de riqueza, históricamente se conoce que los primeros pobladores de la tierra se asentaron en sus orillas para aprovechar su uso. El aprovechamiento de sus aguas les permitía beber, cocinar, irrigar sus cultivos y hacer otro tipo de actividades utilizando la misma. (Valtueña, 2002)

Según el uso que se le dé al agua esta se puede dividir en dos categorías que son potable o residual.

## B. Agua potable

El programa de conjunto de monitoreo define el agua potable como aquella que es utilizada para fines domésticos e higiene personal tal como para beber y cocinar, y que no represente ningún riesgo para la salud del consumidor. La Organización Mundial de Salud (OMS) tiene normas para el agua bebible a fin de tomar consideraciones de los contaminantes que pueden encontrarse en el agua. Estas normas se dividen en apartados tomando en cuenta aspectos como calidad bacteriológica, presencia de sustancias químicas (inorgánicas, orgánicas, plaguicidas, desinfectantes), componentes radioactivos y sustancias que puedan causarle algún efecto negativo a los consumidores. (Valtueña, 2002)

Según el estudio de carga mundial de enfermedades de la Organización Mundial de la Salud, los suministros de agua sucias o insuficientes, falta de aseo o higiene deficiente causan la muerte de más de dos millones de personas cada año en todo el mundo. Las muertes están relacionadas con las infecciones bacterianas, virales y parasíticas. Esta problemática ocupa el cuarto lugar entre las causas de muerte después de la desnutrición, uso de tabaco e hipertensión (Hill, 1999). En el caso de Guatemala los índices de desnutrición infantil y la muerte materno infantil han ido en aumento, dentro de las soluciones planteadas a esta problemática se encuentra facilitar el acceso al agua potable.

El agua tiene una composición precisa ( $H_2O$ ) por lo que se identifican fácilmente compuestos ajenos a ella. No es fácil definir cuáles son los componentes contaminantes, el agua rara vez se encuentra en forma pura aunque para muchos fines prácticos no es de importancia que contenga otros compuestos, todo depende del uso que se le dé. Se considera como contaminante al exceso de materia que provoque daño a humanos, animales, plantas y bienes o que perturbe negativamente a quienes hagan uso de ella. Por lo que la calidad del agua se atribuye en función del uso que se le dé. El agua disuelve, arrastra y emulsiona compuestos con lo que entra en contacto y modifican su calidad. La calidad del agua se evalúa utilizando índices de calidad de agua. (Jimenez, 2005)

Para determinar qué es contaminante y qué no, es cuestión de la cantidad de sustancia presente en el agua, este valor depende del uso que se le da al agua. Existen contaminantes químicos, biológicos y físicos. Los químicos producen efectos diversos y pueden ser de origen natural o sintético, pueden ser desechados directamente o se forman por la reacción entre otros compuestos en el agua. Estos pueden ser desechos de agricultura, pesticidas, aguas residuales, etc. Los biológicos son agentes que provocan enfermedades a los seres humanos, estos agentes entran al agua a través de heces fecales de los mismos humanos o animales. Se estima que el 80% de las enfermedades y más de 1/3 de los fallecimientos en países en vías de desarrollo como Guatemala se debe al consumo de agua contaminada. Los físicos son alteraciones de las propiedades físicas del agua como su temperatura, color, etc. (Jimenez, 2005)

La calidad del agua también se puede clasificar con la medida del contaminante. Existe la materia suspendida que abarca moléculas en fase dispersa con diámetro entre 1-100 $\mu$ m. La materia coloidal, la cual

es materia suspendida con diámetros entre 10-3-1um y son de sedimentación muy lenta. Y la materia disuelta la cual son moléculas o iones disueltos con diámetros equivalentes entre 10-5 y 10-3um. (Jimenez, 2005)

1. Evaluación de calidad del agua potable. Existen parámetros empleados para medir los contaminantes convencionales, los cuales fueron los primeros en ser tomados en cuenta por la ingeniería ambiental. Actualmente existen listas que definen de una manera más detallada, los criterios que se toman en cuenta depende de la región que está siendo considerada. (Jimenez, 2005)

La calidad del agua se puede evaluar en relación a normas específicas, las cuales varían con el tiempo y el lugar. En general, los parámetros que se evalúan se clasifican en grupos siendo estos:

a. Parámetros organolépticos: estas son características de color, sabor, olor y turbidez. Son características que el consumidor toma en cuenta aunque no necesariamente tienen relación con la salud.

b. Parámetros físico-químicos: Los cuales son pH, conductividad, sólidos totales, alcalinidad, dureza, oxígeno disuelto, cloro residual, etc.

Tabla 1- Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para que sea potable.

<b>Características</b>	<b>LMA</b>	<b>LMP</b>
Color	5,0 u	35,0 u <sup>(a)</sup>
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT <sup>(b)</sup>
Conductividad eléctrica	750 $\mu$ S/cm	1500 $\mu$ S/cm <sup>(d)</sup>
Potencial de hidrógeno	7,0-7,5	6,5-8,5 <sup>(c) (d)</sup>
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L
(a) Unidades de color en la escala de platino-cobalto		
(b) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).		
(c) En unidades de pH		
(d) Límites establecidos a una temperatura de 25°C.		

(COGUANOR NGO 29 001:99)

a. Sustancias indeseables en cantidades excesivas: Compuestos que pueden ser dañinos si exceden cierto nivel como dureza, fluoruros, fenoles, cloruros, hierro y manganeso.

b. Sustancias tóxicas: Se refiere a compuestos químicos orgánicos e inorgánicos que pueden ser tóxicos al ser humano, la gravedad depende de la dosis, periodo de exposición y otros factores ambientales. Estos pueden ser arsénico, cianuros, mercurio, hidrocarburos aromáticos, compuestos órgano-clorados y órgano-fosforado.

e. Parámetros microbiológicos: Estos son los más importantes para determinar la potabilidad del agua, como coliformes fecales, virus, Vibrio cholerae, etc. Las normas se basan en la asegurar la

ausencia de baterías indicadoras de contaminación por desechos humanos. (Jiménez, 2005)

2. Fuentes de agua potable. Es importante considerar que el acceso a líquido debe ser una prioridad, y la misma debiera cubrir los requerimientos mínimos necesarios para el consumo humano. Guatemala presenta algunas características climatológicas y ambientales importantes, que son propicias para la adquisición del vital líquido y que el mismo no sea de riesgo para las personas. Tres principales fuentes de agua, potenciales de ser agua potable son:

- Agua del aire: El agua potable del aire se refiere a la lluvia cuando llega a la tierra se puede obtener agua de la superficie. Generalmente contiene suciedad y microorganismos del aire aunque no son suficientes para causar enfermedades estomacales, considerándose agua limpia y potable. (Bartle, 2007)
- Agua de la superficie: El agua de superficie puede ser estática o en movimiento. El agua en movimiento es la de los ríos, esta es más probable que no estén contaminada con enfermedades derivadas del agua. El agua estática puede ser lagos, océanos o pantanos, estas aguas pueden estar más contaminadas pues al no estar en movimiento se estanca y se puede polucionar. (Bartle, 2007)
- Agua del subsuelo: El agua subterránea es el agua absorbida por la tierra y fluye de forma similar a la de la superficie. Una corriente subterránea se conoce como acuífero, no cualquier área cuenta con agua subterránea. Esta agua se puede obtener mediante la excavación de un pozo. (Bartle, 2007)

## C. Formas de captación de agua

La captación de aguas superficiales incluye ríos o arroyos y se refiere a la recolección de agua de ríos ya que es una forma simple y fácil para obtener agua. Puede ser muy peligroso ya que es un riesgo alto de obtener agua contaminada por microorganismos que provoquen enfermedades. Generalmente, cuando las personas eligen este tipo de agua lo hacen no por su beneficio a la salud sino por su disponibilidad. (Bartle, 2007)

Pozos: Cavar pozos es una tecnología muy común para obtener agua. Usualmente tiene bastantes metros de profundidad para asegurar que el agua subterránea no esté contaminada. El agua puede contaminarse fácilmente si el pozo no está cubierto; basura, insectos o heces de animales pueden caer en el pozo. Un balde atado a un lazo recoge el agua y el lazo se tira manualmente. También puede usarse una tubería para extraer el agua a través de una bomba manual o mecánica. (Bartle, 2007)

Perforaciones: Son pozos, pero no son excavados sino perforados. El agua se saca de la perforación mediante bomba manual, aunque también se puede utilizar una bomba mecánica. Generalmente está cubierto, lo que contribuye a producir agua no contaminada. También existen pozos profundos, estos pueden ser necesarios cuando no hay fuentes de acuíferos cerca de la superficie, sin embargo un acuífero

profundo es menos probable que contenga agua dulce y es más difícil de construir. La mayor ventaja es que es más probable que el agua no esté contaminada por microorganismos. La desventaja es que no tiene un sabor agradable, puede contener sales y minerales. (Bartle, 2007)

Almacenamiento de agua de inundación: Esta es una técnica parecida a la recolección de agua y se utiliza cuando llueve poco durante el año. Se cavan cuencas de captación en donde se tienen amplias llanuras planas y la lluvia fluye con gran vigor y cantidad. Se requiere conocer donde fluye el agua y en qué partes se inunda. Se cava un hueco en forma de herradura, generalmente a desnivel con una presa alrededor de tres lados, los tres lados de donde el agua no fluye, para captar el agua fluyente. Existen muchas desventajas de esta técnica, muchas veces los lagos que se han construido no duran por mucho tiempo ya que se absorbe durante la época seca. En caso que dure, el agua se pone lodosa y contaminada con microorganismos. (Bartle, 2007)

Obtención de agua pluvial: Esta técnica se utiliza cuando no existe agua subterránea o ríos y lagos cercanos. La forma más común de obtener el agua es mediante canaletas en los techos y se utilizan tuberías para transportar el agua hacia un contenedor de almacenaje. Sistemas más elaborados incluyen tanque de cemento bajo tierra y se utilizan bombas para obtener el agua, la ventaja es que es más fácil de mantener el agua limpia y libre de contaminación. Las técnicas más simples y baratas incluyen utilizar uno o dos barriles que toman el agua directo de la canaleta y las personas pueden recoger el agua de los barriles. (Bartle, 2007)

## D. Sistema de captación pluvial

Partes de un sistema y construcción: Como se ha descrito en los incisos anteriores, Guatemala cuenta con la posibilidad de obtener agua a través de la lluvia, por lo que se considera importante poder facilitar este a las poblaciones carentes del servicio por medio de la construcción, sistematización y enseñanza para el buen uso de este sistema, tal como se describe a continuación.

1. Área de captación: Los techos son el área de captación principal, la cantidad y calidad del agua captada depende del área y tipo de material del techo. Estas áreas deben limpiarse regularmente para remover polvo, hojas y excrementos de aves para mantener la calidad del producto. (Kumar, 2002) La captación está conformada por el techo de la edificación, el cual debe tener la superficie y pendiente adecuadas para lograr una mayor eficiencia de escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. (UNATSABAR, 2011)

Tabla 2- Eficiencia de escurrimiento según tipo de superficie

Eficiencia de escurrimiento estimado	
Eficiencia (%)	Tipo de superficie
90	Calamina met
80-90	Tejas de arcilla
80-90	Madera
60-70	Paja

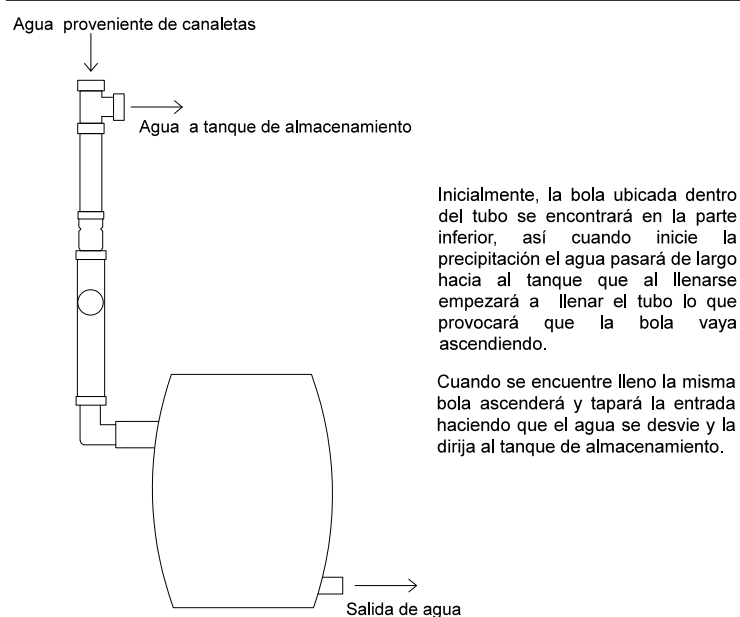
(UNATSABAR, 2011)

2. Dispositivo de almacenamiento: Los tanques de almacenamiento pueden estar sobre la tierra o bajo tierra. El uso de tanque de almacenamiento requiere precauciones para minimizar la contaminación por humanos, de animales y otros contaminantes del medio ambiente, así como una protección que lo encierre para prevenir crecimientos de algas y crianza de mosquitos. (Kumar, 2002)

3. Recolección y conducción: Consiste en conducir el agua recolectada por el techo directamente hasta el tanque de almacenamiento. Está conformada por canaletas que se adjuntan en los bordes más bajos del techo, que es en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo. Se recomienda que el material de las canaletas sea liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí para evitar fugas de agua. (Kumar, 2002)

4. Sistema interceptor: Este sistema es el dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia. La finalidad es impedir que materiales indeseables ingresen al tanque de almacenamiento y así minimizar la contaminación del agua ya almacenada (Kumar, 2002). El diseño de este dispositivo debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo, se estima que debe ser 1L por m<sup>2</sup> de techo. (UNATSABAR,2011)

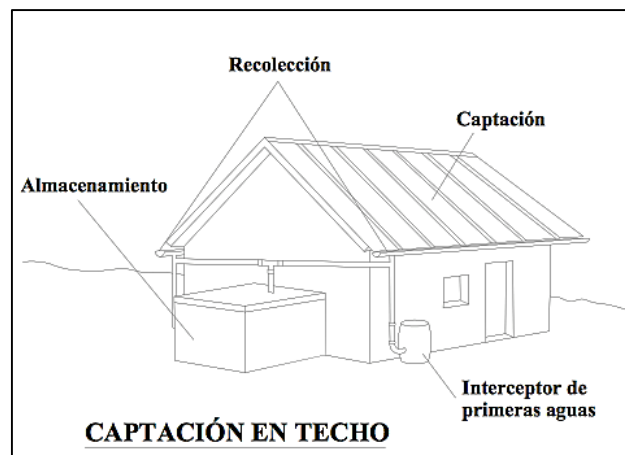
Ilustración 1- Funcionamiento de sistema interceptor de primeras aguas



5. Sistemas de transporte: Se requieren de estos sistemas para transferir el agua colectada en el techo hacia los tanques de almacenamiento. Se debe considerar que durante las primeras lluvias, polvo y escombros del techo serán arrastrados a las tuberías. (Kumar, 2002)

6. Almacenamiento: Es el dispositivo destinado a almacenar el volumen de agua de lluvia captada. Es importante que la unidad sea impermeable para evitar pérdida de agua, debe contar con tapaderas para impedir el ingreso de polvo e insectos, que sea de fácil mantenimiento, la entrada y salida debe contar con mallas para evitar ingreso de insectos y animales. (Kumar, 2002)

Ilustración 2- Sistema de recolección de agua pluvial



## E. Agua residual

El agua residual es una combinación de líquidos y residuos sólidos transportados en ésta que son eliminados de residencias, instituciones y establecimientos comerciales e industriales, así como el agua subterránea, superficial o pluvial que pudiera estar presente en la misma.

El agua residual no tratada provoca malos olores, además de contener microorganismos patógenos que puede habitar en el tracto intestinal de los humanos; esto debido a la descomposición de la materia orgánica que contiene el agua. Además, contiene nutrientes que promueven el crecimiento de plantas acuáticas y puede llegar a contener materiales tóxicos, potencialmente mutágenos o carcinógenos.

Es por esto que, para proteger la salud pública y el ambiente, es importante remover el agua residual de las fuentes de generación, tratarla y reusar, o dispersarla al ambiente después del tratamiento. Para alcanzar dicho objetivo, es necesario tener conocimiento acerca de los constituyentes de mayor impacto ambiental en el agua residual, el impacto de estos constituyentes cuando el agua residual es dispersada al ambiente, la transformación y el destino a largo plazo de los constituyentes en los procesos de tratamiento, los métodos de tratamiento que pueden ser utilizados para remover o modificar los constituyentes del agua residual y los métodos para el benéfico uso o disposición de lodos generados por los sistemas de tratamiento. (Metcalf & Eddy, 2003)

1. Constituyentes del agua residual. Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. Los análisis empleados usualmente para cuantificar estos constituyentes son reportados en la Tabla No2. Los datos en la tabla corresponden a una baja concentración a un caudal de 750 L/persona-día, para una concentración media al caudal de 460 L/ persona-día y para una concentración alta al caudal de 240 L/persona-día (Metcalf & Eddy, 2003).

Tabla 3 - Constituyentes del agua residual

Parámetro	Unidad	Baja concentración	Media concentración	Alta concentración
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	120	210	400
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> , 20 °C)	mg/L	110	190	350
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	250	430	800
Nitrógeno total (NT)	mg/L	20	40	70
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo total (PT)	mg/L	4	7	12
Coliformes totales (CF)	NMP	10 <sup>6</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>10</sup>
Coliformes fecales (CF)	NMP	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup> -10 <sup>8</sup>

(Metcalf & Eddy, 2003)

2. Análisis químicos, físicos y biológicos a evaluar en una planta de tratamiento de agua residual. Las técnicas de muestreo y de análisis usadas para caracterizar las aguas residuales van desde determinaciones químicas cuantitativas y precisas, hasta determinaciones biológicas y físicas cualitativas. Tanto las concentraciones de los contaminantes como los caudales de aguas residuales deben de conocerse para diseñar un sistema de tratamiento. Ambos son importantes para determinar la carga de contaminantes con la que se va a trabajar.

A continuación se presentan algunos de los análisis más comunes para caracterizar las aguas residuales:

- Características físicas. Sólidos suspendidos totales (SST): El agua residual contienen una variedad de materiales sólidos que varían desde hilachas hasta materiales coloidales. En una primera etapa de filtración se separan los sólidos suspendidos totales (SST) de los sólidos totales (ST). La medición de SST se denomina parámetro agrupado. En un esfuerzo por conocer más acerca de la naturaleza de las partículas que componen los SST en aguas residuales, la medida del tamaño de las partículas es un análisis que permite establecer la distribución de las partículas según su tamaño (Metcalf & Eddy, 2003).

Los sólidos totales (ST) son los sólidos totales retenidos en un filtro con un tamaño de por

específico, medidos después de ser secados a 105°C. El filtro más utilizado es el de fibra de vidrio cuyo tamaño es 1.58 µm. La clasificación de los diferentes tipos de sólidos se encuentran en la Tabla No. 3 (Metcalf & Eddy, 2003)

Tabla 4 - Definiciones para sólidos encontrados en agua residual

Prueba	Descripción
Sólidos totales (ST)	Residuo remanente después que la muestra ha sido evaporada y secada a una temperatura específica (103 a 105 °C)
Sólidos volátiles totales (SVT)	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los ST son calcinados (500 ± 50°C)
Sólidos fijos totales (SFT)	Residuo que permanece después de incinerar los ST (500 ± 50°C)
Sólidos suspendidos totales (SST)	Fracción de ST retenido sobre un filtro con un tamaño de poro específico (ver figura 2.4) medido después de que ha sido secado a una temperatura específica. El filtro más usado para la determinación de SST es el filtro Whatman de la fibra de vidrio que tiene un tamaño nominal de poros de aproximadamente 1.58 µm
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	Estos sólidos pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SST con calcinados (500 ± 50°C)
Sólidos suspendidos fijos (SSF)	Residuo remanente después de calcinar SST (500 ± 50°C)
Sólidos disueltos totales (SDT) (ST-SST)	Sólidos que pasan a través del filtro y luego son evaporados y secados a una temperatura específica. La medida de SDT comprende coloides y sólidos disueltos. Los coloides son de tamaño 0.001 a 1 µm
Sólidos disueltos volátiles (SDV) (SVT-SST)	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SDT son calcinados (500± 50°C)
Sólidos disueltos fijos (SDF)	Residuo remanente después de calcinar los SDT (500± 50°C)
Sólidos sedimentables	Sólidos suspendidos, expresados como mililitros por litros, que se sedimentarán por fuera de la suspensión dentro de un periodo de tiempo específico.

\* Adaptado de Standard Methods (1995).

(Critics & Tchobanoglous, 2000)

- Características Químicas Inorgánicas

pH: La expresión usual para medir la concentración del ion hidrógeno en una solución está en términos del pH, el cual se define como el logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno:

$$pH = -\log_{10} [H^+]$$

La concentración del ion hidrógeno se mide generalmente en forma instrumental empleando un pHmetro. También se emplean soluciones y papeles indicadores que cambian a de color a diferentes valores de pH.

El intervalo adecuado de pH para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, en general entre pH 5 y 9. Las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son difíciles de tratar mediante procesos biológicos. Si el pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertido, el pH de la fuente receptora puede ser alterado; por ello, la mayoría de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser descargado dentro de los límites específicos de pH (Critics & Tchobanoglous, 2000).

Nitrógeno total (NT): El nitrógeno (N) y el fósforo (P) son en la mayoría de los casos los nutrientes

más importantes esenciales para el crecimiento biológico, reciben el nombre de nutrientes o bioestimulantes. Debido a que el nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas, se necesitan conocer datos sobre la presencia de este nutriente a la hora de evaluar la trazabilidad del agua residual mediante procesos biológicos. En casos en los que la concentración de nitrógeno sea insuficiente será necesario adicionarlo para logra que el agua residual sea tratable. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico (Crites & Tchobanoglous, 2000).

En aguas residuales con contenidos bajos de sólidos suspendidos, el nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ , -III) puede medirse con métodos colorimétricos, titulación o con electrodos de ion específico.

El nitrógeno en forma de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ , +III), determinado por métodos colorimétrico es bastante inestable y fácilmente oxidado a la forma de nitrato. Es un indicador de contaminación previa al proceso de estabilización y rara vez su concentración excede 1 mg/L en agua residual o 0.1 mg/L en agua superficial o subterránea.

A pesar de estar presente en concentraciones tan bajas, los nitritos son de gran importancia en estudios de aguas residuales o aguas poluidas porque son altamente tóxicos para muchos peces y otras especies acuáticas.

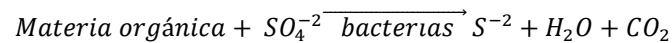
El nitrógeno en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ , +V), la especie química del nitrógeno más oxidada que se encuentra en aguas residuales, se determina por lo común por métodos colorimétricos. Debido a las normas que ha fijado la EPA, la concentración de nitratos en aguas para consumo no debe superar el valor límite de 45mg/L como  $\text{NO}_3^-$  dadas sus graves y fatales consecuencias sobre la población infantil. La concentración de nitratos en aguas residuales tratadas puede variar desde 2 a 30 mg/L (Crites & Tchobanoglous, 2000).

El nitrógeno total es la suma de nitrógeno orgánico, amoniaco, amonio, nitritos y nitratos. El nitrógeno orgánico proviene de una mezcla compleja de compuestos, que incluye aminoácidos, amino azúcares y proteínas. (Metcalf & Eddy, 2003)

Fósforo total (PT): El fósforo es importante en el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido al nocivo crecimiento incontrolado de algas en aguas superficiales, se han realizado grandes esfuerzos para controlar la cantidad de compuestos del fósforo provenientes de la descargas de aguas residuales domésticas, industriales y de escorrentía natural.

Las aguas residuales municipales, por ejemplo, pueden contener entre 4 y 12 mg/L de fosforo. Las formas más frecuentes en que se puede encontrar el fósforo en soluciones acuosas incluyen ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. Los ortofosfatos pueden ser  $\text{PO}_3^-$ ,  $\text{HPO}_2^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Juntos son llamados fosforo total. Analíticamente los ortofosfatos se pueden determinar pro métodos gravimétricos, volumétricos y físico – químicos (Metcalf & Eddy, 2003).

Sulfatos: El ion sulfato se encuentra en forma natural tanto en las aguas de abastecimiento como en las aguas residuales. El azufre es un elemento indispensable para la síntesis de proteínas, y por eso se libera cuando ocurre la degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen biológicamente a sulfuros bajo condiciones anaerobias y pueden formar sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ) al combinarse con el hidrógeno, como se muestra en la siguiente reacción



Los sulfatos se reducen a sulfuros en los digestores de lodos y pueden alterar el desarrollo normal de los procesos biológicos si la concentración excede los 200 mg/L (Metcalf & Eddy, 2003).

Cloruros: La concentración de cloruros en aguas residuales es un parámetro importante relacionado con sus reutilización. Los cloruros en aguas naturales proviene de los cloruros lixiviados de las rocas y los suelos con los que hacen contacto. Otras fuentes potenciales de cloruros son las descargas de aguas residuales domésticas, industriales agrícolas a las superficiales (Metcalf & Eddy, 2003).

3. Características químicas de compuestos orgánicos agregados. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta en suspensión. El DBO es un método usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento de las aguas residuales. Si existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho orgánico continuará hasta que el desecho se haya consumido (Metcalf & Eddy, 2003).

Tres actividades más o menos diferenciadas pueden ocurrir. Primero, una parte del desecho se oxida a productos finales y con ellos los microorganismos obtiene energía para el mantenimiento de las células y la síntesis de nuevo tejido celular. Simultáneamente otra fracción del desecho se convierte en tejido celular nuevo empleando la energía liberada durante la oxidación. Por último cuando se consume la materia orgánica las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular (Metcalf & Eddy, 2003).

Normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción ( $DBO_5$ ) y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro ( $mgO_2/L$ ). El método de ensayo se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos. La curva de consumo de oxígeno suele ser al principio débil y después se eleva rápidamente hasta un máximo sostenido, bajo la acción de la fase logarítmica de crecimiento de los microorganismos.

Valores típicos para la relación DBO/DQO para aguas municipales no tratadas están en el rango de 0.3 a 0.8. Si la relación DBO/DQO es igual o mayor a 0.5, el agua residual se considera de fácil tratamiento por métodos biológicos. Si es menor a 0.3, puede que el agua residual tenga algunos componentes tóxicos

o que se requieran microorganismos aclimatados para su estabilización. (Metcalf & Eddy, 2003).

**Demanda química de oxígeno (DQO):** La prueba DQO es usada para medir el material orgánico presente en la aguas residuales, susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de dicromato en medio ácido.

El DQO en el agua residual, en general, debe ser mayor al DBO5 debido a que una mayor cantidad de compuestos puede ser oxidada en forma química que en forma biológica y porque el DBO5 no equivale a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). (Davis, 2010)

**Coliformes fecales (CF):** El agua sirve como medio de transporte para ciertas enfermedades que pueden ser transmitidas por vía fecal-oral. Es por esto que se requiere de organismos indicadores que estén presentes cuando existe contaminación fecal. Los coliformes fecales son microorganismos con una estructura parecida a la de una bacteria común que se llama *Escherichia coli* y se transmiten por medio de los excrementos. La *Escherichia* es una bacteria que se encuentra normalmente en el intestino del hombre y en el de otros animales. Hay diversos tipos de *Escherichia*; algunos no causan daño en condiciones normales y otros pueden incluso ocasionar la muerte.

El grupo de bacterias coliformes fecales comprende organismos gram-negativos, tanto aerobios como anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan lactosa y tienen la capacidad de producir gas en un lapso máximo de 48 horas de incubación a una temperatura de  $44.5 \pm 0.1$  °C. Aunque este grupo no incluye a ninguna especie específica, la más representativa es *Escherichia coli* (Camacho, 2010).

Las concentraciones de bacterias coliformes se reportan como el número más probable (NMP) por 100 mL. El NMP se basa en la aplicación de la distribución de Poisson para valores extremos en el análisis del número de resultados positivos y negativos obtenidos al analizar múltiples porciones del mismo volumen y en porciones que constituyen una serie geométrica (Metcalf & Eddy, 2003).

4. Consideraciones para la elección y diseño de procesos. El ingeniero de diseño debe seleccionar la combinación más apropiada de procesos a fin de transformar las características iniciales del agua residual a niveles aceptables para cumplir con las normas de vertimiento y de reutilización del agua residual tratada (Crites & Tchobanoglous, 2000).

a. Elección de los métodos de tratamiento. La elección de los métodos y procesos de tratamiento depende de los constituyentes a remover y del grado de remoción de los mismos. En la tabla No.4 se aborda la clasificación de los métodos de tratamiento, los niveles de tratamiento, la aplicabilidad de los diferentes métodos y los factores importantes a tener en cuenta al momento de elegir uno ellos.

Tabla 5 - Niveles de tratamiento del agua residual

<b>Nivel de tratamiento</b>	<b>Descripción</b>
Preliminar	Remoción de constituyentes del agua residual que puedan causar problemas operacionales o de mantenimiento con los procesos y operaciones de tratamiento, y sistemas auxiliares
Primario	Remoción de parte de los sólidos y materia orgánica suspendidos presentes en el agua residual
Primario avanzado	Remoción intensiva de sólidos suspendidos y materia orgánica presentes en el agua residual, en general llevada a cabo mediante la adición de insumos químicos o filtración
Secundario	Remoción de compuestos orgánicos biodegradables y sólidos suspendidos. La desinfección también se incluye dentro del concepto de tratamiento secundario convencional
Secundario con remoción	Remoción de compuestos orgánicos biodegradables, sólidos suspendidos y nutrientes (nitrógeno o fósforo por separado o en conjunto)
Terciario	Remoción de sólidos suspendidos residuales, en general por filtración en medio granular. La desinfección hace siempre parte del tratamiento terciario, incluyéndose a menudo en esta definición la remoción de nutrientes
Avanzado	Remoción de materiales disueltos o en suspensión que permanecen después del tratamiento biológico convencional. Este nivel se aplica en casos donde se requiere reutilizar el agua tratada o en el control de eutroficación de fuentes receptoras

(Crites & Tchobanoglous, 2000)

b. Clasificación de los métodos de tratamiento Los constituyentes presentes en el agua residual se remueven por mecanismo de tipos físicos, químicos y biológicos. Los métodos se clasifican por lo general en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios, procesos biológicos unitarios. En los sistemas de tratamiento se realizan combinaciones de estas operaciones y procesos (Crites & Tchobanoglous, 2000):

- Operaciones físicas unitarias: métodos de tratamiento en los cuales predomina la aplicación de fuerzas físicas. Por ejemplo la floculación, sedimentación, flotación, filtración, tamizado, mezcla y transferencia de gases (Crites & Tchobanoglous, 2000).
- Procesos químicos unitarios: Métodos de tratamiento en los cuales la remoción o transformación de contaminantes se produce por adición de insumos químicos o por reacciones químicas. Como por ejemplo la precipitación, adsorción y desinfección (Crites & Tchobanoglous, 2000).
- Procesos biológicos unitarios: métodos de tratamiento en donde la remoción de contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica. La principal aplicación de los procesos biológicos es la remoción de constituyentes orgánicos biodegradables de las aguas residuales. Estas sustancias se transforman en gases que escapan a la atmósfera, y en tejido celular biológico puede ser removido por sedimentación. Los tratamientos biológicos se emplean para remover (nitrógeno y fósforo) de las aguas residuales (Crites & Tchobanoglous, 2000).

c. Factores importantes en la elección de procesos Los factores importantes que se deben considerar en la elección y análisis de la operación y el proceso para el tratamiento de agua residual se presentan en la tabla No.5. Esta tabla debe utilizarse únicamente como una lista de chequeo en la elección de proceso

hasta que se adquiera mayor experiencia:

Tabla 6 - Factores a tener en cuenta en la evaluación y elección de operación y procesos

Factor	Comentario
1. Aplicabilidad del proceso	La aplicabilidad de un proceso se evalúa con base en experiencias previas, registros de operación a escala real, datos publicados y estudios de planta piloto para evaluar nuevas o inusuales condiciones de operación
2. Caudal de operación	Los procesos deben estar preparados para soportar el caudal esperado de operación. Las lagunas de estabilización no son convenientes para operar bajo caudales afluentes en extremo grandes
3. Variaciones de caudal	Muchos procesos y unidades de tratamiento se diseñan para operar bajo intervalos amplios de caudal. Muchos procesos funcionan mejor bajo caudales relativamente constantes. En caso de presentarse variaciones muy amplias de caudal, se requiere la instalación de tanques para homogeneizar el caudal afluente
4. Características del agua residual cruda	Las características del agua residual a tratar afectan directamente los procesos de tratamiento (p. ej., químico o biológico) y los requisitos para la operación de los mismos
5. Constituyentes inertes e inhibidores	¿Qué tipo de constituyentes presente inhiben el desarrollo del tratamiento? ¿Qué constituyentes no se afectan durante las etapas de tratamiento?
6. Condiciones climáticas	La temperatura afecta la velocidad de reacción de muchos procesos químicos y biológicos, al igual que puede afectar las operaciones físicas de tratamiento. Temperaturas medias pueden acelerar la generación de olores y limitar la dispersión de éstos en la atmósfera
7. Cinética de reacción y elección del reactor	El tamaño del reactor depende de la cinética de la reacción predominante. La expresión de velocidad de reacción se obtiene por lo general a partir de la experimentación, literatura especializada, resultados de estudios en planta piloto
8. Desempeño	El desempeño se mide en términos de la calidad del efluente, que debe ser consistente con las normas de vertimiento
9. Residuos del tratamiento	Las clases y cantidades de residuos sólidos, líquidos y gaseosos generados, se deben conocer o estimar. A menudo, los estudios de planta piloto se utilizan para identificar y cuantificar los residuos generados
10. Procesamiento de lodos	¿Existe alguna situación que haga del procesamiento y disposición de lodos una práctica costosa o impracticable? ¿Cómo afecta la recirculación de lodos el líquido contenido en los procesos u operaciones unitarios? La elección del sistema de procesamiento de lodos debe ir de la mano con la elección del sistema tratamiento del agua residual
Factor	Comentario
11. Restricciones ambientales	Factores ambientales, tales como la existencia de vientos, la dirección predominante del viento y la proximidad a zonas residenciales, pueden restringir o afectar la implementación de ciertos procesos, especialmente aquellos que generan olores. El ruido y el tráfico pueden afectar la elección de una planta. Las fuentes receptoras pueden tener limitaciones especiales para el vertido de aguas residuales tratadas, exigiéndose incluso la remoción de constituyentes específicos como los nutrientes
12. Condiciones químicas	¿Qué fuentes y en qué cantidad deben disponerse a largo plazo para el exitoso funcionamiento de procesos u operaciones unitarios? ¿Qué efectos puede causar la adición de insumos químicos sobre las características de los residuos del tratamiento y sobre los costos del mismo?
13. Condiciones energéticas	Las necesidades energéticas, por ejemplo, los futuros costos energéticos, deben conocerse si se van a diseñar sistemas de tratamiento bajo el criterio de costo-efectividad
14. Recursos adicionales	¿Qué recursos adicionales, en caso de requerirse, deben disponerse para la exitosa implementación del sistema de tratamiento propuesto usando las operaciones o procesos unitarios que están siendo considerados?
15. Condiciones de personal	¿Cuántos operarios y qué nivel de conocimiento requieren para hacer funcionar las operaciones y procesos unitarios? ¿El nivel de conocimiento está acorde con las exigencias? ¿Será necesario capacitar al personal?
16. Condiciones de operación y mantenimiento	¿Qué condiciones especiales de operación y mantenimiento deben ser previstas? ¿Qué partes o repuestos se necesitan? ¿Cuál es su costo y disponibilidad en el mercado?
17. Procesos auxiliares	¿Qué tipo de procesos adicionales se requieren? ¿Qué ocurre con la calidad del efluente cuando éstos están fuera de operación?
18. Nivel de confianza	¿Cuál es el tiempo de confiabilidad de las operaciones y procesos unitarios propuestos para el tratamiento? ¿La operación o proceso es vulnerable? ¿Puede soportar cargas choque periódicamente? ¿Qué efectos producen sobre la calidad del efluente?

(Crites & Tchobanoglous, 2000)

## F. Consideraciones para el diseño de plantas de tratamiento de agua residual:

Los pasos involucrados en el proceso de análisis y diseño de plantas de tratamiento bien sean grandes o pequeñas son (Crites & Tchobanoglous, 2000):

1. Estudios de caracterización y conducción del caudal de las aguas residuales a tratar.
2. Elección preliminar de procesos
3. Realización de estudios a nivel de laboratorio y planta piloto
4. Elaboración de alternativas de diagramas de flujo de tratamiento
5. Definición de los criterios de diseño
6. Distribución física de los elementos de las plantas de tratamiento
7. Preparación de perfiles hidráulico
8. Elaboración del balance de sólidos realización de planos de construcción, especificaciones y documentación para licitación
9. Estimación de costos de ingeniería.

Caudal afluente y caracterización del agua residual: El caudal de agua residual y la cantidad de constituyentes a remover son parámetros claves dentro del diseño de los procesos. En la tabla No. 6 se prestan los principales factores de diseño y los factores que definen el tamaño de las instalaciones de una planta de tratamiento secundario. En caso de no constarse con las características del agua residual a tratar, deben realizar esfuerzos de caracterización (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Tabla 7 - Efecto del caudal y la carga de contaminantes sobre la elección y el tamaño de las instalaciones para el tratamiento de agua residual

<b>Operación o proceso unitario</b>	<b>Factores críticos de diseño</b>	<b>Criterio para dimensionar</b>	<b>Efectos sobre el desempeño de la planta</b>
Conducción y bombeo de agua residual	Caudal máximo horario	Caudal	Inundaciones, sobrecarga del sistema de recolección o unidades de tratamiento si el caudal pico de diseño es superado
Tamizado	Caudal máximo horario	Caudal	Incremento en las pérdidas por horario aumento del caudal a través de rejillas y mallas para tamizado
	Caudal mínimo horario	Velocidad en canales	Formación de depósitos de sólidos en canales con baja velocidad
Remoción de arenas	Caudal máximo horario	Caudal de inundación	A mayor caudal, menor la eficiencia en los desarenadores y, por tanto, aparición de problemas en otros procesos
Sedimentación primaria	Caudal máximo horario	Caudal de inundación	La eficiencia en la remoción de sólidos, disminuye al incrementarse el caudal, aumentándose la carga de sólidos en el sistema de tratamiento secundario
	Caudal mínimo horario	Tiempo de retención hidráulico	A velocidad baja se pueden presentar condiciones anaerobias por aumento en el tiempo de retención hidráulico

Continuación Tabla 7

Lodo activado	Caudal máximo horario	Tiempo medio de retención celular	Arrastre de biomasa a caudal alto; puede requerirse recirculación de efluente a bajo caudal
	Carga orgánica máxima	Relación alimento/microorganismo	La alta demanda de oxígeno puede exceder la capacidad de aireación y disminuir la eficiencia del tratamiento
Filtro percolador	Caudal máximo	Carga hidráulica horario	El arrastre de biomasa o caudales elevados ocasiona disminución de la eficiencia del proceso
	Caudal máximo horario	Carga hidráulica y orgánica	Para mantener el proceso se requiere recirculación incrementada a bajos caudales
	Carga orgánica máxima	Relación carga másica/volumen del medio	Concentración de oxígeno inadecuada durante carga pico ocasiona disminución en la eficiencia del proceso y genera olores
Sedimentación secundaria	Caudal máximo horario <sup>†</sup>	Caudal de inundación o tiempo de retención	Reducción en la eficiencia de remoción de sólidos si aumenta el de caudal o si disminuye el tiempo de retención
	Caudal mínimo horario	Tiempo de retención hidráulico	A tiempos de retención bajos se puede generar resuspensión de lodos sedimentados

Crites & Tchobanoglous, 2000)

Estudios a nivel de laboratorio y planta piloto: Cuando se desconoce la aplicabilidad de un proceso bajo condiciones especiales, pero existe la posibilidad de beneficios adicionales, se deben realizar estudios a nivel de laboratorio o planta pilotos, los ensayos de laboratorio se realizan con pequeñas cantidades de agua residual a tratar, mientras que los ensayos a escala de planta piloto se llevan cabo con caudales que van desde 1% al 10% del caudal de diseño. Los estudios de planta piloto se realizan para establecer la adecuación del proceso en el tratamiento de aguas residuales particulares, bajo condiciones ambientales específicas, y para obtener información básica necesaria para el diseño a escala real. Los factores que deben ser tomado en cuenta en la planeación de estudios para el tratamiento de aguas residuales a escala de planta piloto se presentan en la Tabla No.7 (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Tabla 8 - Consideraciones en la planeación de estudios de planta piloto

Ítem	Consideración
Motivos para realizar estudios de planta piloto	<p>Ensayar procesos nuevos</p> <p>Simulación de otros procesos</p> <p>Predecir el desempeño de un proceso</p> <p>Optimizar el diseño de un sistema de tratamiento</p> <p>Documentar la eficiencia de un proceso, por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuantificar el efecto de parámetros de calidad del agua sobre la eficiencia del proceso de desinfección con radiación UV</li> <li>• Estimar el efecto del régimen hidráulico del reactor de desinfección sobre el proceso de radiación con UV</li> <li>• Investigar acerca de la fotorreacción y sus impactos</li> </ul> <p>Satisfacer requerimientos de entidades reguladoras</p> <p>Satisfacer requerimiento legales</p>
Tamaños de la planta piloto	<p>Escala de laboratorio</p> <p>Escala piloto</p> <p>Prototipo a escala real</p>

## Continuación Tabla 8

## Factores no físicos de diseño

Disponibilidad de tiempo, dinero y mano de obra  
 Grado de innovación y motivación involucrados  
 Calidad del agua cruda o tratada  
 Consideración de efectos de cambios estacionales  
 Ubicación de las instalaciones de tratamiento  
 Complejidad del proceso  
 Resultados de ensayos similares  
 Variables dependientes e independientes

## Factores físicos de diseño

Factores de escalado  
 Tamaño de prototipo  
 Variaciones de caudal esperadas  
 Instalaciones y equipos necesarios  
 Materiales de construcción

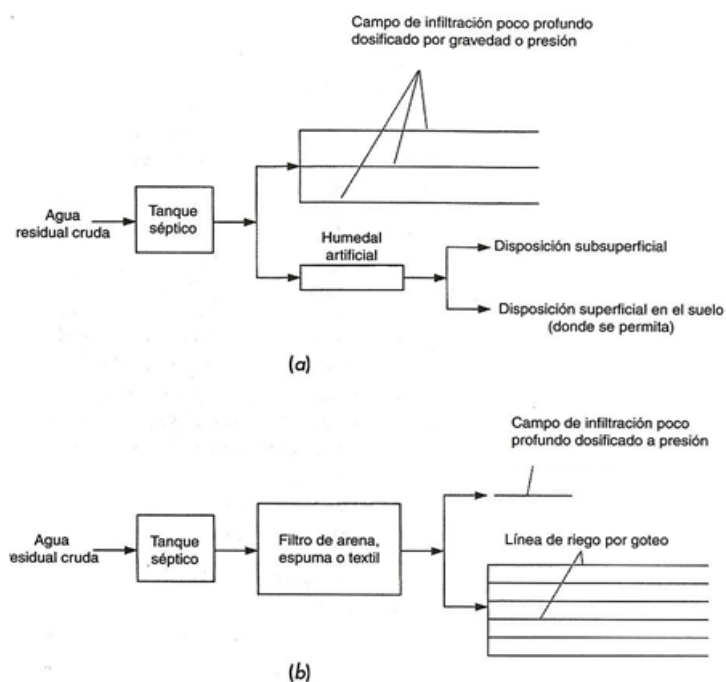
## Diseño de programas piloto de ensayos

Variables dependientes e intervalo de ocurrencia  
 Variables independientes e intervalo de ocurrencia  
 Tiempo requerido  
 Ensayo de instalaciones centrales y anexas  
 Efectos inherentes a la época del año  
 Protocolos de ensayos  
 Diseños estadísticos para el análisis de resultados

(Crites & Tchobanoglous, 2000)

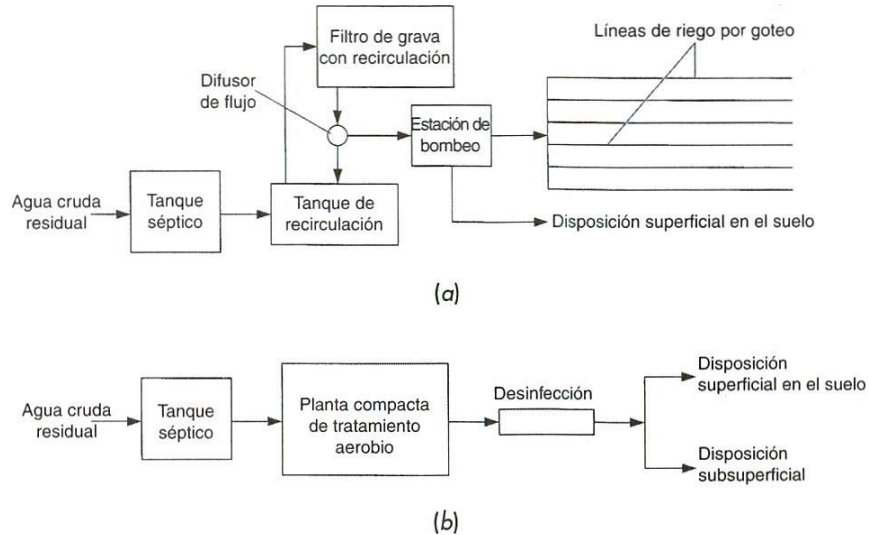
Desarrollo de diagramas alternativos de flujo de los procesos de tratamiento: Un diagrama de flujo agrupa todas las operaciones y procesos unitarios previamente seleccionados para ser implementados en un tratamiento específico. Por lo general se presenta varias alternativas para un mismo caso y así poder comparar el costo – efectividad de los sistemas de tratamiento planeados. En un diagrama de flujo es de vital importancia conocer en detalle los procesos planeados, ya que un error de apreciación en la eficiencia o aplicación apropiada de un proceso particular puede ser desastroso. A continuación se presentan algunas figuras de diagramas de flujo para el tratamiento de aguas residuales (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Ilustración 3 – Diagramas de flujo para el tratamiento de agua residual en el punto de generación



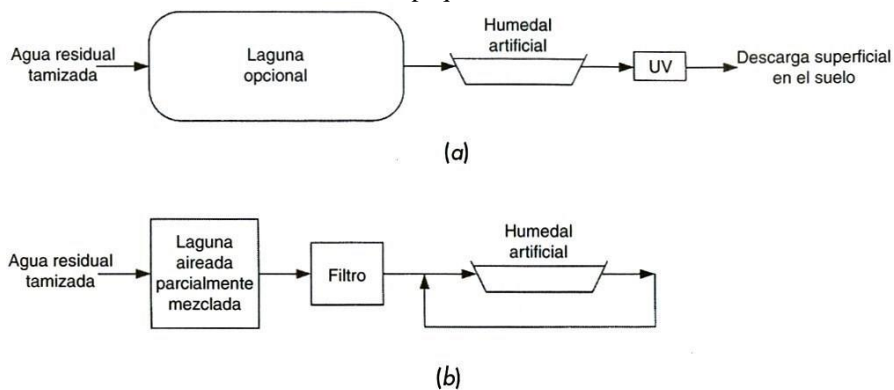
- (a) sistema convencional que emplea un tanque séptico y campo de infiltración dosificado por gravedad o a presión, o humedad artificial y vertimiento superficial o subsuperficial. (b) sistema con tanque séptico, filtro de lecho empacado intermitente y campo de infiltración poco profundo combinado con vertimiento en el suelo por riego mediante goteo. Fuente: Crites & Tchobanoglous, 2000

Ilustración 4 – Diagrama de flujo de sistemas convencionales para tratamiento de pequeños caudales



- (a) Tanque séptico grande con filtro de grava con recirculación y disposición en línea de riego por goteo o vertimiento superficial en el suelo, y (b) sistema de tratamiento compacto, desinfección del efluente con cloro o radiación UV y vertimiento superficial en el suelo o descarga subsuperficial (Crites & Tchobanoglous, 2000)

Ilustración 5 – Diagramas usuales para tratamiento de agua residual proveniente de comunidades pequeñas



- (a) laguna facultativa seguida por un humedal artificial, desinfección por radiación UV y descarga superficial; (b) laguna aireada parcialmente mezclada con filtro de arena para mejorar la calidad del efluente y vertimiento en un humedal artificial con recirculación (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Varias distribuciones físicas de las instalaciones que comprenden el sistema de tratamiento se realizan para el terreno asignado en el proyecto. Cada uno de los procesos se ubican sobre el plano del terreno, al igual que las conducciones requeridas. Las instalaciones que desarrollan procesos similares se agrupan en lo posible.

Perfiles hidráulicos: los perfiles hidráulicos se realizan para condiciones de caudal promedio y caudal máximo. Las pérdidas de carga en las diferentes unidades de tratamiento se calculan por tres razones; asegurar que el gradiente hidráulico es el adecuado en las diferentes unidades de tratamiento; establecer las alturas manométricas de los equipos de bombeo en casos donde se requieren bombas y optimizar en términos hidráulicos la ubicación de las unidades de tratamiento (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Algunos de los valores usuales de la pérdida de carga a través de las diferentes unidades de tratamiento son para sedimentación primaria un intervalo de pérdida de carga de (0.45m – 0.90 m), para filtro percolador de baja carga (3 – 6 m), alta carga medio de grava (1.8, 4.8 m), filtración (3 – 4.80m).

Presupuestos: La estimación de costos de un proyecto incluye por lo general la proyección de costos de capital, costos anuales de operación y mantenimiento, y costos basados en el tiempo de vida útil de equipos e instalaciones. Los costos de capital comprenden los costos de equipos, de construcción de instalaciones y de puesta en marcha. Los costos de tratamiento de agua residual (Q/gal de agua tratada) se calculan al dividir los costos de tiempo de vida útil (Q/año) por la cantidad anual de agua residual tratada (gal/año). Generalmente se utiliza un período o de 20 años como tiempo de vida del proyecto (Crites & Tchobanoglous, 2000).

## G. Operaciones y procesos unitarios de una planta de tratamiento de agua residual

Las operaciones y procesos unitarios empleados para el tratamiento de aguas residuales se presentan a continuación:

1. Pre – Tratamiento: Es un conjunto de procesos realizados al inicio del sistema de tratamiento de agua residual que tienen como objetivo acondicionar el agua residual para ser tratada en las siguientes etapas de proceso de tratamiento, eliminar sólidos gruesos (ramas, plásticos, piedras, etc.), grasas y arenas que pueden afectar, obstruir o dañar el sistema en los procesos posteriores y reducir la acumulación de materiales en los procesos ubicados aguas debajo del tratamiento preliminar.

En los sistemas de pequeños municipios (con menos de 2000 habitantes) es común utilizar un canal, donde se encuentran en forma sucesiva una zona en la que se ubica un aliviadero de exceso de caudal, otra zona en la que se sitúa una rejilla de gruesos y finos, y una última zona de desarenado. Al final del canal se puede colocar un desengrasante, en el caso que la cantidad de aceites y grasas descargados sean altos. De lo contrario, los tanques Imhoff o las fosas sépticas en el tratamiento primario pueden remover dichos compuestos. (García y Corzo, 2008)

2. Tratamiento Primario: Su principal objetivo es el de remover aquellos contaminantes que pueden sedimentar, como por ejemplo los sólidos sedimentables y algunos suspendidos o aquellos que pueden flotar como las grasas (Metcalf & Eddy, 2003).

El tratamiento primario presenta diferentes alternativas según la configuración general y el tipo de tratamiento que se haya adoptado. Se puede hablar de una sedimentación primaria como último tratamiento o precediendo un tratamiento biológico, de una coagulación cuando se opta por tratamientos de tipo físico-químico (Metcalf & Eddy, 2003).

- Sedimentación primaria: Se realiza en tanques ya sean rectangulares o cilíndricos en donde se remueve de un 60 a 65% de los sólidos sedimentables y de 30 a 35% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales. En la sedimentación primaria el proceso es de tipo floculento y los lodos producidos están conformados por partículas orgánicas (Metcalf & Eddy, 2003).

Un tanque de sedimentación primaria tiene profundidades que oscilan entre 3 y 4m y tiempos de detención entre 2 y 3 horas. En estos tanques el agua residual es sometida a condiciones de reposo para facilitar la sedimentación de los sólidos sedimentables. El porcentaje de partículas sedimentadas puede aumentarse con tiempos de detención más altos, aunque se sacrifica eficiencia y economía en el proceso; las grasas y espumas que se forman sobre la superficie del sedimentador primario son removidas por medio de rastrillos que ejecutan un barrido superficial continuo (Metcalf & Eddy, 2003).

3. Tratamiento secundario: El objetivo de este tratamiento es remover la demanda biológica de oxígeno (DBO) soluble que escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos sedimentables.

El tratamiento secundario intenta reproducir los fenómenos naturales de estabilización de la materia orgánica, que ocurre en el cuerpo receptor. La ventaja es que en ese proceso el fenómeno se realiza con más velocidad para facilitar la descomposición de los contaminantes orgánicos en períodos cortos de tiempo. Un tratamiento secundario remueve aproximadamente 85% de la DBO y los SS aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO) y bacterias patógenas (Metcalf & Eddy, 2003).

Además de la materia orgánica se va a presentar gran cantidad de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos, rotíferos, etc., que entran en estrecho contacto con la materia orgánica la cual es utilizada como su alimento. Los microorganismos convierten la materia orgánica biológicamente degradable en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O y nuevo material celular. Además de estos dos ingredientes básicos microorganismos – materia orgánica biodegradable, se necesita un buen contacto entre ellos, la presencia de un buen suministro de oxígeno, aparte de la temperatura, PH y un adecuado tiempo de contacto. Por lo tanto, lo que hace que la biomasa establezca el agua es que le da la energía y los componentes químicos necesarios para su reproducción. El proceso de conversión biológico se puede resumir en la siguiente ecuación (Metcalf & Eddy, 2003):

Residuo (donador de electrones) + Biomasa + Receptor de electrones

$\xrightarrow{\text{Condiciones ambientales adecuadas}}$  Más biomasa + Donador de electrones oxidado + Receptor de electrones reducido

El residuo normalmente sirve como un donador de electrones, necesitando que haya un receptor de electrones. Una variedad de sustancias puede ser utilizada como donador de electrones, entre las cuales están: oxígeno molecular (O<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), formas oxidadas de nitrógeno, azufre y sustancias orgánicas. Las características de los productos obtenidos dependen del donador de electrones. (Perry, 2008, p. 22-66)

Tabla 9 - Donadores de electrones y productos finales en reacciones biológicas en el tratamiento secundario de agua residual

Donador de electrones	Producto obtenido
Oxígeno molecular	Agua, CO <sub>2</sub> , nitrógeno oxidado
Nitrógeno oxidado	N <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, NO, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O
Azufre oxidado	H <sub>2</sub> S, S, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O
CO <sub>2</sub> , ácido acético, ácido fórmico	CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>
Compuestos orgánicos complejos	H <sub>2</sub> , compuestos orgánicos simples, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O

(Perry, 2008, p. 22-66)

Las condiciones de reacción adecuadas son requeridas para que la oxido-reducción planteada en la ecuación 1 se lleve a cabo. Estas condiciones son requeridas por la biomasa, y no por el donador o receptor de electrones. Dichas condiciones ambientales incluyen el pH, la temperatura, los nutrientes, el balance iónico, entre otras. En general, la biomasa puede funcionar en un rango amplio de pH, generalmente de 5 a 9. Sin embargo, algunos microorganismos requieren un rango de pH más reducido. Es importante mantener el pH a un nivel relativamente constante en todo el proceso (Perry, 2008).

De igual manera ocurre con la temperatura, ya que muchos microorganismos pueden sobrevivir en un rango amplio de temperatura pero no se ajustan adecuadamente a fluctuaciones pequeñas, incluso de algunos grados centígrados. Existen tres rangos de temperatura principales en los cuales un organismo puede sobrevivir. El rango psicrófilico (5 a 20 °C), el rango mesófilico (20 a 45 °C) y el rango termófilico (45 a 70 °C). Generalmente, los microorganismos que funcionan bien en uno de estos rangos, no pueden funcionar eficientemente en el resto de rangos. Debido a que es económicamente poco viable ajustar la temperatura de tratamiento del agua residual, la mayoría de procesos se realizan en el rango mesófilico (Perry, 2008).

Todos los microorganismos requieren una cantidad variada de un gran número de nutrientes. Son requeridos debido a que son componentes necesarios de su crecimiento. Los nutrientes pueden ser divididos en tres tipos: macro, menores y micro. Los macronutrientes son aquellos que abarcan la mayoría de la biomasa. Tienen la fórmula molecular comúnmente aceptada para la biomasa (C<sub>60</sub>H<sub>87</sub>O<sub>23</sub>N<sub>12</sub>P). El carbón,

hidrógeno y oxígeno proviene normalmente del residuo y el agua, pero el nitrógeno y el fósforo deben ser agregados en el caso del tratamiento de agua industrial (Metcalf & Eddy, 2003).

Se recomienda que la masa de nitrógeno sea al menos el 5% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la masa de fósforo sea al menos el 20% de la masa de nitrógeno (Perry, 2008). Los nutrientes menores incluyen los compuestos inorgánicos típicos que se pueden encontrar en el agua: sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, cloro y sulfatos. El rango de concentraciones requerido en el agua residual para estos nutrientes menores es de 1 a 100 mg/L. Los micronutrientes más comunes son: cobre, cobalto, níquel, manganeso, boro, vanadio, zinc, plomo, molibdeno, vitaminas orgánicas o aminoácidos. Estos nutrientes deben estar en una concentración de 1 a 100 µg/L (Perry, 2008).

La cantidad de biomasa aumenta en el tratamiento secundario con respecto a la que entró. Esto tiene la ventaja de que existe una reproducción continua de los microorganismos que son requeridos para estabilizar el agua. Sin embargo, el nivel de microorganismos puede aumentar de tal manera que el proceso en sí mate a los microorganismos. Estos organismos se refieren comúnmente como lodos (Perry, 2008, p. 22-66)

El tratamiento secundario basado en procesos biológicos es el más utilizado para el tratamiento de agua residual industrial debido a su bajo costo y que la mayoría de sustancias pueden ser estabilizadas. Sin embargo, algunas sustancias son difíciles de degradar biológicamente y no hay una forma de predecir la biodegradabilidad de un compuesto orgánico específico; se debe depender de la experiencia y las pruebas en el laboratorio. (Perry, 2008, p. 22-66)

Otras posibles tratamientos secundarios son lodos activados, biodisco, lagunaje, filtro biológico.

4. Tratamiento terciario: Tiene el objetivo de remover contaminantes específicos, usualmente tóxicos o compuestos no biodegradables o aún la remoción complementaria de contaminantes no suficientemente removidos en el tratamiento secundario (Metcalf & Eddy, 2003).

Como medio de filtración se puede emplear arena, grava antracita o una combinación de ellas. El pulido de efluentes de tratamiento biológico se suele hacer con capas de granulometría creciente, duales o multimedia, filtrando en arena fina trabajando en superficie. Los filtros de arena fina son preferibles cuando hay que filtrar flóculos formados químicamente y aunque su ciclo sea más corto pueden limpiarse con menos agua. La adsorción con carbón activo se utiliza para eliminar la materia orgánica residual que ha pasado el tratamiento biológico (Metcalf & Eddy, 2003).

## H. Sedimentación

La remoción de material coloidal y en suspensión del agua residual mediante separación por gravedad constituye una de las operaciones unitarias de tratamiento más ampliamente usada. Sedimentación es el término aplicado a la separación de las partículas suspendidas con peso específico mayor al del agua por acción de la fuerza de gravedad (Crites & Tchobanoglous, 2000).

La sedimentación acelerada corresponde a la remoción de partículas en suspensión por acción de la fuerza de gravedad, pero dentro de un campo de flujo acelerado. La flotación es otra forma de separación por gravedad en la cual las partículas con peso específico menor al del agua flotarán, y serán removidas por barrido de la superficie (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Este tipo de tratamiento se usa para la remoción de arenas en unidades de pre tratamiento, de SST en sedimentadores primarios, de floculos biológicos en sedimentadores de lodo activado y de floculos químicos formados en el proceso de coagulación con agentes químicos. En muchos casos, el principal propósito de la separación por gravedad es producir un efluente clarificado, pero también promover la formación de un lodo con una concentración de sólidos que pueda manejarse (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Con base en la concentración de partículas y la tendencia de estas a interactuar entre sí, se pueden presentar cuatro clases de sedimentación (Crites & Tchobanoglous, 2000):

1. Sedimentación de partículas discretas
2. Sedimentación de partículas floculentas
3. Sedimentación interferida o zonal
4. Sedimentación por compresión

## I. Tratamiento secundario de agua residual con sistemas naturales

La naturaleza en sus diferentes composiciones de suelos y fauna tiene la capacidad de responder a contaminantes naturales que aprovecha para su desarrollo, por lo que en los últimos años se ha incorporado a la naturaleza en los procesos de limpieza de las aguas residuales. Los sistemas naturales se aplican una vez que el agua ha recibido un tratamiento previo, para que la carga de contaminantes se aproxime a la capacidad de purificación que tiene tanto plantas como suelos. Estos sistemas a diferencia de los reactores, son sistemas aeróbicos, por lo tanto necesitan del oxígeno para su correcto funcionamiento.

Los procesos de limpieza naturales se han desarrollado en diferentes medios, adaptándose a las características de los suelos y plantas. Se pueden clasificar en dos categorías: sistemas basados en la aplicación del agua en el terreno y los basados en el proceso que suceden en la masa de agua.

Los sistemas basados en la aplicación del agua en el terreno, pueden ser, tratamiento en suelos a baja velocidad, tratamiento en suelo infiltración rápida, tratamiento en suelo de escurrimiento superficial, tratamiento en humedales, lechos filtrantes y tratamiento con plantas acuáticas. Los cuales dependen de las interacciones ente el agua intersticial y la biopelícula que se adhiere sobre el sustrato sólido. Mientras que los superficiales incluyen filtros verdes, infiltración – percolación y filtros de arena.

Tabla 10 - Clasificación de los Sistemas naturales de tratamiento de agua residuales

Sistemas Naturales de tratamiento de aguas residuales				
Basados en la aplicación del agua en el terreno		Basado en los proceso que suceden en la masa de agua		
Aplicación subsuperficial	Aplicación superficial	Sistemas con plantas flotantes	Lagunaje natural	Humedales construidos flujo superficial
Zanjas y lechos filtrantes	Filtros verdes			
Humedales construidos de flujo superficial	Infiltración-Percolación Filtros de arena			

(García – Corozo, 2008)

A diferencia de los sistemas de tratamiento de agua residual usuales, los sistemas de tratamiento naturales requieren de bajo consumo energético y no necesitan de productos químicos. Sin embargo requieren de una mayor área superficial para lograr la remoción deseada de contaminantes en el agua residual.

En los últimos años estos sistemas han tenido mucho apogeo debido a las ventajas que presentan respecto a otros tratamientos. Las principales ventajas de estos sistemas son que el costo de inversión es competitivo, no requiere de mucho personal para el mantenimiento, los gastos de energía eléctrica son muy bajo y existe poca generación de lodos, lo cual también es un factor que disminuye los costos de operación significativamente.

## J. Filtros intermitentes

Los filtros son unidades de tratamiento físico y biológico que se han utilizado desde hace muchos años en el manejo de aguas residuales. Entre los filtros empleados en el tratamiento de aguas residuales se cuenta con filtros percoladores, filtros de tasa alta con medio granular y poroso, filtros de tasa baja con medio granular y poroso (Crites & Tchobanoglous, 2000).

La altura del filtro puede alcanzar hasta 12m. La mayoría de estas unidades de tratamiento cuentan con los siguientes elementos básicos (Crites & Tchobanoglous, 2000):

1. Contenedor aislado, donde se confina el medio filtrante
2. Un sistema de drenaje para evacuar el líquido tratado
3. El medio filtrante

4. Un sistema para alimentación y distribución del líquido a tratar sobre el medio filtrante
5. Un medio de soporte

Medio filtrante: Durante muchos años se han investigado y usado diferentes tipos de medios filtrantes incluyendo: carbón activado, antracita, cortezas de árbol, granate, vidrio, grava, ilmenita, listones, restos de minerales, piedra, plástico, espuma plástica, arcillas y arcillas expansivas. Hasta la fecha la arena se constituye como el medio filtrante más utilizado en la construcción de filtros de lecho empacado intermitentes, aunque también se ha comprobado la eficiencia del vidrio reciclado como medio filtrante de este tipo de filtros (Crites & Tchobanoglous, 2000).

## K. Biofiltración sobre lecho orgánico fijo de estado estacionario

Un biofiltro es un filtro que usa materia orgánica como empaque (por ejemplo paja, grama, madera, turba, etc.). Por mucho tiempo este tipo de sistema ha sido usado únicamente para tratamiento de gases, en el cual el material de empaque se mantenía húmedo para permitir la solubilización de los contaminantes y posteriormente a través de la biodegradación la eliminación de los mismos (Garzón – Zúñiga, 2008).

Considerando los mecanismos de remoción del biofiltro, se han realizado varios estudios para la aplicación de estos en el tratamiento de aguas residuales. En estos casos, el agua residual se descarga en la parte superior mediante un distribuidor rotativo. A medida que el líquido desciende a través del relleno entra en contacto con la corriente de aire ascendente y los microorganismos. La materia orgánica se descompone al igual que con los lodos activados, dando más material y CO<sub>2</sub>. La salida es por la parte inferior al igual que un filtro normal. La velocidad de filtración es muy baja (<0.5m/d). Cuando el agua residual pasa a través del material filtrante los contaminantes son retenidos por la materia orgánica (lecho orgánico fijo) por medio de la adsorción y absorción, posteriormente son degradados por los microorganismos que se encuentran en el biofiltro (Garzón – Zúñiga, 2008).

El lecho orgánico fijo dentro de un biofiltro da una alta área superficial y los nutrientes necesarios para formar una biopelícula de microorganismos alrededor del material filtrante, es ahí donde ocurre la transferencia de masa entre la fase líquida y sólida. Luego de que los microorganismos se han adherido al lecho, inicial la degradación de la materia orgánica. Las características del material del lecho orgánico fijo son de vital importancia ya que estas son las que determinan el tiempo de operación, actividad biológica de los microorganismos y los costos de operación del biofiltro (Garzón – Zúñiga, 2008).

El lecho orgánico debe ser regenerado ya que los microorganismos que se encuentran en el degradan los contaminantes retenidos en el filtro. Esto se logra estableciendo un equilibrio entre la tasa de deposición del contaminante y el crecimiento de la población de microorganismos. Es por esta razón que un biofiltro trabaja a bajos caudales y tiempos de retención hidráulica altos. En base a esto se ha clasificado un filtro percolador de flujo lento, ya que lleva a cabo una infiltración muy lenta sobre el material orgánico muy adsorbente que le permite establecer un equilibrio entre la carga de contaminantes y el crecimiento de diferentes poblaciones dentro del biofiltro (Garzón – Zúñiga, 2008).

Según un estudio realizado por Buelna y Belanger en 1990 en Canadá, se utilizaron turba y piezas de madera de coníferos como lecho orgánico; Y en 1994 por Lens en Bélgica, se utilizaron piezas usadas de madera corteza y turba como lecho orgánico, para tratar aguas residuales. Sus resultados fueron muy satisfactorios ya que determinaron una eficiencia de remoción de contaminantes muy buena, mayor al 90% en DQO y mayor al 99% en DBO. Los sólidos suspendidos totales (SST) fue mayor al 95%, coliformes fecales mayor al 99% y nitrógeno total de (NT) Kjeldah fue del 80% (Garzón – Zúñiga, 2008).

Actualmente, esta tecnología está siendo utilizada en escala real en Canadá y Estados Unidos para el tratamiento de agua residual en casas, como una opción para descentralizar los sistemas. Ya que estas presentan importantes ventajas y muchas opciones competitivas por los bajos costos de construcción, costos bajos de operación, no requieren de un personal altamente calificado para su operación y son de bajo mantenimiento (Garzón – Zúñiga, 2008).

En México hay algunas áreas rurales y semi – urbanas donde el agua para beber es escasa y la poca que hay no recibe ningún tipo de tratamiento, esta se vierte directamente a canales naturales de agua creando así serios problemas de salud y contaminación. En estos casos tratar el agua residual en una forma adecuada y permitir el reusó de la misma ayudaría de manera significativa aliviar el problema de la escases de agua. La tecnología de biofiltración parece ser una buena opción para estos casos por sus ventajas y especialmente porque el tratamiento de agua fisicoquímico y bacteriológico por sus cualidades permite que el agua se pueda reusar directamente en ciertas actividades (Garzón – Zúñiga, 2008).

Sin embargo, esta tecnología no ha sido probada en condiciones de climas tropicales y usando materiales endémicos, por lo que es necesario investigar por su adaptación, también considerando que las áreas con clima tropical son particularmente áreas con condiciones de contaminación mayor como agua residual más concentrada y más probabilidad de encontrar organismos patogénicos (Garzón – Zúñiga, 2008).

Debido a la necesidad de investigación sobre el tema en México se realizó un estudio sobre la eficacia de remoción de contaminantes para aguas residuales municipales utilizando materiales endémicos como lecho orgánico, por parte de Garzón – Zúñiga en el año 2008. Los resultados obtenidos para un clima tropical fueron una eficiencia de remoción de contaminantes mayor a la reportada previamente de:  $\leq 98.7\%$  de DBO<sub>5</sub>,  $\leq 84\%$  de DQO,  $< 99.99\%$  de coliformes fecales,  $< 99.99\%$  de coliformes totales y  $< 96.93\%$  de huevos de helminto. El biofiltro fue operado por 400 días, con una carga hidráulica de  $0.3 \text{ m}^3$  de agua residual/ $\text{m}^3$  material filtrante· $\text{día}^{-1}$  a un flujo de  $0.68 \text{ m}^3$  de aire/ $\text{m}^2$  material filtrante· $\text{día}^{-1}$ .

## L. Operaciones adsorción

Las operaciones de adsorción explotan la capacidad especial de ciertos sólidos para hacer que sustancias específicas de una solución se concentren en la superficie de la misma. De esta forma, pueden

separarse unos de otros los componentes de soluciones gaseosas o líquidas. En el campo de las separaciones gaseosas, la adsorción se utiliza para deshumidificar aire y otros gases, para eliminar olores e impurezas desagradables, para recuperar vapores valiosos de disolvente a partir de mezclas diluidas con aire y para fraccionar mezclas de gases de hidrocarburos que contienen sustancias como metano, etileno, propileno entre otras (Treybal, 1988).

Las separaciones típicas de líquidos incluyen la eliminación de humedad disuelta en gasolina, decoloración de productos de petróleo y soluciones acuosas de azúcar, eliminación de sabor y olor desagradables del agua y el fraccionamiento de mezclas de hidrocarburos aromáticos y parafínicos. La escala de operación va desde el uso de unos cuantos gramos de adsorbente en el laboratorio hasta las plantas industriales, cuyo inventario de adsorbente excede los 135 000 kg (Treybal, 1988).

Todas estas operaciones son similares en que la mezcla por separar se pone en contacto con otra fase insoluble, el sólido adsorbente, y en que la distinta distribución de los componentes originales entre la fase adsorbida en la superficie sólida y el fluido permite que se lleve a cabo una separación (Treybal, 1988).

#### 1. Tipos de adsorción:

- Adsorción física o adsorción de “van der Waals”: Es fácilmente reversible, es el resultado de las fuerzas intermoleculares de atracción entre las moléculas del sólido y la sustancia adsorbida (Treybal, 1988).
- Adsorción Quémisorción o adsorción activada: es el resultado de la interacción química entre el sólido y la sustancia adsorbida. La fuerza de la unión química puede variar considerablemente y puede suceder que no se formen compuestos químicos en el sentido usual; pero, la fuerza de adhesión es generalmente mucho mayor que la adsorción física (Treybal, 1988).

2. Naturaleza de los adsorbentes. Los sólidos adsorbentes por lo general se utilizan en forma granular; varían de tamaño: desde aproximadamente 12 mm de diámetro hasta granos tan pequeños de 50 $\mu$ . Los sólidos deben poseer ciertas propiedades relativas a la Ingeniería, según la aplicación que se les vaya a dar. Si se utilizan en un lecho fijo a través del cual va a fluir un líquido o un gas, no deben ofrecer una caída de presión del flujo muy grande, ni deben ser arrastrados con facilidad por la corriente que fluye. Deben tener adecuada consistencia para que no se reduzca su tamaño al ser manejados o para que no se rompan al soportar su propio peso en lechos del espesor requerido. Si se van a sacar y meter con frecuencia de los recipientes que los contienen, deben fluir libremente (Treybal, 1988).

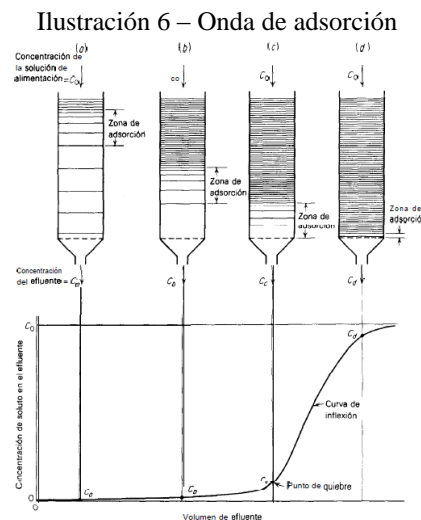
3. Adsorbentes de lecho fijo en estado no estacionario. Debido a la inconveniencia y al costo relativamente alto de transportar continuamente partículas sólidas, lo cual es necesario en las operaciones en estado estacionario, frecuentemente es más económico pasar la mezcla de fluidos que se va a tratar a través de un lecho estacionario de adsorbente. Al aumentar la cantidad de fluido que pasa a través de este lecho, el sólido adsorbe cantidades mayores de soluto y predomina un estado no estacionario. Para considerar esto es necesario tomar en cuenta la onda de adsorción del lecho fijo (Treybal, 1988).

La onda de adsorción es una gráfica obtenida experimentalmente del volumen del efluente versus la concentración de soluto en el efluente, la cual se muestra en siguiente imagen. Esta se aplica cuando se tiene el caso de una solución binaria, que contiene un soluto fuertemente adsorbido en concentración inicial ( $C_0$ ) (Treybal, 1988).

El fluido pasa continuamente a través de un lecho relativamente profundo de adsorbente que al principio está libre de adsorbato. La capa superior de sólido, en contacto con la fuerte solución entrante, adsorbe al principio el soluto rápido y efectivamente; el poco remanente de soluto en la solución queda prácticamente eliminado por las capas de solido en la parte inferior del lecho. El efluente del fondo del lecho está prácticamente libre de soluto, por lo que la concentración de salida va hacer prácticamente cero (Treybal, 1988).

La capa superior del lecho que está prácticamente saturada, que contiene la mayor parte de adsorción se le conoce como zona de adsorción, en la cual la concentración cambia rápidamente. Mientras continúa fluyendo la solución, la zona de adsorción se mueve hacia abajo como una onda, con una rapidez generalmente mucho más lenta que la velocidad lineal del fluido a través del lecho.

Después de cierto tiempo, se llegara al punto de quiebre como se muestra en la siguiente figura, este es el punto en que la concentración de soluto en el efluente aumenta con rapidez al pasar la zona de adsorción a través el fondo del lecho. Es aquí cuando la concentración de salida llega a ser igual a la concentración de entrada ( $C_0$ ), lo que indica que el lecho está totalmente satura y ya no puede cumplir con la función de adsorber, por lo que hay que cambiarlo.



*Fuente: Treybal, Operaciones de transferencia de masa*

La forma y el tiempo de la aparición de la curva de ruptura influyen mucho sobre el método de operación de un adsorbedor de lecho fijo. Las curvas generalmente tienen una forma de S, pero pueden tener una gran pendiente o ser relativamente planas y, en algunos casos, considerablemente distorsionadas. Si el proceso de adsorción fuese infinitamente rápido, la curva de ruptura sería una línea vertical recta. La rapidez real y el mecanismo del proceso de adsorción, la naturaleza del equilibrio de adsorción, la velocidad del fluido y la longitud del lecho adsorbedor, determinan la forma de la curva producida por cualquier

sistema (Treybal, 1988).

El punto de ruptura está muy bien definido en algunos casos; en otros sucede lo contrario. Por lo común, el tiempo de ruptura decrece al decrecer la altura del lecho. Hay una altura crítica mínima del lecho debajo de la cual la concentración de soluto en el efluente aumentará con rapidez desde la primera aparición del efluente. Al planear nuevos procesos, es mejor que el punto y la curva de ruptura determinen para un sistema particular, en forma experimental y en las condiciones más parecidas a las que se encontrarán en el proceso (Treybal, 1988).

## M. *Cocos nucifera* L.

Ya que se va a trabajar con cascara de coco, se presenta a continuación la descripción del *Coco nucifera* L.

*Cocos nucifera* L., conocida comúnmente como coco, palma de coco y coconut palm, es tal vez uno de los árboles de los Trópicos mejor reconocidos y uno de los más importantes económicamente. El coco crece a lo largo de las costas arenosas a través de los Trópicos y en la mayoría de las regiones subtropicales. Es introducido y cultivado en zonas tropicales de toda América. El coco, una palma alta y erecta, usualmente de 10 a 20 m de altura, posee un tronco delgado, ya sea curvo o recto, a menudo ensanchado e inclinado en la base, con una corteza parda o gris ligeramente rajada. El coco se planta extensamente por su fruto y como una planta ornamental y se usa a través de su área de distribución como una fuente de alimento y bebida, aceite, fibra, combustible, madera y otros numerosos productos. Se usa también en el entechado y en otras aplicaciones como material de construcción (Parrotta, 1993).

Ilustración 7 – Partes del coco

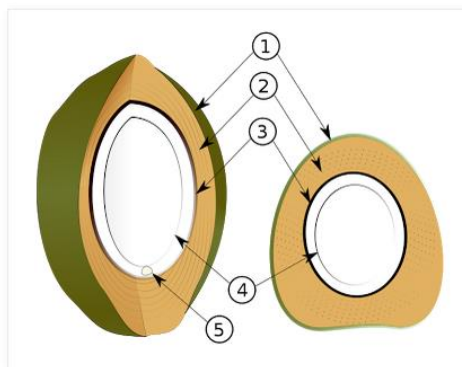


Figura 2. Fruto del coco (*Cocos nucifera*). 1, exocarpo o epicarpo; 2, mesocarpo; 3, endocarpo; 4, endospermo; 5, embrión. Fuente: Wikipedia.

Fuente: Wikipedia

- **Clima:** Las áreas de distribución natural e introducida del coco se caracterizan por un clima tropical cálido y muy húmedo con una temperatura anual promedio de entre 27 y 35 °C y poca variación diurna. La precipitación anual en áreas con plantaciones productivas de coco por lo general varía entre 1200 y 2300 mm. El coco puede crecer bien en áreas que reciben entre 1000 y 5000 mm de precipitación, pero el exceso de humedad puede limitar la producción de fruta (Parrotta, 1993).

- Ciclo vital: Flores y fruto: Las copas maduras de las palmas de coco consisten de 25 a 36 hojas, o frondas, dependiendo de la variedad. Las frondas miden de 4.9 a 6.2 m de largo y poseen de 70 a 100 pares de hojuelas. La edad de un árbol se puede aproximar dividiendo el número de cicatrices anulares en el tallo entre 12. Bajo condiciones de crecimiento favorables, las palmas de coco (variedades altas) comienzan a florecer a los 6 años de edad, cuando tienen de 2.5 a 4.5 m de alto. Los árboles maduros producen anualmente 40 o más frutas. La florecencia ocurre durante todo el año y continúa hasta que el árbol alcanza una altura de 25 a 30 m, cuando la producción y el tamaño de las frutas comienzan a declinar, usualmente a los 60 años de edad, aproximadamente (Parrotta, 1993).

La fruta, o nuez, es de forma ovoide o elíptica, con tres lados no bien definidos o casi redonda, con una cáscara fibrosa de color pardo claro, de 20 a 30 cm de largo. Las frutas crecen hasta casi su tamaño máximo en 5 a 6 meses y se maduran a los 10 ó 13 meses de edad (Parrotta, 1993).

- Usos: Los principales productos obtenidos del coco se derivan de su fruta. El agua de coco contiene azúcar, enzimas y vitaminas, incluyendo ácido ascórbico (0.70 a 3.70 mg/100 ml), ácido nicotínico (0.64 a 0.70 mg/100 ml), ácido pantoténico (0.52 a 0.55 mg/100 ml), biotina (0.02 a 0.025 mg/100 ml), riboflavina (0.01 mg/100 ml) y ácido fólico (0.003 mg/100 ml) (Parrotta, 1993).

La estopa del coco (las fibras del mesocarpo) se usa para hacer esteras, colchones, cuerdas, alfombras. El procesamiento de la estopa produce el polvo de estopa, el cual se usa en muchas regiones como material de empaque y material aislante. Se ha reportado que el polvo de estopa es una alternativa a las resinas sintéticas para el intercambio de iones para la remoción de iones de metales pesados en el tratamiento de aguas. Se ha observado que la incorporación de polvo de estopa a la mezcla de tierra usada en viveros induce un desarrollo radical más acelerado en comparación al uso de otras formas de materia orgánica y ese efecto se puede atribuir a la liberación de compuestos fenólicos del polvo de estopa (Parrotta, 1993).

La cáscara del coco, o endocarpo, también rinde un carbón de alta calidad usado en filtros químicos. La “harina” resultante al moler muy fina la cáscara se usa industrialmente en la manufactura de plásticos para proporcionar lustre a los artículos hechos en moldes y para mejorar la resistencia a la humedad (Parrotta, 1993).

La madera exterior del tallo es de una fibra estrecha con haces vasculares pardo oscuros. La densidad, contenido de humedad y el vigor de la madera de coco aumenta de arriba hacia abajo y de la zona interna hacia la periférica. Las densidades típicas de la madera varían entre 0.30 y 0.90 g por cm<sup>3</sup> en el tercio exterior del radio del tallo y de 0.10 a 0.35 g por cm<sup>3</sup> en el tercio interior del radio del tallo (Parrotta, 1993).

La madera de coco es difícil de aserrar con hojas de serrucho ordinarias, pero las sierras con dientes de carburo de tungsteno pueden facilitar en gran medida el procesamiento de la madera. Estos eventos

han sido facilitados por los avances en la tecnología para el procesamiento de la madera de coco. (Parrotta, 1993).

## N. Humedales

Los humedales son tecnologías de tratamiento simples de operar, con baja producción de lodos residuales y sin consumo energético. No requieren de la adición de reactivos químicos y de energía para airear el agua o recircularla. La infraestructura necesaria para su construcción es muy simple y asequible, su mantenimiento es relativamente fácil y económico. Este sistema de tratamiento de aguas se basa en el conocimiento profundo del funcionamiento de los sistemas naturales y por lo tanto es una tecnología muy adecuada para ser aplicada en proyectos de cooperación dado que no genera dependencia tecnológica.

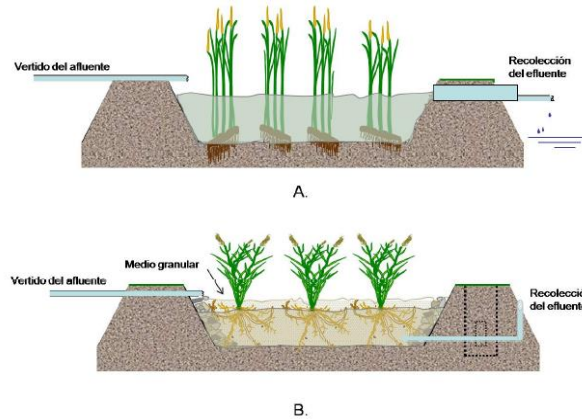
Los humedales construidos son sistemas de depuración constituidos por lagunas o canales poco profundos (de menos de 1 m) plantados con vegetales propios de las zonas húmedas y en los que los procesos de descontaminación tienen lugar mediante las interacciones entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos, la vegetación e incluso la fauna. Los humedales construidos también se denominan humedales artificiales (García – Corozo, 2008).

Atendiendo el tipo de circulación del agua, los humedales construidos se clasifican en flujo superficial o en flujo subsuperficial como se muestra en la siguiente figura (García – Corozo, 2008):

### 1. Tipos de Humedales

- Flujo superficial: en estos sistemas el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos y hojas de las plantas. Estos tipos de humedales se pueden entender como una modificación del lagunaje natural con una profundidad de la lámina de agua entre 0,3 y 0,4 m, y con plantas. Se suelen aplicar para mejorar la calidad de efluentes que ya han sido previamente tratados en una depuradora.
- Humedales de flujo horizontal. En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad del agua es de entre 0,3 y 0,9 m. Se caracterizan por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie) y con cargas de alrededor de 6 g DBO/m<sup>2</sup>×día (García – Corozo, 2008).

Ilustración 8 – Tipos de humedales construidos



A, con flujo superficial, y B, con flujo subsuperficial horizontal.

Fuente: García – Corozo, *Depuración con Humedales Construidos: Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*

Los humedales horizontales están compuestos por los siguientes elementos:

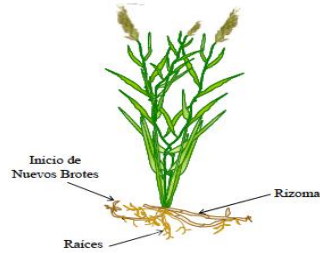
- Estructuras de entrada del afluente
  - Impermeabilización del fondo y laterales ya sea con láminas sintéticas o arcilla compactada
  - Medio granular
  - Vegetación emergente típica de zonas húmedas
  - Estructuras de salida regulables para controlar el nivel del agua
- Medio granular: En las zonas de entrada y salida se colocan piedras que permiten diferenciar estas zonas de lo que es el medio granular principal. El conjunto medio granular/biopelícula/plantas debe ser considerado como el principal constituyente de los humedales. En el medio granular ocurren múltiples procesos como la retención y sedimentación de la materia en suspensión, la degradación de la materia orgánica, la transformación y asimilación de los nutrientes, y la inactivación de los microorganismos patógenos.

El medio granular debe ser limpio (exento de finos), homogéneo, duro, durable y capaz de mantener su forma a largo plazo. Además, debe permitir un buen desarrollo de las plantas y de la biopelícula. Diámetros medios de alrededor de 5-8 mm ofrecen muy buenos resultados (García – Corozo, 2008).

Una característica muy importante del medio granular es su conductividad hidráulica, ya que de esta propiedad depende la cantidad de flujo de agua que puede circular a través de él. Durante el diseño debe tenerse en cuenta que la conductividad hidráulica disminuirá con el paso del tiempo.

2. Vegetación emergente típica que se puede utilizar en un humedal. Las especies utilizadas son macrófitos emergentes típicos de las zonas húmedas como el carrizo (*Phragmites*), la espadaña (*Typha*) o los juncos (*Scirpus*). En Europa la planta más utilizada es el carrizo, con densidades de plantación de tres ejemplares por metro cuadrado, como se muestra en la siguiente figura:

Ilustración 9 – Dibujo esquemático del carrizo (*Phragmites australis*)



Fuente: García – Corozo, *Depuración con Humedales Construidos: Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*

Todas estas plantas presentan adaptaciones especiales para vivir en ambientes permanentemente anegados. Sus tejidos internos disponen de espacios vacíos que permiten el flujo de gases desde las partes aéreas hasta las subterráneas. Sus rizomas tienen una gran capacidad colonizadora (García – Corozo, 2008).

3. Los efectos de la vegetación sobre el funcionamiento de los humedales. Las raíces y rizomas proporcionan una superficie adecuada para el crecimiento de la biopelícula: La biopelícula crece adherida a las partes subterráneas de las plantas y sobre el medio granular. Alrededor de las raíces se crean microambientes aeróbicos donde tienen lugar procesos microbianos que usan el oxígeno, como la degradación aeróbica de la materia orgánica y la nitrificación (García – Corozo, 2008).

Amortiguamiento de las variaciones ambientales: Cuando las plantas están desarrolladas reducen la intensidad de la luz incidente sobre el medio granular evitándose así grandes gradientes de temperatura en profundidad que pueden afectar el proceso de depuración. En climas fríos la vegetación protege de la congelación (García – Corozo, 2008).

Las plantas asimilan nutrientes: Su contribución a la eliminación de nutrientes es modesta cuando se tratan aguas residuales urbanas de tipo medio (eliminan entre un 10% del N y un 20% del P). En aguas residuales diluidas su contribución es mayor (más del 50%) (García – Corozo, 2008).

La selección de la vegetación que se va a usar en un sistema de humedales debe tener en cuenta las características de la región donde se realizará el proyecto, así como las siguientes recomendaciones (García – Corozo, 2008):

- Las especies deben ser colonizadoras activas, con eficaz extensión del sistema de rizomas.
- Deben ser especies que alcancen una biomasa considerable por unidad de superficie para conseguir la máxima asimilación de nutrientes.
- La biomasa subterránea debe poseer una gran superficie específica para potenciar el crecimiento de la biopelícula.
- Deben disponer de un sistema eficaz de transporte de oxígeno hacia las partes subterráneas para promover la degradación aeróbica y la nitrificación.
- Se debe tratar de especies que puedan crecer fácilmente en las condiciones ambientales del

sistema proyectado.

- Debe tratarse de especies con una elevada productividad.
  - Las especies deben tolerar los contaminantes presentes en las aguas residuales.
  - Se deben utilizar especies propias de la flora local.
- Humedales de flujo vertical: Esta tipología de humedales fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados. En general los sistemas verticales se combinan con horizontales para que se sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno.

La circulación del agua es de tipo vertical y tiene lugar a pulsos, de manera que el medio granular no está permanentemente inundado. La profundidad del medio granular es de entre 0,5 y 0,8 m. Operan con cargas de alrededor de 20 g DBO/m<sup>2</sup>×día. Los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales (requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica). Por otra parte, son más susceptibles a la colmatación (García – Corozo, 2008).

## O. Mecanismos de eliminación de los contaminantes

Las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas se han diseñado corrientemente para eliminar materia en suspensión y materia orgánica. En los últimos años la eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo) también se ha ido introduciendo como objetivo a alcanzar. De hecho, en la actualidad los procesos de eliminación de nutrientes se podrían considerar ya como convencionales. La eliminación de microorganismos fecales parece que en un futuro cercano también será un objetivo generalizado, especialmente en zonas como la Mediterránea donde la reutilización del agua va a tener un papel relevante dentro de la gestión integral de los recursos hídricos. Algunos de estos mecanismos en los humedales de flujo subsuperficial se utilizan para eliminar materia en suspensión, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, patógenos y otros contaminantes. A continuación se explican el nitrógeno y fósforo que son componentes activos en las aguas residuales (García – Corozo, 2008).

- Nitrógeno: En las aguas residuales urbanas el nitrógeno se encuentra fundamentalmente en forma de amonio y también como nitrógeno orgánico. No suele ser habitual encontrar concentraciones significativas de nitratos y nitritos. En los humedales el principal mecanismo de eliminación de nitrógeno es de tipo microbiano y consiste en la nitrificación seguida de desnitrificación. Sin embargo, también hay otros procesos que contribuyen a la eliminación como la adsorción del amonio y la asimilación realizada por las plantas. En los humedales el ciclo del nitrógeno está acoplado al del carbono (materia orgánica) fundamentalmente a través de la desnitrificación (García – Corozo, 2008).
- Fósforo: Igual que en los sistemas de depuración biológicos convencionales, la eliminación de fósforo en los humedales es complicada. En general no se suele eliminar más del 10-20%, y sin haber grandes diferencias entre sistemas horizontales y verticales (García – Corozo, 2008).

Los mecanismos de eliminación del fósforo pueden ser de tipo biótico y abiótico. Los bióticos incluyen la asimilación por parte de las plantas y los microorganismos. Los abióticos abarcan fundamentalmente la adsorción por el medio granular. En muchos estudios se ha observado que después de la puesta en marcha de humedales se obtiene una buena eficiencia de eliminación del fósforo para después reducirse rápidamente en poco tiempo. Esto es debido a que el medio granular limpio tiene capacidad de adsorción, pero esta se va perdiendo rápidamente.

## P. Jabón y detergentes

El jabón es un producto que sirve para higiene personal y para lavar o limpiar objetos. Su forma de presentación es en polvo, crema o líquido. Generalmente está formado por sales sódicas o potásicas resultado de una reacción de saponificación, entre una base (casi siempre Hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potación (KOH) y algún ácido graso. El ácido graso puede ser de origen vegetal o animal, por ejemplo manteca de cerdo o aceite de coco. El jabón es soluble en agua y por sus propiedades parecidas al detergente sirve comúnmente para lavar (Bailey, 1984).

El detergente es una sustancia tenso activa y anfipática que puede disolver la suciedad o las impurezas de un objeto sin corroerlo. También se podría definir que detergente es cualquier sustancia que tiene propiedades de disolver a otra sustancia incorporando la sustancia disuelta en la sustancia detergente inicial (Bailey, 1984).

La mayoría de los detergentes son compuestos de sodio del sulfonato de benceno sustituido, denominados sulfonatos de alquilbenceno lineales (LAS). Otros son compuestos de alquilbenceno sulfatos de cadena ramificada (ABS), que se degradan más lentamente que los LAS. Antes un detergente típico de lavandería de gran potencia contenía 50% de tripolifosfato de sodio (fosfato) y sólo un 18% de LAS. Actualmente han reducido el porcentaje de fosfatos en los detergentes (Bailey, 1984).

Guatemala tiene un territorio de 108.889 km<sup>2</sup> y se encuentra entre el Océano Pacífico y el Mar Caribe. Está compuesta por 22 municipios que son: Petén, Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz, Izabal, Zacapa, Baja Verapaz, Totonicapán, San Marcos, Quetzaltenango, Sololá, Chimaltenango, El Progreso, Jalapa, Chiquimula, Jutiapa, Santa Rosa, Escuintla, Suchitepéquez, Retalhuleu, Sacatepéquez y Guatemala (García, 2006).

Por ser un país montañoso el clima varía según la región. A una mayor altura sobre el nivel del mar el clima será más frío y si está más cerca de este el clima será cálido (Cobos, 2002). El departamento de Izabal por estar solamente a 3 m del nivel del mar cuenta con un clima cálido (García, 2006).

Izabal cuenta con cinco municipios que son: El Estor, Livingston, Los Amates, Morales y Puerto

Barrios. El municipio de interés es Morales, en donde se tiene una precipitación pluvial promedio en un rango de 1700 a 2190 mm anuales de lluvia. En la época de verano la cantidad disminuye a 63.50 mm en los meses de febrero, marzo y abril (García, 2006).

Es en esos meses de verano en donde el caserío de San Agustín tiene más problemas por la escasez del agua de lluvia. La población no cuenta con la infraestructura adecuada para distribuir ó recolectar el agua de la derivación del río que pasa por sus hogares ó para recolectar el agua de lluvia. Lo que hacen actualmente es recorrer una distancia de 1000 ó 2000 m para llegar a las fuentes de agua, para recolectarla en tinacos y llevarla a sus hogares (García, 2006).

Gran parte del caserío está ocupado por siembras de piña, que dan sustento a las 200 personas que viven en el caserío. Ellos al igual que cualquier otra persona están en busca de alimentos y de agua potable (García, 2006).

Las personas que habitan en las áreas rurales de países en desarrollo son quienes más dificultad tienen para obtener agua. Ellos emplean gran parte de su tiempo para recolectar y transportar el agua. La implementación de sistemas de suministro de agua benefician a mujeres y niños de las comunidades, porque ellos son los responsables de recolectar y transportar el agua hacia sus hogares (Fraenkel y Thake, 2010).

Según datos del 2009, tres millones de personas aún no cuentan con los servicios básicos en Guatemala. Y en el área rural solamente un 60.7% de la población tiene acceso al agua (Cobos, 2002).

Se ha comprobado que la instalación de bombas, en países con las mismas o peores condiciones que Guatemala, han sido muy beneficiosas. Tal es el caso de África en donde se han instalado bombas como la "Afridev" o la "India Mark", que elevan el agua desde un pozo profundo, que provee agua limpia a las comunidades.

Según la UNICEF el diseño de la bomba manual "India Mark II" se basó en una bomba diseñada por un ingeniero sueco para el Servicio de Pozos de Sholapur. Haciendo el diseño en 1977, la demanda fue creciendo cada vez más. Para 1998 ya se tenían tres millones de bombas en funcionamiento, y la bomba "India Mark II" se exportaba a todo el mundo (UNICEF, 2002).

## Q. Bombas

Una bomba hidráulica se define como un medio para convertir energía mecánica en energía fluida o hidráulica. Esto significa que es un dispositivo que añade energía al agua (Soto, 2010).

Estos son dispositivos adecuados para la irrigación de cultivos y el suministro de agua para las comunidades con difícil acceso a ella, porque son capaces de llevar el agua fácilmente de un lugar a otro (Soto, 2010).

Para la clasificación de las bombas hidráulicas se deben tener en cuenta distintos términos que son (Soto, 2010):

- Amplitud de presión: Son los límites máximos de presión en donde la bomba funciona adecuadamente. Para el sistema inglés las unidades son lb/in<sup>2</sup> o psi y en el sistema internacional son N/m<sup>2</sup> o Pa.
- Volumen: Cantidad de fluido que una bomba entrega a la presión de operación. Las unidades son gal/min en el sistema inglés y para el internacional son m<sup>3</sup>/s ó L/s.
- Amplitud de la velocidad: Son los límites máximo y mínimo en donde las condiciones de entrada y soporte de la carga permiten que la bomba funcione sin ningún problema. Las unidades son revoluciones por minuto (rpm).
- Eficiencia mecánica: Se determina con la relación entre caballaje teórico a la entrada, necesario para un volumen y presión específico y el caballaje real a la entrada necesario para la misma presión y cantidad de volumen anterior.
- Eficiencia volumétrica: Usando la relación entre volumen teórico de salida a 0 psi y el volumen real a otra presión asignada.
- Eficiencia total: Es el producto entre la eficiencia mecánica y la volumétrica.

Las bombas se pueden clasificar en dos grandes grupos que son centrífugas y de desplazamiento positivo.

1. Bombas de desplazamiento positivo. Se encierra en una cámara un volumen específico de líquido que se llena alternativamente desde la entrada y se vacía a mayor presión al pasar por la descarga. Esta categoría se divide en dos. En las bombas reciprocantes, la cámara es un cilindro estacionario con un pistón o émbolo, mientras que en las bombas rotatorias la cámara se mueve desde la entrada hasta la descarga y regresa de nuevo a la entrada (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

a. Bombas reciprocantes. Las más comunes son las bombas de pistón, de émbolo y de diafragma. En el primer tipo, el líquido pasa a través de una válvula de cheque en la entrada al interior del cilindro con la acción de un pistón y luego es forzada hacia afuera por una válvula de cheque en la descarga. La presión máxima de descarga es de 50 atm, utilizando un motor con una caja reductora (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Si se necesita más presión se usa una bomba de émbolo. Esta consiste de un cilindro de pared

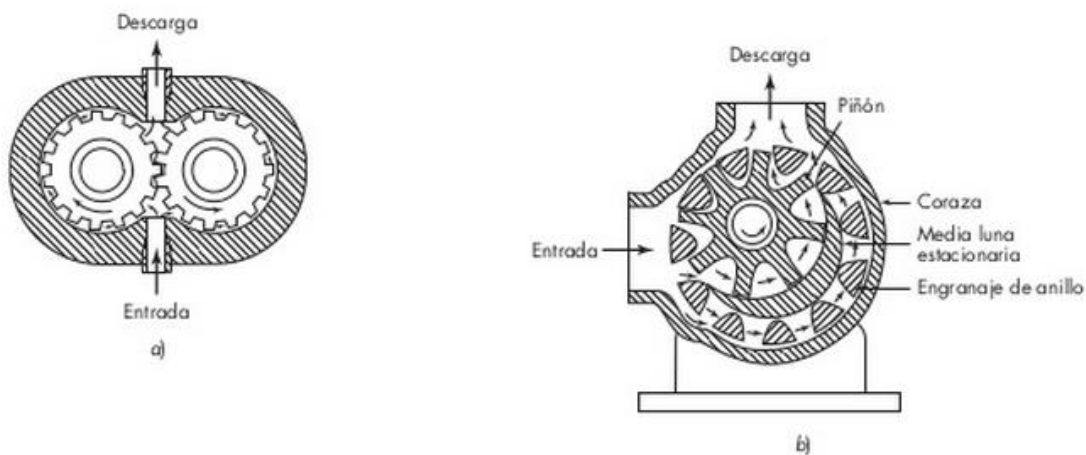
gruesa y diámetro pequeño que contiene un émbolo reciprocante bien ajustado. Al final del recorrido el émbolo llena todo el espacio. Son de simple efecto y accionadas por un motor. Llegan a presiones de descarga de 1500 atm (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Por último la bomba de diafragma utiliza un diafragma flexible de metal, plástico o hule. Eliminando la necesidad de empaques o cierres expuestos al líquido. Llega a trabajar a presiones mayores de 100 atm (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

La eficiencia de este tipo de bombas varía, para las pequeñas se llega a un intervalo de 40 a 50 % y para las grandes de 70 a 90% (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

b. Bombas rotatorias. Existen diferentes tipos de bombas rotatorias de desplazamiento positivo: bombas de engranaje, de lóbulo, de tornillo, de leva y de aspa. La primera diferencia que tienen con las bombas reciprocantes es que no tienen válvulas de retención. Mientras el espacio entre las partes móviles y las estacionarias disminuya, las fugas desde el espacio de la descarga hasta el de succión también lo hacen. Pero esto limita la velocidad de operación. Estas bombas operan mejor en fluidos limpios y no tan viscosos. Estas llegan a trabajar con presiones de descarga mayores a 200 atm (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Ilustración 10 – Bombas de engranaje



(McCabe, Smith y Harriot, 2007)

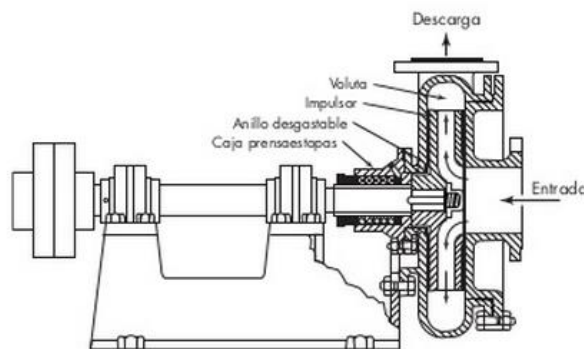
c. Bombas peristálticas. Son a prueba de fugas y se usan en la producción de sustancias bioquímicas. Utilizan un tramo de tubería flexible que se comprime con varios rodillos móviles que atrapan el líquido y lo hacen mover a lo largo de la tubería. Se tiene una descarga casi constante y sólo se usa con flujos pequeños. Son la mejor opción para extraer líquidos sin posibilidad de derrame o exposición al aire (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

2. Bombas centrífugas. Es la segunda clase más importante de bombas, la energía del líquido

aumenta por la acción centrífuga. Su funcionamiento es el siguiente: el líquido entra a través de la conexión de succión concéntrica al eje del elemento giratorio de alta velocidad llamado impulsor el cual tiene aspas radiales inherentes con el mismo. El líquido fluye hacia fuera por el interior de los espacios entre las aspas y deja el impulsor a una velocidad mucho mayor que la de la entrada (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

El líquido que sale del perímetro del impulsor se recoge en una coraza de voluta espiral y sale de la bomba por una conexión tangencial de descarga. En la voluta, la carga de velocidad del líquido procedente del impulsor se convierte en carga de presión. El impulsor recibe energía del eje de motor y este transmite su energía al fluido. Generalmente el eje va conectado a un motor de velocidad constante que puede ser de 1750 ó 3450 rpm. Son las máquinas de bombeo más comunes en una planta (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Ilustración 11 Bomba centrífuga de succión sencilla



(McCabe, Smith y Harriot, 2007)

a. Bombas herméticas. Son usadas en el manejo de líquidos peligrosos por las consideraciones ambientales. Existen dos tipos que son de rotor enlatado y de impulsor magnético. El primer tipo tiene un recinto similar a una lata de acero inoxidable alrededor del rotor motor, para que el fluido quede fuera de este. Por otro lado está el impulsor magnético, que es conducido por un disco transportador magnético del otro lado de la coraza. Son menos eficientes que una bomba convencional y se prefieren estas a instalar sellos mecánicos y de descarga (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

b. Bombas de cebado Es importante mencionar que si una bomba centrífuga opera con aire, no podrá elevar el líquido desde una línea de succión inicialmente vacía, ni hacerlo circular a través de la línea de descarga llena de líquido. Si una bomba tiene aire en su coraza, está taponado con aire y no funciona hasta que el aire se cambie completamente por líquido. Es importante eliminar el aire cebando la bomba desde un tanque auxiliar conectado a la tubería de succión o introducir líquido en la misma con un dispositivo de vacío independiente. También existen bombas de autocebado, que evitan estos problemas (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Conociendo ya todos los dos tipos de bomba, se enfocará en la bomba de interés que es la bomba de pistón (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

3. Bomba de pistón. Este tipo de bomba es ideal para la distribución de agua en una comunidad que no cuenta con servicio eléctrico porque se puede operar manualmente. La bomba que se diseñará y construirá tiene capacidad para un flujo de 38 L/minuto (10 galones/minuto).

Las bombas de desplazamiento positivo logran su cabeza máxima por la potencia disponible del eje que está en contacto con el fluido (Peters *et al*, 2003). Están formadas por un conjunto de pistones que suben y bajan de forma alternativa. Poseen varios conjuntos pistón-cilindro de tal forma que mientras unos pistones aspiran líquido, otros lo impulsan, consiguiendo así un flujo por intervalos (UNAD, 2011).

Mientras más pistones se tengan el flujo ya no será por intervalos, sino que será continuo. El líquido pasa al interior del cilindro durante su carrera de expansión y luego se expulsa en su carrera de compresión (UNAD, 2011).

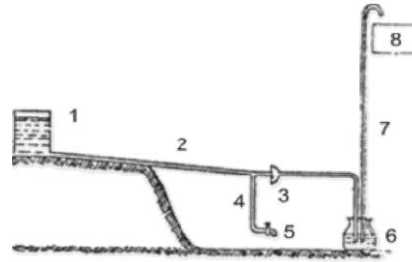
Su eficiencia es mayor que el de las bombas de engranajes o de paletas, pero las tolerancias tan justas de la bomba, la hacen sensible a la contaminación del líquido (UNAD, 2011). Se aconseja no usar estas bombas para fluidos no lubricantes o fluidos que tengan partículas sólidas (Peters *et al*, 2003).

Una clasificación genérica es si la bomba produce un caudal fijo (bomba de pistón en línea) o un caudal variable (bomba de pistón axial y radial) (UNAD, 2011). Las bombas más usadas son las bombas de doble acción simple y duplex. La diferencia entre la bomba simple y la duplex, es que en la última la operación de los cilindros es coordinada, mientras que para la simple, ambos pistones se mueven igual (Peters *et al*, 2003).

Las partes de una bomba de pistón de simple efecto son: el pistón, el cuerpo del pistón, válvulas de cheque y el uso de sellos hidráulicos que eviten la salida del agua por el cuerpo del pistón y que tampoco permitan la salida de aire, para permitir el ingreso de agua por la succión.

4. Bomba de ariete. Según Jiménez (2011), una bomba de ariete es dispositivo que se basa en un golpe hidráulico. Su invención se atribuye al inglés Cheshire John Whitehust en 1772, quien accionaba manualmente un grifo en una tubería alimentada de un tanque inferior. La bomba original construida por Whitehust supuso elevar el agua hasta un depósito ubicado en un nivel superior que el tanque del cual se abastecía, lo que supuso una mejora en el transporte de este fluido (Jiménez, 2011)

Ilustración 12 - Bomba de Ariete hidráulico de Whitehust



Fuente: Jiménez, 2011

Posteriormente Joseph Montgolfier añadió algunas modificaciones que conllevaron a la formación de una primera bomba de ariete hidráulica. (Jiménez, 2011)

Jiménez (2011) menciona que el funcionamiento del dispositivo original fue mejorado añadiéndose una cámara de aire que ayuda a generar un colchón compresible que ayuda a mantener la presión en la descarga y la bomba continúe funcionando. En 1776 Joseph Montgolfier realizó el prototipo de la bomba con la cámara de aire, siendo utilizada en Francia para abastecer algunas fuentes ubicadas en las plazas. (Jiménez, 2011)

Ilustración 13 - Bomba de Ariete hidráulico

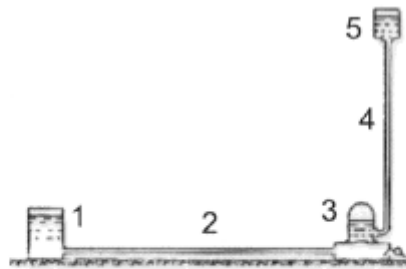


Fig. 1.2. Esquema del ariete hidráulico ideado por Joseph Michael Montgolfier:

- 1 Tanque de alimentación.
- 2 Tubería de alimentación.
- 3 Cuerpo del Ariete.
- 4 Tubo de descarga.
- 5 Tanque de almacenamiento.

Fuente: Jiménez, 2011

De igual forma la bomba ha ido evolucionando con el paso del tiempo, existiendo actualmente diseños industriales, los cuales han ayudado a mejorar la eficiencia de bombeo. Además de ello estos sistemas tienen una mayor capacidad de manejar volúmenes de agua desplazados. En Latinoamérica es común el uso de este dispositivo en países como Cuba, Chile y Bolivia, en donde se han creado inclusive centrales de bombeo a través de este dispositivo para abastecer de agua a pequeñas ciudades. Actualmente en Veracruz se tiene un modelo de “ecoaldea” en donde se producen hortalizas por parte de los pobladores utilizando este sistema para abastecer el riego. (Jimenez, 2011)

Ilustración 14 - Bomba de ariete de diseño industrial



Fuente: Jiménez, 2011

El golpe de ariete, según Jiménez (2011), es un fenómeno que se manifiesta debido a la modificación del estado dinámico de un fluido, que puede ser ocasionado por el cierre brusco de alguna válvula. Por ejemplo cuando se tiene flujo de agua en una tubería con una velocidad determinada y se cierra una válvula de forma brusca, el agua próxima a la válvula se detiene inmediatamente, sin embargo esta será empujada por el agua que viene detrás de ella, provocando una compresión del líquido hasta que se llegue a frenar todo el líquido. Cuando el agua se detiene inicia la descompresión del líquido, existiendo un movimiento pendular en el agua existiendo una depresión posterior a la descompresión. Este ciclo se repite continuamente, provocando golpes en la válvula, siendo el primero el de mayor impacto. (Jiménez, 2011)

Gutiérrez (2013) en la Primera Jornada de Internacional sobre Bombas Manuales y de Ariete expuso que el rendimiento de una bomba de ariete hidráulico puede únicamente desplazar un porcentaje de agua en relación al total captado. Dentro de mayor sea la diferencia de alturas entre la captación (H) y la descarga (h) el rendimiento disminuye. A continuación se muestra el rendimiento de bombeo en relación a la razón de alturas  $h/H$ .

Tabla 11 - Relación de eficiencia de bombeo respecto a la relación de alturas  $h/H$

$h/H$	2	3	4	6	8	10	12
<b>Eficiencia</b>	0.85	0.81	0.76	0.67	0.57	0.43	0.23

Fuente: Gutiérrez, 2013

Antes de instalar las bombas es necesario colocar toda la tubería junto con los accesorios. Usualmente la bomba de pistón ya está ensamblada y sólo es necesario conectar las válvulas de cheque con la tubería instalada. Hay que asegurarse que la succión de la bomba y la descarga de la bomba coincidan con las tuberías de succión y descarga. De lo contrario la bomba no funcionará.

La bomba de pistón funciona por ciclos, cada ciclo consiste en el llenado y vaciado del cuerpo de la bomba. El primer paso es la succión del fluido, en donde el pistón sube para crear vacío. La válvula de cheque colocada en la succión no permite que salga fluido por el lado de la succión y permite que se llene.

Segundo paso es la descarga del fluido y es necesario bajar el pistón, durante este paso la válvula de cheque de la descarga se abre, mientras que la válvula de la succión está cerrada. El pistón empuja el fluido, aumentando su presión para que logre salir a través de la válvula de descarga.

El mantenimiento de una bomba pistón consiste en la lubricación de la bomba y la revisión del motor y todas las partes internas de la bomba. Las partes que más desgaste recibe son los sellos y las válvulas de cheque. Hay que asegurarse que todas las piezas están en las mejores condiciones.

Cualquier pieza que se rompa o esté mal colocada, permitirá la fuga de fluido, mal funcionamiento de la bomba o que se arruine. Por eso es necesario cambiar de inmediato las piezas dañadas y la lubricación. La lubricación también ayuda a evitar el sobrecalentamiento de las piezas móviles en una bomba de pistón.

Para conocer cuanta presión ejerce la bomba sobre el fluido, el caudal que mueve la bomba y la altura máxima a la que puede elevar el fluido es necesario conocer la teoría y los modelos matemáticos que se aplican a los fluidos. Para ello se presentan los siguientes temas:

## R. Fenómenos de flujo de fluidos

El comportamiento de un fluido en movimiento depende mucho de que el fluido esté o no bajo la influencia de límites sólidos. En la región donde la influencia de la pared es pequeña, la tensión de corte es despreciable y el comportamiento del fluido se acerca al de un fluido ideal (no compresible y viscosidad cero). El flujo de un fluido ideal se llama flujo potencial. Tiene dos características que son: no tiene circulaciones ni remolinos dentro de la corriente y no existe fricción (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Prandtl estableció que el efecto de un límite sólido sobre el flujo es solamente una capa de fluido adyacente a la pared sólida. La capa recibe el nombre de capa límite. La tensión de corte y las fuerzas de corte solamente actúan en esta parte del fluido. Es mucho más fácil dividir el fluido en su capa límite y el resto, para el estudio de los fluidos (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

A velocidades bajas los fluidos se mueven sin mezcla lateral y las capas adyacentes se mueven unas sobre otras. No hay corrientes transversales ni remolinos. A este régimen se le llama flujo laminar. Mientras que a velocidades mayores hay turbulencia y formación de remolinos, dando una mezcla lateral (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Reynolds estudió las condiciones bajo las cuales un tipo de flujo cambia a otro y encontró que la velocidad crítica, a la que el flujo laminar pasa a ser turbulento depende de cuatro variables: diámetro del tubo, la viscosidad, la densidad y la velocidad lineal promedio del líquido. Los cuatro factores se combinan formando un grupo y el cambio en el tipo de flujo ocurre para un valor definido de este. El grupo está definido como (McCabe, Smith y Harriot, 2007):

$$Re = \frac{D\bar{V}\rho}{\mu} = \frac{D\bar{V}}{\nu} \quad (1)$$

En donde D = diámetro del tubo

$\bar{V}$  = velocidad promedio del líquido

$\mu$  = viscosidad del líquido

$\rho$  = densidad del líquido

$\nu$  = viscosidad cinemática del líquido

Las dimensionales no existen, convirtiéndolo en un grupo adimensional y recibe el nombre de número de Reynolds (Re). La magnitud es independiente de las unidades usadas, pero estas deben ser consistentes (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

1. Flujo dentro de tuberías (Ecuación de Bernoulli) La siguiente ecuación representa un efecto de la energía mecánica en una unidad de masa de fluido en movimiento. Se conoce como la ecuación de energía para flujo potencial ó la ecuación de Bernoulli sin fricción (McCabe, Smith y Harriot, 2007):

$$\frac{p_a}{\rho} + gZ_a + \frac{v_a^2}{2} = \frac{p_b}{\rho} + gZ_b + \frac{v_b^2}{2} \quad (2)$$

Los términos  $gZ$  y  $v^2/2$  son la energía potencial y la cinética, de una unidad de masa de fluido; y  $p/\rho$  es el trabajo mecánico realizado sobre el fluido por las fuerzas, externas a la corriente, que lo empujan dentro del tubo o por el trabajo recuperado del fluido que sale del tubo. En la ausencia de fricción, cuando se reduce la velocidad  $u$ , la altura  $Z$  o la presión  $p$ , o ambas, se incrementan. Si la altura se modifica, tiene que haber una compensación variando la presión o la velocidad (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

En problemas de la vida real es necesario tomar en cuenta el flujo potencial para tubos de corriente curvos, también las pérdidas por fricción en el fluido y las variaciones de velocidad dentro de la sección transversal del tubo (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Para aplicar la ecuación de Bernoulli a un problema específico, hay que identificar la línea de corriente o el tubo de corriente y elegir puntos definidos de corriente de salida o entrada. Estos puntos se eligen según convenga y se toman en lugares con la mayor información acerca de las presiones, velocidades y alturas (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

a. Corrección de la ecuación de Bernoulli debido a la fricción del fluido. La fricción se define como la fuerza que se opone al movimiento, convirtiendo la energía mecánica en calor que tiene lugar en una corriente en movimiento. Para los fluidos no compresibles, la ecuación de Bernoulli se corrige por la fricción, agregando un término al lado derecho de la ecuación (McCabe, Smith y Harriot, 2007):

$$\frac{p_a}{\rho} + gZ_a + \frac{v_a^2}{2} = \frac{p_b}{\rho} + gZ_b + \frac{v_b^2}{2} + h_f \quad (3)$$

Las unidades de  $h_f$  y las de los términos restantes son la energía por unidad de masa. Representa toda la fricción que se produce por unidad de masa del fluido, es decir, que se usa toma en cuenta la fricción en los puntos a y b (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Existen dos tipos de fricción. El primer tipo es la fricción de superficie, que se produce en las capas límite no separadas. Y el segundo tipo es la fricción de forma, que se produce cuando las capas límite se separan y forman estelas. Depende de la posición y de la forma del sólido (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

b. Trabajo de bomba en la ecuación de Bernoulli. Además de la fricción también se debe tomar en cuenta el uso de una bomba en un sistema de flujo para aumentar la energía mecánica de un fluido en movimiento; esto se usa para mantener el flujo, proveer energía cinética, compensar las pérdidas de dirección e incrementar la energía potencial (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

También es necesario tomar en cuenta la fricción existente dentro de la bomba por la fricción mecánica entre cojinetes y sellos o prensaestopas. Toda la energía mecánica que se le da a la bomba como trabajo de eje negativo se le tiene que descontar las pérdidas por fricción para conocer la energía mecánica neta disponible para el fluido (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Suponiendo que  $h_{fp}$  es la fricción total en la bomba, el trabajo neto al fluido es  $W_p - h_{fp}$ . En lugar de  $h_{fp}$  se usa la eficiencia de la bomba que tiene el símbolo  $h$  ( $h < 1$ ) (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Sabiendo que la energía mecánica distribuida al fluido es  $hW_p$  la ecuación corregida para el trabajo de bomba incluye un nuevo término (McCabe, Smith y Harriot, 2007):

$$\frac{p_a}{\rho} + gZ_a + \frac{v_a^2}{2} + hW_p = \frac{p_b}{\rho} + gZ_b + \frac{v_b^2}{2} + h_f \quad (4)$$

2. Efectos de la fricción en el flujo de fluidos Para fines de diseño, las características de fricción en tuberías circulares, tanto lisas como rugosas, se resumen en la carta gráfica del factor de fricción que es una representación del  $\log f$  contra el  $\log Re$ . Para el flujo laminar, se tiene la ecuación (McCabe, Smith y Harriot, 2007):

$$f = \frac{16\mu}{D\bar{v}\rho} = \frac{16}{Re} \quad (5)$$

que relaciona el factor de fricción con el número de Reynolds. Una gráfica doble logarítmica de la ecuación es una línea recta de pendiente -1. Esta línea se muestra en la figura 5.10 para números de Reynolds menores de 2100 (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Para el flujo turbulento la línea inferior representa el factor de fricción para tubos lisos. Una ecuación empírica es (McCabe, Smith y Harriot, 2007):

$$f = 0.046Re^{-0.2} \quad (6)$$

Esta se puede aplicar en un intervalo desde 50,000 hasta  $1 \times 10^6$ . Otra ecuación, que se aplica sobre un intervalo de números de Reynolds desde 3,000 hasta  $3 \times 10^6$ , es (McCabe, Smith y Harriot, 2007):

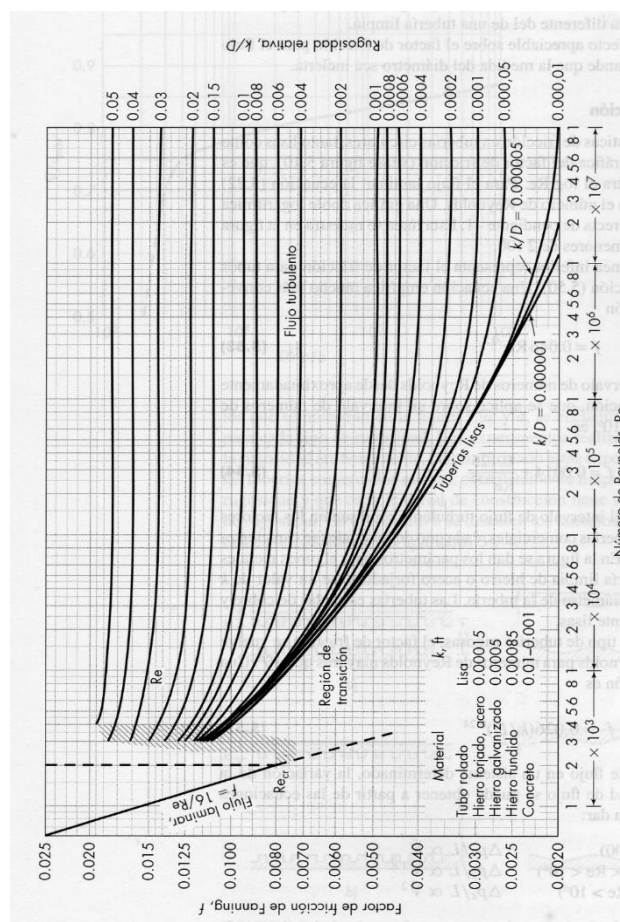
$$f = 0.0014 + \frac{0.125}{Re^{0.32}} \quad (7)$$

Las demás líneas en el intervalo de flujo turbulento representan los factores de fricción para varios tipos de tuberías comerciales, cada uno se caracteriza por un valor diferente de  $k$ . Se dan los parámetros para algunos metales comunes (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

El factor  $k$  mencionado anteriormente es la altura de una unidad simple de rugosidad y se denomina parámetro de rugosidad. El factor de fricción depende tanto de  $Re$  como la rugosidad relativa  $k/D$  en donde  $D$  es el diámetro de la tubería (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Con mucha experimentación se logró construir una gráfica que relaciona el número de Reynolds con el factor de fricción de Fanning ( $f$ ) y la rugosidad relativa ( $k/D$ ). Muestra la gráfica (McCabe, Smith y Harriot, 2007):

Ilustración 15 Gráfica que relaciona  $Re$ ,  $k/D$  y  $f$



Esta gráfica es de suma importancia porque permite conocer el valor de cualquiera de las tres variables, conociendo dos. Además no es necesario utilizar las ecuaciones mencionadas anteriormente, aunque son útiles para verificar si el dato leído de la tabla es el correcto.

a. Fricción debida a variaciones de velocidad o dirección. Siempre que cambia la velocidad de un fluido, tanto en dirección como en magnitud, se genera una fricción adicional a la fricción en la superficie, que es por el flujo a través de la tubería recta. El primer tipo de pérdida por fricción es por la expansión súbita de la sección transversal. Esta se da cuando se expande bruscamente la sección transversal de la tubería de conducción, la corriente de fluido se separa de la pared y se proyecta en forma de torrente (chorro) en la sección expandida. Después el torrente se expande ocupando toda la sección de la parte ancha del conducto. El espacio entre el torrente expandido y la pared del conducto es ocupado por el fluido en movimiento de vórtice, que es característico de la separación de la capa límite, y se produce dentro de este espacio una fricción considerable (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Otra pérdida a tomar en cuenta es la contracción súbita de la sección transversal. Cuando se reduce la sección transversal, la corriente del fluido no se adapta al borde pronunciado y la corriente ya no está en contacto con la pared del conducto. El torrente primero se contrae y luego se expande hasta ocupar toda la sección estrecha, reestableciéndose la corriente de salida, desde el punto de contracción a la distribución normal de velocidad. La sección del área mínima en donde el torrente pasa de la contracción a la expansión recibe el nombre de vena contracta (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Esta pérdida es proporcional a la carga de velocidad en el conducto estrecho y se calcula así (McCabe, Smith y Harriot, 2007):

$$h_{fc} = K_c \frac{\bar{v}_b^2}{2} \quad (8)$$

donde  $K_c$  = coeficiente de pérdida por contracción

$\bar{v}_b$  = velocidad media de la corriente a la salida de la sección estrecha.

La pérdida por fricción debida a una expansión súbita de la sección transversal está dada por la ecuación (McCabe, Smith y Harriot, 2007):

$$h_{fe} = K_e \frac{\bar{v}_a^2}{2} \quad (9)$$

donde  $K_e$  = coeficiente de pérdida por expansión

$\bar{v}_a$  = velocidad media de la corriente a la entrada de la sección estrecha.

De forma experimental, se encuentra que para el flujo laminar  $K_c < 0.1$  y la pérdida de contracción  $h_{fc}$  es insignificante. Para el flujo turbulento  $K_c$  se calcula con la ecuación (McCabe, Smith y Harriot, 2007):

$$K_c = 0.4 \left( 1 - \frac{S_b}{S_a} \right) \quad (10)$$

donde  $S_a$  = área de sección transversal de los ductos de las corriente de ingreso

$S_b$  = área de sección transversal de los ductos de las corriente de salida

Nuevamente para un flujo turbulento  $K_e$  se calcula con la ecuación (McCabe, Smith y Harriot, 2007):

$$K_e = \left( 1 - \frac{S_a}{S_b} \right)^2 \quad (11)$$

donde  $S_a$  = área de sección transversal de los ductos de las corriente de ingreso

$S_b$  = área de sección transversal de los ductos de las corriente de salida

b.Efecto de válvulas y accesorios. Por último se tiene que considerar el efecto de válvulas y accesorios, porque alteran las líneas normales de flujo y dan lugar a fricción. En conductos de corta longitud con muchos accesorios, las pérdidas por fricción en estas llegan a ser mayores que la de la longitud recta de tubería. La pérdida por fricción de flujo  $h_{ff}$  por los accesorios, se calcula así (McCabe, Smith y Harriot, 2007):

$$h_{ff} = K_f \frac{\bar{v}_a^2}{2} \quad (12)$$

donde  $K_f$  = factor de pérdida para el accesorio

$\bar{v}_a$  = velocidad media en la tubería que conduce al accesorio

El factor  $K_f$  se determina experimentalmente y es distinto para cada tipo de conexión (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

Tabla 12 - Accesorios y sus coeficientes

Accesorio	$K_f$
Codo estándar	
45°	0.35
90°	0.75
T	
En líneas rectas	0.4
Usados como codo	1.0
Retorno, 180°	1.5
Válvula de compuerta	
Semiabierta	4.5
Completamente abierta	0.17
Válvula de ángulo, completamente abierta	2.0
Válvula de globo, completamente abierta	6.0
Válvula de cheque	2
Acople	0.04

(McCabe *et al.*, 2007 y Perry, 1997)

## S. Válvulas de cheque

Una de las partes más importantes de una bomba de pistón son las válvulas de cheque, a continuación se presenta información importante sobre ellas.

Las válvulas de cheque o de retención son utilizadas para no dejar regresar un fluido dentro de una línea. Esto quiere decir que cuando las bombas son cerradas por mantenimiento ó porque la gravedad está actuando, la válvula se cierra dejando pasar solo el flujo que va en la dirección correcta (ETF, 2015).

Esta es una válvula unidireccional y se tiene que colocar correctamente para que haga su función usando el sentido de la circulación del flujo que es correcta (ETF, 2015).

Se tienen válvulas tipo columpio, en donde el fluido y su presión abren el disco hacia arriba y este regresa para no dejar pasar al fluido. También están las de resorte que hacen que la válvula cierre inmediatamente cuando el flujo se detiene. Otro tipo es la de doble puerta que usan un sistema de resortes para cerrar la válvula (ETF, 2015).

Estas válvulas se hacen de acero al carbón fundido, forjado, acero inoxidable, bronce, hierro, fofo, PVC y CPVC. Se fabrican con extremos bridados, roscados, soldados y tipo oblea para instalarlas en espacios reducidos y con poco peso (ETF, 2015).

## T. Diseño de una bomba

La selección de una bomba para un servicio específico requiere del conocimiento del líquido que se estará manejando, la cabeza dinámica total requerida, las cabezas de succión y descarga y la temperatura, viscosidad, presión de vapor y densidad del fluido (Peters *et al*, 2003).

El primer paso del diseño es el cálculo de la cabeza total y el caudal de la bomba. La cabeza total es la suma de la cabeza estática y la dinámica. La cabeza estática es la altura total que la bomba debe transportar el fluido y la dinámica son todas las pérdidas de fricción que representan los accesorios y la tubería instalada. La cabeza total está expresada en unidades de longitud, se usa metro (m) para el sistema internacional.. El caudal que se necesita depende de las necesidades que la bomba pretende satisfacer. Las unidades de medida que se usan para el caudal son en volumen/ tiempo, para el sistema internacional se usa  $m^3/s$  ó L/s.

La cabeza estática se determina midiendo la altura a la que se desea transportar el fluido. El punto de referencia para medir la altura está dado por el lugar en donde se coloque la bomba. Cualquier altura por arriba del nivel de la bomba se tomará como positiva y si se tuviera una altura por debajo del nivel de la bomba esta será negativa. La cabeza estática total será la suma de las alturas por arriba y por debajo del nivel de la bomba.

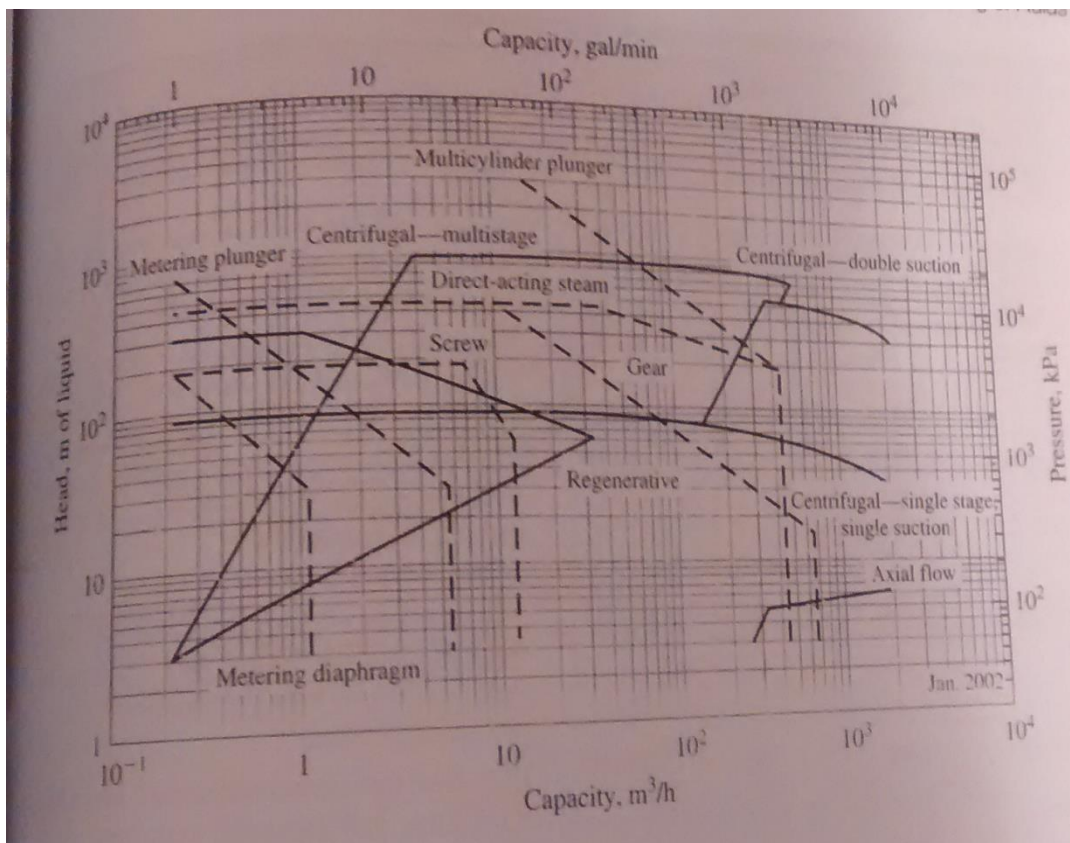
El cálculo de la cabeza dinámica es mucho más trabajoso porque se deben calcular las caídas de presión

ocasionadas por la tubería y los accesorios. Es necesario conocer la longitud de la tubería que se usará, todos los accesorios que se usarán y el material de la tubería y de los accesorios. Toda la sección del fenómeno de flujo de fluidos, explica todas las ecuaciones que se deben usar para determinar la cabeza dinámica de una bomba. La cabeza dinámica está dada por la suma las pérdidas de fricción ocasionadas por la tubería y los accesorios. La cabeza total de la bomba será entonces la suma de la cabeza estática y la cabeza dinámica.

Para determinar el caudal necesario es posible buscarlo en fuentes confiables como libros ó artículos de revistas especializadas. También se puede determinar experimentalmente usando un cronómetro y un envase con su volumen graduado o medido. Es necesario tomar el tiempo que le toma al caudal de interés llenar el volumen del envase. La determinación del caudal se calcula dividiendo el volumen dentro del tiempo.

La gran variedad de bombas que se encuentran disponibles hoy en día junto con una gran cantidad de factores que determinan la selección de la bomba para una instalación específica, obligan a un ingeniero a reducir las opciones rápidamente. Usualmente el rango de operación de la bomba se conoce, por lo que el uso será útil para el descarte de opciones (Peters *et al*, 2003).

Ilustración 16 Rangos de operación comerciales de las bombas disponibles



Fuente: Peters *et al*, 2003

Para tener un mejor criterio también se puede consultar la. En ella se tiene una mayor cantidad de información que facilitará la selección de la bomba adecuada, según las necesidades que se tengan (Peters *et al*, 2003).

Conociendo el tipo de bomba que se desea, se debe buscar al proveedor con la bomba cuyas características específicas se parezcan más a las calculadas. Luego se compra e instala la bomba.

La comunidad cuenta, desde el año 2000, con una escuela (EORM Caserío Cumbre de San Agustín) la cual está registrada en el MINEDUC como escuela de párvulos y de primaria. Dicha escuela cuenta con 32 niños inscritos y está a cargo de tres maestras multigrado que se desplazan todos los días hacia la comunidad, pues no son residentes de San Agustín (MINEDUC, 2013) (Pobladores, 2014). Los pobladores también reportan que la mayor parte de los niños y adolescentes ya cursaron o están cursando la escuela primaria; mientras que los adultos tienen poca o nula escolaridad y en su mayoría son analfabetos. Durante la fase inicial de entrevistas, sólo se supo de un caso que estudia la secundaria. Debido a que la comunidad no cuenta con un instituto de educación secundaria, los jóvenes deben viajar a Morales a estudiar, lo que supone un gasto de Q.14.00 diarios para transportarse, siendo éste un gasto que la mayor parte de los pobladores no puede cubrir (Pobladores, 2014). (López 2014)

Tabla 13 - Guías generales para la selección preliminar de bombas

Type of pump	Max. system press., kPa	Max. Dp/stage, kPa	Approx. capacity limit, m <sup>3</sup> /s	Pump efficiency range, %	Advantages or limitations
Centrifugal					
Centrifugal (radial)	48,000	2000	10	40-80	Simple, inexpensive, low maintenance cost, viscosities <0.1 Pa*s, require priming, possible cavitation limited peak efficiency.
Axial	35,000	200	10	50-85	Moderate cost, low maintenance cost, viscosities <0.1 Pa*s, possible cavitation, high speed, and low head.
Regenerative (turbine)	5,000	3500	<1.0	20-40	Moderate cost and maintenance, handles volatile liquids, viscosities <0.1 Pa*s, low capacity, high head.
Positive displacement					
Gear	35,000	20,000	0.1	40-85	Moderate cost, low maintenance cost, wide range of viscosities to 400 Pa*s, low capacity, high head, low noise, overpressure, protection recommended.
Lobe	35,000	1700	0.1	40-85	High cost, low maintenance cost, viscosities <0.1 Pa*s, low capacity, high head, overpressure, protection recommended.
Piston (circumferential)	35,000	1700	0.04	40-85	Moderate cost, low maintenance cost, wide range of viscosities to 400 Pa*s, low capacity, low noise, overpressure, protection recommended.
Screw	20,000	2000	0.1	40-70	High cost, moderate maintenance cost, wide range of viscosities to 1000 Pa*s, low capacity, high head, and moderate noise.
Sliding vane	35,000	15,000	0.1	40-85	Moderate cost, low maintenance cost, wide range of viscosities to 100 Pa*s, low capacity, high head, no abrasive liquids.
Reciprocating					
Piston	100,000	15,000	0.03	50-90	High cost, high maintenance cost, very high head, low capacity, viscosities to 400 Pa*s, pulsating flow, fluid leakage, noisy.

(Peters *et al*, 2003)

La escuela está construida con block, lo cual lo hace resistente ante las condiciones del clima, las cuales en su mayoría del año son lluvias. La escuela se encuentra en la entrada de la comunidad, es accesible para los niños que viven al su alrededor, pero se vuelve un poco más complicado para quienes viven en otros caseríos y que inclusive deben cruzar un río. Pero el clima y la distancia no son los únicos impedimentos que los niños enfrentan para asistir a la escuela, evidencia de ello son los “paros de clases” que se realizan en la cabecera departamental y que se replican en diferentes lugares como lo es en la comunidad Caserío Cumbre de San Agustín. Durante el mes de julio del 2015 los maestros dejaron de impartir clases por 3 semanas aproximadamente, debido a ciertas solicitudes que hicieron al MINEDUC y que nunca fueron atendidas, los padres de familia expresaron su descontento y desaprobación ante estas decisiones por parte de los maestros. (Pobladores, 2015)

El Caserío Cumbre de San Agustín cuenta con una población de 200 personas aproximadamente, no hay un censo que pueda brindar la información precisa. De esta población, un 25% equivale a niños hasta los 12 años.

Según datos provistos por el Alcalde Auxiliar, Señor Fidelino Jordán, la población asciende alrededor de 200 personas distribuidas en 25 viviendas (Pobladores, 2014). Estos datos varían levemente de otros obtenidos en investigaciones previas, pues en 2008 se reportaba un total de 179 habitantes en 28 viviendas (EPICSA, 2008), y en 2011 un total de 134 habitantes en 26 viviendas (Municipalidad de Morales & Plan International Inc., 2010). Las viviendas están construidas de bahareque y madera, con pisos de tierra y techos principalmente de palma o lámina, de una sola habitación y albergan a un promedio de entre 5 y 6 personas (EPICSA, 2008) (Pobladores, 2014). La población es principalmente mestiza, y se habla el español. (López 2014). No se encuentra información oficial de este caserío en los documentos del Instituto Nacional de Estadística (INE).

Aunque la población no cuenta con electricidad ni presencia de medios de comunicación como la televisión o diarios impresos, un estudio de 2010 reportó la presencia de algunas radios en Cumbre San Agustín (Municipalidad de Morales & Plan International Inc., 2010). (López 2014)

En cuanto a las actividades económicas, la comunidad se sostiene a base de agricultura de subsistencia. En general, los hombres se dedican a la agricultura de subsistencia y las mujeres son amas de casa. No existe actividad artesanal, y algunas personas se dedican a comerciar productos agrícolas en otras comunidades, especialmente la piña (EPICSA, 2008) (Municipalidad de Morales & Plan International Inc., 2010) (Pobladores, 2014). No existen otras fuentes de ingreso, empleo o comercio en la comunidad, ya que no se cuenta con establecimientos comerciales de ningún tipo. La comunidad, por lo tanto, se encuentra en una situación de pobreza, y de pobreza extrema en algunos casos. (López 2014)

En cuanto a servicios de salud, no existe un puesto o centro de salud en la comunidad, siendo el más cercano, el Centro de Salud de Morales, a aproximadamente 15 kilómetros. Las enfermedades más comúnmente presentadas en la comunidad son la diarrea y las infecciones respiratorias agudas. Además, la comunidad carece de sistemas de alcantarillado, disposición de excretas, disposición de aguas residuales, alumbrado público,

electricidad y acceso a agua potable (EPICSA, 2008) (Municipalidad de Morales & Plan Internacional Inc., 2010) (Pobladores, 2014) (López 2014)

Los hábitos y prácticas higiénicas y sanitarias se encuentran mermados en la comunidad. La mayor parte de los pobladores no se calza, y la mayoría de niños están sin ropa, los más pequeños, y presentan un aspecto desprolijo. Según datos provistos por los pobladores y por un empleado de Plan Internacional, hace algunos años se realizó un proyecto de instalación de letrinas, por lo que la mayor parte de casas cuentan con este servicio (Pobladores, 2014) (López 2014)

Sólo hay una casa que cuenta con agua en tubería; ya que, según información del Alcalde Auxiliar del lugar, un proyecto municipal inició hace años en la comunidad pero únicamente llegó a completar una casa y se discontinuó el mismo (Pobladores, 2014). Esta casa se abastece del proyecto de agua potable de Cumbre San José, una comunidad vecina (Municipalidad de Morales & Plan Internacional Inc., 2010). Los demás pobladores se abastecen de agua de una poza y un riachuelo que atraviesa la comunidad, proveniente del Río Amatillo. Dicha agua es utilizada para consumo humano y labores del hogar como lavar ropa, cocinar y bañarse; y la gran mayoría de las familias reportó no dar ningún tratamiento al agua previo a su ingesta. El agua está disponible a todas horas del día; sin embargo durante los meses más calurosos de la época seca (marzo-abril) escasea el vital líquido (Pobladores, 2014) (López 2014)

## U. Androgogía

1. Historia del concepto. Según el Instituto de Tecnología Educativa (s.f) etimológicamente Andragogía hace referencia a antropos (hombre) por contraposición a la pedagogía que hace referencia al paidos (niño).

La Andragogía adquirió un gran desarrollo hasta los años sesenta pero, después, su excesiva independencia respecto a las teorías generales del aprendizaje y sobre todo su contraposición sistemática a la pedagogía la precipitaron en un aislamiento que la hizo menos fecunda de lo esperado. Sin embargo, aunque la palabra como tal haya caído en desuso, las aportaciones de todo el movimiento andragógico a la educación de personas adultas han tenido y siguen teniendo una gran trascendencia. (ITE, s.f)

La Andragogía se definió, en sus orígenes, como una pedagogía invertida. La práctica andragógica era concebida como el reverso de la práctica pedagógica. Hacía referencia permanente a las características de la pedagogía, como teoría y práctica educativa infantil, pero para negarlas en la andragogía como teoría y práctica educativa con personas adultas. (ITE s.f)

La investigación sobre el aprendizaje adulto se dividió en los años veinte en dos grandes corrientes: la científica y la humanista. (ITE s.f)

La corriente científica estuvo dirigida por Thondike, que publicó en 1928 *Adult Learning* y en 1935 *Adult Interests*. A esta corriente pertenece también Herbert Sorenson, que publicó en 1938 *Adult Abilies*. (ITE s.f)

La corriente humanista más utópica, denominada también artística, estuvo liderada por Lindeman, quien publica en 1926 *The Meaning of Adult Education*, en la que establece una serie de principios metodológicos sobre la educación de adultos. (ITE s.f)

2. Principios de la Andragogía. Según el Instituto de Tecnología Educativa (s.f) hace mención de los principios de la Andragogía:

- Los adultos se motivan en torno a necesidades y centros de interés
- El modo de aprendizaje adulto está centrado sobre la realidad por lo que la educación se ha de construir no sobre temas sino sobre situaciones.
- La experiencia es el factor más grande de aprendizaje, analizar la experiencia y construir con ella el aprendizaje es fundamental.
- Los adultos aspiran a autodeterminarse, por lo tanto las relaciones a establecer en el proceso han de ser comunicativas y bidireccionales.
- Las diferencias de personalidad se agrandan con la edad, por consiguiente hay que diferenciar los estilos, duración, ritmos de aprendizaje. (ITE s.f)

Knowles (1982) citado en el Instituto de Tecnología Educativa (s.f) los principios de la andragogía se basan en las distintas posibilidades y recursos que un niño y un adulto tienen para dirigir.

Diferencias entre el modelo pedagógico y el modelo andragógico.

Tabla 14 - Comparación entre el modelo pedagógico y el modelo andragógico (ITE s.f)

MODELO PEDAGÓGICO	MODELO ANDRAGÓGICO
El profesor decide con pleno derecho lo que se aprende, cuando, cómo y si está o no asimilado por los alumnos. Los objetivos también los fija el profesor.	El adulto decide lo que quiere saber o lo que le interesa saber y es libre para buscar donde, cómo, con quien y para qué aprender.
Los alumnos solamente necesitan saber, para triunfar y progresar académicamente, lo que el profesor les enseña.	Los adultos necesitan saber, para triunfar en la vida, más cosas de las que el profesor les enseña.
Los alumnos no tienen necesidad y a veces no quieren saber más que lo que el profesor les exige o lo que viene en el manual. El profesor exige a los alumnos	Los adultos quieren aprender más que lo que el profesor les enseña. Los adultos exigen al profesor.
El concepto del alumno es de dependiente. Su aprendizaje depende de la enseñanza. Su identidad social depende de su actividad como estudiante.	El adulto es una persona autónoma. Su aprendizaje depende, además de la enseñanza, de su propia experiencia, de lo que le comunican sus compañeros, de las informaciones que recibe fuera del marco académico. Su identidad social no depende sólo de su participación en procesos de aprendizaje.

Continuación Tabla 14

La experiencia del alumno es poco útil para el aprendizaje. El aprendizaje y la enseñanza giran en torno a respuestas .La enseñanza gira en torno a “productos” terminados.	La experiencia del adulto es un elemento fundamental para construir su aprendizaje. El aprendizaje y la enseñanza giran en torno a preguntas. La enseñanza gira en torno a procesos a continuar.
El alumno acumula aprendizajes y conocimientos para aplicarlos posteriormente	El adulto pretende “aplicar” inmediatamente los aprendizajes.
Los alumnos orientan su aprendizaje en torno a un tema. Se trata de conocer cosas sobre algo concreto, definido y simplificado. El aprendizaje se organiza lógicamente en torno a los contenidos.	Los adultos orientan su aprendizaje en torno a problemas. Se trata de aprender a resolver situaciones conflictivas y complejas. El aprendizaje se organiza en torno a problemas.
El alumno radica sus motivaciones en el exterior: notas, presiones familiares, simpatía o antipatía del profesor, a veces hasta castigos o premios.	El adulto radica sus motivaciones en el interior de una situación en la que se encuentra: solucionar un problema personal o social, aprender a moverse en una situación compleja, dar sentido a la vida.

## V. Empoderamiento humano

1. Definición. Según Romano (2002) citado en Crespo Patricio, de Rham Philippe, Gonzáles Glenda, Iturralde Pablo, Jaramillo Byron, Mancero Lorena, Moncada Martha, Pérez Artemio, Soria Carlos (2007) El concepto de empoderamiento surge desde la lucha feminista, como un término orientado a identificar mecanismos y condiciones para que las mujeres equilibren su poder frente a los hombres. “El empoderamiento se relaciona, (...), con el poder, cambiando las relaciones de poder en favor de aquellos que con anterioridad tenían escasa autoridad sobre sus propias vidas”

2. Dimensiones del empoderamiento. El empoderamiento social es un camino de múltiples dimensiones y formas en el que entran en juego el auto-reconocimiento personal como sujetos portadores de derechos, el fortalecimiento del tejido institucional y el desarrollo de la capacidad de las organizaciones para incidir en los diferentes ámbitos de la vida, la economía, la política, la cultura y las instituciones. El fortalecimiento del tejido institucional y organizativo está en la base de cualquier emprendimiento económico o político. Se relaciona con el fortalecimiento organizacional, pero es más que eso. Tiene que ver con la representatividad, la funcionalidad y, por tanto, la legitimidad de las organizaciones. El empoderamiento social, desde la perspectiva personal, guarda relación con la construcción de su identidad, con la familia, la comunidad y las instituciones, atravesada por el género, la historia de vida de cada persona y la interculturalidad. (Soria 2007)

¿Cómo el empoderamiento social puede generar condiciones favorables para desarrollar que los actores se

empoderen política y económicamente?

Con el desarrollo y fortalecimiento de organizaciones, que involucran a personas y familias – empoderamiento social–, se mejoran las capacidades de incidencia sobre políticas y sobre el ejercicio del poder público –empoderamiento político– en un sentido incluyente, participativo y democrático. Esto es posible porque el empoderamiento social coadyuva al fortalecimiento de dimensiones políticas como las siguientes:

Consolidación de valores compartidos y prácticas que contribuyen a afianzar y profundizar los sistemas democráticos y a construir ciudadanía.

Fortalecimiento de la representatividad a raíz del incremento de los niveles de confianza y credibilidad respecto al papel que cumplen las organizaciones. Esto supone contar con organizaciones que pueden responder coherente y eficientemente en el logro de los objetivos para los que fueron creadas, redundando en el aumento de su legitimidad.

Incremento de la capacidad de presión y de negociación, posibilitando que las demandas sean escuchadas e incluidas en las agendas públicas.

Multiplicación de condiciones para promover alianzas y generar concertaciones.

Generación y eventual institucionalización de mecanismos de control social. símbolos, normas y elementos de identidad (Soria 2007)

Adicionalmente, el empoderamiento social influye en los aspectos económicos al impulsar la construcción de un entorno social, normativo e institucional favorable para los emprendimientos productivos y contribuir en el mejoramiento de las capacidades de los pequeños y medianos productores para enfrentar los retos del mercado.

## W. Aprendizaje significativo

1. Definición Ausubel (1963, 1968) citado en Coll, Solé (2001) lo acuñó este término para definir lo opuesto al aprendizaje repetitivo. Para este autor y para sus seguidores, la significatividad del aprendizaje se refiere a la posibilidad de establecer vínculos sustantivos y no arbitrarios entre lo que hay que aprender -el nuevo contenido- y lo que ya se sabe, lo que se encuentra en la estructura cognitiva de la persona que aprende -sus conocimientos previos-. Aprender significativamente quiere decir poder atribuir significado al material objeto de aprendizaje; dicha atribución sólo puede efectuarse a partir de lo que ya se conoce, mediante la actualización de esquemas de conocimiento pertinentes para la situación de que se trate. Esos esquemas no se limitan a asimilar la nueva información, sino que el aprendizaje significativo supone siempre su revisión, modificación y enriquecimiento estableciendo nuevas conexiones y relaciones entre ellos, con lo que se asegura la funcionalidad y la memorización comprensiva de los contenidos aprendidos significativamente. (Solé 2001).

Por otra parte, la definición misma de aprendizaje significativo supone que la información aprendida es integrada en una amplia red de significados que se ha visto modificada, a su vez, por la inclusión del nuevo material. La memoria no es sólo el recuerdo de lo aprendido, sino que constituye el bagaje que hace posible abordar nuevas informaciones y situaciones. Lo que se aprende significativamente es significativamente memorizado; por supuesto, este tipo de memorización tiene poco que ver con la que resulta de la memoria mecánica, que permite la reproducción exacta del contenido memorizado bajo determinadas condiciones. En el caso del aprendizaje significativo, se asegura la memorización en la medida en que lo aprendido ha sido integrado en la red de significados a que más arriba se aludía. Precisamente por este proceso de inclusión, que imprime modificaciones no sólo a la estructura integradora, sino también a lo que se integra, al contenido del aprendizaje, resulta difícil que éste pueda ser reproducido «tal cual»; pero también por la misma razón, la posibilidad de utilizar dicho conocimiento -su funcionalidad- es muy elevada, lo que no ocurre en el caso de la memoria mecánica.

En síntesis, aprender significativamente supone la posibilidad de atribuir significado a lo que se debe aprender a partir de lo que ya se conoce. Este proceso desemboca en la realización de aprendizajes que pueden ser efectivamente integrados en la estructura cognitiva de la persona que aprende, con lo que se asegura su memorización comprensiva y su funcionalidad. Parece, pues, justificado y deseable que las situaciones escolares de enseñanza y aprendizaje persigan la realización de aprendizajes tan significativos como sea posible, dado que su rentabilidad es notable. Sin embargo, el aprendizaje significativo no se produce gracias al azar; su aparición requiere la confluencia de un cierto número de condiciones que vamos a describir someramente. (Solé 2001)

2. Condiciones para un aprendizaje significativo. En primer lugar, para que una persona pueda aprender significativamente, es necesario que el material que debe aprender se preste a ello, que sea potencialmente significativo. Es decir, se trata de que la información, el contenido que se le propone, sea significativo desde el punto de vista de su estructura interna, que sea coherente, claro y organizado, no arbitrario ni confuso. Cuando no es así, la tarea de atribuir significado se dificulta enormemente y en muchas ocasiones se bloquea, optándose entonces por aprender de una forma mecánica y repetitiva ese contenido cuyas características hacen imposible abordarlo de otro modo. Esta condición no se limita únicamente a la estructura misma del contenido, sino que abarca también la presentación que de él se efectúa, aspecto que puede contribuir decisivamente a la posibilidad de atribuirle algún significado en la medida en que ayude a poner de relieve su coherencia, estructura y significatividad lógica, así como aquellos aspectos susceptibles de ser relacionados con esquemas de conocimiento previos, ya existentes en la estructura cognitiva de la persona que aprende. (Solé 2001)

Llegamos con ello a una segunda condición. Para que se produzca un aprendizaje significativo, no basta con que el material a aprender sea potencialmente significativo -es decir, que respete la condición anterior-, sino que es necesario, además, que el alumno disponga del bagaje indispensable para efectuar la atribución de significados que caracteriza al aprendizaje significativo. En otras palabras, se requiere que disponga de los conocimientos previos pertinentes que le van a permitir abordar el nuevo aprendizaje. (Solé 2001)

Aunque necesarias, las condiciones expuestas no son todavía suficientes para lograr que los alumnos realicen aprendizajes significativos. Para que ello ocurra, hace falta también una actitud favorable a la realización de

aprendizajes significativos. En efecto, el aprendizaje significativo requiere una actividad cognitiva compleja - seleccionar esquemas de conocimiento previos pertinentes, aplicarlos a la nueva situación, revisarlos y modificarlos, proceder a su reestructuración, al establecimiento de nuevas relaciones, evaluar su adecuación, etc.-, para la cual el alumno debe estar suficientemente motivado. No hay que olvidar, por lo tanto, que si bien es más útil, gratificante y funcional, requiere mayor esfuerzo y que en ocasiones las experiencias educativas previas de los alumnos les han mostrado que resulta suficiente un enfoque superficial (Entwistle, 1988) para responder a las expectativas que presiden la enseñanza, con lo que puede haberse instaurado un cierto hábito difícil de quebrantar. (Solé 2001)

3. Las construcciones de significados. Con frecuencia se habla de aprendizaje significativo como si se tratara de una cuestión absoluta, de todo o nada. Esta interpretación es claramente incorrecta. De hecho, un aprendizaje es significativo en la medida en que se encuentran presentes las condiciones que se han señalado en el apartado anterior y esto puede suceder en distintos grados. Puede ser que el contenido sea más o menos coherente; que la forma de presentarlo permita poner de manifiesto en mayor o menor medida su estructura; que los conocimientos previos con los que el alumno lo aborda sean más o menos pertinentes, elaborados y completos; o aún que su disposición a establecer conexiones y relaciones con los conocimientos disponibles, a revisarlos y reorganizarlos, sea más o menos entusiasta y decidida.

Los significados construidos por los alumnos son siempre incompletos o, si se prefiere, perfeccionables, de tal manera que, a través de las reestructuraciones sucesivas que se producen en el transcurso de otras tantas situaciones de enseñanza y aprendizaje, dichos significados se enriquecen y complican progresivamente, con lo que aumenta su valor explicativo y funcional. Por lo tanto, más que intentar que los alumnos realicen aprendizajes significativos, se trata de poner las condiciones para que los aprendizajes que realicen en cada momento de su escolaridad sean tan significativos como sea posible, aceptando de este modo que es conveniente, deseable e incluso a menudo necesario volver sobre un mismo contenido con un enfoque distinto, abordándolo a diversos niveles de profundidad y complejidad, poniéndolo a prueba en una amplia gama de situaciones, etc.

No es razonable esperar, si se acepta hasta sus últimas consecuencias el concepto de aprendizaje significativo, que los alumnos construyan de una vez por todas los significados correspondientes a un nuevo contenido de enseñanza cuando se les presenta por primera vez, aunque ésta se plantee y se ejecute a la perfección. Normalmente, los alumnos construirán unos significados que sólo en parte corresponderán a los significados que pretende vehicular la enseñanza y serán necesarios varios intentos sucesivos para que ambos conjuntos de significados se acerquen sustancialmente. No es razonable tampoco, si aceptamos hasta sus últimas consecuencias el concepto de aprendizaje significativo, postular sin más la ineficacia de la enseñanza o la falta de madurez para el aprendizaje cuando constatamos que los significados construidos por los alumnos son erróneos o incompletos. A menudo esto quiere decir simplemente que el nivel de aprendizaje significativo alcanzado es pequeño, que el camino es largo y que la enseñanza es imprescindible para poder recorrerlo.

Aún cuando el aprendizaje significativo es una realización de tipo personal, esta realización no la efectúa el alumno aisladamente, enfrentado a un objeto de conocimiento -ya se trate de un concepto, de un sistema normativo o de un conjunto de procedimientos -cualquiera. En primer lugar, los contenidos que deben abordar los alumnos en el curso de la educación obligatoria nunca son unos contenidos «cualesquiera», sino unas formas culturales definidas de antemano, cuya adquisición justifica en buena parte la existencia misma de las prácticas educativas escolares. En segundo lugar, la construcción que debe llevar a cabo el alumno en relación a un contenido dado se produce en el marco de las situaciones interactivas que definen la educación escolar, especialmente en el contexto de la interacción con su profesor. Llegamos así al tercer punto del plan expositivo que hemos esbozado al principio y que se refiere precisamente a las condiciones y mecanismos que debe contemplar la intervención pedagógica para contribuir a que los alumnos puedan aprender significativamente. (Solé 2001)

## X. Constructivismo

1. Constructivismo cognitivo. Piaget Este tipo de constructivismo parte de la idea de Piaget, en donde postula que la construcción del aprendizaje es individual.

Según Pons R. & Serrano J (2011) en primer lugar, para Piaget, efectivamente, el proceso de construcción de los conocimientos es un proceso individual que tiene lugar en la mente de las personas que es donde se encuentran almacenadas sus representaciones del mundo. El aprendizaje es, por tanto, un proceso interno que consiste en relacionar la nueva información con las representaciones preexistentes, lo que da lugar a la revisión, modificación, reorganización y diferenciación de esas representaciones. Ahora bien, aunque el aprendizaje es un proceso intramental, puede ser guiado por la interacción con otras personas, en el sentido de que “los otros” son potenciales generadores de contradicciones que el sujeto se verá obligado a superar.

En segundo lugar, con el redescubrimiento de Piaget por la psicología estadounidense empieza a romperse el cerco conductista sobre el estudio de los procesos de pensamiento y se empieza a concebir el sistema humano en términos, de Procesamiento de la Información. Esta concepción parte del presupuesto de que la mente humana es un sistema que opera con símbolos, de manera que la información se introduce en el sistema de procesamiento, se codifica y, parte de ella, se almacena para poderla recuperar con posterioridad. Por oposición al conductismo, la teoría del procesamiento de la información, proporciona una concepción "constructivista" del ser humano, por cuanto recurre a dos principios constructivistas básicos (organización y significatividad).

2. Constructivismo socio-cultural. Vigotsky Pons R. & Serrano J (2011) enfatizan que el constructivismo socio-cultural tiene su origen en los trabajos de Lev S. Vygotsky y postula que el conocimiento se adquiere, según la ley de doble formación, primero a nivel intermental y posteriormente a nivel intrapsicológico, de esta manera el factor social juega un papel determinante en la construcción del conocimiento, aunque este papel no es suficiente porque no refleja los mecanismos de internalización. Sin embargo, como la idea de un origen social de las funciones psicológicas no es antitética con la noción de construcción personal, sobre todo si se parte de un modelo bidireccional de transmisión cultural en el que todos los participantes transforman activamente los

mensajes, podemos asumir que la construcción de los conocimientos supone una internalización orientada por los “otros sociales” en un entorno estructurado. De esta manera el constructivismo socio-cultural propone a una persona que construye significados actuando en un entorno estructurado e interactuando con otras personas de forma intencional.

## Y. Educación para y por la comunidad

1. Paulo Freire. Desde las primeras ideas de Freire, la educación es considerada como un acto de conocimiento, una toma de conciencia de la realidad, una lectura del mundo que precede a la lectura de la palabra. En efecto, su método de alfabetización parte de la exigencia de una investigación por parte de los educadores de la realidad de los educandos y de la lectura que éstos hacen de la misma, expresada en el lenguaje. Ya en el proceso de alfabetización se parte de propia problemática de la realidad y de la discusión de las lecturas “ingenuas” de los educadores y educandos; en el método Freire, a través del diálogo sobre problemas significativos los iletrados apprehenden críticamente su mundo, a la vez que aprenden a leer y escribir.

Contrario a Piaget, para Freire el conocimiento de la realidad no es un acto individual ni meramente intelectual. Conocer el mundo es un proceso colectivo, práctico y que involucra diferentes formas de saber: la conciencia, el sentimiento, el deseo, la voluntad, el cuerpo. Toda práctica educativa debe reconocer lo que educando y educadores saben sobre el tema y generar experiencias colectivas y dialógicas para que unos y otras construyan nuevos conocimientos. (Carrillo 2007)

En su artículo Torres A (2007) dice: “para Freire no puede haber búsqueda sin esperanza. Perder la esperanza es perder la posibilidad de construirnos como sujetos, de transformar el mundo y por tanto de conocerlo”

2. La acción del profesional docente en una educación para el empoderamiento El término empoderamiento surge de la noción de empowerment, “el cual se crea en los Estados Unidos –implementada en los años setenta– como una respuesta a la crítica sobre ineficacia de la política que favorecía instituciones y olvidaba a las personas” (Montero, 2003, p. 71).

En el ámbito educativo el pensamiento empoderador tiene su origen en los planteamientos emancipatorios de Paulo Freire, aun cuando en sus escritos no empleó el término de empoderamiento, se aproximó al contenido de su significado a través de los conceptos de concienciación y de emancipación. (A. Torres 2009)

Desde este punto de vista la educación debe estar inspirada en procesos que permitan el protagonismo no sólo en la construcción del conocimiento y en el desarrollo de la crítica, sino en la intervención social, de allí que se hace necesario promover en el aula el desarrollo de habilidades comunicativas, de pensamientos autónomos estructurados reflexivamente con disposición a la crítica y al diálogo.

Desde esta concepción del hecho educativo se pone de manifiesto la necesidad de una pedagogía de la alteridad la cual se robustezca en la disposición a aceptar y respetar los puntos de vista divergentes apreciando el aporte de estas actitudes para la formación personal y la convivencia democrática. Por tanto se afirma que sólo los métodos dialógicos y participativos enmarcados en una dialéctica emancipadora serán los que estimularán el crecimiento personal y social en consonancia con los valores de libertad, responsabilidad y derecho a la diferencia. (A. Torres 2009)

## Z. Teoría existencial central en el cliente

1. Carl Rogers. “Se me ocurrió que, a menos que tuviera la necesidad de mostrar mi astucia y mis conocimientos, lo mejor sería confiarse a las decisiones del cliente respecto de la relación que debería tomar el proceso.” (Rogers, 1967).

Nace en Oak Park, Illinois, en 1902. Atmósfera familiar: trabajo duro y cristianismo fundamentalista. En 1914 se marchó al campo para dedicarse a la agricultura y a la crianza de animales. En 1919 se inscribió en la Facultad de Agricultura, que abandonó para emprender estudios de Teología. Luego abandona los estudios teológicos y emprendió otros de carácter psicopedagógico. En Universidad de Columbia decide hacer el trabajo de grado en psicología, junto a Abraham Maslow para fundar el enfoque humanista en psicología. (George Boerre, 2003).

Rogers publicó en 1939 su primer libro: “*The Clinical Treatment of the Problem Child*”, conteniendo una cátedra de psicología clínica en Ohio. De 1942 en su *Counseling and Psycho therapy*, funda las bases de Terapia centrada en el cliente, y luego en Chicago, funda el primer counseling center, en el que efectúa su terapia y realiza investigaciones. En su departamento de psiquiatría Rogers experimenta su "terapia centrada en el cliente" con pacientes psicóticos obteniendo óptimos resultados, que publica en 1967 en su libro “*La relación terapéutica y su Impacto: Un estudio de la esquizofrenia*”. Muere en 1987 de un ataque cardiaco a sus 85 años. (George Boerre, 2003) (López 2014)

2. ¿Qué es la persona? A los seres humanos nos motiva un proceso dirigido al crecimiento: Tendencia a la realización. Tendencia direccional a lo largo de la vida; impulso a extenderse, desarrollarse y madurar. (George Boerre, 2003).

Según Rogers, las personas se definen a través de la observación y la evaluación de sus propias experiencias. Rogers define que la teoría de la personalidad, de la terapéutica y las relaciones sociales establecen un marco donde los individuos modifican y definen la imagen de sí mismos. Así, llamó poder personal a la dimensión social del método centrado en la persona. Dicha dimensión se relaciona con "el lugar en el que se ejerce el poder de tomar decisiones, es decir, quién toma las decisiones, de manera consciente o inconsciente, regulan o controlan los pensamientos, las emociones o la conducta de otros o de sí mismos. (George Boerre, 2003).

Estudio de la persona a partir de los siguientes aspectos:

- **Apertura a la experiencia:** Es la percepción precisa de las experiencias propias en el mundo, incluyendo los propios sentimientos. También comprende la capacidad de aceptar la realidad, otra vez incluyendo los propios sentimientos.
- **Vivencia existencial:** Esto corresponde a vivir en el aquí y ahora. Rogers, siguiendo su tendencia a mantenerse en contacto con la realidad, insiste en que no vivimos en el pasado ni en el futuro; el primero se ha ido y el último ni siquiera existe. Reconociendo que unos son memoria y otros sueños.
- **Confianza organísmica:** Confiar en nosotros, hacer aquello que creemos que está bien. Rogers define la confianza en el propio yo; en el sí mismo reconociendo la experiencia y viviendo de forma existencial.
- **Libertad experiencial:** Rogers propone que hay que comportarnos de manera libre y asumiendo su responsabilidad. (George Boerre, 2003).

Fue partícipe y gestor instrumental en el desarrollo de la terapia no directiva, también conocida como Terapia centrada en el cliente, que renombró como Terapia centrada en la persona. Esta interesante teoría es conocida por sus siglas en inglés PCA "*Person-Centered Approach*". Sus teorías abarcan no sólo las interacciones entre el terapeuta y el cliente, sino que también se aplican a todas las interrelaciones humanas. La terapia rogeriana contrasta con las perspectivas psicológicas freudianas y las sociales de Alfred Adler y de Albert Bandura, por el uso preferente de la empatía para lograr el proceso de comunicación entre el cliente y el terapeuta o, por extensión, entre un ser humano y otro. (George Boerre, 2003) (López 2014)

### 3. Supuestos básicos

a. ¿Qué es el Existencialismo? Uno de sus postulados fundamentales es que en el ser humano "la existencia precede a la esencia" (Sartre), es decir, que no hay una naturaleza humana que determine a los individuos, sino que son sus actos los que determinan quiénes son, así como el significado de sus actos. Esto incita en el ser humano la creación de una ética de la responsabilidad individual, apartada de cualquier sistema de creencias externo a él. En líneas generales el existencialismo busca una ética que supere a las moralinas y prejuicios; en esto al observar neófito puede resultar contradictorio ya que la ética que busca el existencialismo es una ética universal, válida para todos los seres humanos, que muchas veces no coincide con los postulados de las diversas morales particulares de cada una de las culturas preexistentes. (Rosso, 2006. p 42-41)

El enfoque Existencial se interesa por la verdad del ser humano. Nada es real hasta que el cliente lo ha vivido, inmediatez de su experiencia. Es sobre todo en la obra de Martin Buber, donde se funda la Psicología Humanista, este autor destaca la relación yo-tu en tanto "encuentro" es donde se constituye la persona libre. Ante el ser propio aparece el "yo-soy así" cerrado y dogmático, ante yo-tu aparece "el yo soy..." abierto a la posibilidad. (Tobías, 2009, p 149). (López 2014)

b. Terapia existencial Tobías (2009) define la terapia existencial como: “Un método de relación interpersonal y de análisis psicológico cuya finalidad es promover un conocimiento de sí mismo y una autonomía suficientes para asumir y desarrollar libremente la propia existencia”.

La visión de la “terapia existencial” es un enfoque filosófico porque considera los problema y dificultades de las personas como asuntos que emergen ante las dificultades encontradas por el hecho de vivir, es decir como crisis, dilemas o situaciones cotidianas, más que como indicadores de salud o enfermedad. El objetivo de la terapia existencial es clarificar y aumentar la comprensión de la existencia a los ojos de la persona misma que la vive. (Yalom, 1980) dice: “El terapeuta existencial, en vez de intentar ayudar a su cliente a no vivir más angustia, le ayudará a encontrar formas de utilizarla en su beneficio”. (Rosso, 2006) (López 2014).

La terapia existencial no pretende cambiar la realidad externa, física o social, sino la percepción que tiene la persona sobre las cosas. Su objetivo fundamental es recuperar al ser humano para su auto posesión y autodeterminación. Desde esta perspectiva los trastornos y la psicopatología son formas inauténticas de existencia, estancamientos o vacíos existenciales, defensas o negaciones, renunciaciones o pérdidas de libertad.

Algunas características que propone May (s.f) para la terapia existencial citada por Martorell y Prieto (s.f) son:

- Objetivo de la terapia existencial: aumentar la conciencia del cliente respecto de su propia existencia y, así, ayudar a que experimente su existencia como real.
- La técnica debe estar subordinada y seguir al conocer. Debe ser flexible y ajustarse a las necesidades de cada cliente.
- El terapeuta y el cliente son dos personas en una auténtica relación. El terapeuta no interpreta los hechos sino que los pone de manifiesto en su relación con el cliente.
- Los dinamismos psicológicos no son considerados comunes a la especie humana; se pone el énfasis en la *significación particular de las dinámicas del cliente* que se derivan del contexto de su vida. EL terapeuta no siempre sabe qué es o qué motiva al cliente, y su actitud, más que aplicar una teoría, consiste en escucharle con atención y respeto.
- El terapeuta procura analizar todas las formas de comportamiento, tanto de él mismo como del cliente, que impiden el encuentro real entre ambos.

Da mucha importancia al compromiso, que es el verdadero modo de estar vivo. (Rosso, 2006, p. 42-43) (López 2014)

## AA. Psicoterapia humanista

(Psicomed, s.f) Concibe a la persona como: una totalidad en la que se interrelacionan factores físicos, emocionales, ideológicos o espirituales formando al ser real. La psicología humanista ve un ser completo y tiene en cuenta cada aspecto y su influencia en el resto.

Se diferencia de otras psicologías por: La visión del síntoma y de la enfermedad como la manifestación externa de un conflicto interno (potencialidades no desarrolladas). A diferencia de otras posiciones de la psicoterapia, el trabajo con el síntoma no es eliminarlo sino escucharlo para comprender su significado y mensaje más profundo. El síntoma es una ayuda, una señal que nos está hablando de cuál es el problema., expresa aquello que no somos capaces de expresar conscientemente. No se trata de intentar acallar ese mensaje, sino de descifrarlo. El síntoma es la voz del cuerpo, la alarma que nos indica que algo no está en orden.

Su negativa a categorizar personas enfermas o personas sanas. En una consideración humanista de la psicoterapia todos están necesitados en una y otra medida de encontrar la identidad perdida (del miedo al amor). Para la psicología humanista todas las personas sufren una u otra vez crisis de crecimiento, situaciones de emergencia espiritual, situaciones de choque que desestabilizan su equilibrio y que requieren ser abordadas para alcanzar una vida más feliz. Todos andan en la búsqueda, nadie es más sano que otros. (López 2014)

La posición del terapeuta que lejos de ser el hombre/mujer sano que cura al enfermo es también un buscador que habiendo recorrido el camino (y estando en ello) conoce y ofrece las herramientas necesarias en el momento que considera más oportuno. En este sentido la psicología humanista, ya desde Carl Rogers, uno de sus fundadores rompió con la distancia entre paciente y terapeuta. El terapeuta es una persona que está a tu mismo nivel y te mira de frente, que llora contigo y que te toca y se ríe de ti y contigo. No es el psicoanalista que sientes respirar a tus espaldas. En psicología humanista el terapeuta no cesa de aprender del paciente. Uno enseña lo que necesita aprender. (Muñoz, 2013)

1. Terapia Humanista – existencial (López 2014). La terapia humanista existencial es un modelo de la práctica clínica psicológica que basa su desarrollo en las competencias que posea el paciente. Todo ser humano posee características que lo hacen único, incluso bajo un enfoque subjetivo, cada persona posee pensamientos y conocimientos propios (Moreira y Saboia, 1995). Ya que es un tipo de terapia basada en la filosofía humanista, se identifica al paciente como la persona responsable de su propia existencia. (López 2014)

Se identifica al paciente como ser humano que forma parte de una sociedad y una historia, constituyendo una parte fundamental dentro de su comunidad. Por lo cual, aún cuando el paciente esté realizando su terapia de manera individual, sigue siendo parte de un contexto. Se debe considerar a esta persona en su totalidad, sin importar cuál sea la problemática que se esté trabajando. El medio en el que se desenvuelve la persona representa un factor importante, influyente en la existencia del paciente. (Moreira, V. 1995).

Dentro de la terapia humanista existencial también se considera al hombre como ser autónomo. Basándose en la teoría de Carl Rogers, en la cual se define a la persona como un ser esencial que posee la tendencia natural del desarrollo. Aplicándolo al modelo de terapia, el hombre es el propio diseñador y arquitecto para utilizar de manera adecuada sus recursos. El papel del terapeuta es en este caso es brindar las condiciones facilitadoras para que el paciente identifique sus propias herramientas. (López 2014)

## V. ANTECEDENTES

### A. Izabal

Este departamento de la costa Atlántica fue creado por el acuerdo gubernativo del 8 de mayo de 1866. Está conformado por cinco municipios: El Estor, Livingston, Los Amates, Puerto Barrios y Morales. El departamento de Izabal cuenta con una extensión territorial de 9,039 km<sup>2</sup>, ubicado en la latitud 15°44'06" Norte y longitud 88°36'17" Oeste. Está situado en la Región Nororiental de la República de Guatemala, su cabecera departamental es Puerto Barrios. Limita al norte con el departamento de Petén, Belice y el Mar Caribe; al Sur con el departamento de Zacapa, al Este con República de Honduras y al Oeste con el departamento de Alta Verapaz. La población del departamento de Izabal está dividida en un 80% de población ubicada en el área rural el porcentaje restante en áreas urbanas. Un aproximado de 23 % corresponde a población indígena kekchí que llegó de las Verapaces, además existe un grupo poblacional integrado por garifunas de origen afrocaribeño, el resto está integrado por población mestiza. (Enciclopedia de Guatemala, 1998).

Cuando se convive más de cerca con la población de Izabal se puede llegar a conocer la vida cotidiana, lo que permite hacer evidentes algunas de las condiciones o problemáticas que enfrentan a diario. En esta investigación se identifica especialmente la carencia de necesidades básicas, que indudablemente la padecen otras poblaciones de Guatemala, sin embargo se demostrará puntualmente lo que sucede en uno de los municipios que integran Izabal.

Ilustración 17-Mapa del departamento de Izabal



Fuente: Google Maps

## B. Morales

La ubicación del municipio de Morales del departamento de Izabal está en las coordenadas geográficas 15°28'27.5" latitud norte y 88°49'40.7" longitud oeste. Cuenta con una extensión territorial de 1,296.00 km<sup>2</sup>. Morales colinda al norte con los municipios de Livingston y Puerto Barrios, al sur con Los Amates y la República de Honduras, al este con Puerto Barrios y La República de Honduras y al oeste con el municipio de Los Amates. (PDM, 2010)

En cuanto a la demografía y población el municipio de Morales cuenta con 109,847 habitantes, así como el departamento en general lo integran grupos de mestizos y de la etnia kekchí, regularmente se encuentra muy poca población garífuna. De acuerdo al informe del Programa de Naciones Unidas para Desarrollo Humano de 2013 (PNUD) 5 de cada 10 habitantes se encuentra en situación de pobreza, el índice de pobreza en el área urbana es del 15%, es decir 2 de cada 10 habitantes sufren de pobreza. En el área rural el porcentaje de pobreza es alarmante ya que alcanza el 55.61%, quiere decir que 6 de cada 10 habitantes no cubren sus necesidades básicas mínimas. (PDM, 2010)

En el municipio de Morales está ubicado el Caserío Cumbre de San Agustín, lugar en donde se realizará esta investigación. El caserío se encuentra situado a 15 kilómetros de Morales, vía Río Dulce. Cuenta con una extensión territorial de 4km de largo. El acceso al caserío es a través de la carretera asfaltada ruta al atlántico, tomando el cruce de la Ruidosa km. 245 que conduce a Río Dulce en donde está el desvío que lleva a Cumbre de San José, seguidamente se divide la carretera, donde se convierte en camino de terracería hasta llegar a la Cumbre San Agustín donde está el Caserío. Esta población cuenta con una escuela, una iglesia, agua potable solo para una casa y la escuela, sin embargo el servicio es bastante irregular, los pobladores argumentan que la mayor parte del tiempo no llega. Por los servicios y la calidad de los mismos se considera que el mencionado caserío está en la condición de área rural.

1. La Cumbre de San Agustín se describe con las siguientes características:

a. Flora. Cumbre San Agustín cuenta con árboles de laurel, cedro, amate, matililguate, zorra, balso, piña, mango y zapote. (Municipalidad de Morales, 2010)

b. Fauna. La comunidad tiene crianza de animales domésticos entre ellos caballos, vacas, cerdos, perros, gatos, loros, gallinas, chompipes y patos. (Municipalidad de Morales, 2010)

c. Hidrografía. La comunidad cuenta con un nacimiento de brote definido el cual proporciona agua a la quebrada que pasa por la comunidad. Poseen dos pozos de agua natural. (Municipalidad de Morales, 2010)

d. Clima. Cálido y húmedo. (Municipalidad de Morales, 2010)

e. Altura. La comunidad está ubicada a 107 metros sobre el nivel del mar. (Municipalidad de Morales, 2010)

f. Población. Dentro de las principales características de la población del Caserío San Agustín sobresale una de las más alarmantes: la económica. La situación económica de la población puede ubicarse en condición de extrema pobreza, que según el informe de Desarrollo Humano de 2013 se puede calificar de acuerdo al acceso que se tiene para cubrir las necesidades básicas, mismas que evidentemente esta población no cuenta. La sostenibilidad de las familias es a través de la agricultura en la siembra, cosecha y venta de piña, trabajos en fincas aledañas de ganadería y al comercio informal. (Municipalidad de Morales, 2010)

g. Servicios. El sistema de agua por gravedad a domicilio del agua potable de Cumbre San Agustín cubre únicamente a 1 vivienda y la escuela, el resto obtiene agua de la quebrada y/o pozos. No tienen acceso a servicio de electrificación. (Municipalidad de Morales, 2010)

h. Drenajes. La comunidad no cuenta con drenajes, muchos desechos son vertidos a la quebrada provocando un riesgo a la vida y salud de la comunidad debido que estos desechos contaminan los diferentes nacimientos de agua. El lugar es propicio a criadero de zancudos que transmiten dengue, malaria u otras enfermedades. (Municipalidad de Morales, 2010)

Con la descripción general de las características del Caserío San Agustín se hace evidente que existen muchas necesidades fundamentales, pero la que sobresale es la necesidad del acceso a agua, con una garantía mínima de que la misma no esté contaminada y que pueda ser usada y aprovechada por la población sin correr mayores riesgos de contraer enfermedades.

## C. Situación del agua en Guatemala

El agua dulce es uno de los recursos naturales del planeta cuya esencialidad para la vida es más fácilmente perceptible por todos los individuos. Su escasez, sin embargo, es menos perceptible, a tal grado que en diversas regiones del planeta aún se le ve como un recurso ilimitado. Hoy en día es ampliamente conocido que el crecimiento poblacional, la producción y los diversos patrones de consumo, empiezan a generar conflictos y a acentuar la competencia por el vital recurso de agua dulce. En Guatemala es particularmente evidente que las desigualdades sociales y la marginalidad económica han acentuado el círculo vicioso de degradación ambiental y pobreza en ciertas regiones que por su naturaleza son particularmente estratégicas para la regulación del ciclo hidrológico y por ende para la existencia de agua dulce en cantidad y calidad, absolutamente indispensables para el desarrollo socioeconómico nacional (Cobos, 2002).

Guatemala cuenta con una disponibilidad de 97,120 millones de m<sup>3</sup> de agua al año. Esta disponibilidad total anual equivale a una cantidad siete veces mayor que la establecida como límite de riesgo hídrico de acuerdo con el estándar internacional de 1,000m<sup>3</sup>/habitante/año (SEGEPLAN, 2006). Del volumen total de agua disponible anual se estima que sólo se aprovecha alrededor del 10% del total. Sin embargo, la cantidad de agua disponible del mes más seco provoca un estrés hídrico pues la demanda de agua es superior a la oferta estacional. Se estima que en 10 años la demanda anual podría ser duplicada (Política Nacional del Agua de Guatemala, 2011).

El suministro de agua potable de las 331 municipalidades se abastece en 70% con aguas superficiales y 30% con aguas subterráneas, un 66% usa sistemas de gravedad, 18.5% utilizan bombeo y 15.2% son sistemas mixtos. Con una tasa de crecimiento nacional del INE de 2.64%, se proyecta para el año 2002 una población aproximada de 12 millones de habitantes (35% urbana y 65% rural) (Cobos, 2002).

El balance hídrico nacional, para el año 2000, indicaba que el 84% del recurso hídrico en el territorio guatemalteco era neto disponible y el restante 16% fue utilizado en los siguientes rubros: 7% para uso doméstico, 6% para riego, 2% para la industria y 1% para hidroeléctricas (Cobos, 2002). En la siguiente tabla se puede apreciar el uso potencial de los recursos hídricos de Guatemala en el año 2025.

Tabla 15 - Uso del agua en el año 2006 y uso potencial del agua en el año 2025 en Guatemala

Uso del agua	Uso año 2006 (millones de m <sup>3</sup> )	Uso potencial año 2025 (millones de m <sup>3</sup> )
Oferta hídrica bruta (incluye agua superficial y subterránea)	84,991	84,991
Caudal ecológico	21,248	21,248
Agua contaminada por descargas	33,996	33,996
Oferta hídrica neta	29,747	29,747
Agua potable	284	1,211
Riego	2,200	10,200
Industria	850	3,625
Energía	2,883	15,000
Usos totales	6,217	30,036
Excedente hídrico	23,530	(289)

(URL e IIA, 2006)

La Universidad Rafael Landivar (2006) publicó el “*Perfil Ambiental de Guatemala 2006*”, en el cual se hace referencia a la disponibilidad hídrica del país. En esta publicación se describen las tres vertientes hídricas según las cuencas existentes en el territorio nacional. Se puede observar que la vertiente del Atlántico es la que menor caudal posee (23,612.45 millones de metros cúbicos anuales) en relación a las vertientes del Pacífico y del Golfo de México, sin embargo existen cuencas con un importante caudal hídrico, como la cuenca del Motagua, la del Lago de Izabal – Río Dulce y la cuenca del Polochic, que manejan más de 3,000 millones de metros cúbicos anuales cada una (llegando la del Motagua a 6544.65 millones de metros cúbicos) lo que evidencia la riqueza de este recurso en dicha zona.

Ilustración 18 –Caudales de las diferentes vertientes del país

Vertiente			Vertiente		
Código	Nombre de la cuenca	Disponibilidad anual (millones de m <sup>3</sup> )	Código	Nombre de la cuenca	Disponibilidad anual (millones de m <sup>3</sup> )
<b>1. Vertiente del Pacífico</b>		<b>23,808.84</b>	2.02	Motagua	6,544.65
1.01	Coatán	147.74	2.03	Lago de Izabal-Río Dulce	3,280.01
1.02	Suchiate	1,636.59	2.04	Polochic	3,335.86
1.03	Naranjo	2,225.29	2.05	Cahabón	4,121.72
1.04	Ocosito	2,207.55	2.06	Sarstún	3,163.72
1.05	Samalá	1,330.38	2.07	Mopán	1,356.96
1.06	Sis Icañn	1,063.71	2.08	Hondo	55.06
1.07	Nahualate	2,506.46	2.09	Moho	799.33
1.08	Atitlán	333.00	2.10	Temash	112.43
1.09	Madre Vieja	931.80	<b>3. Vertiente del Golfo de México</b>		<b>45,967.20</b>
1.10	Coyolate	2,176.08	3.01	Cuilco	853.56
1.11	Acomé	684.69	3.02	Selegua	1,415.91
1.12	Achiguate	1,583.60	3.03	Nentón	1,682.10
1.13	María Linda	2,205.32	3.04	Pojom	2,133.82
1.14	Paso Hondo	463.16	3.05	Ixcán	5,362.03
1.15	Los Esclavos	2,102.95	3.06	Xaclbal	3,003.86
1.16	Paz	963.77	3.07	Salinas	14,503.36
1.17	Ostúa	1,017.98	3.08	La Pasión	9,664.07
1.18	Olopa	228.75	3.09	Usumacinta	2,509.74
<b>2. Vertiente del Atlántico</b>		<b>23,612.45</b>	3.10	San Pedro	4,838.75
2.01	Grande de Zacapa	842.70	<b>Total tres vertientes</b>		<b>93,388.49</b>

Fuente: Universidad Rafael Landivar, 2006

De igual forma la Universidad Rafael Landivar (2006) hace referencia que dependiendo si el área es rural o urbana el acceso a agua varía, así como la fuente de obtención de la misma. En el caso del área urbana se tiene una predominancia del agua tomada del agua de la red de tubería municipal, mientras que en el área rural se tiene una mayor explotación del consumo de pozos públicos o privados, así como de fuentes superficiales de agua (ríos, lagos, manantiales, etc.). (Universidad Rafael Landivar, 2006)

La Universidad Rafael Landivar (2006) también presenta en su estudio la variación del consumo de agua anual dependiendo del sector. Se puede observar que el consumo para el año 2005 en comparación con el año 2000 el consumo de agua doméstico aumentó, al igual que en uso industrial y la cantidad de afluentes usados para la generación de electricidad por medio de hidroeléctricas. En contraste el uso de agua para riego de cultivos por parte del sector agroindustrial del país disminuyó debido a las precipitaciones presentadas durante estos años, las cuales sustituyeron en gran medida el consumo de agua de parte de este sector.

Ilustración 19 – Fuentes de abastecimiento de agua para uso en el hogar

FUENTE	URBANO		RURAL		TOTAL	
	No. hogares	Porcentaje	No. hogares	Porcentaje	No. hogares	Porcentaje
Tubería (red), dentro de la vivienda	780,789	82.05	452,494	36.5	1,233,283	56.28
Tubería fuera de la vivienda pero en el terreno	57,630	6.06	213,645	17.23	271,275	12.38
Tubería de un chorro público	30,808	3.24	56,565	4.56	87,373	3.99
Pozo público o privado	31,157	3.27	287,819	23.22	318,976	14.56
Río, lago, manantial	4,075	0.43	155,368	12.53	159,443	7.28
Camión cisterna	4,931	0.52	4,791	0.39	9,722	0.44
Agua de lluvia	180	0.02	12,263	0.99	12,443	0.57
Otro	42,084	4.42	56,852	4.59	98,936	4.51
<b>Total</b>	<b>951,654</b>	<b>100</b>	<b>1,239,797</b>	<b>100</b>	<b>2,191,451</b>	<b>100</b>

Fuente: Universidad Rafael Landívar, 2006

Ilustración 20 – Uso de agua por sector de consumo

Usos del agua	Consumo anual (millones de m <sup>3</sup> )	
	2000	2005
Doméstico	284	326
Riego	2,200	1,886
Industria	850	929
Hidroeléctricas*	2,883	4,511
<b>Uso total</b>	<b>6,217</b>	<b>7,652</b>

Fuente: Universidad Rafael Landívar

Según el mismo informe de SEGEPLAN dice que la disponibilidad de agua a escala a nacional y anual es “teórica” ya que no satisface todas las demandas a escala local y mensual. Esto se debe entre otras razones a la variabilidad espacio temporal del clima, influencia de topografía y ubicación de poblaciones respecto a accesibilidad de las fuentes de agua (SEGEPLAN, 2006).

La Política Nacional del Agua exhibe una clara relación del agua con la sociedad, sobre todo en el tema de servicios públicos de agua potable y saneamiento ya que tiene un vínculo directo con el desarrollo humano y la relación de la falta o deficiencia de agua con la inhibición en el logro de objetivos sociales (Colom, 2010). Es lo que ocurre en el Caserío San Agustín, la población no tiene acceso a los servicios mínimos de urbanización, entonces alcanzar los objetivos sociales de desarrollo se vuelve casi imposible.

La cobertura universal de agua potable y saneamiento en el área rural y mejorar notablemente la calidad de estos en las ciudades son temas considerados urgentes y relevantes (Lentini, 2010; SEGEPLAN, 2006). Estos servicios públicos son de importancia estratégica para el país ya que constituyen las medidas más costo-efectivas para reducir la pobreza, desnutrición crónica, índices de morbilidad y mortalidad materno-infantil, deserción escolar, mejorar el cuidado del ambiente, salud, situación de mujeres y niños y el avance de los Objetivos de Desarrollo del Milenio en Guatemala. (SEGEPLAN, 2006).

Se estima que incrementar en un 10% la cobertura de sistemas adecuados de agua potable de hogares urbanos implicaría disminuir un 8.2% la probabilidad de que exista desnutrición infantil global y a su vez, disminuir la tasa de mortalidad materna. (SEGEPLAN 2006). Cerca de 3 millones de guatemaltecos se

abastecen de fuentes naturales cuya calidad no es confiable (Política Nacional del Agua de Guatemala, 2011), dentro de estos casos se encuentra la población de la Cumbre de San Agustín del Municipio de Morales.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) señala que la contaminación del agua en el país es la mayor amenaza a la salud de las personas. La falta de gestión especial e integral del agua ha ocasionado fenómenos de contaminación que amenazan los cuerpos de agua del país. (SEGEPLAN, 2006).

Una de las respuestas a la problemática que afronta el Caserío de la Cumbre San Agustín en relación a el abastecimiento de agua potable es la propuesta hecha a través del *Diseño de un sistema de captación y almacenaje de agua pluvial por medio de una nueva tipología estructural del techo de las viviendas del caserío cumbre de San Agustín, Morales, Izabal.* (Nájera, 2014). En dicho trabajo se estableció un área de captación de agua de lluvia con base al trabajo “*Diseño de una nueva tipología estructural para una casa en madera para gente de escasos recursos enfocada en la captación de agua de lluvia*” (Rivera, 2014), con el fin de suplir la necesidad de agua potable. Se realizó un estudio de la cantidad de precipitaciones mensuales en el área estudiada y se determinó una demanda mensual para determinar el diseño que mejor se adaptara a las condiciones. En este trabajo también se realizó el diseño de un sistema de primeras aguas para limpiar el área de captación y separarla del resto. Sin embargo, estas solo fueron propuestas de diseños tomando como base diseño de casa ideales, por lo que debía estudiarse dicha propuesta y adaptarla a estructuras ya construidas por los mismos pobladores ya que diseñar una nueva tipología estructural está fuera de los alcances del presente trabajo.

Cabe mencionar que los pobladores de Cumbre San Agustín tienen conciencia de la captación de agua pluvial, sin embargo se realiza de manera “artesanal” sin tomar en cuenta los riesgos que pueda presentar para su salud.

Ilustración 21- Captación de lluvia por pobladores de Cumbre San Agustín



Un dato relevante es que Izabal presenta altas cantidades de precipitaciones lluviosas a lo largo del año, según datos de lluvia INSIVUMEH, las lluvias se presentan durante 9 meses al año, con un promedio anual de precipitaciones de 280mm de agua. Este es un factor que se puede aprovechar para que los

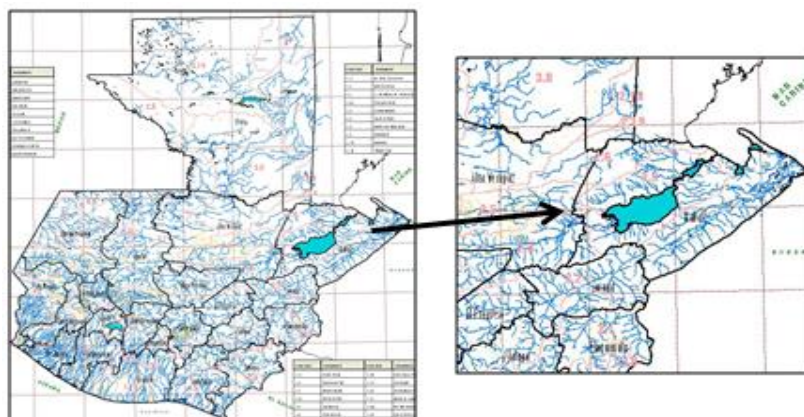
pobladores cuenten con una fuente extra de agua y así puedan satisfacer esa necesidad por medio de la ejecución del diseño presentado en este trabajo.

Entre los otros usos del agua podemos mencionar el transporte y la recepción de desechos. El primero es una actividad que obviamente no puede realizarse sin cuerpos de agua. El segundo es una actividad que genera la contaminación del recurso agua especialmente por desechos líquidos domésticos, agrícolas e industriales. Además es una práctica común usar cuerpos de agua (ríos, lagos) para la disposición de desechos sólidos y líquidos. Este uso del recurso es uno de los más nocivos, no sólo desde el punto de vista ecológico, sino que también, porque causa la reducción de disponibilidad futura del recurso. En un proyecto conjunto de investigación entre la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT) se estudiaron residuos de plaguicidas. De mayo de 1998 a marzo de 1999 se tomaron muestras siete veces en 60 puntos previamente seleccionados, encontrándose que el 30% de los cursos de agua superficiales muestreadas estaban sobre los límites de las normas (Cobos, 2000).

Según datos obtenidos del Plan de Desarrollo Morales Izabal, 2010, en este municipio la cobertura de agua potable en el área rural es de 79%, el resto se abastece por medio de pozos artesanales y ríos. De acuerdo a análisis microbiológicos realizados en el agua de esta población, se determinó que los pozos y ríos cuentan con no menos de 10UFC/mL de E.coli y coliformes (Caballeros, 2014). La deficiencia en la potabilización del agua para consumo humano repercute en los índices de morbilidad. En referencia a la Caracterización Estadística de la República de Guatemala 2011, las principales causas de morbilidad en la población guatemalteca en general son enfermedades de parasitosis intestinal, diarreas agudas, infección intestinal bacteriana y amebiasis. (Política Nacional del Agua de Guatemala, 2011).

1. Contaminación del agua en Guatemala. Según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), en Guatemala más del 90% de fuentes de agua tiene contaminación bacteriológica y residuos fecales que provocan enfermedades diarreicas.

Ilustración 22 - Vertiente del Atlántico



Fuente: INSIVUMEH

2. Reporte del análisis de las fuentes de agua en el Caserío Cumbre de San Agustín Morales Izabal. En el año 2014 se realizó un análisis del estado físico, químico y microbiológico de las fuentes de agua del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal. Y a continuación se muestran los resultados obtenidos por Caballeros en su estudio.

Tabla 16 - Información acerca de los muestreos realizados durante el trabajo de campo en el Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal

No. Muestreo	Fecha de Muestreo	Época del año
1	6 de abril de 2014	Seca
2	4 de mayo de 2014	Seca
3	9 de junio de 2014	Lluviosa
4	16 septiembre de 2014	Lluviosa

Tabla 17 - Resumen de los resultados obtenidos en los análisis de las fuentes de agua del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal realizados en el 2014

Fecha de muestreo	Lugar	pH	Tur*	CE* μs/cm	Olor A/N*	DBO* mg/L	SD* mg/L	<i>E. coli</i> UFC/ml	Coli* UFC/ml	Nitra* mg/L	Nitri* mg/L	Fosf* mg/L	Pot* mg/L
06/04/14	Q1*	7.45	0.010	74.6	A	47.4	2630	<10	25	0.30	0.008	0.31	0.328
06/04/14	Q2*	7.52	0.009	85.1	A	46.2	3480	<10	<10	0.40	0.001	0.07	0.154
06/04/14	N1*	5.77	0.003	47.3	A	50.71	920	250	250	2.00	0.001	0.48	0.149
06/04/14	N2*	6.83	0.001	56.3	A	50.71	2090	25	250	1.20	0.002	0.86	0.168
04/05/14	Q1	7.53	0.001	67.7	A	22.12	410	250	7*10 <sup>3</sup>	1.10	0.002	0.14	2.343
04/05/14	Q2	7.47	0.022	120.1	A	26.37	255	250	4*10 <sup>2</sup>	1.30	0.003	0.16	0.413
04/05/14	N1	6.00	0.021	55.7	A	25.76	65	250	9*10 <sup>3</sup>	1.90	0.006	0.17	0.269
04/05/14	N2	6.47	0.003	61.6	A	51.15	2595	25	25	2.00	0.008	0.19	0.243
09/06/14	Q1	7.51	0.021	105.0	A	47.88	5195	<10	1*10 <sup>2</sup>	0.90	0.003	0.39	0.481
09/06/14	Q2	7.51	0.023	128.5	A	29.7	7655	250	2*10 <sup>3</sup>	1.60	0.006	1.48	0.228
09/06/14	N1	5.90	0.043	59.4	A	24.85	6995	36	2*10 <sup>3</sup>	18.00	0.008	1.00	0.236
09/06/14	N2	6.62	0.02	78.6	A	53.64	225	250	250	20.00	0.004	8.70	0.157
16/09/14	Q1	7.93	0.020	98.8	A	37.88	2860	250	2*10 <sup>3</sup>	0.40	0.018	0.53	0.293
16/09/14	Q2	6.64	0.395	116.5	A	86.67	9910	2*10 <sup>3</sup>	6*10 <sup>3</sup>	0.60	0.019	1.29	2.645
16/09/14	N1	5.67	0.010	157.0	A	41.52	4925	<10	25	3.70	0.026	3.50	2.554
16/09/14	N2	6.19	0.004	179.0	A	63.94	9185	250	8*10 <sup>2</sup>	2.00	0.033	9.10	3.183

Tur\*=turbidez del agua

CE\*=Conductividad eléctrica

SD\*= Sólidos disueltos

Coli\*= Coliformes totales

Nitra\*= Nitratos

Fosf\*= Fosfatos

Pot\*= Potasio

(Caballeros, 2014)

Q1\*= Quebrada 1

Q2\*= Quebrada 2

N1\*= Nacimiento 1

N2\*= Nacimiento 2

3. Reporte de los análisis de la eficiencia de remoción de contaminantes del biofiltro con lecho orgánico residuales con sistemas naturales con base en diferentes parámetros

En el año 2012 se realizó un estudio sobre la eficiencia de remoción de contaminantes, mediante el uso de un biofiltro utilizando como lecho orgánico ficus. Los resultados obtenidos por Pinzón en el 2012 se presentan a continuación.

Tabla 18 - Eficiencia de remoción de contaminantes del biofiltro con lecho orgánico residuales con sistemas naturales en base a diferentes parámetros

Parámetro	% Eficiencia
Sólidos suspendidos totales	43.28 ± 25.77
Demanda bioquímica de oxígeno	-115.28 ± 103.22
Nitrógeno, en forma de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7.15 ± 8.35
Fósforo, en forma de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-2.08 ± 0.12

(Pinzón, 2012)

## D. Legislación de aguas en Guatemala

El marco legal del agua actualmente es complicado, con muchas duplicidades, vacíos y artículos obsoletos. Para citar unos ejemplos de ello, la Constitución Política de la República de Guatemala (1985), en su artículo 127 declara como bienes de dominio público inalienables e imperceptibles todas las aguas y ordena se emita una ley especial. A pesar de que en los últimos 10 años han llegado al Congreso de la República al menos tres iniciativas de ley, ninguna ha sido aprobada. La Constitución Política presenta la primera contradicción pues en el artículo 39 garantiza la propiedad privada, por lo que los propietarios previos de cuerpos de agua se oponen al artículo 127. Ante este vacío, el régimen legal del recurso se integra por leyes ineficaces para ofrecer certeza y seguridad jurídica a los derechos de propiedad y uso, tanto público como privado. Por su carácter sectorial son a su vez inadecuadas para organizar la gestión del recurso (Cobos, 2000).

Asimismo, respecto a la calidad del agua el Decreto Legislativo 68-86 del Congreso de la República estableció la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. En el artículo 15 se establecieron lineamientos específicos que deben ser incorporados a los Reglamentos y otras disposiciones emitidos por la máxima autoridad ambiental, que hoy en día es el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Con respecto a las normas relativas al manejo de desechos sólidos y líquidos, inició el funcionamiento del *Manual de Indicadores Ambientales*, como también la promulgación del *Reglamento de las Descargas y Reuso de las Aguas Residuales y de la Disposición de Lodo* publicado en el 2006, el cual estableció los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales y control de lodos.

Se ha realizado un megaproyecto anterior en la Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal con el título Diseño de un sistema de suministro y purificación de agua usando tecnologías apropiadas con el fin de beneficiar a los pobladores del caserío Cumbre de San Agustín en el municipio de Morales, Izabal; facilitando el acceso al agua potable y con ello, mejorar las condiciones de vida de la población.

El megaproyecto anterior se llevó a cabo el año pasado (2014) y se trabajaron distintos módulos para cubrir las diferentes necesidades que se identificaron en la comunidad. Los módulos trataron el diseño de una red hidráulica para el sistema de abastecimiento de agua, diseño de un sistema de potabilización y almacenamiento de agua a nivel domiciliario, diseño de una pila, diseño de duchas, diseño de un sistema de riego para las piñas, diseño para un sistema de captación del agua de río, estudio de las bacterias en el agua de río y el diseño de la capacitación para los habitantes de la comunidad.

López (2014), realizó un estudio previo en el Caserío Cumbre de San Agustín para evaluar la posibilidad de la instalación de una red de distribución de agua mediante un sistema de tuberías, partiendo de un nacimiento ubicado en la comunidad. El costo aproximado de la obra asciende a Q703,417.24, de los cuales Q513,443.24 corresponden a costos directos de materiales y mano de obra necesaria para su ejecución, y Q189,974.00 corresponden a una estimación de los costos indirectos, compuestos por los gastos administrativos y la utilidad que cualquier empresa ejecutora del proyecto pueda contemplar. (López, 2014)

López (2014) también documentó las curvas de nivel del Caserío Cumbre de San Agustín, mostrando los desniveles existentes en la comunidad. Considerando que la mayoría de sitios presentan pendientes pronunciadas el transporte de materiales a través de los distintos terrenos representa un riesgo de sufrir accidentes para los pobladores de la comunidad. El principal ingreso del caserío es debido a la explotación agrícola, siendo los principales cultivos piña, naranja y en menor medida maíz. De igual forma López hace referencia a las distintas fuentes de abastecimiento que existen en la comunidad. La fuente más explotada son las venas del río Amatillo que cruzan en distintos puntos el caserío y que a su vez alimentan uno de los dos pozos que sirven como fuente de agua potable a la comunidad. (López, 2014)

Todos los diseños propuestos fueron aprobados por la Universidad, sin embargo no se han podido implementar. Esto es porque la comunidad no cuenta con la infraestructura apropiada para recolectar y distribuir el agua con la que cuentan.

Para darle seguimiento al megaproyecto, se propone la instalación de sistemas de recolección y distribución de agua para la comunidad. El módulo que ya se completó este año fue el estudio bacteriológico de las fuentes de agua con las que cuenta la comunidad. Se realizaron pruebas para determinar la presencia de *Escherichia Coli*.

El estudio muestra que en el agua muestreada durante el primer trimestre de este año de la derivada del río Amatillo, tiene un promedio de  $(681,266 \pm 454,350.61)$  UFC/100 mL. La norma COGUANOR NTG 29001 no permite la presencia de *E. coli* en agua potable (Matute, 2015). Por lo tanto el agua con la que cuenta la comunidad no es apta para consumirla.

Durante todas las visitas se contó con el apoyo y la ayuda del COCODE del Caserío Cumbre de San Agustín. Proponía ideas y estaba interesado en aprender el funcionamiento de todos los módulos instalados en el caserío. Durante la instalación de la bomba se recibió la ayuda por parte de las familias que vivían cerca de la derivación del río Amatillo. Su contribución abriendo los canales para enterrar la tubería fue importante para dejar el sistema de bombeo instalado y funcionando en el tiempo planeado.

A finales de año se planea tener listo un sistema de recolección de agua de lluvia, una bomba de ariete para llevar el agua del río hacia la comunidad y una bomba de pistón para la distribución del agua de río.

El diseño de la bomba de pistón y todas sus pruebas se basan en investigaciones sobre las bombas manuales de pistón. El primero se titula "*Montaje y Ensayo de Bombas Manuales de Pistón*" de la Universidad Carlos III de Madrid. En donde se busca caracterizar los sistemas de bombeo de agua mediante el uso del trabajo manual como fuente de energía. Se realizó una caracterización inicial del rendimiento y capacidad de una bomba de pistón. El segundo artículo es la prueba de varias bombas de pistón, para hacerle mejoras a las bombas manuales. El estudio tiene como título "Rural Water Supply Handpumps Project, Laboratory Testing of Hand Pumps". De este artículo se tomó la metodología para determinar la eficiencia y caudal de la bomba, así como la prueba de resistencia.

Con respecto a la bomba de ariete Jiménez (2011), hace referencia que el Colegio de Postgrados del Campus Veracruz ha realizado proyectos con anterioridad en donde se ha logrado elevar agua a un estanque de 40 metros cúbicos a 25 metros de altura sobre la toma de agua utilizando sistemas de arietes hidráulicos. Con ello el estado de Michoacán, México, ha puesto en marcha el abastecimiento de una comunidad de 64 personas con un sistema que permite elevar agua a 80 metros de altura utilizando los arietes hidráulicos. Esto ha permitido llevar a estas personas agua hacia sus hogares sin la utilización de energía eléctrica en el bombeo, por lo que muestra la factibilidad de su aplicación en otras regiones similares. (Jiménez, 2011)

Ilustración 23 - Captura de un sector del Caserío Cumbre de San Agustín



Fuente: Captura propia

Ilustración 24 - Cultivos agrícolas del Caserío Cumbre de San Agustín



Fuente: Capturas propias

Ilustración 25 – Fuentes de abastecimiento de agua de la comunidad



a) Pozo utilizado por la comunidad

b) Vena principal del río Amatillo

Fuente: Capturas propias

La municipalidad de Izabal, Morales está al tanto de todos los avances que se han logrado durante el año 2015. Durante la realización del megaproyecto ellos contribuyeron con el transporte de un tonel para la recolección del agua de lluvia y con la estructura de metal construida como base para la bomba de pistón de este módulo. Se espera que ellos contribuyan con la compra de una pila, que se colocaría en el mismo terreno que la bomba de pistón. La pila evitaría que las personas del caserío bajen hasta la derivada del río para limpiar toda su ropa.

Actualmente la comunidad ya cuenta con un sistema de captación de agua pluvial y dos sistemas de bombeo que transportan el agua desde la derivación del río hacia un terreno plano que tendrá una pila, para que las personas de la comunidad laven su ropa allí. Sin embargo aún es necesario colocar filtros que mejoren la calidad del agua. Durante el año 2015 se desarrolló el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales, que si se logra instalar en el caserío podría reducir las enfermedades gastrointestinales que sufren por la ingesta del agua contaminada. También se podría estudiar con más detalle el uso de

filtros que aprovechan la energía del sol, para eliminar la mayoría de microorganismos presentes en el agua.

## VI. METODOLOGÍA

### A. Implementación de un sistema de recolección de agua pluvial para el abastecimiento de la iglesia comunal

1. Área de captación El área de captación se tomará como el área del techo ya instalado en la iglesia de la aldea.

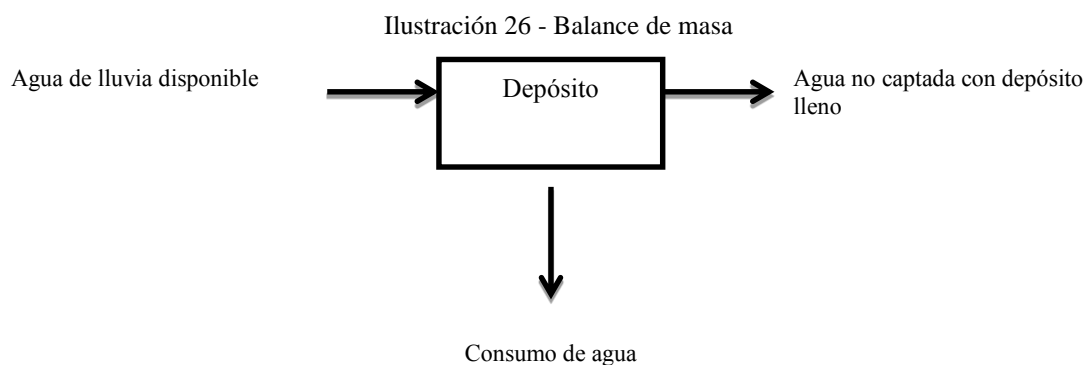
2. Precipitación promedio mensual A partir de datos de INSIVUMEH se determinará la precipitación mensual de Morales, Izabal del año 2011 a julio de 2015. Con esto se obtendrá la precipitación promedio mensual durante los 5 años seleccionados. Los datos proporcionados por el INSIVUMEH se pueden observar en la Tabla 46.

#### 3. Diseño de sistema de almacenamiento de agua de lluvia

a. Acumulación de agua por mes Se determinará la cantidad de agua que será captada durante cada mes, utilizando la Ecuación 1. Para esto se requiere de la precipitación promedio mensual, el área del techo y un coeficiente de escorrentía, el cual se determina dependiendo del material y forma del techo.

b. Demanda diaria La demanda diaria se estimará a partir de la cantidad de personas que estarían beneficiadas y el uso que se le dará al agua captada. Según entrevistas con los pobladores, se determina que asisten alrededor de 45 personas a la iglesia y se realizan actividades tres veces a la semana. El agua puede ser utilizada para diferentes actividades, desde la limpieza de la iglesia, para uso de higiene personal de los asistentes, para riego de hortalizas que se encuentran aledañas, entre otros.

c. Volumen del tanque de almacenamiento: El volumen del tanque de almacenamiento podrá determinarse mediante un balance de masa para así determinar la acumulación de agua en el tanque al mes.



A partir de la demanda diaria se determinará el consumo mensual, utilizando la Ecuación 11. Con los datos de la acumulación de agua por mes y la cantidad de agua requerida para cubrir la demanda se determinará el agua sobrante que deberá ser almacenada en el tanque, utilizando la Ecuación 12.

d. Sobredimensionamiento del tanque Se determinará el porcentaje de sobredimensionamiento que requiere el tanque, sobre todo para los meses que no cubran la demanda y se requerirá que los meses de mayor precipitación acumulen mayor cantidad de agua para que de esta manera se puede mantener cubierta la demanda. Para esto se utilizará la Ecuación 13. Conociendo el porcentaje de sobredimensionamiento se determinará el nuevo dimensionamiento del tanque, utilizando la Ecuación 14.

4. Selección de canaletas El diseño y material de canaletas se determinarán con base al costo de las mismas. Debido a que se busca una minimización de costos de todo el sistema se investigará de diferentes canaletas y se determinará cuál podría reducir el costo del sistema y que a la vez cumpla con el caudal que se tendrá durante la captación de agua.

5. Tanque de primeras aguas Según la literatura UNATSABAR 2011, se requiere de 1L de agua para limpiar una superficie de  $1\text{m}^2$ , esto incluye tanto las canaletas como el techo (área de captación), por lo que el volumen se determina utilizando la Ecuación 10, para la cual se realizará la suma del área del techo y canaletas y determinará la relación correspondiente entre la superficie a limpiar y la cantidad de agua requerida.

6. Sistema de tuberías El sistema de tuberías que conducirán el agua desde el techo a los tanques correspondientes se ubicarán en la parte trasera de la iglesia, este se considera el lugar más adecuado para colocarlo. La tubería deberá conectarse al bajante de la canaleta, se tomará un diámetro de 3 pulgadas para asegurar que soporte el caudal al cual será expuesto.

7. Costo del sistema Se llevará una contabilización de cada parte del sistema que será necesario y su precio correspondiente para determinar el costo del sistema completo. El detalle del costo del sistema se puede observar en la Tabla 9.

8. Análisis fisicoquímicos Utilizando la norma COGUANOR NGO 29 001:99 se determinarán los análisis que sean factibles llevar a cabo para conocer algunas características del agua recolectada y determinar posibles usos que se le podrán dar. Para esto se utilizará un colorímetro portátil HACH DR890.

9. Elaboración de manual de mantenimiento Junto con una persona especializada en educación se trabajará un manual que indique a los pobladores el buen uso y mantenimiento del sistema, la elaboración y contenido del mismo debe ser de fácil comprensión para los pobladores y posteriormente se realizará una visita en donde se presentará de forma oral dicho manual. El trabajo detallado se podrá encontrar en el

Módulo “Proceso Educativo para la formación y empoderamiento de promotores de salud”.

## B. Diseño e implementación de una bomba de ariete para captación de agua de río.

Para la realización del proyecto se determinó que el alcance que tendría sería la realización de un prototipo de la bomba de ariete para el abastecimiento de agua del río Amatillo para una familia del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal. Para la selección del lugar de realización del prototipo se realizó un recorrido inicial para la identificación de las características idóneas para la realización de las pruebas. El punto seleccionado se encuentra ubicado en la parte del caserío posterior a la ubicación de la vena principal del río Amatillo que atraviesa la comunidad. En este lugar se observó que el terreno no era idóneo para la recolección de agua de río debido a las pendientes pronunciadas existentes en el mismo y que existía una diferencia de altura entre el cauce normal del río y una de las venas del mismo. Para determinar si era viable la utilización de dicha vena se aforó el caudal de la misma, determinándose que existe un flujo aproximado de  $5.0E-06 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Con base en que la familia seleccionada consta de seis integrantes y a los datos de consumo humano en áreas rurales para Latinoamérica de la Organización de Naciones Unidas se estima necesario un consumo diario para lavado de ropa de  $0.379 \text{ m}^3$  al día. Los parámetros de diseño se basaron en buscar el cumplimiento de la cabeza necesaria para el punto de descarga y en poder cumplir con el desarrollo de este flujo por parte de la bomba.

La realización del proyecto contó con dos fases: diseño e implementación. Para ello se diseñó un sistema de captación de agua del efluente del río Amatillo mediante la reducción del diámetro del canal de captación. Para ello se evaluó la localidad en donde sería instalada la captación de agua. Una vez se tuvo las dimensiones que se pudieran utilizar se determinó que lo más conveniente para la instalación era utilizar tubería de  $3.81E-06 \text{ m}$  (1.5 in) de diámetro nominales. Dicho diámetro de tubería fue seleccionado en base a las características físicas del lugar que no permiten la instalación de una tubería de mayor diámetro sin que se ponga en riesgo la estabilidad del sistema en el apoyo necesario en la caída.

Debido a que se captó un flujo de  $1.0 E-04 \text{ m}^3/\text{s}$  se decidió colocar otro punto de toma de agua para aumentar el caudal captado, ante la imposibilidad de poder colocar una tubería de mayor diámetro. Posteriormente se realizaron las pruebas correspondientes para verificar el aumento de la velocidad del flujo con el caudal de operación. Para ello se utilizaron reducciones en la tubería de  $1.27E-06 \text{ m}$  (0.5 in) de diámetro nominal a distancias de 1.0 m. Con estas reducciones se esperaba un aumento de velocidad de al menos 7 veces, lo que ayudaría al golpe de ariete. De igual forma hay que considerar que el flujo aforado fue en una época en que se presentó una disminución de lluvias en la región, por lo que usualmente el lugar seleccionado conduce una mayor cantidad de flujo. En caso de que la sequía continuara y llegara a niveles extremos la bomba corre el riesgo de quedar inoperante si se llega a captar un caudal muy bajo.

Se comparó la utilización de bombas de un solo pulsor y multipulsor. Para ello se evaluó las pérdidas de energía teóricas de los dos sistemas. Se pudo observar que la pérdida de energía de una bomba de 3 pulsos es 1.85 veces mayor que la pérdida de energía de una bomba monopulsor por el uso de accesorios, siendo los parámetros de fricción, contracciones y expansiones los mismos en ambos casos. Esto provoca por tanto una menor cabeza desarrollada aunque se logra manejar un mayor caudal de agua bombeado. Para comprobar lo teórico se realizaron las pruebas de ambos sistemas, siendo el de la bomba monopulsor el que desarrolló la mayor cabeza y el único que cumplió con la demanda necesaria.

Determinado el caudal a manejar se realizaron pruebas con diferentes materiales para lograr la presurización del sistema de bombeo. Para la reducción de costos se optó por utilizar una botella PET de una bebida carbonatada como cámara de presión. De igual manera al considerar la resistencia mecánica de la botella se realizó una cámara de presión fabricada con tubería PVC de 5.08E-6 m (2.0 in) de diámetro nominal, para aumentar la resistencia del sistema.

Debido a que en Guatemala no se distribuyen válvulas de ariete como se hace en parte de Europa se decidió modificar una válvula de cheque europeo (cheque vertical, pichacha), la cual funciona bajo el mismo principio que un cheque horizontal, con la diferencia que el mecanismo es operado por medio de un resorte que permite o no el paso de agua a través del sistema. La válvula fue modificada invirtiendo la posición del resorte en el sistema, permitiendo que se diera paso de agua de forma continuo en la dirección contraria a la que operaría normalmente la válvula y que al llegar a determinada presión esta se cerrara abruptamente, provocando así el golpe de ariete.

Para la modificación de la válvula se utilizaron 6 cheques europeos debido a la fragilidad de estos sistemas. De estos 6 cheques europeos modificados 3 de ellos cumplieron con la ubicación del resorte del sistema sin que éste sufriera deformaciones o bien la válvula sufriera percances que la dejaran inservible. Estos fueron probados en las condiciones de operación de la bomba modificando la longitud del resorte dentro de la válvula, logrando que uno de ellos operara adecuadamente en el sistema y permitiera su funcionamiento.

Una vez determinadas estas características de la bomba se diseñaron sistemas auxiliares para ayudar al funcionamiento, siendo el principal de ellos los filtros de sólidos que ayudarán a disminuir el ensuciamiento de la tubería. Para ello se utilizó un sistema compuesto por tubería de PVC de 1.27E-06 m (0.5 in) de diámetro nominal rellena de concreto, con un área superficial de 9.0E-02 m<sup>2</sup>. Al no adaptarse esta de forma adecuada a la tubería de captación de agua se optó por disminuir el área de los mismos a 2.25E-02 m<sup>2</sup>, siendo esta adecuada para realizar el filtrado al adaptarse de forma ajustada a la tubería de captación. Para los filtros instalados se utilizaron reducciones en el diámetro de la malla filtrante desde 1 hasta 42 aperturas por pulgada cuadrada. Además de ello también se protegió el sistema con una barrera de piedras del río, las cuales actuarán como una protección adicional de los filtros y le darán resistencia a la instalación realizada.

Una vez diseñados estos sistemas se procedió a la última etapa, consistente en la implementación de la bomba y determinación de las características de operación de estas. Para la determinación de las características del sistema se realizó un seguimiento *in situ* una hora posterior a la instalación. El caudal que manejó la bomba fue medido en triplicado, mientras que la cabeza desarrollada se monitoreó durante 2 minutos. Durante la instalación se documentó con la familia beneficiada del proyecto el uso que se daría al agua, siendo este para el lavado de ropa principalmente, ya que por experiencia conocen del riesgo que representa el consumo del agua del río. Con base a los resultados observados en el desempeño de la bomba se documentaron también las oportunidades de mejora para la correcta operación del sistema.

## C. Diseño e implementación de una bomba mecánica manual para distribución de agua

El diseño, construcción e instalación de la bomba de pistón fue un proceso de aprendizaje constante. En esta sección se explica detalladamente todo el procedimiento que se siguió para la implementación de la bomba de pistón en el Caserío Cumbre de San Agustín en Morales, Izabal.

Se realizó una primera visita al caserío para conocer al COCODE e identificar los problemas que tenían las personas. Por ser esta la continuación de un megaproyecto, ya se contaba con información y propuestas para la solución de algunos problemas del Caserío Cumbre de San Agustín, como el diseño para recolección de las aguas de lluvia, la creación de filtros con materiales de fácil acceso en el caserío, el dimensionamiento de pilas y de duchas y un estudio microbiológico del agua.

Uno de los problemas que aún no tenía solución era que todos los habitantes recorrían distancias de dos km, aproximadamente, para recolectar y transportar el agua que usarían durante el día. Usualmente las mujeres y los niños son los encargados de esas tareas. En ese momento surgió la idea de instalar dos bombas para transportar el agua desde la derivada del río hasta un terreno plano. La primera bomba elevaría el agua desde la derivada del río y la segunda bomba distribuiría esa agua hacia un tanque de recolección en un terreno plano.

Conociendo el problema que se debía resolver, la fase de investigación empezó. La primera idea fue la construcción de una bomba de rosario. Se rechazó esta idea porque los materiales de construcción no eran fáciles de conseguir y porque no ejercía ninguna presión sobre el agua. Estas bombas son usadas para la extracción de agua de pozo, pero no para distribuir el agua. Además el flujo de agua no era adecuado para las necesidades de las personas de la comunidad.

La segunda idea fue la búsqueda de bombas para la distribución de agua. La gran cantidad de bombas que existen, hizo que la búsqueda fuera muy extensa. Fue necesario reducir el número de opciones de las bombas disponibles según el caudal necesario y la cabeza de la bomba. Las mejores opciones fueron la bomba de pistón o una bomba centrífuga.

Ambas bombas tenían información que incluía cómo construirlas, sus ventajas y desventajas y su manera de operar. La bomba pistón consistía únicamente de un pistón, el cuerpo del pistón y dos válvulas de cheque. Mientras que la bomba centrífuga necesitaba de un armazón de bicicleta, partes en movimiento con cadenas y la construcción de un impulsor.

Comparando la cantidad de partes de las bombas y el tiempo que tomaría la construcción de cada una, se decidió construir la bomba de pistón. Las ventajas de la bomba de pistón sobre la centrífuga eran: la facilidad para conseguir los materiales, el tiempo de construcción de la bomba, el peso de la bomba y el costo total de fabricación.

Todo el procedimiento descrito a continuación fue hecho por Grant Thompson (Thompson, 2015). Los planos de la bomba muestran todas las piezas que lleva la bomba y sus dimensiones. Todos los planos de la bomba se encuentran desde la página 53 hasta la 57.

## D. Construcción de las válvulas de cheque

Los materiales utilizados fueron:

- 2 adaptadores macho de PVC de 1.91 cm ( $\frac{3}{4}$  in) cédula 40
- 1 niple de PVC de 1.91 cm ( $\frac{3}{4}$  in) de diámetro cédula 40
- 1 o-ring de 1.91 cm ( $\frac{3}{4}$  in) de diámetro
- 1 canica de 1.91 cm ( $\frac{3}{4}$  in).
- Tubo plástico de globo

Ilustración 27 - Materiales utilizados para la válvula de cheque



## 1. Preparación del tubo

- Cortar un niple de 3.81 cm ( $1\frac{1}{2}$  in) de longitud del niple de 1.91 cm ( $\frac{3}{4}$  in) de diámetro.
- Medir 1.59 cm ( $\frac{5}{8}$  in) desde el fondo del niple cortado y hacer una marca con un lápiz.
- Barrenar el tubo en la marca de los 1.59 cm ( $\frac{5}{8}$  in) en ambas paredes del tubo.
- Cortar el tubo de globo para que quede ajustado a las paredes del tubo de PV

## 2. Preparación del adaptador macho

- Lijar el interior del adaptador macho y también la parte del tubo que irá dentro de este
- Colocar el o-ring y la canica dentro del adaptador, debe de sellar y entrar adecuadamente. Si la canica es del tamaño correcto, al colocar el tubo, esta se debería mover libremente.
- La parte del niple que irá dentro del adaptador, es la parte del niple con menor distancia al tubo de globo. Ahora se tiene que probar cuál es la distancia correcta a la que se debe dejar el clavo de la canica. No debe ser muy apretado, ni dejar mucha distancia, para el funcionamiento correcto de la válvula. Probar la válvula agregando agua. Cuando la canica esté sobre el adaptador, no debería salir agua. Y moviendo la canica hacia el tubo plástico de globo debería permitir que salga toda el agua.
- Conociendo cuál es la distancia correcta, se agrega el pegamento de PVC a las partes lijadas y se desliza el tubo en el adaptador hasta que los hoyos queden debajo de la superficie.
- Esperar a que seque el pegamento y colocar el segundo adaptador macho para que no se salga la canica. El hoyo del tubo de globo debería quedar tapado por ambos adaptadores.

## E. Construcción de la bomba de PVC

Para la construcción de la bomba los materiales usados son:

- Niple de PVC de 3.18 cm ( $1\frac{1}{4}$  in) de diámetro cédula 40
- Niple de PVC de 2.54 cm (1 in) de diámetro cédula 40
- Acople liso de PVC de 3.18 cm ( $1\frac{1}{4}$  in) cédula 40
- Reducidor bushing de 3.18 cm ( $1\frac{1}{4}$  in) a 1.91 cm ( $\frac{3}{4}$  in) cédula 40
- Tee lisa de PVC de 2.54 cm (1 in) cédula 40
- Tee lisa de PVC de 1.91 cm ( $\frac{3}{4}$  in) cédula 40
- 2 tapones hembra de PVC de 2.54 cm (1 in) cédula 40
- 1 tapón hembra de PVC de 3.18 cm ( $1\frac{1}{4}$  in) cédula 40
- 2 o-ring #123, diámetro interno 3.02 cm ( $1\frac{3}{16}$  in) y diámetro externo 3.49 cm ( $1\frac{3}{8}$  in)
- 1 o-ring # 219, diámetro interno 3.33 cm ( $1\frac{5}{16}$  in) y diámetro externo 3.97 cm ( $1\frac{9}{16}$  in)

### 1. Pistón de la bomba

- a. Medir 60.96 cm (24 in) de largo del tubo de 2.54 cm (1 in) de diámetro y cortarlo.
- b. Al tubo de 2.54 cm (1 in), hacerle dos marcas a 2.54 cm (1 in) y a 5.08 cm (2 in). En cada marca se le tendrá que hacer un surco que llegue hasta la mitad del tubo, no es un corte. En cada surco se colocarán los o-ring # 123.
- c. Cerrar el agujero del tubo de PVC de 1 in en la misma parte en donde están los o-rings.
- d. Al tubo de 2.54 cm (1 in) de PVC cortar dos tubos de 11.43 cm (4 1/2 in) de largo. Estos tubos se unen a la tee de 2.54 cm (1 in) de un lado y del otro lado se unen los tapones hembra de 2.54 cm (1 in). Pegarlos con pegamento de PVC. La conexión libre de la tee irá unida al tubo de 60.96 cm (24 in) de largo cortado anteriormente.

Ilustración 28 Pistón de la bomba



### 2. Lado exterior de la bomba

- a. Medir 66.04 cm (26 in) de largo del tubo de 3.18 cm (1 1/4 in) de diámetro y cortarlo.
- b. Al tapón hembra de 3.18 cm (1 1/4 in) de PVC se le tendrá que hacer un agujero de 3.49 cm (1 3/8 in) de diámetro en la parte del tapón.
- c. Insertar el tubo de 2.54 cm (1 in) de diámetro dentro del tubo de 3.18 cm (1 1/4 in) de diámetro, una parte del tubo más pequeño queda fuera.
- d. Debajo del tapón se le colocará el o-ring # 219. No hay que pegar el tapón al tubo, para que la lubricación del o-ring sea más fácil.
- e. Del otro lado del tapón se coloca el acople liso de 3.18 cm (1 1/4 in) y abajo de este el reductor bushing de 3.18 a 1.91 cm (1 1/4 a 3/4 in).

### 3. Ensamblaje de la bomba

- a. Colocar aceite de cocina como lubricante al o-ring #219, para que el tubo se deslice fácilmente y a la vez cree el vacío necesario.
- b. Al reductor bushing, se le coloca un tubo de 1.91 cm ( $\frac{3}{4}$  in) y este tubo se unirá a la tee de 1.91 cm ( $\frac{3}{4}$  in).
- c. Colocar las válvulas de cheque según el lado que corresponda, para que la bomba funcione adecuadamente.
- d. Conectar tubería de 1.91 cm ( $\frac{3}{4}$  in) a las válvulas de cheque y poner a funcionar la bomba de pistón.

Ilustración 29 - Bomba ensamblada



## F. Prueba del funcionamiento de las válvulas de cheque

La válvula de cheque debe permitir el paso de fluido cuando va en la dirección correcta. Sin embargo cuando el fluido va de regreso, la válvula se cierra para no permitir su paso. La prueba realizada para determinar su funcionamiento fue llenar la válvula con agua en la dirección contraria a la de funcionamiento. Si la válvula no permite la salida de agua, quiere decir que funciona correctamente. Los materiales de las válvulas de cheque se muestran en la Ilustración 27.

## G. Instalación y puesta en marcha de la bomba

Teniendo la bomba de pistón construida se realizaron pruebas con palanganas de agua antes de llevar la bomba al Caserío de la Cumbre de San Agustín para realizar pruebas definitivas y dejarla instalada. Las pruebas realizadas fueron para determinar el valor experimental de las condiciones de operación de la bomba. Las condiciones evaluadas fueron la cabeza de succión y descarga, caudal y distancia a la que podía distribuir el agua.

La prueba de la cabeza de succión máxima fue simple de hacer. Lo que se hizo fue cambiar la altura de la tubería de succión hasta que la bomba no fuera capaz de transportar el fluido hacia la salida de la bomba. Cuando se llegó a la altura en donde la bomba no succionaba, se debía observar en cuál altura la bomba operaba nuevamente. Esa altura sería la cabeza máxima de succión.

Durante las pruebas realizadas con las palanganas de agua se observó que las válvulas de cheque permitían fugas, pero al ver que la bomba lograba succionar y descargar agua se dejaron instaladas. La cabeza de succión era de 0.2 m y una distancia horizontal de un metro. Además de las fugas, las válvulas de cheque utilizaban un clavo para la retención de la canica en su lugar. Debido a que se trabaja con agua, este se oxidaba fácilmente. Se cambió este material por los tubos plásticos que se colocan en los globos. Otro cambio fue el uso de una canica en lugar de las pelotas de plástico que rebotan. Esto porque las canicas al tener un mayor peso evitaban mejor la fuga de agua.

Cuando se llevó la bomba por primera vez al Caserío Cumbre de San Agustín se realizó la prueba en el lugar elegido durante la fase de exploración. Debido a que la distancia de succión era similar a la distancia máxima en que se probó a pequeña escala la bomba, esta no lograba succionar el agua para descargarla.

Se tuvo que regresar a la capital y cambiar las válvulas de cheque construidas, por las de cobre que se consiguen en una ferretería. Realizando las mismas pruebas, se observó que estas no presentaban fugas y que la distancia horizontal máxima para la succión era de dos metros.

También se observó un aumento en la cantidad de agua descargada por la bomba. No solo era la cantidad, sino que la presión de descarga también era mayor que con las válvulas de cheque hechas a mano. Se determinó que la cabeza máxima era de 0.25 m.

Con esta nueva modificación se decidió ir nuevamente a Morales, para probarla nuevamente. Debido a que la cabeza de succión del lugar original donde se pensaba colocar la bomba era de aproximadamente un metro, era necesario disminuirla para que la bomba funcionara adecuadamente. Por lo tanto se movió la bomba hacia un lugar mucho más plano. Con la disminución de la cabeza de succión, la bomba fue capaz de descargar agua.

El siguiente paso fue determinar la longitud máxima a la que la bomba podía descargar el agua

succionada. Debido a las irregularidades topográficas del terreno, se aprovecharon las bajadas de este para que el agua tuviera una mayor velocidad. La mayor distancia a la que se podía descargar el agua era de 17 m. Las irregularidades del terreno representaron un problema para la instalación de la bomba al igual que el sol. Sería necesario colocar alguna estructura debajo de la bomba para que esta estuviera en todo momento plana, para que las personas pudieran jalar y empujar el pistón correctamente. También era necesario enterrar la tubería que estuviera expuesta al sol, para evitar que el tiempo de vida de estas se redujera, porque se secaban y se volvían quebradizas.

Se tuvo que regresar nuevamente a la capital para la construcción de la estructura que le daría soporte a la bomba y conseguir herramientas para enterrar la tubería. Era necesario un material resistente a la humedad, el sol y a la aplicación de fuerza sobre ella. El primer material propuesto fue madera, pero se rechazó la idea porque no es muy resistente a la humedad y usualmente al recibir mucho sol también se patea y se quiebra fácilmente. Con la ayuda del ingeniero Cristián Rossi, coordinador del grupo de megaproyecto, se eligió el acero al carbón como el material que más se adecuaba a los requerimientos anteriores.

El proceso de construcción fue primero dibujar un bosquejo de la estructura con todas las dimensiones. La estructura era similar a una mesa. El plano con las vistas de la estructura y sus dimensiones se encuentran en el plano 1 de los anexos. Segundo era necesario el corte de todas las piezas de angulares cuadrados de 2 in por 2 in de 6 m de largo. Se tuvo que cortar 2 piezas de 2.50 m, que serían las patas de 1 m. Posteriormente se cortaron 4 piezas de 0.70 m de largo para la parte superior de la mesa y para mantener la distancia entre las patas.

A las piezas de 2.50 m también fue necesario realizarles un corte triangular a 1 m de distancia para que el angular se pudiera doblar y formar así las patas de la mesa. El tercer paso era soldar todas las piezas para mantenerlas unidas. Se realizó la soldadura de la estructura de metal con electrodos de punto café. El cuarto paso fue la eliminación de toda la escoria formada durante la soldadura. Es necesario remover la escoria, para darle un mayor tiempo de vida a la soldadura. Después se lijó toda la estructura y con un waipé se limpió toda la estructura con tiner.

El último paso para tener la estructura lista fue la aplicación de pintura anticorrosiva para evitar su oxidación debido a la humedad. Se pasaron varias capas, para que la pintura cubriera completamente la estructura metálica.

Para esta visita se contó con la ayuda de la municipalidad de Morales, Izabal para que ellos transportaran la estructura de metal hacia el Caserío de San Agustín. Se llevó una piocha para enterrar la tubería y la estructura de metal en el suelo de tierra del Caserío. El enterramiento de la estructura de metal fue la que consumió la mayor cantidad de tiempo, porque era necesario nivelar todas las patas de la estructura y también era necesario ir midiendo si la altura a la que quedaría la bomba era la adecuada para que todo el sistema estuviera lo más plano posible. Se puede observar el enterramiento de la estructura metálica en la Ilustración 71.

El enterramiento de la tubería fue más fácil porque se contó con la ayuda de las personas que vivían cerca de la derivada del río Amatillo para colocar la tubería bajo tierra a unos 20 cm aproximadamente. Observar la Ilustración 74 y la

Ilustración 75.

## H. Prueba del caudal y eficiencia de la bomba

El caudal de la bomba se midió colocando un envase debajo de la descarga de la bomba. Se midió el tiempo que tardaba la bomba en llenarlo. El tiempo se tomó a partir de la primera descarga de la bomba. El procedimiento se realizó en triplicado. El volumen del envase se determinó con una probeta de 1000 mL. El procedimiento consistió en llenar el envase con agua y medir el volumen restante en la probeta. Restando 1000 mL del volumen restante se conoce el volumen del envase.

La eficiencia se calculó determinando la velocidad teórica que debería tener la descarga de la bomba utilizando la ecuación de Bernoulli y tomando en cuenta todas las caídas de presión y la fricción de los accesorios y la tubería.

Conociendo la velocidad de descarga real de la bomba, que se calculó a partir del caudal experimental de la bomba de pistón, y la velocidad teórica se relacionan para obtener la eficiencia de la bomba construida.

## I. Mantenimiento de la bomba y capacitación

Para que el tiempo de vida de la bomba se extienda, será importante la implementación de un manual de mantenimiento para que la bomba pueda operar correctamente y haga diferencia en la vida de las personas en la comunidad. El manual se encuentra en los anexos.

También fue necesario impartir una capacitación a las personas de la comunidad sobre el funcionamiento de la bomba y su mantenimiento, específicamente se le enseñó el procedimiento a las familias que vivían cerca de la derivada del río Amatillo. El mantenimiento consiste en la lubricación del o-ring superior con aceite de cocina para que este no se rompa rápido por la fricción que debe soportar cuando se mueve el pistón.

El funcionamiento de la bomba también es simple, porque solo es necesario jalar y empujar el pistón, para que se dé la distribución de agua.

## J. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales usando procesos biológicos

### 1. Diseño de sedimentador

- a. Se calibró un recipiente con capacidad de 10L, se realizaron marcas cada 1000 mL.
- b. Se colocaron 8L de agua residual a tratar, para la primera corrida se agregó una concentración de 400 ppm de jabón y para la segunda corrida se agregó una concentración de 200 ppm de jabón.
- c. Se realizaron las pruebas de SST, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub> y pH cada hora por 4 horas. Para la primera corrida se realizó una prueba luego de 30 horas para determinar si hubo un cambio en los parámetros establecidos. Las muestras tomadas para la evaluación se tomaron de la parte superior del agua. Los análisis realizados se muestran en la parte I del apéndice.
- d. Para determinar el tiempo de retención hidráulico en el sedimentador se estableció la hora a la cual ya no hubo ningún cambio en los parámetros medidos.

### 2. Pruebas Preliminares variando el tamaño de partícula

Procedimiento para simular el agua del afluente a tratar, que contengan por lo menos el mismo grado de contaminación, en base a los resultados obtenidos por Caballeros en el 2014:

- a. Se recolectaron aguas residuales de la Universidad del Valle de Guatemala, con baja carga orgánica y pocos sólidos suspendidos.
- b. Se agregó jabón marca Xedex ® al agua para realizar una solución de 100 a 400 ppm de jabón.
- c. Se realizaron las pruebas de caracterización del afluente a tratar como se indica en el inciso I del Apéndice.

### 3. Pruebas preliminares de biofiltro variando el tamaño de partícula

- a. Se construyó un sistema que constaba de una caja con cuatro soportes para colocar los cuatro biofiltros a evaluar. Con cuatro soporte universal y cuatro aros se sostuvo el tanque de alimentación a los biofiltros, el cual consistía en cuatro botellas PET de 3 L cada una.
- b. Se secó la cáscara de coco por 24 horas a 80°C y se cortó en dos tamaños de partícula diferente, estos fueron 1.5 cm de diámetro y 3 cm de diámetro. Se llenaron 4 botellas PET de 750 ml cada una con el coco cortado, dos se llenaron con cáscara de 1.5 cm y dos con cáscara de 3 cm.
- c. Se colocaron los biofiltros en inundados por una semana, esto quiere decir que el biofiltro se encontraba cerrado por la parte inferior. Después de una semana se vació y empezaron las pruebas de eficiencia de remoción.
- d. Se reguló el flujo de cada botella con un tornillo, a 0.5L/día. Se tomó muestra cada semana de cada biofiltro por un mes, y se evaluaron como se indica en el inciso I del Apéndice.

Luego de realizar el estudio preliminar con las variables mencionadas. El siguiente paso fue dimensionar el equipo. Ya que el equipo con el que se va a trabajar ya está diseñado, se realizaron pruebas en este a una escala más grande con los mejores resultados del estudio preliminar.

#### 4. Determinación del caudal del afluente que puede soportar el sistema de tratamiento

- a. Se determinó el caudal del afluente que puede soportar el biofiltro para alcanzar los niveles de remoción de contaminantes deseados a partir de los valores de la caracterización del agua utilizada para determinar el tamaño de partícula, se usó la demanda biológica de oxígeno (DBO), y sólidos suspendidos totales (SST) en aguas residuales domésticas no tratadas y de experimentaciones previas que determinan la carga máxima de DBO y SST que puede soportar un biofiltro con lecho orgánico como material filtrante obtenidas de la bibliografía del Dr. Garzón – Zuñiga, del Instituto mexicano de tecnología del agua (IMTA).
- b. Se determinó el caudal máximo del afluente para un sistema con aireación y sin aireación.

#### 5. Caracterización del material filtrante

- a. De 50 kg de Cáscara de coco, se utilizó únicamente el mesocarpio, por lo que se separó del exocarpio.
- b. Se dejó secar por un día a 80°C en el secador de gabinetes.
- c. Se cortó el mesocarpio del coco a un tamaño de 1.5 cm de diámetro, con una tabla y un cuchillo.
- d. Se midieron 50 partículas de coco, seleccionado previamente que formaban parte del material filtrante, se midió el largo, ancho y alto de cada una para determinar el tamaño de partícula promedio del empaque del biofiltro.

#### 6. Medición de porosidad del material filtrante

- a. Se llenó una probeta de 1000 mL con piedrín, el cual sirvió como el primer empaque para sostener la capa orgánica filtrante.
- b. Se llenó la probeta de piedrín hasta 1000 ml.
- c. Con otra probeta se midió la cantidad de agua en los espacios vacíos que quedaron entre el piedrín y probeta. Se realizó el mismo procedimiento para determinar la porosidad del mesocarpio del coco.

#### 7. Instalación del biofiltro a nivel planta piloto

- a. Se calibraron los tanques de alimentación y recepción del efluente, con capacidades de 18.9 L y 20 L respectivamente. Se colocaron marcas a cada litro en ambos tanques para determinar el caudal de salida y de entrada al biofiltro.
- b. Se colocó una válvula al tanque de alimentación del biofiltro, la válvula consistió en un tornillo que regulaba la entrada de agua al biofiltro fuera por goteo, para calibrarlo se apretaba según el caudal determinado.
- c. Se colocó dentro del tubo de acrílico la primera capa de piedrín, luego el lecho orgánico el mesocarpio del coco y por último se colocó una capa de viruta de madera para que la distribución de agua al biofiltro fuera uniforme.
- d. Se procedió a colocar el tubo de acrílico dentro de la estructura metálica, se apretaron las abrazaderas al tubo y se colocó a 30 cm de alto respecto al suelo, para que hubiese espacio para el tanque de almacenamiento.

- e. Se colocó el tanque de recepción en la parte inferior del biofiltro unido con una tubería de PVC de ½ pulgada.
- f. Se agregaron 18 L del agua a tratar al biofiltro para que el mesocarpio estuviese en condiciones más favorables para los microorganismos, para que la bio película se adhiriera rápidamente.
- g. Se colocó el tanque de alimentación sobre el biofiltro, con la válvula regulada al caudal previamente determinado.

#### 8. Operación y mantenimiento del biofiltro

- a. Se realizaron inspecciones durante la puesta en marcha y durante la operación del biofiltro para verificar que no existan problemas en la operación del biofiltro, como por ejemplo revisar si hay presencia de fugas. En el caso de problemas se toman las acciones correctivas pertinentes como por ejemplo cambio en las condiciones de operación.
- b. Monitoreo y realización de pruebas de la eficiencia de remoción de contaminantes
- c. Las pruebas de demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (NT), sulfatos (SO<sub>4</sub>), fósforo total (PT) y pH que se describen en la parte I del Apéndice.
- d. A partir de los análisis realizados se determinó la eficiencia de remoción de contaminantes del sistema completo.

#### 9. Costos

Con base en los resultados obtenidos de la eficiencia de remoción, se realizó un diseño del sistema de tratamiento, con esto se dimensionó el equipo, sedimentador y biofiltro para la comunidad de San Agustín, Morales, Izabal. Para esto se realizó un simulador en Excel con el cual se alterara las variables como flujo y con los resultados de las pruebas se determinó el mejor diseño.

## K. Proceso educativo para la formación y empoderamiento de promotores de salud

1. Investigación. Durante la fase de Taller de Megaproyecto 1, el proceso de investigación consistió en entrevistas a expertos en el área de educación y proyectos comunitarios, para obtener información de sus experiencias y conocimientos en el tema materia. Al mismo tiempo igual manera se realizaron reuniones con el grupo que inicio el Megaproyecto, para conocer sus avances y lo que se debía seguir trabajando. Durante el primer ciclo 2015, correspondiente a Taller de Megaproyecto 2, el equipo se entrevistó con representantes de ONGs y organismos municipales del lugar seleccionado, Caserío San Agustín La Cumbre, con el objetivo de ampliar la información que ya se tenía y actualizar datos específicos.

Una vez seleccionado el lugar de aplicación, la investigación de campo del presente módulo consistió en una visita exploratoria, la cual incluyó entrevistas con líderes municipales, un representante de Plan Internacional que ha trabajado proyectos similares con la comunidad, el Alcalde Auxiliar del Caserío

Cumbre de San Agustín, encuestas a los pobladores y observaciones a las viviendas y condiciones de vida de la comunidad.

Adicional a ello y para este módulo, se procedió a la investigación bibliográfica del marco teórico, proyectos similares y metodología de proyectos educativos y educación comunitaria que respondiera a las necesidades de la población objetivo.

La metodología utilizada en el programa de educación se centra en el “Enfoque basado en la evidencia”, en el que el objetivo principal de la metodología se basa en conocer las problemática de la comunidad para poder actuar y usar recursos de acuerdo a las necesidades de la población. Esta metodología se ajusta a las condiciones de vida de las personas del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal, porque pretende buscar y ejecutar acciones que beneficien y sean replicables en toda la comunidad, siendo los principales protagonistas, los pobladores de dicha comunidad.

La creación del diseño del contenido educativo para el programa se fundamenta en la metodología, antes mencionada que es usada por el programa “Abriendo oportunidades” el cual trata específicamente en brindar apoyo a niñas indígenas del país, para mejorar sus condiciones de vida. Este programa, surgió del trabajo que realiza Population Council, el cual lleva a cabo investigaciones para abordar situaciones de salud y desarrollo crítico. (Council 2015)

Esta metodología incluye las siguientes fases:

- Identificar y entender el problema.
- Diseñar las estrategias.
- Pilotear y evaluar las estrategias.
- Utilizar la evidencia para replicar e impactar en políticas públicas.
- Asesora la expansión de los modelos exitosos.

Ilustración 30 - Esquema de los pasos del enfoque basado en evidencia



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, también fue utilizado un “Modelo de intervención”, el cual también es utilizado en el programa *Abriendo Oportunidades* y propuesto para Population Council, este se describe en la siguiente figura:

Ilustración 31 - Esquema de los componentes del Método de intervención



Fuente: Elaboración propia

El trabajo realizado en la comunidad Cumbre de San Agustín, se pudo lograr con la aplicación de los métodos que presenta dicho programa. Al identificar las características de la comunidad se logró trabajar según las necesidades que presentó, de igual manera fue importante definir la población con la que se trabajaría, para atender y realizar los talleres que se mencionaron anteriormente. Por otra parte, el haber trabajado en espacios públicos como lo fue la escuela y la iglesia, sirvió para que los pobladores invitados llegaran al lugar de los talleres y se sintieran cómodos y seguros, esto benefició la participación en los talleres. Dentro de la metodología del programa se pudo desarrollar el taller de mentores o promotores, quien el programa define como las personas que continuarán desarrollando el empoderamiento o en el caso particular del trabajo de megaproyecto, las personas que se encargarán de transmitir la información o bien ser los portavoces de la comunidad.

La planificación y ejecución de los talleres se basó en tres enfoques, siendo el primero un enfoque tradicionalista y los dos siguientes el enfoque constructivista y el enfoque de educación para y por la comunidad. El primer taller ejecutado se realizó usando métodos del enfoque tradicionalista, en donde la

facilitadora brindó la información en una sola vía, de ella hacia los pobladores. Los pobladores participaron muy poco.

En los siguientes talleres se decidió implementar métodos del enfoque constructivista y de educación para y por la comunidad, en donde los métodos usados se basaron en la participación activa de los pobladores, actividades lúdicas para desarrollar y alcanzar los aprendizajes esperados y así llega a una metacognición.

La organización comunitaria (Ver ilustración 90) que se implementó como parte de la metodología de promotores de la salud, se basó en primera instancia, con la convocatoria de las personas. Para llevar a cabo la convocatoria de los 12 promotores, se tuvieron visitas a la comunidad, entrevistas y el contacto vía teléfono y persona a persona con el COCODE de la comunidad, el señor Fidelino Jordán, quien con su experiencia y liderazgo, formó parte de los 12 promotores y ayudó con la selección de las personas que participaron en los talleres de promotores de salud. A parte del liderazgo e influencia que tienen los 12 promotores seleccionados, se tomó en cuenta la ubicación geográfica, es decir el lugar en donde viven. Se convocaron a personas que estaban ubicados en una posición estratégica, esto se debió a la necesidad de abarcar la mayor parte de la comunidad, tomando en cuenta la dispersión de las casas. Es así como cada promotor es responsable de las casas que tiene a su alrededor.

El objetivo principal de la organización comunitaria es la multiplicación de la información de una manera efectiva y eficaz. Esta organización se basó en la problemática que presentó el lugar en relación al traslado de información, en donde muchas personas no conocían lo que se estaba realizando en su comunidad, es por ello que los promotores se comprometieron a continuar con su liderazgo y empoderamiento para hacer llegar la información a la mayor cantidad de casas posibles.

## 2. Alcances y limitaciones

### a. Alcances

- Se establecieron vínculos de comunicación que facilitaron y validaron los datos investigados y además permitió que la investigación tuviera fuentes primarias y secundarias de información.
- Las personas del Caserío Cumbre de San Agustín permitieron ser entrevistados, de esta manera se logró obtener información y trabajar según las condiciones de vida de ellos.
- La comunidad con la que se trabajó se interesó y lo evidenció que asistieran a los talleres y se comprometieran a multiplicar la información que se les compartió.
- El Alcalde Auxiliar de la comunidad se mantuvo informado de las actividades que se realizaron y también fue partícipe de algunas.

### a. Limitaciones

- Debido a la ubicación geográfica del Caserío Cumbre de San Agustín, y a la distribución de las casas, no fue posible entrevistar a todas las personas de la comunidad.

- El tiempo que se tuvo para investigar y accionar fue limitado por la ubicación del lugar, debido que la distancia sobrepasaba 40 minutos para llegar a pie y el mismo tiempo para regresar, tomando en cuenta que en la mayoría de las casas no había energía eléctrica.
- Por las necesidades que presentó la comunidad y por la cantidad de personas, se tomó la decisión de trabajar con un grupo seleccionado de personas, el cual tomó las cuales el compromiso de transmitir lo aprendido en los talleres, esto último responde al fin principal de la metodología y enfoque usado “que sean las mismas personas de la comunidad quienes continúen transmitiendo conocimientos así pueden mejorar sus condiciones de vida”.

3. Pasos y validación. La metodología empleada consta de 5 pasos, los cuales fueron validados de la siguiente manera:

Tabla 19 - Pasos y validación del enfoque basado en evidencia. Elaboración propia.

1. Identificar y entender el problema.	2. Diseñar las estrategias.	3. Pilotear y evaluar las estrategias. 4. Utilizar la evidencia para replicar e impactar en políticas públicas.	5. Asesora la expansión de los modelos exitosos.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigación y documentación bibliográfica.</li> <li>• Entrevistas a expertos</li> <li>• Visita de recopilación de datos.</li> <li>• Encuestas y entrevistas.</li> <li>• Recopilación de material de proyectos o capacitaciones similares.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboración de la planificación correspondiente a cada capacitación, esta incluirá: objetivos generales, específicos, metodología, recursos y evaluación.</li> <li>• Elaboración de material didáctico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementación de capacitaciones.</li> <li>• Acompañamiento en capacitaciones con el apoyo de los compañeros del megaproyecto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autoevaluación</li> <li>• Evaluación usando listas de cotejo con imágenes para aplicarse a los pobladores que asistan a las capacitaciones.</li> <li>• Evaluación por expertos para recibir retroalimentación e ir mejorando las capacitaciones.</li> </ul>

## VII. RESULTADOS

Tabla 20 - Precipitación promedio mensual de los 5 años analizados

Mes	Promedio mensual (mm agua)		
		±	
Enero	148.8	±	54.0
Febrero	121.5	±	48.6
Marzo	113.0	±	72.2
Abril	40.5	±	33.1
Mayo	138.6	±	65.8
Junio	367.8	±	346.4
Julio	383.9	±	409.5
Agosto	425.6	±	397.7
Septiembre	387.1	±	191.2
Octubre	273.4	±	71.4
Noviembre	172.9	±	74.7
Diciembre	173.4	±	79.0

Tabla 21- Acumulación de agua mensual

Mes	Acumulación (m <sup>3</sup> /mes)
Enero	4.1
Febrero	3.3
Marzo	3.1
Abril	1.1
Mayo	3.8
Junio	10.1
Julio	10.6
Agosto	11.7
Septiembre	10.7
Octubre	7.5
Noviembre	4.8
Diciembre	4.8

Tabla 22 Especificaciones de canaletas

Estilo	Colonial		
Ancho (m)	0.09	±	5.00E-04
Alto (m)	0.1	±	5.00E-04

Tabla 23- Especificaciones de área de captación en iglesia

<b>Frente de iglesia (m)</b>	2.55	±	5.00E-04
<b>Largo de iglesia (m)</b>	12.00	±	5.00E-04
<b>Área (m)</b>	30.60	±	2.00E-04
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	3.74 x 10 <sup>-5</sup>		

Tabla 24- Especificaciones de tanque de primeras agua

<b>Volumen requerido (L)</b>	<b>Volumen de tanque (L)</b>	<b>Depósitos requeridos</b>
296	220	2

Tabla 25- Especificaciones de tanque de almacenamiento

<b>Área de canaletas (m<sup>2</sup>)</b>	9.00E-3	±	7.47E-03
<b>Área de techo (m<sup>2</sup>)</b>	30.60	±	2.00E-04
<b>Área total (m<sup>2</sup>)</b>	30.61	±	7.48E-03
<b>Volumen tanque (L)</b>	30.61	±	7.48E-03

Tabla 26- Costo del sistema

<b>Material</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo</b>	<b>Total</b>
Canaletas tipo colonial	2	Q296.00	Q592.00
Tubo 2"	1	Q15.00	Q15.00
Copla	4	Q1.50	Q6.00
Reducción 2" a 1 ½"	4	Q5.00	Q20.00
Tee 1 ½"	1	Q6.00	Q6.00
Barril 220L	1	Q274.00	Q274.00
Adaptador hembra 3/4"	3	Q1.50	Q4.50
Adaptador macho 3/4"	3	Q1.50	Q4.50
Válvula de mariposa 3/4"	2	Q15.00	Q30.00
Tubo 3/4"	1	Q15.00	Q15.00
Codos 90° de 3/4"	3	Q6.00	Q18.00
Adaptador hembra 1 1/2"	2	Q1.50	Q3.00
Adaptador macho 1 1/2"	2	Q1.50	Q3.00
Niple 1"	1	Q1.50	Q1.50
Pelota de plástico	1	Q1.50	Q1.50
Reducción 1 ½" a 1"	1	Q1.50	Q1.50
Copla	1	Q1.50	Q1.50
Codos 90° de 1 ½"	2	Q6.00	Q12.00
Barril 120L	1	Q215.00	Q215.00
<b>Total</b>			<b>Q1,224.00</b>

Tabla 27- Características físicas y organolépticas

Característica	Resultado
Olor	No rechazable
Turbidez (NTU)*	2
pH	7.61
Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).	

Ilustración 32-Sistema de captación pluvial instalada



Ilustración 33 – Toma de agua de la bomba diseñada

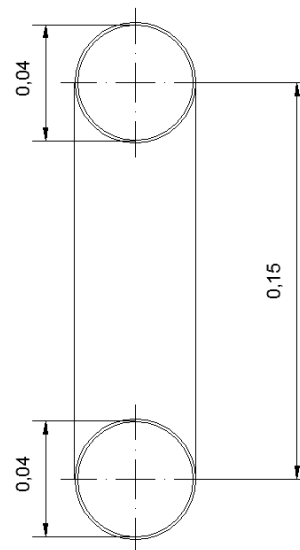


Ilustración 34 - Cabeza de la bomba multipulsor evaluada

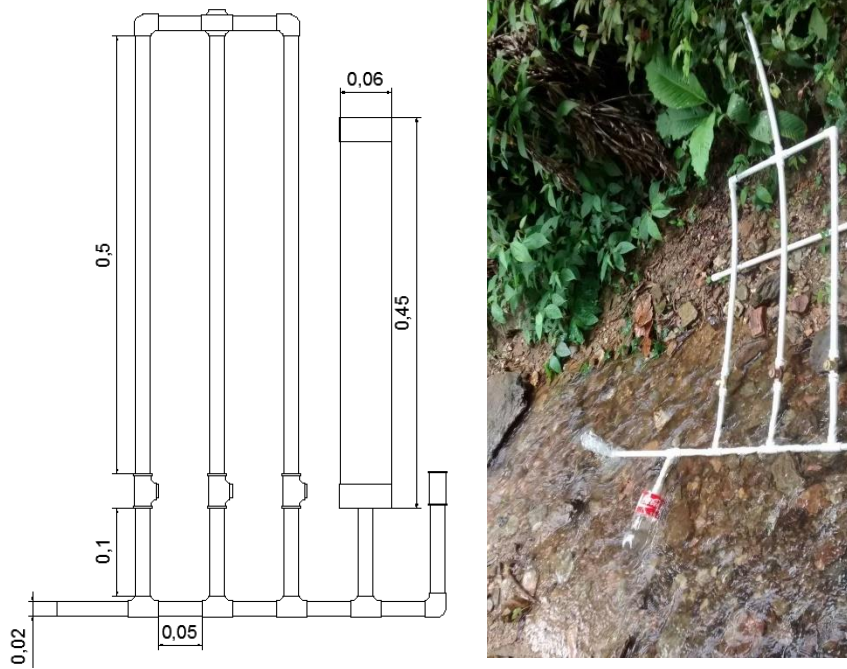


Ilustración 35 - Cabeza de la bomba monopulsor evauada

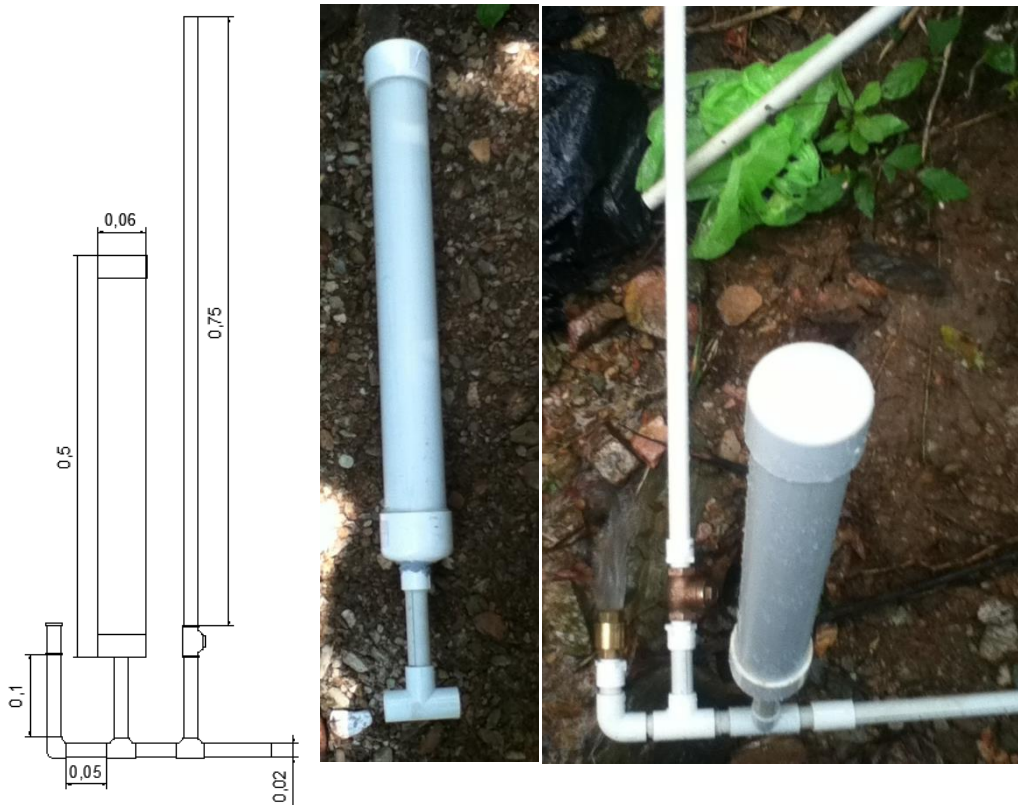


Ilustración 36 - Dimensiones de los filtros instalados

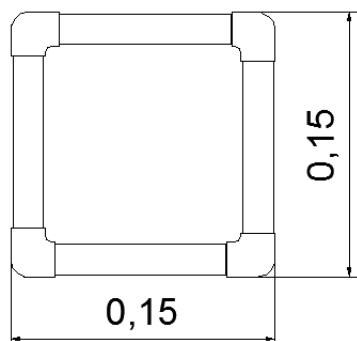


Tabla 28 – Costos de fabricación de la bomba de ariete implementada

Cantidad necesaria	Descripción	Costo individual (Q)	Costo total (Q)
1 Unidad	Cheque horizontal	Q60.00	Q60.00
2 Unidades	Tubos 6 m (1/2")	Q20.00	Q40.00
1 Unidad	Tubo 1 m (3/4")	Q5.00	Q5.00
1 Unidad	Tubo 1 m (1")	Q7.50	Q7.50
1 Unidad	Tubo 1 m (1 1/4")	Q9.00	Q9.00
1 Unidad	Tubo 2 m (1 1/2")	Q12.75	Q12.75
1 Unidad	Tubo 1 m (2")	Q17.50	Q17.50
2 Unidades	T (1/2")	Q1.30	Q2.60
15 Unidades	Codos (1/2")	Q0.80	Q12.00
3 Yardas	Cedazo	Q17.50	Q52.50
1 Libra	Cemento	Q10.00	Q10.00
12 Unidades	Unión lisa	Q0.65	Q7.80
1 Unidad	Tapón hembra	Q6.00	Q6.00
1 Unidad	Codo (1 1/2")	Q11.75	Q11.75
1 Unidad	T (1 1/2")	Q3.25	Q3.25
50 g.	Pegamento para PVC	Q12.75	Q12.75
1 Unidad	Reducidor 1 1/2" a 1 1/4"	Q5.25	Q5.25
1 Unidad	Reducidor 1 1/4" a 1"	Q3.75	Q3.75
1 Unidad	Reducidor 1" a 3/4"	Q2.55	Q2.55
1 Unidad	Reducidor 3/4" a 1/2"	Q1.90	Q1.90
1 paquete	Cerraduras plásticas	Q5.00	Q5.00
Costo total de la bomba		Q288.85	

Tabla 29 – Comparación de las pérdidas de energía para las bombas monopulsor y multipulsor evaluadas

Característica	Bomba Monopulsor (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	Bomba Multipulsor (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )
Pérdida por fricción en tubería	0.00	0.00
Pérdida por contracciones violentas en tubería	6.90E-02	6.90E-02
Pérdidas de energía por accesorios	9.97E-01	1.84
Total de pérdidas de energía	1.066	1.909

Tabla 30 – Características de la bomba de ariete implementada

Flujo de agua captado (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad de agua* (m/s)	Cabeza total desarrollada (m)	Flujo de agua descargado (m <sup>3</sup> /s)
1.58 E - 04	0.73	4.67	4.07 E - 06

\*La velocidad del agua fue determinada en la tubería previa al sistema de bombeo

Tabla 31 – Comparación entre la bomba de ariete implementada y una diseñada industrialmente

Bomba	Flujo de operación (m <sup>3</sup> /s)	Eficiencia de bombeo (%)	Costo del equipo (Q)	Eficiencia respecto a bomba industrial (%)
Implementada	4.07 E – 06	25.7	288.85	59.75
Industrial*	6.81 E – 06	43.0	3,649.57	

\*Datos de bomba industrial tomados de Gutiérrez (2013)

Tabla 32 - Rangos de operación de la bomba de pistón

Descripción	Valor
Presión de succión	2452.50±4.89 Pa
Presión de descarga	15,860.42±4.89 Pa
Caudal real	0.08 L/s
Velocidad real	0.16 m/s
Velocidad teórica	0.42±0.16 m/s
Eficiencia	42.38±6.24%

Tabla 33 – Características de operación de la bomba de pistón

Descripción	Valor (m)
Cabeza de succión	0.20
Cabeza de succión máxima	0.25
Distancia de succión	2.00
Cabeza de descarga	1.62
Distancia de transporte	16.00
Distancia total de transporte	18.00

Tabla 34 - Costo de la estructura de metal que soporta la bomba de pistón

Cantidad	Unidad medida	Nombre	Precio	Precio unitario
12	m	Tubería perfil cuadrado	Q130.00	Q10.83
1	Lb	Electrodo punto café 6013, 3/32''	Q10.74	Q10.74
1	Pliego	Lija de agua No. 100	Q2.95	Q2.95
1	Lb	Wipe	Q10.00	Q10.00
0.25	galón	Pintura anticorrosiva	Q47.48	Q189.90
		Costo total	Q201.17	

Tabla 35 - Materiales y precios para la construcción de la bomba de pistón

Cantidad	Unidad medida	Nombre	Precio	Precio unitario
21	Pz	Copla 1/2" PVC	Q21.00	Q1.00
1	Pz	Copla 1 1/4" PVC	Q3.00	Q3.00
4	Pz	Adaptador macho 3/4" PVC	Q6.00	Q1.50
1	Pz	Reducidor bushing 1 a 3/4 c/rosca PVC	Q7.50	Q7.50
1	Pz	Tapón macho 3/4 c/rosca PVC	Q5.25	Q5.25
10	Pz	o-ring fraccional	Q20.00	Q2.00
1	Pz	Tapón hembra 1" liso PVC	Q2.25	Q2.25
1	Pz	Tapón hembra 1 1/4" liso PVC	Q3.00	Q3.00
1	pz	Tee 1" liso PVC	Q3.50	Q3.50
2	pz	Adaptador hembra 3/4" PVC	Q4.00	Q2.00
3	pz	Codo 1/2" liso PVC	Q2.00	Q0.67
1	pz	tee 3/4" liso PVC	Q2.00	Q2.00
2	m	Tubo de 1" PVC	Q13.00	Q6.50
2	m	Tubo de 1 1/4" PVC	Q17.00	Q8.50
8	pz	Adaptador macho 3/4" PVC	Q12.00	Q1.50
2	m	Tubo 3/4" PVC	Q9.50	Q4.75
2	pz	Válvula cheque	Q68.00	Q34.00
17	m	Tubo de 1/2" PVC	Q42.50	Q2.50
1	bote	Pegamento PVC	Q40.00	Q40.00
		Costo total	Q281.50	

Tabla 36 - Eficiencia de remoción de contaminantes de un sedimentador variando la concentración de jabón

Parámetro	Porcentaje de eficiencia	
Solidos suspendidos totales (SST)	70.92	± 2.07
Sulfatos, $\text{SO}_4^-$	7.96	± 0.41
Fosfatos, $\text{PO}_4^{-3}$	0.00	± 0.10
Nitratos, $\text{NO}_3^-$	30.00	± 6.99
% Cambio pH	0.43	± 0.39

A continuación se presentan los resultados de la evaluación preliminar del biofiltro variando el tamaño de partícula. Los valores en la graficas que se presentan a continuación, de 1.5 cm y 3 cm de diámetro son el valor promedio de la partícula utilizada, ver método de análisis en la sección D del apéndice.

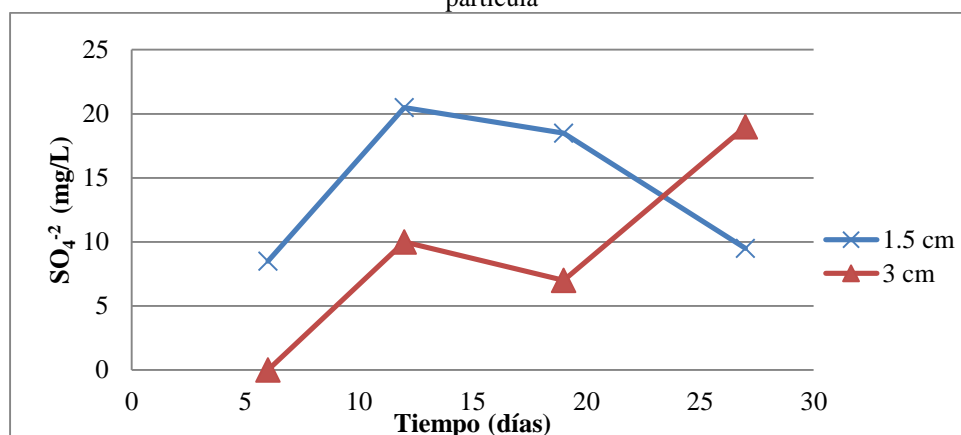
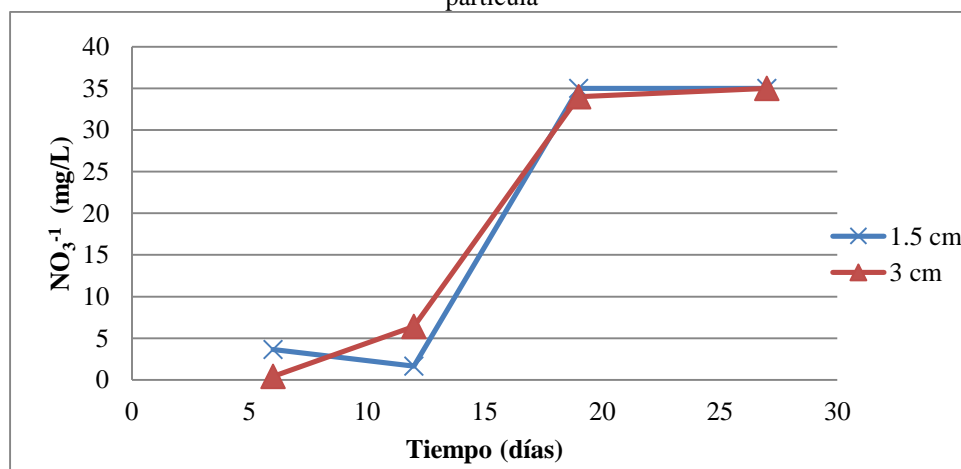
Ilustración 37 – Comportamiento en el tiempo de  $\text{SO}_4$  en el efluente de los biofiltros variando el tamaño de partículaIlustración 38 - Comportamiento en el tiempo de  $\text{NO}_3$  en el efluente de los biofiltros variando el tamaño de partícula

Ilustración 39 - Comportamiento en el tiempo de  $\text{PO}_4$  en el efluente de los biofiltros variando el tamaño de partícula

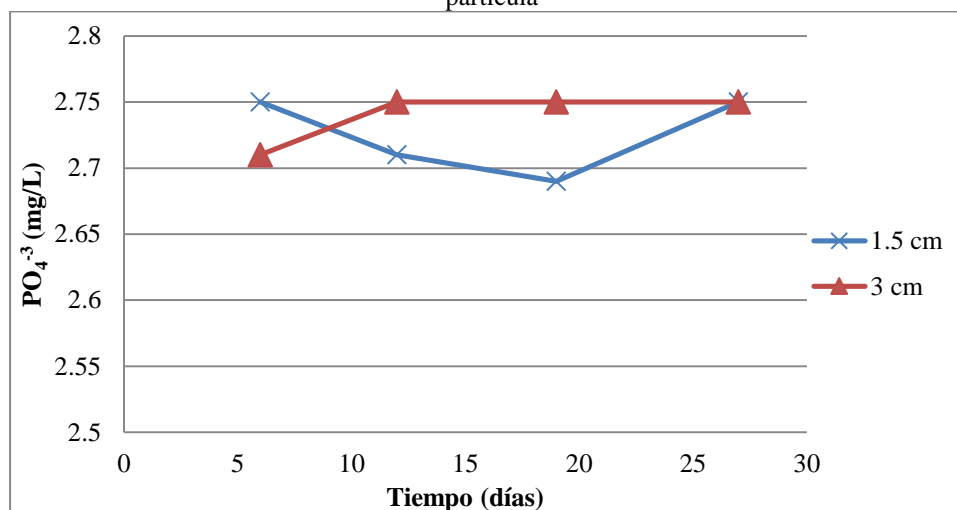


Ilustración 40 - Comportamiento en el tiempo de pH en el efluente de los biofiltros variando tamaño de partícula

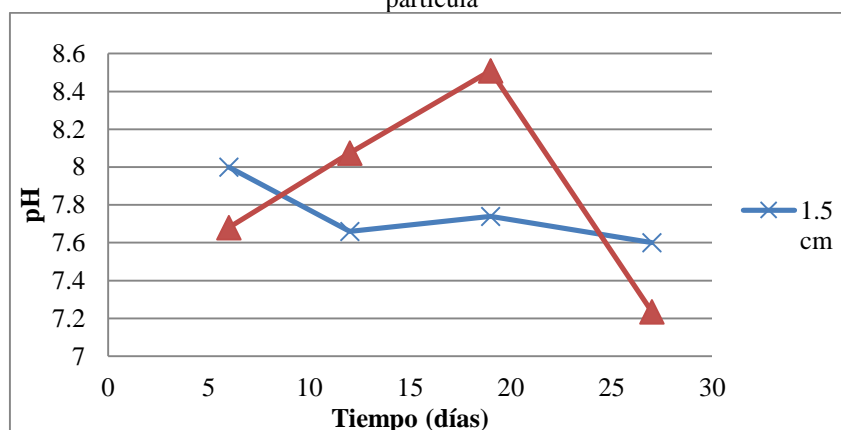


Tabla 37 - Eficiencia de remoción de contaminantes de los biofiltros variando el tamaño de partícula promedio con base en diferentes parámetros

Parámetro	Porcentaje de Eficiencia remoción diámetro 1.5 cm promedio	Porcentaje de eficiencia remoción diámetro 3 cm promedio
Sulfatos, $\text{SO}_4^-$	29.34 ± 1.81	55.37 ± 0.97
Nitratos, $\text{NO}_3^-$	8.02 ± 0.14	7.41 ± 2.02
Fosfatos, $\text{PO}_4^{-3}$	0.00 ± 0.15	0.00 ± 0.19
Demanda biológica de Oxígeno	70.09 ± 1.42	75.25 ± 1.42
% Cambio pH	5.14 ± 2.88	3.61 ± 3.30

A continuación se presentan los resultados obtenidos del biofiltro utilizando como lecho orgánico el mesocarpio del coco del tipo coco Nucifera L.

Ilustración 41 - Comportamiento en el tiempo de  $\text{SO}_4$  en el efluente del biofiltro a escala planta piloto

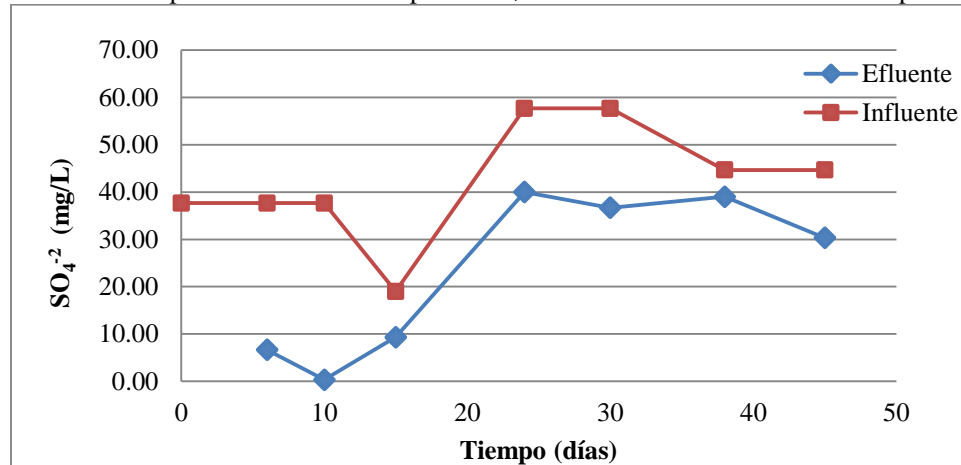


Ilustración 42 - Comportamiento en el tiempo de  $\text{NO}_3$  en el efluente del biofiltro a escala planta piloto

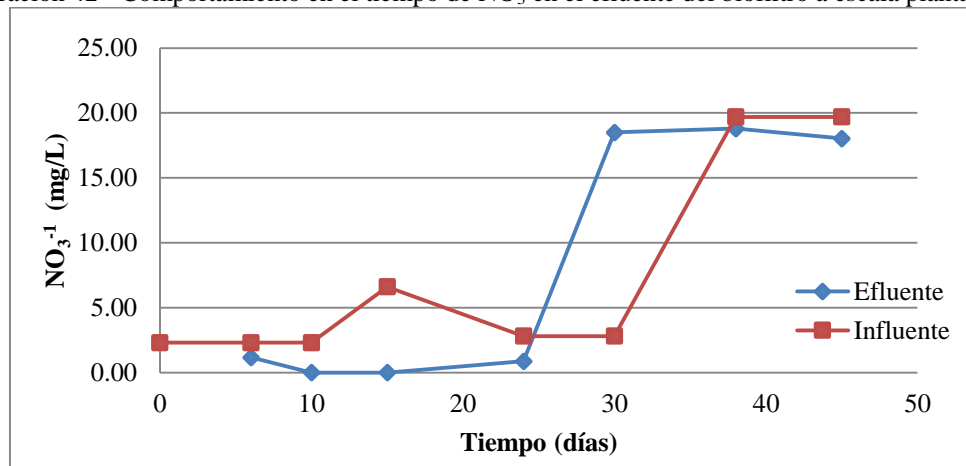


Ilustración 43 - Comportamiento en el tiempo de  $\text{PO}_4$  en el efluente del biofiltro a escala planta piloto

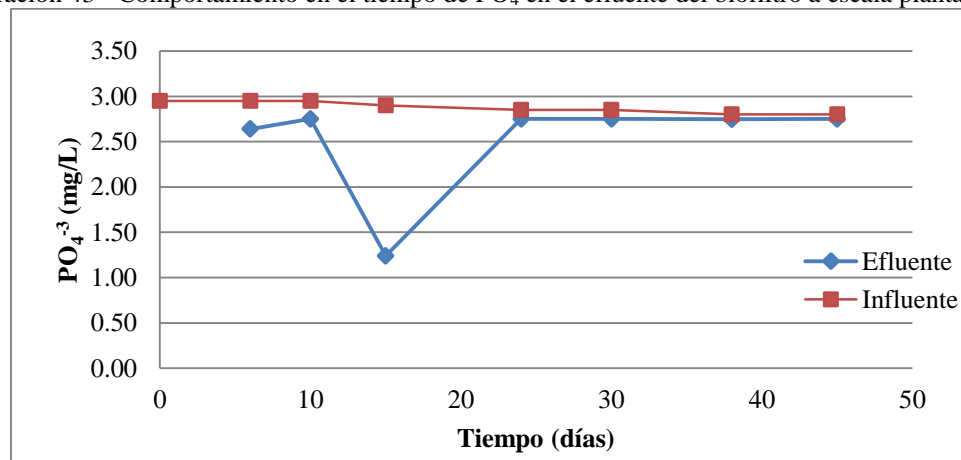


Ilustración 44 - Comportamiento en el tiempo de DBO en el efluente del biofiltro a escala planta piloto

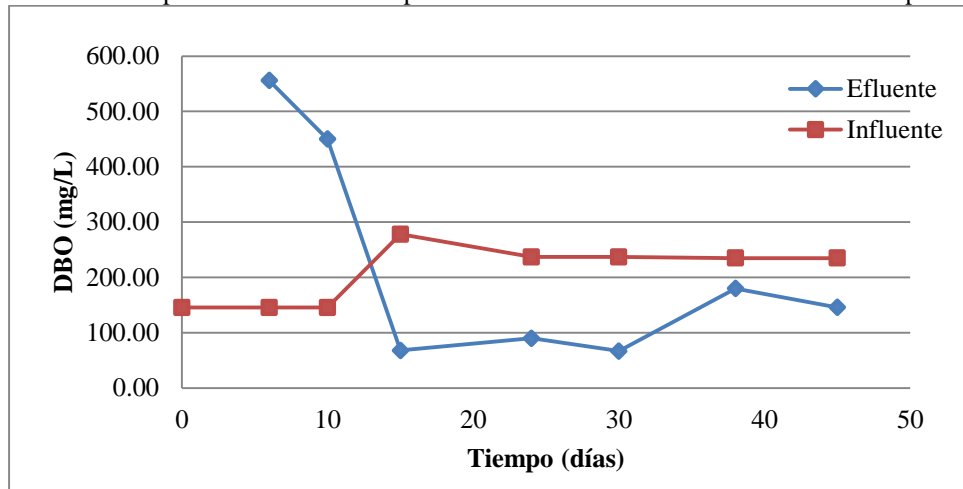


Ilustración 45 - Comportamiento en el tiempo de DQO en el efluente del biofiltro a escala planta piloto

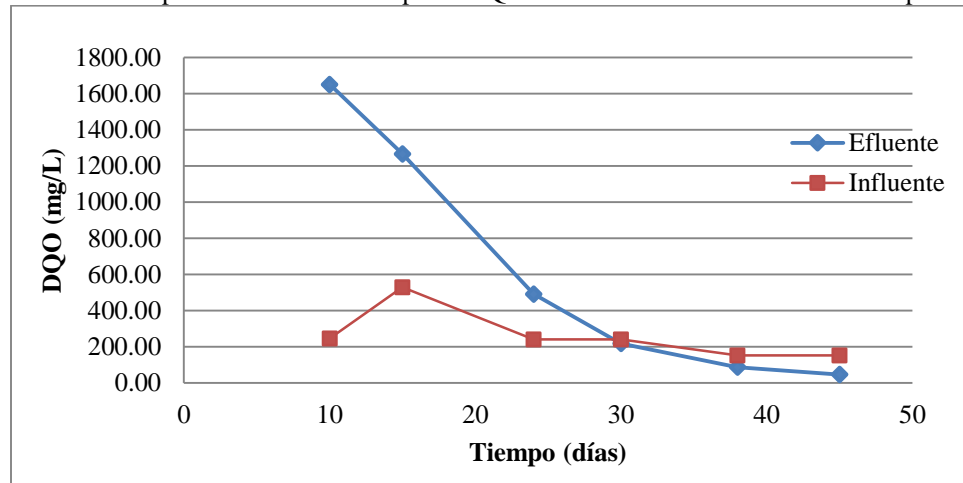


Ilustración 46 - Comportamiento en el tiempo de pH en el efluente del biofiltro a escala planta piloto

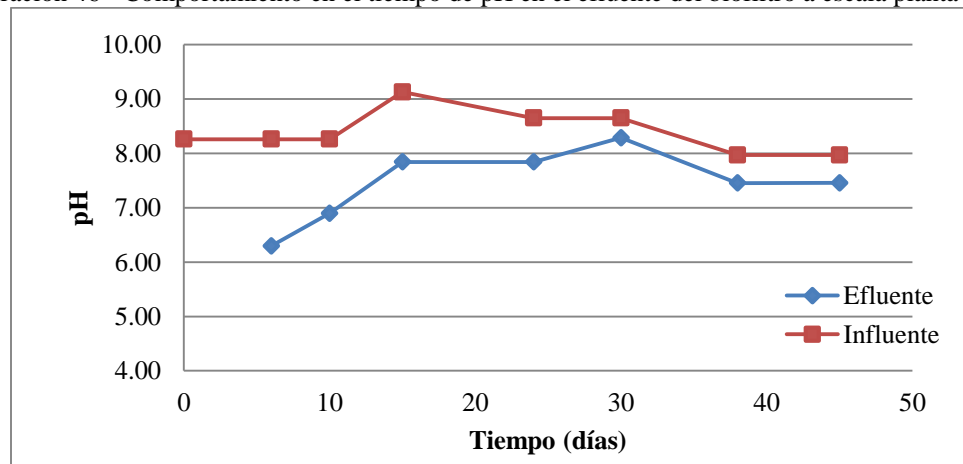


Tabla 38 - Eficiencia de remoción de contaminantes de un biofiltro a escala planta piloto utilizando cáscara de coco como lecho orgánico

Parámetro	% Eficiencia		
Sulfatos, $\text{SO}_4^-$	49.16	±	4.27
Nitratos, $\text{NO}_3^-$	55.23	±	5.31
Fosfatos, $\text{PO}_4^{-3}$	8.43	±	4.43
Demanda biológica de Oxígeno	54.11	±	0.82
Demanda química de Oxígeno	40.68	±	0.54
% Cambio pH	11.55	±	2.31

A continuación se presentan los resultados del diseño de la planta de tratamiento de aguas

Ilustración 47 - Vista de planta de planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de las pilas y duchas usando sistemas biológicos

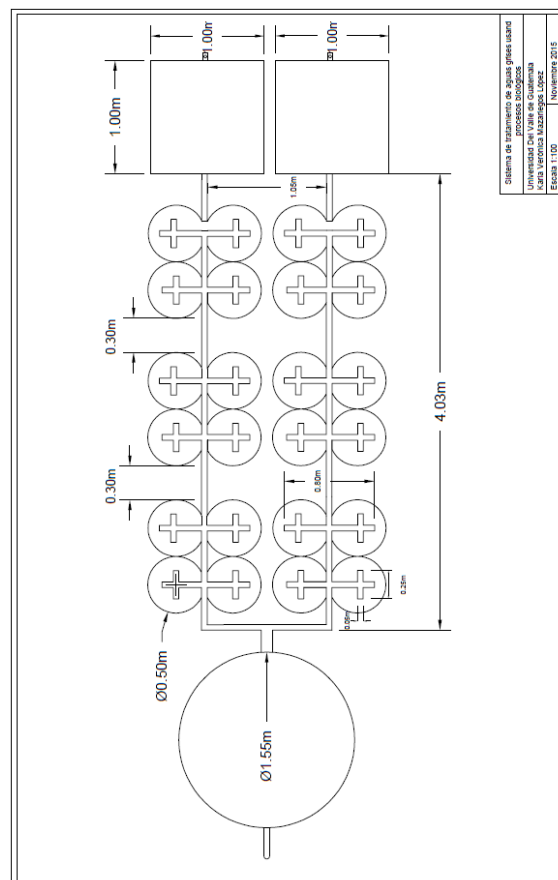


Ilustración 48 - Vista de perfil de planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de las pilas y duchas usando sistemas biológicos

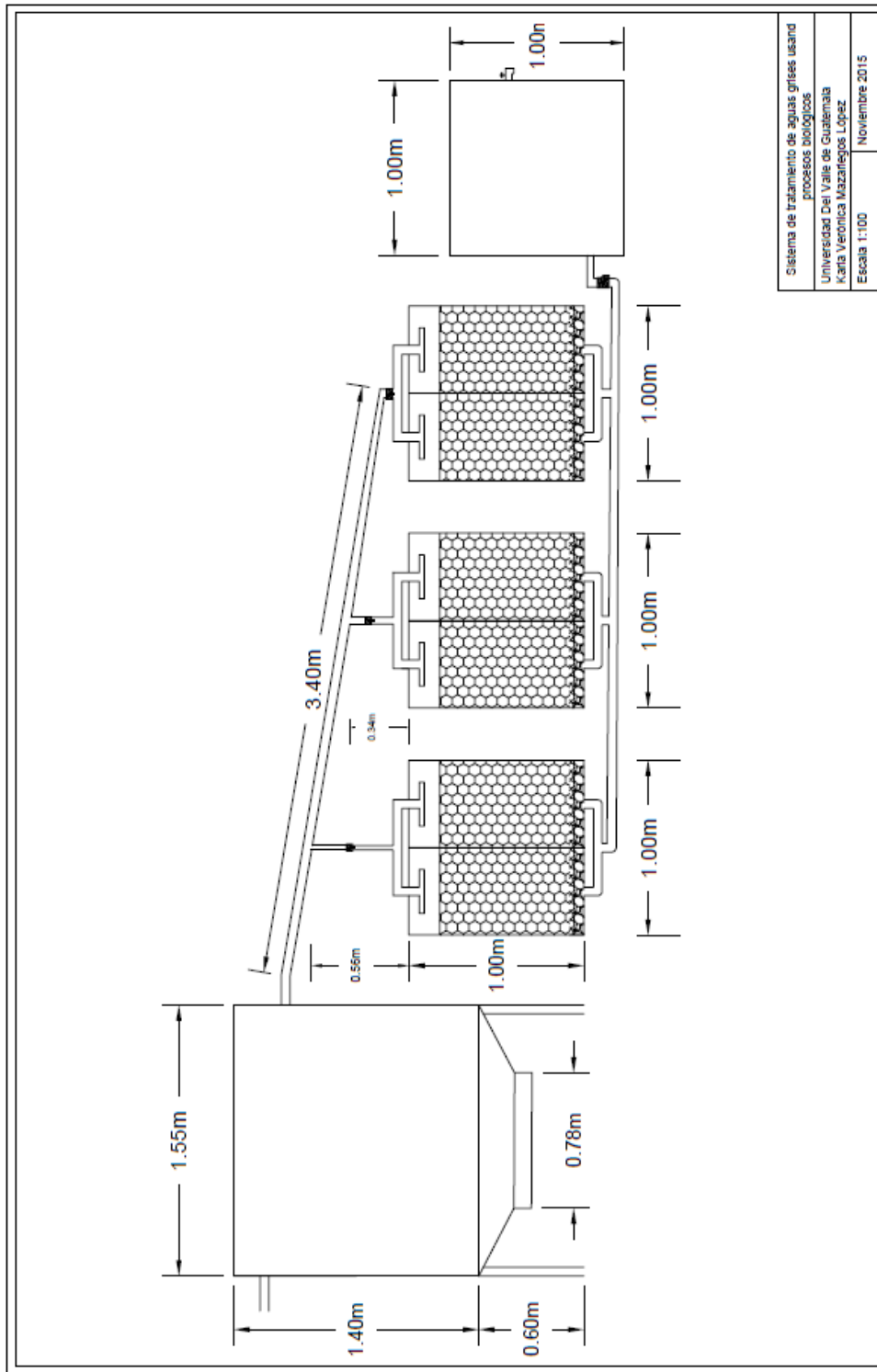


Ilustración 49 - Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de agua utilizando sistemas biológicos

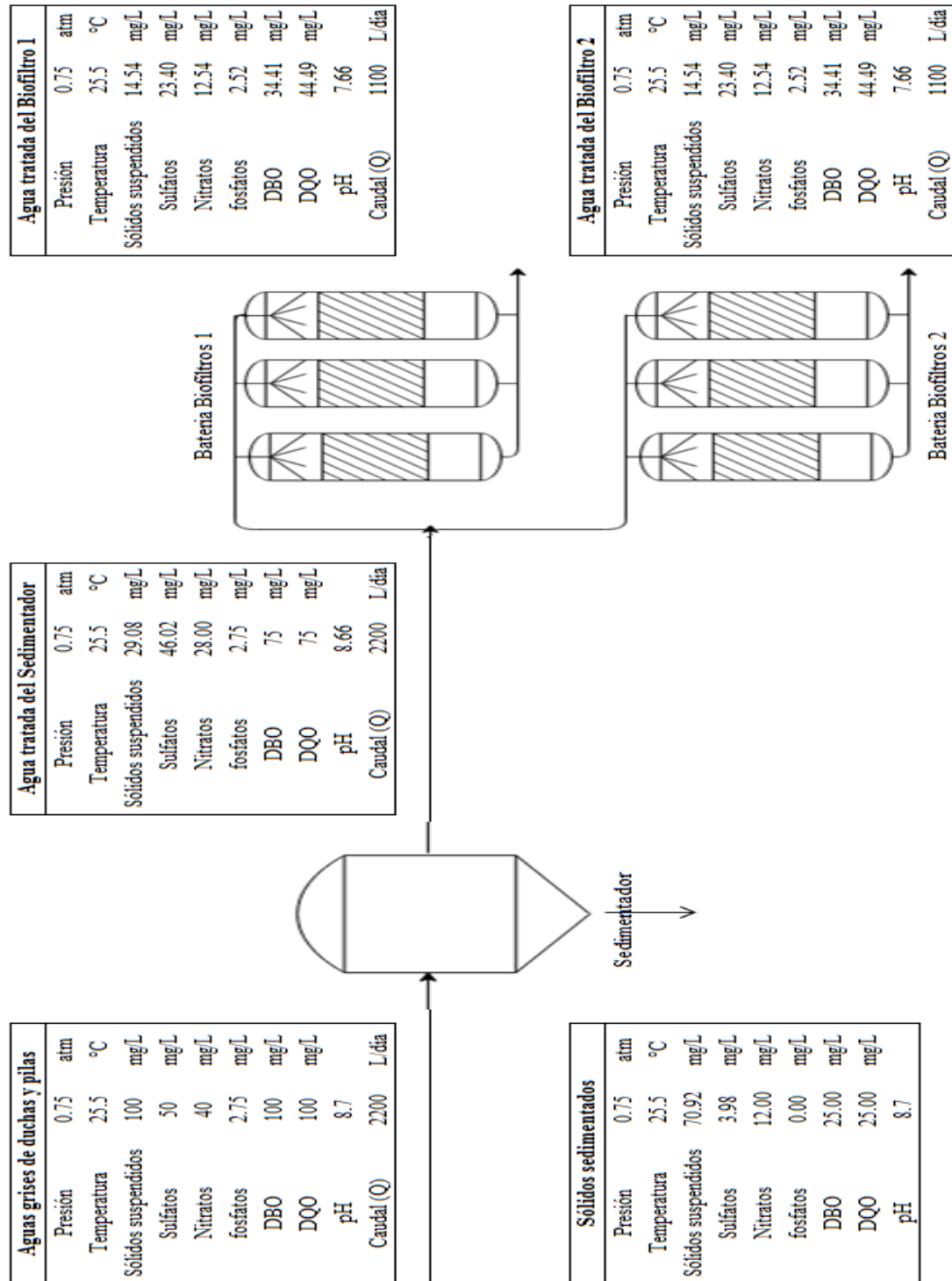


Tabla 39 - Eficiencia de remoción de contaminantes de la planta de tratamiento propuesta

<b>Parámetro</b>	<b>% Eficiencia</b>
Sólidos suspendidos	85.46 ± 2.35
Sulfatos, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	53.21 ± 1.76
Nitratos, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	68.66 ± 2.45
Fosfatos, PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	8.43 ± 0.76
Demanda biológica de Oxígeno	65.59 ± 3.95
Demanda química de Oxígeno	55.51 ± 2.36

A continuación se presentan los resultados de los costos para la instalación de la planta de tratamiento de agua utilizando sistemas biológicos.

Tabla 40 - Costos de equipo para el sistema de tratamiento de aguas provenientes de duchas y pilas

<b>Rubro</b>	<b>Costo (Q)</b>
Sedimentador	Q 945.00
Biofiltros	Q 1,920.00
Otros (válvulas, accesorios, soportes)	Q 878.38
<b>Total</b>	<b>Q 3,743.38</b>

Tabla 41 – Cumplimiento de los pasos del método de intervención

Pasos del método de intervención	¿Cómo se cumplió?
Basado en la comunidad	El abordaje que se realizó requirió la presencia del líder comunitario COCODE, quien estuvo presente en todos los talleres y brindó información de la comunidad.
Mapeo comunitario	Se complementó y actualizó la información con la que se contaba para conocer las necesidades de la comunidad y priorizar el trabajo que se realizaría.
Solo niñas	Construcción de activos y redes (requirió una adaptación, debido que se trabajó con población joven y adulta, hombres y mujeres)
Espacios públicos	Los talleres que se llevaron a cabo en espacios públicos, como lo fueron la escuela y las afueras de la iglesia, que acababan de construir.
Mentoras (Promotores)	Se trabajó con las personas que fueron recomendadas por el COCODE de la comunidad y que también fueron sugeridas por la facilitadora, de esta manera se pretendía que los promotores de salud fueron personas que conocen la comunidad y que estuvieran disponibles a participar en la organización comunal, que pretendía promover diferentes prácticas de salud y transmitir información de manera más eficaz y efectiva.

Tabla 42 – Resultados educativos obtenidos

Objetivo	Resultado
<p>Actualizar la información usando diagnósticos comunitarios, como entrevistas e investigación con el fin de responder a las necesidades actuales.</p>	<p>Se realizaron entrevistas con el COCODE de la comunidad Fidelino Jordán, quien brindó la información específica en relación al agua potable y la problemática que enfrentan los pobladores de la comunidad. También se realizaron pláticas informales con los habitantes de la comunidad, quienes abiertamente expresaron su preocupación por la falta de higiene en el agua que consumen. Por otra parte se realizaron investigaciones de la comunidad, la cual se presenta en el marco contextual.</p>
<p>Determinar el nivel de educativo de las personas que participarán en los talleres del proceso educativo usando entrevistas, observaciones y datos de la Escuela Oficial Rural Mixta –EORM. Ubicada en el Caserío Cumbre de San Agustín.</p>	<p>Para poder llevar a cabo el proceso educativo fue necesario conocer y determinar el nivel educativo de las personas, para esto se realizaron entrevistas con los pobladores y con el COCODE, el señor Fidelino Jordán. De igual manera se realizaron observaciones e investigaciones que validaron los resultados obtenidos, los cuales indican que el 90% de la población adulta es analfabeta, únicamente estudian alrededor de 32 niños, quienes por los problemas de salud antes mencionados y otro tipo de problemas como el trabajo, dejan de estudiar y no terminan la primaria.</p>
<p>Diseñar y planificar usando la metodología “enfoque basado en la evidencia” y “método de intervención” para ejecutar los talleres que formen a los promotores de la salud.</p>	<p>Como bien se mencionó al inicio de este apartado, la planificación del programa educativo de los talleres, se realizó siguiendo la metodología de “Enfoque basado en la evidencia”, específicamente el segundo paso, el cual consistió en diseñar las estrategias. Como parte de esta metodología, también se tomó en cuenta el primer paso, el cual consistía en identificar y entender el problema. Para el cumplimiento de este objetivo fue necesario llevar a cabo adecuadamente el objetivo uno, debido que fue importante conocer la problemática actual de la comunidad para así, diseñar y planificar con la metodología correcta.</p> <p>Los resultados del diseño y planificación de los talleres para formar promotores de salud, evidenciaron la necesidad de ampliar el tiempo, lo cual para este Megaproyecto no fue posible, se inició el proceso de formación, pero es necesario continuarlo para dar un seguimiento del mismo. Nuevamente se corrobora que los últimos dos pasos de la metodología “Enfoque basado en evidencia” no fueron realizados en este Megaproyecto.</p>

Continuación Tabla 42

<p>Diseñar y planificar talleres para concientizar a la comunidad en prácticas saludables del uso del agua, con base en los hallazgos del equipo utilizando métodos tradicionales, constructivistas y de la teoría por y para la comunidad.</p>	<p>Como parte del programa educativo de talleres, se diseñaron y planificaron cuatro talleres de los cuales tres de ellos correspondían al cumplimiento de este objetivo, incluyendo así la explicación del proyecto que realizó el grupo. Los talleres fueron: 1) Concientización: consecuencias del uso inadecuado del agua 2) Explicación e importancia del proyecto a implementar como solución comunitaria (Como parte del equipo del Megaproyecto “Diseño, implementación, mejora y capacitación para uso de sistemas de captación y tratamiento de agua en el Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal”) y 3) Uso adecuado y mantenimiento del proyecto. (Siguiendo lineamientos técnicos que el equipo sugiere). El diseño de estos talleres se puede ver en el apartado de anexos del presente trabajo.</p> <p>Es importante mencionar que el diseño y planificación de estos primeros talleres, fueron de manera tradicional, en donde los pobladores fueron agentes pasivos y la facilitadora brindó toda la información.</p>
<p>Ejecutar y evaluar el programa educativo, diseñado para formación de promotores de la salud.</p>	<p>El programa educativo de talleres, inició con la prioridad de comunicar el proyecto que se realizó en la comunidad por parte del equipo de Megaproyecto específicamente del área de ingeniería, debido a las necesidades de la comunidad y adentrándose un poco más al desarrollo comunitario, se vio la necesidad de indagar más y conocer otra de las prioridades de la comunidad, debido a lo anterior se decidió trabajar en un taller de “Promotores de la salud”. Este taller se ejecutó en la última fecha del Megaproyecto, correspondiente al trabajo de campo, dado a que se conoció hasta ese momento la necesidad de promotores de salud, éstos se dedicarán a la transmisión de información en toda la comunidad, facilitando así el proceso de comunicación y brindando apoyo al COCODE de la comunidad. A este proceso de comunicación se le denominó organización comunitaria (ver anexo A)</p> <p>Este taller se llevó a cabo posterior a los tres talleres anteriores, el cual tuvo como resultado la participación de 12 personas de la comunidad, quienes estuvieron de acuerdo en participar y se comprometieron para continuar con la promoción de la organización comunitaria. Es importante mencionar nuevamente que el proceso de formación de promotores de salud, necesita un seguimiento para evidenciar así la afectividad y eficacia del mismo.</p> <p>Así como se hizo mención en el segundo objetivo, el diseño y planificación y ejecución de este taller se basó en la teoría constructivista de Piaget y de la educación para y por la comunidad, de Paulo Friere. Ambos autores, hacen mención de un aprendizaje significativo, en donde el primero, Piaget, destaca la construcción del aprendizaje por la propia persona y Friere la participación activa de la comunidad, ambos toman en cuenta el contexto y las necesidades actuales de la población.</p>
<p>Diseñar y evaluar el uso de material didáctico que se utilizará en los talleres de capacitación, el cual debe adecuarse al nivel educativo de la comunidad.</p>	<p>En conjunto con el diseño y planificación de los talleres, se realizó material didáctico (Ver anexos, imagen 7), tomando en cuenta las características de la comunidad, en donde los adultos mayoritariamente son analfabetas. En su mayoría se usaron dibujos y actividades lúdicas que permitieron una mejor comprensión de los temas tratados en cada taller. Al evaluar el uso del material didáctico, se evidenció que éste fue más beneficioso para las personas de la comunidad, se logró que los aprendizajes fueran adquiridos, de igual manera el material también ayudó a construir un aprendizaje significativo, ya que se utilizaron materiales y lúdicos.</p>

Tabla 43 – Resultados cuantitativos de educación

Objetivo específico	Resultado cuantitativo
1. Actualizar la información usando diagnósticos comunitarios, como entrevistas e investigación con el fin de responder a las necesidades actuales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aproximadamente 32 niños estudian en la EORM ubicada en el caserío.</li> <li>- El 90% de la población adulta es analfabeta.</li> <li>- 3 maestras multigrados enseñan en la escuela EORM, quienes no viven en la comunidad, deben viajar desde la cabecera departamental, Morales.</li> <li>-</li> </ul>
2. Determinar el nivel educativo de las personas que participarán en los talleres del proceso educativo usando entrevistas, observaciones y datos de la Escuela Oficial Rural Mixta –EORM. Ubicada en el Caserío Cumbre de San Agustín. 3.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 12 personas participaron en los talleres de “Promotores de la salud” Organización comunitaria (Ver anexo A)</li> <li>- El 90% de la población adulta es analfabeta.</li> </ul>
4. Diseñar y planificar usando la metodología “enfoque basado en la evidencia” y “método de intervención” para ejecutar los talleres que formen a los promotores de la salud. 5. Diseñar y planificar talleres para concientizar a la comunidad en prácticas saludables del uso del agua, con base en los hallazgos del equipo utilizando métodos tradicionales, constructivistas y de la teoría por y para la comunidad. 6. Ejecutar y evaluar el programa educativo, diseñado para formación de promotores	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El diseño, planificación, uso de metodología y la ejecución del proceso educativo a través de los talleres, benefició: <ul style="list-style-type: none"> <li>* En los talleres 1 y 2 a 35 personas, en su mayoría adultos.</li> <li>* En los talleres 3 y 4 a los 12 promotores que fueron parte del trabajo para la organización comunitaria.</li> </ul> </li> </ul>
7. Diseñar y evaluar el uso de material didáctico que se utilizará en los talleres de capacitación, el cual debe adecuarse al nivel educativo de la comunidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El uso del material didáctico (Anexos, imagen 8) permitió que el 95% de la información compartida fuera adquirida por los pobladores, evidencia de ello fueron las conversaciones que se generaron, el interés y la constante participación.</li> </ul>

Ilustración 50 - Resultados obtenidos en la aplicación de talleres tradicionales vs. Talleres basados en la teoría constructivista y educación para y por la comunidad.



## VIII. DISCUSIÓN

El objetivo del trabajo fue la implementación y adaptación de un sistema de captación de agua pluvial, así como el diseñar e implementar un sistema de bombeo para abastecer de agua a una familia del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal. Debido a su posición geográfica el Caserío Cumbre de San Agustín posee amplio abastecimiento de agua. Se planteó también seleccionar y diseñar la bomba mecánica manual para que satisfaga la demanda diaria de agua de la comunidad. Se cumplió el objetivo luego de conocer la demanda de agua y la función de la bomba, que en este caso era la de distribuir el agua. Considerando que el agua tiene que volver de alguna forma al afluente se propuso diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de las duchas y pilas, utilizando procesos biológicos para disminuir la carga de contaminantes. Para cumplir con este objetivo se realizó una serie de pruebas a un sedimentador y biofiltro como propuesta para el sistema de tratamiento.

Para la implementación y adaptación del sistema de captación de agua pluvial se buscó un lugar neutral para la comunidad con el fin de no crear problema entre los pobladores y lograr que varios pudieran beneficiarse del proyecto. Para alcanzar dicho objetivo se realizaron varios viajes al caserío y así determinar el mejor lugar de implementación. Se estudiaron dos posibilidades para colocar el sistema, en la iglesia o escuela de la comunidad, se analizaron ambas alternativas, que brindaron la información de que la escuela recibe agua aunque con poca frecuencia durante la semana. Otro factor importante es que la infraestructura de la escuela es formal, con cimientos, piso, paredes de block y costaneras. La iglesia en cambio es una construcción no formal, paredes de madera rústica y techo de lámina. Se concluye entonces que la escuela se encuentra en mejores condiciones arquitectónicas que la iglesia. Fue así como se estableció que el sistema sería instalado en la escuela, para esto se estudió a mayor detalle el área para poder implementar el sistema y lograr adaptarlo de la mejor manera.

El primer paso para llevar a cabo el proyecto fue establecer las bases de diseño, las cuales incluyen la precipitación en la zona, el tipo de material del que está construida la superficie, el número de personas que serán beneficiadas y la demanda de agua.

El estudio en detalle de esta primera fase se menciona a continuación: El primer dato recolectado fue la precipitación pluvial de Morales, obtenido a partir del informe del INSIVUMEH, dicha entidad proporcionó la precipitación pluvial diaria desde enero de 2010 hasta julio de 2015, las precipitaciones se miden en mm de agua, en donde 1 mm agua equivale a 1 L/m<sup>2</sup>. Estos datos fueron indispensables para llevar a cabo este trabajo, de estos depende la construcción del sistema.

Seguidamente se estudió la superficie de captación, que en este caso ya estaba construida. Esta superficie es de lámina y de dos aguas. Teniendo esta información se determinó que el coeficiente de

escorrentía es de 0.9, es decir que se podrá captar 90% del agua que precipita sobre la lámina. A pesar que la infraestructura de la escuela está en mejores condiciones, la misma se encuentra ubicada junto a una montaña, por lo que se hace complicado el acceso a uno de los lados, es decir a una de las aguas de la lámina. Bajo esta consideración se decidió colocar las canaletas únicamente en un lado del techo.

La selección del tipo y tamaño de canaletas se realizó tomando en cuenta el factor económico, pues se deseaba mantener el costo del sistema lo más bajo posible. Se realizaron cotizaciones de varias canaletas, debido a la ubicación del lugar se decidió comprarlas en Morales, las canaletas más baratas encontradas fueron canaletas tipo colonial y canaletas de zinc; estas últimas fueron descartadas ya que a pesar de su bajo precio no presentan una buena resistencia. De esta manera se seleccionaron las canaletas cuadradas estilo colonial. Para determinar que el tamaño de las canaletas fuera adecuado para el caudal a recibir se calculó el caudal en las mismas, utilizando la ecuación 7. Con esto se determinó que el caudal de las canaletas es de  $0.012\text{m}^3/\text{s}$ , de igual manera se calculó el caudal en el techo de la escuela para así determinar que las canaletas tienen el tamaño adecuado para soportar el caudal que irán a recibir.

Ya que se contaba con las canaletas estas fueron colocadas en la escuela. Al realizar una siguiente visita se encontró que los pobladores habían desarmado el sistema para trasladarlo a la iglesia, misma que es considerablemente más pequeña y es una construcción rústica elaborada por los mismos pobladores. Esto implica que su infraestructura no es la más adecuada para el tipo de las canaletas que se compró e instaló inicialmente en la escuela. Al realizar varias encuestas con los pobladores se conoció que muchos de ellos preferían tener el sistema en la iglesia, a pesar de haber trabajado con el COCODE desde el inicio de este proyecto y haber acordado colocar el sistema en la escuela en consideración principalmente a su mejor infraestructura, los pobladores actuaron sin tomar en cuenta las razones que se tomaron en la primera instalación. También se dialogó con las encargadas de la escuela y dicen no haber tenido idea del proyecto a pesar que se llevaba más de un año trabajando en el mismo. Se sabía que la municipalidad de Morales también estaba involucrada sin embargo fue evidente que no le dieron seguimiento al proyecto. Lastimosamente y a pesar de todos estos inconvenientes se tuvo que seguir el trabajo con los cambios que realizaron los pobladores.

Como se mencionó, las canaletas ya estaban instaladas en la iglesia por lo que tuvo que readaptarse el sistema con base a los cambios realizados por los pobladores. Debido a que la iglesia es más pequeña que la escuela se sabía que el tamaño de las canaletas no representaría un problema, de igual manera se realizaron los cálculos correspondientes y tal como se esperaba las canaletas sí eran adecuadas y soportaban el caudal del techo de la iglesia, el cual sería de  $3.74\text{E-}05\text{ m}^3/\text{s}$ .

El resto de la instalación del sistema se colocó adecuándose a la manera que los pobladores habían re-instalado las canaletas, por ejemplo las canaletas fueron colocadas de tal manera que la bajada de agua quedó en la entrada de la iglesia, sin embargo se trató de re-colocarla a un costado para que no interrumpiera el paso. La

iglesia tiene un techo de dos aguas pero dado que en la escuela solo se había colocado canaletas de un lado no se contaba con más para colocar del otro lado de la iglesia.

Para evaluar la dimensión del tanque de almacenamiento se requirió conocer la precipitación pluvial en el lugar a partir de los datos que se obtuvieron desde un inicio por el INSIVUMEH. Se determinó la precipitación promedio mensual, tal como se esperaba se obtuvo que los meses de la época seca marzo y abril son los que presentan una baja precipitación durante el año. Esto es un factor a tomar en cuenta ya que generalmente durante esta época no se cubren las demandas de agua.

Para determinar el volumen del tanque de almacenamiento se realizó un balance de masa determinando la cantidad de agua que entraría al tanque y la cantidad de agua que saldría de este y así conocer la cantidad de agua que sería acumulada, la cual representa el volumen del tanque.

Se determinó la cantidad de agua que podía ser captada mensualmente siendo el mes de agosto en donde se tendrá una mayor captación de agua y abril tendrá la menor captación de agua. Seguidamente se estimó una demanda de agua de acuerdo a los posibles usos que se le dará al agua. Como se determinó anteriormente el agua no podría tener uso bebible por lo que se propone que se use para limpieza de la iglesia, riego de plantaciones de alrededor u otras actividades similares. Con base en estas actividades se dio como propuesta una demanda de agua de  $0.11\text{m}^3/\text{día}$ . Conociendo la entrada y salida de agua mensual se determinó el agua sobrante mensual.

En los meses de marzo y abril se presentaron valores negativos, lo cual indica que durante estos meses no se cubre la demanda de agua. El mes de Febrero presentó un valor muy cercano a cero, por lo que cubriría la demanda pero sería muy justo. Tomando en cuenta esto se realizó un sobredimensionamiento a partir de los datos negativos obtenidos, suponiendo que en los meses de mayor precipitación se pueda captar el agua que no puede ser captada en los meses de la época seca. Como resultado de este análisis se obtuvo que se requería de un sobredimensionamiento de 6%. Finalmente se determinó el volumen final del tanque de almacenamiento, el cual estaba determinado por el mes que presenta mayor precipitación pues este representa la cantidad máxima que puede ser captada. El volumen del tanque es de  $0.296\text{m}^3$ , conociendo este dato se buscaron y cotizaron barriles de diferentes empresas. Se optó por comprar a Lacoplast, contaban con barriles de diferentes tamaños. Se seleccionó un barril de 220 L de boca ancha, para el sistema se requería de al menos dos barriles, sin embargo por factores económicos solo pudo comprarse un barril.

Una vez se obtuvo el barril este tuvo que adaptarse al sistema. Se realizaron dos agujeros en la parte superior del tanque, uno de entrada de agua la cual conectaba al desvío del sistema de primera agua y el otro agujero se realizó como rebalse, como se mencionó la cantidad a captar en los meses de lluvia será mayor al volumen del barril por lo que podría rebalsarse, además también se hizo tomando en cuenta los fenómenos meteorológicos que pueden presentarse en el país tal como “La Niña”, en donde la precipitación pluvial será

incrementada y el sistema podría no darse abasto. Este rebalse se construyó de tal manera para que en un futuro puedan colocarse tanques en serie y poder tener una mayor captación y aprovechamiento de agua. Al agujero se le colocó una malla para evitar el ingreso de sustancias contaminantes o insectos y lograr mantener más limpia el agua dentro del tanque.

Al mismo tanque se le realizó un agujero en la parte inferior para la salida de agua. Aquí se colocó una válvula que será en donde los pobladores podrán obtener el agua, el agujero se colocó lo más bajo posible para poder vaciar el tanque. Sin embargo se observó que era más adecuado construir y adaptar una bomba manual que saque el agua desde la parte superior del tanque. Por el momento el tanque fue colocado en alto para que fuera más fácil la obtención del agua, pero se debe considerar si queda la posibilidad se puede colocar una bomba en la tapadera del tanque. Este sistema se construyó por aparte del resto del sistema ya que se requería de algunos materiales y servicios eléctricos que no se cuentan en el lugar, esto causó ciertos problemas ya que al momento de llegar a la aldea se encontraron otras dificultades. Un problema fue que el agujero en la parte superior del tanque quedó levemente inclinado de tal manera que el tubo que se uniría con el sistema que venía de las canaletas quedaba inclinado, para lograr colocarlo de una manera adecuada se optó por colocar la tubería inclinada utilizando codos de 45°, que dio solución al problema.

El volumen del tanque de primeras aguas se determinó a partir del conocimiento que se requiere de 1.0 L de agua para limpiar una superficie de 1.0 m<sup>2</sup>. Con este dato se determinó que se debía hacer limpieza tanto del techo como de las canaletas, estas pueden estar expuestas a varios contaminantes antes del inicio de la lluvia. Esto puede incluir polvo o tierra, musgo, hojas o incluso desechos fecales de insectos o pájaros. Se determinó que la superficie total a limpiar era de 30.61m<sup>2</sup>, lo cual dio como resultado un volumen de tanque de 3.06E-02 m<sup>3</sup>. De la misma manera que el tanque de almacenamiento, se buscaron y cotizaron tanques del volumen deseado. El tanque que más se adecuaba era un barril de 55.0 L de boca abierta. Como se requería limpiar 30.61L el tanque se construyó de manera que únicamente acumulara aproximadamente 32.0 L.

Previo a la instalación cabe mencionar que se hizo una prueba del funcionamiento del sistema. Se compró el material necesario, todo se realizó como se menciona en la metodología con la diferencia que inicialmente se quiso trabajar con una pelota de hule, sin embargo esta no dio buenos resultados ya que era muy pesada y el agua no logró subirla a flote para tapar la tubería, mecanismo que hace desviar el agua al tanque de almacenamiento. Se optó por probar con pelotas plásticas y sí funcionó adecuadamente por lo que se dejó de tal manera. La pelota de plástico presentó el peso adecuado para que flotara en el agua y tapara la tubería en la que se encontraba para así desviar el agua al tanque de almacenamiento. Debido a que ya se contaba con una tubería de conducción de 3 pulgadas se debió hacer un ajuste y reducción de diámetros de tuberías para que la pelota quedara justa en la tubería. Una vez asegurado el funcionamiento del sistema se pegaron las piezas PVC. El detalle de la construcción del tanque se encuentra en el apartado de metodología.

Se determinó el costo total del sistema con el fin de conocer la viabilidad del proyecto y que en algún momento se pueda replicar, sobre todo como proyecto de desarrollo comunitario por parte de la

municipalidad de Morales. En la Tabla#7 se puede observar el detalle de los materiales utilizados y su precio. Se determinó que el sistema tiene un costo de Q.1,224.00, gasto que definitivamente los pobladores no pueden cubrir. Es un proyecto que puede ser utilizado por parte de la Municipalidad de Morales y de otras regiones del país para acoplarlo a diferentes comunidades carentes de agua. De acuerdo con el Plan de Desarrollo de Morales, 2010 (PDM), el 21% de viviendas en el área rural de Morales no cuentan con el servicio de agua.

El sistema instalado tiene como fin que los pobladores se beneficien de este servicio. Sin embargo, el agua captada no es apta para consumo humano. El agua puede contener partículas de contaminación urbana y presentar acidez. Para tener una mejor idea de la composición del agua se realizaron pruebas de características físicas y organolépticas basándose en la Norma COGUANOR, en donde se establecen los rangos aceptables de la composición de agua potable. En la Tabla#8 se puede observar los resultados obtenidos de las pruebas que pudieron realizarse. El agua presentó una turbidez de 2 NTU dicho valor se encuentra dentro del rango establecido por la norma. El potencial de hidrógeno en el agua es de 7.61, el cual se encuentra dentro del límite máximo permisible pero fuera del límite máximo aceptable. De acuerdo con los resultados el agua no presentaría ningún daño a la salud humana, sin embargo se requiere de un análisis más completo y detallado para determinar si el agua cuenta con contaminantes o si en realidad es adecuada para el consumo humano.

Es indispensable que los pobladores tomen en cuenta la importancia del mantenimiento del sistema. Se requiere de limpieza en las tuberías, asegurar que las hojas de árboles cercanos no tapen el sistema, que los tanques se encuentren cerrados todo el tiempo para evitar el paso de contaminantes o que propicie la reproducción de insectos. Para esto se trabajó en conjunto con una Profesional de Educación quien se encargó de facilitar a los pobladores la capacitación educativa relacionada con el uso y mantenimiento adecuado.

Se consideró que la comunidad se abastece de dos fuentes principales: pozos y derivaciones del río Amatillo. Según el estudio realizado por Matute (2015) el agua del río Amatillo no es apta para consumo humano debido a la cantidad de coliformes que esta posee. Las personas de la localidad confirman esto, ya que por experiencia conocen que esta agua provoca en ellos enfermedades estomacales graves, por lo que desde hace tiempo no la consumen. El agua para consumo humano se extrae principalmente de pozos, siendo únicamente quienes tienen acceso a agua potable entubada el COCODE del caserío. Debido a esta situación el agua extraída del río es utilizada exclusivamente para el aseo personal y la limpieza de ropa y otros enseres domésticos, así como para el riego de plantaciones de piña que constituyen la base económica principal de la localidad.

Tomando en consideración las necesidades de la población, su condición socio-económica y el uso que la familia beneficiada dará al agua se seleccionó para su diseño e instalación una bomba de ariete por las características que esta presenta. Según Jiménez (2011) estas bombas han sido utilizadas en Latinoamérica

desde hace algún tiempo, siendo Veracruz, México un modelo de “ecoaldea” en donde se producen hortalizas por parte de los pobladores utilizando esta tecnología en sus sistemas de riego, lo que hace ver viable la utilización de este sistema para el abastecimiento de agua hacia la comunidad.

Durante el diseño de la bomba se consideró la disminución de los costos de construcción respecto a una instalación industrial, por lo que se seleccionó tubería de cloruro de polivinilo (PVC) para la instalación de la misma, en lugar de utilizar tubería de acero galvanizado. Además de ello se seleccionó este tipo de tubería por su resistencia a la corrosión del material, ya que este se instaló dentro de la derivación del río Amatillo.

Adicional a ello se buscó sustituir algunos componentes sugeridos por la literatura por otros similares y de bajo costo, o bien que pueden ser considerados desechos para disminuir aún más el costo de fabricación. En estudios encontrados (Jiménez, 2011 y Gutiérrez, 2013) se hace referencia a la utilización de tubería de acero galvanizado para la instalación industrial de estas bombas, sin embargo las cabezas desarrolladas con estas bombas superan los 25 m, por lo que la presión a la que se encuentran expuestos dichos sistemas es 5 veces mayor que el instalado, lo que hace necesario la utilización de dicho material. Por tanto, no se encontraron razones para no utilizar este tipo de tubería en su construcción.

Según McCabe (2007), la fricción en las tuberías puede determinar la cabeza total que desarrolle un sistema. Con base a la Ecuación 5 se puede determinar que un factor de peso en la fricción total del sistema es el que viene dado por la longitud de tubería y su factor de fricción. Moody (1944) presentó una gráfica en la cual se puede determinar el factor de fricción que lleva su nombre. Para su cálculo es necesario determinar la rugosidad relativa de la tubería, observándose que teóricamente la rugosidad para el acero galvanizado es de 0.26 mm, mientras que para la tubería de vidrio y plástica es de 0.00 mm. Esto le da una ventaja considerable a la tubería de PVC sobre la de acero galvanizado ya que la pérdida de energía por fricción en esta tubería es de 0.00 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> según se puede observar en el Cuadro 3.

De forma inicial se propuso realizar una captación de agua en una caída de agua de una vena secundaria del río Amatillo. Esta caída posee una altura de 0.45 m desde la parte inferior en donde se instaló el sistema de bombeo, siendo la caída de agua real de 0.78 m en el punto de caída. Esto se debe a que existe una zona que se ha erosionado con el paso del tiempo, disminuyendo la altura de este lugar respecto al resto del cauce del río. Para la captación de un mayor volumen de agua se optó por la instalación de dos tomas de agua en paralelo ya que con una de estas tomas no se logra desarrollar un caudal adecuado como para lograr desarrollar los 4.5 m necesarios para la descarga.

Por las condiciones topográficas de la localidad se seleccionó como punto de recolección de agua un sector poco transitado por los pobladores por estar a orilla de la ladera. El sitio específico que se seleccionó

tiene la ventaja de ser un terreno plano y tener el apoyo de árboles y arbustos en los alrededores próximos al tanque, lo que le da rigidez al suelo en este punto específico.

Para el sistema de bombeo se utilizó tubería de 0.038 m (1.5 in). Debido a que el golpe de ariete depende en gran medida de la velocidad del fluido, se realizaron reducciones de diámetro de 0.006 m (0.25 in) de forma progresiva hasta llegar a un diámetro nominal de 0.013 m (0.5 in). Estas reducciones fueron seleccionadas ya que se conoce que el área es proporcional al diámetro de la tubería y que ésta a su vez es inversamente proporcional a la velocidad desarrollada por el flujo. Considerando que el agua es un fluido incompresible y de densidad constante durante el proceso analizado, se consideró que el caudal captado fue de  $1.58 \text{ E-}04 \text{ m}^3/\text{s}$  en promedio en la tubería. Esto conlleva un cambio de velocidad en el flujo de 0.1057 m/s a 0.7320 m/s. Ya que el cambio fue de 6.93 veces mayor en la velocidad y el golpe de ariete provocado es proporcional a la velocidad. Se considera que la energía cinética del recurso hídrico y la energía potencial que se tiene por la topografía de la localidad fueron aprovechadas de la mejor forma para el bombeo de agua.

Las reducciones realizadas se realizaron a distancias de 1.0 m. Dicha distancia responde a la necesidad de tener un flujo desarrollado en la tubería y de esta forma evitar mayores pérdidas de energía. Según McCabe (2007), el flujo puede considerarse como desarrollado a 8 veces el diámetro de la tubería posterior a la última perturbación. Considerando que la tubería de mayor diámetro es de 0.038 m la distancia mínima en esta tubería previa a realizar la siguiente perturbación en el flujo debido a contracciones es de 0.304 m, por lo que en todos los casos se puede considerar que se tiene un flujo completamente desarrollado en la tubería al ser esta distancia al menos 3.29 veces superior a la máxima necesaria en la tubería.

Dentro de las alternativas analizadas en las sustituciones planteadas en la teoría, se utilizó como referencia la instalación de válvulas de cheque vertical, (llamados también cheques europeos o “pichachas”). La razón de utilizar cheques verticales es por el costo considerablemente menor al de los cheques horizontales utilizados normalmente en la instalación de la bomba. Durante las pruebas realizadas en el sitio, se pudo observar que la caída de presión de los cheques verticales, es considerablemente mayor que la de un cheque horizontal, logrando levantar una cabeza de 0.30 m utilizando el cheque vertical instalado en el pulsor, en comparación a los 4.67 m logrados con la utilización del cheque horizontal. Debido a esto se descartó la utilización del cheque vertical para retener agua dentro de la tubería.

Otra modificación considerada fue la utilización de una bomba multipulsor. Según Jiménez (2011), una bomba multipulsor posee una mayor caída de presión, pero son capaces de manejar flujos de agua superiores. Durante las pruebas realizadas se pudo observar que la caída de presión fue considerable, ya que se pudo levantar únicamente una cabeza aproximada de 1.40 m, por lo que no se cumplía con los requerimientos necesarios para su utilización en la comunidad.

Se evaluó también la utilización de una botella de polietileno (PET) de una bebida carbonatada como cámara de presión. Durante las primeras pruebas realizadas con las condiciones seleccionadas anteriormente, el desempeño logrado demostró que su utilización fue viable al alcanzar una cabeza de 4.67 metros a la que se hace mención en la comparación de la utilización de los diferentes tipos de cheques. En las pruebas siguientes se pudo observar que luego de un tiempo de utilización el material pierde parte de su resistencia mecánica, lo que provocó el desgaste del recipiente durante el bombeo. Tomando en consideración esto, se realizó una cámara de presión con tubería de PVC con un diámetro nominal de 0.051 m (2 in). Para evaluar el efecto de la presión de aire dentro de la cámara, se evaluaron dos longitudes distintas 0.50 y 0.45 m. El resultado obtenido fue una menor presurización del sistema conforme la cámara aumentaba de tamaño, aunque la variación de cabeza alcanzada fue mínima (0.01 m aproximadamente).

Una vez caracterizada la bomba se diseñaron filtros y se dimensionó un tanque adecuado para la captación de agua. Los filtros diseñados fueron colocados con el propósito de evitar que sólidos ingresaran al sistema y que provocaran la obstrucción en la tubería. Ya que se observó que la mayor cantidad de sólidos que arrastra la corriente corresponden a ramas de los árboles de la localidad, así como basura que es depositada en el río aguas arriba, se decidió instalar un sistema de filtros de cedazo de mesh 1, 4 y 42. El primer filtro que tiene contacto con el afluente es de mesh 1 debido a su resistencia estructural, además de ser el que es capaz de retener los sólidos de mayor tamaño. Seguido a este se instaló un filtro de mesh 4, capaz de retener piedras de bajo tamaño. Finalmente se instaló el filtro con mesh 42 sobre la entrada del agua al tubo. Este tiene por objetivo ser el que remueva los sólidos más pequeños posibles, sin que este se sature de forma prematura.

Finalmente con respecto al diseño, se dimensionó el tanque de almacenamiento de agua. Considerando que el flujo medido fue en las condiciones normales de operación que tendrá la bomba, se estima un total de 351.65 L diarios bombeados. Debido a que el diseño del tanque está basado en que no será el punto final del sistema de distribución, sino que alimentará a otra bomba que distribuirá el agua colectada a otro sector, se buscó minimizar la cantidad de agua que se almacenara temporalmente, para evitar que se tengan problemas de desarrollo de plagas en la localidad (mosquitos, hongos, etc.). Por esta razón se instaló un tanque con capacidad de 0.114 m<sup>3</sup> (30 gal.). Además de considerar que el agua almacenada tendrá un tiempo de reposo corto en el tanque, debido que la demanda de este recurso es principalmente para el lavado de ropa. Dicha tarea la realizan las mujeres de la familia, existiendo de tres a cuatro turnos diarios para realizar esta tarea.

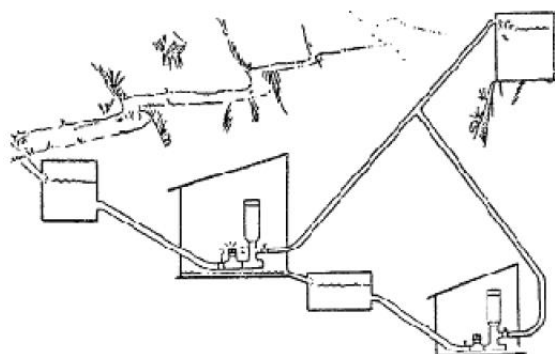
Aunque los resultados obtenidos en la caracterización del diseño de la bomba muestran que la cabeza desarrollada cumple con los requerimientos para llevar a cabo el bombeo, se determinó que el flujo de agua bombeado no es suficiente como para poder suplir de agua a la familia seleccionada ya que la demanda diaria es de 0.379 m<sup>3</sup>. Si bien es cierto la diferencia existente es de 0.028 m<sup>3</sup> (28 litros) diarios, este flujo disminuirá con el paso del tiempo cuando las partes mecánicas de la bomba pierdan su resistencia (válvula de

golpe de ariete). Por ello se considera que el flujo tenderá a disminuir con el paso del tiempo si no se realizan los mantenimientos adecuados a la válvula. El mantenimiento del sistema fue explicado a las personas de la familia beneficiada, aunque esto no garantiza su correcta operación y duración.

Como se puede observar en el Cuadro X la eficiencia lograda por la bomba es de un 59.75% del de una bomba de diseño industrial en las características de operación utilizadas. De igual forma se puede observar que el costo total de la bomba diseñada asciende a Q288.85. Si se compara este dato con el resultado de la bomba de diseño industrial estudiada por Gutiérrez (2013) que tiene un costo aproximado de Q3,649.57 se puede considerar que la relación de costo y eficiencia fue superada por la bomba diseñada. Teóricamente si la topografía del lugar lo permitiera, la instalación de sistemas de bombeo en paralelo ayudaría a superar el flujo de agua de la bomba de diseño industrial aún con un costo 6.32 veces menor que el del sistema industrial.

Esta relación costo-eficiencia se debe de considerar que se logra debido a la minimización de pérdidas de energía por la utilización de PVC como material de construcción. Además de ello también se ha de considerar que las bombas industriales tienen una tubería de captación de agua de un diámetro uniforme, por lo que el aumento de la velocidad de flujo producido por las contracciones realizadas en la tubería también tiene un efecto en el diseño realizado. A pesar de ello hay que considerar que la presión que soporta el sistema es menor que la de una bomba industrial, por lo que para presiones superiores a las de la resistencia del PVC no puede utilizarse, salvo que se instalen sistemas de bombeo en serie, como se muestra en el siguiente diagrama al que hace referencia Gutiérrez (2013), lo cual ayudaría a disminuir la presión sobre la cabeza de bombeo, siempre que se adapte el sistema de forma correcta.

Ilustración 51 – Instalación de bombas en serie



Fuente: Gutiérrez, 2013

Además de ello se necesitará también realizar la limpieza de la caída de agua ya que se observó en las diferentes visitas realizadas que el río Amatillo sirve como basurero para diferentes comunidades aguas arriba. Esta limpieza deberá hacerse de forma periódica para evitar que la entrada de agua al sistema de la

bomba se cierre y de esta forma disminuya el rendimiento de la misma. Además de ello es importante realizar también la limpieza del tanque de colección de agua para evitar la saturación de suciedad en el mismo.

Aunque el agua proveniente de la derivada del río Amatillo ya está totalmente contaminada, las personas de la comunidad del Caserío de la Cumbre de San Agustín la utilizan para higiene personal y para el lavado de ropa. Aprovechan bañarse en el río, porque no cuentan con duchas para el aseo personal. Por tanto el agua colectada con la bomba de ariete se distribuirá para su aprovechamiento. Toda el agua que se distribuya con la bomba de pistón será utilizada para lavar la ropa. Según un artículo de la Organización Mundial de la Salud se usan 40 L de agua para el lavado de ropa.

Tomando en cuenta que la cantidad de personas que irán a lavar la ropa es de 200 personas, ya se conoce la demanda de agua. Se eligió una bomba manual de pistón para la distribución de agua porque la comunidad carece de energía eléctrica. Otra razón a considerar era aprovechar la topografía del terreno con la que se contaba. Por ser un terreno con forma montañosa era necesario que la bomba generara succión y una alta presión de descarga para transportar el agua a través de una distancia de 14 m. La irregularidad del terreno permitía aprovechar la fuerza de la gravedad para impartirle mayor velocidad al agua y que la bomba tuviera una mayor cabeza.

La búsqueda de bombas manuales mostraba gran cantidad de diseños como bombas de mecate, bicibombas y bombas de pistón. La elección de la bomba apropiada se basó en tres criterios. Primero el uso de materiales livianos y resistentes al agua. Debían ser livianos para poderlos transportar fácilmente hasta la cima de la montaña en donde estaba la comunidad. La resistencia al agua es muy importante, porque este es el fluido que se estará bombeando. El segundo criterio era que la bomba tuviera un diseño simple, para que el mantenimiento fuera fácil y que se pueda replicar el modelo. Como último criterio se buscó que la bomba tuviera una alta presión de descarga para distribuir el agua.

La bomba que cumplió con todos los criterios fue una bomba de pistón de PVC. Las dos bombas restantes se descartaron por varios motivos. La bicibomba, necesitaba del marco de una bicicleta y por el uso de metal para su construcción, era muy difícil su transporte. Mientras que la bomba de mecate no producía una alta presión de descarga. Era más útil para la elevación del agua. Sus materiales eran reciclados, pero no era útil para distribuir el agua.

El segundo objetivo era determinar los rangos de operación de la bomba mecánica manual de pistón y sus accesorios, realizando pruebas en distintas circunstancias con la bomba y los accesorios. Gran parte de esos rangos se determinaron de forma experimental, con la bomba ya construida. Esto fue porque no se contaba con mucha información disponible sobre la bomba de pistón de PVC.

El último objetivo específico fue realizar un plano de la bomba mecánica manual de pistón junto con un manual de construcción para que el diseño de esta sea replicable y adecuada a las necesidades de las personas que utilicen el dispositivo. Los planos de la bomba y toda la tubería instalada en la comunidad están en la parte de Anexos y el manual de construcción de la bomba, se encuentra en la sección de metodología, junto con fotografías, para que el modelo pueda ser replicado fácilmente.

Se logró cumplir el objetivo general del proyecto que era diseñar e instalar una bomba mecánica manual de pistón para la distribución de agua en la comunidad según las necesidades de sus pobladores, involucrando a todas las personas, para que valoren el sistema y lo usen adecuadamente.

La ayuda y buena disposición de las personas fue importante para la instalación de la infraestructura y de la bomba. Además de ayudar en la instalación, también tuvieron buena disposición para el aprendizaje de cómo operar y mantener la bomba.

La bomba distribuye el agua captada de la derivada del río hacia un tonel. El principal uso que se dará al agua es para lavar la ropa, debido a que el agua no es potable.

Se determinó que la eficiencia de la bomba es de  $42.3842 \pm 6.2416\%$ . El valor de la eficiencia no es muy alto debido a que no toda la energía transmitida a la bomba por medio del pistón es llevada hacia el agua. Al momento de mover el pistón, el o-ring se calienta por la fricción generada por el movimiento del pistón. También la fricción de las válvulas de cheque se debe tomar en cuenta.

Hay que tomar en cuenta que la presión no se mantiene toda dentro del sistema de bombeo. Esto es porque la tapa que va en la parte superior permite la salida de presión. Sin embargo la parte fundamental es el o-ring, que por la flexibilidad que tiene permite la succión necesaria del fluido.

Para que la fricción sobre el o-ring no sea tan elevada, es necesario colocarle aceite para que el movimiento del pistón sea más suave. Se detectó que las válvulas de cheque caseras (hechas a mano) no sellaban completamente. Esto permitía fugas y por lo tanto el volumen de agua succionado por la bomba no sería igual al descargado. Por lo tanto se decidió usar válvulas de cheque compradas, al no tener fugas se observó un mayor caudal de agua descargado.

Según el marco teórico una eficiencia normal para una bomba reciprocante es de 50%, si se compara este valor con el obtenido experimentalmente, se puede decir que la bomba de pistón construida funciona adecuadamente.

Fue muy importante el apoyo de la comunidad para la instalación de la bomba de pistón. Debido a que el camino para llegar a la derivada del río Amatillo era de tierra y no era plano, el traslado de todos los materiales hubiera sido muy lento, sin la ayuda de las personas de la comunidad.

También se les preguntó que les parecía la instalación de la bomba de pistón y dijeron que estaba bien. Sin embargo al no ser potable no la podían consumir. Por lo tanto ellos sugirieron la colocación de una pila en el mismo lugar donde está el tonel de recolección para que la bomba pueda tener un mejor uso.

Actualmente la comunidad lava su ropa y a veces se baña en el río. Pero agregando la pila, las personas no tendrán que bajar al río a lavar su ropa, sino que lo podrán hacer en un lugar mucho más seguro. Por cuestiones de tiempo y dinero, todavía no se ha colocado la pila en la comunidad. Se planea ir a instalarla en la primera semana de diciembre del año 2015.

También se calculó el costo de construir la estructura de metal y el de la bomba de pistón. Los costos fueron de Q201.17 y Q281.50 respectivamente. El uso de válvulas de cheque compradas y no las hechas a mano, incrementó los costos.

Para el tratamiento del agua utilizada se diseñó un sedimentador de tratamiento primario para la retención de sólidos suspendidos. Para esto se realizaron dos pruebas, utilizando un recipiente con capacidad de 8L para determinar el tiempo de retención necesario para el diseño del sedimentador. A partir de estas pruebas se obtuvo que la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales fue de  $70.92 \pm 2.07\%$ , de sulfatos fue de  $7.96 \pm 0.41\%$ , nitratos  $30.0 \pm 6.99\%$  y el cambio en el pH fue de  $0.43 \pm 0.39\%$ . No se logró remover fosfatos en el sedimentador, se considera que si hubo remoción, sin embargo el método utilizado, como se mencionó anteriormente no es lo suficientemente sensible para ver el cambio.

El porcentaje de remoción de los parámetros mencionados anteriormente en el sedimentador, se deben a que estos contaminantes se adhieren a los sólidos suspendidos en el agua, por lo que estos cuando precipitan, caen con los contaminantes adheridos, disminuyendo así la concentración de los mismos en el agua superficial.

En base a los resultados se determinó que el tiempo de retención máximo es de 4 horas, esto se puede ver en el cuadro 26 y 27 del Apéndice. Ya que después de estas 4 horas no hay ningún cambio en la remoción de los contaminantes. Conociendo el tiempo de retención máximo y el caudal de salida de las duchas y pilas, según Marroquín, 2014 y Sanabria, 2014, se determinó el volumen del sedimentador, el cual fue de 1.76 m<sup>3</sup>, tomando en cuenta un factor de sobredimensionamiento del 10% se determinó un volumen de 1.94 m<sup>3</sup>.

Como equipo de sedimentación se decidió utilizar una tolva con capacidad de 2.0 m<sup>3</sup>, ya que estas son las únicas que se encuentran disponibles en el mercado. Se decidió trabajar con una tolva como sedimentador, debido a que estas poseen un ángulo de inclinación en la parte inferior que facilita la limpieza de la misma. El equipo consta de una tolva hecha de polietileno de alta densidad (HDPE) con tapadera, para prevenir que los malos olores se escapen y con una estructura metálica que lo sostiene.

Ya que el sistema de tratamiento de aguas es para el Caserío Cumbres de San Agustín Morales Izabal, se decidió trabajar con un biofiltro, que sea de fácil mantenimiento, bajo costo y fácil operación. Por lo se optó utilizar como lecho orgánico la cáscara (mesocarpio) de coco (*Nucifera L.*), este es de fácil acceso para la comunidad porque en esta se encuentran varias palmeras de coco. Así mismo porque el mesocarpio es un material fibroso en el cual será más fácil que se depositen los microorganismos.

Previo al diseño de la planta, se realizaron pruebas de la eficiencia de remoción de contaminantes del mesocarpio del coco variando el tamaño de partícula del mismo. El tamaño de partícula escogido para este estudio fue de 1.5 cm de diámetro y 3 cm de diámetro respectivamente. La razón de seleccionar estas condiciones se basa en que se está buscando el mejor tamaño para la remoción de contaminantes.

Para cumplir con este objetivo se utilizaron cuatro biofiltros con capacidad de 750 mL, dos de los cuales biofiltros contenían partículas con un tamaño de 1.5 cm de diámetro y los otros dos con un tamaño de 3 cm de diámetro. Antes de cortar el coco fue necesario secarlo, esto se realizó para incrementar el área específica del material, al eliminar cierta cantidad de agua de la fibra se dejan espacios vacíos que permiten una colonización más efectiva del medio por parte de los microorganismos, lo que mejora el contacto entre los microorganismos y el agua.

Cada uno de estos biofiltros fue sumergido en el agua contaminada a tratar por una semana, esto se realizó para asegurar que los microorganismos se adherirán al coco más rápidamente para formar el biofilm. Cada uno de los biofiltros fue alimentado por la misma calidad de agua, como se muestra en el cuadro 20 del Apéndice, a un flujo de 0.5 L/día por un mes.

Como resultado de la evaluación preliminar del biofiltro variando el tamaño de partícula, se obtuvo la eficiencia de remoción de los parámetros evaluados, los cuales fueron sulfatos, nitratos, fosfatos, demanda biológica de oxígeno y el cambio de pH como se muestran en el cuadro 14 de la parte de resultados. Así mismo se graficó el comportamiento de cada uno de estos contra el tiempo, comparando el tamaño de partícula entre cada uno.

Se determinó que para la remoción de sulfatos fueron mejores los biofiltros con tamaño de partícula de 3 cm de diámetro. Como se observa en la Figura 8, el biofiltro de 3 cm siempre logró remover más sulfatos que el biofiltro de 1.5 cm, sin embargo luego del día 25 el biofiltro de 1.5 cm logró remover mucho más que el de 3 cm. Por lo que se considera que el tamaño de partícula de 3 cm al principio poseía más área de adsorción,

a modo que esto pudo beneficiar la retención del contaminante, la eficiencia de remoción fue  $55.37 \pm 0.97\%$ .

La teoría dice que entre más pequeña sea el tamaño de partícula mayor será el área de transferencia. Por lo que se asume que si la prueba hubiese durado más tiempo, el biofiltro con 1.5 cm hubiese tenido un porcentaje de retención más alto, ya que estos darían un área superficial más grande, por lo que ayudarían a los microorganismos a consumir el contaminante de una manera más rápida.

En la Figura 10, se observa el comportamiento del nitrato en cada biofiltro, en esta se puede ver que el comportamiento es muy similar en ambos, sin embargo el biofiltro de 1.5 cm obtuvo una eficiencia mayor de remoción de  $8.02 \pm 0.14\%$ . La diferencia de remoción entre ambos tamaños de partícula es menor al 1%, por lo que ambos tuvieron un buen desempeño en este parámetro. En el caso del fosfato ninguno de los dos biofiltros logro remover el contaminante, es por esto que en la Figura 11 se observan dos líneas rectas. Se considera que el biofiltro si logro remover alguna parte del fosfato, sin embargo la sensibilidad del equipo que se utilizó para la medición no fue la adecuada. Por lo se recomienda leer la concentración de fosfatos con otro método.

Respecto a la demanda biológica de oxígeno se determinó que el biofiltro de tamaño de partícula de 3 cm presento una eficiencia de remoción más alta que el de 1.5 cm, aunque la diferencia no es mayor al 5%. El DBO fue el valor de eficiencia más alto de la prueba, lo que asegura la presencia de microorganismos dentro del biofiltro, ya que es por esto que el agua del efluente no tiene una demanda alta de oxígeno, esto se debe a que el material susceptible a ser consumido por medios biológicos ya fue consumido por los microorganismos presentes en el biofiltro. Por lo que el efluente sale libre de estos contaminantes.

En cuanto a la variación del pH, se puede observar en la Figura 12, que el afluente poseía un pH básico, característico del agua con jabón, sin embargo en ambos biofiltros se logró llegar a un pH menor a 7.8. En esta también se observa que el comportamiento del biofiltro de 1.5 cm se mantuvo más estable que el comportamiento del biofiltro de 3 cm, dando como resultado un porcentaje de variación de  $5.14 \pm 2.88\%$  mientras que en el de 1.5 cm posee  $3.61 \pm 3.30$ .

Por lo que se concluye de las pruebas preliminares que el biofiltro con partículas de 1.5 cm de diámetro fueron más eficiente para la remoción de contaminantes que el biofiltro de 3 cm, tomando en cuenta todos los parámetros evaluados. Se considera que el de 3 cm es mejor en cuanto adsorción durante los primeros días, sin embargo el de 1.5 cm aumenta la transferencia entre el afluente y el biofilm, por lo que a lo largo del tiempo será más eficiente la remoción con un tamaño de partícula menor, en este caso 1.5 cm.

Para diseñar el biofiltro como un tratamiento biológico secundario, se realizaron pruebas a nivel planta piloto utilizando un tubo de polimetilmetacrilato (acrílico) de 1.84 m de alto y 12.7 cm de diámetro, colocado

sobre una estructura metálica. Debido a que las dimensiones del biofiltro ya estaban establecidas, se realizó el diseño para obtener el caudal máximo de agua residual a tratar.

Para esto se utilizaron los datos obtenidos en las investigaciones del Dr. Marco Garzón – Zúñiga, del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) para determinar las cargas máximas en kg/m<sup>2</sup> día, que puede soportar un biofiltro con este tipo de empaque, tomando en cuenta la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) y la demanda biológica de oxígeno (DBO).

Este cálculo toma únicamente en cuenta el área transversal del tubo. El largo según los estudios realizados, depende de la cantidad de coliformes fecales que se desee remover, se ha demostrado que un largo de 2.0 m permite una remoción mayor al 50%. Sin embargo en el caso de la planta únicamente se trataran aguas grises, por lo que no se requiere una remoción muy alta de estas, consecuentemente se acepta que el largo del tubo sea menor a 2.0 m.

Para determinar el caudal del afluente máximo a tratar, se tomaron en cuenta los valores promedio de la caracterización del agua utilizada para la evaluación de la eficiencia de remoción variando el tamaño de partícula, del cual se obtuvo 528.23 mg/L de DBO y 189 mg/L de SST. Ya que el agua pasara previo a un sedimentador se asumió una eficiencia de remoción mínima del 25% para el DBO y 30% para los SST recomendada por el Dr. Marco Garzón.

El biofiltro puede operar con un sistema de aireación que aumenta la eficiencia de remoción de contaminantes, la aireación ayuda a los microorganismos adheridos al lecho a realizar una degradación más rápida de los mismos. Sin embargo esta no es una posibilidad viable para el diseño ya que no se cuenta con fuentes de energía alternas en la comunidad, por lo que se decidió trabajar con el flujo calculado para una operación sin aireación, el cual fue en promedio de 3.27 L /día.

El biofiltro se instaló en la Universidad del Valle de Guatemala, a este se le agregó un tanque de alimentación el cual tiene una capacidad de 18.9 L, este se colocó sobre el biofiltro para simular las mismas condiciones de operación en la comunidad, que el agua caiga únicamente por gravedad, así mismo se procuró que esta tapara la entrada de agua de lluvia, ya esta puede aumentar la variabilidad de las condiciones de operación del biofiltro. En la parte inferior se le instaló un tanque de recepción del agua tratada, el cual tiene una capacidad de 20 L.

Al tener todas las instalaciones físicas y el caudal máximo establecido, se procedió a llenar el tubo de acrílico. El material de empaque del biofiltro está dividido en tres capas, la primera es una capa de piedrín triturado de 15 cm de alto, esta se utiliza como base de soporte para el lecho orgánico. La segunda capa es el lecho orgánico filtrante el cual es el mesocarpio del coco, de 1.50 m de alto y la tercera capa es la viruta de madera de 5 cm de alto, esta se utiliza para que la distribución del agua sea uniforme al ingresar la biofiltro.

Se realizó una caracterización del tamaño de partícula del lecho orgánico, por medio de un análisis estadístico. Para el cual se utilizó el mesocarpio del coco, previamente secado. Se obtuvo como resultado una media para el alto de 2.23 cm, para el largo 1.62 cm y para el ancho 0.75 cm.

Para el arranque del funcionamiento del biofiltro, se le agregaron 18 L del agua a tratar, esto se realizó para retirarle la mayor cantidad posible de pigmentos al coco y para asegurar que el coco seco tuviese una mejor adsorción de los microorganismos y se propiciara un mejor medio para el crecimiento de los mismos, por lo tanto una adhesión del biofilm más rápido.

Los parámetros que se evaluaron fueron sulfatos ( $\text{SO}_4\text{-}2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3\text{-}1$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4\text{-}3$ ), tomando en cuenta que son algunos de los compuestos que se encuentran con más frecuencia en las aguas grises, así mismo se midió la DBO, demanda química de oxígeno (DQO) y pH. La evaluación se realizó semanalmente. Se graficó el comportamiento de cada uno de estos parámetros contra el tiempo, tanto del afluente como del efluente.

En la Figura 13 se muestra el comportamiento de la remoción de sulfatos contra el tiempo. Se puede ver que durante los primeros 10 días la eficiencia fue mayor, esto se debe posiblemente a que el mesocarpio aún tenía capacidad de adsorción, por lo que hubo una mejor remoción. El promedio de porcentaje de remoción de sulfatos fue de  $49.16 \pm 4.27$  %. Lo que significa que el biofiltro únicamente logró retirar la mitad de los sulfatos disueltos en el agua a tratar.

De igual forma se analizó el comportamiento del nitrógeno en forma de Nitratos, como se muestra en la figura 14. En este caso se ve que siempre hubo remoción de nitratos, e incluso se llegó hasta la remoción por completo del mismo durante los días 10 y 16 de operación.

Sin embargo en el día 27 la concentración de nitratos fue mayor que la del afluente, esto se debe a que el proceso de descomposición del nitrógeno, desnitrificación ocurre de forma cíclica, lo que significa que este puede aumentar y disminuir en varios ciclos, por lo que se deduce que en este punto la concentración de nitrógeno en el biofiltro fue mayor debido a la retención del mismo los días anteriores, por lo que en vez de ocurrir una desnitrificación, se dio el proceso inverso de nitrificación.

Ya que el biofiltro retiene estos contaminantes, es normal que se dé este comportamiento durante los primeros días de operación, por lo que se espera que entre más tiempo esté en funcionamiento este comportamiento desaparezca. A pesar de este valor se logró obtener un porcentaje de remoción de  $55.23 \pm 2.31$  %.

Se determinó que la eficiencia de remoción de fosfatos fue de  $8.43 \pm 4.43$ %, el comportamiento de este parámetro contra el tiempo se presenta en la Figura 15. En esta se puede ver que la diferencia entre el

afluente y el efluente no es mayor al 10%. Los elementos carbono-nitrógeno-fósforo se degradan en una proporción de 100:5:1 tomando como base una parte fósforo. Por lo tanto, la degradación esperada en el sistema es mucho menor para el fósforo, por lo que se considera que el porcentaje de remoción en el biofiltro es aceptable en base a la relación mencionada.

En la Figura 16 se presenta el comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno durante el tiempo, en esta se observa que durante los primeros 10 días la DBO aumenta considerablemente respecto al afluente, esto se debe posiblemente a que en este periodo los microorganismos se están adherido al coco, por lo que el biofilm aún no está totalmente fijo causando así un aumento de la DBO en el efluente. Este parámetro a la vez indica que existe la presencia de microorganismos dentro del biofiltro. En día 12 de operación se puede ver que el DBO disminuyó considerablemente lo que indica que los microorganismos ya están adheridos al lecho, por lo que estos están empezando a consumir el material degradable dentro del biofiltro, disminuyendo así la demanda en el efluente. El porcentaje de remoción de DBO fue de  $54.11 \pm 0.82\%$ .

Así mismo se midió la demanda química de oxígeno, esta presentó un comportamiento similar a la DBO, sin embargo los pigmentos del coco pudieron causar interferencia en el método de medición, por lo que hasta el día 30 se pudo realizar una medición más certera de este. La disminución de la DQO demuestra que en el efluente se encuentra menos sustancias susceptibles a ser oxidadas, tanto orgánico como inorgánico, lo que da un buen indicador de funcionamiento del biofiltro, ya que esto significa que el lecho orgánico está cumpliendo con su función de degradar los contaminantes. Se determinó una eficiencia de remoción de DQO del  $40.68 \pm 0.54\%$ , tomando únicamente la remoción a partir del día 30 de operación.

Por último se midió el cambio en el pH, en la figura 18 se demuestra que el pH siempre disminuye luego de pasar el agua por el biofiltro, este se debe a que la mayoría de contaminantes presentes en el agua son los responsables de darle un pH básico al afluente, por lo que al retirar estos contaminantes el agua vuelve a un pH relativamente neutro, el porcentaje de variación del pH fue de  $11.55 \pm 2.31\%$ .

En base a las pruebas realizadas en planta piloto se determinó el tiempo de retención hidráulico, tomando en cuenta que el tiempo establecido dará los mismos resultado de eficiencia de remoción de contaminantes. Para esto se determinó el volumen que ocupa el líquido que está siendo tratado dentro del lecho orgánico, esto se calculó en base a los espacios vacíos que da el empaque (porosidad), se estableció que el volumen que ocupó el líquido tratado fue de 14.24 L. Conociendo el caudal promedio de entrada al biofiltro se determinó el TRH, utilizando la ecuación propuesta por el Dr. Garzón – Zuñiga. Es importante mencionar el caudal de alimentación al biofiltro vario de 5.5 L/día a 3 L/ día, por lo que se tomó un promedio de todas las corridas. El TRH promedio obtenido fue de 5.06 días.

En base al tiempo de retención hidráulico promedio determinado por las pruebas en planta piloto y el caudal determinado por Sanabria y Marroquín 2014, se calculó el volumen del biofiltro, es importante mencionar que se decidió dividir la corriente del afluente en dos para que fuese más fácil de tratar, por lo que el caudal de cada una será de 1100 L/día. Por lo que se determinó que el volumen de cada biofiltro es de 5.5 m<sup>3</sup>. Para un fácil manejo y mantenimiento se decidió colocar una serie de tres biofiltros en cascada. Cada uno con una altura de 2.0 m y un diámetro de 1.0 m.

Cada biofiltro contara con un sistema de distribución del agua en la parte superior del cilindro, el material escogido para cada cilindro es polietileno. El sistema de alimentación a la batería de biofiltros divide el flujo en tres por lo que se utilizarán cuatro toneles como se muestran en la Figura 19 y 20, por cada flujo. El agua será recolectada por la parte inferior para luego ser depositada en el tanque de almacenamiento.

En cuanto a la eficiencia de remoción de contaminantes del biofiltro se puede concluir que es bastante aceptable para ser únicamente un tratamiento secundario. Tomando en cuenta el reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y la de la disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236 – 2006 artículo 16, los entes generadores deberán de reducir la carga de la DBO a un 10%, para poder descargar el agua a un cuerpo receptor, en este caso el Rio Amatillo, por lo que el sistema de tratamiento sí cumple con reducción porcentual ya que incluso llega a una remoción de DBO del 65.59%. Por lo que la disposición final del agua podría ser regresarla al rio.

Sin embargo se pretende que el agua tratada pueda ser reutilizada para riego agrícola en general, debido a que es un efluente rico en nutrientes y se puede utilizar para riego extensivo e intensivo, a manera de fertirriego, para la recuperación y mejoramiento de suelos y como fertilizante en plantaciones de cultivos. Según el artículo 35 del reglamento de descarga el agua residual tratada con este sistema el agua tratada podría ser utilizada de esta manera. Por lo que en este caso no sería necesario colocar un segundo sistema de tratamiento biológico como un humedal, no obstante al colocar un humedal se podría llegar a una eficiencia de remoción de contaminantes cercana al 95%, ya que el agua tratada por el biofiltro sale rica en nutrientes, que sería una fuente de abono para las plantas del humedal, por lo que colocarlo podría aumentar la eficiencia de remoción de contaminantes para que el agua no solamente se pueda utilizar para riego, sino que también se pueda re utilizar para lavar. Para esto se recomienda realizar un estudio sobre las plantas que se encuentren en la comunidad y se puedan utilizar dentro del humedal.

En cuanto a los costos del sistema de tratamiento se determinó que es más económico utilizar un tinaco de 2 m<sup>3</sup> de capacidad invertido como sedimentador, ya que la tolva tiene un precio más elevado que no lo podría cubrir la comunidad. Mientras que un tinaco invertido cumplirá con la misma función, el costo del sedimentador es de Q 945.00, sin tomar en cuenta la estructura de soporte ni los accesorios para el funcionamiento del mismo. Es importante mencionar que este es el costo de un tinaco usado.

Se determinó que es más conveniente utilizar como equipo para el biofiltro toneles de 0.54 m de diámetro y 1 m de alto, ya que es más económico utilizar varios toneles que utilizar uno de mayor capacidad. Por lo que el costo total de todos los biofiltros es de Q1,920.00. Se tomó en cuenta que en cuanto a instalación y acceso será más fácil para la comunidad manejar tanques de menor capacidad que uno de mayor capacidad.

Los costos de accesorios como tubería, codos de 90°, estructuras de soporte para los equipos y los tanques de almacenamiento del agua de efluentes se calcularon de Q 878.38. Por lo que el total de costos en cuanto a equipo del diseño propuesto y accesorios del mismo sin tomar en cuenta la mano de obra es de Q3,743.38. Para este cálculo no se tomó en cuenta el costo de mano de obra ya que la comunidad se comprometió ayudar con la instalación del mismo, lo cual disminuye los costos considerablemente y se cumple con lo establecido. Ya que la comunidad debe de ser la responsable del mantenimiento del equipo y que sea de fácil uso para ellos por lo que la instalación les dará una mejor idea de cómo funciona el sistema y su mantenimiento.

Para disminuir los costos del diseño propuesto, se podrían utilizar botellas de PET, estas son fáciles de conseguir y el costo de los biofiltros sería más barato. Otro beneficio de los mismos es que son traspartes porque lo que esto facilitara el crecimiento de los microorganismos en el lechos. Sin embargo es necesario evaluar esta opción contra la anteriormente presentada, ya que el volumen necesario de coco es grande por lo que se necesitan muchas botellas de PET.

Como resultado final se muestra en la Figura 21 el diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales utilizando sistemas biológicos, se utilizó como base la caracterización del afluente a tratar. La eficiencia de remoción de todo el sistema para sólidos suspendidos totales (SST) es de 85.46%, Sulfatos (SO<sub>4</sub>) es de 53.21 %, Nitratos (NO<sub>3</sub>) es de 68.66%, Fosfatos (PO<sub>4</sub>) es de 8.43%, DBO de 65.59 % y DQO de 55.51%. Los porcentajes de remoción de contaminantes son aceptables para regresar el agua tratada al río o para usarlo en riego extensivo e intensivo según el Acuerdo Gubernativo 236 – 2006.

Sin embargo como se mencionó previamente, implantar un segundo tratamiento biológico como un humedal al diseño aumentaría la eficiencia de remoción hasta un 95%, por lo que el agua tratada se podría reutilizar para más actividades dentro de la comunidad. Este tratamiento a la vez podría disminuir el volumen necesario del biofiltro según la eficiencia de remoción que se presente. Por lo que es recomendable realizar un estudio de este tipo de tratamiento para determinar los beneficios en cuanto a remoción y reducción de costos con solo un tratamiento biológico.

En cuanto a educación, según los resultados obtenidos y mencionados en el apartado anterior se pretendió actualizar la información usando diagnósticos comunitarios, como entrevistas e investigación con el fin de responder a las necesidades actuales. Esto se logró realizando entrevistas durante el año 2015 con el

COCODE en donde se evidenció la actualización de la información. Las observaciones realizadas y conversaciones que se tuvieron con los pobladores fue otra manera de llevar a cabo esta actualización.

La determinación del nivel educativo de las personas que participaron en los talleres del proceso educativo se logró totalmente mediante entrevistas e investigaciones realizadas. Se evidenció que el 90% de la población adulta es analfabeta. Esto se debe a la falta de oportunidades de estudios que carece la comunidad. Actualmente se cuenta con una sola escuela, a la cual asisten aproximadamente 33 niños, quienes constantemente se ausentan por motivos de salud o económicos.

Para el diseño y la planificación de talleres para la concientización de la comunidad en prácticas saludables del uso del agua con base en los hallazgos del equipo utilizando métodos tradicionales, constructivistas y de la teoría por y para la comunidad se utilizó la información actualizada. Con base en ésta se pudo diseñar y planificar dichos talleres. Las visitas realizadas sirvieron para conocer las necesidades y así decidir la implementación del taller “Promotores de la salud”. Por otra parte los pobladores manifestaron aceptación por la implementación del proyecto de agua potable y por la información que se les brindó en relación al proyecto, en los talleres antes mencionados.

De igual forma se diseñó y planificó la ejecución de talleres usando la metodología “enfoque basado en la evidencia” y “método de intervención” para ejecutar los talleres que formen a los promotores de la salud. Dichos talleres fueron ejecutados. Es necesario darle continuidad y seguimiento a estos talleres para poder evidenciar la implementación consistente de los promotores de la salud y organización comunal para mejorar la transmisión de comunicación y apoyar al líder comunitario.

Al conocer las características de los pobladores de la comunidad se diseñó y evaluó el uso de material didáctico utilizado en los talleres de capacitación. Debido a la condición analfabeta de la mayoría de la población el material fue principalmente gráfico. De igual manera se emplearon materiales lúdicos que benefició la adquisición de los aprendizajes compartidos.

Debido a las observaciones que se realizaron durante el primer taller, correspondiente a la forma tradicional, en donde se enfocó en compartir la información de los talleres antes mencionados, se pudo apreciar la poca participación de los pobladores, debido a esto se tomó la decisión de variar la forma de darlos. Se evidenció la diferencia entre los talleres planificados de manera tradicional y los que se planificaron desde la teoría constructivista y educación para y por la comunidad, Jean Piaget y Paulo Freire.

De esta manera se pudo observar y evidenciar la diferencia en la ejecución de los talleres, la primera aplicación, tradicional, sirvió para mejorar en las otras ejecuciones y así brindar la oportunidad de tener una mejor experiencia en los talleres que se llevaron a cabo.

Es importante mencionar que el apoyo del material didáctico que se usó en los talleres tuvo una destacable importancia. Debido que la mayoría de la población es analfabeta, se decidió usar material visual y lúdico, de esta manera los pobladores tuvieron una mejor experiencia y adquisición de conocimientos.

Por otra parte, se logró que los participantes del género masculino en su mayoría, alcancen los aprendizajes esperados en relación al proyecto de agua, principalmente en qué consistía el proyecto y el mantenimiento que se le debe de dar para el adecuado funcionamiento. Los pobladores llegaron a una metacognición por medio de los métodos constructivistas que se emplearon en los talleres 3 y 4. De igual manera los talleres de promotores de salud, fueron útiles para iniciar nuevas y mejores vías de comunicación y de organización comunal.

Asimismo, la metodología que se implementó benefició el diseño y planificación de los talleres. Esta metodología se adaptó al tipo de comunidad trabajado, siendo así la base para una adecuada planificación y ejecución de talleres, teniendo como resultado el cumplimiento de los objetivos planteados.

Finalmente el cumplimiento de los objetivos específicos, el diseño, planificación y ejecución de talleres según las características y necesidades actuales de la comunidad, fueron el ancla para poder consumir el objetivo general del proyecto: Empoderar a vecinos de la comunidad Caserío Cumbre de San Agustín para la formación de promotores de salud. Se inició el proceso de empoderamiento, el cual se vio reflejado en la constante participación de los pobladores en los diferentes talleres que se llevaron a cabo y principalmente en el interés por mejorar la comunidad y brindar apoyo al líder comunitario, COCODE.

## IX. CONCLUSIONES

- A. Se alcanzó uno de los objetivos planteados en este trabajo respecto a la instalación de un sistema de captación de agua. Se hizo evidente que el sistema si es funcional para captar agua y proveer a la población de este servicio.
- B. Como resultado se obtuvo un sistema instalado en el techo de la iglesia de la comunidad, con capacidad de almacenar un máximo de 0.28m<sup>3</sup>/día de agua pluvial en época lluviosa y satisfacer una demanda de agua de 0.11m<sup>3</sup> /día. Sin embargo, tomando en cuenta un sobredimensionamiento de 6% en el volumen del tanque se obtuvo un tanque de almacenamiento capacidad de captar 0.29m<sup>3</sup>/día.
- C. El sistema de primeras aguas tienen una capacidad de 0.0306 m<sup>3</sup>, ya que debe limpiar una superficie de 30.6m<sup>2</sup> y se debe asegurar que se hayan arrastrado contaminantes y sustancias no deseadas en el tanque de almacenamiento.
- D. El costo total del sistema es que Q.1,224.00, el cual incluye todos los accesorios, tuberías y tanques necesarios para el funcionamiento adecuado del mismo.
- E. Las muestras de agua analizadas cumplen con las características físicas y organolépticas regidas por la norma COGUANOR NGO 29 001:99, siendo estas olor no rechazable, turbidez de 2 NTU y potencial de hidrógeno de 7.61.
- F. Con base en los resultados observados se concluye que la bomba diseñada e implementada en el Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal tiene una relación de eficiencia-costo 6.32 veces superior a la encontrada de referencia en los diseños industriales estudiados por Gutiérrez (2013).
- G. El sistema de filtración instalado previo a la captación de agua en el sistema, consta de 3 filtros con disminución de apertura en las mallas utilizadas desde mesh 1 hasta mesh 42. Esto garantiza que los sólidos de gran tamaño no ingresen al sistema, lo que provocaría su obstrucción.
- H. La bomba seleccionada para el funcionamiento corresponde a un sistema que únicamente depende de la energía cinética del recurso hídrico para su operación, obteniéndose esta principalmente por la energía potencial de la topografía del lugar y el aumento de velocidad en 6.91 veces debido a las contracciones instaladas en la tubería de captación de agua.
- I. La cabeza desarrollada de 4.67 en un principio por la bomba estudiada satisface las necesidades de suplir agua a la familia beneficiada, al necesitarse únicamente 4.50 m hasta el punto de descarga.

- J. Se logró desarrollar un flujo de bombeo de agua de  $4.07E-06 \text{ m}^3/\text{s}$ , equivalente a  $0.351 \text{ m}^3/\text{día}$ , el cual es  $0.028 \text{ m}^3/\text{día}$  inferior a la referencia de la Organización de las Naciones Unidas encontrada como de uso de agua en las regiones rurales de Latinoamérica para el lavado de ropa y uso doméstico de limpieza.
- K. Para que se mantenga el funcionamiento de la bomba se debe contar con el apoyo de la familia beneficiada para realizar el mantenimiento necesario, el cual fue explicado como parte del proyecto. La principal tarea que se deberá realizar es la limpieza de la caída de agua en donde se alimenta el sistema de captación, ya que de no realizarlo se tendrá una probabilidad alta de cerrar la entrada de agua al sistema.
- L. La bomba de pistón diseñada e instalada en el Caserío Cumbre de San Agustín distribuye un caudal de  $8000 \text{ L/sem}$ , que satisface la demanda de la comunidad para el lavado de ropa. Se logró el involucramiento de las personas enseñándoles el mantenimiento de la bomba y que ayudaran en la instalación de la misma.
- M. Se seleccionó una bomba de pistón porque esta es la única bomba que maneja un caudal bajo ( $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$  máximo) y ejerce una presión moderada al fluido (Presión máxima de  $35,000 \text{ kPa}$ ).
- N. Se logró determinar las condiciones de operación de la bomba que son: cabeza de succión de  $0.25 \text{ m}$ , cabeza de descarga de  $1.62 \text{ m}$ , un caudal de  $0.08 \text{ L/s}$  y una eficiencia de  $42.38 \pm 6.24\%$ .
- O. Los diagramas junto con el manual de construcción de la bomba de pistón tienen todas las dimensiones y piezas utilizadas para que el modelo pueda ser replicado.
- P. Se diseñó un sedimentador en forma de tolva con capacidad de  $2 \text{ m}^3$ , que cumpla la función de tratamiento primario para la remoción del  $70\%$  de sólidos suspendidos totales.
- Q. La cáscara de coco con tamaño de partícula de  $1.5 \text{ cm}$  de diámetro es más eficiente para la remoción de contaminantes, ya que esta aumenta el área superficial de contacto entre el biofilm de microorganismos y el agua residual a tratar. La eficiencia de remoción de sulfatos fue  $29.34 \pm 1.81\%$ , de nitratos fue  $8.02 \pm 0.14\%$ , de la demanda biológica de oxígeno fue de  $70.09 \pm 1.42\%$ .
- R. El tamaño de partícula de  $3 \text{ cm}$  de diámetro posee mayor capacidad de adsorción durante los primeros días de operación del biofiltro, ya que la eficiencia de remoción de sulfatos y demanda biológica de oxígeno fue mayor, con un  $55.37 \pm 0.97\%$  y  $75.25 \pm 1.42\%$  respectivamente.
- S. El biofiltro con cáscara de coco como lecho orgánico filtrante tuvo una eficiencia remoción de  $49.16 \pm 4.27\%$  de sulfatos,  $55.23 \pm 5.31\%$  de nitrógeno en forma de nitratos,  $8.43 \pm 4.43\%$  de fósforo en forma de

fosfatos,  $54.11 \pm 0.82\%$  en la demanda bioquímica de oxígeno,  $40.68 \pm 0.54\%$  en la demanda química de oxígeno. Y una variación del  $11.55 \pm 2.31\%$  en el pH.

- T. Se diseñaron dos cascadas de biofiltros con un volumen total de  $5\text{m}^3$  cada uno, para tratar agua proveniente de las pilas y duchas a un caudal de 1100 L/día, con un tiempo de retención hidráulico de 5.06 días, que cumpla con los porcentajes de remoción establecidos en la planta piloto.
- U. El equipo para la planta de tratamiento de aguas residuales tiene un costo de Q 1,890.00 para el sedimentador y Q 3,840.00. para los biofiltros. Tomando en cuenta los accesorios para el funcionamiento del sistema, los costos del equipo para el diseño propuesto son de Q13,083.38.
- V. La eficiencia de remoción de contaminantes del diseño propuesto es de  $85.46 \pm 2.35\%$  para sólidos suspendidos totales,  $53.21 \pm 1.76\%$  de sulfatos,  $68.66 \pm 2.45\%$  de nitrógeno en forma de nitratos,  $8.43 \pm 0.76\%$  de fósforo en forma de fosfatos,  $65.59 \pm 3.95\%$  en la demanda bioquímica de oxígeno,  $55.51 \pm 2.36\%$  en la demanda química de oxígeno.
- W. El agua obtenida del tratamiento según el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales 236 – 2006 permite que el agua tratada con el sistema propuesto se pueda utilizar para riego o regresar al río.
- X. Se determinó que para lograr una remoción de contaminantes del 95% es necesario utilizar otro sistema biológico de tratamiento como un humedal, ya que se le podrían dar más usos al efluente del agua en la comunidad. Y a la vez se podría disminuir el volumen del biofiltro requerido, obteniendo posiblemente una eficiencia de remoción mayor.
- Y. Tomando en cuenta la información previa de la comunidad Caserío Cumbre de San Agustín, ubicado en Morales Izabal, se vio la necesidad de actualizar dichos datos y trabajar en relación a las características y necesidades actuales de la comunidad. En la actualización de datos se obtuvo que el 90% de la población adulta es analfabeta, aproximadamente 33 niños asisten a clases y 3 son las maestras con que cuenta la escuela. La información se obtuvo a través de entrevistas directas con los pobladores y principalmente con el líder comunitario, quien en la comunidad es el COCODE.
- Z. El diseño y planificación de los talleres, se basó en las necesidades actuales de la comunidad. Se trabajó en la planificación de talleres, tomando en cuenta que la primera ejecución se realizó usando el método tradicional, debido a lo observado durante los primeros talleres, se decidió buscar teorías y/o enfoques que se adaptaran a las características de la población. De esta búsqueda se obtuvo la ejecución de talleres bajo los enfoques constructivistas, aprendizaje significativo y de educación para y por la comunidad, de los autores Jean Piaget, Vigotsky y Paulo Freire.

- AA. Tomando en cuenta las características de la comunidad del Caserío Cumbre de San Agustín, se implementó la metodología del “Enfoque basado en la evidencia” y el “Método de intervención” correspondientes al programa “Abriendo Oportunidades” de Population Council. Tanto el enfoque basado en la evidencia y el método de intervención priorizan la contextualización del trabajo a realizar, la planificación de estrategias que beneficien a la comunidad y promoción de pobladores que continúen la transmisión de la información. De este último, promoción de pobladores que continúen la transmisión de la información, es importante mencionar que se logró la participación activa de los 12 pobladores, quienes evidenciaron, por medio de discusiones y planteamiento de soluciones, construir un aprendizaje significativo.
- BB. Posterior al diseño y planificación de los talleres se elaboró material didáctico tomando en cuenta las características de la población adulto, quienes un 90% son analfabetas. De esta manera se trabajó con material visual y lúdico, lo cual benefició la adquisición de información y construcción del aprendizaje. Es importante destacar el uso adecuado que se dio al material didáctico durante la ejecución de los talleres, esto se evidenció en la comunicación de doble vía y en la constante participación. Los pobladores que participaron en cada taller, notaron la diferencia entre cada taller y entre los diferentes materiales que se usaron.
- CC. La metodología implementada benefició el alcance del objetivo general, empoderando así a los pobladores de la comunidad del Caserío Cumbre de San Agustín para la formación de promotores de salud. Los pobladores respondieron de manera adecuada ante los talleres que se ejecutaron, su participación incrementó, se generaron discusiones y ellos mismos plantearon soluciones ante los problemas que presentan actualmente. Los pobladores mostraron interés por mejorar las condiciones de vida en su comunidad. Al demostrar el interés por mejorar sus condiciones de vida y al buscar ellos mismos las soluciones, tomando en cuenta las opiniones de las personas, los pobladores de la comunidad se empoderaron para seguir trabajando por su comunidad.

## X. RECOMENDACIONES

- A. Al sistema presentado pueden realizarse ciertas mejoras, incluyendo una bomba manual al tanque de almacenamiento para que las personas puedan tomar agua de una forma fácil y práctica, colocarles bases metálicas a los tanques para que se encuentren más seguros, colocar algún sistema automático al tanque de primeras aguas para que no dependa de algún poblador hacer el vaciado correspondiente.
- B. Se recomienda realizar un análisis completo de calidad al agua para determinar que contaminantes tiene presentes y el tratamiento adecuado que pueda dársele para que el agua pluvial captada sea tratada y pueda tener fines potables.
- C. Divulgar el diseño e instalación del sistema de recolección de agua para que pueda ser aplicado en diferentes áreas del país que carecen de este servicio. Trabajar junto con municipalidades u organizaciones dispuestas a ayudar para que el factor económico no sea un problema.
- D. Al momento de iniciar un nuevo proyecto o replicar el descrito en este trabajo se recomienda seleccionar un área que sea más accesible para la persona que lo va a ejecutar así dar un mejor servicio a la población.
- E. Se recomienda una readecuación del sistema con el fin de captar más agua ya que la iglesia cuenta con un techo de dos aguas que puede utilizarse perfectamente para un mayor abastecimiento de agua.
- F. Se debe de evaluar la utilización de este sistema en otras áreas en donde la diferencia de altura en las caídas de agua sea mayor, ya que la eficiencia de la bomba viene determinada en gran medida por esta relación.
- G. Se debe de evaluar si la instalación de bombas en paralelo pueden suplir de un mayor caudal de agua. Según lo observado parece viable realizarlo, ya que de esta forma se podría superar el caudal dado por una bomba de diseño industrial con un costo mucho menor de adquisición.
- H. Se debe de evaluar otras opciones de bombas que puedan satisfacer de mejor forma las necesidades de la comunidad, siempre y cuando estas también consideren el impacto económico y social que tendrá la utilización de estos sistemas.
- I. Actualmente la Municipalidad de Morales no se encontró involucrada en el proyecto de una forma directa. Se debe de buscar que las autoridades de la localidad se involucren de una forma activa para que se le pueda dar continuidad al proyecto por un mayor tiempo y con mayores recursos.

- J. Se recomienda evaluar otras modificaciones al sistema de bombeo diseñado, como la utilización de una sola reducción en el diámetro de la tubería en lugar de realizar reducciones progresivas.
- K. Se recomienda evaluar otros sistemas de presurización de la tubería que puedan ayudar a mejorar la cabeza desarrollada para poder implementar este sistema en condiciones en donde la cabeza requerida sea mayor.
- L. Realizar las válvulas de cheque realizadas a mano con todos los materiales especificados, para probar si estas en realidad funcionan.
- M. Aunque este trabajo únicamente contempló la implementación, capacitación e instalación de la bomba, se recomienda continuar este trabajo dado que el agua no es apta para el consumo humano, podría implementarse un sistema de filtración y posterior sistema de desinfección para que el agua suministrada por la bomba pueda cumplir un requerimiento básico de la población.
- N. Usar válvulas de cheque caseras, lo cual reduciría el precio total de la bomba de pistón en Q68.00.
- O. Utilizar cemento en la base de la estructura de metal en lugar de enterrarla para asegurar que la estructura quede fija al piso.
- P. Se recomienda lavar y secar el mesocarpio del coco antes de empezar a utilizarlo como lecho orgánico, ya que este es rico en pigmentos. Por lo que lavarlo antes evitaría obtener el agua café oscuro al principio de la operación.
- Q. Se recomienda utilizar otro método de medición de fosfatos, como por ejemplo el método de titulación o métodos más sensibles al cambio de este.
- R. Se recomienda realizar pruebas en un biofiltro utilizando el endocarpio y mesocarpio del coco en una mezcla para determinar la eficiencia de remoción de contaminantes utilizando un lecho orgánico más sólido.
- S. Medir la compactación del mesocarpio del coco dentro del biofiltro, ya que esto indica el índice de degradación que posee el lecho orgánico. Ya que este estudio únicamente se realizó por 60 días, se recomienda realizar un estudio más prolongado.
- T. Se recomienda realizar un estudio sobre las plantas disponibles que se encuentran en el Caserío Cumbre de San Agustín, Morales Izabal, que puedan ser aptas para el uso en un humedal. Y evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes.

- U. Es necesario seguir con la planificación de talleres que promuevan la continuación de los promotores de salud, es decir continuar con la formación de los pobladores que participaron en el inicio de estos talleres. Este proceso de capacitación requiere más tiempo. Se debe trabajar con las mismas personas que iniciaron, para poder darle un seguimiento y evidenciar así la consistencia del programa.
  
- V. Es apremiante implementar un programa de seguimiento y evaluación del proceso de capacitación de los Promotores de salud. De esta manera se podrá verificar la efectividad y eficacia de los mismos. Es necesario que el programa a implementar incluya las visitas constantes a la comunidad para darle el seguimiento adecuado y continuar o cambiar el proceso del programa según las necesidades actuales de la comunidad.
  
- W. Es importante que se continúe el trabajo en esta comunidad, la cual requiere de un apoyo destacable por parte de entidades externas, como lo es la Universidad del Valle de Guatemala, mediante la modalidad de Megaproyecto u otros trabajos. Este tipo de trabajos que se realizan en el interior del país, requieren de más tiempo, por lo que se recomienda continuar el Megaproyecto en la comunidad, implementado así un programa de seguimiento, como se indicó anteriormente.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- Ávila, P. 2003. Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI. Colegio de Michoacán. Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 481 pp.
- Bailey, A. 1984. Aceites y grasas industriales. 1ra edición. Barcelona España. Reverte S.A. Páginas 297 – 317.
- Bartle, Phil. 2007. *Fuentes de agua potable*. <http://cec.vcn.bc.ca/mpfc/modules/wat-sous.htm> [25 de Junio de 2015]
- Caballeros, Marlin. 2014. Análisis preliminar del estado físico, químico y Microbiológico las fuentes de agua del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. 70 págs.
- Caballeros, M., Marroquín, P, Sanabria, 2014. Diseño de un sistema de suministro y purificación de agua usando tecnologías apropiadas con el fin de beneficiar a los pobladores del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal; facilitando el acceso al agua potable y con ello mejorar las condiciones de vida de la población. 500 págs.
- Carrillo, A. T. (2007). *Paulo Freire y la educación popular* . Obtenido de Revista EAD-Educación de adultos y desarrollo: <http://www.dvv-international.de/es/educacion-de-adultos-y-desarrollo/ediciones/ead-692007/el-decimo-aniversario-de-la-muerte-de-paulo-freire/paulo-freire-y-la-educacion-popular/>
- Cobos C. 2002. El agua: situación actual y necesidades de gestión. Universidad Rafael Landívar, Guatemala. De la página web: <http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/SERIETECNINCA/5.pdf> [Con acceso el 23/6/15].
- Colom, E. 2010. Propuesta para actualizar los contenidos de Política Nacional y Estrategia Nacional de Gestión Integrada de los Recursos hídricos de SEGEPLAN., 2006. GEA/BID. Guatemala. 35 págs.
- Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Morales. 2010. Plan de Desarrollo Municipal Morales, Izabal, años 2011 a 2025. Guatemala. 104 págs.
- Council, P. (2015). *Population Council*. Obtenido de <http://www.popcouncil.org/about> Crowe, C. 2001. *Engineering fluid mechanics*. 8ª edición. John Wiley & Sons, Inc. Estados Unidos. 567 pp.
- Crites, R. y Tchobanoglous G. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Bogota, Colombia. MC Graw-Hill. 776 págs.
- Dique., F. p. (2010). *Herramientas para el fortalecimiento de capacidades organizativas desde la perspectiva de la gestión integral del riesgo*. Obtenido de [http://fundacionpromotoradelcanaldeldique.org/herramientas/Modulo\\_Fortalecimiento\\_Comunitario.pdf](http://fundacionpromotoradelcanaldeldique.org/herramientas/Modulo_Fortalecimiento_Comunitario.pdf)
- Elliot, S. 2010. El río y la forma. Introducción a la geomorfología fluvial. Primera Edición. RIL editores. Chile.
- Enciclopedia de Guatemala. 1998. Grupo Editorial Océano. Barcelona: Océano. 2 vols
- Esperón I. 2012. Montaje y Ensayo de Bombas Manuales de Pistón. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid. De la página web: <http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15291/MONTAJE%20Y%20E>

- NSAYO%20DE%20BOMBAS%20MANUALES%20DE%20PISTON\_v2012.05.22.pdf?sequence= [Con acceso el 29/5/15].
- EPICSA. 2008. Estudio de la Factibilidad y Diseño Final para la Introducción del Sistema de Agua Potable de Caserío Cumbre de San Agustín del Municipio de Morales, departamento de Izabal. 105 págs.
- ETF. 2015. Válvulas y Medidores de Flujo. Especialistas Técnicos en Fluidos de Occidente. Guadalajara, México. De la página web: [http://www.valvulasymedidores.com/valvulas\\_check.html](http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_check.html) [Con acceso el 27/5/15]
- Fraenkel P. y J. Thake. 2010. Dispositivos de elevación del agua. Manual para usuarios y planificadores. 3a. Ed. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México. Pp. 1 - 2.
- García A. 2006. Municipio de Morales Departamento de Izabal, Financiamiento de la producción de unidades artesanales (panadería). De la página web: [http://www.biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03\\_0276.pdf](http://www.biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0276.pdf) [Con acceso el 23/6/15].
- García, J. y A. Corzo. 2008. Depuración con Humedales Construidos: Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. España, Universidad Politécnica de Cataluña. 98 págs.
- Garzón-Zúñiga, M.; Tomasini-Ortiz, A. et al. 2008. Enhanced pathogen removal in on-site biofiltration systems over organic filtration materials. *Water Practice & Technology* Vol. 3 No 2.
- Garzón-Zúñiga, M. 2002. Tratamiento de aguas residuales de granja de puerco por biofiltración aireada sobre cama de turba. En memorias de “XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental”, Cancún, México, 27 al 31 de octubre de 2002.
- Garzón-Zúñiga, M. 2003. Determination of the hydraulic residence time in a trickling biofilter filled with organic material. *Environmental Technology*, Vol. 24, pp. 605-614.
- Garzón-Zúñiga, M. 2004. La biofiltración sobre cama de turba, un tratamiento eficiente para diferentes tipos de agua residual industrial. En Memorias del XXIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). San Juan, Puerto Rico.
- Garzón-Zúñiga, M. 2005. Nitrogen elimination mechanisms in an organic media aerated biofilter treating pig manure. *Environmental Technology*, Vol. 26, pp 361-371.
- Garzón-Zúñiga, M. 2007. Aeration effect on the efficiency of swine manure treatment in a trickling filter packed with organic materials. *Water Science & Technology* Vol. 55 No 10, pp 135-143.
- Gobierno de la República. 2011. *Política Nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia*. Guatemala. 48 págs.
- Gutiérrez, L. y J. Mancebo. 2013. Primeras Jornadas Internacionales sobre Bombas Manuales y de Ariete. Bombas de Ariete. Universidad Politécnica de Madrid. Programa Agua, Saneamiento y Desarrollo. España. 27 pp.
- Hill, John; D. Kolb. 1999. *Química para el nuevo milenio*. 8ª ed. México, D.F: Prentice Hall. 704 págs.
- ITE. (s.f). *Fundamentos de la educación de personas adultas*. Obtenido de [http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/125/cd/unidad\\_3/la\\_andragogia\\_insuficiencias.htm](http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/125/cd/unidad_3/la_andragogia_insuficiencias.htm)

- Jimenez, Blanca. 2005. *La contaminación ambiental en México*. Causas, efectos y tecnología apropiada. México, D.F. : Limusa. 926 págs.
- Jimenez, V. 2011. Calculo, diseño y construcción de un prototipo de ariete hidráulico. Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Universidad Veracruzana. México. 87 pp.
- Kumar, K. 2002. Rain water harvesting and conservartion manual. Nueva Delhi: Departamento de trabajos públicos. 84 págs.
- Lentini, E. 2010. Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito. CEPAL-UN/GTZ, Colección de documentos de proyecto CEPAL, Santiago de Chile. 95 págs. Municipalidad de Morales. 2010. Convenio 03-3013-2010-Estrategia de agua y saneamiento. Municipalidad de Morales y plan internacional INC. Unidad de programa Gualán. Aldea Cumbre de San Agustín. 29 págs.
- Levine, I. 2004. Fisicoquímica. Volumen 1. 5ª edición. McGraw-Hill editores. España. 537 pp.
- López, T. (2014). Diseño de un sistema de suministro y purificación de agua usando tecnologías apropiadas con el fin de beneficiar a los pobladores del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales Izabal; facilitando el acceso a agua potable.
- Matute, J. 2015. Determinación de carga bacteriana en agua del río Amatillo, Caserío Cumbre San Agustín, Morales, Izabal. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química. Universidad del Valle de Guatemala. Guateamala. 13 pp.
- McCabe, W., J. Smith y P. Harriot. 2007. Operaciones unitarias en ingeniería química. McGraw-Hill Editores. México. 1199 pp.
- Méndez, D. M. (2014). Teoría Existencial centrada en el cliente. 5-15. Pons, J. S. (11 de 04 de 2011). *El Constructivismo hoy: enfoques constructistas en educación*. Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.mx/pdf/redie/v13n1/v13n1a1.pdf>
- Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4a. ed. New York, McGraw-Hill. 1819 págs.
- Nájera, Michelle. 2014. Diseño de sistema de captación y almacenaje de agua pluvial por medio de una nueva tipología estructural del techo de las viviendas del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. 60 págs. Organización Panamericana de Salud. [http://www.paho.org/gut/index.php?option=com\\_joomlabook&Itemid=221](http://www.paho.org/gut/index.php?option=com_joomlabook&Itemid=221)
- Pastor, Andrea, *et al.* 2014. *Ciencias aplicadas I*. Madrid: Paraninfo. 409 págs.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2013. Guatemala. <http://www.gt.undp.org/>
- Parrota. J. 1993. Palma de coco Coco Coconut palm, Cocos nucifera L. New Orleans, Los Ángeles, Estados Unidos. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 7 pp.
- Peters M., Timmerhaus K. y R. West. 2003. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. 5ta. Ed. McGraw Hill, Nueva York, Estados Unidos. Pp. 508 - 515.
- Perry, R. y D. Green. 2008. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 8a. ed. Estados Unidos, McGraw-Hill. 25 volúmenes. Pinzón, L. 2011. Diseño, instalación y evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes de un biofiltro para el tratamiento secundario de agua residual a escala laboratorio. 136 págs.

- Real Academia de la Lengua Española (RAE). 2014. Diccionario de la lengua española. 23 Edición. Consulta en línea en: [<http://lema.rae.es/drae/>] Consultado el 25 de junio de 2015.
- Rico, A., R. Pérez y M. Castellanos. 2008. Química 1. Agua y oxígeno. Tercera edición. Comité Editorial del Colegio de Ciencias y Humanidades. México. 225 pp.
- Sanamiento, A. y. (2013). *Ayudando a prevenir enfermedades transmitidas por el agua*. Obtenido de <http://www.aguaysaneamiento.com.gt/index.html>
- SEGEPLAN. 2006. Política nacional de gestión integrada de los recursos hídricos (PNGIRH) y de la Estrategia nacional de gestión integrada de los recursos hídricos (ENGIRH). SEGEPLAN. Guatemala. 33 págs.
- Serway, R. y J. Faughn. 2008. Física para ciencias e ingeniería. Volumen 1. Cengage Learning Editores. México. 721 pp.
- Sociedad, E. P. (2010). *El agua contaminada causa más muertos que cualquier guerra*. Obtenido de [http://sociedad.elpais.com/sociedad/2010/03/22/actualidad/1269212403\\_850215.html](http://sociedad.elpais.com/sociedad/2010/03/22/actualidad/1269212403_850215.html)
- Solé, C. C.-I. (2001). *Aprendizaje Significativo y su ayuda pedagógica*. Obtenido de [http://www.quadernsdigitals.net/datos\\_web/hemeroteca/r\\_38/nr\\_398/a\\_5480/5480.htm](http://www.quadernsdigitals.net/datos_web/hemeroteca/r_38/nr_398/a_5480/5480.htm)
- Soria, P. C. (2007). *Empoderamiento: Conceptos y orientaciones*. Obtenido de <http://www.asocam.org/biblioteca/files/original/4375d6b0e361f869a3195bb49c3d488d.pdf>
- Sotelo, G. 1987. Hidráulica General. Volumen 1. Editorial Limusa. México. 551 pp.
- Soto, B. (s.f.). *Dinámicas de liderazgo*. Obtenido de Gestión.org: <http://www.gestion.org/recursos-humanos/liderazgo/31349/dinamicas-de-liderazgo/>
- Soto L. 2010. Clasificación de las bombas hidráulicas. Escuela de Ingeniería de Antioquía, Colombia. De la página web: [http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/clasificacionbombas\\_hidraulicas/clasificaciondelasbombashidraulicas.html](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/clasificacionbombas_hidraulicas/clasificaciondelasbombashidraulicas.html) [Con acceso el 10/5/15].
- The International Bank for Reconstruction and Development. 1985. Rural Water Supply Handpumps Project, Laboratory Testing of Handpumps for Developing Countries: Final Technical Report. World Bank, Washington D.C., Estados Unidos. De la página web: [http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2003/01/23/000178830\\_98101904142589/Rendered/PDF/multi0page.pdf](http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2003/01/23/000178830_98101904142589/Rendered/PDF/multi0page.pdf) [Con acceso el 29/5/15].
- Thompson G. 2014. How to Make a PVC Hand Pump to Move Water, Compress Air, & Create Vacuum. WonderHowTo.com, Estados Unidos de América. De la página web: <http://mods-n-hacks.wonderhowto.com/how-to/make-pvc-hand-pump-move-water-compress-air-create-vacuum-0148293/> [Con acceso el 10/5/15].
- Torres, A. (2009). La educación para el empoderamiento y sus desafíos. Retrieved from Revista Universitaria de investigación: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3175951>
- Treybal, R. 1988. Operaciones de transferencia de masa. 2ª Edición. México: McGraw Hill. Pp 625-722.
- UNAD. 2011. Bombas de pistón. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. De la Página web: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccin\\_23\\_bombas\\_de\\_piston.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccin_23_bombas_de_piston.html) [Con acceso el 27/5/15].

- UNATSABAR,2011. Guía de diseño para captación del agua de lluvia.  
[http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/sanea/ettanque\\_septico.pdf](http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/sanea/ettanque_septico.pdf) [15 de Junio de 2015]
- UNICEF. (s.f). *Enfermedades comunes relacionadas con el agua y el saneamiento*. Obtenido de  
[http://www.unicef.org/spanish/wash/index\\_wes\\_related.html?p=printme](http://www.unicef.org/spanish/wash/index_wes_related.html?p=printme)
- Universidad Rafael Landivar. 2006. Perfil Ambiental de Guatemala 2006. Tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IRNA). Guatemala. 250 pp.
- UNICEF. 2002. Aprender de la experiencia. El programa de abastecimiento de agua y saneamiento ambiental en la India. UNICEF, Nueva York. Pp. 3
- Valtueña, José. 2002. *Enciclopedia de la ecología y la salud*. Madrid: Editorial Safeliz. 421 pág

## XII. ANEXOS

### A. Diseño sistema de captación del agua

1. Precipitación promedio mensual Se obtuvieron los milímetros de agua precipitados al día en Morales, Izabal; estos datos fueron proporcionados por el INSIVUMEH y se analizó desde Enero de 2011 hasta Julio de 2015, a partir de esto se realizó un promedio de los milímetros precipitados al mes durante los 5 años analizados para así determinar la precipitación promedio mensual en el lugar.

Tabla 44 - Precipitación promedio mensual en el año 2011

<b>Año 2011</b>	
<b>Mes</b>	<b>Precipitación mensual (mm agua)</b>
Enero	96.3
Febrero	60.3
Marzo	107.7
Abril	8.3
Mayo	100
Junio	214.9
Julio	193.5
Agosto	223.5
Septiembre	311.5
Octubre	231.6
Noviembre	113.9
Diciembre	122.7

Tabla 45 - Promedio de precipitaciones en el mes de Enero de los 5 años analizados

<b>Año</b>	<b>Precipitación en Enero (mm agua/mes)</b>
2011	96.3
2012	197.5
2013	106.3
2014	114.4
2015	229.3
Promedio	148.76

Los resultados del promedio de precipitación mensual durante los años 2011 a 2015 se pueden observar en la Tabla 13.

2. Acumulación de lluvia mensual. A partir de los promedios mensuales de precipitaciones de los 5 años evaluados, el material del área de captación y el coeficiente de escorrentía del mismo, se determinó la cantidad de agua que sería captada por el techo de la iglesia.

$$A_m = P_m * A_c * C_e \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

$A_m =$  *acumulación de lluvia mensual (m<sup>3</sup>/mes)*

$P_m =$  *Precipitación mensual (L/m<sup>2</sup>)*

$A_c =$  *área de captación (m<sup>2</sup>)*

$C_e =$  *coeficiente de escorrentía*

De la literatura (UNATSABAR, 2011) se sabe que 1mm de agua precipitada equivale a 1L por m<sup>2</sup> de superficie.  $1mm \text{ agua} = 1 \frac{L}{m^2}$

Ejemplo para el mes de Enero:

$$A_m = 148.8 \frac{L}{m^2} * 30.6m^2 * 0.9 = 4,097.9L$$

$$A_m = 4,097.9L * \left( \frac{1m^3}{1000L} \right) = 4.1m^3$$

La acumulación de lluvia mensual durante todos los meses se detalla en la Tabla 4.

3. Determinación de canaletas. Se seleccionaron las canaletas prefabricadas estilo colonial, ya que estas reducían el costo del sistema y cumplían con el caudal que se tendrá durante la captación de agua.

a. Determinación de caudal en canaletas Se seleccionaron canaletas prefabricadas por fines de minimizar costos del sistema. Se prefirió utilizar canaletas cuadradas estilo colonial, las cuales son las de menor precio. Dichas canaletas tienen un tamaño de 0.10mx0.09m, se calculó el caudal máximo que son capaces de soportar y así se determinó si era capaz de soportar el caudal de agua proveniente del techo de la iglesia.

El caudal de las canaletas se determinó mediante las siguientes ecuaciones:

- Se determinó la altura de llenado de las canaletas, asumiendo un 65% de llenado de las mismas.

$$h(m) = \text{altura de canaleta}(m) * \% \text{ de llenado} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$h = 0.1m * 65\% = 0.065m$$

- Área de canaletas

$$A(m^2) = \text{alto}(m^2) * \text{ancho}(m^2) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$A = 0.1m * 0.09m = 9 \times 10^{-3} m^2$$

- Perímetro mojado de canaleta

$$P(m) = (2 * \text{alto}(m) + \text{ancho}(m)) \quad \text{Ecuación 16}$$

$$P = (2 * 0.1m) + (0.09m) = 0.29m$$

- Radio hidráulico

$$r_H(m) = \frac{\text{área}(m^2)}{\text{perímetro mojado}(m)} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$r_H = \frac{9 \times 10^{-3} m^2}{0.29m} = 0.031m$$

- Diámetro equivalente

$$D_{eq}(m) = 4 * r_H(m) \quad \text{Ecuación 18}$$

$$D_{eq} = 4 * (0.031m) = 0.124m$$

- Caudal de canaleta Como base de diseño y considerando el tipo de fluido con el que se esta trabajando, la velocidad lineal se toma como 1m/s.

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{\pi}{4} * (D_{eq}(m))^2 * v \left( \frac{m}{s} \right) \quad \text{Ecuación 19}$$

$$Q = \frac{\pi}{4} * (0.124m)^2 * \left( 1 \frac{m}{s} \right) = 0.012 \frac{m^3}{s}$$

Para determinar si la canaleta puede soportar el caudal del agua captada por el techo, se determina el caudal en el techo. El abastecimiento máximo se da en el mes de Agosto por lo que se calcula con dicho valor.

4. Caudal en área de captación. Acumulación en agosto:  $11.7m^3/\text{mes}$ , para esto se tomó el mes que presentaba mayor acumulación de lluvia, de este mes se determinó la cantidad de días que presentan precipitación a partir de los datos de INSIVUMEH y luego se hizo un aproximado de las horas de lluvia al día para luego determinar el caudal que sería recibido por segundo.

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{11.7m^3}{\text{mes}} * \frac{1\text{mes}}{21.75 \text{ días}} * \frac{1\text{día}}{4 \text{ horas}} * \frac{1 \text{ hora}}{3,600s} = 3.74 \times 10^{-5} m^3/s \quad \text{Ecuación 20}$$

5. Volumen de tanque de primeras aguas. Para determinar el volumen del tanque para primeras aguas se requiere conocer el área de limpieza que incluye el área de captación y el área de las canaletas que conducen el agua.

$$\text{área de canaletas} = 9.00 \times 10^{-3} m^2$$

$$\text{área de captación} = 30.60 m^2$$

Según (UNATSABAR, 2011), para limpiar  $1m^2$  se requiere de 1L de agua. Por lo que el área total de limpieza es la suma del área de canaletas y del techo.

$$\text{área total} = \text{área de canaletas} + \text{área de captación} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$\text{área total} = 9.00 \times 10^{-3} m^2 + 30.60 m^2 = 30.61 m^2$$

Sabiendo que la relación de limpieza es 1L de agua para 1m<sup>2</sup> de superficie.

$$\text{Volumen de tanque} = 30.61\text{m}^2 * \left(\frac{1\text{L}}{1\text{m}^2}\right) = 30.61\text{L} \quad \text{Ecuación 22}$$

6. Determinación de demanda de agua. Una persona promedio consume de 100-150L/día considerándose un consumo normal. El agua captada puede tener uso para limpieza lo cual requiere de aproximadamente 10L y se destinan 100L a otras actividades. De esta manera se determinó una demanda diaria de 100L, por lo que la demanda de agua al mes es:

$$110 \frac{\text{L}}{\text{día}} * \left(\frac{30\text{días}}{1\text{mes}}\right) * \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}}\right) = 3.3 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \quad \text{Ecuación 23}$$

7. Volumen de tanque de almacenamiento El volumen de tanque de almacenamiento se realizó a partir de un balance de masa en donde se determinó la acumulación o captación de agua pluvial, la cantidad que sería demandada y la cantidad de agua sobrante. Esto se realizó para todos los meses del año utilizando los datos de la acumulación de lluvia mensual.

$$\text{Agua sobrante} = \text{agua precipitada disponible} - \text{agua para cubrir demanda}$$

Ecuación 24

Ejemplo del mes de Agosto, mes con mayor precipitación pluvial.

$$\text{Agua sobrante} = 11.7 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} - 3.3 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} = 8.4 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

Por lo que la acumulación diaria en el tanque sería,

$$8.4 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} * \left(\frac{1\text{mes}}{30\text{días}}\right) = 0.28 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ ó } 280 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

8. Sobredimensionamiento del tanque Fue necesario realizar un sobredimensionamiento del tanque debido que los meses de marzo y abril no cubren la demanda de agua.

$$\% \text{ de sobredimensionamiento} = \frac{\left(\frac{\sum \text{precipitación de meses que no cubren demanda}}{12 \text{ meses}}\right)}{\text{demanda mensual}} * 100\% \quad \text{Ecuación 25}$$

$$\% \text{ de sobredimensionamiento} = \frac{\left(\frac{2.37}{12 \text{ meses}}\right)}{3.3} * 100\% = 6\%$$

Con este dato se realiza de nuevo el dimensionamiento del volumen del tanque de almacenamiento con el porcentaje correspondiente de sobredimensionamiento. Los resultados se pueden observar en la Tabla 17.

Ejemplo del mes de Agosto, mes con mayor precipitación pluvial. Sabiendo el volumen del tanque es 0.28m<sup>3</sup>/día se calcula el 6% de sobredimensionamiento de este.

Por lo que la acumulación diaria en el tanque sería,

$$0.28 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + \left(0.28 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 6\%\right) = 0.297 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ ó } 297 \frac{\text{L}}{\text{día}} \quad \text{Ecuación 26}$$

Para determinar el volumen se utiliza el resultado del mes que presenta mayor precipitación, siendo este el mes de Agosto. Por lo que el volumen del tanque es de  $0.297\text{m}^3$ .

#### 9. Elaboración del tanque de primeras aguas



Tanque de primeras aguas

Se selecciona el volumen adecuado de acuerdo al volumen necesario para limpiar el área de captación de lluvia. En este trabajo se utilizó un tanque de 55L.



Se perforaron 2 agujeros: uno en la parte baja para la salida de agua y uno en la parte superior para la entrada de agua que viene de las canaletas.

El agujero se realizó con un barreno, utilizando brocas menores a  $\frac{3}{4}$ "', una vez se tuvo el agujero se raspó con lima hasta lograr colocar los adaptadores correspondientes.



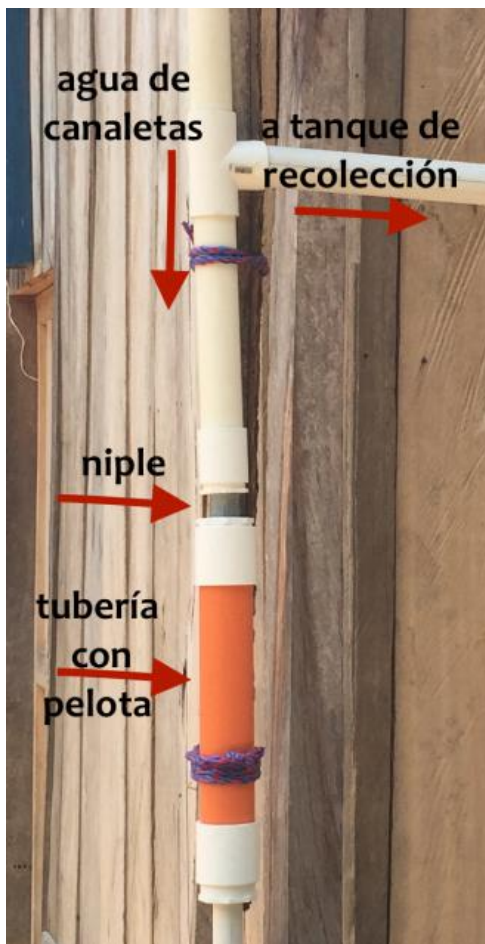
Se colocó un adaptador macho y se unió con un adaptador hembra para que quedara ajustado. Entre estos dos adaptadores se colocó un hule para que funcionará como empaque, luego estos se pegaron con silicón para asegurarlos y evitar fugas de agua.



En el agujero inferior se colocó una válvula para que en su momento el barril sea vaciado.



En el agujero superior se colocó un tubo del mismo diámetro y un codo de 90°C para unirlo con la tubería que lleva el agua de las canaletas. Se colocó un tubo de 1 ½" para luego colocar una reducción de 1 ½" a 2". En este tubo se colocó la pelota de plástico, el tamaño del tubo y pelota era el adecuado para dejar pasar agua y que la pelota se pudiera mover dentro del mismo.



Luego se coloca una reducción para unir un niple que será de menor diámetro por lo que la pelota plástica no podrá pasar pero hará que el agua no siga bajando y la desviará hacia el tanque de almacenamiento.

## DATOS CALCULADOS

Tabla 46- Precipitaciones mensuales del año 2011 a 2015 (mm agua o L/m<sup>2</sup>)

Mes	Año					Promedio mensual
	2011	2012	2013	2014	2015	
Enero	96.3	197.5	106.3	114.4	229.3	148.8
Febrero	60.3	129.2	77.7	196.3	144.1	121.5
Marzo	107.7	58.0	51.7	96.7	250.7	113.0
Abril	8.3	36.0	9.2	98.1	51.0	40.5
Mayo	100.0	175.6	157.5	225.5	34.4	138.6
Junio	214.9	288.5	1052.0	137.3	146.2	367.8
Julio	193.5	188.1	1202.0	192.7	143.0	383.9
Agosto	223.5	142.3	1112.0	224.6	—	425.6
Septiembre	311.5	193.4	704.5	339.0	—	387.1
Octubre	231.6	294.3	189.0	378.7	—	273.4
Noviembre	113.9	113.6	167.5	296.6	—	172.9
Diciembre	122.7	72.2	267.5	231.0	—	173.4

Tabla 47- Determinación de caudal en canaleta

Largo	0.09	±	5.00E-04
Ancho	0.10	±	5.00E-04
Área	9.00E-03	±	7.47E-03
Altura de llenado	6.50E-02	±	5.00E-04
Perímetro mojado	0.29	±	7.07E-04
Radio hidráulico	3.10E-02	±	8.30E-01
Díámetro equivalente	1.24E-01	±	8.30E-01
Caudal	1.24E-01	±	1.34E+01

Tabla 48- Cantidad de días que presentan lluvia al mes

Mes	Año					Promedio mensual
	2011	2012	2013	2014	2015	
Enero	12	19	22	17	25	19
Febrero	14	18	8	17	12	14
Marzo	13	12	12	9	15	12
Abril	8	9	6	17	7	9
Mayo	8	18	11	17	9	13
Junio	19	25	21	15	25	21
Julio	27	25	23	17	12	21
Agosto	21	24	21	21	—	22
Septiembre	23	21	17	24	—	21
Octubre	18	24	22	24	—	22
Noviembre	18	23	17	18	—	19
Diciembre	19	16	20	22	—	19

Tabla 49- Caudal en área de captación

Mes	Promedio de días llovidos al mes	Acumulación de lluvia (m <sup>3</sup> /mes)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
Enero	19	4.1	1.50E-05
Febrero	14	3.3	1.68E-05
Marzo	12	3.1	1.77E-05
Abril	9	1.1	8.24E-06
Mayo	13	3.8	2.10E-05
Junio	21	10.1	3.35E-05
Julio	21	10.6	3.53E-05
Agosto	22	11.7	3.74E-05
Septiembre	21	10.7	3.48E-05
Octubre	22	7.5	2.38E-05
Noviembre	19	4.8	1.74E-05
Diciembre	19	4.8	1.72E-05

Tabla 50- Determinación de agua sobrante en tanque de almacenamiento

Mes	Precipitación (m <sup>3</sup> /mes)	Agua para cubrir demanda (m <sup>3</sup> /mes)	Agua sobrante (m <sup>3</sup> /mes)	Agua sobrante (m <sup>3</sup> /día)
Enero	4.1	3.3	0.80	0.03
Febrero	3.3	3.3	0.05	0.00
Marzo	3.1	3.3	-0.19	-0.01
Abril	1.1	3.3	-2.18	-0.07
Mayo	3.8	3.3	0.52	0.02
Junio	10.1	3.3	6.83	0.23
Julio	10.6	3.3	7.27	0.24
Agosto	11.7	3.3	8.42	0.28
Septiembre	10.7	3.3	7.36	0.25
Octubre	7.5	3.3	4.23	0.14
Noviembre	4.8	3.3	1.46	0.05
Diciembre	4.8	3.3	1.47	0.05

Tabla 51- Sobredimensionamiento en tanque de almacenamiento

Mes	Precipitación (m <sup>3</sup> /mes)	Agua para cubrir demanda (m <sup>3</sup> /mes)	Agua sobrante (m <sup>3</sup> /mes)	Sobredimensión 6% (m <sup>3</sup> /día)
Enero	4.1	3.3	0.80	0.03
Febrero	3.3	3.3	0.05	0.00
Marzo	3.1	3.3	-0.19	-0.01
Abril	1.1	3.3	-2.18	-0.08
Mayo	3.8	3.3	0.52	0.02
Junio	10.1	3.3	6.83	0.24
Julio	10.6	3.3	7.27	0.26
Agosto	11.7	3.3	8.42	0.30
Septiembre	10.7	3.3	7.36	0.26
Octubre	7.5	3.3	4.23	0.15
Noviembre	4.8	3.3	1.46	0.05
Diciembre	4.8	3.3	1.47	0.05

Tabla 52- Resultado de análisis de agua en duplicado

Característica	muestra 1	muestra 2	Promedio
turbiedad (NTU)*	3	2	3
pH	7.61	7.61	7.61
*Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).			

## B. Diseño Bomba de ariete

### 1. Cálculos realizados

Cálculo 1 – Determinación del área transversal de la tubería utilizada.

$$A = \pi * D \quad (\text{Ecuación 8})$$

Diámetro nominal de tubería (m [in])	Diámetro interno de tubería utilizados (m)	Área transversal (m <sup>2</sup> )
0.038 [1.50]	0.044	1.50E-03
0.032 [1.25]	0.038	1.14E-03
0.025 [1.00]	0.030	7.16E-04
0.019 [0.75]	0.024	4.39E-04
0.013 [0.50]	0.017	2.16E-04

Cálculo 2 – Determinación de la velocidad de flujo en tubería

Conociendo que en todos los puntos de la tubería se tuvo un flujo volumétrico de 1.58E-04 m<sup>3</sup>/s, entonces se tiene que:

$$V = Q/A \quad (\text{Ecuación 9})$$

Diámetro nominal de tubería (m [in])	Área transversal (m <sup>2</sup> )	Velocidad del flujo (m/s)
0.038 [1.50]	1.50E-03	1.06E-01
0.032 [1.25]	1.14E-03	1.39E-01
0.025 [1.00]	7.16E-04	2.21E-01
0.019 [0.75]	4.39E-04	3.61E-01
0.013 [0.50]	2.16E-04	7.32E-01

## Cálculo 3 – Determinación del régimen de flujo

Considerando que la densidad del agua a condiciones normales es  $1000 \text{ kg/m}^3$  y su viscosidad es de  $8.90\text{E-}04 \text{ Ns/m}^2$ , utilizando la Ecuación 1 se obtiene:

Diámetro nominal de tubería (m [in])	Velocidad del flujo (m/s)	Número de Reynolds
0.038 [1.50]	1.06E-01	5.19E+03
0.032 [1.25]	1.39E-01	5.94E+03
0.025 [1.00]	2.21E-01	7.50E+03
0.019 [0.75]	3.61E-01	9.59E+03
0.013 [0.50]	7.32E-01	1.37E+04

Por consiguiente se determina que en todas las tuberías el flujo fue turbulento

## Cálculo 4 – Determinación de las pérdidas de energía en la tubería de captación de agua por fricción

Tomando únicamente la pérdida de energía por fricción en tubería de la Ecuación 5 se tiene:

$$h_{ff} = \left(4f \frac{L}{D}\right) \frac{V^2}{2} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Se sabe empíricamente que el factor de fricción se puede calcular para flujos turbulentos como:

$$f = 0.026 * \left(\frac{k}{D}\right)^{0.24} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Considerando que el factor de rugosidad  $k$  es cero para las tuberías plásticas, se tiene:

$$h_{ff} = \left(4 * 0 * \frac{L}{D}\right) \frac{V^2}{2} = 0$$

Por tanto la pérdida de energía por fricción para toda la tubería puede considerarse nula.

## Cálculo 5 – Pérdidas de energía debido a las contracciones realizadas en la tubería

Con base en la Ecuación 6 se tiene que el factor  $K_c$  para las diferentes contracciones es el siguiente:

Diámetro nominal de tubería (m [in])	$K_c$
0.038 [1.50]	-
0.032 [1.25]	0.0950
0.025 [1.00]	0.1492
0.019 [0.75]	0.1551
0.013 [0.50]	0.2026

Tomando únicamente el término de pérdida de energía por contracciones bruscas en tubería de la Ecuación 5 se tiene:

$$h_f = (K_c) \frac{V^2}{2} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Diámetro nominal de tubería (m [in])	Kc	Pérdida de energía (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )
0.038 [1.50]	-	-
0.032 [1.25]	0.0950	9.14E-04
0.025 [1.00]	0.1492	3.65E-03
0.019 [0.75]	0.1551	1.01E-02
0.013 [0.50]	0.2026	5.43E-02
Pérdida total		6.90E-02

#### Cálculo 6 – Determinación de la pérdida de energía por accesorios

Según McCabe (2007), los factores  $K_f$  para los accesorios utilizados son los siguientes:

Accesorio	$K_f$
Codo estándar 90°	0.75
T en líneas rectas	0.4
T usada como codo	1.0
Válvula de compuerta completamente abierta	0.17

Considerando el término de la Ecuación 5 para pérdidas por accesorios se tiene para la bomba monopulsor propuesta la siguiente caída de presión:

Cantidad	Accesorio	$K_f$	Velocidad (m/s)	Pérdida de energía (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )
1	Codo estándar 90°	0.75	7.32E-01	2.01E-01
2	T en líneas rectas	0.4	7.32E-01	2.14E-01
2	T usada como codo	1.0	7.32E-01	5.36E-01
1	Válvula de compuerta completamente abierta	0.17	7.32E-01	4.55E-02
Total				9.97E-01

Para la bomba multipulsor que se propuso (3 pulsos), se tiene la siguiente caída de presión

Cantidad	Accesorio	$K_f$	Velocidad (m/s)	Pérdida de energía (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )
1	Codo estándar 90°	0.75	7.32E-01	2.01E-01
4	T en líneas rectas	0.4	7.32E-01	4.29E-01
4	T usada como codo	1.0	7.32E-01	1.07E+00
3	Válvula de compuerta completamente abierta	0.17	7.32E-01	1.37E-01
Total				1.84E-00

#### Cálculo 7 – Determinación de la pérdida de energía total en la línea

Con base en la Ecuación 5, y sumando los factores previamente calculados se tiene que la pérdida de energía para la bomba monopulsor es la siguiente:

$$h_f = \left(4f \frac{L}{D} + K_c + K_e + K_f\right) \frac{V^2}{2} = 0 + 6.90E - 02 + 9.97E - 01 = 1.07 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

De igual forma para la bomba multipulsor propuesta se tiene:

$$h_f = 0 + 6.90E - 02 + 1.84 = 1.91 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Cálculo 8 – Determinación de la caída de presión en la línea de distribución

Tomando la Ecuación 4, despejando para el cambio de presión en el sistema, se tiene:

$$\left(g(Z_a - Z_b) + \frac{(u_a^2 - u_b^2)}{2} + h_{ff}\right) * \rho = p_b - p_a = \Delta p \quad (\text{Ecuación 13})$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\left(0.45 \text{ m} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + \frac{(7.32E - 01 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 - (1.06E - 01 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} + 1.07 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\right) * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 5,742 \text{ Pa} = 5.742 \text{ kPa}$$

Cálculo 9 – Velocidad de propagación de onda en el golpe de ariete

Tomando el cálculo de Celeridad, se tiene:

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + \lambda * \frac{D}{k}}} = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + 33 * \frac{0.0166}{0.00237}}} = 592.23 \text{ m/s}$$

Cálculo 10 – Tiempo estimado de acción de la bomba

$$T = 2 * \frac{L}{C} = 2 * \frac{4.7 \text{ m}}{592.23 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0.015 \text{ s}$$

Al observarse la realización de aproximadamente un ciclo por segundo, se considera un tiempo retardado de acción de la bomba.

Cálculo 11 – Determinación del flujo de operación esperado

Tomando en cuenta la relación presentada por Gutierrez (2013) de relación de altura de captación y descarga, se tiene:

$$\frac{h}{H} = \frac{4.5 \text{ m}}{0.45 \text{ m}} = 10$$

Tomando la eficiencia mostrada por Gutierrez (2013) del Cuadro 1 del marco teórico se tiene un estimado de 0.43, por lo que para un caudal de alimentación de 1.58E-04 m<sup>3</sup>/s se tiene:

$$Q = \eta * \frac{Q_0}{h/H} = 0.43 * \frac{1.58E - 04 \text{ m}^3/\text{s}}{10} = 6.81 E - 06 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo 12 – Eficiencia de la bomba desarrollada respecto a la bomba operación de una bomba de diseño y fabricación industrial

$$\eta = \frac{Q_{\text{desarrollado}}}{Q_{\text{Ideal}}} * 100\% = \frac{4.07E - 06 \frac{m^3}{s}}{6.81E - 06 \frac{m^3}{s}} * 100\% = 59.75\%$$

### C. Diseño bomba de pistón

#### Cálculos de muestra

Todos los cálculos realizados a continuación son en base al diagrama del sistema de bombeo que está en el plano 6.

#### Determinación de la velocidad en la succión (Punto a al punto b)

Se tienen los siguientes datos que son una presión en el tanque igual a la atmosférica ( $P_a=101,325$  Pa), la succión tiene una longitud de 0.25 m por lo que  $Z_a=0$ m y  $Z_b=0.25$ m. También se sabe que la velocidad en el tonel es de 0 m/s y se desea conocer la velocidad en el punto b. Se usó la ecuación.

El primer paso es el cálculo de la presión generada por la bomba en el punto b.

#### Cálculo No. 1: Determinación de la presión de succión

$$P = \rho \times g \times h = 998 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times (0.2500 \pm 0.0005)m = 2,447.60 \frac{kg}{m \times s}$$

$$= -(2,447.60 \pm 4.90)Pa + 101,325 Pa = 98,877.41 \pm 4.90 Pa$$

Debido a que ya se conocen todos los datos en la ecuación de Bernoulli, solamente se debe despejar para la velocidad en el punto b

#### Cálculo No. 2: Velocidad del agua en el punto b

De la ecuación se sabe que la ecuación de Bernoulli es:

$$\frac{P_a}{\rho} + gZ_a + \frac{U_a^2}{2} = \frac{P_b}{\rho} + gZ_b + \frac{U_b^2}{2}$$

Despejando para la velocidad en el punto b y sustituyendo datos se tiene:

$$U_b = \sqrt{2 \times \left( \frac{P_a - P_b}{\rho} + g(Z_a - Z_b) + \frac{U_a^2}{2} \right)}$$

$$= \sqrt{2 \times \left( \frac{98,877.41 \pm 4.90 Pa}{998 \frac{kg}{m^3}} + 9.81 \frac{m}{s^2} (-(0.2500 \pm 0.0005) m) \right)} = 13.9013 \pm 0.0003 m/s$$

El siguiente paso fue calcular todas las caídas de presión que tiene el fluido al pasar por todos los accesorios. A continuación se presenta el cálculo para todos los accesorios que se tienen a la entrada de la bomba de pistón.

Se calculó primero la reducción en la velocidad del fluido por el codo de 90° que está luego de la succión.

Cálculo No. 3: Fricción de los accesorios

A partir de la tabla No. 1 en el marco teórico, se conoce el coeficiente  $K_f$  para un codo de 90°. Luego se calcula el factor  $h_{ff}$  de la ecuación así:

$$h_{ff} = K_f \times \frac{U^2}{2} = 0.75 \times \frac{(13.9013 \pm 0.0003 \text{ m/s})^2}{2} = 72.4673 \pm 0.0015 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

\*Los demás cálculos por fricción de los accesorios realizados, se realizaron de la misma forma. La velocidad (U) es la velocidad promedio del fluido y  $K_f$  varía según la cantidad y los accesorios que hayan.

Para conocer la velocidad del agua, se utiliza la ecuación de Bernoulli agregándole el coeficiente de fricción  $h_f$ . El coeficiente toma en cuenta las pérdidas por contracción, expansión, accesorios y la tubería, respectivamente.

$$h_f = h_{fc} + h_{fe} + h_{ff} + h_{fs}$$

$$\frac{P_b}{\rho} + gZ_b + \frac{U_b^2}{2} = \frac{P_c}{\rho} + gZ_c + \frac{U_c^2}{2} + h_f$$

Los puntos tomados en cuenta para este caso son el b y el c. Se supone una presión constante ( $P_b = P_c$ ), que no hay ninguna diferencia de altura ( $Z_b = Z_c$ ) y que la velocidad en b es  $U_b = 13.99 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , se despeja para la velocidad en c y se sustituyen valores

$$U_c = \sqrt{2 \times \left( \frac{U_b^2}{2} - h_f \right)}$$

$$= \sqrt{2 \times \left( \frac{(13.9013 \pm 0.0003 \text{ m/s})^2}{2} - 72.4673 \pm 0.0015 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right)} = 6.9506 \pm 0.0007 \text{ m/s}$$

Lo siguiente fue calcular la velocidad del agua al momento de entrar en la bomba de pistón. Los accesorios son: tubo de PVC de 0.012 m (1/2 in) de diámetro y 2.75 m de largo, 2 uniones, 1 adaptador hembra de 0.021 m (3/4 in), 1 adaptador macho de 0.021 m (3/4 in), 1 reductor de 0.021 m (3/4 in) a 0.012 m (1/2 in), 2 adaptadores macho de 0.012 m (1/2 in) y una válvula de cheque de 0.012 m (1/2 in).

Los puntos de interés en este caso es del c al d. Debido a que no se encontró el factor  $K_f$  para los adaptadores macho y hembra, se les da el mismo factor que los acoples. Los demás factores se encuentran en la tabla 1 del marco teórico.

Se realiza el mismo procedimiento que en el cálculo No. 3. Las condiciones son no hay cambio de altura ( $Z_c = Z_d$ ) y la velocidad en c es  $U_c = 6.9506 \pm 0.0007 \text{ m/s}$ . Se despeja para la velocidad nuevamente.

Debido a que se tienen expansiones por los accesorios se presenta el cálculo de éste:

Cálculo No. 4: Cálculo para la expansión en una tubería de 0.012 m (1/2 in) a 0.021 m (3/4 in), utilizando la ecuación:

$$K_e = \left(1 - \frac{S_a}{S_b}\right)^2 = \left(1 - \frac{\frac{\pi(D_a)^2}{4}}{\frac{\pi(D_b)^2}{4}}\right)^2 = \left(1 - \frac{\frac{\pi(0.0120 \pm 0.0005 \text{ m})^2}{4}}{\frac{\pi(0.021 \pm 0.0005 \text{ m})^2}{4}}\right)^2 = 0.4536 \pm 0.0218$$

$$h_{fe} = K_e \times \frac{U^2}{2} = 0.4536 \pm 0.0218 \times \frac{(5.4735 \pm 0.0007 \text{ m/s})^2}{2} = 6.7987 \pm 0.3263 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

El coeficiente de fricción ahora sería la suma de la fricción por los accesorios más la de la expansión. La velocidad se determina de la ecuación de Bernoulli. Hay que tomar que la presión no es constante y por eso se incluye su factor.

$$U_d = \sqrt{2 \times \left( \frac{P_c - P_d}{\rho} + \frac{U_c^2}{2} - h_f \right)}$$

$$= \sqrt{2 \times \left( \frac{92,909.19 \pm 9.7904 \text{ Pa}}{998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + \frac{(6.9506 \pm 0.0007 \text{ m/s})^2}{2} - 105.9695 \pm 5.4878 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right)}$$

$$U_d = 4.7501 \pm 0.2460 \text{ m/s}$$

Para el cálculo del punto d al e, lo único diferente es la inclusión del factor de fricción por una contracción que se tiene por el reductor de 0.021 m (3/4 in) a 0.012 m (1/2 in).

Cálculo No. 5: Contracción en una tubería

$$K_c = 0.4 \times \left(1 - \frac{S_b}{S_a}\right) = 0.4 \times \left(1 - \frac{\frac{\pi(0.0120 \pm 0.0005 \text{ m})^2}{4}}{\frac{\pi(0.0210 \pm 0.0005 \text{ m})^2}{4}}\right) = 0.2694 \pm 0.0129$$

El coeficiente se calcula así

$$h_{fc} = K_c \times \frac{U^2}{2} = 0.2694 \pm 0.0129 \times \frac{(11.6915 \pm 0.2460 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} = 18.4113 \pm 0.8836 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

\*Se siguen los mismos cálculos para la determinación de las velocidades restantes del agua bombeada.

Todos los datos se presentan en la parte de datos calculados.

Cálculo No. 6 Eficiencia de la bomba de pistón

Conociendo la velocidad de la salida teórica, se determinó la eficiencia en base a esta velocidad y la determinada con el caudal real medido experimentalmente

$$Eficiencia = \frac{0.1773 \pm 0.0011 \frac{m}{s} \times 100}{0.4183 \pm 0.0615 \frac{m}{s}} = 42.3842 \pm 6.2416\%$$

#### Datos experimentales

Tabla 53 Valores experimentales de operación de la bomba

Descripción	Valor
Altura de succión máxima	0.2500±0.0005 m
Altura de descarga máxima	1.6200±0.0005 m

Tabla 54 Datos experimentales para determinar el caudal de la bomba

Volumen	Tiempo llenado (s)
850 mL	10.65±0.01
850 mL	10.32±0.01
850 mL	10.54±0.01

\*La medición de caudal se realizó en el mes de octubre, con el mismo trasto

Tabla 55 Aforo del volumen del trasto utilizado

Prueba	Volumen
1	950±5 mL (Error
2	850±5 mL
3	850±5 mL

\*Se usó una probeta graduada para determinar el volumen del trasto usado para medir el caudal

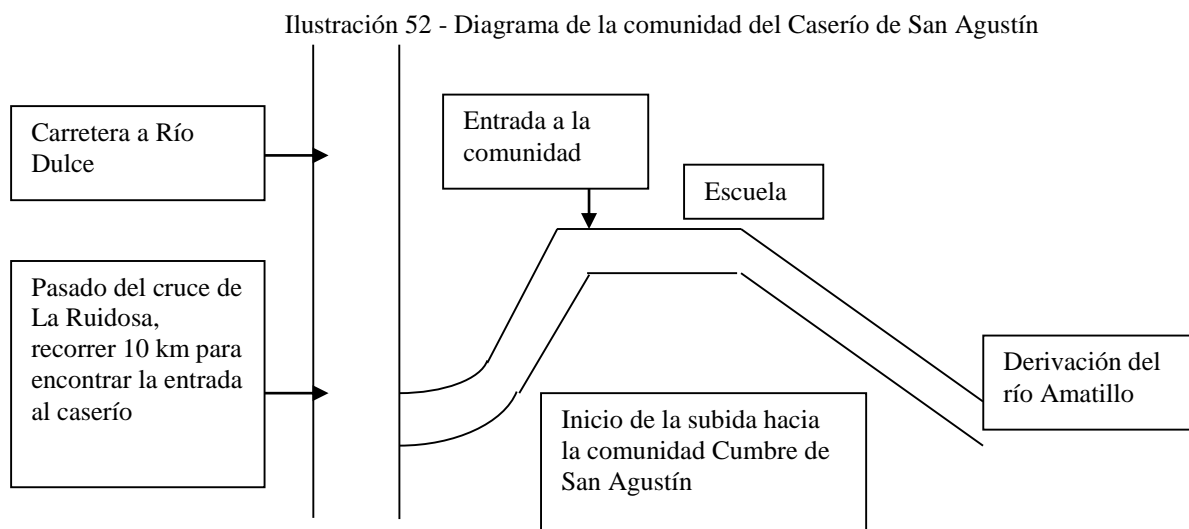
#### Datos calculados

Tabla 56 Datos teóricos calculados para la bomba de pistón

Descripción	Valor
Velocidad punto b	13.9013 ± 0.0003 m/s
Coefficiente fricción punto b al c	72.4673 ± 0.0015 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Velocidad punto c	6.9506 ± 0.0007 m/s
Coefficiente fricción punto c al d	105.9695 ± 5.4878 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Velocidad punto d	4.7501 ± 0.2460 m/s
Velocidad punto e	16.3829 ± 0.9571 m/s
Coefficiente fricción punto e al f	214.5617 ± 11.2429 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Velocidad punto f	6.1178 ± 0.4801 m/s
Coefficiente fricción punto f al g	142.0267 ± 15.7778 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Velocidad punto g	0.4183 ± 0.0615 m/s

## Instalación de la bomba

A continuación se presenta un diagrama para la ubicación de la comunidad de Cumbre de San Agustín



La bomba de pistón fue instalada en un terreno que está 6 m arriba de la derivación del río Amatillo en la comunidad

Cumbre de San Agustín. En el mismo terreno se encuentran dos casas y un gran terreno plano, que será el lugar en donde se dejará el tanque de almacenamiento.

El terreno con el que se cuenta es de tierra y tiene muchas irregularidades. Fue necesario realizar una estructura de hierro similar a una mesa, para que la bomba tuviera un lugar donde apoyarse y que fuera plano.

Fue necesario hacer agujeros de 31 cm de profundidad, para que la bomba estuviera al mismo nivel que el tonel usado para recolectar el agua de la derivación del río. La distancia desde el tonel que recolecta el agua del río hacia la entrada de la bomba es de 2.75 m y la distancia desde la salida de la bomba hasta el tonel que recolecta el agua bombeada es de 14 m. La cabeza total es de 1.37 m.

Toda el agua bombeada se usará solamente para el lavado de ropa. Actualmente se está averiguando si la municipalidad de Morales o la Universidad del Valle de Guatemala puede donar una pila, para el beneficio de la comunidad.

## Costo detallado de la estructura de metal

Tabla 57 Materiales y precio para la estructura de metal

Cantidad	Unidad medida	Nombre	Precio	Precio unitario
12	m	Tubería perfil cuadrado	Q130.00	Q10.83
1	Lb	Electrodo punto café 6013, 3/32"	Q10.74	Q10.74
1	Pliego	Lija de agua No. 100	Q2.95	Q2.95
1	Lb	Wipe	Q10.00	Q10.00
0.25	galón	Pintura anticorrosiva	Q47.48	Q189.90
Costo total			Q201.17	

Tabla 58 Materiales y precios para la construcción de la bomba de pistón

Cantidad	Unidad medida	Nombre	Precio	Precio unitario
21	Pz	Copla 1/2" PVC	Q21.00	Q1.00
1	Pz	Copla 1 1/4" PVC	Q3.00	Q3.00
4	Pz	Adaptador macho 3/4" PVC	Q6.00	Q1.50
1	Pz	Reducidor bushing 1 a 3/4 c/rosca PVC	Q7.50	Q7.50
1	Pz	Tapón macho 3/4 c/rosca PVC	Q5.25	Q5.25
10	Pz	o-ring fraccional	Q20.00	Q2.00
1	Pz	Tapón hembra 1" liso PVC	Q2.25	Q2.25
1	Pz	Tapón hembra 1 1/4" liso PVC	Q3.00	Q3.00
1	pz	Tee 1" liso PVC	Q3.50	Q3.50
2	pz	Adaptador hembra 3/4" PVC	Q4.00	Q2.00
3	pz	Codo 1/2" liso PVC	Q2.00	Q0.67
1	pz	tee 3/4" liso PVC	Q2.00	Q2.00
2	m	Tubo de 1" PVC	Q13.00	Q6.50
2	m	Tubo de 1 1/4" PVC	Q17.00	Q8.50
8	pz	Adaptador macho 3/4" PVC	Q12.00	Q1.50
2	m	Tubo 3/4" PVC	Q9.50	Q4.75
2	pz	Válvula cheque	Q68.00	Q34.00
17	m	Tubo de 1/2" PVC	Q42.50	Q2.50
1	bote	Pegamento PVC	Q40.00	Q40.00
Costo total			Q281.50	

## D. Diseño de sedimentador

### 1. Datos originales

Tabla 59 - Pruebas de sedimentador a lo largo del tiempo con una solución de 400 ppm de jabón

Prueba	Inicial	1 hora	2 horas	3 horas	30 horas
SST ( $\pm 1$ mg/L)	101	44	43	42	40
SO <sub>4</sub> ( $\pm 0.1$ mg/L)	79	78	78	77	76
PO <sub>4</sub> ( $\pm 0.01$ mg/L)	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
NO <sub>3</sub> ( $\pm 0.1$ mg/L)	1	3.4	1.1	0.2	0.9
pH ( $\pm 0.01$ )	8.26	8.22	8.09	8.04	8.22
T ( $\pm 0.1$ °C)	25.9	25.7	22.4	23.8	21

Tabla 60 - Pruebas de sedimentador a lo largo del tiempo con una solución de 200 ppm de jabón

Parámetro	Inicial	1 hora	2 horas	3 horas	4 horas
SST ( $\pm 1$ mg/L)	167	63	31	31	31
SO <sub>4</sub> ( $\pm 0.1$ mg/L)	33	32	31	31	29
PO <sub>4</sub> ( $\pm 0.01$ mg/L)	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
NO <sub>3</sub> ( $\pm 0.1$ mg/L)	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
pH ( $\pm 0.01$ )	8.11	8.08	8.15	8.09	8.08
T ( $\pm 0.1$ °C)	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3

## 2. Cálculos

El tiempo de residencia para un sedimentador de aguas grises provenientes de duchas y pilas se determinó a partir de dos pruebas. La primera con una alta concentración de jabón de 400 ppm y la segunda con una concentración 200 ppm. El tiempo de residencia que se determinó fue de 4 horas, ya que después de esta hora no hay cambio. Además, se diseñó en base al máximo caudal de aguas grises a tratar cuando el sistema esté limpio, el cual se determinó en el diseño de las duchas y pilas, el cual es de 440 L/ hora.

El volumen del tanque sedimentador se calcula con la siguiente ecuación:

$$q = \frac{V}{\bar{t}}$$

Ecuación 3

En donde, q = caudal de entrada al sedimentador de aguas grises

V = volumen de sedimentador

t = tiempo de residencia promedio del agua gris

Despejando la Ecuación para el volumen:

$$V = q\bar{t} = \left(\frac{440 \text{ L}}{\text{hora}}\right) (4 \text{ horas}) = 1760 \text{ L} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 1.76 \text{ m}^3$$

Tomando un factor de sobredimensionamiento de 10%:

$$V = 1.76 \text{ m}^3 + (1.76 \text{ m}^3 * 0.10) = 1.94 \text{ m}^3$$

## 3. Datos intermedios

Tabla 61 - Porcentaje de remoción de contaminantes de un sedimentador

Parámetro	% Remoción prueba 1		% Remoción prueba 2		Promedio %	
SST	60.40	± 1.62	81.44	± 2.67	70.92	± 2.07
SO <sub>4</sub>	3.80	± 0.02	12.12	± 0.18	7.96	± 0.41
PO <sub>4</sub>	0.00	± 0.11	0.00	± 0.09	0.00	± 0.10
NO <sub>3</sub>	10.00	± 4.73	50.00	± 17.68	30.00	± 6.99
% Variación pH	0.48	± 0.08	0.37	± 0.06	0.43	± 0.39

## E. Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes variando el tamaño de partícula del lecho de un biofiltro con 1.5 y 3 cm

### 1. Datos originales

Tabla 62 - Caracterización afluente de agua a biofiltro variando el tamaño de partícula a 1.5 y 3 cm

Prueba No.	Sulfatos, SO <sub>4</sub> (± 0.1 mg/L)	Fosfatos, PO <sub>4</sub> (± 0.01 mg/L)	Nitratos, NO <sub>3</sub> (± 0.1 mg/L)	Demanda biológica oxígeno (± 0.01 mg/L)	pH (± 0.01)
1	20.0	2.75	15.6	661.00	8.15
2	19.5	2.75	22.4	511.50	8.12
3	21.0	2.75	23.4	412.20	8.24

Tabla 63 - Pruebas a efluente de agua de biofiltro variando el tamaño de partícula a 1.5 y 3 cm

Fecha	Pruebas	Biofiltro 1.5cm (2)	Biofiltro 1.5 cm (3)	Biofiltro 3cm (2)	Biofiltro 3cm (3)
Día 6 (01/08/2015)	SO <sub>4</sub> (±0.1 mg/L)	17	0	0	0
	NO <sub>3</sub> (±0.1 mg/L)	7.3	0	0.8	0
	PO <sub>4</sub> (±0.01 mg/L)	2.75	2.75	2.75	2.75
	pH (±0.01)	7.97	8.03	7.54	7.82
Día 12 (07/08/2015)	SO <sub>4</sub> (±0.1 mg/L)	28	13	11	9
	NO <sub>3</sub> (±0.1 mg/L)	2.7	0.6	11.8	1
	PO <sub>4</sub> (±0.01 mg/L)	2.75	2.75	2.75	2.75
	pH (±0.01)	7.28	8.04	8.05	8.1
	DBO	196	163	108	117
Día 19 (14/08/2015)	SO <sub>4</sub> (±0.1 mg/L)	25	12	9	5
	NO <sub>3</sub> (±0.1 mg/L)	35	35	35	33
	PO <sub>4</sub> (±0.01 mg/L)	2.75	2.75	2.75	2.75
	pH (±0.01)	8.3	7.18	7.77	9.25
Día 27 (21/08/2015)	SO <sub>4</sub> (±0.1 mg/L)	11	8	17	21
	NO <sub>3</sub> (±0.1 mg/L)	35	35	35	35
	PO <sub>4</sub> (±0.01 mg/L)	2.75	2.75	2.75	2.75
	pH (±0.01)	7.43	7.77	7.24	7.23
	DBO	138	135	166	132

## 2. Cálculos

### 1) Promedio de parámetros medidos en el tiempo de sulfatos

Se calculó el promedio de cada medida para las pruebas realizadas en duplicado de los biofiltros, a continuación se muestra el cálculo de sulfatos promedio para el biofiltro de 1.5 cm en el día 6:

$$SO_4 \text{ prom} = \frac{17 \pm 0.1 \frac{mg}{L} + 0 \pm 0.1 \frac{mg}{L}}{2} = 8.5 \pm 0.16 \frac{mg}{L}$$

Se realizó el mismo cálculo para los parámetros de remoción evaluados, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, pH y DBO, para todas las pruebas realizadas.

### 2) Porcentaje de remoción de contaminantes

Para el cálculo de la remoción de sulfatos (SO<sub>4</sub>), nitratos (NO<sub>3</sub>), fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) y demanda biológica de oxígeno (DBO) se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción} = 100\% - \frac{\text{Parámetro}_{\text{final}}}{\text{Parámetro}_{\text{inicial}}}$$

Ecuación 1

En donde, % Remoción = Porcentaje de remoción de contaminantes con respecto a resultados de análisis de agua residual en tomas de muestra.

Parámetro<sub>inicial</sub> = Valor del parámetro del afluente del agua residual del equipo que se está evaluando.

Parámetro<sub>final</sub> = Valor del parámetro del efluente del agua residual después de pasar por equipo que esta evaluando.

A continuación se presenta un ejemplo del cálculo de porcentaje de remoción de sulfatos utilizando el promedio de sulfatos en el efluente del biofiltro de 1.5 cm como parámetro final y el promedio del afluente al biofiltro como parámetro inicial.

$$\% \text{ Remoción} = 100\% - \frac{8.50 \pm 0.16 \frac{mg}{L}}{20.17 \pm 0.01 \frac{mg}{L}} = 57.85 \pm 2.71 \%$$

Se realizó el mismo cálculo para los parámetros de remoción evaluados, nitratos (NO<sub>3</sub>), fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) y demanda biológica de oxígeno (DBO), tanto para el biofiltro de 1.5 y 3 cm. Como también para todos los cálculos de remoción del sistema de tratamiento de aguas evaluado.

### 3) Cálculo demanda biológica de oxígeno

$$DBO = \frac{DBO_{\text{inicial}} - DBO_{\text{día5}}}{\text{dilución}}$$

$$DBO = \frac{6.7 - 4.74 \text{ mg/L}}{3 \text{ ml}/300 \text{ ml}} = 196 \text{ mg/L}$$

Se realizó el mismo cálculo para todas las pruebas de la demanda biológica de oxígeno.

## 4) Porcentaje de variación de pH

$$\% \text{ Variación} = \left( \frac{\text{Parámetro}_{\text{final}} - \text{Parámetro}_{\text{inicial}}}{\text{Parámetro}_{\text{inicial}}} \right) \times 100\%$$

Ecuación 2

En donde, % Variación = Porcentaje de variación del parámetro con respecto a resultados de análisis de agua residual en tomas de muestra consecutivas. A continuación se muestra un ejemplo para el promedio del biofiltro de 1.5 cm.

$$\% \text{ Variación} = \left( \frac{8.0 \pm 0.07 - 8.17 \pm 0.01}{8.17 \pm 0.01} \right) \times 100\% = 2.08 \pm 0.07\%$$

Se realizó el mismo cálculo para todas las pruebas de pH tanto del biofiltro de 1.5 cm como para el de 3 cm.

## 3. Datos calculados intermedios

Tabla 64 - Porcentaje de remoción promedio de sulfatos a lo largo del tiempo de biofiltros con tamaño de partícula de 1.5 y 3 cm

SO <sub>4</sub>					
Día	Influyente ± 0.1 mg/L	Promedio 1.5 cm (mg/L)	Promedio 3 cm (mg/L)	% Remoción 1.5 cm	% Remoción 3 cm
6	20.1667	8.50 ± 0.16	0.00 ± 0.01	57.85% ± 2.71%	100.00% ± 0.20%
12	20.1667	20.50 ± 0.21	10.00 ± 0.22	-1.65% ± -0.04%	50.41% ± 2.38%
19	20.1667	18.50 ± 0.21	7.00 ± 0.22	8.26% ± 0.21%	65.29% ± 4.32%
27	20.1667	9.50 ± 0.22	19.00 ± 0.22	52.89% ± 2.62%	5.79% ± 0.14%
<b>promedio</b>				29.34% ± 1.81%	55.37% ± 0.97%

Tabla 65 - Porcentaje de remoción promedio de nitratos a lo largo del tiempo de biofiltros con tamaño de partícula de 1.5 y 3 cm

NO <sub>3</sub>					
Día	Influyente ± 0.1 mg/L	Promedio 1.5 cm (mg/L)	Promedio 3 cm (mg/L)	%Remoción 1.5 cm	%Remoción 3 cm
6	20.4667	3.65 ± 0.16	0.40 ± 0.03	82.17% ± 8.95%	98.05% ± 0.20%
12	20.4667	1.65 ± 0.19	6.40 ± 1.05	91.94% ± 24.20%	68.73% ± 11.00%
19	20.4667	35.00 ± 0.32	34.00 ± 0.31	-71.01% ± -1.14%	-66.12% ± -1.08%
27	20.4667	35.00 ± 0.22	35.00 ± 0.22	-71.01% ± -0.96%	-71.01% ± -0.96%
<b>promedio</b>				8.02% ± 0.14%	7.41% ± 2.02%

Tabla 66 - Porcentaje de remoción promedio de fosfatos a lo largo del tiempo de biofiltros con tamaño de partícula de 1.5 y 3 cm

PO <sub>4</sub>					
Día	Influyente ± 0.1 mg/L	Promedio 1.5 cm (mg/L)	Promedio 3 cm (mg/L)	%Remoción 1.5 cm	%Remoción 3 cm
6	2.75	2.75 ± 0.22	2.75 ± 0.22	0.00% ± 0.00%	0.00% ± 0.20%
12	2.75	2.75 ± 0.22	2.75 ± 0.22	0.00% ± 0.00%	0.00% ± 0.00%
19	2.75	2.75 ± 0.22	2.75 ± 0.22	0.00% ± 0.00%	0.00% ± 0.00%
27	2.75	2.75 ± 0.22	2.75 ± 0.22	0.00% ± 0.00%	0.00% ± 0.00%
<b>promedio</b>				0.00% ± 0.15%	0.00% ± 0.19%

Tabla 67 - Porcentaje de remoción promedio de la demanda biológica de oxígeno a lo largo del tiempo de biofiltros con tamaño de partícula de 1.5 y 3 cm

DBO					
Día	Influyente ± 0.01 mg/L	Promedio 1.5cm (mg/L)	Promedio 3 cm (mg/L)	%Remoción 1.5 cm	%Remoción 3 cm
12	528.23	179.50 ± 0.08	112.50 ± 0.05	66.02% ± 0.10%	78.70% ± 0.16%
27	528.23	136.50 ± 0.07	149.00 ± 0.08	74.16% ± 0.14%	71.79% ± 0.13%
<b>Promedio</b>				70.09% ± 1.42%	75.25% ± 1.42%

Tabla 68 - Porcentaje de variación promedio del pH a lo largo del tiempo de biofiltros con tamaño de partícula de 1.5 y 3 cm

pH					
Día	Influyente ± 0.01	Promedio 1.5 cm	Promedio 3 cm	%Variación 1.5 cm	%Variación 3 cm
6	8.17	8.00 ± 0.07	7.68 ± 1.20	2.08% ± 0.07%	6.00% ± 0.20%
12	8.17	7.66 ± 0.08	8.08 ± 0.07	6.24% ± 0.23%	1.16% ± 0.04%
19	8.17	7.74 ± 0.19	8.51 ± 0.07	5.26% ± 0.30%	-4.16% ± -0.13%
27	8.17	7.60 ± 0.07	7.24 ± 0.74	6.98% ± 0.24%	11.44% ± 1.36%
<b>Promedio</b>				5.14% ± 2.88%	3.61% ± 3.30%

## F. Diseño de un biofiltro a escala planta piloto utilizando el mesocarpio del coco como lecho orgánico

Tabla 69 - Especificaciones de equipos para el tratamiento biológico de aguas grises

Equipo	Descripción
Tanque de alimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material: Tereftalato de polietileno</li> <li>- Capacidad: 18.9 L</li> <li>- Uso: Alimentación al biofiltro a un flujo muy lento</li> </ul>
Biofiltro con lecho orgánico como material filtrante	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material cilindro: Polimetilmetacrilato.</li> <li>- Dimensiones cilindro:               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Diámetro: 12.7 cm (5 pulgadas)</li> <li>o Altura: 1.84 m</li> </ul> </li> <li>- Dimensiones estructura metálica:</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Base: 48.5 cm</li> <li>o Ancho: 48.5 cm</li> <li>o Altura: 2.05 m</li> <li>- Material de empaque: Mesocarpo de Coco <i>Nucifera L.</i>, viruta de madera y piedrín.</li> <li>Uso: Tratamiento secundario de aguas grises</li> </ul>
Equipo	Descripción
Toma muestras	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material tanque: Polietileno</li> <li>- Capacidad: 20 L</li> <li>- Accesorios:               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Tubo PVC: ½ pulgada</li> <li>o 2 codos de 90° de PVC</li> </ul> </li> <li>Uso: Toma muestra del efluente de agua del biofiltro.</li> </ul>

### 1. Datos originales

Para establecer el caudal del influente al biofiltro se utilizó como base las cargas máximas permitidas por el tratamiento de agua residual en un biofiltro obtenida experimentalmente por el Dr. Marco Garzón – Zúñiga (Instituto Mexicano del Agua - IMTA).

Tabla 70 - Cargas máximas permitidas para un biofiltro, determinadas experimentalmente por IMTA

Tipo de operación	DBO (Kg/m <sup>2</sup> día)	SST (Kg/m <sup>2</sup> día)
Con aireación	0.32	0.05
Sin aireación	0.10	0.035

## 2. Cálculos

## 1) Área transversal del biofiltro

Se utiliza la ecuación del área de un círculo, tomando en cuenta que es un cilindro, a partir de un diámetro conocido:

$$A = \frac{1}{4}\pi D^2$$

Ecuación 4

En donde, A = Área transversal del biofiltro y D = diámetro interno del tubo de acrílico

$$A = \frac{1}{4}\pi(12.7 \pm 0.1\text{cm})^2 \left(\frac{1\text{ m}}{100\text{ cm}}\right)^2 = 0.0127 \pm 0.00015\text{ m}^2$$

## 2) Carga máxima permitida para el tratamiento de agua residual en el biofiltro

Como valor inicial de DBO se utiliza el promedio del resultado obtenido de la caracterización del agua a tratar para los biofiltros de 1.5 y 3 cm. Con este valor se asume un porcentaje de remoción del 25% de DBO en el sedimentador, por lo que el valor de DBO en el afluente al biofiltro sería de:

$$DBO_{\text{afluente}} = 0.75(DBO_{\text{inicial}})$$

Ecuación 5

En donde,  $DBO_{\text{afluente}}$  = DBO a la entrada del biofiltro y  $DBO_{\text{inicial}}$  = DBO a la entrada de la fosa séptica.

$$DBO_{\text{afluente}} = 0.75(528.23 \pm 0.01\text{ mg/L}) = 396.17 \pm 0.79\text{ mg/L}$$

A partir de los datos del cuadro anterior se obtiene la carga máxima permitida para el sistema sin aireación:

$$q = \frac{\left(0.10 \frac{\text{kg DBO}}{\text{m}^2 \text{ día}}\right) \left(\frac{1 \times 10^6 \text{ mg DBO}}{1 \text{ kg DBO}}\right)}{\left(396.17 \pm 0.79 \frac{\text{mg DBO}}{\text{L}}\right)} = 252.42 \pm 7.81 \frac{\text{L}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

Se realiza el mismo cálculo para determinar la carga máxima permitida con aireación y para el parámetro de sólidos suspendidos totales.

## 3) Caudal de afluente máximo a tratar en el biofiltro

Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q}{q}$$

Ecuación 27

Donde, A = Área transversal del biofiltro

Q = caudal de agua residual a tratar

q = carga máxima permitida, en L/m<sup>2</sup> día

Despejando la ecuación anterior para Q, en base a la carga máxima de DBO del afluente, sin aireación:

$$Q = Aq = (0.0127 \pm 0.00015m^2) \left( 252.42 \pm 7.81 \frac{L}{m^2 \text{ día}} \right) = 3.20 \pm 0.98 \frac{L}{\text{día}}$$

Con base en la carga máxima de SST del afluente, sin aireación:

$$Q = Aq = (0.0127 \pm 0.00015m^2) \left( 264.75 \pm 2.45 \frac{L}{m^2 \text{ día}} \right) = 3.35 \pm 0.35 \frac{L}{\text{día}}$$

Ya que el sistema trabaja sin aireación se escoge el limitante como parámetro de diseño, en este caso ambos son similares por lo que se decidió trabajar con el más bajo de  $3.20 \pm 0.98$  L/día. De igual forma se calculó el caudal del afluente de agua residual para un sistema con aireación.

### 3. Datos intermedios

Tabla 71 - Caudal máximo a tratar el biofiltro

Parámetro	DBO		SST	
	Con aireación	sin aireación	Con aireación	sin aireación
q (L/m <sup>2</sup> día)	807.72 ± 6.31	252.41 ± 7.81	377.93 ± 2.76	264.55 ± 2.45
Q (L/día)	10.23 ± 1.25	3.20 ± 0.98	4.79 ± 0.36	3.35 ± 0.35

## G. Caracterización del material filtrante

### 1) Datos originales

Tabla 72 - Largo, ancho y alto de una muestra aleatoria de 50 pedazos de cascara de coco cortada

No.	Alto (±0.01 cm)	Largo (±0.01 cm)	Ancho (±0.01 cm)	No.	Alto (±0.01 cm)	Largo (±0.01 cm)	Ancho (±0.01 cm)
1	1.00	1.10	0.40	26	2.35	2.12	0.85
2	2.00	1.50	0.90	27	2.70	1.40	1.00
3	1.90	2.00	1.00	28	1.41	1.51	0.85
4	1.40	2.50	0.80	29	1.60	1.30	0.89
5	2.50	2.00	0.40	30	2.19	1.50	0.98
6	1.50	2.00	1.00	31	3.10	2.21	0.40
7	1.50	1.50	0.50	32	3.30	1.45	0.40
8	2.00	1.90	0.50	33	3.20	1.75	0.45
9	2.00	1.51	0.40	34	2.50	1.10	0.70
10	2.32	2.00	0.62	35	2.45	2.30	0.75
11	2.50	1.35	0.50	36	2.81	1.50	1.00
12	2.17	1.50	1.00	37	1.15	1.60	0.95
13	1.92	1.32	0.50	38	2.10	1.55	0.75
14	2.49	1.50	0.30	39	2.95	1.70	0.35
15	1.50	1.12	1.25	40	2.55	1.05	2.00
16	1.90	1.50	1.09	41	2.65	1.70	1.20
17	1.32	1.53	0.70	42	2.00	1.50	0.95
18	3.51	1.89	0.70	43	2.55	2.50	0.35
19	2.50	2.01	0.55	44	2.35	1.50	0.75
20	1.93	2.10	0.73	45	2.40	1.35	1.25
21	2.47	1.45	0.61	46	1.90	1.60	1.00
22	2.00	1.50	0.21	47	2.10	1.20	0.70
23	3.49	1.71	0.39	48	1.90	0.90	0.70

Tabla 73 - Volumen de espacios vacíos para un volumen de cáscara de coco de 1000 mL

Corrida	Volumen espacios vacíos ( $\pm 10$ ml)
1	809
2	811
3	803

Tabla 74 - Volumen de espacios vacíos para un volumen de piedrín de 1000 mL

Corrida	Volumen espacios vacíos ( $\pm 10$ ml)
1	510
2	511
3	510

## 2) Cálculos

Se realizó un análisis estadístico al largo, ancho y alto de la muestra aleatoria, que se utilizó para la planta piloto, utilizando la función de “Estadística descriptiva” del análisis de datos de Microsoft Excel ® 2011.

Tabla 75 - Análisis estadístico del largo, ancho y alto de una muestra aleatoria de cáscara de coco que se utilizó para la planta piloto.

	<i>Alto (cm)</i>	<i>Largo (cm)</i>	<i>Ancho (cm)</i>
Media	2.228	1.652	0.754
Error típico	0.081	0.054	0.049
Mediana	2.195	1.51	0.715
Moda	2	1.5	1
Desviación estándar	0.574	0.383	0.349
Varianza de la muestra	0.330	0.146	0.122
Curtosis	-0.035	-0.276	2.384
Coefficiente de asimetría	0.154	0.486	1.152
Rango	2.51	1.6	1.79
Mínimo	1	0.9	0.21
Máximo	3.51	2.5	2
Suma	111.38	82.58	37.72
Cuenta	50	50	50
Mayor (1)	3.51	2.5	2
Menor(1)	1	0.9	0.21
Nivel de confianza (95.0%)	0.163	0.109	0.099

Para determinar la porosidad del coco y del piedrín empleado en el biofiltro se utiliza la siguiente ecuación para un lecho fijo:

$$\varepsilon = \frac{V_v}{V} \times 100\%$$

Dónde:  $\varepsilon$  = porosidad del lecho,  $V_o$  = volumen de espacios vacíos y  $V_o$  = volumen total del lecho

$$\varepsilon = \left( \frac{809 \pm 10 \text{ mL}}{1000 \pm 10 \text{ mL}} \right) (100\%) = 80.9 \pm 1 \%$$

Se realizó el mismo cálculo para determinar la porosidad de cada corrida de la cáscara de coco y el piedrín.

- 3) Valores intermedios
- 4)

Tabla 76 - Promedio del área y volumen de un pedazo de cáscara coco

	Promedio			
Área	3.68	±	0.72	cm <sup>2</sup>
Volumen	2.78	±	1.29	cm <sup>3</sup>

Tabla 77 - Porosidad de la cascara del coco

Corrida	Porosidad ( $\varepsilon$ )
1	80.9 ± 1 %
2	81.1 ± 1 %
3	80.3 ± 1 %
Promedio	80.77 ± 1 %

Tabla 78 - Porosidad del piedrín

Corrida	Porosidad ( $\varepsilon$ )
1	51 ± 1 %
2	51.1 ± 1 %
3	51 ± 1 %
Promedio	51.03 ± 1 %

## H. Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes

### 1) Datos originales

Tabla 79 - Caracterización de afluente de aguas grises al biofiltro escala planta piloto

Parámetro	Prueba No.	Agua 1 (18/08/2015)	Agua 2 (29/08/2015)	Agua 3 (08/09/2015)	Agua 4 (24/09/2015)
SO <sub>4</sub> (±0.1mg/L)	1	33.0	18.0	58.0	46.0
	2	39.0	23.0	58.0	43.0
	3	41.0	16.0	57.0	45.0
PO <sub>4</sub> (±0.01mg/L)	1	2.95	2.9	2.85	2.8
	2	2.95	2.9	2.85	2.8
	3	2.95	2.9	2.85	2.8
NO <sub>3</sub> (±0.1mg/L)	1	2.5	6.7	2.8	19.5
	2	2.0	6.6	2.8	19.1
	3	2.4	6.5	2.8	19.7
pH (±0.01)	1	7.61	9.13	7.44	7.97
	2	8.01	9.12	8.65	7.90
	3	8.26	9.12	7.65	7.88
DBO (±0.1mg/L)	1	145.5	278.0	237.0	235.0
DQO (±0.1mg/L)	1	245.0	529.0	241.0	152.0
T (±0.1°C)	1	25.5	25.0	24.6	25.0

Tabla 80 - Prueba efluente de agua de biofiltro en planta piloto

Parámetro	Prueba No.	Día 6 (24/08/2015)	Día 10 (28/08/2015)	Día 15 (02/09/2015)	Día 24 (11/09/2015)	Día 30 (17/09/2015)	Día 38 (25/09/2015)	Día 45 (02/10/2015)
SO <sub>4</sub> (±0.1mg/L)	1	9	1	12	39	35	41	31
	2	6	0	0	41	35	37	30
	3	7	0	16	40	40	39	30
PO <sub>4</sub> (±0.01mg/L)	1	2.72	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
	2	2.48	2.75	0.72	2.75	2.75	2.74	2.75
	3	2.72	2.75	0.25	2.75	2.75	2.75	2.75
NO <sub>3</sub> (±0.1mg/L)	1	0.8	0	0	0.7	19.2	18.1	19
	2	2.7	0	0	1.1	19.7	19.7	18
	3	0	0	0	0.8	20	18.6	17.1
pH (±0.01)	1	6.3	6.84	8.55	8.26	8.41	7.48	7.45
	2	6.29	6.85	7.48	8.35	8.39	7.27	7.46
	3	6.3	7	7.5	8.25	8.39	7.45	7.46
DBO (±0.1mg/L)	1	556.000	450.000	68.000	90.000	67.000	180.000	146.000
DQO (±0.1mg/L)	1	-	1650.000	1266.000	491.000	218.000	87.000	46.000
T (±0.1°C)	1	25.5	25.5	18.5	25.4	22.6	24.8	25.5
	2	25.5	25.5	24.1	25.4	22.6	24.8	25.5
	3	25.5	25.5	24	25.4	22.6	24.8	25.5

## 2) Cálculos

Para determinar la eficiencia de remoción de contaminantes del biofiltro a escala planta piloto se realizó el mismo cálculo presentado anteriormente para determinar la eficiencia de remoción de contaminantes en un biofiltro variando el tamaño de partícula. La eficiencia de remoción promedio de cada parámetro se calculó con el promedio de %Remoción promedio de cada día. A continuación se presenta un ejemplo de los cálculos utilizando las ecuaciones del inciso A del apéndice.

$$\% \text{ Remoción}_{\text{SO}_4} = 100\% - \frac{6.67 \pm 0.57 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{37.67 \pm 0.55 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} = 82.30 \pm 7.15\%$$

Se realizó el mismo cálculo para cada parámetro, utilizando el promedio de la caracterización del afluente y efluente de cada uno.

## 3) Datos intermedios

Tabla 81 - Promedio de caracterización de afluente de agua a biofiltro

Parámetro	Agua 1 18/08/2015	Agua 2 29/08/2015	Agua 3 08/09/2015	Agua 4 24/09/2015
	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
SO <sub>4</sub> (mg/L)	37.667 ± 0.175	19.000 ± 0.566	57.667 ± 0.548	44.667 ± 0.548
PO <sub>4</sub> (mg/L)	2.950 ± 0.173	2.900 ± 0.173	2.850 ± 0.173	2.800 ± 0.173
NO <sub>3</sub> (mg/L)	2.300 ± 0.556	6.600 ± 0.548	2.800 ± 0.548	19.433 ± 0.548
pH	7.960 ± 0.174	9.123 ± 0.173	7.913 ± 0.174	7.917 ± 0.173
DBO (mg/L)	145.500 ± 0.100	278.000 ± 0.100	237.000 ± 0.100	235.000 ± 0.100
DQO (mg/L)	245.000 ± 0.100	529.000 ± 0.100	241.000 ± 0.100	152.000 ± 0.100
T (°C)	25.500 ± 0.100	25.000 ± 0.100	24.600 ± 0.100	25.000 ± 0.100

Tabla 82 - Promedio de efluente en el biofiltro

Parámetro	Día 6 (24/08/2015)	Día 10 (28/08/2015)	Día 15 (02/09/2015)	Día 24 (11/09/2015)	Día 30 (17/09/2015)	Día 38 (25/09/2015)	Día 45 (02/10/2015)
SO <sub>4</sub> (mg/L)	6.667 ± 0.571	0.333 ± 0.105	9.333 ± 0.307	40.000 ± 0.548	36.667 ± 0.551	39.000 ± 0.549	30.333 ± 0.548
PO <sub>4</sub> (mg/L)	2.640 ± 0.174	2.750 ± 0.173	1.240 ± 0.527	2.750 ± 0.173	2.750 ± 0.173	2.747 ± 0.173	2.750 ± 0.173
NO <sub>3</sub> (mg/L)	1.167 ± 0.481	0.000 ± 0.100	0.000 ± 0.200	0.867 ± 0.577	19.633 ± 0.548	18.800 ± 0.549	18.033 ± 0.549
pH	6.297 ± 0.173	6.897 ± 0.173	7.843 ± 0.174	8.287 ± 0.173	8.397 ± 0.173	7.401 ± 0.173	7.457 ± 0.173
DBO (mg/L)	556.000 ± 0.100	450.000 ± 0.100	68.000 ± 0.100	90.000 ± 0.100	67.000 ± 0.100	180.000 ± 0.100	146.000 ± 0.100
DQO (mg/L)	- ± -	1650.000 ± 0.100	1266.000 ± 0.100	491.000 ± 0.100	218.000 ± 0.100	87.000 ± 0.100	46.000 ± 0.100
T (°C)	25.500 ± 0.173	25.500 ± 0.173	22.200 ± 0.177	25.400 ± 0.173	22.600 ± 0.173	24.800 ± 0.173	25.500 ± 0.173

Tabla 83 - Eficiencia de remoción de contaminantes de un biofiltro a escala planta piloto utilizando cáscara de coco como lecho orgánico

Días	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	DBO	DQO	pH
	% Eficiencia	% Eficiencia	% Eficiencia	% Eficiencia	% Eficiencia	% Variación
6	82.30 ± 7.15	49.28 ± 4.74	4.00 ± 2.10	-282.13 ± -2.00	- ± -	23.77 ± 4.75
10	99.12 ± 6.71	100.00 ± 0.31	0.00 ± 0.00	-209.28 ± -1.51	-573.47 ± -2.37	16.51 ± 3.12
15	50.88 ± 8.31	100.00 ± 0.42	54.91 ± 48.58	75.54 ± 1.14	-139.32 ± -0.29	14.09 ± 2.37
24	30.64 ± 3.24	69.05 ± 8.34	0.00 ± 0.00	62.03 ± 0.74	-103.73 ± -0.48	9.33 ± 1.60
30	36.42 ± 2.54	-560.71 ± -20.25	0.00 ± 0.00	71.73 ± 1.11	9.54 ± 0.06	4.20 ± 0.70
38	12.69 ± 6.75	4.57 ± 0.03	0.12 ± 0.06	23.40 ± 0.16	42.76 ± 0.57	6.48 ± 1.19
45	32.09 ± 2.65	8.46 ± 0.06	0.00 ± 0.00	37.87 ± 0.31	69.74 ± 1.58	6.44 ± 1.18

## I. Balance de masa de biofiltro planta piloto

Para determinar el balance de masa en el biofiltro se usaron como base los valores del día 15 de operación que se presentan en el cuadro 42, la ecuación general para el balance de masa en el biofiltro es la siguiente:

$$\text{Entrada} = \text{Salida} + \text{Acumulación}$$

Ecuación 29

Tomando como base un día de operación, se toma como flujo volumétrico el promedio de los flujos de entrada al biofiltro que se presentan en la siguiente figura. A partir de estos se puede calcular el flujo másico de entrada, salida y acumulación. A continuación se presenta un ejemplo del cálculo para sulfatos suspendidos y retenidos.

A la entrada del biofiltro:

$$\left(2.967 \frac{L}{\text{día}}\right) \left(\frac{19.000 \text{ mg}}{L}\right) \left(\frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}}\right) = 0.056 \frac{\text{g}}{\text{día}} \text{ de sulfatos suspendidos} = m_1$$

A la salida del biofiltro:

$$(2.967 \text{ L}) \left(\frac{9.330 \text{ mg}}{L}\right) \left(\frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}}\right) = 0.028 \frac{\text{g}}{\text{día}} \text{ de sulfatos suspendidos} = m_2$$

A partir del balance de masa general se obtiene:

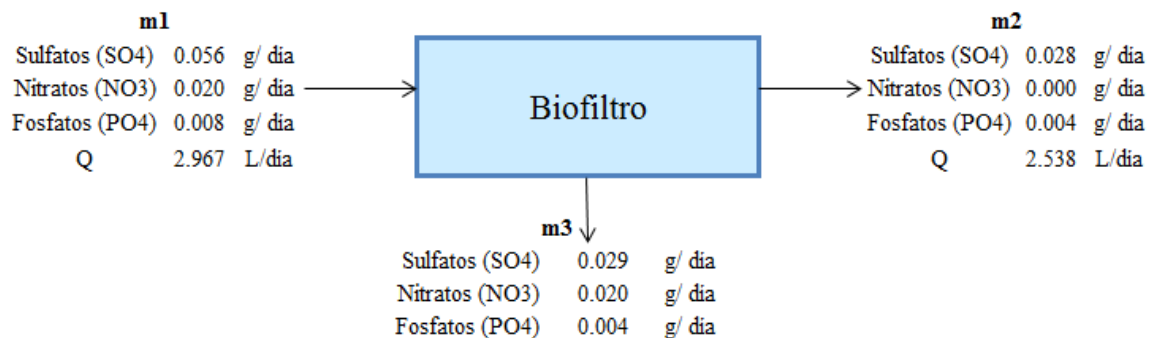
$$m_1 = m_2 + m_3$$

Ecuación 30

Por lo tanto el flujo másico retenido de sulfatos en el biofiltro es de:

$$m_3 = m_1 - m_2 = 0.056 \frac{\text{g}}{\text{día}} - 0.028 \frac{\text{g}}{\text{día}} = 0.029 \frac{\text{g}}{\text{día}} \text{ de sulfatos retenidos}$$

Ilustración 53 - Diagrama de entradas y salidas del biofiltro.



## J. Diseño de un biofiltro para tratamiento biológico de aguas de pilas y duchas

Para el diseño de un biofiltro para el tratamiento de aguas grises provenientes de las duchas y las pilas de la comunidad Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal, fue necesario determinar el tiempo de residencia hidráulico mínimo en el biofiltro. Este se determinó con base en las pruebas en planta piloto, tomando en cuenta que el tiempo establecido dará los mismos resultados de eficiencia de remoción de contaminantes.

El volumen que ocupa la cáscara de coco en el cilindro de Polimetilmetacrilato se calcula con la siguiente ecuación:

$$Volumen = \pi * r^2 * h \quad \text{Ecuación 10}$$

Dónde,  $r$  = radio del cilindro y  $h$  = altura ocupada por el lecho.

$$Volumen \text{ lecho orgánico} = \pi * \left(\frac{0.127}{2} m\right)^2 * 1.4 m = 0.017 m^3 * \frac{1000 L}{1 m^3} = 17.73 L$$

Para determinar el volumen de los espacios vacíos del lecho orgánico ( $V_t$ ) que pueden ser ocupados por el líquido que va a ser tratado se utiliza la siguiente ecuación:

$$Volumen \text{ del líquido tratado} = Volumen \text{ lecho orgánico} * \varepsilon \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde,  $\varepsilon$  = porosidad del lecho orgánico

$$Volumen \text{ del líquido tratado} = 17.73 L * 80.3\% = 14.24 L$$

Utilizando la siguiente ecuación propuesta por el Dr. Marco Garzón-Zúniga, del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), se puede determinar de una forma indirecta el tiempo de retención hidráulico (TRH):

$$TRH = \frac{V_t}{Q} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde: TRH = tiempo de retención hidráulico (días)

$V_t$  = Volumen del líquido tratado en el volumen de lecho orgánico (L)

$Q$  = Caudal de entrada al biofiltro (L/día)

$$TRH = \frac{14.24 L}{3 L/día} = 5.70 \text{ días}$$

Se realizó el mismo cálculo para cada día de medición, el promedio del TRH fue de 5.06 días.

Tabla 84 - Tiempo de residencia hidráulico promedio.

Q (Afluente)		Q (Efluente)		TRH		
L/ día	L/ hora	L/ día	L/ hora	Días	horas	
3.2	0.133	1.06	0.044	13.403	321.679	
1.5	0.063	3.00	0.125	4.747	113.928	
3	0.125	2.50	0.104	5.696	136.714	
4.1	0.171	3.20	0.133	4.450	106.808	
3	0.125	2.80	0.117	5.086	122.066	
3	0.125	2.67	0.111	5.340	128.169	
Promedio	2.9667	0.1236	2.5382	0.1058	5.0640	121.5369

De acuerdo al tiempo de retención hidráulico promedio determinado por la prueba a planta piloto y el caudal determinado por Sanabria, 2014 y Marroquín, 2014 se puede despejar de la ecuación 13 el volumen del biofiltro para tratar las aguas grises provenientes de las duchas y pilas. Ya que el caudal a tratar es 2200 L/día, se decidió dividirlo en dos corrientes por lo que el volumen total de cada biofiltro para cada corriente sería:

$$V = TRH * Q$$

$$V = 5.06 \text{ días} * 1100 \frac{L}{\text{día}} = 5570.44 L * \frac{1m^3}{1000 L} = 5.5 m^3$$

Se decidió dividir el volumen de un biofiltro en tres biofiltros más pequeños, para un fácil manejo y por limitaciones de espacio. Por lo que el volumen de cada uno será de 1.856 m<sup>3</sup>, se fijó una altura de 2 m para cada uno, por lo que el diámetro de cada uno despejado de la ecuación 19 será de:

$$r = \sqrt{\frac{1.856 m^3}{2 m}} = 0.54 m$$

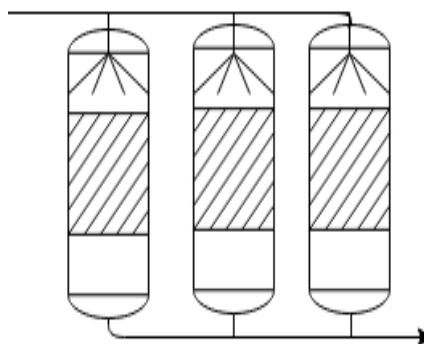
$$D = r * 2 = 0.54 * 2 = 1.08 m$$

Ya que la comunidad no posee electricidad, no podría tener una bomba de alimentación hacia los biofiltros por lo que se propone un sistema en cascada de biolitos de la siguiente forma:

Se determinó la velocidad del fluido en base al diámetro de tubería que puede manejar el tinaco, el cual es de 5cm (2 pulgadas). La velocidad del fluido será igual:

$$V = \frac{Q}{\text{Área}} = \frac{0.44 m^3/h}{0.00196m^2} = 224.09 m/h$$

Ilustración 54 - Batería de Biofiltros para tratamiento secundario de aguas grises



## K. Costos de construcción de planta de tratamiento de aguas residuales

Los costos generales de construcción de la planta de tratamiento de aguas grises en el Caserío, Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal constan de equipo que forman la planta de tratamiento y otros (válvulas, accesorios, estructura de soporte). Para estos costos no se tomó en cuenta la mano de obra ya que las personas de la comunidad se comprometieron a colaborar con la construcción, de igual forma se considera que ya que es un proyecto para la comunidad de fácil mantenimiento, es imprescindible que la comunidad sepa armar y desarmar el equipo ya que serán ellos los encargados de darles mantenimiento.

Tabla 85 - Costos totales de equipo y otros generales para el diseño propuesto

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo total Equipo Nuevo	Costo total Equipo usado	Costo total Usando PET
Equipo					
1	Tinaco de 2,500 L usado	Q 1,890.00	Q 1,890.00	Q 945.00	Q 945.00
24	Tonel de 54 galones usado	Q 160.00	Q 3,840.00	Q 1,920.00	Q -
Otros (Accesorios)					
15	Tubo de PVC de 2"	Q 5.56	Q 83.38	Q 83.38	Q 83.38
2	Tanque receptor de agua	Q 675.00	Q 1,350.00	Q 675.00	Q 675.00
20	Codos de 90° de 2"	Q 4.20	Q 84.00	Q 84.00	Q 84.00
6	Uniones para 2"	Q 6.00	Q 36.00	Q 36.00	Q -
1	Estructura de metal para sostener tinaco	Q 1,000.00	Q 1,000.00	Q -	Q -
Total otros			Q 2,553.38	Q 878.38	Q 842.38
Total costos de equipo			Q 8,283.38	Q 3,743.38	Q 1,787.38

## L. Análisis de error

### Cálculo de Incertidumbres

Para determinar la propagación de error de las pruebas realizadas, donde se emplea la operación de multiplicación y división, se debe emplear la siguiente ecuación:

$$S_y = y * \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2}$$

Ecuación 14

Donde  $S_y$  = incertidumbre de la operación;  $y$  = resultado de la operación;  $S_a$  = incertidumbre del valor  $a$ ,  $a$  = valor empleado para calcular  $y$ ;  $S_b$  = incertidumbre del valor  $b$ ;  $b$  = valor empleado para calcular  $y$ .

De esta manera, a continuación se demuestra un ejemplo para determinar la incertidumbre de un promedio de la medición de sulfatos, se tiene que:

$$\text{Incertidumbre} = 37.67 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \sqrt{\left(\frac{0.1 \text{ mg/L}}{33.0 \text{ mg/L}}\right)^2 + \left(\frac{0.1 \text{ mg/L}}{39.0 \text{ mg/L}}\right)^2 + \left(\frac{0.1 \text{ mg/L}}{41.0 \text{ mg/L}}\right)^2} = \pm 0.175 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

El mismo cálculo se realizó para determinar todas las incertidumbres de los promedios de las pruebas.

## M. Manual de funcionamiento bomba de pistón

La bomba está compuesta de dos partes principales que son: el pistón de la bomba y el cuerpo de la bomba. La única parte móvil es el pistón. La función de la bomba es mover el agua desde el tonel de almacenamiento de agua de río hasta el tonel de recolección. La distancia entre los tanques es de 16.75 m.

El movimiento del pistón únicamente puede ser hacia arriba y hacia abajo. Cuando el pistón se jala, la bomba estará succionando agua del tonel de almacenamiento de agua de río. Y al momento de bajar el pistón se le da la fuerza necesaria para que vaya hasta el otro tonel. Es necesario subir y bajar el pistón cuatro veces, para que todo el sistema de bombeo tenga agua. La quinta vez que se haga un ciclo, se verá agua saliendo hacia el tonel de recolección.

Las partes más importantes son las válvulas de cheque y los o-ring. Las válvulas de cheque permiten que el agua solamente vaya hacia un lado. Se tienen dos válvulas en el sistema de bombeo. La primera sirve para que toda el agua succionada por la bomba ya no se vaya de nuevo al tonel de almacenamiento y la segunda válvula hace que toda el agua vaya solamente al tonel de descarga.

Por otro lado los o-ring crean un buen sello, permitiendo que la bomba succione agua cuando se jala el pistón y que cuando se empuja el agua esta salga con más velocidad y no salga de la bomba.

### Manual de mantenimiento

Para el correcto funcionamiento de la bomba, verificar que el nivel del agua siempre esté por encima del tubo vertical que está en el tonel.

Al momento de usar la bomba, el movimiento debe ser suave. Si no es así se debe colocar aceite de cocina alrededor del o-ring (empaqué) más grueso, que está debajo del tapón de la bomba. Ver el plano 3, página 54.

Dejar enterrada la mayoría de la tubería. Esto para que el sol no desgaste el material. Si recibe mucho sol, puede llegar a romperse la tubería.

Si se observa que la capa de pintura de la estructura metálica ya está muy desgastada es aconsejable colocarle otra capa. Esto es para que la estructura no se oxide y dure más tiempo.

## N. Métodos de análisis realizados

### 1. Medición de pH

Para este análisis se utiliza el equipo HACH® sensION 156. El método es el siguiente:

Se conecta el electrodo de pH, alineando cuidadosamente los pines con el medidor de pH. Encender el medidor. Remover el electrodo de la solución de almacenamiento. Lavar y secar la punta del electrodo. Colocar el electrodo en una muestra de solución búfer estándar de 7.00 y colocar ambos sensores sumergidos. Agitar en forma adecuada. Si el medidor no está en pH, presionar el botón pH. Presionar CAL. CAL y ? aparecerán parpadeando en la pantalla, junto con la palabra Standard y 1. Presionar READ. El instrumento reconocerá el búfer y se estabilizará. Lavar y secar el electrodo. Colocar el electrodo en la segunda solución búfer con los sensores sumergidos. Agitar en forma adecuada. Presionar READ. El instrumento reconocerá el búfer y se estabilizará. Presionar EXIT para aceptar la calibración después de dos puntos, luego presionar ENTER para guardar la calibración. Lavar y secar el electrodo. Colocar el electrodo limpio en la muestra con los sensores sumergidos. Agitar la muestra. Presionar READ. El instrumento mostrará una lectura estable. Lavar y secar el electrodo entre mediciones de diferentes muestras.

### 2. Medición de la demanda biológica de oxígeno (DBO5)

Se utilizó un potenciómetro HQ40d multi marca HACH y se le adaptó el electrodo modelo LDO marca HACH. Primero se preparó el buffer utilizando un sobre del reactivo BOD Nutrient Buffer marca HACH y se disolvió en 3 litros de agua destilada. Se utilizaron dos frascos desechables de DBO de 300mL marca HACH por muestra, en uno se colocaron 10mL y en otro se colocaron 20mL de la muestra, luego se llenaron los frascos hasta la marca de 300mL con el buffer preparado. Se lavó el electrodo únicamente con agua destilada, no se debe secar (solo quitar exceso de agua). Se colocó el electrodo dentro del frasco desechable de DBO en donde se encontraba la muestra, se presionó el botón de homogenizar y se esperó por 1 minuto, luego se detuvo la homogenización presionando el botón, por último se presionó el botón de medición y se esperó a que estabilizara la lectura. Se retiró el electrodo de la muestra y se lavó únicamente con agua destilada, los frascos se dejaron reposando por 5 días y al quinto día se repitió este mismo procedimiento con todas las muestras.


## 3. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se siguió el siguiente procedimiento según el equipo el HACH.

Ilustración 55 - Método de determinación de DQO


**Method 8000**  
**OXYGEN DEMAND, CHEMICAL** For water, wastewater and  
seawater

**Reactor Digestion Method\* USEPA approved for reporting wastewater analysis\*\***  
**Digestion**



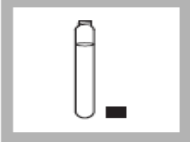
**1.** Homogenize 500 mL of sample for 2 minutes in a blender.

*Note: For the 0-15,000 mg/L range, homogenize 100 mL of sample. Pour the blended sample into a 250-mL beaker. Stir with a magnetic stirrer while withdrawing a sample aliquot. This improves accuracy and reproducibility.*



**2.** Turn on the DRB 200 Reactor. Preheat to 150 °C.

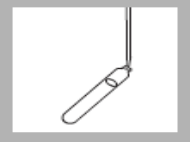
*Note: See DRB 200 user manual for selecting pre-programmed temperature applications.*



**3.** Remove the cap of a COD Digestion Reagent Vial for the appropriate range:

Sample Conc. Range (mg/L)	COD Digestion Reagent Vial Type*
0 to 150	Low Range
0 to 1,500	High Range
0 to 15,000	High Range Plus

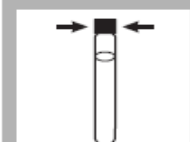
*Note: The reagent mixture is light-sensitive. Keep unused vials in the opaque shipping container, in a refrigerator if possible. The light striking the vials during the test will not affect results.*




**4.** Hold the vial at a 45-degree angle. Pipet 2.00 mL (0.2 mL for the 0 to 15,000 mg/L range) of sample into the vial.

*Note: For the 0-15,000 mg/L range, pipet only 0.20 mL of sample, not 2.00 mL of sample, using a TenSette Pipet. For greater accuracy analyze a minimum of three replicates and average the results.*

*Note: Spilled reagent will affect test accuracy and is hazardous to skin and other materials. Do not run tests with vials which have been spilled. If spills occur, wash with running water.*




**5.** Replace the vial cap tightly. Rinse the outside of the COD vial with deionized water and wipe the vial clean with a paper towel.



**6.** Hold the vial by the cap and over a sink. Invert gently several times to mix the contents. Place the vial in the preheated DRB 200 Reactor.

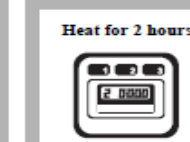
*Note: The vial will become very hot during mixing.*



**7.** Prepare a blank by repeating Steps 3 to 6, substituting 2.00 mL (0.2 mL for the 0 to 15,000 mg/L range) deionized water for the sample.


*Note: Be sure the pipet is clean.*

*Note: One blank must be run with each set of samples. Run samples and blanks with vials from the same lot number (lot # is on the container label).*

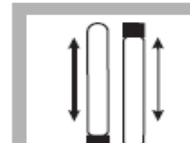


**8.** Heat the vials for 2 hours.

*Note: Many samples are digested completely in less than two hours. If desired, measure the concentration (while still hot) at 15 minute intervals until the reading remains unchanged. Cool vials to room temperature for final measurement.*

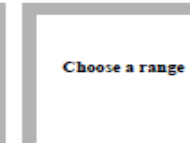


**9.** Turn the reactor off. Wait about 20 minutes for the vials to cool to 120 °C or less.



**10.** Invert each vial several times while still warm. Place the vials into a rack. Wait until the vials have cooled to room temperature.

*Note: If a pure green color appears in the reacted sample, measure the COD and, if necessary, repeat the test with a diluted sample.*



**11.** Use one of the following analytical techniques to measure the COD:

- Colorimetric method, 0-150 mg/L COD
- Colorimetric method, 0-1,500 mg/L COD
- Colorimetric method, 0-15,000 mg/L COD












## 4. Sólidos suspendidos totales (SST)

Ilustración 56 - Método para determinar SST

**Method 8006**

**SUSPENDED SOLIDS (0 to 750 mg/L)** For water and wastewater

**Photometric Method<sup>†</sup> (Also called Nonfilterable Residue)**

			
<p>1. Enter the stored program number for suspended solids.</p> <p>Press: <b>PRGM</b></p> <p>The display will show:</p> <p style="text-align: center;"><b>PRGM ?</b></p>	<p>2. Press: <b>94 ENTER</b></p> <p>The display will show <b>mg/L, SuSId</b> and the <b>ZERO</b> icon.</p>	<p>3. Blend 500 mL of sample in a blender at high speed for exactly 2 minutes.</p>	<p>4. Pour the blended sample into a 600-mL beaker.</p>
			
<p>5. Fill a sample cell with 25 mL of tap water or deionized water (the blank).</p> <p><i>Note: Remove gas bubbles in the water by swirling or tapping the bottom of the cell on a table.</i></p>	<p>6. Place the blank in the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.</p>	<p>7. Press: <b>ZERO</b></p> <p>The cursor will move to the right, then the display will show:</p> <p style="text-align: center;"><b>0 mg/L SuSId</b></p>	<p>8. Stir the sample thoroughly and immediately pour 25 mL of the blended sample into a sample cell (the prepared sample).</p>
			
<p>9. Swirl the prepared sample cell to remove any gas bubbles and uniformly suspend any residue.</p>	<p>10. Place the prepared sample into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.</p>	<p>11. Press: <b>READ</b></p> <p>The cursor will move to the right, then the result in mg/L suspended solids will be displayed.</p>	

2. Sulfatos ( $\text{SO}_4^{-2}$ )












Ilustración 57 - Método de determinación de sulfatos

**Method 8051**

**SULFATE (0 to 70 mg/L)** For water, wastewater, and seawater

**SulfaVer 4 Method™ (Powder Pillows or AccuVac Ampuls); USEPA accepted for reporting wastewater analysis™**

**Using Powder Pillows**


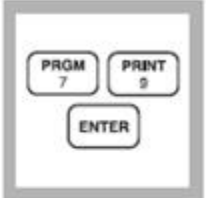





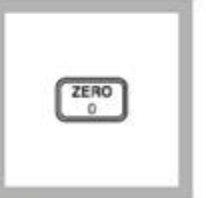


 <p>Choose Desired Program Accuracy</p>	 <p>PRGM 7</p>	 <p>PRINT 0 STORE 1 ENTER</p>	
<p><b>1.</b> A User-Entered Calibration is necessary to obtain the most accurate results. See the <i>User Calibration</i> section at the back of this procedure. Program 91 can be used for process control or applications where a high degree of accuracy is not needed.</p>	<p><b>2.</b> Enter the stored program number for sulfate (<math>\text{SO}_4</math>). Press: <b>PRGM</b> The display will show: <b>PRGM 7</b></p>	<p><b>3.</b> Press: <b>91 ENTER</b> or the program number selected for a user-entered calibration. The display will show <b>mg/L, SO4</b> and the <b>ZERO</b> icon.</p>	<p><b>4.</b> Fill a clean sample cell with 10 mL of sample. <i>Note: Filter highly turbid or colored samples. Use filtered sample in this step and at the blank.</i></p>
	 <p>TIMER CE ENTER</p>		
<p><b>5.</b> Add the contents of one SulfaVer 4 Sulfate Reagent Powder Pillow to the sample cell (the prepared sample). Cap the cell and invert several times to mix.</p>	<p><b>6.</b> Press: <b>TIMER ENTER</b> A 5-minute reaction period will begin. Allow the cell to stand undisturbed.</p>	<p><b>7.</b> After the timer beeps, fill a second sample cell with 10 mL of sample (the blank).</p>	<p><b>8.</b> Place the blank into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.</p>
 <p>ZERO 0</p>		 <p>READ -</p>	
<p><b>9.</b> Press: <b>ZERO</b> The cursor will move to the right, then the display will show: <b>0 mg/L SO4</b></p>	<p><b>10.</b> Within five minutes after the timer beeps, place the prepared sample into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.</p>	<p><b>11.</b> Press: <b>READ</b> The cursor will move to the right, then the result in mg/L sulfate will be displayed. <i>Note: If Program 91 is used, use of the Standard Adjust is highly recommended. See Accuracy Check.</i></p>	

3. Fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Ilustración 58 - Método de determinación de fosfatos

Method 8048

**PHOSPHORUS, REACTIVE (0 to 2.50 mg/L  $\text{PO}_4^{3-}$ )** For water, wastewater, seawater  
**(Also called Orthophosphate) PhosVer 3 (Ascorbic Acid) Method\***  
(Powder Pillows or AccuVac Ampuls) USEPA Accepted for wastewater analysis reporting\*\*  
Using Powder Pillows

				
<p>1. Enter the stored program number for reactive phosphorus, ascorbic acid method.</p> <p>Press: <b>PRGM</b></p> <p>The display will show:</p> <p style="text-align: center;"><b>PRGM ?</b></p> <p><i>Note: For most accurate results, perform a Reagent Blank Correction using deionized water (see Section 1).</i></p>	<p>2. Press: <b>79 ENTER</b></p> <p>The display will show mg/L, <math>\text{PO}_4</math> and the <b>ZERO</b> icon.</p> <p><i>Note: For alternate forms (<math>\text{P}</math>, <math>\text{P}_2\text{O}_5</math>), press the <b>CONC</b> key.</i></p>	<p>3. Fill a sample cell with 10 mL of sample.</p> <p><i>Note: For samples with extreme pH, see Interferences, following these steps.</i></p> <p><i>Note: Clean glassware with 1:1 HCl. Rinse again with deionized water. Do not use detergents containing phosphates to clean glassware.</i></p>	<p>4. Add the contents of one PhosVer 3 Phosphate Powder Pillow for 10-mL sample to the cell (the prepared sample). Shake for 15 seconds.</p> <p><i>Note: A blue color will form if phosphate is present.</i></p>	<p>5. Press:</p> <p style="text-align: center;"><b>TIMER ENTER</b></p> <p>A two-minute reaction period will begin. Perform Steps 6-8 during this period.</p> <p><i>Note: If the acid-persulfate digestion was used, an 8-10 minute reaction period is required.</i></p>
				
<p>6. Fill another sample cell with 10 mL of sample (the blank).</p>	<p>7. Place the blank into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.</p>	<p>8. Press: <b>ZERO</b></p> <p>The cursor will move to the right, then the display will show:</p> <p style="text-align: center;"><b>0.00 mg/L <math>\text{PO}_4</math></b></p> <p><i>Note: If Reagent Blank Correction is on, the display may flash "limit". See Section 1.</i></p>	<p>9. After the timer beeps, place the prepared sample into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.</p>	<p>10. Press: <b>READ</b></p> <p>The cursor will move to the right, then the result in mg/L phosphate (<math>\text{PO}_4^{3-}</math>) will be displayed.</p>


4. Nitratos ( $\text{NO}_3^{-1}$ )

Ilustración 59 - Método de determinación de Nitratos


Method 8039

**NITRATE, High Range (0 to 30.0 mg/L  $\text{NO}_3^{-1}$ -N) For water, wastewater, and seawater \***


**Cadmium Reduction Method (Using Powder Pillows or AccuVac Ampuls)**  
Using Powder Pillows




**1.** Enter the stored program number for high range nitrate nitrogen ( $\text{NO}_3^{-1}$ -N) powder pillows.  
Press: **PRGM**  
The display will show:  
**PRGM ?**




**2.** Press: **51 ENTER**  
The display will show **mg/L**, **NO3-N** and the **ZERO** icon.  
*Note: For alternate forms ( $\text{NO}_3$ ), press the **CONC** key.*




**3.** Fill a sample cell with 10 mL of sample.  
*Note: Adjust the pH of stored samples before analysis.*




**4.** Add the contents of one NitraVer 5 Nitrate Reagent Powder Pillow to the sample cell (the prepared sample). Cap the sample cell.  
*Note: It is important to remove all of the powder from the foil pillow. Tap the pillow until no more*




**5.** Press: **TIMER ENTER**  
A one-minute reaction period will begin. Shake the sample cell vigorously until the timer beeps.



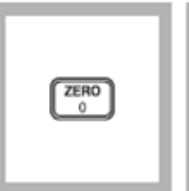
**6.** After the timer beeps, the display will show: **5:00 TIMER 2**  
Press: **ENTER**  
A five-minute reaction period will begin.



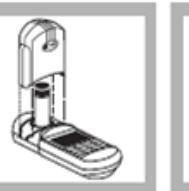
**7.** Fill another cell with 10 mL of sample (the blank). Wipe off any fingerprints or liquid.




**8.** Place the blank into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.



**9.** When the timer beeps, press **ZERO**.  
The cursor will move to the right, then the display will show:  
**0.0 mg/L NO3-N**



**10.** Place the prepared sample into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.



**11.** Press: **READ**  
The cursor will move to the right, then the result in **mg/L  $\text{NO}_3$ -N** (or alternate form) will be displayed.

## 5. Turbidez

## Ilustración 60 - Método de determinación de Turbidez

**Method 8237**

**TURBIDITY (0 to 1000 FAU)** **For water, wastewater, and seawater**

**Absorptometric Method\***

**1.** Enter the stored program number for turbidity.

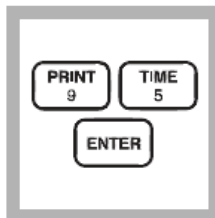
Press: **PRGM**

The display will show:

**PRGM ?**

*Note:*

*1 FAU=1 NTU=1 FTU when measuring formazin. These are not equivalent when measuring other types of standards or samples.*



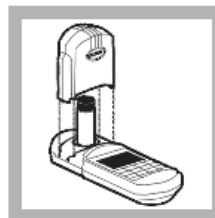
**2.** Press: **95 ENTER**  
The display will show **FAU** and the **ZERO** icon.



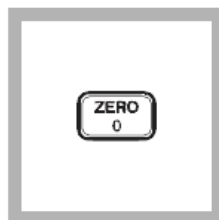
**3.** Fill a sample cell with 10 mL of deionized water (the blank).

*Note: Wipe the surface of the cell with a soft cloth.*

*Note: For highly colored samples, use a filtered portion of sample in place of the deionized water.*



**4.** Place the blank into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.



**5.** Press: **ZERO**  
The cursor will move to the right, then the display will show:

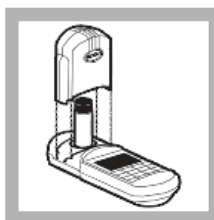
**0 FAU**



**6.** Fill another sample cell with 10 mL of sample.

*Note: Mix the sample well before transferring it to the sample cell.*

*Note: Wipe the surface of the cell with a soft cloth.*



**7.** Place the sample cell into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.



**8.** Press: **READ**  
The cursor will move to the right, then the result in Formazin Attenuation Units (FAU) will be displayed.

*Note: Standard Adjust may be performed using a prepared standard (see Section I).*

\* Adapted from FWPCA *Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*, 275 (1969)

## O. Planificación de talleres

### EJEMPLO DE MAPA DE ORGANIZACIÓN COMUNITARIA

#### TALLER 1 Y 2: **Concientización: consecuencias en la salud provocadas por el inadecuado uso del agua**

##### OBJETIVO *GENERAL*

- Que los habitantes de la comunidad Caserío Cumbre de San Agustín, conozcan las causas y consecuencias en la salud provocadas por el uso inadecuado del agua para que puedan aplicar en situaciones de la vida cotidiana.
- Que los habitantes de la comunidad conozcan y se familiaricen con el proyecto de agua que se implementará en su comunidad.

##### PÚBLICO OBJETIVO

Habitantes de la comunidad Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal.

##### FECHA DEL TALLER

Domingo 11 de julio 2015

Posibles horarios: 2:00 a 4:00

Tabla 86 - Planificación de taller 1 y 2

<i>OBJETIVO ESPECÍFICO</i>	<i>ACTIVIDAD</i>	<i>METODOLOGÍA</i>	<i>RECURSOS</i>	<i>TIEMPO</i>	<i>RESPONSABLE</i>
Que los participantes expresen ideas generales, respondiendo a la pregunta: ¿Qué consecuencias para la salud tiene el uso inadecuado del agua?	Lluvia de ideas	Se hará la pregunta: ¿Qué consecuencias tiene el uso inadecuado del agua?  Todas las respuestas se anotarán en una cartulina.  Se dejará el cartel pegado, para pasar a la presentación e ir corroborando las respuestas.	Cartel marcadores Masking tape	15 min.	Diana Morales
Que los participantes conozcan la teoría de causas y consecuencias en la salud provocadas por el uso inadecuado del agua.	Presentación con imágenes	Se presentará y explicará el tema con carteles con imágenes.	Cartulinas Carteles Recurso Humano	30 minutos	Diana Morales
Que los participantes tengan una breve idea del proyecto que se trabajará en la comunidad.	Exposición de preguntas	Presentación del proyecto que se realizará en la comunidad.  Se indicará que se ampliará la información en el siguiente taller.	Cartulinas Carteles Recurso Humano	30 min.	Diana y quienes acompañen al taller.
Que los participantes hagan preguntas o intervenciones en relación al tema expuesto.	Cierre	Se escuchará las preguntas que tienen los habitantes en relación al tema y se responderá a cada una.	Recurso humano	15 min.	Diana

**TALLER 3 Y 4: Promotores de salud y organización comunal.****OBJETIVO GENERAL**

- Que los habitantes de la comunidad Caserío Cumbre de San Agustín, inicien el proceso de capacitación para ser promotores de salud.
- Que los habitantes de la comunidad mejoren las vías de comunicación y la organización comunal.
- Que los habitantes de la comunidad conozcan el mantenimiento que se debe realizar al sistema de agua potable que se implementó en la comunidad.

**PÚBLICO OBJETIVO**

Habitantes de la comunidad Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal.

**FECHA DEL TALLER**

Lunes 28 de septiembre de 2015

**Posibles horarios:**

Lunes 2:00 - 6:00

Taller 1 - 2:00 a 4:00

Taller 2 - 4:15 a 6:00

Tabla 87 - Planificación de taller 3.

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>METODOLOGÍA</u>	<u>RECURSOS</u>	<u>TIEMPO</u>	<u>RESPONSABLE</u>
Gafetes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentación de facilitadora.</li> <li>• Entrega de gafetes con nombres.</li> </ul>	Gafetes	10 mins	Diana
Rompehielo Juego de telaraña	<p>Se pedirá a los participantes hacer un círculo. Al momento de hacer el círculo, se le entregará a uno de los participantes una bola lana y en ese momento debe compartir su nombre, edad, qué le gusta hacer o a qué se dedica y u grado. Luego de compartir debe agarrar la punta de la lana y tirar el resto de la bola a otro participante, el participante debe compartir la misma información con todos, tomar un pedazo de lana y así sucesivamente hasta que todos tengan un pedazo de lana y se haya formado una telaraña.</p> <p>Al finalizar, se hará una pequeña reflexión sobre lo importante que será trabajar como un equipo durante todos los talleres.</p>	Lana	15 min.	Diana Morales
Director de orquesta	Se forma un círculo y se pide a una persona que salga del lugar, se escoge al director y todos debemos seguir las instrucciones de él/ella, aplaudir, mover la cabeza etc. La persona que salga debe adivinar quién es el director.	Recurso Humano	10 minutos	Diana Morales
Armando un rompecabezas en equipo	Se formarán dos grupos y a cada grupo se le dará un rompecabezas de 30 piezas. El grupo debe trabajar en equipo y armarlo.	2 rompecabezas	20 min.	Diana y quienes acompañen al taller.
Campo minado	"Campo minado" es un ejercicio en equipo que construye comunicación y relaciones a través de la confianza. Se esparcen objetos cerca del centro del lugar de trabajo. El área es marcada con masking tape para formar un cuadro. Las personas son emparejados, con uno de ellos vendado mientras el otro es el guía. El reto es que el empleado vendado atravesase todo el espacio minado, siendo guiado verbalmente por el otro.	Recurso humano	15 min.	Diana
Explicación del tema liderazgo y trabajo en equipo	La explicación se hará tipo foro, en donde se realizarán preguntas y con las respuestas y las asociaciones que se hagan con todas las actividades antes dadas, se explicará el tema.	Recurso humano	20 mins.	Diana
Receso	Preparación de panes. Se involucrará a la comunidad.	Recurso humano	15 mins.	Todos.

Tabla 88 - Planificación de taller 4

<b><i>ACTIVIDAD</i></b>	<b><i>METODOLOGÍA</i></b>	<b><i>RECURSOS</i></b>	<b><i>TIEMPO</i></b>	<b><i>RESPONSABLE</i></b>
Teléfono descompuesto	Se dará una frase u oración y se pedirá que pase de persona en persona, al final la última persona dirá cuál fue el mensaje que le llegó.	Recurso humano	10 mins	Todos
Distintos modos de comunicarse	a) se van a encontrar de a dos con aquella persona que menos conozcan y van a buscar un espacio donde conversar cómodamente. b) Ahora van a seguir conversando, pero de espaldas (cada pareja va a juntar sus espaldas). c) Ahora lo van a hacer con mímica.	Recurso Humano	15 minutos	Diana Morales
Actividad con globos	se formarán dos grupos y se les entregará un globo inflado, se les pedirá que se organicen para llevar el globo de un lugar a un punto específico, el globo no debe de caer y no pueden utilizar sus manos. Deben comunicarse constantemente para no botar el globo.	globos	15 min	
Maneras efectivas para comunicarse.	La facilitadora modelará las diferentes maneras para comunicarse efectivamente con una persona: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contacto visual</li> <li>• Palabras claras</li> <li>• seguridad al hablar <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestos</li> <li>• Postura</li> </ul> </li> <li>• saber resolver una pregunta</li> </ul>	Recurso Humano	20 min.	Diana y quienes acompañen al taller.
Dramatización Organización/ Explicación	En el lugar distribuir a personas que representan a la comunidad, e indicar de qué manera se puede llevar la comunicación.	Recurso humano	25 min.	Diana
Explicación del mantenimiento del proyecto	Poner en práctica la organización y cómo se llevaría a cabo la distribución de la información		20 min	Diana

## P. Registro gráfico

Ilustración 61 - Casas del Caserío cumbre de San Agustín, Morales Izabal y escuela del caserío.



A continuación se presentan las imágenes de la bomba de ariete

Ilustración 62 – Punto de captación de agua



La captación del agua se realizó en una derivación del río Amatillo. En la imagen 1 se presenta la distribución de captación, realizándose en dos puntos de la caída para aumentar el caudal captado por el sistema.

Ilustración 63 – Punto de descarga



El punto de descarga del sistema se encontró situado a 4.5 m sobre el punto más bajo del sistema. Este se descargó a un tonel plástico para la colección del líquido en el lugar.

Ilustración 64 – Filtros de malla utilizados



Los filtros utilizados fueron elaborados con tubería de PVC con un diámetro nominal de 0.013 m (0.5 in) rellena de concreto para aumentar la estabilidad de los mismos. Adicional a ello se colocó cedazzo como agente filtrante, asegurado con correas plásticas. Como puede observarse en la imagen se tuvo una disminución del mesh en cada uno de los filtros instalados.

Ilustración 65 – Punto de aforo de la tubería inundada previo a la instalación de la cabeza de la bomba



El aforo del caudal captado por el sistema se llevó a cabo previo a la instalación de la cabeza de presión. Este aforo se llevó a cabo mediante la medición del tiempo de llenado de un volumen de  $4.8E-04 \text{ m}^3$ .

Ilustración 66 – Cabeza de presión elaborada



De forma inicial se utilizó una botella PET de una bebida carbonatada como cabeza de presión para minimizar los costos. Debido a la pérdida acelerada de su resistencia mecánica se utilizó un sistema de PVC para alargar el tiempo de vida del sistema, sin embargo no se tuvo los resultados esperados en cuanto a la cabeza de presión desarrollada por el sistema.

Ilustración 67 – Sistema monopulsor en operación



Una vez instalado el sistema se realizaron pruebas de bombeo, en donde se comprobó que se desarrolló mayor cabeza de presión con la botella PET.

Ilustración 68 – Bomba multipulsor en operación



Previamente a la utilización de la cabeza de presión elaborada con PVC se puso a prueba un sistema multipulsor, que según la literatura consultada tiene mayor manejo de caudal, sin embargo la caída de presión como se observa en el cálculo 7 es mayor en este sistema, impidiendo de esta forma un mayor diferencial de alturas, por lo que es inviable su utilización en la comunidad.

A continuación se presentan imágenes de la instalación y el resultado final de este módulo

Ilustración 69 - Terreno desproporcionado en donde se colocó el sistema de bombeo



Ilustración 70 - Abertura de agujeros, para enterrar la estructura de metal



Ilustración 71 - Enterramiento de la mesa en el terreno de tierra



Ilustración 72 - Bomba de pistón ya instalada en la comunidad



Ilustración 73 - Abertura de canaleta en la comunidad



Ilustración 74 - Enterramiento de la tubería



Ilustración 75 - Tubería enterrada



Ilustración 76 - Bomba de pistón en funcionamiento



Ilustración 77 - Tonel de succión de la bomba



Ilustración 78 - Vista del tonel que recibe el agua bombeada



Ilustración 79 - Sistema de bombeo sin enterrar



Ilustración 80 Sistema de bombeo enterrado e instalado



Ilustración 81 - Mesocarpio del coco a un tamaño de partícula de 1.5 cm de diámetro



Ilustración 82 - Pruebas preliminares con dos diferentes tamaños de partícula, 1.5 cm y 3 cm.



Ilustración 83 - Batería de biofiltros inundados con agua residual a tratar



Ilustración 84 - Batería de biofiltros para determinar el mejor tamaño de partícula funcionando



Ilustración 85 - Introducción de primeras aguas al biofiltro a escala planta piloto



Ilustración 86 - Crecimiento del biofilm sobre el lecho orgánico a lo largo del tiempo



Ilustración 87 - Biofiltro al día 50 de operación



Ilustración 88 - Variación de color del efluente a lo largo del tiempo



Ilustración 89 - Prueba de DQO del efluente de agua del biofiltro a escala planta piloto

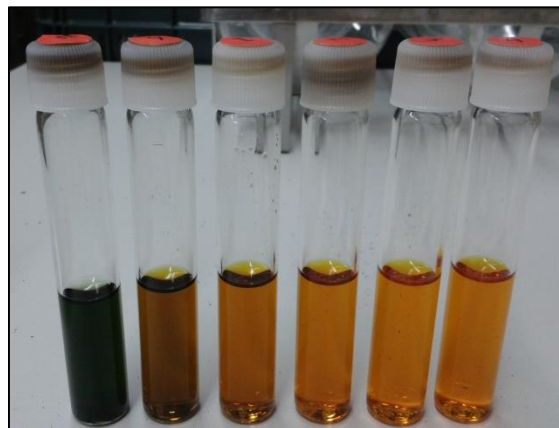


Ilustración 90 - Ejemplo de mapa de organización comunitaria

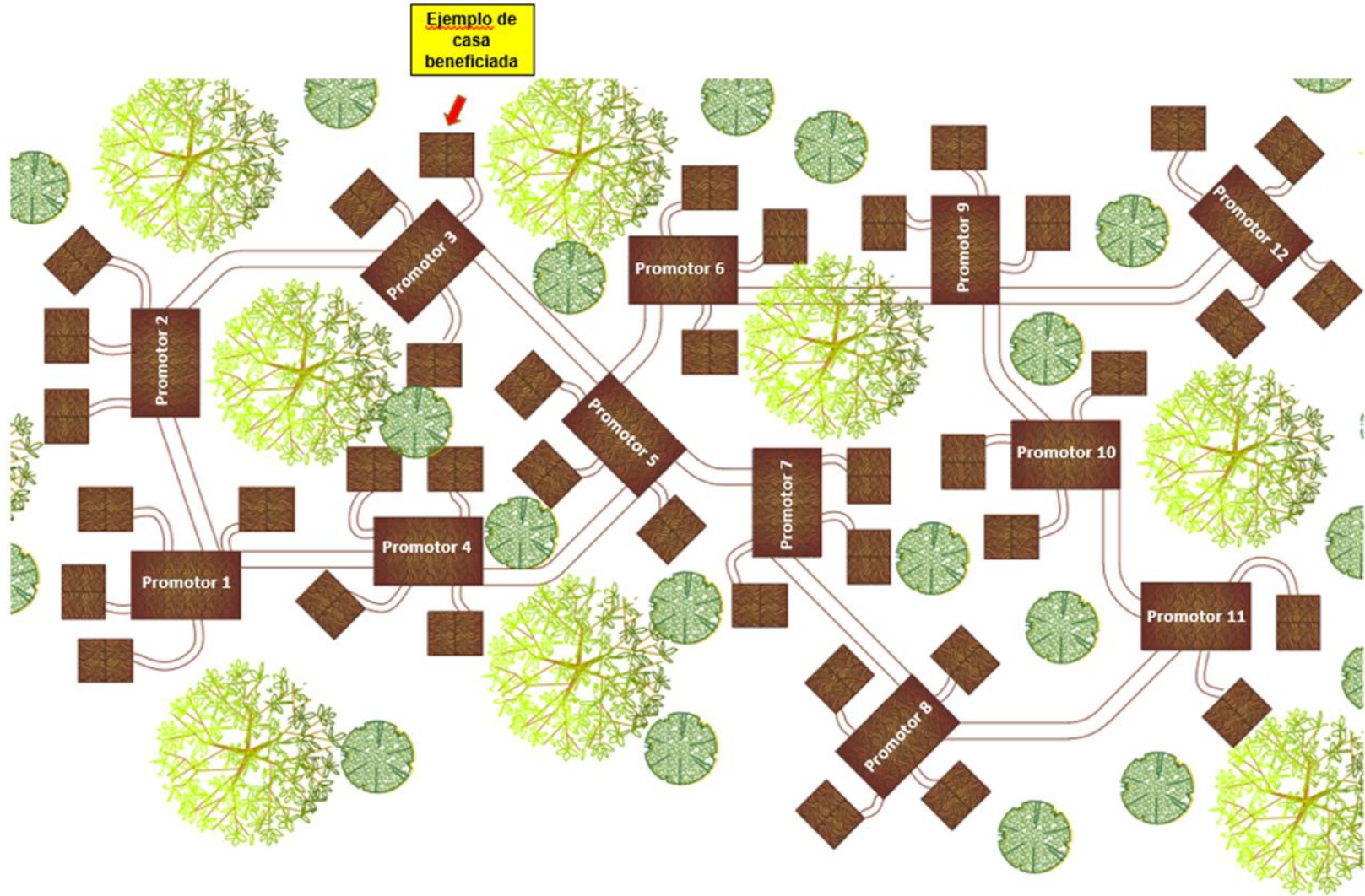


Ilustración 91 – Compañeros del proyecto trasladando material para la instalación del sistema



Ilustración 92 - La facilitadora camina hacia la comunidad



Ilustración 93 - Río Amatillo



- Talleres 1 y 2

Ilustración 94 - Material didáctico usado en los talleres 1 y 2



Ilustración 95 - Explicación de las consecuencias del uso inadecuado del agua



Ilustración 96 - Pobladores de la comunidad Caserío Cumbre de San Agustín



Ilustración 97 - Explicación con material didáctico



Ilustración 98 - Explicación del funcionamiento del proyecto



- Talleres 3 y 4

Ilustración 99 - Preparación del lugar



Ilustración 100 - La facilitadora comparte con los niños



Ilustración 101 - Actividad de teléfono descompuesto



Ilustración 102 - Actividad de Telaraña



Ilustración 103 - Dramatización de la organización comunal



### XIII. GLOSARIO

- Adaptador hembra PVC: Tiene una rosca interna, que permite unirle el adaptador macho. También tiene un acople del otro lado, para la unión con un tubo de PVC.
- Adaptador macho PVC: Accesorio de PVC que tiene dos piezas. La primera parte es una rosca macho y la segunda es un acople para tubo de PVC.
- Afluente: Corriente de agua residual que no llega al mar, sino que desemboca en otra corriente de agua o en un sistema de tratamiento.
- Agua residual doméstica: agua residual ordinaria, es aquella que ha sido utilizada en actividades domésticas ya sea en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado.
- Agua residual: Agua cuyas propiedades han sido modificadas debido a su uso en actividades domésticas, industriales y o agrícolas.
- Ariete: Máquina militar que se empleaba antiguamente para batir murallas, consistente en una viga larga y muy pesada que en uno de sus extremos poseía un refuerzo de hierro o bronce, labrada por lo común en forma de cabeza de carnero. (Mecánica) Máquina para elevar agua utilizando el movimiento oscilatorio producido por una columna del mismo líquido.
- Bomba: Máquina o artefacto para elevar agua u otro líquido y darle impulso en una dirección determinada.
- Características físicas y organolépticas: Son aquellas que se detectan sensorialmente o por medios analíticos de laboratorio.
- Carga: Acción y efecto de cargar. Peso sostenido por una estructura.
- Coeficiente de escorrentía: El coeficiente de escurrimiento representa la cantidad de agua que se pierde o no puede ser captada ya sea por filtración, evaporación u otros fenómenos que no hacen posible que toda el agua sea captada. Este valor depende del tipo de superficie e impermeabilizante donde cae el agua.
- Coliformes: es un conjunto de bacterias que se pueden encontrar en el intestino del hombre y animales, en el suelo, en las plantas, etc. Se utilizan como indicadores de contaminación.
- Compresible: Que se puede comprimir o reducir su volumen.
- Cuenca: Territorio cuyas aguas afluyen todas a un mismo río, lago o mar.
- Derivación: Acción y efecto de sacar o separar una parte del todo, o de su origen y principio. Conexión a una conducción principal de agua, de electricidad, de sangre, etc.
- Desnitrificación: Es un proceso metabólico que usa el nitrato como aceptor terminal de electrones en condiciones anóxicas (sin oxígeno). El proceso que ocurre en etapas sucesivas entre la reducción de

nitratos hasta nitrógeno gaseoso, catalizado por sistemas enzimáticos diferentes, apreciando como productos intermedios nitritos, óxido nítrico y óxido nitroso. Este proceso lo realizan únicamente ciertos microorganismos.

- Detergente: Sustancia o producto químico que elimina la grasa y sirve para lavar o limpiar
- Efluente: Corriente de agua que sale de algún sistema de tratamiento.
- Embrión del coco: Es la semilla del coco la cual se encuentra en la parte más interna del coco.
- Endocarpo: Parte dura, vellosa y marrón del coco. Es la primera cáscara del coco que recubre al edospermo.
- Endospermo: Pulpa blanca y aromática del coco.
- *Escherichia coli*: es un género de bacterias que pertenece al grupo de coliformes, estas bacterias son termotolerantes y son indicativas de una posible contaminación de origen fecal.
- Esfuerzo cortante: Fuerza que actúa en reacción a la fuerza que un fluido aplica sobre una superficie sólida.
- Eutrofización: Proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de microorganismos y limita la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la fauna y flora.
- Exocarpo o epicarpo: Cascara exterior gruesa del coco.
- Fluido compresible: Es un fluido cuya densidad cambia mientras su velocidad aumenta y es posible comprimirlo. La velocidad que se debe alcanzar es la de la velocidad del sonido. Todos los gases son compresibles.
- Fluido incompresible: Es un fluido cuya densidad es constante con el tiempo y no es posible comprimirlo. La masa y el volumen del fluido no cambian. Los líquidos entran en esta categoría.
- Golpe: Acción y efecto de golpear. Movimiento rápido y brusco. (de ariete) Aumento violento de la presión en una conducción hidráulica producido por el cierre brusco de una válvula.
- Hidráulica: Que se mueve por medio del agua o de otro fluido. Dicho de la energía: producida por el movimiento del agua.
- Límite máximo aceptable: Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua arriba de la cual dichas características son percibidas por consumidores desde el punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud.
- Límite máximo permisible: Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para consumo humano.
- Mesocarpo (Estopa de coco): Es la fibra que se obtiene del coco. Es la parte de cáscara que va antes de la cáscara exterior del coco, el exocarpo.
- O-ring: Es un empaque con forma de toroide (dona), usualmente de goma, cuya función es evitar el intercambio de líquidos o gases en las uniones entre piezas desmontables.
- Reducidor bushing de PVC: Permite la unión de dos tubos con distinto diámetro. Se consiguen con rosca y sin rosca.

- Tapón hembra de PVC: Está construido para tapar un tubo, desde la parte externa de este. Se consiguen con rosca y sin rosca.
- Tapón macho de PVC: Está construido para tapar un tubo, desde la parte externa de este. Únicamente se consiguen con rosca.
- Te de PVC: Accesorio de PVC en forma de T. Es utilizado para llevar un fluido a dos direcciones diferentes.
- Tensoactivos: Sustancia que afecta o puede variar o disminuir la tensión superficial de una solución. Se encuentran normalmente en jabones.
- Tratamiento de aguas residuales: Cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los anteriores que es utilizado para mejorar la calidad del agua residual.
- Unidades nefelométricas de turbiedad: unidad utilizada para medir la turbidez de un fluido, corresponde con la concentración de un patrón y se basa en la dispersión de la luz por partículas en suspensión en una disolución, midiendo el haz de luz en dirección que forma un ángulo recto  $90^\circ$ .
- Viscosidad cinemática: Es la división entre la viscosidad absoluta y su densidad.
- Viscosidad: Oposición del fluido a fluir, solo se manifiesta en líquidos en movimiento. Es la relación entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad, esta es la viscosidad dinámica o absoluta.
- sistema de tratamiento.
- Agua residual domestica: agua residual ordinaria, es aquella que ha sido utilizada en actividades domésticas ya sea en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado.
- Agua residual: Agua cuyas propiedades han sido modificadas debido a su uso en actividades domésticas, industriales y o agrícolas.
- Ariete: Máquina militar que se empleaba antiguamente para batir murallas, consistente en una viga larga y muy pesada que en uno de sus extremos poseía un refuerzo de hierro o bronce, labrada por lo común en forma de cabeza de carnero. (Mecánica) Máquina para elevar agua utilizando el movimiento oscilatorio producido por una columna del mismo líquido.
- Bomba: Máquina o artefacto para elevar agua u otro líquido y darle impulso en una dirección determinada.
- Características físicas y organolépticas: Son aquellas que se detectan sensorialmente o por medios analíticos de laboratorio.
- Carga: Acción y efecto de cargar. Peso sostenido por una estructura.
- Coeficiente de escorrentía: El coeficiente de escurrimiento representa la cantidad de agua que se pierde o no puede ser captada ya sea por filtración, evaporación u otros fenómenos que no hacen posible que toda el agua sea captada. Este valor depende del tipo de superficie e impermeabilizante donde cae el agua.
- Coliformes: es un conjunto de bacterias que se pueden encontrar en el intestino del hombre y animales, en el suelo, en las plantas, etc. Se utilizan como indicadores de contaminación.

- Compresible: Que se puede comprimir o reducir su volumen.
- Cuenca: Territorio cuyas aguas afluyen todas a un mismo río, lago o mar.
- Derivación: Acción y efecto de sacar o separar una parte del todo, o de su origen y principio. Conexión a una conducción principal de agua, de electricidad, de sangre, etc.
- Desnitrificación: Es un proceso metabólico que usa el nitrato como aceptor terminal de electrones en condiciones anóxicas (sin oxígeno). El proceso que ocurre en etapas sucesivas entre la reducción de nitratos hasta nitrógeno gaseoso, catalizado por sistemas enzimáticos diferentes, apreciando como productos intermedios nitritos, óxido nítrico y óxido nitroso. Este proceso lo realizan únicamente ciertos microorganismos.
- Detergente: Sustancia o producto químico que elimina la grasa y sirve para lavar o limpiar
- Efluente: Corriente de agua que sale de algún sistema de tratamiento.
- Embrión del coco: Es la semilla del coco la cual se encuentra en la parte más interna del coco.
- Endocarpo: Parte dura, vellosa y marrón del coco. Es la primera cáscara del coco que recubre al edospermo.
- Endospermo: Pulpa blanca y aromática del coco.
- *Escherichia coli*: es un género de bacterias que pertenece al grupo de coliformes, estas bacterias son termotolerantes y son indicativas de una posible contaminación de origen fecal.
- Esfuerzo cortante: Fuerza que actúa en reacción a la fuerza que un fluido aplica sobre una superficie sólida.
- Eutrofización: Proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de microorganismos y limita la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la fauna y flora.
- Exocarpo o epicarpo: Cascara exterior gruesa del coco.
- Fluido compresible: Es un fluido cuya densidad cambia mientras su velocidad aumenta y es posible comprimirlo. La velocidad que se debe alcanzar es la de la velocidad del sonido. Todos los gases son compresibles.
- Fluido incompresible: Es un fluido cuya densidad es constante con el tiempo y no es posible comprimirlo. La masa y el volumen del fluido no cambian. Los líquidos entran en esta categoría.
- Golpe: Acción y efecto de golpear. Movimiento rápido y brusco. (de ariete) Aumento violento de la presión en una conducción hidráulica producido por el cierre brusco de una válvula.
- Hidráulica: Que se mueve por medio del agua o de otro fluido. Dicho de la energía: producida por el movimiento del agua.
- Límite máximo aceptable: Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua arriba de la cual dichas características son percibidas por consumidores desde el punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud.
- Límite máximo permisible: Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para consumo humano.

- Mesocarpo (Estopa de coco): Es la fibra que se obtiene del coco. Es la parte de cáscara que va antes de la cáscara exterior del coco, el exocarpo.
- O-ring: Es un empaque con forma de toroide (dona), usualmente de goma, cuya función es evitar el intercambio de líquidos o gases en las uniones entre piezas desmontables.
- Reducidor bushing de PVC: Permite la unión de dos tubos con distinto diámetro. Se consiguen con rosca y sin rosca.
- Tapón hembra de PVC: Está construido para tapar un tubo, desde la parte externa de este. Se consiguen con rosca y sin rosca.
- Tapón macho de PVC: Está construido para tapar un tubo, desde la parte externa de este. Únicamente se consiguen con rosca.
- Te de PVC: Accesorio de PVC en forma de te. Es utilizado para llevar un fluido a dos direcciones diferentes.
- Tensoactivos: Sustancia que afecta o puede variar o disminuir la tensión superficial de una solución. Se encuentran normalmente en jabones.
- Tratamiento de aguas residuales: Cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los anteriores que es utilizado para mejorar la calidad del agua residual.
- Unidades nefelométricas de turbiedad: unidad utilizada para medir la turbidez de un fluido, corresponde con la concentración de un patrón y se basa en la dispersión de la luz por partículas en suspensión en una disolución, midiendo el haz de luz en dirección que forma un ángulo recto  $90^\circ$ .
- Viscosidad cinemática: Es la división entre la viscosidad absoluta y su densidad.
- Viscosidad: Oposición del fluido a fluir, solo se manifiesta en líquidos en movimiento. Es la relación entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad, esta es la viscosidad dinámica o absoluta.