

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
CARRERA DE QUÍMICA INDUSTRIAL**



**PROYECTO DE GRADO**

**PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIATURA EN QUÍMICA INDUSTRIAL**

**“DISEÑO, INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA PILOTO DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS EMPLEANDO COMO NUEVA ALTERNATIVA UN  
COAGULANTE NATURAL EN LA LOCALIDAD DE VIACHA”**

**Postulantes:**

**Bertha Carmiña Mamani Mallón**

**Zulma Yujra Callizaya**

**Tutora:**

**Lic. Graciela Espinoza Huanca**

**La Paz – Bolivia**

**2018**

## DEDICATORIA

*Este proyecto se lo dedico a mi Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

*A mi familia quienes por ello soy lo que soy. Para mi papá Adelio y mi mamá Irene por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.*

*Gracias también a mis queridos compañeros, que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, Seguimos siendo amigos: Rosa Andrea, Ximena, Luís, Iván, Consuelo a Bertha por haberme ayudado a realizar este trabajo.*

*Zulma Yujra Callizaya*

## DEDICATORIA

*Quiero dedicar este Proyecto a toda mi familia que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado, comenzando por mis padres Gregorio y Justa ya que gracias a su apoyo incondicional, sabios consejos, paciencia e infinito amor que me dan hoy culmino una faceta en mi largo camino y todo lo que soy es gracias a ellos, los amo muchísimo.*

*A mis Hermanos Sonia y Daniel gracias por sus palabras de aliento, apoyo y el cariño tan grande que nos tenemos.*

*A mi Esposo Christian, gracias por tu ayuda que ha sido fundamental, has estado conmigo apoyándome siempre hasta en los malos momentos, ya que este proyecto no fue fácil, pero estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían. Te lo agradezco muchísimo, amor.*

*A mi tesoro máspreciado mi Hija Zaira, posiblemente en este momento no entiendas mis palabras, pero tu afecto y cariño son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de buscar lo mejor para ti. Aun a tu corta edad, me has enseñado y me sigues enseñando muchas cosas de esta vida. Fuiste mi motivación más grande para concluir con éxito este proyecto, te amo infinitamente mi princesa.*

*También agradecer a Zulma por el aguante que me tuvo, sé que tuvimos muy buenos y malos momentos pero finalmente llegamos a la meta, gracias por tu amistad te quiero mucho.*

**Bertha Carmiña Mamani Mallón**

## AGRADECIMIENTOS

*Agradecer con carácter muy especial a nuestra querida Tutora Lic. Graciela Espinoza, por su paciencia, dedicación, motivación, criterio y aliento. Por no solo guiarnos académicamente sino también ser un referente de profesional, de madre y amiga que deseamos seguir.*

*Agradecer también a nuestros docentes Lic. Edmundo Ovando y Lic. Osvaldo Valenzuela, por todo el apoyo brindado, la paciencia, los conocimientos transmitidos durante la realización de este proyecto, ya que nos brindaron muchísima ayuda les estaremos eternamente agradecidas.*

*También a los docentes, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que nos ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración del presente proyecto de grado. Lic. Onofre, Lic. Marina, Dra. Terrazas, Dra. Monasterios, Ing. Párraga, Ing. García y Lic. Hilaquita, muchísimas gracias.*

*Finalmente a nuestros amigos de carrera muchas gracias por su apoyo en momentos inolvidables de lucha, de tristeza y muchas alegrías que pasamos juntos, siempre los recordaremos.*

***Zulma y Bertha***

## ÍNDICE

### CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Antecedentes .....	2
1.2.1. El Agua a Nivel Mundial.....	2
1.2.2. El Agua en Bolivia .....	2
1.2.3. Plantas de Tratamiento en los municipios de La Paz y El Alto .....	2
1.2.4. Aspectos sociales sobre el servicio básico de agua potable en el Municipio de Viacha .....	4
1.2.5. Consecuencias del uso de coagulante sintético para el tratamiento de aguas 5	
1.2.6. Estudios sobre el uso de coagulante natural .....	5
1.2.7. Proyectos formulados sobre el tratamiento de aguas .....	6
1.3. Planteamiento Del Problema.....	7
1.3.1. Identificación del problema .....	7
1.3.2. Formulación del problema .....	8
1.3.2.1. Aspectos inherentes al tratamiento de agua de pozo .....	8
1.4. Objetivos.....	9
1.4.1. Objetivo General.....	9
1.4.2. Objetivos Específicos .....	9
1.5. Justificación .....	10
1.5.1. Justificación Social .....	10
1.5.2. Justificación Técnica y Ambiental .....	10
1.6. Alcance y Localización .....	11
1.6.1. Alcance.....	11
1.6.2. Localización.....	11

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Aspectos Socio – Demográficos del Municipio de Viacha .....	13
2.1.1. Ubicación Geográfica .....	13
2.1.2. Latitud y Longitud .....	13
2.1.3. División Político – Administrativa .....	14

2.1.4.	Municipio de Viacha.....	14
2.2.	Descripción de la Planta (Penca De Tuna).....	15
2.2.1.	La Tuna .....	15
2.2.2.	Origen.....	16
2.2.3.	Clasificación Científica.....	16
2.2.4.	Desarrollo .....	16
2.2.5.	Importancia ecológica .....	17
2.2.6.	Requerimientos agro – climáticos para el cultivo de tuna .....	17
2.2.7.	Características morfológicas de la planta .....	19
2.2.8.	Usos del nopal.....	22
2.2.9.	Composición química de la planta .....	23
2.2.10.	La penca de tuna (Opuntia ficus indica) como coagulante natural.....	23
2.2.10.1.	Polímeros .....	23
2.2.10.2.	Clasificación de los polímeros .....	23
2.3.	El Agua .....	28
2.3.1.	Fuentes de abastecimiento.....	28
2.3.1.1.	Clasificación de las aguas.....	29
2.3.2.	Calidad del agua.....	30
2.3.3.	Parámetros de control de calidad del agua para consumo humano .....	30
2.3.4.	Planta de tratamiento de Agua Potable:.....	33
2.3.4.1.	Aireación .....	34
2.3.4.2.	Mezcla rápida.....	34
2.3.4.3.	Coagulación .....	35
2.3.4.4.	Floculación.....	37
2.3.4.5.	Sedimentación .....	44
2.3.4.6.	Filtración .....	46
2.3.4.7.	Desinfección .....	49

### **CAPÍTULO III**

3.	MARCO EXPERIMENTAL.....	54
3.1.	Localización y Recolección de la Materia Prima.....	54
3.2.	Caracterización Físico-Química de la Materia Prima .....	55
3.2.1.	Determinación de la humedad inicial de la penca de tuna .....	55

3.2.2.	Determinación de Cenizas:.....	56
3.2.3.	Determinación del pH: .....	57
3.2.4.	Resumen de los resultados obtenidos de la caracterización físico-química de la penca de tuna.....	58
3.3.	Velocidad de secado.....	60
3.3.1.	Determinación del área de la bandeja .....	60
3.3.2.	Determinación del Sólido Seco.....	60
3.3.3.	Secado de la Penca de Tuna.....	61
3.3.4.	Determinación de la Velocidad de secado para las pencas de la zona San Jorge – La Paz .....	62
3.3.5.	Determinación de la Velocidad de secado para las pencas de la Localidad de Carreras – Río Abajo; La Paz.....	65
3.4.	Obtención del Coagulante Natural a partir de la Penca de Tuna (Opuntia Ficus Indica) .....	68
3.4.1.	Proceso de Obtención .....	68
3.4.1.1.	Selección de Pencas aptas .....	70
3.4.1.2.	Limpieza de la Materia Prima.....	70
3.4.1.3.	Pelado y cortado de la penca de tuna .....	71
3.4.1.4.	Cortado .....	71
3.4.1.5.	Secado de la Penca de tuna en estufa a 60°C .....	72
3.4.1.6.	Triturado y Molienda de la Penca de tuna seca:.....	73
3.4.1.7.	Tamizado de la penca de tuna molida hasta malla de 106 µm: .....	74
3.4.1.8.	Extracción (Sol. – Liq.) del Pigmento, Mediante Equipo Soxhlet a las Muestras de Penca de Tuna molidas .....	75
3.4.1.9.	Secado y Pulverizado del coagulante obtenido a partir de Penca de Tuna: 76	
3.5.	Rendimiento de Obtención de Coagulante de Penca de Tuna.....	77
3.5.1.	Balance de materia para el proceso de obtención del coagulante .....	77
3.5.2.	Cálculo del rendimiento para el proceso de obtención del coagulante...88	
3.5.3.	Costo de producción de 1 Kg de coagulante Natural a base de penca de tuna 90	
3.5.4.	Comparación de Costos entre un Coagulante Químico (Sulfato de Aluminio), con el Coagulante Natural a Base de la Penca de Tuna .....	91
3.5.5.	Ventaja y desventajas de usar el coagulante natural a base de penca de tuna en comparación a un coagulante químico como el sulfato de aluminio. ....	92

3.6.	Caracterización del Coagulante Obtenido .....	92
3.6.1.	Pruebas Fisicoquímicas.....	93
3.6.2.	Prueba de Solubilidad.....	93
3.7.	Recolección de Muestras de Agua Natural .....	94
3.8.	Aplicación del Coagulante .....	97
3.8.1.	Descripción del equipo de prueba de jarras de la carrera .....	97
3.8.1.1.	Características funcionales .....	99
3.8.2.	Determinación de las condiciones óptimas de tratamiento .....	99
3.8.3.	Determinación de la cantidad óptima de coagulante.....	99
3.8.3.1.	Preparación de la solución de coagulante.-.....	100
3.8.3.2.	Preparación de las jarras.- .....	101
3.8.3.3.	Preparación de dosis de coagulante.- .....	101
3.8.3.4.	Adición de coagulante de penca de tuna y etapa de coagulación en el equipo de jarras.....	103
3.8.3.5.	Etapas de floculación.-.....	103
3.8.3.6.	Etapas de sedimentación.-.....	103
3.8.3.7.	Toma de muestra.-.....	104
3.8.3.8.	Análisis de muestras.- .....	105
3.8.3.9.	Elección de la dosis óptima de coagulante.-.....	105
3.9.	Ensayos de Pruebas de Jarras .....	106
3.9.1.	Ensayos con el equipo de jarras para la determinación de la dosis óptima de coagulante natural de penca de tuna .....	106
3.10.	Determinación del tiempo de agitación rápida y velocidad lenta en el periodo de coagulación y floculación respectivamente.....	126
3.11.	Determinación del tiempo de sedimentación.....	127
3.12.	Parámetros óptimos finales de tratamiento .....	128
3.13.	Determinación de la dosis óptima del coagulante en muestra de agua de pozo recolectada de la Planta de Compostaje y Lombricultura de la localidad de Viacha	129
3.14.	Resumen de datos de las pruebas de los tres coagulantes obtenidos para hallar el que mejor actividad coagulante tenga. ....	130
3.15.	Comparación de efectividad entre el coagulante de penca de tuna ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y el coagulante sulfato de aluminio.....	132
3.16.	Determinación de Parámetros .....	134

3.16.1.	Parámetros Físicoquímicos .....	134
3.16.2.	Parámetros químicos.....	134
3.16.3.	Parámetros Microbiológicos .....	135
3.17.	Resultados Físico – Químicos, Químicos y Microbiológicos de Agua de Pozo	135
3.17.1.	Muestreo 1 (P-A <sub>1</sub> ):.....	135
3.17.2.	Muestreo 2 (P-A <sub>2</sub> ):.....	137
3.17.3.	Muestreo “P-A <sub>3</sub> ”.....	139
3.17.4.	Muestreo “P-A <sub>4</sub> ”.....	143
3.17.5.	Muestreo “P-A <sub>5</sub> ”.....	146
3.17.6.	Muestreo de agua de pozo de la Planta de Compostaje y Lombricultura (P-B <sub>1</sub> ).	149

## **CAPÍTULO IV**

4.	PLANTA PILOTO CONVENCIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS EMPLEANDO COMO NUEVA ALTERNATIVA COAGULANTE NATURAL A BASE DE PENCA DE TUNA, EN LA LOCALIDAD DE VIACHA.....	154
4.1.	Capacidad de Diseño .....	155
4.2.	Tipo de Planta .....	155
4.3.	Calidad del agua a tratar .....	155
4.4.	Características y ventajas .....	155
4.5.	Especificaciones de la Planta.....	156
4.5.1.	Tanques de almacenamiento.....	156
4.5.2.	Floculador Horizontal.....	157
4.5.3.	Sedimentador .....	159
4.5.4.	Filtro de Arena .....	162
4.6.	Descripción del Funcionamiento .....	165
4.6.1.	Sistema de Tratamiento.....	165
4.7.	Aplicación del Coagulante Natural (Penca de tuna a base de pulpa) .....	166
4.8.	Puesta en Marcha .....	167
4.9.	Balance de Materia y energía de la Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Aguas de la Localidad de Viacha. ....	170
4.9.1.	Balance de Materia de la Planta Piloto convencional de Tratamiento de Aguas	170

4.9.2.	Balance de Energía en función a equipos eléctricos empleados en la planta piloto convencional de tratamiento de agua .....	173
4.10.	Estructura Organizacional de la Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Aguas. ....	175
4.11.	Actividades de mantenimiento y operación en la Planta piloto Convencional de agua potable .....	175
4.11.1.	Manuales de Operación y Mantenimiento.....	176
4.11.1.1.	Tanque de Almacenamiento de agua cruda .....	176
4.11.1.2.	Floculador .....	177
4.11.1.3.	Sedimentador .....	177
4.11.1.4.	Filtro de Arena.....	178
4.11.1.5.	Depósito de agua potable.....	179
4.12.	Control de calidad del agua en la planta piloto convencional de tratamiento de agua potable. ....	182
4.13.	Aspecto Económico de la Planta Piloto.....	183
4.13.1.	Costos de operación de la Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Aguas. ....	186
4.14.	Resultados Físico – Químicos, Químicos y Microbiológicos de la Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Aguas Aplicando un Coagulante Natural de la Penca de Tuna antes y después de su Tratamiento.....	187

## **CAPÍTULO V**

5.	PROTOTIPO CONVENCIONAL DE UN COAGULADOR PARA USO FAMILIAR	191
5.1.	Medidas del Coagulador Convencional de 10 Litros de Capacidad.....	191
5.2.	Prueba del Coagulante Natural a diferentes tiempos de agitación y cloración	192
5.3.	Prueba De Jarras (Dosis Óptima De Coagulante) .....	193
5.4.	Turbiedad y Tiempo de Sedimentación a Diferentes Alturas .....	194
5.5.	Resultados Físico-Químicos y Microbiológicos del análisis del agua de pozo.	199

## **CAPÍTULO VI**

6.	CONCLUSIONES.....	201
7.	RECOMENDACIONES.....	209
8.	BIBLIOGRAFÍA:.....	210
9.	ANEXOS .....	212

## ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla N° 1: Plantas de Potabilización de Aguas (EPSAS) .....	3
Tabla N° 2: Superficie Municipio de Viacha.....	14
Tabla N° 3: Bolivia, Estructura de la población por área y tasa anual de crecimiento intercensal 2001-2012, según provincia y municipio, censo 2001 y 2012 <sup>0</sup> .....	14
Tabla N° 4: Clasificación Científica .....	16
Tabla N° 5: Composición química de la penca .....	23
Tabla N° 6: Clasificación y ejemplos de algunos polímeros .....	24
Tabla N° 7: Polímeros naturales que tienen propiedades coagulantes o floculantes ..	26
Tabla N° 8: Clasificación de los contaminantes presentes en el agua .....	29
Tabla N° 9: Parámetros de Control Mínimo .....	31
Tabla N° 10: Parámetros de Control Básico .....	31
Tabla N° 11: Parámetros de Control Complementario.....	32
Tabla N° 12: Parámetros de Control Especial .....	33
Tabla N° 13: Tipos de Filtros.....	48
Tabla N° 14: Datos de referencia para la desinfección según, el volumen de agua a tratar: .....	50
Tabla N° 15: Porcentaje de humedad de la Penca de Tuna .....	56
Tabla N° 16: Porcentaje de ceniza en la Penca de Tuna .....	57
Tabla N° 17: Resultados pH Penca de Tuna .....	58
Tabla N° 18: Resultados de la caracterización fisicoquímica de la penca de tuna.....	59
Tabla N° 19: Resultados de Ss de las muestras de pencas .....	60
Tabla N° 20: Variables para la determinación de la Velocidad de Secado en la pulpa .....	62
Tabla N° 21: Variables para la determinación de la Velocidad de Secado en la Cáscara .....	63
Tabla N° 22: Variables para la determinación de la Velocidad de Secado en la Penca Entera .....	64
Tabla N° 23: Variables para la determinación de la Velocidad de Secado en la Pulpa .....	65
Tabla N° 24: Variables para la determinación de la Velocidad de Secado en la Cáscara .....	66
Tabla N° 25: Variables para la determinación de la Velocidad de Secado en la Penca Entera .....	67
Tabla N° 26: Códigos de referencia para los Productos .....	77
Tabla N° 27: Balance de masa por operación en el Lote 1-X .....	78
Tabla N° 28: Balance de masa por operación en el Lote 1-Y .....	80
Tabla N° 29: Balance de masa por operación en el Lote 1-Z .....	82
Tabla N° 30: Balance de masa por operación en el Lote 2-X .....	84
Tabla N° 31: Balance de masa por operación en el Lote 2-Y .....	85
Tabla N° 32: Balance de masa por operación en el Lote 2-Z .....	87
Tabla N° 33: Resultados del Rendimiento de obtención del coagulante natural para cada lote .....	89

Tabla N° 34: Costo de producción de 1 Kg de coagulante natural (penca de tuna) ...	90
Tabla N° 35: Comparación de costo de coagulante natural y químico.....	91
Tabla N° 36: Ventajas y desventajas de coagulante natural y químico.....	92
Tabla N° 37: Pruebas Físicas.....	93
Tabla N° 38: Pruebas de Solubilidad.....	93
Tabla N° 39: Codificación de punto de Muestreo .....	100
Tabla N° 40: Valores del índice de Willcomb.....	106
Tabla N° 41: Códigos de coagulante de penca de tuna y lugares de muestreo de agua.....	107
Tabla N° 42: Prueba de Jarra N°1 .....	107
Tabla N° 43: Prueba de Jarra N°2 .....	108
Tabla N° 44 Prueba de Jarra N°3.....	109
Tabla N° 45: Prueba de Jarra N°4.....	110
Tabla N° 46: Prueba de Jarra N°5.....	112
Tabla N° 47: Prueba de Jarra N°6.....	113
Tabla N° 48: Prueba de Jarra N°7.....	114
Tabla N° 49: Prueba de Jarra N°8.....	115
Tabla N° 50: Prueba de Jarra N°9.....	116
Tabla N° 51: Prueba de Jarra N°10.....	118
Tabla N° 52: Prueba de Jarra N°11.....	119
Tabla N° 53: Prueba de Jarra N°12.....	120
Tabla N° 54: Prueba de Jarra N°13.....	121
Tabla N° 55: Prueba de Jarra N°14.....	122
Tabla N° 56: Prueba de Jarra N°15.....	123
Tabla N° 57: Prueba de Jarra N°16.....	124
Tabla N° 58: Prueba de Jarra N°17.....	125
Tabla N° 59: Determinación del Tiempo de Agitación Rápida .....	126
Tabla N° 60: Determinación Velocidad de Agitación Lenta .....	127
Tabla N° 61: Determinación del tiempo de sedimentación .....	127
Tabla N° 62: Parámetros óptimos en el proceso de Coagulación.....	128
Tabla N° 63: Prueba de Jarras.....	129
Tabla N° 64: Resumen de datos para hallar el mejor coagulante.....	131
Tabla N° 65: Penca de tuna Vs Sulfato de Aluminio.....	132
Tabla N° 66: Parámetros Químicos.....	134
Tabla N° 67: Resultados Físico – Químicos del Muestreo 1.....	135
Tabla N° 68: Resultados Químicos del Muestreo 1 .....	136
Tabla N° 69: Resultados Físico – Químicos del Muestreo 2.....	137
Tabla N° 70: Resultados Químicos del Muestreo 2 .....	138
Tabla N° 71: Resultados Físico – Químicos del Muestreo 3.....	140
Tabla N° 72: Resultados Químicos del Muestreo 3 .....	141
Tabla N° 73: Resultados Microbiológicos del Muestreo 3.....	142
Tabla N° 74: Resultados Físico-Químicos del Muestreo 4 .....	143
Tabla N° 75: Resultados Químicos del Muestreo 4 .....	144

Tabla N° 76: Resultados Microbiológicos del Muestreo 4.....	145
Tabla N° 77: Resultados Físico-Químicos del Muestreo 5 .....	146
Tabla N° 78: Resultados Químicos del Muestreo 5 .....	147
Tabla N° 79: Resultados Microbiológicos del Muestreo 5.....	148
Tabla N° 80: Resultados Físico – Químicos del muestreo 1 del punto B.....	149
Tabla N° 81: Resultados Químicos del muestreo 1 del punto B .....	150
Tabla N° 82: Resultados Microbiológicos del muestreo 1 del punto B.....	152
Tabla N° 83: Resumen de los resultados de la caracterización de los muestreos de aguas de pozo .....	153
Tabla N° 84: Balance de Materia de la Planta Piloto Convencional de Agua en la Localidad de Viacha.....	172
Tabla N° 85: Balance de Energía de la Planta Piloto Convencional de Agua en la Localidad de Viacha.....	174
Tabla N° 86: Actividades de Mantenimiento y operación de la Planta piloto Convencional para el tratamiento de agua potable en la localidad de Viacha ..	180
Tabla N° 87: Muestreo Diario para el Control Mínimo de la calidad del agua .....	182
Tabla N° 88: Muestreo Trimestral para el Control Mínimo básico y complementario de la calidad del agua .....	183
Tabla N° 89: Costos de la Planta Piloto .....	184
Tabla N° 90: Costo de operación de la planta piloto convencional de tratamiento de aguas.....	186
Tabla N° 91: Resultados Físico-Químicos del Muestreo 7 .....	187
Tabla N° 92: Resultados Químicos del Muestreo 7 .....	188
Tabla N° 93: Resultados Microbiológicos del Muestreo 7.....	189
Tabla N° 94: Prueba de Jarras de la muestra 6 .....	193
Tabla N° 95: Resultados de la Prueba de Jarras.....	194
Tabla N° 96: Turbiedad y tiempo de sedimentación a diferentes alturas .....	195
Tabla N° 97: Turbiedad y tiempo de sedimentación a diferentes alturas .....	196
Tabla N° 98: Turbiedad y tiempo de sedimentación a diferentes alturas .....	196
Tabla N° 99: Turbiedad y tiempo de sedimentación a diferentes alturas.....	197
Tabla N° 100: Turbiedad y tiempo de sedimentación a diferentes alturas .....	197
Tabla N° 101: Turbiedad y tiempo de sedimentación a diferentes alturas para las siguientes pruebas.....	198
Tabla N° 102: Resultados Físico – Químicos .....	199
Tabla N° 103: Análisis microbiológico de las pruebas encontradas.....	200

## ÍNDICE DE GRAFICAS:

Gráfica N° 1: Árbol de Problemas .....	7
Gráfica N°2: Vista panorámica de la Ciudad de Viacha.....	13
Gráfica N° 3: Municipio de Viacha: Proyecciones de población por sexo, 2017-2020 .....	15
Gráfica N° 4: Velocidad de Secado vs Humedad Promedio .....	62
Gráfica N° 5: Velocidad de Secado vs Humedad Promedio .....	63
Gráfica N° 6: Velocidad de Secado vs Humedad Promedio .....	64
Gráfica N° 7: Velocidad de Secado vs Humedad Promedio .....	65
Gráfica N° 8: Velocidad de Secado vs Humedad Promedio .....	66
Gráfica N° 9: Velocidad de Secado vs Humedad Promedio .....	67
Gráfica N° 10: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°1).....	108
Gráfica N° 11: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°2).....	109
Gráfica N° 12: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°3).....	110
Gráfica N° 13: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°4).....	111
Gráfica N° 14: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°5).....	112
Gráfica N° 15: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°6).....	114
Gráfica N° 16: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°7).....	115
Gráfica N° 17: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°8).....	116
Gráfica N° 18: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°9).....	117
Gráfica N° 19: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°10).....	118
Gráfica N° 20: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°11).....	119
Gráfica N° 21: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°12).....	120
Gráfica N° 22: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°13).....	121
Gráfica N° 23: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°14).....	122
Gráfica N° 24: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°15).....	123
Gráfica N° 25: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°16).....	124
Gráfica N° 26: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°17).....	125
Gráfica N° 27: Prueba de Jarras .....	130
Gráfica N° 28: Turbiedad Final obtenida con el coagulante de Penca de tuna Vs Turbiedad Final obtenida con el Sulfato de Aluminio.....	133
Gráfica N° 29: % de Remoción de la Turbiedad.....	133
Gráfica N° 30: Estructura Organizacional de la Planta Piloto Convencional .....	175
Gráfica N° 31: Prueba de Jarras de la muestra 6 .....	193

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS:

Fotografía N° 1: Pozo de Agua del área Rural .....	11
Fotografía N° 2: Lugar donde se realizará la Planta de Tratamiento de Agua .....	12
Fotografía N° 3: Planta de Tuna (Opuntia ficus indica) .....	19
Fotografía N° 4: Cladodios mostrando las areolas y espinas .....	20
Fotografía N° 5: Cladodios tiernos mostrando las hojas caducas .....	21
Fotografía N° 6: Flores jóvenes de Opuntia ficus indica .....	21
Fotografía N° 7: Cáscara y pulpa gelatinosa de los frutos de la tuna .....	22
Fotografía N° 8: Cáscara y pulpa gelatinosa de los frutos de la tuna .....	36
Fotografía N° 9: Recolección pencas aptas zona San Jorge .....	54
Fotografía N° 10: Recolección pencas aptas Localidad de Carreras (Rio Abajo) .....	54
Fotografía N° 11: secado de las muestras de penca .....	55
Fotografía N° 12: Determinación de Ceniza de la penca de tuna .....	57
Fotografía N° 13: Determinación del pH de la penca de tuna .....	58
Fotografía N° 14: Tamaño del área de la bandeja de secado .....	60
Fotografía N° 15: Estufa de Secado marca BINDER .....	61
Fotografía N° 16: Secado de las muestras de pencas .....	61
Fotografía N° 17: Limpieza de las Pencas en buen estado .....	70
Fotografía N° 18: Pelado de la Cutícula de la Pencas .....	71
Fotografía N° 19: Cortado de la penca .....	71
Fotografía N° 20: Estufa de Secado .....	72
Fotografía N° 21: Deshidratación de la Penca de Tuna .....	72
Fotografía N° 22: triturado y molienda de la penca de tuna .....	73
Fotografía N° 23: Fibra de la penca difícil de moler .....	73
Fotografía N° 24: Tamizador Eléctrico .....	74
Fotografía N° 25: Penca Tamizada de la Pulpa, Cáscara y Entera .....	74
Fotografía N° 26: Equipo Soxhlet Solido-Líquido en Serie .....	75
Fotografía N° 27: Extracción del pigmento de la penca .....	75
Fotografía N° 28: Penca de Tuna sin Pigmento - Coagulante Natural .....	76
Fotografía N° 29: Coagulante a base de Penca de tuna con y sin Pigmento .....	76
Fotografía N° 30: (A) Sekejahuira (final ladrilleras) .....	94
Fotografía N° 31: (B) Planta de Compostaje y Lombricultura .....	95
Fotografía N° 32: Toma de muestra de Agua de Pozo .....	96
Fotografía N° 33: Muestreo de agua para Análisis Microbiológico .....	96
Fotografía N° 34: Determinación de parámetros in situ .....	97
Fotografía N° 35: Equipo de Prueba de Jarras .....	98
Fotografía N° 36: Preparación del coagulante natural .....	100
Fotografía N° 37: Preparación de las Jarras .....	101
Fotografía N° 38: Preparación de la dosis de Coagulante Natural .....	102
Fotografía N° 39: Adición del coagulante natural de penca de tuna .....	103
Fotografía N° 40: Sedimentación de los flóculos .....	104
Fotografía N° 41: Toma de Muestra .....	104
Fotografía N° 42: Uso del Turbidímetro Digital .....	105

Fotografía N° 43: Agua de Pozo del punto B (Viacha, Zona Santa Bárbara Planta de Compostaje) .....	151
Fotografía N° 44: Río Pallina Distrito 2 del municipio de Viacha, Zona Santa Bárbara .....	151
Fotografía N° 45: Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Aguas .....	154
Fotografía N° 46: tanques de almacenamiento de aguas de los procesos .....	157
Fotografía N° 47: Floculador de flujo horizontal .....	159
Fotografía N° 48: Tanque del Sedimentador .....	161
Fotografía N° 49: Tanque de Sedimentador y las placas inclinadas de PVC.....	161
Fotografía N° 50: Filtro de arena .....	164
Fotografía N° 51: Agua tratada del filtro de arena .....	164
Fotografía N° 52: Recolección de agua de pozo en el carro cisterna .....	167
Fotografía N° 53: dosificador del coagulante.....	168
Fotografía N° 54: dosificación en el floculador .....	168
Fotografía N° 55: formación de los flocs.....	169
Fotografía N° 56: Sedimentación de los flocs formados .....	169
Fotografía N° 57: turbiedad inicial y final del tratamiento de agua de pozo .....	170

## ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura N° 1: Estructura de la glucosa .....	27
Figura N° 2: Estructura de la glucosa .....	27
Figura N° 3: Mezcladores hidráulicos .....	35
Figura N° 4: Mezcladores mecánicos .....	35
Figura N° 5: Teoría de estabilidad de coloides .....	38
Figura N° 6: Teoría de estabilidad de coloides .....	39
Figura N° 7: Floculador mecánico con paletas de eje horizontal .....	42
Figura N° 8: Floculador mecánico con paletas de eje vertical .....	42
Figura N° 9: Tipos de Floculadores mecánicos .....	43
Figura N° 10: Floculador hidráulico de flujo horizontal .....	44
Figura N° 11: Floculador hidráulico de flujo vertical.....	44
Figura N° 12: Sedimentación de tasa alta .....	46
Figura N° 13: Tipos de Filtro, según dirección de flujo .....	47
Figura N° 14: Tipos de Filtro, según lecho filtrante .....	47
Figura N° 15: Obtención del Coagulante Natural a base de Penca de tuna .....	69
Figura N° 16: balance de masa del Lote 1-X.....	79
Figura N° 17: balance de masa del Lote 1-Y .....	80
Figura N° 18: Balance de masa del Lote 1-Z.....	82
Figura N° 19: balance de masa del Lote 2-X.....	84
Figura N° 20: Balance de masa del Lote 2-Y .....	86
Figura N° 21: Balance de masa del Lote 2-Z.....	88

## ÍNDICE DE ESQUEMAS:

Esquema N° 1: Dispositivo de prueba de jarras .....	37
Esquema N° 2: Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Aguas .....	154
Esquema N° 3: Floculador .....	158
Esquema N° 4: Sedimentador .....	160
Esquema N° 5: Filtro de arena .....	163
Esquema N° 6: Corriente y Componentes de la Planta Piloto Convencional de Agua en la Localidad de Viacha .....	171
Esquema N° 7 : Componentes de la Planta Piloto Convencional de Agua en la Localidad de Viacha.....	173
Esquema N° 8: Prueba de Jarras para 10 L de volumen.....	195

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Introducción

Todas las formas de vida en la tierra dependen del agua. Cada ser humano necesita consumir varios litros de agua dulce al día para vivir. Según la OMS, las enfermedades diarreicas son la segunda mayor causa de muerte de niños menores de cinco años, matando a 760.000 niños cada año. Pudiéndose prevenir mediante el acceso al agua potable y a servicios adecuados de saneamiento e higiene.

La planta de tratamiento de aguas es una instalación donde el agua cruda es sometida a diversos procesos con el objetivo de eliminar microorganismos y contaminantes físicos y químicos hasta alcanzar límites aceptables que estipulan las normas <sup>(1)</sup>.

El sulfato de aluminio, es un coagulante químico muy utilizado en el proceso de coagulación en tratamiento de aguas, como ocurre también en la ciudad de La Paz, ya que la Empresa Pública Social de Aguas y Saneamiento (EPSAS), importa grandes cantidades (toneladas) de sulfato de Aluminio e Hipoclorito de Calcio Comercial para la desinfección de aguas, sin embargo este primer compuesto posee algunos inconvenientes que han señalado sobre la conveniencia de introducir alumbre en el medio ambiente, ya que induce a la enfermedad de Alzheimer, enfermedad causada debido a las propiedades cancerígenas de éste.

El presente proyecto, se realizó con el objetivo de evaluar la posibilidad técnica y ambiental de utilizar un floculante natural en la remoción de la turbidez de aguas superficiales y/o subterráneas del municipio de Viacha y emplearlo en la planta piloto de tratamiento de agua que será construido en este Municipio, para aplicar a esta una serie de procesos que eliminen los sólidos, la turbidez y todos los agentes que produzcan un aspecto desagradable en el agua a través de agentes de origen natural.

---

<sup>1</sup> Nadia Cristina Chullunkuy Camacho – Junio de 2011

## 1.2. Antecedentes

### 1.2.1. El Agua a Nivel Mundial

En zonas rurales, en especial en muchos países en desarrollo, las infraestructuras para suministrar de forma centralizada agua potable no existen o no producen realmente agua desinfectada, y mucha gente utiliza agua superficial y subterránea. Debido a que estas fuentes a menudo están contaminadas por materia fecal, la diarrea está muy extendida, sobre todo entre la población infantil, y causa la muerte de 1,6 millones de personas cada año <sup>(2)</sup>.

### 1.2.2. El Agua en Bolivia

Como señala Montes de Oca <sup>(3)</sup>, “Bolivia es un país que cuenta con inmensos recursos hídricos”, tanto superficiales como subterráneos, que han sido aprovechados en una escala muy pequeña.

Bolivia es en América latina uno de los países de mayor oferta de agua dulce por habitante, aproximadamente  $50,000 \left[ \frac{m^3}{Hab. \text{ año}} \right]$ .

Pero, pese a la abundancia de los recursos hídricos de agua dulce, algunas ciudades y poblaciones rurales del país son afectados por la escasez debido a la carencia de políticas departamentales o municipales que no realizan las inversiones necesarias para atender tales necesidades <sup>(4)</sup>.

Ahora en cuanto al uso del Coagulante Natural para el Tratamiento de aguas en Bolivia, no existe en ninguna de estas plantas el uso de este producto natural. En el caso de EPSAS de la ciudad de La Paz, existe un estudio para el uso de Polímeros naturales <sup>(5)</sup>.

### 1.2.3. Plantas de Tratamiento en los municipios de La Paz y El Alto

La prestación de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario para la ciudad de La Paz y la ciudad de El Alto, son efectuados por la Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento (EPSAS). Esta es la responsable del control de calidad del agua para consumo humano en el área de prestación del servicio en el marco de la NB-

---

<sup>2</sup> Colin Baird, Michael Cann, 2014.

<sup>3</sup> Enciclopedia Geográfica de Bolivia – Ismael Montes de Oca

<sup>4</sup> Periódico “El Diario – Opinión”, Hernán Zeballos; Mayo 2016

<sup>5</sup> UMSA – 2016, Eunice Marcela Choque Alex.

512, siendo la AAPS la encargada de la fiscalización, evaluando a EPSAS de acuerdo a los indicadores de calidad de agua:

- Ejecución de los análisis de agua potable. (Midiendo el cumplimiento de los muestreos recomendados según la NB-496).
- Conformidad de los análisis de agua potables realizados. (Verificando que el agua cumpla con la NB-512)

A efectos de tener conocimiento y claridad sobre los sistemas utilizados, se ha realizado una descripción y evaluación de las características de cada uno de sus componentes de las plantas de tratamiento con las que cuenta EPSAS <sup>(6)</sup>.

*Tabla N° 1: Plantas de Potabilización de Aguas (EPSAS)*

Tratamiento y Distribución de agua potable	Fuente	Proceso	Uso de tipo de Coagulante
<b>Achachicala</b>	Embalses Milluni y Jankokhota y eventualmente aguas del río Choqueyapu.	Presedimentación Disipación Dosificación Floculación Sedimentación Filtración Desinfección Almacenamiento	$Al_2(SO_4)_3$
<b>Pampahasi</b>	Embalse Hampaturi y del embalse Incachaca.	Disipación Dosificación Floculación Sedimentación Filtración Desinfección Almacenamiento	$Al_2(SO_4)_3$
<b>El Alto</b>	Del embalse Tuni	Disipación Aireación Dosificación Floculación Filtración Desinfección Almacenamiento	$Al_2(SO_4)_3$
<b>Tilata</b>	aguas subterráneas de pozo	Alcalinización Desinfección	No Utilizan
<b>EMAPAV</b>	aguas subterráneas de pozo	Alcalinización Desinfección	No Utilizan

**Fuente: Elaboración propia.**

<sup>6</sup> EPSAS, "Plan de desarrollo Quinquenal 2013 – 2017"

Esta Tabla N°1, Nos muestra que cinco plantas de EPSAS mencionadas utilizan procesos de tratamientos de agua completa pero, EMAPAV y Tilata solo realizan el proceso de alcalinización y desinfección del agua para consumo humano poniendo en duda la calidad del agua de consumo.

Las plantas que maneja EPSAS, citadas anteriormente y enfocándonos en los procesos de coagulación – floculación, estas utilizan para este fin coagulantes químicos en base a sales de aluminio y hierro, las cuales producen una serie de reacciones muy complejas.

#### **1.2.4. Aspectos sociales sobre el servicio básico de agua potable en el Municipio de Viacha**

En el municipio paceño de Viacha, solo el 32% de las viviendas cuentan con este servicio básico; el resto consume agua proveniente de pozos subterráneos expuestos a la contaminación por heces de animales. En 2009, el 18,24% de la población del distrito padecía alguna parasitosis gastrointestinal y en el caso de la población escolar esta alcanzaba al 90% de los niños y niñas <sup>(7)</sup>.

En el municipio de Viacha existen dos entes encargados de la distribución de agua para consumo:

- EPSAS, que se encarga de la distribución del distrito 7 del municipio de Viacha, que abarca las zonas Tilata, Mariscal Santa Cruz, etc., mediante redes de agua potable que se alimentan de la Planta Tilata, que es de origen subterráneo y es extraída de los 30 pozos construidos en la zona del mismo nombre. Los pozos están distribuidos en 2 líneas A y B de 15 pozos cada una y tiene una profundidad entre 65 y 121 m; estas aguas reciben un tratamiento solo de Alcalinización y Desinfección, para lo cual se realizan procesos de dosificación de cal y desinfección <sup>(8)</sup>.
- y EMAPAV, la cual se encarga de la distribución de agua en las zonas Urbanas del municipio de Viacha distrito 1 y 2, estas se abastecen de agua por medio de aguas subterráneas que para obtenerla se hacen perforaciones de 80 metros de profundidad.

---

<sup>7</sup> Jornadanet.com La Paz.

<sup>8</sup> EPSAS, "Plan de desarrollo Quinquenal 2013 – 2017"

### **1.2.5. Consecuencias del uso de coagulante sintético para el tratamiento de aguas**

Actualmente las plantas potabilizadoras utilizan como coagulante el sulfato de aluminio líquido, en una dosis máxima recomendada de 25 a 30 ppm <sup>(9)</sup>, según investigaciones, estos coagulantes sintéticos conllevan consecuencias medio ambientales. Como la **producción de grandes volúmenes de Lodo** y el hecho que afectan el pH del agua tratada (Yin, 2010; Haaroff & Cleasby 1988). También existe evidencia que relaciona a los coagulantes, a base de aluminio, con el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer en los seres humanos, debido a la presencia de aluminio residual en el agua tratada (Flaten, 2001; Miller *et al.* 1984).

### **1.2.6. Estudios sobre el uso de coagulante natural**

En la actualidad, el uso de polímeros como ayudantes de coagulación y floculación está bastante extendido y es práctica corriente en muchas plantas de tratamiento de agua, principalmente de países industrializados <sup>(10)</sup>.

El uso de coagulantes a base de plantas (vegetales) para el tratamiento de aguas turbias data de varios milenios y, hasta ahora, los científicos medioambientales han podido identificar varios tipos de plantas, para este propósito. El empleo de materiales naturales puede minimizar o evitar la importación de los coagulantes químicos (Yin, 2010; Haaroff & Cleasby 1988).

El creciente desarrollo y uso de coagulantes naturales, extraídos a partir de microorganismos, tejidos de plantas o animales; son biodegradables y seguros para la salud humana, producen menos volumen de lodos, generando cantidades que van entre el 20-30 %, mucho menores a las generadas por el empleo de agentes coagulantes metálicos, como el alumbre (Sciban *et al.*, 2009).

La tuna (*Opuntia ficus-indica*), esta especie es una de las más estudiadas debido a su buen rendimiento en el proceso de coagulación, algunos estudios han demostrado su eficiencia como ser:

---

<sup>9</sup> Aldar Química S.A. de C.V., "AGUA POTABLE"

<sup>10</sup> CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA Lima, Perú 1975

- Villabona *et al*, (2013 - Colombia) estudiaron la *Opuntia ficus indica* evaluando la eficacia de dicho coagulante para la eliminación de turbidez y de color en aguas crudas.
- Por otro lado en Managua–Nicaragua se extrajo y analizó la Tuna (*Opuntia Cochinellífera*), un polielectrólito de origen natural.

### **1.2.7. Proyectos formulados sobre el tratamiento de aguas**

Los trabajos y proyectos encontrados realizados en el municipio de Viacha, en bien de la mejora del consumo de agua potable están descritos a continuación:

- Gestión Integral del Agua en la región Metropolitana del departamento de La Paz. Relevamiento de problemas y propuestas de la región metropolitana del departamento de La Paz. Red Habilidad, proyecto Agua y Cambio Climático, junio 2011.
- 2014 – 2016, Caracterización y Plan de Manejo del Acuífero de Viacha – Bolivia mediante la Aplicación de Técnicas Tradicionales Complementadas por Técnicas Hidroquímicas e Isotópicas. Se lo realiza con la participación del Ministerio de Medio Ambiente y del Agua – MMAyA, del Gobierno Autónomo Municipal de Viacha – GAMV y EMAPAV.

La Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ingeniería, realizó también proyectos con respecto a la utilización de coagulantes naturales los cuales son:

- Utilización de productos nativos para la clarificación de aguas de consumo
- Estudio y evaluación de una alternativa para la producción de un floculante natural a partir de la penca de tuna.

Los proyectos citados nos servirán como base para la realización del presente proyecto en el tratamiento de aguas usando coagulante natural.

### 1.3. Planteamiento Del Problema

#### 1.3.1. Identificación del problema

A continuación, se presenta un árbol de problemas que servirá de ayuda para determinar cuál es el problema que se pretende solucionar con este proyecto.

Gráfica N° 1: Árbol de Problemas



Fuente: Elaboración propia

La Gráfica N°1. Muestra la problemática encontrada en el proyecto, las causas que la generan y los efectos que provocan.

## 1.3.2. Formulación del problema

### 1.3.2.1. Aspectos inherentes al tratamiento de agua de pozo

El agua es un recurso imprescindible para la vida de todos los seres en el planeta. Su uso no se limita al consumo humano y por el contrario se utiliza en el desarrollo de gran diversidad de actividades productivas como: agricultura, ganadería, turismo, salud, economía etcétera <sup>(11)</sup>.

La Nueva Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, reconoce la importancia del agua y declara en su Artículo 373, que el **“El agua constituye un derecho fundamentalísimo para la vida”** <sup>(12)</sup>, y que el agua potable es responsabilidad exclusiva de los gobierno municipales esto de acuerdo a la ley Marco de Autonomías y Descentralización **“Andrés Ibáñez”** Ley 031.

Esta problemática va dirigida a la falta de políticas de infraestructura que se necesita en el municipio de Viacha, como la creación de una planta de tratamiento de agua, ya que actualmente pese a que se realiza la distribución de agua potable, esta agua no recibe un tratamiento adecuado o completo limitándose solo a la alcalinización y desinfección con Cal y Cloro y el problema aumenta más aun en las zonas rurales ya que estos consumen aguas extraídas de pozos que ellos mismos realizan y la cual no recibe ningún tratamiento alguno, poniendo en riesgo de esta manera la salud de la población y la morbilidad infantil que es la más afectada.

También mencionar que la creación de una planta piloto de tratamiento de agua puede dar solución a la problemática del agua para consumo humano, pero a la vez también puede generar un problema ya que a nivel mundial, utilizan para la potabilización del agua potable un **Coagulante Químico** como es el **sulfato de aluminio**. Según las investigaciones los coagulantes sintéticos conllevan consecuencias medio ambientales, como altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de Lodo y el hecho que afectan significativamente el pH del agua tratada. También existe evidencia que relaciona a los coagulantes, en base a aluminio, con el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer en los seres humanos.

---

<sup>11</sup> OMM-UNESCO.1997

<sup>12</sup> Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia - 2009

Por estas razones es de vital importancia dar respuesta a estas problemáticas de manera pronta y aplicar las nuevas alternativas estudiadas para el tratamiento de aguas, en base de componentes orgánicos, de fácil biodegradación y amigables al medio ambiente, y todos asumamos responsabilidad para el impulso, aplicación de técnicas y procesos en la cual deben estar involucrados el Gobierno, Municipios, Gobernaciones, Universidades y población en general.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Diseñar, instalar y dar puesta en marcha, la planta piloto convencional de tratamiento de aguas utilizando un coagulante natural como nueva alternativa, en la localidad de Viacha.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Obtener y caracterizar el coagulante natural a partir de la penca de tuna.
- Identificar las fuentes de agua y caracterizarla mediante el análisis organoléptico, fisicoquímico, químico y microbiológico, para su correspondiente tratamiento.
- Realizar pruebas de verificación del coagulante natural en las aguas a ser tratadas, mediante la prueba de jarras que nos deberá dar la dosis óptima del coagulante natural.
- Diseñar la planta piloto en base a toda la información recabada.
- Realizar la instalación y puesta en marcha de la planta piloto de tratamiento de aguas.
- Realizar el Balance de materia y energía en función a equipos electricos.
- Efectuar el control de operación, mantenimiento y control de calidad del agua en la planta piloto periódicamente.
- Realizar el costo de operación económico de la planta piloto.

## **1.5. Justificación**

La complejidad de los procesos que constituyen el tratamiento del agua va a depender de las características del agua superficial que se va a tratar; por este motivo, es necesario preservar la calidad del agua desde la fuente para evitar no solo costos ecológicos y sociales sino también económicos.

### **1.5.1. Justificación Social**

El agua en la metrópoli de La Paz se debe considerar fuente de vida y desarrollo de esta región, por tal motivo, es necesario que el recurso Agua sea analizada, interpretada y empoderada desde una perspectiva multidisciplinaria para una Gestión Integral del Agua, de tal forma, comprenda el manejo del agua superficial y subterránea de manera cualitativa, cuantitativa y ambiental, vinculando su disponibilidad con la necesidad de los seres vivos. Por lo tanto, es necesario promover la protección, control, uso y su disposición final del agua, en busca de alcanzar el desarrollo sostenible; considerando al agua como un recurso finito y vulnerable, por ende un bien económico de consumo social <sup>(13)</sup>.

### **1.5.2. Justificación Técnica y Ambiental**

El presente proyecto se realiza con el objetivo de evaluar la posibilidad técnica y ambiental de utilizar floculantes naturales en la remoción de la turbidez de aguas superficiales y subterráneas del municipio de Viacha, la cual consiste en aplicar una serie de tratamientos y acondicionamientos que eliminen los sólidos, la turbidez y todos los agentes que produzcan un aspecto desagradable en el agua a través de agentes de origen natural. Otro beneficio que se obtendría ambientalmente sería la disminución de residuos del cultivo de tuna. Ya que los productores de tuna realizan podas periódicas de las pencas para que así exista una mejor producción de esta fruta, estas pencas actualmente son desechadas generando así más residuos medio ambientales que se descomponen e incentivan a la proliferación de insectos.

---

<sup>13</sup> Proyecto Agua y Cambio Climático, Junio 2011.

## 1.6. Alcance y Localización

### 1.6.1. Alcance

El proyecto tiene como fin 3 objetivos principales; 1º la obtención del coagulante natural a partir de la Penca de Tuna (*Opuntia Ficus Índica*), 2º su posterior aplicación en muestras de aguas naturales con contenido de color y turbiedad, muestras que serán obtenidas de fuentes hídricas ubicadas en la localidad de Viacha y el 3º objetivo, el diseño, instalación y puesta en marcha de una **Planta Piloto** para el tratamiento de agua, enfocándonos principalmente en el proceso de coagulación, realizando todos los estudios pertinentes para la adaptación de este.

Mediante este proyecto se proveerá de agua potable a una parte del área rural del Municipio de Viacha, los cuales no cuentan con sistemas de agua potable y están más propensos a adquirir enfermedades gastrointestinales: cólera, salmonella, diarreas, y otras.

### 1.6.2. Localización

Para la obtención del coagulante natural a partir de la Penca, se realizará un estudio de proveedores de la materia prima (penca de tuna - *opuntia ficus indica*), el cual debe brindar el abastecimiento fijo.

Las captaciones de agua y la planta piloto de tratamiento de agua, se las realizarán en el distrito 2 del municipio de Viacha, en la planta semimecanizada de compostaje y lombricultura, zona Santa Bárbara ya que este predio fue cedido por la iglesia católica, perteneciente a este municipio.

*Fotografía N° 1: Pozo de Agua del área Rural*



Fuente: Elaboración propia

*Fotografía N° 2: Lugar donde se realizará la Planta de Tratamiento de Agua*



Fuente: Elaboración propia

Los análisis de aguas, para la determinación de parámetros del agua natural, se los realizarán en laboratorios de la carrera de Química Industrial, y otros que podamos necesitar.



## 2. MARCO TEÓRICO

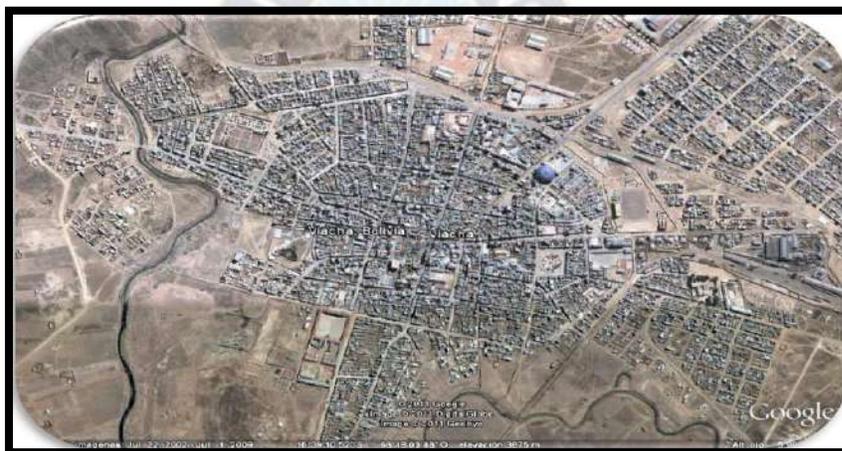
### 2.1. Aspectos Socio – Demográficos del Municipio de Viacha

#### 2.1.1. Ubicación Geográfica

El Municipio de Viacha capital de la Provincia Ingavi del departamento de la Paz, se encuentra localizado a 32Km. de distancia desde la ciudad de La Paz.

El principal ingreso al municipio es a través de la carretera El Alto - Viacha (Ruta 19 de la red fundamental). El tiempo de viaje desde la ciudad de El Alto hasta el municipio es de aproximadamente 45 minutos. <sup>(14)</sup>

*Gráfica N°2: Vista panorámica de la Ciudad de Viacha*



Fuente: Google; fotografía satelital

#### 2.1.2. Latitud y Longitud

El municipio de Viacha está ubicado entre los paralelos 16 °32' 39" (UTM 0576432) y 16° 54 '44" (8160551).de latitud Sur y entre los meridianos 68 ° 16' 56" y 68° 22' 72" de longitud Oeste, localizándose en el Altiplano Norte del Departamento de La Paz, con altitudes que varían desde los 3.540 metros sobre nivel del mar en la parte más baja, hasta los 4.600 msnm en las serranías ubicadas en la parte oeste del Municipio, hacia la carretera 107, camino a Tolacollo (frontera con la república del Perú).

<sup>14</sup> PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL VIACHA 2012-2016.

### 2.1.3. División Político – Administrativa

Actualmente la jurisdicción del Municipio, cuenta con 5 distritos (1, 2, 3, 6 y 7); de los cuales los distritos 1, 2 y 7 son prominentemente urbanos, el distrito 6 urbano rural y el Distrito 3 rural <sup>(15)</sup>.

### 2.1.4. Municipio de Viacha

El municipio de Viacha se ubica en la provincia Ingavi y cuenta con una población de **80.724 habitantes**, que hablan en español en su mayoría seguido del aymara. El año 2004 la provincia Ingavi se dividió en 7 secciones municipales, constituyendo a Viacha como uno de sus municipios y ocupando el 20.7 % de todo el territorio provincial. Actualmente el municipio de Viacha tiene 4 distritos (1, 2, 3 y 7) cada uno de los cuales cuenta con un Sub Alcalde, y se encuentran en plena fase de crecimiento como parte de la presión ejercida por el crecimiento demográfico del área metropolitana del departamento de La Paz. <sup>(16)</sup>

Tabla N° 2: Superficie Municipio de Viacha

Distritos	Superficie en Km <sup>2</sup>	Porcentaje de superficie ocupadas con viviendas
Distrito 1	5,34	36,97
Distrito 2	6,93	44,18
Distrito 7	37,74	33,13
Total	50,01	35,07

Fuente: PDM Municipio de Viacha, 2006- 2010.

Tabla N° 3: Bolivia, Estructura de la población por área y tasa anual de crecimiento intercensal 2001-2012, según provincia y municipio, censo 2001 y 2012 <sup>(17)</sup>

PROVINCIA Y MUNICIPIO	CENSO 2001			CENSO 2012			CRECIMIENTO POBLACIONAL 2001-2012		
	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural
Ingavi	95.906	31.327	64.579	134.535	66.581	67.954	40.3	112.5	5.2
Viacha	46.596	29.108	17.488	80.388	62.516	17.872	72.5	114.8	2.2

Fuente: Elaboración propia

<sup>15</sup> PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL VIACHA 2012-2016.

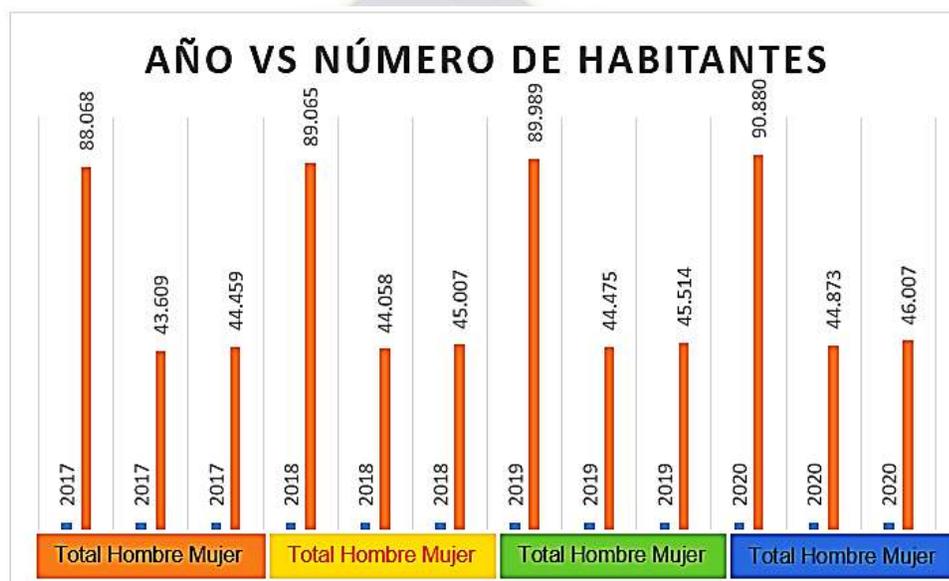
<sup>16</sup> Programa de saneamiento del Lago Titicaca – Junio 11. 2016

<sup>17</sup> Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

La población de Viacha, para el censo **2001** contaba con **46.596 habitantes**, según el censo **2012** aumentó a **80.388 habitantes**, registrando una tasa anual de crecimiento intercensal de 4,9%.

Las proyecciones poblaciones al **2017** señalan que esta región tiene **88.068** habitantes, de los cuales **43.609** son hombres y **44.459**, mujeres; para el **2020** se estima para Viacha cerca de **90.880 habitantes** <sup>(18)</sup>.

Gráfica N° 3: Municipio de Viacha: Proyecciones de población por sexo, 2017-2020



Fuente: Instituto Nacional de Estadística

## 2.2. Descripción de la Planta (Penca De Tuna)

### 2.2.1. La Tuna

La tuna o nopal es una especie herbácea arborescente, arbustiva o rastrera, con forma simple o de matorral. No requiere tierras de gran calidad, puede crecer en terrenos poco fértiles y de escasa humedad y puede vivir hasta 80 años.

El cactus de la cual se extrajeron polímeros floculantes fue la *Opuntia ficus indica*, que pertenece a la familia de las Opuntias. Otras especies de esta familia incluyen a la *Opuntia monacantha*, *Opuntia tuna*, *Opuntia vulgaris*, *Opuntia inermis*, etc.

<sup>18</sup> 2018 INE - Instituto Nacional de Estadística

### 2.2.2. Origen

Las Opuntias son originarias de México y fueron llevadas a diferentes lugares por los españoles (Game, 1973).

En la actualidad se encuentran ampliamente distribuidas en las zonas andinas medias de sud y Centroamérica, Europa (España e Italia) y también Australia.

Crece en forma natural y son cultivadas en terrenos áridos y semiáridos, cuyas alturas fluctúan desde el nivel del mar hasta aproximadamente 2500 m. <sup>(19)</sup>

### 2.2.3. Clasificación Científica

El primer nombre español es Higo de las Indias, que alude a su origen, las "Nuevas Indias" y de allí su primer nombre científico: *Cactus ficus-indica*, se clasifica a la tuna de la siguiente manera:

Tabla N° 4: Clasificación Científica

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Opuntioideae
Género	Opuntia
Especie	ficus-indica
Nombre binomial	O. ficus-indica

Fuente: "El cultivo de Tuna" Opuntia ficus indica<sup>(20)</sup>

### 2.2.4. Desarrollo

En las zonas áridas y semiáridas existen diferentes factores ambientales que limitan el crecimiento de las plantas, tales como temperaturas altas y bajas, escasez de agua y limitación en la disponibilidad de nutrientes.

La evolución de las cactáceas en estos ambientes ha conducido a que las diferentes especies del género *Opuntia* desarrollen características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas que les permitan adaptarse a estas condiciones ambientales adversas. La proliferación masiva de ciertos tejidos parenquimatosos, asociados con un

<sup>19</sup> "Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación" Lima, Perú 1975

<sup>20</sup> "El Cultivo de Tuna" Opuntia ficus indica Gerencia Regional Agraria la Libertad, Perú.

aumento en el tamaño de las vacuolas y una disminución en los espacios intercelulares, le permite a la planta acumular agua en breves períodos de humedad. Para su óptimo desarrollo, la planta requiere una temperatura anual entre los 18 y 25°C, La *Opuntia ficus indica* se desarrolla bien en climas áridos y muy áridos con lluvias de verano, por lo que se refiere a precipitación pluvial es poco exigente, ya que se le encuentra en zonas con lluvias de 125 o más milímetros al año, aunque los excesos de humedad pueden provocar enfermedades fungosas y daños por insectos. En lo que respecta a suelos, se adapta bien a diversas texturas y composiciones, pero se desarrolla mejor en suelos sueltos, arenosos, de profundidad media, con un pH preferentemente alcalino y a altitudes que varían entre los 800 y 2.500m.s.n.m.<sup>(21)</sup>.

#### **2.2.5. Importancia ecológica**

La *Opuntia ficus indica* puede ser un recurso importante en la economía rural y de las zonas áridas en general, por los altos rendimientos que se pueden obtener en la fruta del Higo y demás usos en las vastas superficies que no cuentan con una precipitación pluvial adecuada para la siembra de especies más exigentes en agua y suelo, que la *Opuntia ficus indica*. Esta planta es muy eficaz para adaptarse y crecer donde confluyen mayor número de factores limitantes que no son favorables para la mayoría de especies vegetales.

#### **2.2.6. Requerimientos agro – climáticos para el cultivo de tuna**

- **Suelo**

Los suelos deben ser de textura franca, franco arcilloso arenosa, arenosos, franco arenoso, con pH 6.5 - 8.5. Los mejores suelos para las plantaciones de tuna son los de origen calcáreo con textura arenosa, con buen drenaje, profundidad media y con un pH neutro o de preferencia alcalino. El suelo deberá tener buena fertilidad natural y al menos 30 cm de profundidad para garantizar un buen vigor de las plantas.

---

<sup>21</sup> “El Cultivo de Tuna” *Opuntia ficus indica* Gerencia Regional Agraria la Libertad, Perú.

- **Agua**

Aunque el cultivo de la tuna es tolerante a la falta de agua, si se pretende establecer una plantación para la producción de verdura deberá ser accesible y cercano a una fuente de agua, con el fin de proporcionarle el manejo adecuado a la plantación, y obtener mejores rendimientos. Si el cultivo es para forraje y fruto, la producción depende de la cantidad y calidad del riego.

- **Condiciones climáticas**

En cuanto a las condiciones climáticas requeridas para su desarrollo, es necesaria una temperatura media anual de 16-28° C; una precipitación pluvial media anual de 150-1800 mm., la altitud tiene un margen de 800 - 1800 msnm. En general, los rangos mencionados se refieren a condiciones óptimas de desarrollo sin embargo, la especie prolifera fuera de estas características. Una vez establecida la plantación, se adapta a condiciones o áreas disturbadas, aunque requieren de labores y cuidados para lograr buenos rendimientos y duración de la plantación.

- **Poda**

La poda es una práctica clave en el manejo de la **tuna**, ya que permite dar forma a las plantas, mejorar la calidad de los frutos y facilitar labores tales como la cosecha y el control fitosanitario del cultivo.

La poda de tunales permite mayor entrada de luz a las plantas, con lo que aumenta la producción de fruta y se facilita la cosecha.

En cuanto a las podas en esta planta se distinguen cuatro tipos de podas <sup>(22)</sup>:

- a) Podas de producción.-** Deben realizarse cuando brotan un número excesivo de pencas, siendo recomendable eliminar algunas de ellas, para mantener en equilibrio de la planta.
- b) Poda de formación.-** Se realiza la eliminación de las pencas mal ubicadas, y de las que dan sombra a otras pencas, el sol ayuda a una mejor formación de frutos.
- c) Poda de Sanidad.-** Consiste en eliminar pencas en mal estado. Es decir, con mal formaciones y aquellas dañadas por plagas y enfermedades.

---

<sup>22</sup> Manual Técnico de la Tuna - Romero

- d) Poda de renovación.-** Llevada a cabo en plantaciones con edades de 10 a 15 años se efectúa cuando la planta ha perdido vigor por su vejez, se eliminan casi todas las pencas, dejando solo el tronco.

### **2.2.7. Características morfológicas de la planta**

El Nopal es una planta silvestre que sobrevive en regiones desérticas y frías. No requiere de mucha agua y se dice que tiene un papel ecológico importante, ya que detiene la degradación del suelo deforestado, convierte la tierra de improductivas a productivas. <sup>(23)</sup>

- a) Raíces.-** las raíces de la tuna son fibrosas, que no profundizan mucho y de rápido crecimiento.
- b) Tallo.-** La tuna es un vegetal arborescente de 3 a 5m de alto, su tronco es leñoso y mide de entre 20 a 50cm de diámetro. El tallo, a diferencia de otras especies de cactáceas, está conformado por un tronco y ramas aplanadas que posee cutícula gruesa de color verde de función fotosintética y de almacenamiento de agua en los tejidos.

*Fotografía N° 3: Planta de Tuna (Opuntia ficus indica)*



Fuente: Manual Técnico de la Tuna

<sup>23</sup> Dra. Haydée Rodríguez Navarro (Diciembre-2010)

### c) Cladodios <sup>(24)</sup>

Los cladodios se conocen popularmente como "**PENCAS**", y están ubicadas en forma escalonada conformando los denominados " Pisos".

Miden de 30 a 60cm. de largo x 20 a 40cm de ancho y de 2 a 3cm de espesor. Sus ramas están formadas por pencas de color verde opaco con areolas que contienen espinas más o menos numerosas de color amarillo.

Estas estructuras transforman la luz en energía química a través de la fotosíntesis y están recubiertos por una cutícula del tipo lipídica, interrumpida por la presencia de estomas, los mismos que permanecen cerrados durante el día. La cutícula del cladodio evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas del verano.

La hidratación normal del cladodio alcanza hasta un 95% de agua en peso. Las pencas y tallos tienen espinas.

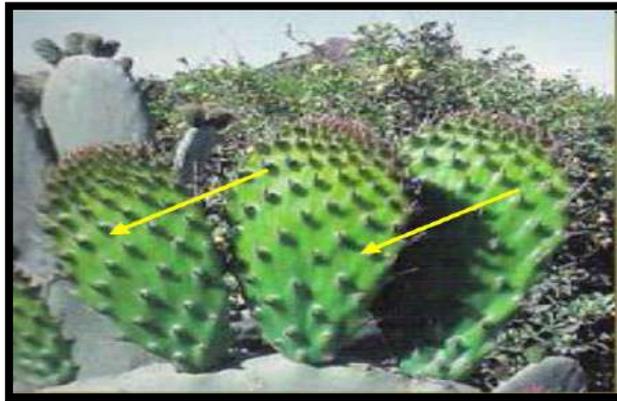
*Fotografía N° 4: Cladodios mostrando las areolas y espinas*



Fuente: Manual Técnico de la Tuna

<sup>24</sup> "El Cultivo de Tuna" Opuntia ficus indica Gerencia Regional Agraria la Libertad, Perú.

Fotografía N° 5: Cladodios tiernos mostrando las hojas caducas



Fuente: Manual Técnico de la Tuna

- d) Hojas.-** son pequeñas de menos de 10 mm, de forma cónica, ápice agudo y se ubican en cada una de las aréolas de los botones tanto vegetativos como florales.
- e) Flores.-** se ubican en el borde apical de las pencas subterráneas y de 3 pisos inferiores; el perianto está constituido por hojas florales sepaloideas en el borde externo y hacia el centro de color amarillo y que se tornan anaranjadas luego de la fecundación de los óvulos.  
El ovario es ínfero, polícarpo, unilocular, con un solo estilo y de tres o quince estigmas.

Fotografía N° 6: Flores jóvenes de *Opuntia ficus indica*



Fuente: Manual Técnico de la Tuna

- f) **Fruto.**- El fruto es una baya carnosa que puede tener forma esférica, cilíndrica o piriforme, presenta en el extremo apical una depresión a la que se le denomina "ombligo" y de profundidad variable, mayor en los frutos piriformes y menor en los esféricos.

*Fotografía N° 7: Cáscara y pulpa gelatinosa de los frutos de la tuna*



Fuente: Manual Técnico de la Tuna

- g) **Semillas.**- son de cubierta muy dura, tiene forma reniforme irregular con 4 a 6 mm de largo, 3 a 4 mm de ancho y 1,8 a 2,5 mm de espesor.

#### **2.2.8. Usos del nopal**

Su cultivo tiene diversas finalidades que incluyen: obtención de la fruta; uso de la penca como forraje para animales, generalmente después de remover las espinas (quemándolas con antorchas); preparación de potajes para consumo humano (las hojas tiernas son comestibles); utilización de la planta para formar cercos y linderos de casas y terrenos; y desarrollo de la cochinilla (un insecto hemíptero que vive sobre la penca, del cual se extrae el carmín que es usado como colorante en la fabricación de productos de tocador). En 1975 el Perú espera exportar 180000 toneladas de cochinillas por un valor aproximado de U\$\$ 4 millones. <sup>(25)</sup>

En las áreas rurales del Perú se acostumbra usar el mucilago de la penca de la tuna para clarificar el agua para uso doméstico. De esta práctica campestre surgió la idea de investigar la posibilidad de extraer la materia activa floculante contenida en ella.

<sup>25</sup> "Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación" Lima, Perú 1975

### 2.2.9. Composición química de la planta

En Sucre (Chuquisaca), la facultad de Bioquímica de la Universidad San Francisco Xavier. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N° 5: Composición química de la penca

RUBRO	Composición (%)	MINERALES	mg/100 g
Proteína bruta	11,6	Calcio	57,0
pH	5,0	Fósforo	32,0
Grasa	2,4	Hierro	1,2
Carbohidratos: -Glucosa 35% -Fructuosa 29%	64,2		
Fibra Cruda	7,0		
Cenizas	12,6		
Humedad	92,0		

Fuente: Departamento de Bioquímica de la Universidad San Francisco Xavier

Su consistencia gomosa se debe, además de los polisacáridos, a la presencia de triterpenos, poliglucósidos, arabanos y galactosa <sup>(26)</sup>.

### 2.2.10. La penca de tuna (*Opuntia ficus índica*) como coagulante natural

#### 2.2.10.1. Polímeros

Es aquella sustancia química compuesta de una cierta cantidad de unidades básicas que se repiten – llamadas monómeros – unidas consecutivamente por enlaces covalentes <sup>(27)</sup>.

#### 2.2.10.2. Clasificación de los polímeros

Los polímeros de importancia en el tratamiento del agua pueden clasificarse, según su carga, en polímeros aniónicos, catiónicos o no iónicos; y, según su origen, en naturales o sintéticos.

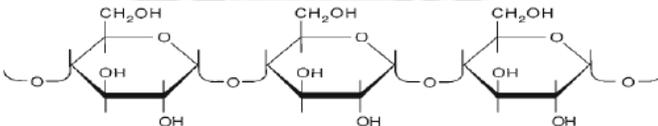
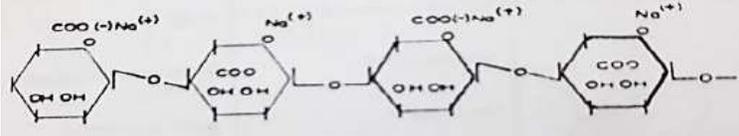
<sup>26</sup> Brambilla, 1956; Van Wessem, 1961 "Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación"

<sup>27</sup> "Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación" Lima, Perú 1975

a) De acuerdo a su carga eléctrica

Los polímeros pueden o no tener carga eléctrica. Los que no la tienen se denominan no iónicos. Los demás pueden ser catiónicos (carga positiva) o aniónicos (carga negativa) como ser:

Tabla N° 6: Clasificación y ejemplos de algunos polímeros

POLÍMEROS NO IÓNICOS	
<b>Óxido de Polietileno</b>	<b>Poliacrilamida</b>
$(-CH_2-CH_2-O-)_n$	$(-CH_2-CH-)_n$ $\begin{array}{c}   \\ C=O \\   \\ NH_2 \end{array}$
<b>Almidón</b>	
	
POLIELECTROLITOS CATIÓNICOS	
<b>Ácido Poliacrílico</b>	<b>Poliacrilamida Hidrolizada</b>
$\left[ \begin{array}{c} -CH-CH- \\   \\ C=O \\   \\ (-)O \end{array} \right]_n^-$	$\left[ \begin{array}{c} -CH_2-CH- \\   \\ C=O \\   \\ NH_2 \end{array} \right]_m$ $\left[ \begin{array}{c} -CH_2-CH- \\   \\ C=O \\   \\ (-)O \end{array} \right]_n^-$
<b>Sulfato de Poliestireno</b>	<b>Alginato de sodio</b>
$\left[ \begin{array}{c} -CH_2-CH- \\   \\ C \\   \\ H_2C=CH \\   \\ SO_3^- \end{array} \right]_n^-$	
POLIELECTROLITOS ANIÓNICOS	
<b>CATFLOC Polidialildimetilamonio</b>	<b>Imina de Polietileno</b>
$\left[ \begin{array}{c} CH_2 \\   \\ -CH-CH- \\   \quad   \\ H_2C \quad CH_2 \\   \quad   \\ N^+ \\   \quad   \\ CH_3 \quad CH_3 \end{array} \right]_n^+$	$(-CH_2-CH_2-)_n-CH_2-CH=NR^+$

Fuente: CEPIS – 1975

## **b) De acuerdo a su origen**

**Polímeros naturales.**- Son aquellos, que se producen debido a las reacciones bioquímicas naturales en animales y plantas. Son polímeros que muchas veces no tienen una sola composición química bien definida, pues están constituidos principalmente por varios tipos de polisacáridos (almidón, celulosa, glucósidos, etc.) proteínas (caseína, olieratina, gelatina, etc.).

Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes y en muchos lugares **son usados en forma empírica por los nativos para aclarar el agua turbia con resultados satisfactorios, como en el caso del mucilago de la penca de la tuna (que se emplea en México y en la sierra del Perú). Para el aprovechamiento de estos polímeros es necesario extraerlos o separarlos del resto de la materia prima.**

**La turbiedad y el color en el agua actúan como coloides de carga negativa y existe la tendencia a que la carga positiva producida por los coagulantes naturales la neutralice.**

La tabla N°7 incluye algunos de los productos naturales más conocidos que se han utilizado o pueden utilizarse para la clarificación del agua.

Tabla N° 7: Polímeros naturales que tienen propiedades coagulantes o floculantes

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTIFICO	PARTE DE DÓNDE SE EXTRAE
Alginato de sodio	Algas pardas marinas ( <i>Phaeophyceae</i> )	Toda la planta
Goma de tuna	Tuna o nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> )	Hojas o pencas
Almidones solubles en agua fría (pregelatinizados)	Maíz, papa, yuca o mandioca, trigo	Grano o tubérculo
Goma de semillas de nirmali*	Nirmali ( <i>Strychnos potaturum linn</i> )	Semillas
Pulpa de algarrobo	Algarrobo ( <i>Ceratonia silicua</i> )	Corteza del árbol
Gelatina común	Animales	Huesos y residuos de animales
Caeboximetil celulosa	Arboles	Corteza del árbol
Goma de Guar	Arbusto de Guar ( <i>Cyanopsis psoralioides</i> )	Semillas
Goma de "red sorrela"***	"Red sorrela" ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> )	Semillas
Sílice activada	Silicato de sodio	Activación con un ácido
Floccotan***	Quebracho ( <i>Schinopsis lorentzii</i> )	Corteza del árbol
Lentejas**	<i>Lens esculenta</i> <i>Gajanus indicus</i> <i>Phaseolus roxborghii</i>	Semillas
Tamarindo**	Arbol de fruto tropical	Semillas
Fenogreco, alholva	<i>Trigonella foenumaracumm</i>	Semillas

Fuente: \*Sen, A.K. y Buluso, K.R. 1962

\*\*Bulusu, K.R. y Pathak, B.N.

Bulusu, K.R. y Sharma, V.P. 1965 1974

Rao, M.N. y Sastry, C.A. 1969

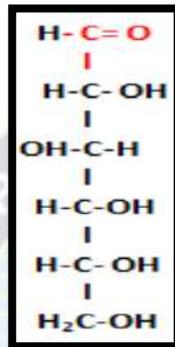
\*\*\*Nombre comercial

**Monosacáridos importantes.-** Entre los monosacáridos más importantes de los seres vivos se encuentran la glucosa, la fructosa y la galactosa. Se describen de forma breve las principales funciones de estas moléculas. <sup>(28)</sup>

<sup>28</sup> Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Naucalpan "CLASIFICACIÓN DE CARBOHIDRATOS"

**Glucosa.-** La D-glucosa grupo funcional aldehído (aldosa), que al principio se denominó dextrosa, se encuentra en cantidades importantes en todo el mundo vivo. Es el principal combustible de las células. Las fuentes alimentarias son el almidón de las plantas y los disacáridos lactosa, maltosa y sacarosa.

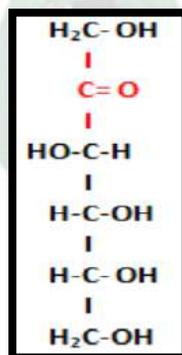
*Figura N° 1: Estructura de la glucosa*



Fuente: elaboración propia

**Fructosa.-** La D-fructosa, originalmente denominada levulosa, suele llamarse azúcar de la fruta por su contenido elevado en los frutos. Se encuentra también en algunos vegetales y en la miel, la fructosa es dos veces más dulce que la sacarosa. Por lo tanto, puede utilizarse en cantidades menores. Por esta razón, la fructosa se utiliza a menudo como agente edulcorante en los productos alimenticios procesados.

*Figura N° 2: Estructura de la glucosa*



Fuente: elaboración propia

**Polímeros sintéticos.**- Son los compuestos orgánicos producidos mediante la transformación química del carbón y del petróleo e incluyen a la mayoría de los polímeros de manufactura industrial que comúnmente se expenden en el comercio.

### **2.3. El Agua**

El agua es un recurso imprescindible para la vida de todos los seres en el planeta. Su uso no se limita al consumo humano y por el contrario se utiliza en el desarrollo de gran diversidad de actividades productivas como la agricultura, la ganadería, el turismo, la salud, la economía etc.

Según Bibliografía <sup>(29)</sup> el volumen de agua existente sobre nuestro planeta es de aproximadamente 1400 millones de Km<sup>3</sup>. una gran porción de esta agua es salada, como consecuencia del proceso de salinización sufrido al infiltrarse. Entre los minerales de la corteza terrestre. De los 1400 millones de Km<sup>3</sup> de agua en el mundo, sólo 33 millones son de agua dulce la cual se encuentra en forma de hielo 87,3% y un 12,3% de la misma se constituye en agua subterránea, quedando solo un 0,4% de agua utilizable, en volumen 140000 Km<sup>3</sup>.

#### **2.3.1. Fuentes de abastecimiento**

**El agua tanto para consumo humano como para el desarrollo de las actividades mencionadas, deberá ser de buena calidad para garantizar ante todo una buena salud <sup>(30)</sup>.**

Las fuentes de agua que abastecen a una población pueden proceder de la lluvia, de aguas superficiales o de aguas subterráneas. El agua que se trata para consumo humano es de origen superficial.

En la siguiente tabla se clasifican los contaminantes presentes en el agua.

---

<sup>29</sup> "Manejo integral de residuos sólidos" VIACHA-LIMPIA

<sup>30</sup> ¿Hay suficiente agua en el mundo? 1997. OMM-UNESCO

Tabla N° 8: Clasificación de los contaminantes presentes en el agua

FÍSICOS	QUÍMICOS	GASEOSOS	BIOLÓGICOS
Color	Materia orgánica	Anhídrido carbónico	Bacterias
Olor y sabor	Acidez	Metano	Hongos
Grasas y aceites	Alcalinidad	Ácido sulfhídrico	Protozoos
Espumas	pH		Algas
Radiactividad	Nitrógeno		Animales
Temperatura	Fósforo		Plantas
Sólidos disueltos	Salinidad		Virus
Sólidos en suspensión	Metales pesados		
	Detergentes		
	Compuestos tóxicos		
	Pesticidas		

Fuente: Funiber (2011).

### 2.3.1.1. Clasificación de las aguas

Las aguas se clasifican <sup>(31)</sup> en:

#### a) Aguas de lluvia

Estas aguas son las más puras que se encuentran en la naturaleza, contienen generalmente materia amorfa en suspensión, sulfuro de oxígeno, nitrógeno, anhídrido carbónico y cloruros en solución desde el punto de salud pública estas aguas son de buena calidad, si se captan o almacenan con toda precaución.

#### b) Aguas Superficiales

Se los conoce como tales a las que forman los ríos, mares, reservorios naturales, lagunas, etc.

Estas aguas aunque sean cristalinas, están generalmente contaminadas siendo peligroso usarlo en el consumo, mientras no se sometan a un tratamiento adecuado.

#### c) Aguas Subterráneas

Son aquellas formadas por el agua que se infiltra en las capas interiores de la superficie de la tierra y que afloran como manantiales, o son captadas por medio de galerías filtrantes, pozos, etc.

Los bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio, dan a las aguas dureza temporal que desaparece con la ebullición, en cambio los sulfatos, cloruros y silicatos

<sup>31</sup> Saneamiento Básico Rural SERIE N°4 1997

de calcio y magnesio le dan una dureza permanente estas aguas se vuelven antieconómicas.

Muchas de estas aguas contienen sustancias desagradables que tienen propiedades laxativas como sales de sulfato de magnesio y sodio.

### **2.3.2. Calidad del agua**

El agua es de vital importancia para el ser humano, ya que al ser considerado el solvente universal, ayuda a eliminar las sustancias que resultan de los procesos bioquímicos producidos en el organismo. Sin embargo, también puede transportar sustancias nocivas al organismo, ocasionando daños en la salud de las personas.

### **2.3.3. Parámetros de control de calidad del agua para consumo humano**

En atención a la Norma Boliviana NB 512, No debe exceder los parámetros de control de calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se agrupan de acuerdo a su factibilidad técnica y económica en los siguientes grupos: Control Mínimo, Control Básico, Control Complementario y Control Especial.

Los parámetros de los 4 controles de la calidad del agua para consumo humano que debe realizar las EPSAS, se presentan en las siguientes Tablas <sup>(32)</sup>:

---

<sup>32</sup> "Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano"NB – 512 Noviembre 2005

Tabla N° 9: Parámetros de Control Mínimo

Parámetro	Valor máximo aceptable
pH	6,5 – 9,0
Conductividad	1.500 $\mu$ S/cm
Turbiedad	5 UNT
Cloro residual	0,2 – 1,0 mg/l
Coliformes termoresistentes	0 UFC/100 ml

Fuente: “Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano” NB – 512

Tabla N° 10: Parámetros de Control Básico

Parámetro	Valor máximo aceptable
<b>Físicos</b>	
Color	15 UCV
<b>Químicos</b>	
Sólidos totales disueltos	1.000 mg/l
<b>Químicos Inorgánicos</b>	
Alcalinidad total	370,0 mg/l de CaCO <sub>3</sub>
Calcio	200,0 mg/l
Cloruros	250,0 mg/l
Dureza	500,0 mg/l de CaCO <sub>3</sub>
Hierro total	0,3 mg/l
Magnesio	150,0 mg/l
Manganeso	0,1 mg/l
Sodio	200,0 mg/l
Sulfatos	400,0 mg/l

Fuente: “Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano” NB – 512

Tabla N° 11: Parámetros de Control Complementario

Parámetro	Valor máximo aceptable
<b>a) Químicos Inorgánicos</b>	
Aluminio	0,1 mg/l
Amoníaco	0,5 mg/l
Arsénico	0,01 mg/l
Boro	0,3 mg/l
Cobre	1,0 mg/l
Fluoruro	1,5 mg/l
Nitritos	0,1 mg/l
Nitratos	45,0 mg/l
Plomo	0,01 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
<b>b) Subproductos de la Desinfección</b>	
Trihalometanos totales (THM)	100 µg/l
<b>c) Químicos Orgánicos</b>	
<b>Plaguicidas</b>	
Plaguicidas totales	0,5 µg/l
Plaguicidas individuales	0,1 µg/l
<b>Hidrocarburos</b>	
Hidrocarburos totales (TPH)	10,0 µg/l
Benceno	2,0 µg/l
<b>d) Microbiológicos Bacterias</b>	
Coliformes totales	0 UFC/100 ml
Escherichia coli	0 UFC/100 ml
Heterotróficas totales	500 UFC/100 ml
Pseudomonas aeruginosa	0 UFC/100 ml
Clostridium perfringens	0 UFC/100 ml
<b>Parásitos</b>	
Cryptosporidium sp.	Ausencia
Giardia sp.	Ausencia
Amebas	Ausencia

Fuente: "Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano" NB – 512

Tabla N° 12: Parámetros de Control Especial

Parámetro	Valor máximo aceptable
<b>Químicos Inorgánicos</b>	
Antimonio	0,005 mg/l
Bario	0,7 mg/l
Cadmio	0,005 mg/l
Cianuro	0,07 mg/l
Cromo Total	0,05 mg/l
Mercurio	0,001 mg/l
Níquel	0,05 mg/l
Sabor y olor	Aceptable.
Selenio	0,01 mg/l
<b>Químicos Orgánicos Hidrocarburos</b>	
Tolueno	700,0 µg/l
Etilbenceno	300,0 µg/l
Xileno	500,0 µg/l
Benzo(a)pireno	0,2 µg/l
<b>Radiactivos</b>	
Radiactividad alfa global	0,10 Bq/l
Radiactividad beta global	1,0 Bq/l
<b>Químicos Orgánicos</b>	
Acrilamida	0,5 µg/l
Epiclorohidrina	0,4 µg/l
Cloroformo	100,0 µg/l
Cloruro de vinilo	2,0 µg/l
Fenol	2,0 µg/l

Fuente: "Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano" NB – 512

#### 2.3.4. Planta de tratamiento de Agua Potable:

Son un conjunto de estructuras que sirven para someter al agua a diferentes procesos, para purificarla y hacerla apta para su uso como bebida, eliminando o reduciendo bacterias, sustancias venenosas, turbidez, olor, sabor, etcétera <sup>(33)</sup>.

Los procesos de tratamiento son los siguientes:

<sup>33</sup> Saneamiento Básico Rural SERIE N°4 1997

#### 2.3.4.1. Aireación

El proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella.

En resumen, es el proceso de introducir aire al agua.

Las funciones más importantes de la aireación son:

- ✓ Transferir oxígeno al agua para aumentar el OD (oxígeno disuelto)
- ✓ Disminuir la concentración de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S.
- ✓ Remover gases como metano, cloro y amoníaco.
- ✓ Oxidar hierro y manganeso.
- ✓ Remover compuestos orgánicos volátiles.
- ✓ Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores.

Los principales aireadores, utilizados comúnmente en purificación de aguas de pozos subterráneos, son los de toberas, cascadas, canales inclinados y aireadores de bandejas <sup>(34)</sup>.

#### 2.3.4.2. Mezcla rápida

Es una operación empleada en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas y gases.

En plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene generalmente el propósito de dispersar rápida y uniformemente el **coagulante** a través de toda la masa o flujo de agua.

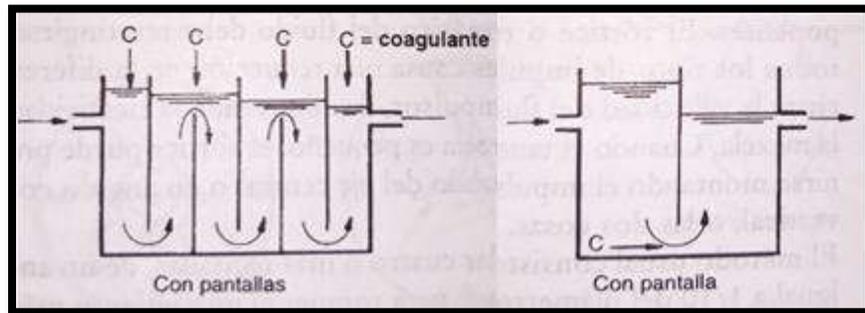
La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos, tales como: resaltos hidráulicos en canales Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipos de mezcla rápida. En los mezcladores **hidráulicos** de la Figura N°1, la mezcla es ejecutada como resultado de la turbulencia que existe en el régimen de flujo; en los **mecánicos** de la Figura N°2, la mezcla es inducida a través de impulsores rotatorios del tipo de hélice o turbina <sup>(35)</sup>.

---

<sup>34</sup> Romero Rojas, Jairo Alberto. Purificación del Agua. Bogotá. 2000. p.30.

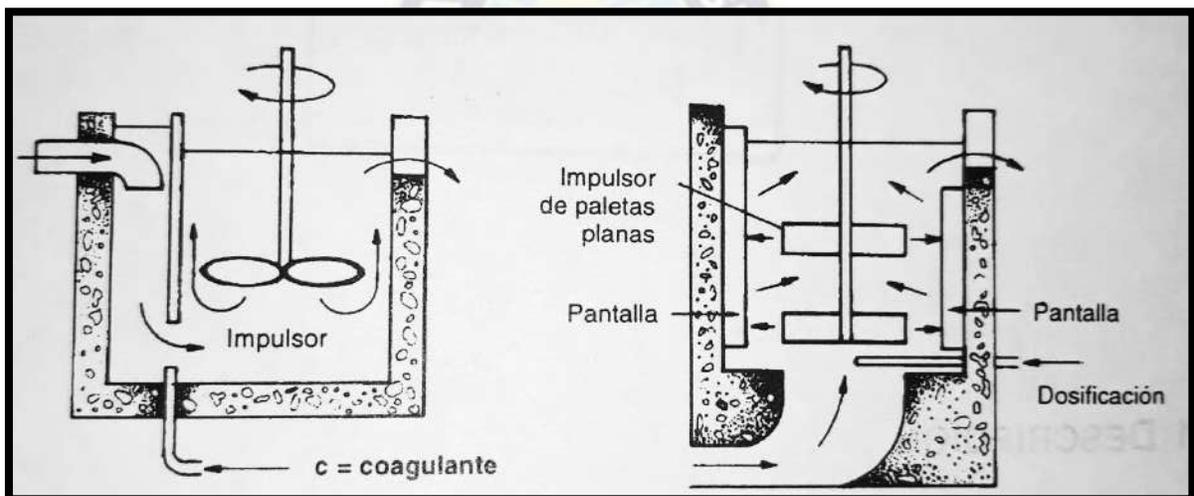
<sup>35</sup> Romero Rojas, Jairo Alberto. Purificación del Agua. Bogotá. 2000. p.50.

Figura N° 3: Mezcladores hidráulicos



Fuente: Jairo Alberto Romero Rojas, 2000.

Figura N° 4: Mezcladores mecánicos



Fuente: Jairo Alberto Romero Rojas, 2000.

#### 2.3.4.3. Coagulación

El coagulante, se utiliza para desestabilizar la carga exterior de las partículas coloidales, evitando la repulsión entre ellas, y favoreciendo las reacciones entre ellas, formándose coágulos de mayor densidad, lo que acelera su decantación <sup>(36)</sup>.

La coagulación consiste en introducir en el agua un producto capaz:

- ✓ De neutralizar la carga de los coloides generalmente electronegativos, presentes en el agua,
- ✓ De formar un precipitado.

<sup>36</sup> Grupo TAR INNOVA "Escuela Universitaria Politécnica de SEVILLA"

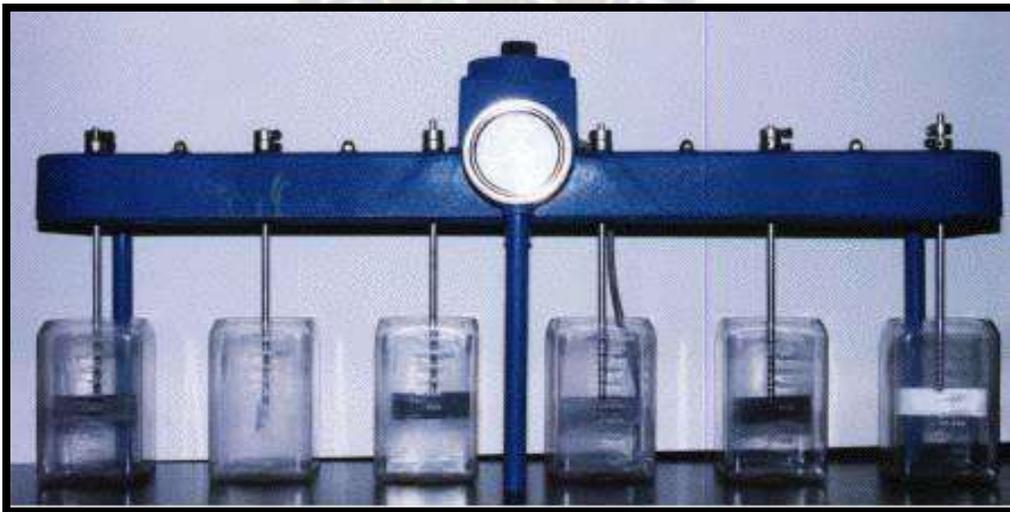
Este producto se conoce con el nombre de **coagulante**.

Los agentes coagulantes comúnmente utilizados, son las sales de hierro, y aluminio, que comercialmente se presentan en las formas: sulfato de aluminio, polímeros de alúmina, cloruro férrico y sulfato férrico.

El **Sulfato de aluminio** Se puede dosificar por las siguientes vías: Vía húmeda y vía seca.

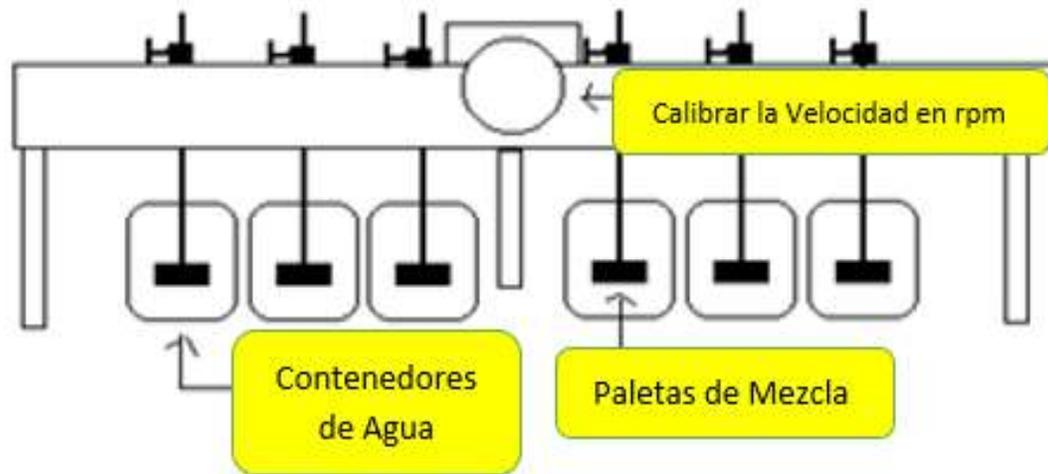
**Equipo de Prueba de Jarras** es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el agua o el tratamiento de aguas residuales. Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor.

*Fotografía N° 8: Cáscara y pulpa gelatinosa de los frutos de la tuna*



Fuente: Elaboración propia

Esquema N° 1: Dispositivo de prueba de jarras



Fuente: Elaboración propia

El aparato de prueba de jarras (ver *Fotografía N°8*) contiene seis paletas para remover el contenido de seis envases de 1 litro. Un envase actúa como un control, mientras que las condiciones de funcionamiento puede variar entre los restantes cinco contenedores. Un medidor de RPM en la parte superior central del dispositivo permite el control uniforme de la velocidad de mezclado en todos los contenedores. (Ver Esquema 1).

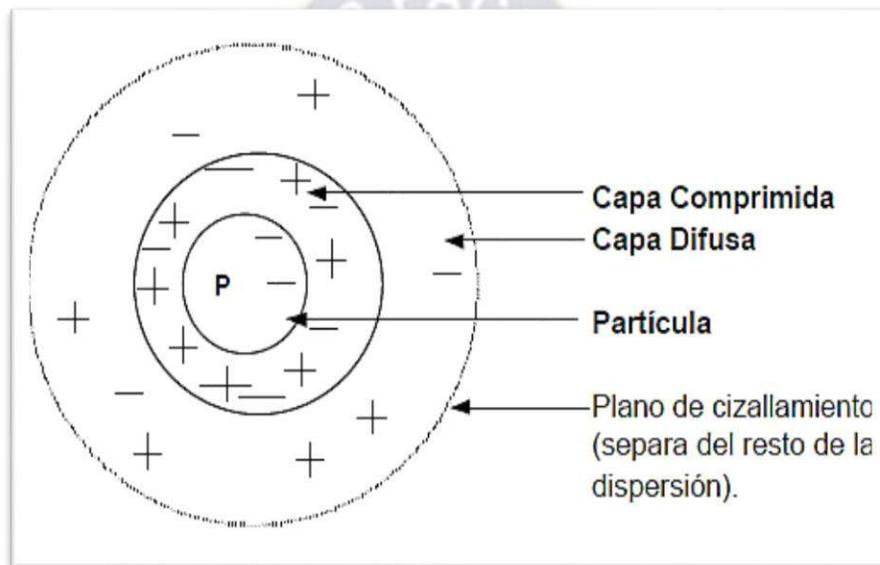
#### 2.3.4.4. Floculación

La floculación es el proceso mediante el cual las moléculas ya desestabilizadas entran en contacto debido a los fenómenos de transporte dentro del líquido. Esto implica la formación de puentes químicos entre partículas, de modo que se forme una malla de coágulos, tridimensional y porosa, agrandando las partículas aglutinadas en pequeñas masas, llamadas *flocs*, que facilitan la precipitación (Soto, 2001).

- **Teoría de la estabilidad de los coloides (Carga Eléctrica y Doble Capa)**<sup>37</sup>.

**Las partículas coloidales**, son las causantes de la turbiedad y del color por lo que el tratamiento del agua está orientado a la remoción de estas partículas; estas poseen normalmente una carga eléctrica negativa situada sobre su superficie. Estas cargas llamadas cargas primarias, atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos.

*Figura N° 5: Teoría de estabilidad de coloides*

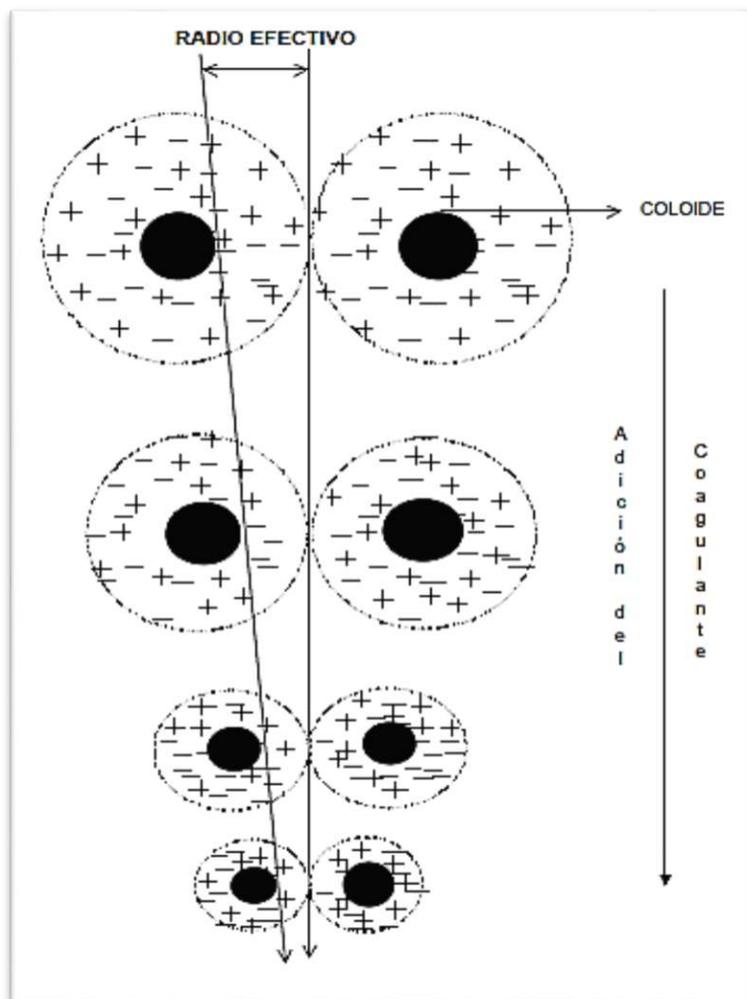


Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°5 se muestra que los iones se adhieren fuertemente a la partícula y se desplazan con ella, forman la capa adherida o comprimida, mientras que los iones que se adhieren débilmente constituyen la capa difusa, por lo tanto hay un gradiente o potencial electrostático entre la superficie de la partícula y la solución, llamado Potencial Zeta.

<sup>37</sup> SEDAPAL, Evaluación y desarrollo Tecnológico, TRATAMIENTO DE AGUA : COAGULACIÓN FLOCULACIÓN

Figura N° 6: Teoría de estabilidad de coloides



Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°6 se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide. Permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

En la coagulación, se agrega al agua una sustancia denominada coagulante para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión, Esta hace que las partículas, que anteriormente tendían a repelerse unas de otras, sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado.

La adición de un coagulante neutraliza las cargas, produciendo un colapso de la “**nube de iones**” que rodean los coloides de modo que puedan aglomerarse.

- **Factores que influyen en la coagulación.**

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación.

- **Influencia del pH**

El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua. El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza.

- **Influencia de Sales Disueltas**

Las sales contenidas dentro del agua ejercen las influencias siguientes sobre la coagulación y floculación:

- ✓ Modificación del rango de pH óptimo.
- ✓ Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- ✓ Modificación de la cantidad de coagulante requerido.

- **Influencia de la Temperatura del Agua**

La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua), esto afecta a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación.

Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un flóc.

- **Influencia de la Dosis del Coagulante**

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

- ✓ Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escasa, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.

- ✓ Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.

La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de prueba de jarras que se describe más adelante.

#### - **Influencia de Mezcla o Agitación**

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecha y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.

En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es energética y de corta duración; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microfloculos.

#### - **Influencia del periodo transcurrido entre la toma de muestras y el ensayo**

Puesto que, tanto la actividad biológica desarrollada en el agua, como otras reacciones físico – químicas, podrían afectar la coagulación – floculación y posterior sedimentación del agua, así como la oxidación de las sustancias presentes en ella <sup>(38)</sup>, es conveniente realizar lo más antes posible el tratamiento.

El floculador sencillamente es un tanque con algún medio, ya sea hidráulico o mecánico, que efectúe una **mezcla suave y lenta**, en un tiempo de retención prolongado.

Los floculadores se clasifican en dos tipos mecánicos e hidráulicos, los mecánicos realizan la mezcla utilizando rotores de paletas tanto horizontales como verticales y

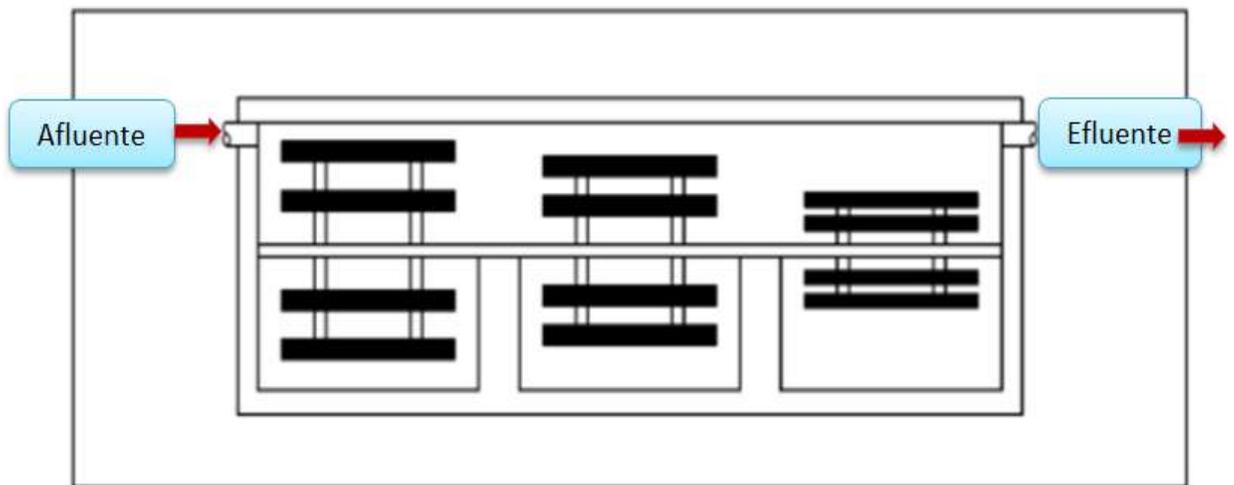
---

<sup>38</sup> Marín Galvin R. "Jar Test" en el tratamiento de aguas: Una valiosa herramienta. Tecnología del Agua.

los hidráulicos usan el flujo libre del agua, que produce una ligera turbulencia que genera la mezcla.

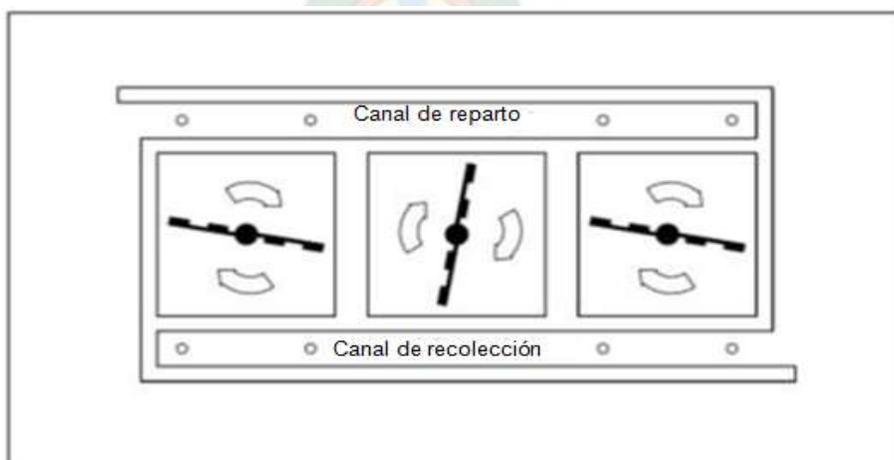
- a) **Floculadores mecánicos:** En los Floculadores mecánicos se introduce potencia al agua garantizando una mezcla lenta mediante agitadores mecánicos. El tipo de agitador más utilizado es el de paletas de eje horizontal como de eje vertical, estos imparten un movimiento rotatorio al agua generando una turbulencia interna.

*Figura N° 7: Floculador mecánico con paletas de eje horizontal*



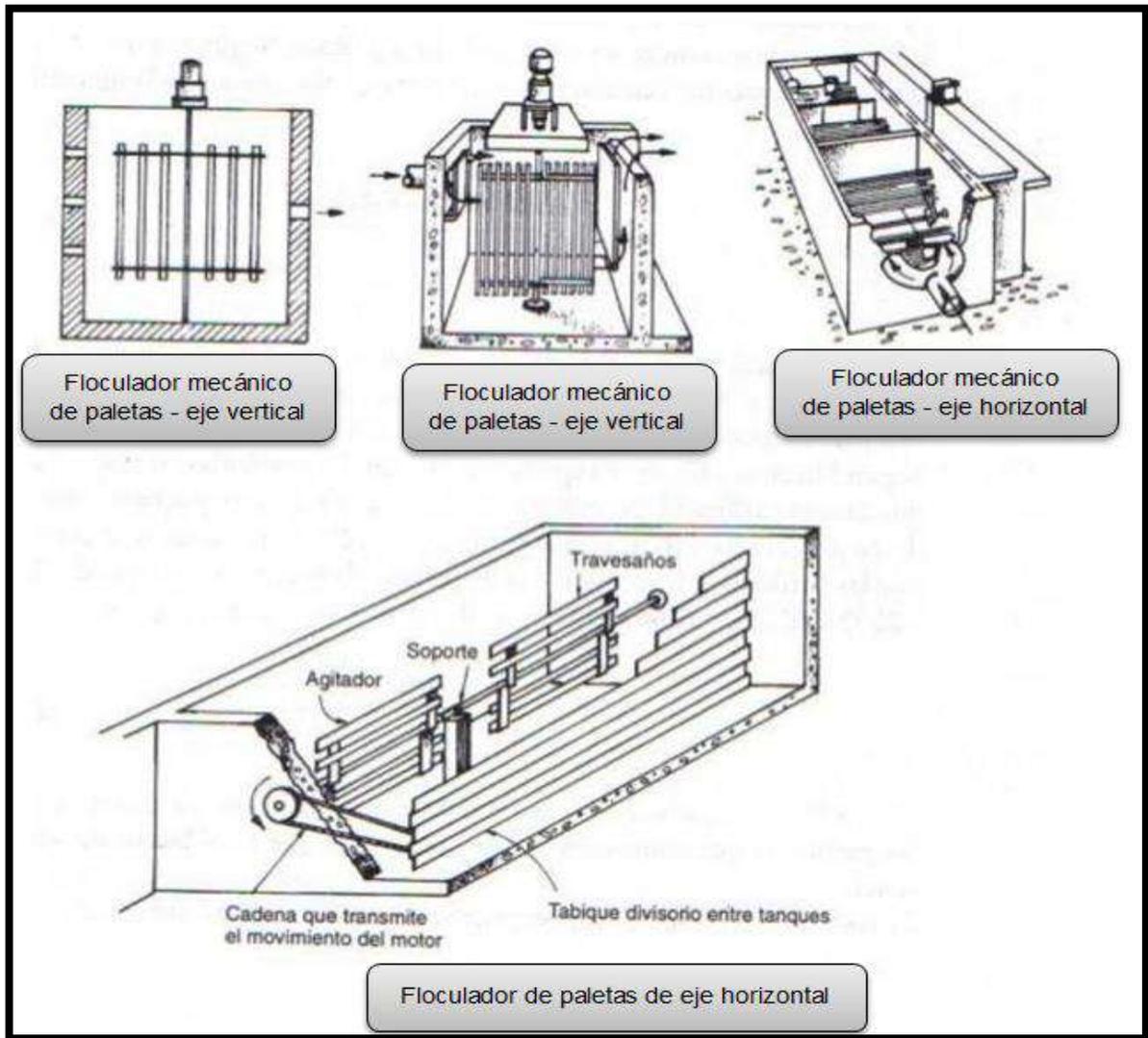
Fuente: Jairo Alberto Romero Rojas, 2000.

*Figura N° 8: Floculador mecánico con paletas de eje vertical*



Fuente: Jairo Alberto Romero Rojas, 2000.

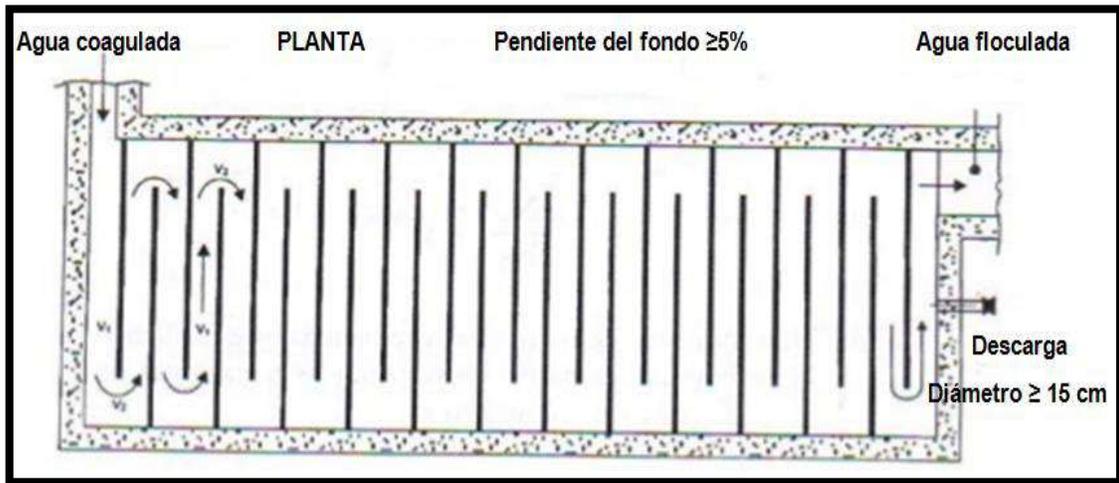
Figura N° 9: Tipos de Floculadores mecánicos



Fuente: Jairo Alberto Romero Rojas, 2000.

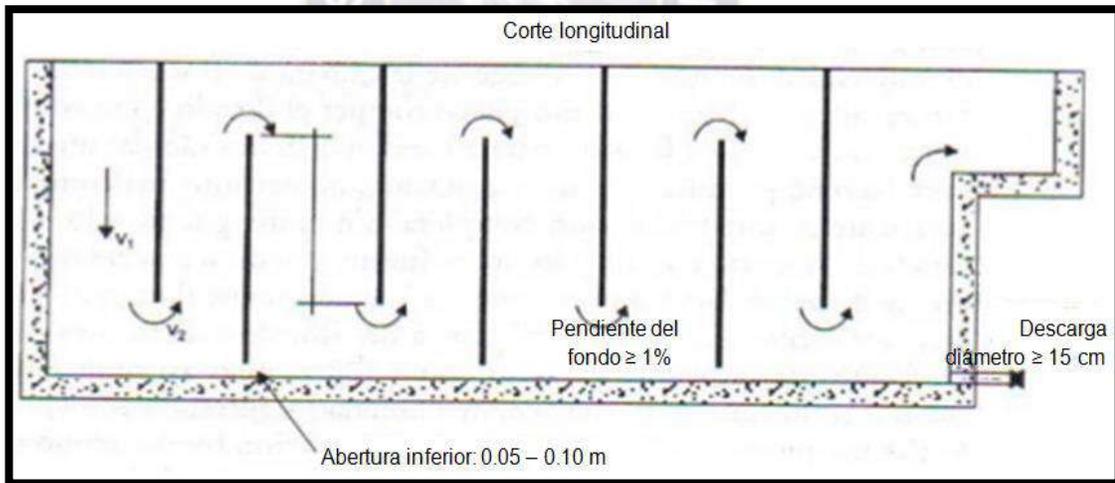
**b) Floculadores hidráulicos:** Los floculadores hidráulicos como se menciona anteriormente, trabajan con el flujo libre de agua, por esto los clasificamos en dos grupos, de flujo vertical y de flujo horizontal. En los de flujo vertical es común encontrar tanques con pantallas en las que el flujo cambia de sentido y en este momento es donde se produce la mezcla. En los floculadores de flujo vertical el agua se mueve de arriba hacia abajo dentro de las mismas pantallas.

Figura N° 10: Floculador hidráulico de flujo horizontal



Fuente: Jairo Alberto Romero Rojas, 2000.

Figura N° 11: Floculador hidráulico de flujo vertical



Fuente: Jairo Alberto Romero Rojas, 2000.

#### 2.3.4.5. Sedimentación

Se designa por sedimentación la operación por la cual se remueven las partículas salidas de una suspensión mediante la fuerza de la gravedad; en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento.

Dos son las formas de sedimentación usadas en la purificación del agua: sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento <sup>(39)</sup>.

La sedimentación sigue a la coagulación y floculación, primariamente para disminuir la carga en los filtros de arena. La filtración es la etapa final de la remoción física de las “impurezas” del agua. Es seguro que se puede producir un efluente satisfactorio del filtro, mediante una coagulación eficaz, sin emplear la sedimentación, pero los filtros se taponarían muy rápidamente y los costos de operación serían tan altos que el proceso no sería práctico.

Por lo general, un tanque de sedimentación es una estructura a través de la cual fluye el agua a tan baja velocidad que el material suspendido caerá depositándose en el fondo del tanque, saliendo de éste un agua relativamente clara <sup>(40)</sup>.

### **Tipos de Tanques de Sedimentación**

En general los tanques de sedimentación son estanques rectangulares o circulares de aproximadamente 3 m de profundidad con pantallas de entrada y vertederos efluentes. Recientemente se han introducido, con mucha frecuencia, los sedimentadores de placas planas, de tubos, de flujo ascensional, y otros tipos de sedimentadores de tasa alta, con el objeto de obtener el mismo grado de clarificación que en sedimentadores convencionales, pero con menor uso de terreno <sup>(41)</sup>.

Los sedimentadores de alta tasa se caracterizan por ser de poca profundidad, se entiende sedimentación en elementos poco profundos, en módulos de tubos circulares, cuadrados, hexagonales, octogonales, de placas planas paralelas, de placas onduladas o de otras formas, en tanques poco profundos, con tiempos de retención menores de 15 minutos. La característica principal de un sedimentador de alta tasa es su poca profundidad, usualmente del orden de centímetros. En los pequeños conductos usados se puede desarrollar flujo laminar.

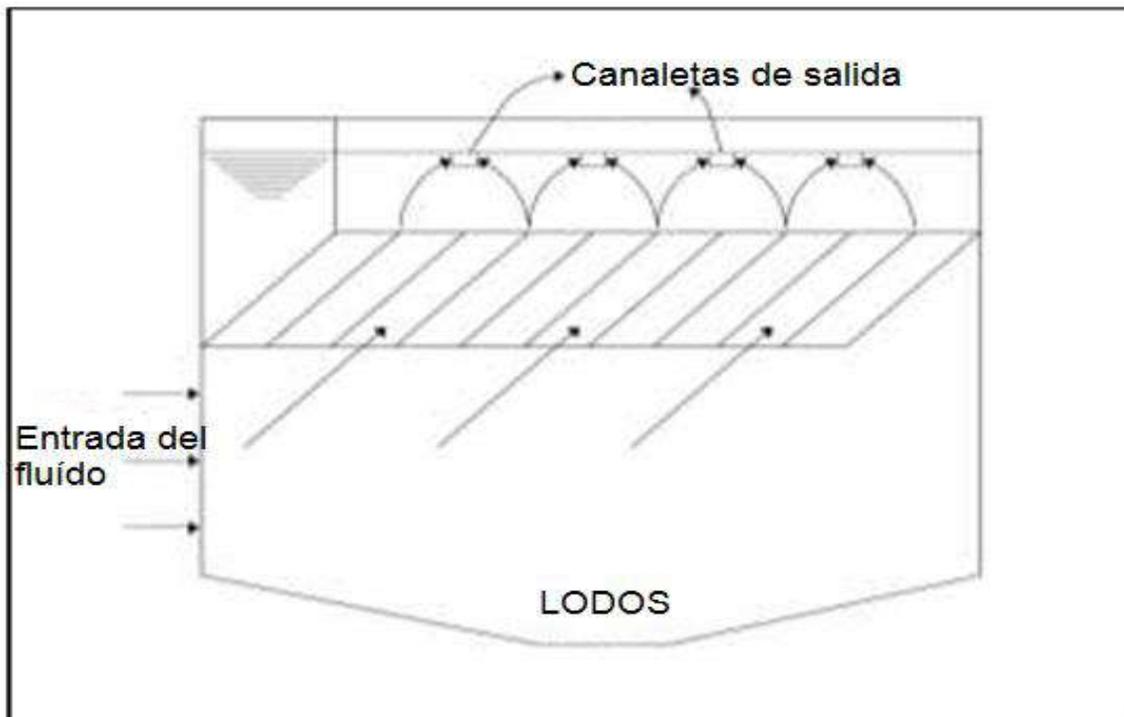
---

<sup>39</sup> Romero Rojas, Jairo Alberto. Purificación del Agua. Bogotá. 2000. p.119.

<sup>40</sup> Manual de tratamiento de aguas (Raúl Guerrero Torres ) 1974

<sup>41</sup> Romero Rojas, Jairo Alberto. Purificación del Agua. Bogotá. 2000. p.145.

Figura N° 12: Sedimentación de tasa alta



Fuente: Jairo Alberto Romero Rojas, 2000.

#### 2.3.4.6. Filtración

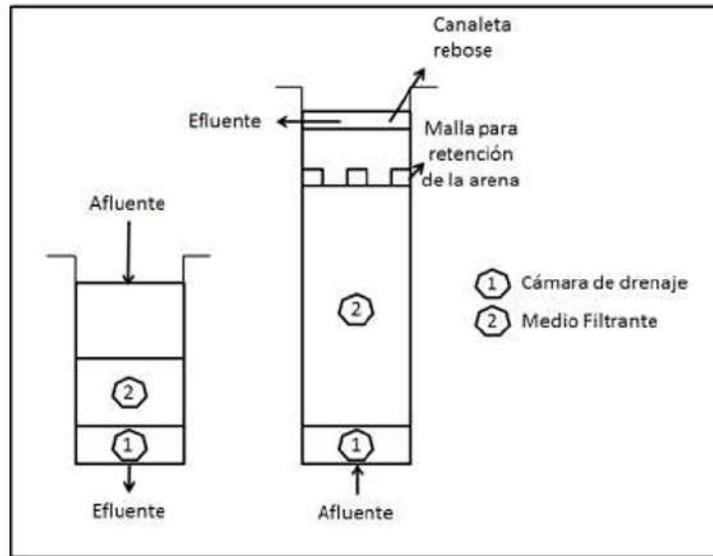
La filtración es una operación por la cual se pasa el agua a través de medios porosos; generalmente estos medios son arena o la combinación de arena y antracita <sup>(42)</sup>.

El papel más importante en la filtración es el de la adsorción, distinta de absorción, la adsorción es la capacidad de un material de adherir partículas en sus diferentes caras, el medio filtrante y las partículas presentan fuerzas de atracción, de esta forma se retiene el floculo que se desea remover del agua.

Existen distintos sistemas de filtraciones propuestas y construidas; se pueden clasificar de acuerdo a la dirección de flujo, el tipo de lecho filtrante, la fuerza impulsora, la tasa de filtración y el método de control de la tasa de filtración. Según la dirección de flujo, los filtros pueden ser de flujo hacia abajo, hacia arriba o de flujo dual.

<sup>42</sup> Romero Rojas, Jairo Alberto. Purificación del Agua. Bogotá. 2000. p.193.

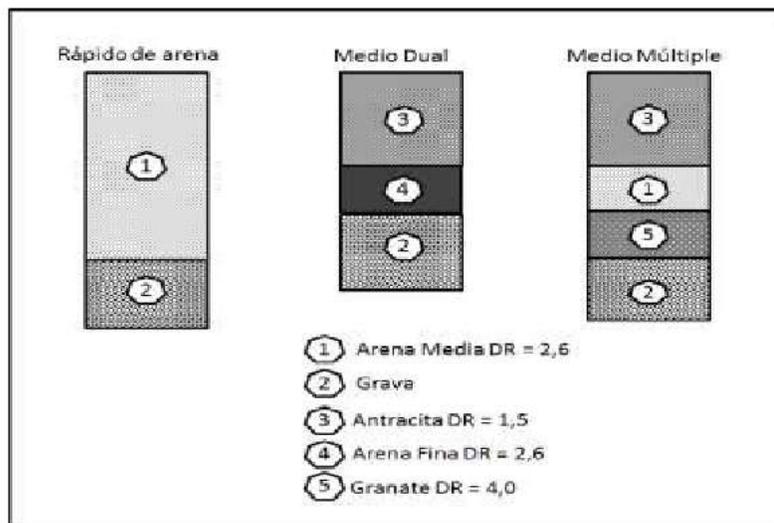
Figura N° 13: Tipos de Filtro, según dirección de flujo



Fuente: Jairo Alberto Romero Rojas, 2000.

Según tipo de lecho filtrante, generalmente se utiliza un solo medio, arena o antracita, pero también existen medios duales que combinan arena y antracita.

Figura N° 14: Tipos de Filtro, según lecho filtrante



Fuente: Jairo Alberto Romero Rojas, 2000.

Los primeros filtros usados para el tratamiento de agua fueron los filtros lentos, los cuales utilizan una capa de arena fina de 1 m soportada sobre un lecho de grava. Estos filtros fueron reemplazados posteriormente por los filtros rápidos, filtros de

arena, generalmente con lavado ascensional, con tasas de filtración mucho mayores. Luego, con el uso de medios filtrantes duales se lograron diseños mucho más económicos en área, al usar tasas de filtración aún más altas.

### Tipos de Filtración

La filtración puede efectuarse en muchas formas distintas: con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en diferentes medios porosos (arena, antracita, granate, etc) empleando solo un medio (lecho simple) o varios medios (lecho mixto), con flujo ascendente o descendente; por último, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante.

En las plantas de tratamiento de agua potable, tradicionalmente han sido utilizados filtros de arena o de arena y antracita. En la actualidad son ampliamente utilizados los filtros rápidos de gravedad, de lecho doble de arena y antracita y de flujo descendente, los cuales vamos a considerar <sup>(43)</sup>.

Tabla N° 13: Tipos de Filtros

SEGÚN LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN	SEGÚN EL MEDIO FILTRANTE	SEGÚN EL SENTIDO DEL FLUJO	SEGÚN LA CARGA SOBRE EL LECHO
LENTOS $2 - 10 \frac{m^3}{m^2}$	ARENA	Ascendentes Descendentes	Por Gravedad
<b>LECHO SIMPLE:</b>			
RÁPIDOS $120 - 360 \frac{m^3}{m^2}$	Arena Antracita	Ascendentes Descendentes	Por Gravedad Por Presión
<b>LECHO MIXTO:</b>			
RÁPIDOS $240 - 480 \frac{m^3}{m^2}$	a) Lecho doble	Ascendentes Descendentes	Por Gravedad Por Presión
	Arena Antracita		
	b) Lecho Triple		
	Arena Antracita Granate		

Fuente: Ing. Jorge Arturo Pérez P.

<sup>43</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL – FACULTAD DE MINAS (Tratamiento de Aguas)

#### 2.3.4.7. Desinfección

Es la operación que asegura la protección contra el riesgo de infecciones de origen hídrico. Este es el tratamiento que debe aplicarse prioritariamente cuando el agua está contaminada, o cuando no se puede garantizar su potabilidad natural de forma permanente. <sup>(44)</sup>

La desinfección del agua se puede conseguir por diversos medios físicos o químicos

- a) **Ebullición:** para obtener un agua perfectamente desinfectada a nivel del mar, ésta debe hervirse por un minuto. Debe agregarse un minuto adicional de ebullición por cada aumento de 1000 metros de altitud.
- b) **Rayos ultravioletas:** La eficacia de la desinfección usando esta técnica está estrechamente ligada a la calidad del agua que va a ser tratada. Por tanto debe usarse sólo en casos muy particulares. Además, debe considerarse que este tratamiento no tiene efecto residual <sup>(45)</sup>. Por otra parte, no genera ningún subproducto.
- c) **Procesos químicos:** los reactivos químicos más comunes son el cloro y sus derivados y el ozono junto con el bióxido de cloro. De todos ellos el cloro en forma en cloro gaseoso, de hipoclorito de sodio (lejía) o de hipoclorito de calcio (en polvo), es el biocida <sup>(46)</sup> más empleado y el más antiguo.

---

<sup>44</sup> “La desinfección del agua” Antoine Montiel

<sup>45</sup> Residual: persistencia en el tiempo de ciertas características (poder biocida en el presente caso)

<sup>46</sup> Biocida: que tiene la facultad de matar microorganismos. A menudo, se hace referencia al término “desinfectante” para calificar un reactivo químico biocida.

Tabla N° 14: Datos de referencia para la desinfección según, el volumen de agua a tratar:

Volumen de Agua en Litros	Cantidad de lavandina al 8% en gotas
5	3
10	6
15	9
20	12
30	18
60	36
100	60
1000	30 mL (mililitros)

Fuente: Comité de emergencia del agua UMSA - Noviembre 2016<sup>(47)</sup>

### Parámetros químicos

Entre los parámetros químicos que se analizó tenemos los siguientes:

- **Alcalinidad.-** Para determinar éste parámetro se empleó el método volumétrico (método clásico de análisis), por la titulación con  $H_2SO_4$ , previamente estandarizado con  $Na_2CO_3$ . Como se conoce las muestras tienen un pH casi neutro (alrededor de 7). Solo se realizó la segunda etapa de titulación, con el indicador verde de bromocresol, hasta el viraje de color azul a café pardo encontrando solamente  $HCO_3^{-1}$ .
- **Acidez.-** Para determinar éste parámetro se realizó la titulación volumétrica con  $NaOH$  previamente estandarizado con  $H_2SO_4$ , y el indicador fenolfateína hasta el viraje de color transparente a rosado. En el cual se pudo evidenciar que existe la presencia de  $CO_2$ .
- **Dureza.-** Para la determinación de la dureza se empleó también el método volumétrico con EDTA estandarizado con  $CaCO_3$ . A la muestra se debe adicionar 2 ml de buffer amonio/amoniaco para regular el pH, se utilizó el indicador NET, y se tituló hasta viraje de color rojo vino a azul.
- **Calcio.-** Para la determinación de calcio en las muestras se realizó también la titulación con EDTA estandarizado, previamente se añadió a las muestras 2 ml

<sup>47</sup> Comité de emergencia del agua UMSA - Noviembre 2016 Volumen 1, N°1

de  $NaOH$  1 N y se empleó el indicador murexida, hasta el viraje de color rosado a violeta.

- **Magnesio.-** La determinación de magnesio en las muestras agua se realizará mediante una operación matemática.
- **Cloruros.-** la cantidad de cloruros existente en las muestras de agua se determinó por el método argentométrico de Möhr, mediante una titulación de las muestras con una solución de  $AgNO_3$  previamente estandarizado con  $NaCl$ , utilizando  $K_2CrO_4$  como indicador, hasta la formación de un precipitado color marrón.
- **Sulfatos.-** Para la determinación de sulfatos utilizamos el método turbidimétrico para la medición del ion sulfato en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. El ion sulfato precipita con cloruro de bario, en un medio ácido, formando cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. La concentración de masa del ion sulfato se mide por comparación de la lectura con una curva de calibración analítica. Este método es aplicable en el intervalo de concentraciones de 1 mg/L a 40 mg/L de  $SO_4^{2-}$  a 460 nm de Absorbancia.
- **Nitratos.-** La determinación se usó la técnica espectrofotométrico ultravioleta (UV) que mide la absorbancia del nitrato ( $NO_3^-$ ) a 204 nm y es adecuada para la determinación rápida de  $NO_3^-$ , la filtración de la muestra tiene la intención de remover la posible interferencia de partículas suspendidas. La acidificación con HCl 1N esta designada para prevenir la interferencia de concentraciones de hidróxido o carbonato. La concentración de masa del ion nitrato se mide por comparación de la lectura con una curva de calibración analítica a partir de  $KNO_3$ .
- **Metales pesados.-** La determinación de los metales pesados (Na, K, Fe, Cu, Zn y Pb), se lo realizó usando un equipo de Absorción Atómica midiendo la concentración de masa de los iones y por comparación de la lectura con una curva de calibración analítica.

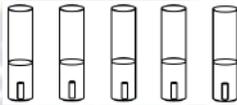
## Parámetros microbiológicos

Entre los parámetros microbiológicos que se analizó tenemos los siguientes:

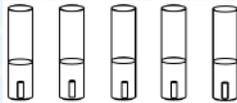
- **NB 31006 Agua potable – Identificación y recuento de bacterias Coliformes totales y escherichia coli – Método de Número Más Probable NMP.**

### Prueba presuntiva:

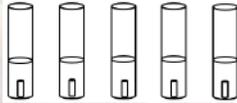
- a) Agregar 10mL de CLT (Caldo Lauril Triptosa) de doble concentración.



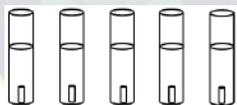
- b) Agregar 10mL de CLT (Caldo Lauril Triptosa) de simple concentración.



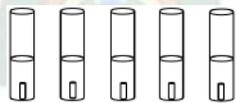
- c) Agregar 10mL de CLT (Caldo Lauril Triptosa) de simple concentración.



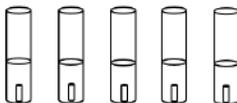
-Colocar 10 mL de Muestra a cada tubo del inciso a).



-Colocar 1 mL de Muestra a cada tubo del inciso b).



-Colocar 0,1 mL de Muestra a cada tubo del inciso c).



Incubar los tubos a 35°C durante 48 h en la incubadora.

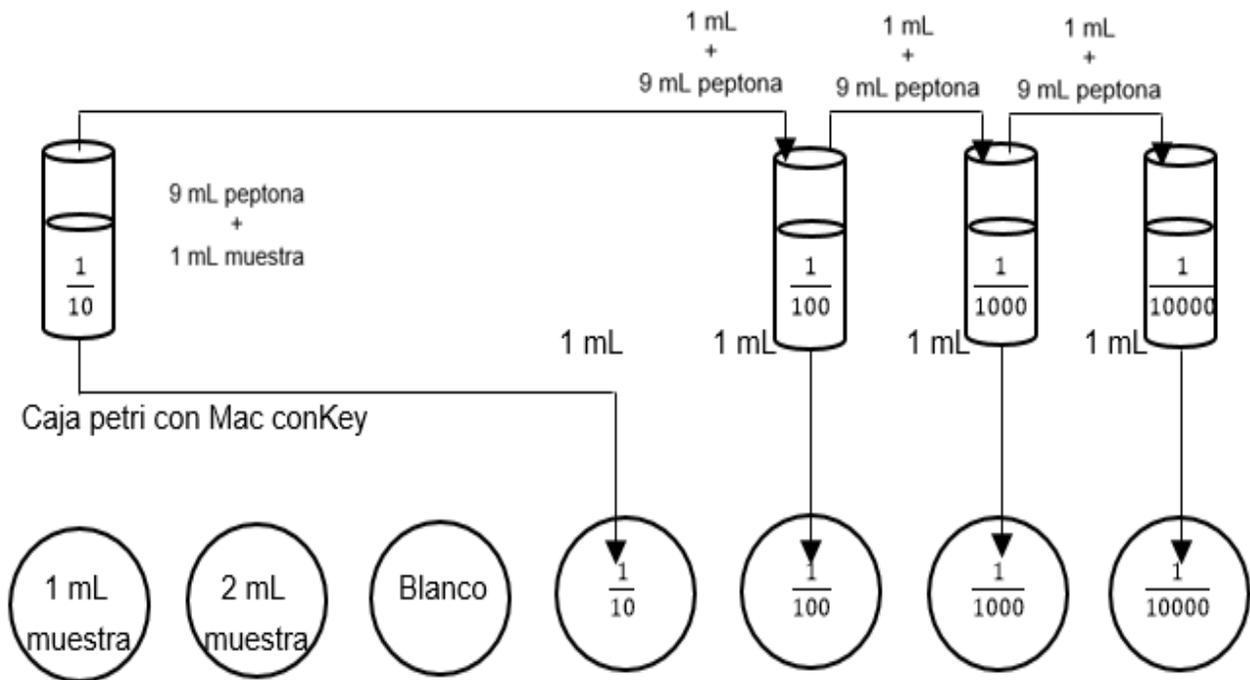
### Prueba confirmativa para Coliformes totales:

La prueba positiva de la prueba presuntiva. Someter los tubos a la prueba confirmativa con CLBVB (Caldo Lactosado Bilis Verde Brillante) al 2% incubar a 35°C durante 24 h.

### Prueba confirmativa para Escherichia coli:

La prueba positiva de la prueba presuntiva. Someter los tubos a la prueba confirmativa con ECBROTH incubar a 35°C durante 24 h.

- **Agua potable – Identificación y recuento de bacterias Coliformes totales y escherichia coli – Método de Recuento en placas.**



Incubar las placas a 35 °C durante 48 h en la incubadora.

### 3. MARCO EXPERIMENTAL

#### 3.1. Localización y Recolección de la Materia Prima

La recolección de las pencas de tuna (*Opuntia Ficus Indica*) se realizó en dos lugares; una en el área urbana (zona San Jorge) y la otra en área rural (localidad de Carreras – Río Abajo). Se recolectaron pencas sanas sin fruto utilizando un cuchillo para cortar el punto de unión de la penca con la planta tratando que la herida sea del menor tamaño posible para reducir el riesgo de enfermedad y facilitar la cicatrización de la planta.

*Fotografía N° 9: Recolección pencas aptas zona San Jorge*



Fuente: Elaboración propia

*Fotografía N° 10: Recolección pencas aptas Localidad de Carreras (Río Abajo)*



Fuente: Elaboración propia

### 3.2. Caracterización Físico-Química de la Materia Prima

La caracterización físico-química de la materia prima se realizó en el Laboratorio de la carrera de Química Industrial. Los parámetros analizados, son aquellos que luego de una revisión bibliográfica, se consideran útiles para constatar que la planta utilizada posee características propias de la Tuna (*Opuntia Ficus Indica*).

#### 3.2.1. Determinación de la humedad inicial de la penca de tuna

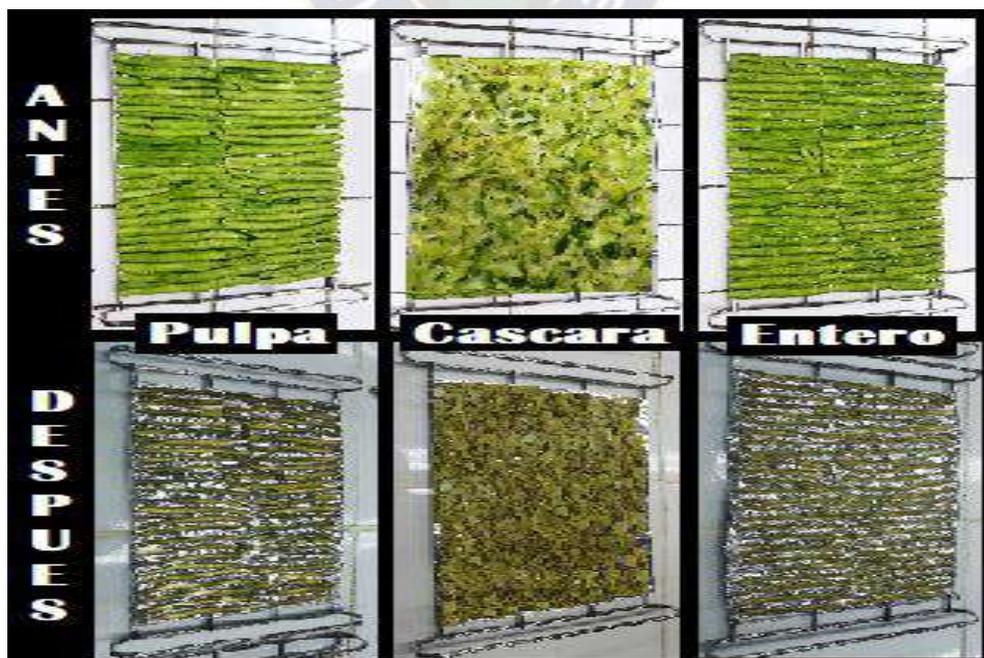
Para la determinación de la Humedad se utilizó el **método Gravimétrico**, ver ANEXO 1.

La penca se la fraccionó en tres partes de la siguiente manera:

- Se tomó una muestra entera de la penca considerando su cáscara y pulpa.
- Otra muestra considerando su pulpa
- Y la última muestra considerando su cáscara.

Se realizó este procedimiento de determinación de la humedad, para las pencas recolectadas en la Zona San Jorge y para las pencas recolectadas en la localidad de Carreras – Río Abajo.

Fotografía N° 11: secado de las muestras de penca



Fuente: Elaboración propia

El cálculo de la humedad se realizó mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\%Humedad = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

Donde:

$m_1$  = Masa inicial de la muestra [g]

$m_2$  = Masa final de la muestra [g]

### **Resultados de la determinación de humedad de la Penca Tuna:**

Tabla N° 15: Porcentaje de humedad de la Penca de Tuna

LUGAR	% DE HUMEDAD		
	Pulpa	Cáscara	Pulpa y Cáscara
Zona San Jorge	90,30	71,22	87,95
Carreras - Río Abajo	90,02	70,72	89,78

Fuente: Elaboración propia

### **3.2.2. Determinación de Cenizas:**

Para la determinación de cenizas se utilizó el **método físico (gravimétrico)**, por ignición hasta cenizas blancas, para el cual se utilizaron crisoles de porcelana, ver ANEXO 3.

Se realizó este procedimiento de determinación de Ceniza, para las pencas recolectadas en la Zona San Jorge y para las pencas recolectadas en la localidad de Carreras – Río Abajo.

Fotografía N° 12: Determinación de Ceniza de la penca de tuna



Fuente: Elaboración propia

El cálculo de la cantidad de cenizas se realizó mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\%Cenizas = \frac{m_2}{m_1} \times 100\%$$

Donde:

$m_1$  = Masa inicial de la muestra [g]

$m_2$  = Masa final de la muestra [g]

- **Resultados de la determinación de las cenizas de la Penca Tuna:**

Tabla N° 16: Porcentaje de ceniza en la Penca de Tuna

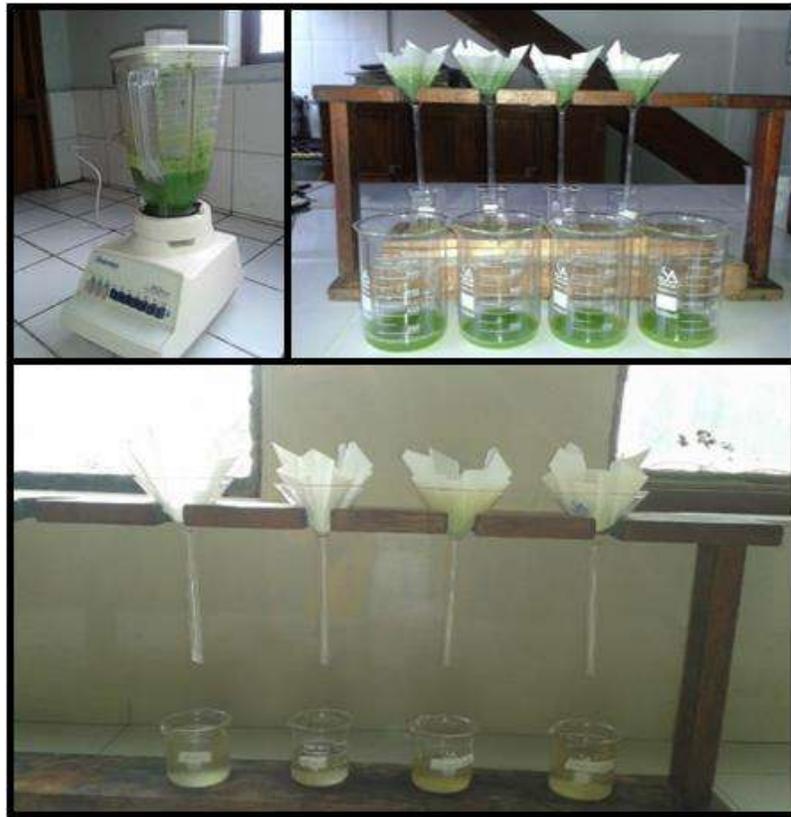
Lugar	%(Cáscara + Pulpa)	%( Pulpa)	%(Cáscara)
Zona San Jorge	1,27	1,15	2,83
Carreras – Río Abajo	1,42	1,17	3,29

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3. Determinación del pH:

Para la determinación del pH se empleó el **método potenciométrico** (ver ANEXO 5), esta medición de pH de la penca de tuna se la realizó por duplicado.

Fotografía N° 13: Determinación del pH de la penca de tuna



Fuente: Elaboración Propia

Resultados obtenidos de pH mediante el método potenciométrico.

Tabla N° 17: Resultados pH Penca de Tuna

Lugar	pH(Cáscara + Pulpa)	pH( Pulpa)
Zona San Jorge	4,41	4,44
Carreras – Río Abajo	4,36	5,16

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.4. Resumen de los resultados obtenidos de la caracterización físico-química de la penca de tuna.

Se realizó la caracterización fisicoquímica de la materia prima (penca de tuna), mediante diferentes técnicas de análisis, En la Tabla N°18 se aprecia los resultados:

Tabla N° 18: Resultados de la caracterización fisicoquímica de la penca de tuna

<b>%HUMEDAD</b>			
<b>Lugar</b>	<b>Pulpa</b>	<b>Cáscara</b>	<b>Pulpa + Cáscara</b>
<b>Zona San Jorge</b>	90,30	71,22	87,95
<b>Carreras - Río Abajo</b>	90,02	70,72	89,78
<b>%CENIZAS</b>			
<b>Lugar</b>	<b>Pulpa</b>	<b>Cáscara</b>	<b>Pulpa + Cáscara</b>
<b>Zona San Jorge</b>	1,15	2,83	1,27
<b>Carreras - Río Abajo</b>	1,17	3,29	1,42
<b>pH</b>			
<b>Lugar</b>	<b>Pulpa</b>	<b>Cáscara</b>	<b>Pulpa + Cáscara</b>
<b>Zona San Jorge</b>	4,44	Ausencia	4,41
<b>Carreras - Río Abajo</b>	5,16	Ausencia	4,36

Fuente: Elaboración propia

El % de humedad obtenido en la zona San Jorge en comparación a la de Carreras - Río Abajo varia levemente esto puede ser por diferentes factores como ser: lugar, clima, cultivo, etc.

El % de ceniza obtenido es menor al 1,5%, este porcentaje corresponde al contenido de minerales como ser Calcio, Fósforo y Hierro los cuales hacen a la penca de tuna un alimento nutritivo por tener estos minerales.

El pH obtenido nos dio débilmente ácido al ser considerado como vegetal.

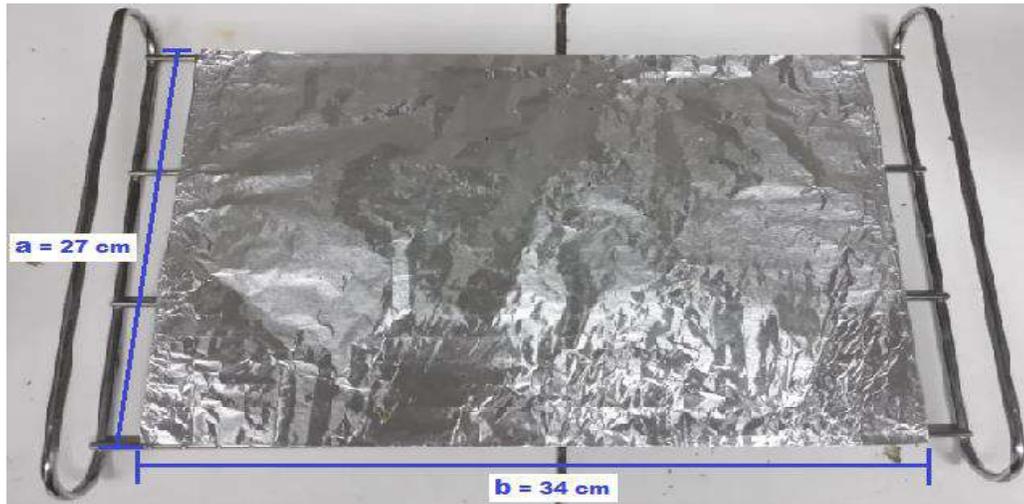
Los resultados obtenidos de humedad, cenizas y pH que se realizaron a nuestras pencas de tuna recolectadas en la zona San Jorge y en la localidad de Carreras, se aproximan a los análisis de la tabla N°6 que son datos referenciales, lo cual nos indica que los análisis efectuados se los realizaron de buena forma.

### 3.3. Velocidad de secado

Para la velocidad de secado se siguió el procedimiento descrito en el ANEXO 6.

#### 3.3.1. Determinación del área de la bandeja

Fotografía N° 14: Tamaño del área de la bandeja de secado



Fuente: Elaboración propia

Determinación del área de la bandeja para el secado de la penca de tuna es:

$$a = 27,0 \text{ cm} = 0,27 \text{ m}$$

$$b = 34,0 \text{ cm} = 0,34 \text{ m}$$

$$A = a*b = 0,0918 \text{ m}^2$$

#### 3.3.2. Determinación del Sólido Seco

Para la determinación de los sólidos secos de las muestras de penca de tuna, ver el ANEXO 7.

Tabla N° 19: Resultados de Ss de las muestras de pencas

LUGAR	SÓLIDO SECO = Ss (g)		
	Pulpa	Cáscara	Pulpa y Cáscara
Zona San Jorge	21,70	19,40	25,60
Carreras - Río Abajo	21,20	20,00	21,90

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3. Secado de la Penca de Tuna

Se puede apreciar en la Fotografía N°15, la forma como se colocó las muestras en las bandejas, pero para hallar la velocidad de secado las muestras se expusieron a una temperatura de 60°C, evitando de esta manera la desnaturalización y degradación de las pencas de tuna recolectadas en los dos puntos

*Fotografía N° 15: Estufa de Secado marca BINDER*



Fuente: Elaboración propia

*Fotografía N° 16: Secado de las muestras de pencas*



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.4. Determinación de la Velocidad de secado para las pencas de la zona San Jorge – La Paz

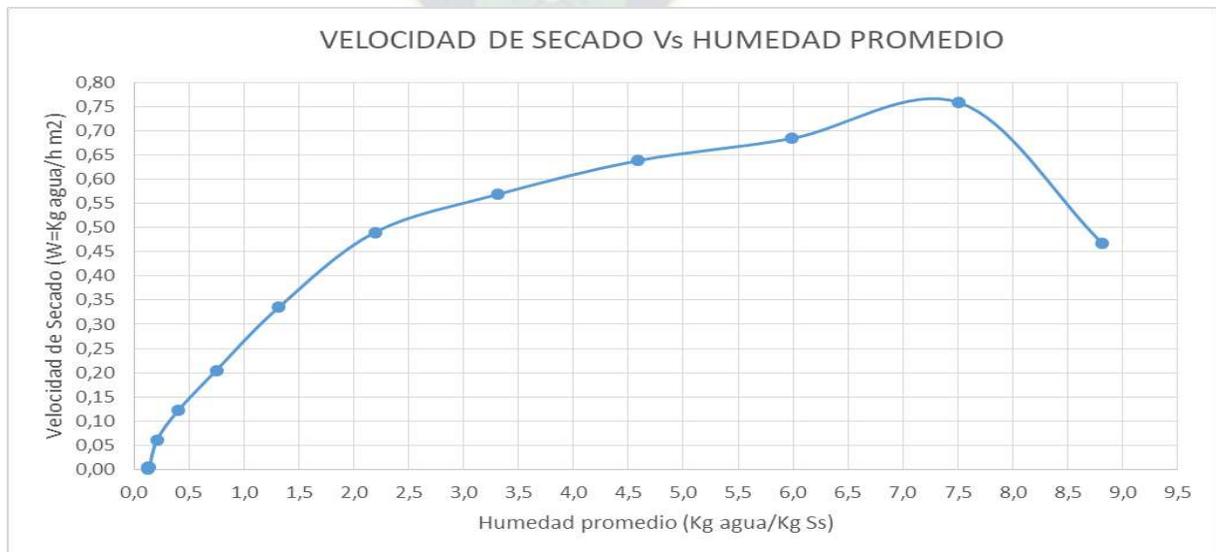
- Penca solo la parte de la pulpa

Tabla N° 20: Variables para la determinación de la Velocidad de Secado en la pulpa

N°	Tiempo [h]	X <sub>T</sub> [g]	$X = \frac{X_T - S_S}{S_S}$	$X_m = \left[ \frac{Kg\ agua}{Kg S_S} \right]$	$w = \left[ \frac{Kg\ agua}{h\ m^2} \right]$
1	0,00	223,6	9,3041		
2	0,50	202,1	8,3134	8,8088	0,4684
3	1,00	167,3	6,7097	7,5115	0,7582
4	1,50	135,9	5,2627	5,9862	0,6841
5	2,00	106,6	3,9124	4,5876	0,6383
6	2,50	80,5	2,7097	3,3111	0,5686
7	3,00	58	1,6728	2,1912	0,4902
8	3,50	42,6	0,9631	1,3180	0,3355
9	4,00	33,2	0,5300	0,7465	0,2048
10	4,50	27,6	0,2719	0,4009	0,1220
11	5,00	24,8	0,1429	0,2074	0,0610
12	5,50	24,6	0,1336	0,1382	0,0044
13	6,00	24,4	0,1244	0,1290	0,0044
14	6,50	24,4	0,1244	0,1244	0,0000

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 4: Velocidad de Secado vs Humedad Promedio



Fuente: Elaboración propia

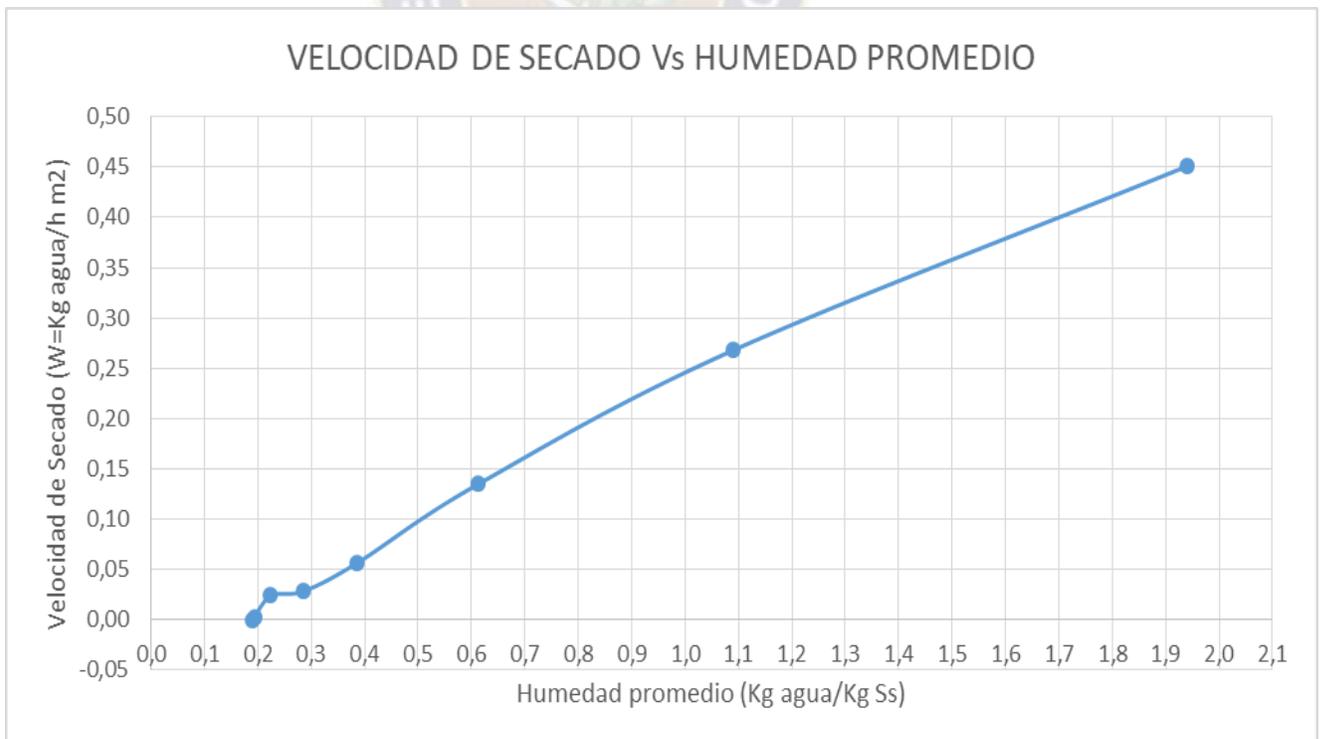
- **Penca solo la parte de la cáscara**

*Tabla N° 21: Variables para la determinación de la Velocidad de Secado en la Cáscara*

N°	Tiempo [h]	$X_T$ [g]	$X = \frac{X_T - S_S}{S_S}$	$X_m = \left[ \frac{Kg\ agua}{Kg\ S_S} \right]$	$w = \left[ \frac{Kg\ agua}{h\ m^2} \right]$
1	0,00	67,4	2,4742		
2	0,50	46,7	1,4072	1,9407	0,4510
3	1,00	34,4	0,7732	1,0902	0,2680
4	1,50	28,2	0,4536	0,6134	0,1351
5	2,00	25,6	0,3196	0,3866	0,0566
6	2,50	24,3	0,2526	0,2861	0,0283
7	3,00	23,2	0,1959	0,2242	0,0240
8	3,50	23,1	0,1907	0,1933	0,0022
9	4,00	23,1	0,1907	0,1907	0,0000

Fuente: Elaboración propia

*Gráfica N° 5: Velocidad de Secado vs Humedad Promedio*



Fuente: Elaboración propia

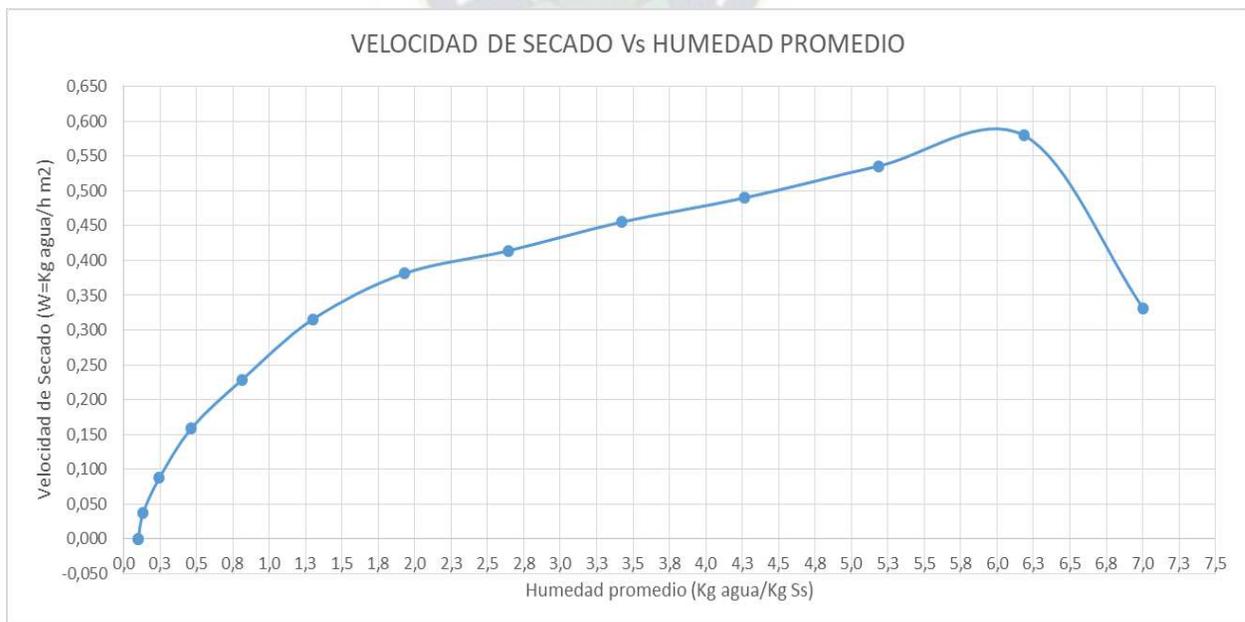
- **Penca entera (pulpa y cáscara)**

Tabla N° 22: Variables para la determinación de la Velocidad de Secado en la Penca Entera

N°	Tiempo [h]	X <sub>T</sub> [g]	$X = \frac{X_T - S_S}{S_S}$	$X_m = \left[ \frac{Kg\ agua}{Kg\ S_S} \right]$	$w = \left[ \frac{Kg\ agua}{h\ m^2} \right]$
1	0,00	212,5	7,3008		
2	0,50	197,3	6,7070	7,0039	0,3312
3	1,00	170,7	5,6680	6,1875	0,5795
4	1,50	146,1	4,7070	5,1875	0,5359
5	2,00	123,6	3,8281	4,2676	0,4902
6	2,50	102,7	3,0117	3,4199	0,4553
7	3,00	83,7	2,2695	2,6406	0,4139
8	3,50	66,2	1,5859	1,9277	0,3813
9	4,00	51,7	1,0195	1,3027	0,3159
10	4,50	41,2	0,6094	0,8145	0,2288
11	5,00	33,9	0,3242	0,4668	0,1590
12	5,50	29,9	0,1680	0,2461	0,0871
13	6,00	28,2	0,1016	0,1348	0,0370
14	6,50	28,2	0,1016	0,1016	0,0000
15	7,00	28,2	0,1016	0,1016	0,0000

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 6: Velocidad de Secado vs Humedad Promedio



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.5. Determinación de la Velocidad de secado para las pencas de la Localidad de Carreras – Río Abajo; La Paz

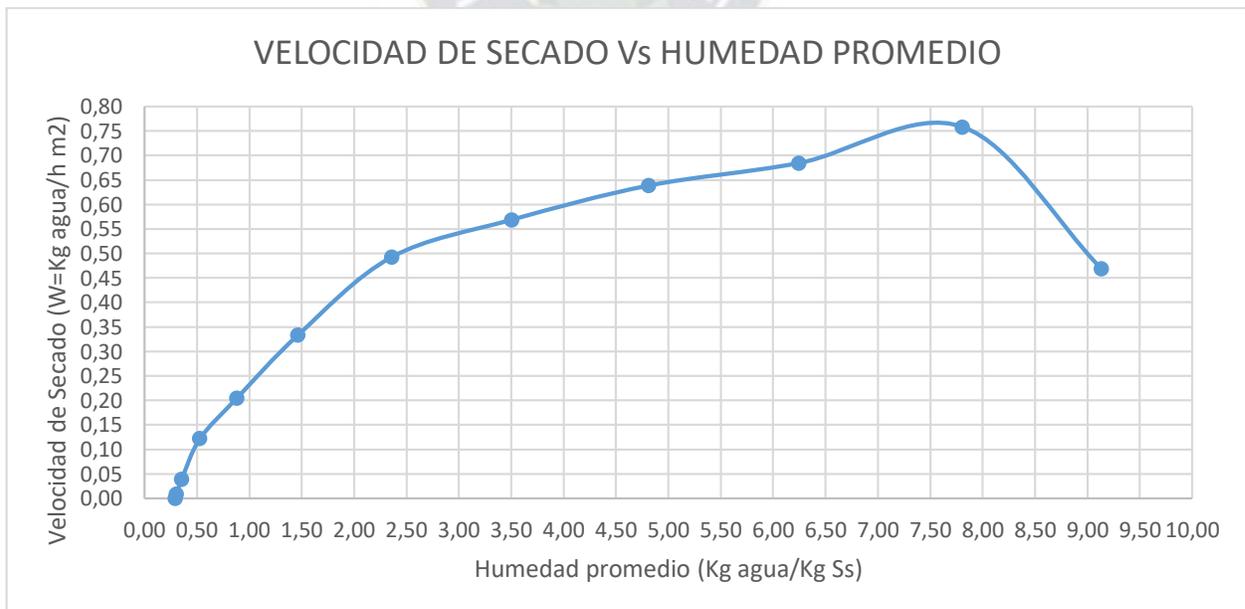
- Penca solo la parte de la pulpa

Tabla N° 23: Variables para la determinación de la Velocidad de Secado en la Pulpa

N°	Tiempo [h]	X <sub>T</sub> [g]	$X = \frac{X_T - S_S}{S_S}$	$X_m = \left[ \frac{Kg\ agua}{Kg S_S} \right]$	$w = \left[ \frac{Kg\ agua}{h\ m^2} \right]$
1	0,00	225,6	9,6415		
2	0,50	204,1	8,6274	9,1344	0,4684
3	1,00	169,3	6,9858	7,8066	0,7582
4	1,50	137,9	5,5047	6,2453	0,6841
5	2,00	108,6	4,1226	4,8137	0,6383
6	2,50	82,5	2,8915	3,5071	0,5686
7	3,00	59,9	1,8255	2,3585	0,4924
8	3,50	44,6	1,1038	1,4646	0,3333
9	4,00	35,2	0,6604	0,8821	0,2048
10	4,50	29,6	0,3962	0,5283	0,1220
11	5,00	27,8	0,3113	0,3538	0,0392
12	5,50	27,4	0,2925	0,3019	0,0087
13	6,00	27,4	0,2925	0,2925	0,0000

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 7: Velocidad de Secado vs Humedad Promedio



Fuente: Elaboración propia

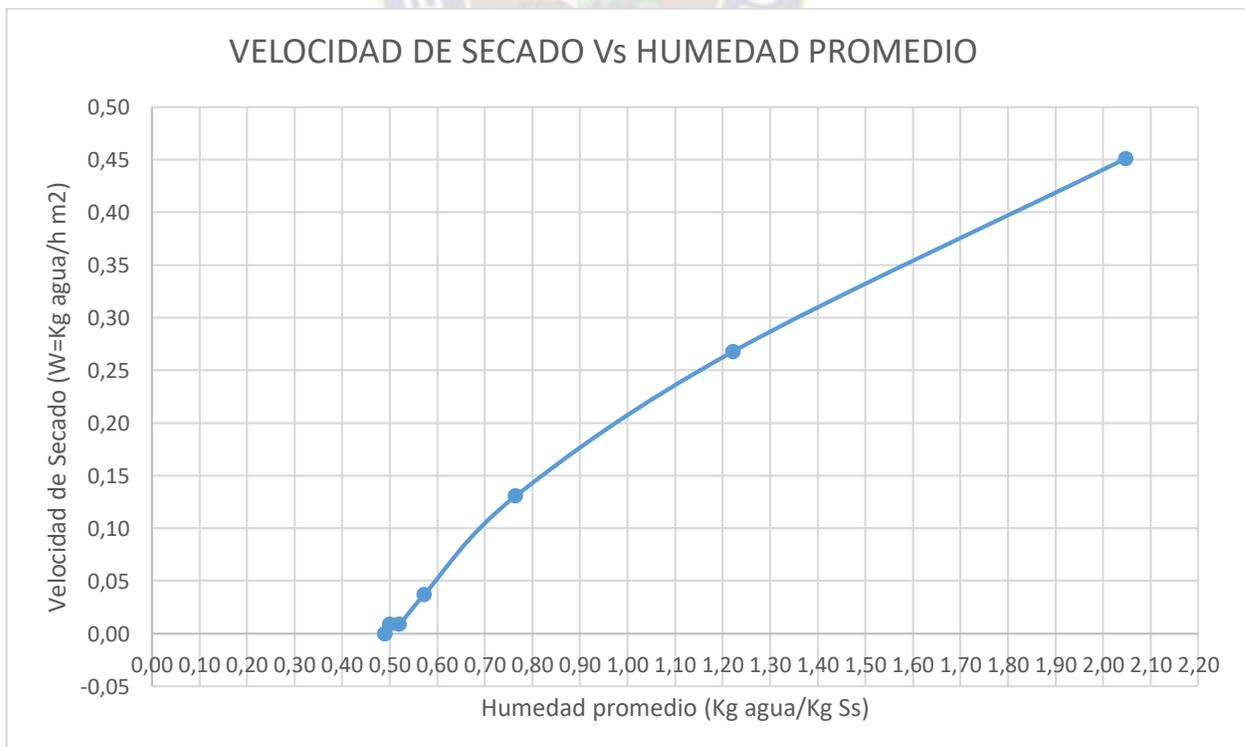
- **Penca solo la parte de la cáscara**

*Tabla N° 24: Variables para la determinación de la Velocidad de Secado en la Cáscara*

N°	Tiempo [h]	X <sub>T</sub> [g]	$X = \frac{X_T - S_S}{S_S}$	$X_m = \left[ \frac{Kg\ agua}{Kg\ S_S} \right]$	$w = \left[ \frac{Kg\ agua}{h\ m^2} \right]$
1	0,00	71,3	2,5650		
2	0,50	50,6	1,5300	2,0475	0,4510
3	1,00	38,3	0,9150	1,2225	0,2680
4	1,50	32,3	0,6150	0,7650	0,1307
5	2,00	30,6	0,5300	0,5725	0,0370
6	2,50	30,2	0,5100	0,5200	0,0087
7	3,00	29,8	0,4900	0,5000	0,0087
8	3,50	29,8	0,4900	0,4900	0,0000
9	4,00	29,8	0,4900	0,4900	0,0000

Fuente: Elaboración propia

*Gráfica N° 8: Velocidad de Secado vs Humedad Promedio*



Fuente: Elaboración propia

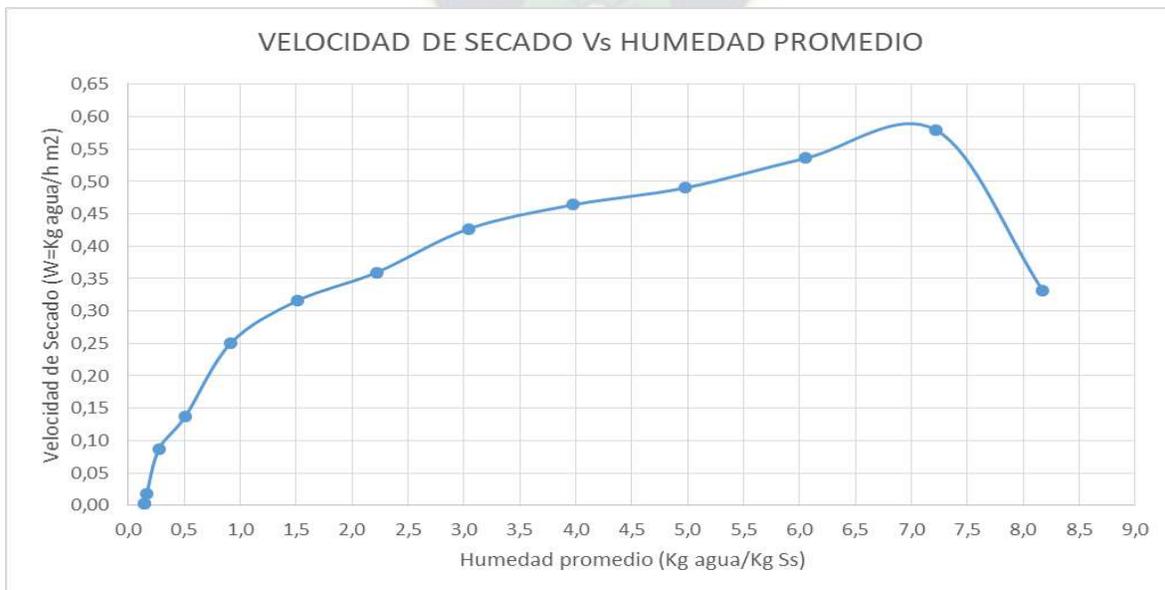
- **Penca entera (pulpa y cáscara)**

Tabla N° 25: Variables para la determinación de la Velocidad de Secado en la Penca Entera

N°	Tiempo [h]	X <sub>T</sub> [g]	$X = \frac{X_T - S_S}{S_S}$	$X_m = \left[ \frac{Kg\ agua}{Kg\ S_S} \right]$	$w = \left[ \frac{Kg\ agua}{h\ m^2} \right]$
1	0,00	208,5	8,5205		
2	0,50	193,3	7,8265	8,1735	0,3312
3	1,00	166,7	6,6119	7,2192	0,5795
4	1,50	142,1	5,4886	6,0502	0,5359
5	2,00	119,6	4,4612	4,9749	0,4902
6	2,50	98,3	3,4886	3,9749	0,4641
7	3,00	78,7	2,5936	3,0411	0,4270
8	3,50	62,2	1,8402	2,2169	0,3595
9	4,00	47,7	1,1781	1,5091	0,3159
10	4,50	36,2	0,6530	0,9155	0,2505
11	5,00	29,9	0,3653	0,5091	0,1373
12	5,50	25,9	0,1826	0,2740	0,0871
13	6,00	25,1	0,1461	0,1644	0,0174
14	6,50	25	0,1416	0,1438	0,0022
15	7,00	24,9	0,1370	0,1393	0,0022

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 9: Velocidad de Secado vs Humedad Promedio



Fuente: Elaboración propia

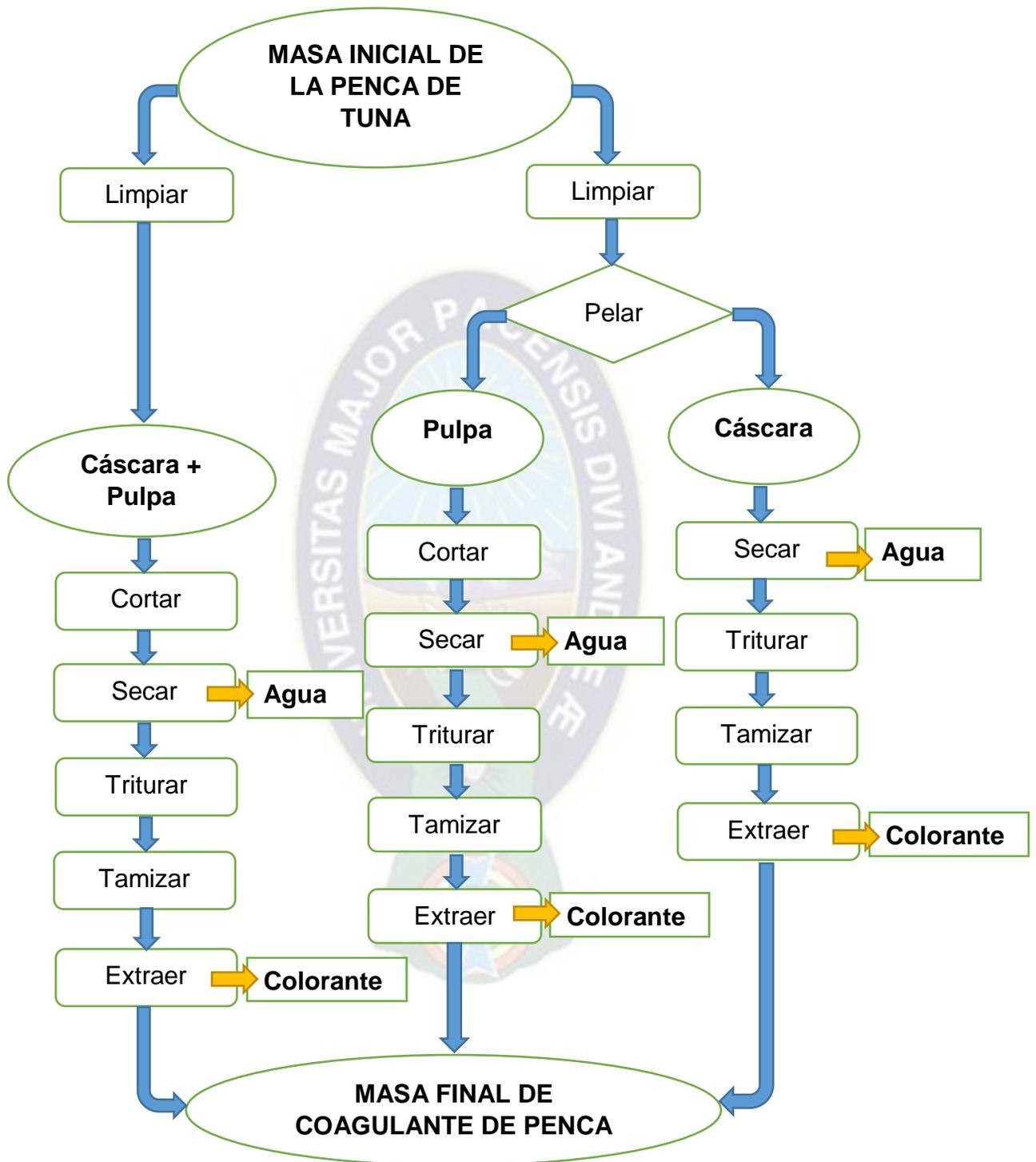
En las Gráficas 4,5,6,7,8 y 9 respectivamente se aprecia que las curvas de velocidad en la ordenada (Velocidad de Secado) para cada caso de secado llega a cero, lo cual nos indica que a la temperatura de 60°C para un determinado tiempo ya no se puede secar más las muestras y que a esta temperatura se elimina la humedad ligada y no así la humedad no ligada, por lo tanto en la Abscisa (Humedad Promedio) la curva nunca llegara a ser cero a esta temperatura.

### **3.4. Obtención del Coagulante Natural a partir de la Penca de Tuna (Opuntia Ficus Indica)**

#### **3.4.1. Proceso de Obtención**



Figura N° 15: Obtención del Coagulante Natural a base de Penca de tuna



Fuente: Elaboración Propia

La Figura N°15, Muestra El diagrama de procesos para la obtención del coagulante natural en polvo a partir de penca de tuna, que se lo realizó mediante diversas operaciones físicas y químicas, Para luego realizar la explicación detallada de cada proceso.

#### 3.4.1.1. Selección de Pencas aptas

En la recolección de la penca de tuna se tomó en cuenta solo a las pencas tiernas y que no muestran enfermedad u hongos, ya que las pencas en mal estado podrían afectar la inocuidad de nuestro coagulante.

#### 3.4.1.2. Limpieza de la Materia Prima

Se realizó la limpieza de las pencas de tuna recolectadas, con ayuda de una esponja y cepillo para quitar las espinas y suciedad adherida en la superficie de estas.

*Fotografía N° 17: Limpieza de las Pencas en buen estado*



Fuente: Elaboración propia

#### 3.4.1.3. *Pelado y cortado de la penca de tuna*

En el pelado de la penca se vio que esta tiene una cutícula gruesa (cáscara), adherida que cubre la superficie, con ayuda de un cuchillo se procedió a sacar la cáscara.

*Fotografía N° 18: Pelado de la Cutícula de la Pencas*



Fuente: Elaboración propia

#### 3.4.1.4. *Cortado*

Se realizó el cortado de tiras de 0,5 cm de espesor para un mejor tiempo de secado.

*Fotografía N° 19: Cortado de la penca*

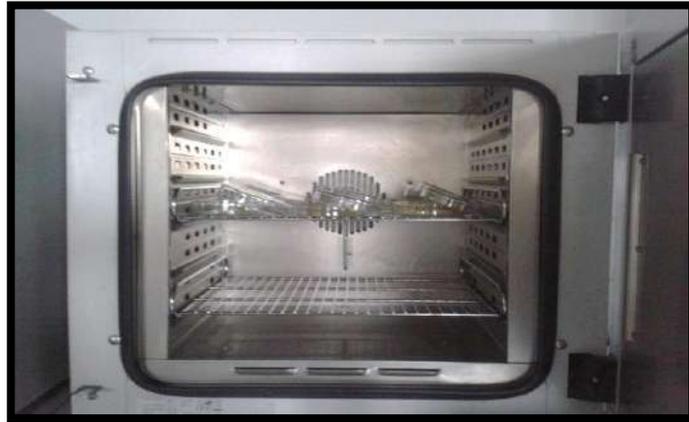


Fuente: Elaboración propia

#### 3.4.1.5. Secado de la Penca de tuna en estufa a 60°C

Una vez cortada la penca se ordeno en bandeja de secado y posteriormente se introdujo a una estufa programable durante 24 horas continuas a una temperatura de 60°C, estos datos se tomaron como sugerencia bibliográfica del estudio realizado por el CEPIS. La deshidratacion fue muy notoria, quedando las pencas muy delgadas, frágiles y quebradizas.

*Fotografía N° 20: Estufa de Secado*



Fuente: Elaboración propia

*Fotografía N° 21: Deshidratación de la Penca de Tuna*



Fuente: Elaboración Propia

#### 3.4.1.6. Triturado y Molienda de la Penca de tuna seca:

Para la operación de la molienda se utilizó un molidor manual con el que se aceleró este proceso y para afinar la molienda seguidamente utilizamos un mortero de porcelana, así llegar a un polvo muy fino. Se trituraron y molieron las tres muestras de penca deshidratadas; penca entera (cáscara y pulpa), penca solo pulpa y solo la cáscara de la penca. El producto obtenido fue un polvo fino de color verdusco - amarillento característico de la penca de tuna.

*Fotografía N° 22: triturado y molienda de la penca de tuna*



Fuente: Elaboración Propia

En el triturado y molienda de las pencas deshidratadas se observó que estas tenían una fibra muy dura, la cual no se podía moler con facilidad, por lo cual las retiramos para facilitar la molienda del producto del coagulante natural.

*Fotografía N° 23: Fibra de la penca difícil de moler*



Fuente: Elaboración Propia

*3.4.1.7. Tamizado de la penca de tuna molida hasta malla de 106  $\mu\text{m}$ :*

Para uniformizar el diámetro de las partículas, se tamizó el polvo fino obtenido en el proceso de triturado y molienda en un equipo de Tamiz Mecánico, hasta llegar a la malla de **106  $\mu\text{m}$**  de diámetro, con el objetivo de favorecer la extracción de pigmentos y dilución de la penca.

*Fotografía N° 24: Tamizador Eléctrico*



Fuente: Elaboración Propia

*Fotografía N° 25: Penca Tamizada de la Pulpa, Cáscara y Entera*



Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.1.8. *Extracción (Sol. – Liq.) del Pigmento, Mediante Equipo Soxhlet a las Muestras de Penca de Tuna molidas*

Se realizó la extracción sólido – líquido mediante extracción Soxhlet con la finalidad de eliminar los pigmentos del coagulante, utilizando etanol al 96% de pureza como solvente, se efectuó este proceso hasta ver que el cartucho con la muestra ya no presentaba color, de esta manera aseguramos la despigmentación del coagulante por completo.

*Fotografía N° 26: Equipo Soxhlet Sólido-Líquido en Serie*



Fuente: Elaboración Propia

*Fotografía N° 27: Extracción del pigmento de la penca*



Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.9. *Secado y Pulverizado del coagulante obtenido a partir de Penca de Tuna:*

Después de realizado el proceso de extracción del pigmento, se retiró el cartucho y se llevó a secar a estufa a 60°C hasta que el coagulante este seco, y así asegurar que el solvente excedente acumulado en el cartucho se elimine. Una vez seco realizamos nuevamente la molienda para uniformizar el producto final a un diámetro menor o igual a 106  $\mu\text{m}$ , de Coagulante Natural a base de Penca de Tuna.

*Fotografía N° 28: Penca de Tuna sin Pigmento - Coagulante Natural*



Fuente: Elaboración Propia

*Fotografía N° 29: Coagulante a base de Penca de tuna con y sin Pigmento*



Fuente: Elaboración Propia

### 3.5. Rendimiento de Obtención de Coagulante de Penca de Tuna

Para una mejor comprensión, se colocó códigos a los productos obtenidos del Coagulante Natural a base de Penca de Tuna:

Tabla N° 26: Códigos de referencia para los Productos

LUGAR	CÓDIGO DE LUGAR	PRODUCTO COAGULANTE DE LA DEL PENCA DE TUNA	CÓDIGO DEL PRODUCTO DE PENCA DE TUNA	LOTE=CÓDIGO GENERAL
LA PAZ - ZONA SAN JORGE	1	PULPA	X	1-X
		CÁSCARA	Y	1-Y
		PULPA Y CÁSCARA	Z	1-Z
CARRERAS – RÍO ABAJO	2	PULPA	X	2-X
		CÁSCARA	Y	2-Y
		PULPA Y CÁSCARA	Z	2-Z

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.5.1. Balance de materia para el proceso de obtención del coagulante

Para la obtención del coagulante y la determinación del rendimiento de los productos se los separó por lotes que corresponden a las muestras de penca recolectadas en distintos lugares descritos en la Tabla N°26 Códigos de Referencia de los Productos.

- **Penca de Tuna Recolectadas en la Zona San Jorge**

##### LOTE “1 – X”

Este lote corresponde al área urbana de La Paz y solo tomamos en cuenta en este lote el área de la pulpa de la penca que tuvo un peso inicial 4630,10 g, después del lavado y quitado de espinas quedaron 4491,20 g, posteriormente se quitó la cutícula o cáscara de la penca quedando 4074,49 g de pulpa antes del proceso de cortado.

Se cortaron las pencas en tiras rectangulares de 0,5 cm de espesor, quedando 3952,26 g, que se llevaron a secar.

Se secaron las tiras por 24 horas a 60 °C, así evitar la desnaturalización del producto, quedando en esta etapa 237,14 g.

Las tiras secas se trituraron con la ayuda de un molidor y crisol de porcelana y en este proceso quedó 220,54 g, prosiguiendo con el tamizado hasta tener un polvo fino de 106 µm quedando 200,69 g, este producto fue sometido a extracción sólido-líquido con alcohol etílico al 96% de pureza para eliminar el pigmento (color) verdoso característico de la penca.

Se realizaron varias extracciones Soxhlet continuas hasta verificar que el color del alcohol en el cartucho sea transparente así retirarlo y llevarlo a la estufa a 60°C para eliminar el alcohol. Finalmente se obtuvieron 152,86 g del coagulante puro a base de pulpa de la penca de tuna.

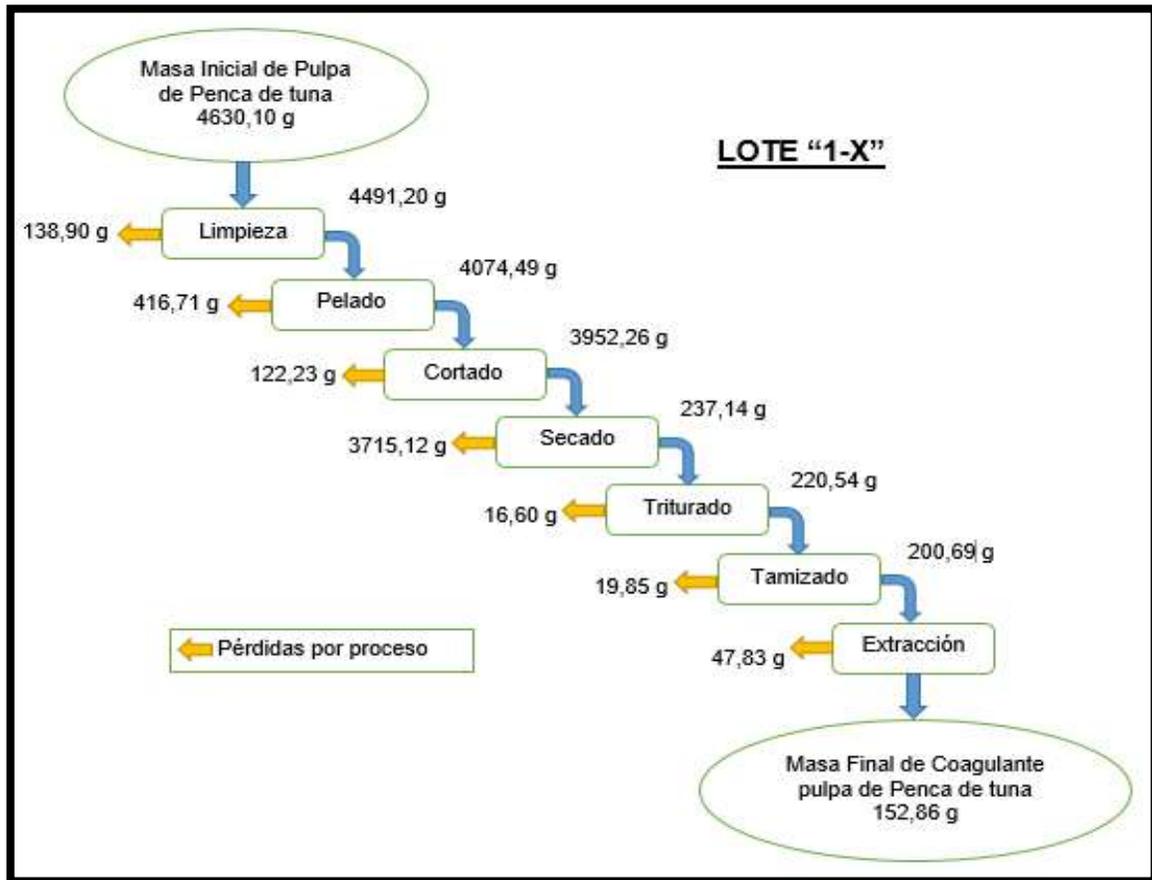
El detalle de los procesos realizados en función a un balance de masa se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla N° 27: Balance de masa por operación en el Lote 1-X*

<b>OPERACIÓN</b>	<b>Masa inicial (g)</b>	<b>Masa final (g)</b>	<b>Pérdida (g)</b>	<b>Pérdida por Operación (%)</b>	<b>Pérdida total (%)</b>
Limpieza	<b>4630,10</b>	4491,20	138,90	3,00	3,00
Pelado	4491,20	4074,49	<b>416,71</b>	9,28	9,00
Cortado	4074,49	3952,26	122,23	3,00	2,64
Secado	3952,26	237,14	3715,12	94,00	80,24
Triturado	237,14	220,54	16,60	7,00	0,36
Tamizado	220,54	200,69	19,85	9,00	0,43
Extracción	200,69	<b>152,86</b>	47,83	23,83	1,03
<b>Total</b>			<b>4477,24</b>		<b>96,70</b>

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 16: balance de masa del Lote 1-X



Fuente: Elaboración Propia

### LOTE "1 - Y"

Este lote corresponde al área urbana de La Paz y solo se tomó en cuenta en este lote el área de la cáscara de la penca que tuvo un peso inicial de 416,71 g (pérdida de masa del lote 1-X como cáscara), Se secaron las cáscaras por 24 horas a 60 °C, así evitar la desnaturalización del producto, quedando en esta etapa 100,68 g.

Las cáscaras secas se trituraron con la ayuda de un molidor y crisol de porcelana y en este proceso quedó 88,93 g, prosiguiendo con el tamizado hasta tener un polvo fino de 106 µm quedando 80,04 g, este producto fue sometido a extracción sólido-líquido con alcohol etílico al 96% de pureza para eliminar el pigmento (color) verdoso característico de la penca.

Se realizaron varias extracciones Soxhlet continuas hasta verificar que el color del alcohol en el cartucho sea transparente así retirarlo y llevarlo a la estufa a 60°C para eliminar el alcohol. Finalmente se obtuvieron 70,11 g del coagulante puro a base de cáscara de penca de tuna.

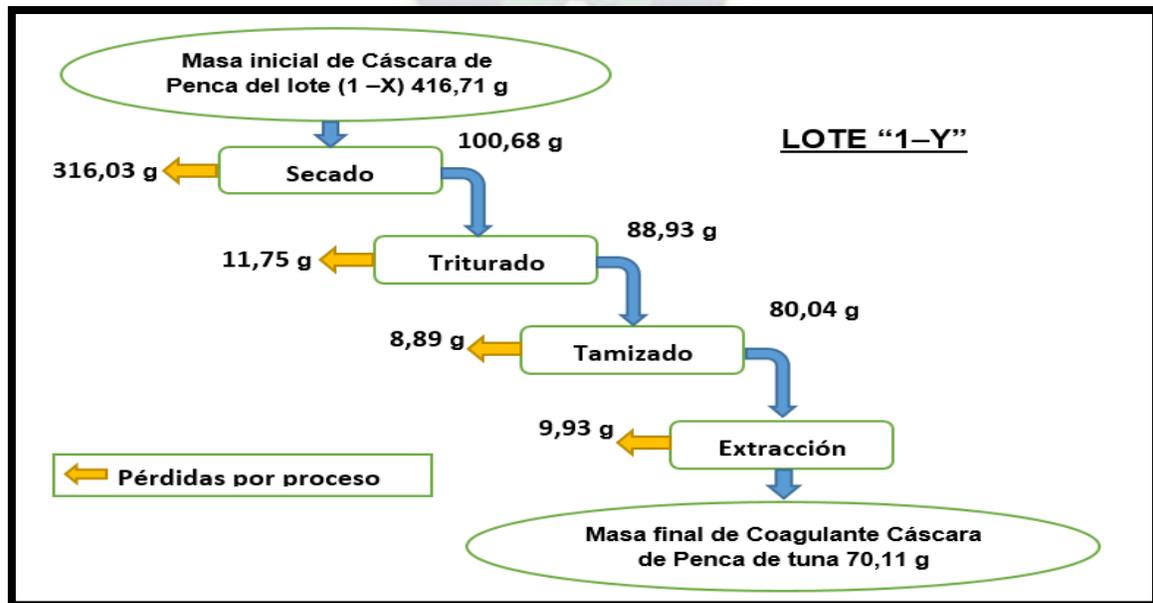
El detalle de los procesos realizados en función a un balance de masa se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 28: Balance de masa por operación en el Lote 1-Y

OPERACIÓN	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida (g)	Pérdida por Operación (%)	Pérdida total (%)
Secado	<b>416,71</b>	100,68	316,03	75,84	75,84
Triturado	100,68	88,93	11,75	11,67	2,82
Tamizado	88,93	80,04	8,89	10,00	2,13
Extracción	80,04	<b>70,11</b>	9,93	12,41	2,38
<b>Total</b>			<b>346,6</b>		<b>83,18</b>

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17: balance de masa del Lote 1-Y



Fuente: Elaboración Propia

## LOTE “1 – Z”

Este lote corresponde al área urbana de La Paz y tomamos en cuenta en este lote la penca entera (pulpa y cascara) que tuvo un peso inicial 2590,60 g, después del lavado y quitado de espinas quedaron 2564,69 g, de penca entera antes del proceso de cortado.

Se cortaron las pencas en tiras rectangulares de 0,5 cm de espesor, quedando 2410,81 g, que se llevaron a secar.

Se secaron las tiras por 24 horas a 60 °C, así evitar la desnaturalización del producto, quedando en esta etapa 168,76 g.

Las tiras secas se trituraron con la ayuda de un molidor y crisol de porcelana y en este proceso quedó 165,38 g, prosiguiendo con el tamizado hasta tener un polvo fino de 106  $\mu\text{m}$  quedando 153,80 g, este producto fue sometido a extracción sólido-líquido con alcohol etílico al 96% de pureza para eliminar el pigmento (color) verdoso característico de la penca.

Se realizaron varias extracciones Soxhlet continuas hasta verificar que el color del alcohol en el cartucho sea transparente así retirarlo y llevarlo a la estufa a 60°C para eliminar el alcohol. Finalmente se obtuvieron 109,84 g del coagulante puro a base de penca de tuna entera.

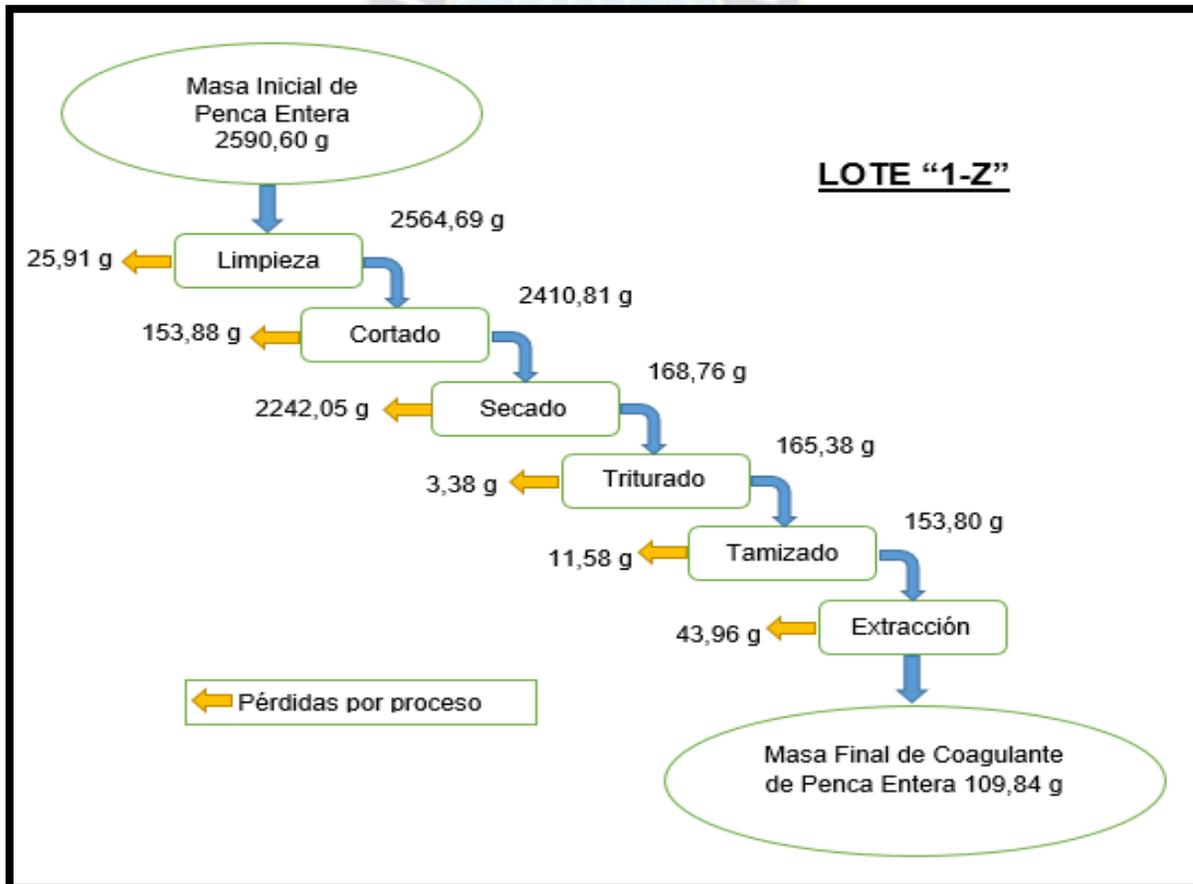
El detalle de los procesos realizados en función a un balance de masa se los muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 29: Balance de masa por operación en el Lote 1-Z

OPERACIÓN	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida (g)	Pérdida por Operación (%)	Pérdida total (%)
Limpieza	<b>2590,60</b>	2564,69	25,91	1,00	1,00
Cortado	2564,69	2410,81	153,88	6,00	5,94
Secado	2410,81	168,76	2242,05	93,00	86,55
Triturado	168,76	165,38	3,38	2,00	0,13
Tamizado	165,38	153,80	11,58	7,00	0,45
Extracción	153,80	<b>109,84</b>	43,96	28,58	1,70
<b>Total</b>			<b>2480,76</b>		<b>95,76</b>

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 18: Balance de masa del Lote 1-Z



Fuente: Elaboración Propia

- *Penca de Tuna Recolectadas en la localidad de Carreras – Río Abajo*

## **LOTE “2 – X”**

Este lote corresponde al área rural de La Paz y solo tomamos en cuenta en este lote el área de la pulpa de la penca que tuvo un peso inicial 9666,20 g, después del lavado y quitado de espinas quedaron 9447,40 g, posteriormente se quitó la cutícula o cáscara de la penca quedando 8247,80 g de pulpa antes del proceso de cortado.

Se cortaron las pencas en tiras rectangulares de tiras de 0,5 cm de espesor, quedando 7947,60 g, que se llevaron a secar.

Se secaron las tiras por 24 horas a 60 °C, así evitar la desnaturalización del producto, quedando en esta etapa 465,40 g.

Las tiras secas se trituraron con la ayuda de un molidor y crisol de porcelana y en este proceso quedó 431,10 g, prosiguiendo con el tamizado hasta tener un polvo fino de 106  $\mu\text{m}$  quedando 389,70 g, este producto fue sometido a extracción sólido-líquido con alcohol etílico al 96% de pureza para eliminar el pigmento (color) verdoso característico de la penca.

Se realizaron varias extracciones Soxhlet continuas hasta verificar que el color del alcohol en el cartucho sea transparente así retirarlo y llevarlo a la estufa a 60°C para eliminar el alcohol. Finalmente se obtuvieron 322,94 g del coagulante puro a base de pulpa de penca de tuna.

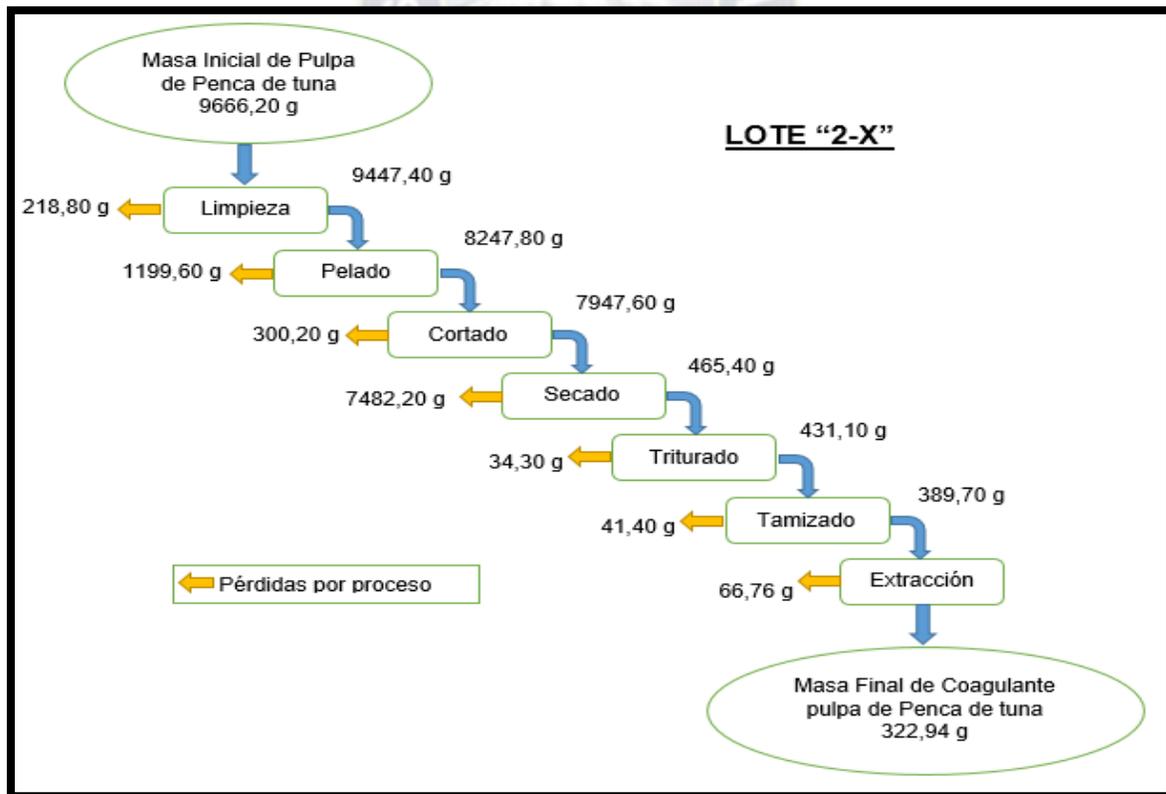
El detalle de los cálculos realizados en función a un balance de masa se los muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 30: Balance de masa por operación en el Lote 2-X

OPERACIÓN	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida (g)	Pérdida por Operación (%)	Pérdida total (%)
Limpieza	<b>9666,20</b>	9447,40	218,80	2,26	2,26
Pelado	9447,40	8247,80	<b>1199,60</b>	12,70	12,41
Cortado	8247,80	7947,60	300,20	3,64	3,11
Secado	7947,60	465,40	7482,20	94,14	77,41
Triturado	465,40	431,10	34,30	7,37	0,35
Tamizado	431,10	389,70	41,40	9,60	0,43
Extracción	389,70	<b>322,94</b>	66,76	17,13	0,69
<b>Total</b>			<b>9343,26</b>		<b>96,66</b>

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 19: balance de masa del Lote 2-X



Fuente: Elaboración Propia

## LOTE “2 – Y”

Este lote corresponde al área rural de La Paz y solo tomamos en cuenta en este lote el área de la cáscara de la penca que tuvo un peso inicial 1199,60 g (pérdida de masa del lote 2-X como cáscara), Se secaron las cáscaras por 24 horas a 60 °C, así evitar la desnaturalización del producto, quedando en esta etapa 265,10 g.

Las cáscaras secas se trituraron con la ayuda de un molidor y en este proceso quedo 258,20 g, prosiguiendo con el tamizado hasta tener un polvo fino de 106  $\mu\text{m}$  quedando 233,64 g, este producto fue sometido a extracción solido-líquido con alcohol etílico al 96% de pureza para eliminar el pigmento (color) verdoso característico de la penca.

Se realizaron varias extracciones Soxhlet continuas hasta verificar que el color del alcohol en el cartucho sea transparente así retirarlo y llevarlo a la estufa a 60°C para eliminar el alcohol. Finalmente se obtuvieron 200,36 g del coagulante puro a base de cáscara de la penca de tuna.

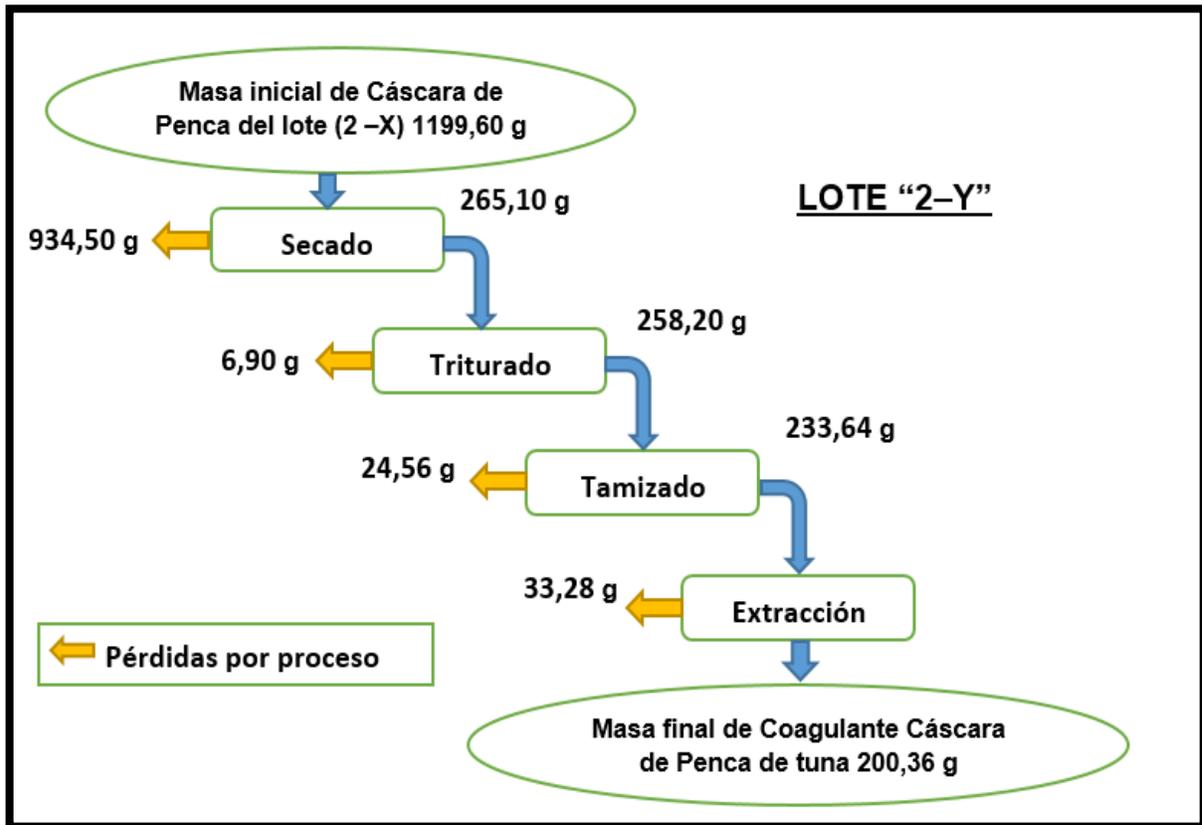
El detalle de los cálculos realizados en función a un balance de masa se los muestra en la siguiente tabla:

*Tabla N° 31: Balance de masa por operación en el Lote 2-Y*

OPERACIÓN	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida (g)	Pérdida por Operación (%)	Pérdida total (%)
Secado	<b>1199,60</b>	265,10	934,50	77,90	77,90
Triturado	265,10	258,20	6,90	2,60	0,58
Tamizado	258,20	233,64	24,56	9,51	2,05
Extracción	233,64	<b>200,36</b>	33,28	14,24	2,77
<b>Total</b>			<b>999,24</b>		<b>83,30</b>

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 20: Balance de masa del Lote 2-Y



Fuente: Elaboración Propia

### LOTE "2 - Z"

Este lote corresponde al área rural de La Paz y tomamos en cuenta en este lote la penca entera (pulpa y cascara) que tuvo un peso inicial 2681,70 g, después del lavado y quitado de espinas quedaron 2658,60 g, de penca entera antes del proceso de cortado.

Se cortaron las pencas en tiras rectangulares de tiras de 0,5 cm de espesor, quedando 2516,00 g, que se llevaron a secar.

Se secaron las tiras por 24 horas a 60 °C, así evitar la desnaturalización del producto, quedando en esta etapa 180,80 g.

Las tiras secas se trituraron con la ayuda de un moedor y crisol de porcelana y en este proceso quedo 178,90 g, prosiguiendo con el tamizado hasta tener un polvo fino de 106 µm quedando 167,75 g, este producto fue sometido a extracción solido-

liquido con alcohol etílico al 96% de pureza para eliminar el pigmento (color) verdoso característico de la penca.

Se realizaron varias extracciones Soxhlet continuas hasta verificar que el color del alcohol en el cartucho sea transparente así retirarlo y llevarlo a la estufa a 60°C para eliminar el alcohol. Finalmente se obtuvieron 129,44 g del coagulante puro a base de penca de tuna entera.

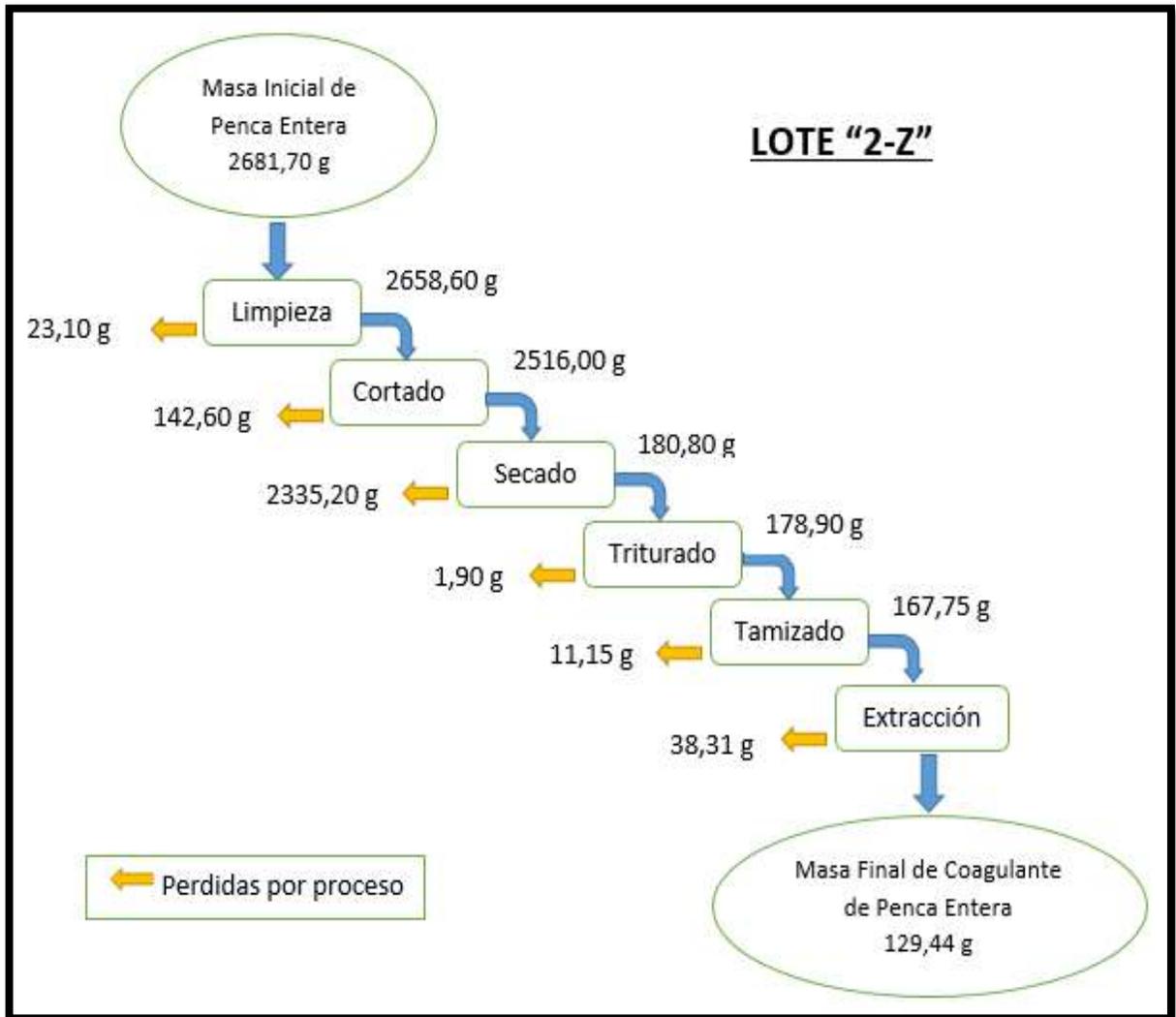
El detalle de los procesos realizados en función a un balance de masa se los muestra en la siguiente tabla:

*Tabla N° 32: Balance de masa por operación en el Lote 2-Z*

<b>OPERACIÓN</b>	<b>Masa inicial (g)</b>	<b>Masa final (g)</b>	<b>Pérdida (g)</b>	<b>Pérdida por Operación (%)</b>	<b>Pérdida total (%)</b>
Limpieza	<b>2681,70</b>	2658,60	23,10	0,86	0,86
Cortado	2658,60	2516,00	142,60	5,36	5,32
Secado	2516,00	180,80	2335,20	92,81	87,08
Triturado	180,80	178,90	1,90	1,05	0,07
Tamizado	178,90	167,75	11,15	6,23	0,42
Extracción	167,75	<b>129,44</b>	38,31	22,84	1,43
<b>Total</b>			<b>2552,26</b>		<b>95,17</b>

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 21: Balance de masa del Lote 2-Z



Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.2. Cálculo del rendimiento para el proceso de obtención del coagulante

Realizando el balance de los lotes se procede a calcular el rendimiento de la obtención del coagulante a partir de la penca de tuna. A continuación se realiza el cálculo de la siguiente manera:

$$R = \frac{\text{masa obtenida coagulante}}{\text{masa inicial penca}} * 100 \%$$

Tabla N° 33: Resultados del Rendimiento de obtención del coagulante natural para cada lote

LUGAR	LOTE	PENCA DE TUNA	Masa Inicial penca (g)	Masa Coagulante (g)	Rendimiento (%)
Zona San Jorge	1 -X	Pulpa	4630,10	152,86	3,30
	1 -Y	Cáscara	416,71	70,11	16,82
	1 -Z	Pulpa + Cáscara	2590,60	109,84	4,24
Carreras - Río Abajo	2 -X	Pulpa	9666,20	322,94	3,34
	2 -Y	Cáscara	1199,60	200,36	16,70
	2 -Z	Pulpa + Cáscara	2681,70	129,44	4,83

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo tres tipos de coagulantes en función a la pulpa, cáscara y pulpa más cáscara de dos lugares diferentes, a estos tres tipos de coagulantes obtenidos se realiza las pruebas respectivas para verificar cuál de estos presentará mejor estabilidad y poder coagulante.



### 3.5.3. Costo de producción de 1 Kg de coagulante Natural a base de penca de tuna

Tabla N° 34: Costo de producción de 1 Kg de coagulante natural (penca de tuna)

<b>COSTO DE PRODUCCIÓN PARA OBTENER 1 Kg DE COAGULANTE NATURAL (penca de tuna)</b>					
<b>ITEM</b>	<b>Especificaciones</b>	<b>PRECIO UNITARIO (Bs/h)</b>	<b>CANTIDAD DE HORAS</b>	<b>PRECIO TOTAL (Bs)</b>	<b>Observaciones</b>
Materia Prima (penca de tuna)	Transporte de Materia prima	3	1	3	Recolección de 15 pencas de tuna
Secado de la Materia Prima	Gasto de energía eléctrica	1,23	8,00	9,86	Secador eléctrico
Extracción del colorante	Gasto energía Eléctrica	1,37	8,00	10,98	Manto de calentamiento
	Gasto de agua	0,10	8,00	0,80	Agua de reflujo
	Gasto Alcohol Etílico del 96%	1,50	8,00	12,00	1 L de alcohol cuesta 12 BS
Mano de Obra	Operador	9,62	8,00	76,96	
<b>COSTO DE PRODUCCIÓN TOTAL</b>				<b>113,60</b>	

Fuente: Elaboración propia

Según los cálculos realizados vemos que el precio del coagulante es de Bs.-113,60 este precio es muy alto en comparación a los coagulantes químicos, pero debemos de considerar que los precios son solo para la obtención de 1 Kg de coagulante natural a base de penca de tuna y que este cálculo bajaría como a la mitad para una producción grande a nivel industrial.

### 3.5.4. Comparación de Costos entre un Coagulante Químico (Sulfato de Aluminio), con el Coagulante Natural a Base de la Penca de Tuna

A continuación mostramos una tabla de comparación de costo del coagulante natural obtenido a base de penca de tuna, con un coagulante químico como es el sulfato de Aluminio.

*Tabla N° 35: Comparación de costo de coagulante natural y químico*

COAGULANTE		PRECIO Bs.-
NATURAL	Penca de Tuna	113,60
QUÍMICO	Sulfato de Aluminio	25,00

Fuente: Elaboración propia

El precio del coagulante obtenido a base natural de penca de tuna, se basa solo en 1 Kg de producto obtenido a nivel laboratorio, es por esta razón que el precio es alto, ya que si se haría a nivel industrial el precio sería menor. Pero el costo del coagulante químico como ser el Sulfato de Aluminio es un precio de producción a nivel industrial y es por eso que el precio es bajo.

Pero como se debe considerar que el uso de nuestro coagulante natural, producirá lodos no tóxicos al medio ambiente y su degradación es rápida ya que no se tendrá que invertir económicamente a su eliminación, por lo contrario el coagulante químico produce lodos tóxicos que afectan a la salud y al medio ambiente en contacto y su eliminación implica un costo económico alto para el tratamiento de estos lodos, por lo cual el uso del coagulante natural implica un ahorro económico que compensaría a su costo de producción.

### 3.5.5. Ventaja y desventajas de usar el coagulante natural a base de penca de tuna en comparación a un coagulante químico como el sulfato de aluminio.

Tabla N° 36: Ventajas y desventajas de coagulante natural y químico

COAGULANTE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
PENCA DE TUNA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Componentes naturales que no alteran las propiedades químicas originales del agua.</li> <li>• No poseen ninguna repercusión en la salud.</li> <li>• Genera lodos no tóxicos, el cual puede ser tratado con mayor facilidad y eficiencia por su biodegradabilidad.</li> <li>• Permite la remoción de la turbiedad orgánica e inorgánica y sedimenta lentamente</li> <li>• Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosis Mayores</li> <li>• Depende de la velocidad de agitación del agua</li> <li>• Requiere personal para la recolección.</li> <li>• Alto costo de producción</li> </ul>
SULFATO DE ALUMINIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta disponibilidad</li> <li>• Bajo costo</li> <li>• Flexibilidad de uso en diferentes tipos de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de lodos tóxicos inservibles.</li> <li>• Daño al medio ambiente y a la salud</li> <li>• Costo alto en el tratamiento de lodos</li> </ul>

Fuente: elaboración propia

### 3.6. Caracterización del Coagulante Obtenido

La caracterización del coagulante se llevó a cabo en el laboratorio de la carrera de Química Industrial. Para la mencionada caracterización se utilizó el coagulante (pulpa) obtenido sin pigmentación a la cual se la realizaron pruebas físico-químicas con el fin de determinar las propiedades del producto que tienen relación directa con su capacidad de remoción de la turbidez del agua, dentro de estas se evaluaron el

color, olor, estado físico y pH. También se realizaron pruebas de solubilidad en tres solventes característicos; alcohol etílico, agua y acetato de etilo.

### 3.6.1. Pruebas Fisicoquímicas

Se evaluaron las siguientes pruebas:

*Tabla N° 37: Pruebas Físicas*

Parámetro	Valor	Método
pH	6,12	Potenciométrico
Estado Físico	Sólido	Visual
Color	Blanco - Marfil	Visual
Olor	Característico	Simple Inspección

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación del pH del coagulante natural a base de Penca de Tuna, se preparó una solución al 1% en peso, con agua destilada, y se halló el pH de la solución utilizando un pH metro digital. El resultado mostro un valor de pH de 6,12 sientto este un pH levemente acido. Los demás parámetros se los determino a simple vista en el caso del estado físico y color del coagulante, así mismo el coagulante en polvo presenta un olor no tóxico.

### 3.6.2. Prueba de Solubilidad

Se utilizaron para esta prueba tres solventes característicos:

*Tabla N° 38: Pruebas de Solubilidad*

Disolvente	Solubilidad
Agua	Soluble
Etanol	Poco soluble
Agua y Etanol	Poco soluble
Acetato de Etilo	Insoluble

Fuente: Elaboración propia

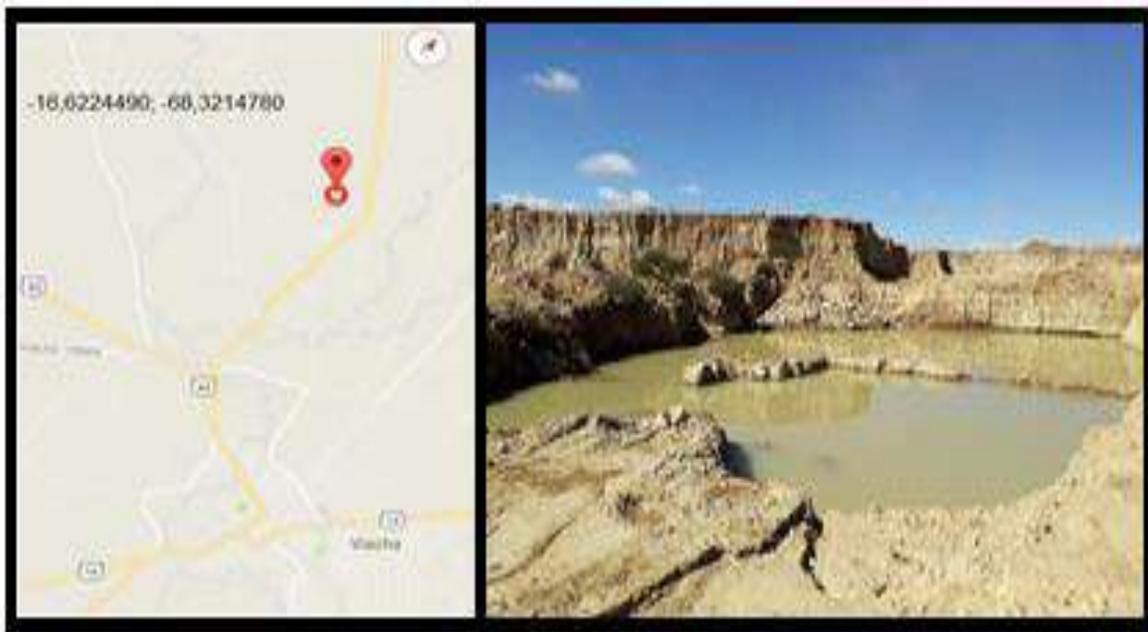
La mejor solubilidad fue con el agua, a la cual también hicimos una verificación en agua fría y agua caliente dando como resultado una mejor solubilidad con el agua fría y a una temperatura menor a 20°C.

### 3.7. Recolección de Muestras de Agua Natural

Para la toma de muestras de agua natural se la realizó siguiendo la Norma Boliviana NB - 496, que presenta IBNORCA. Se realizó la toma de muestra en la localidad de Viacha en dos puntos específicos:

- Agua de pozo ubicada a la salida del Municipio de Viacha, lugar llamado Sekejahuira (final ladrilleras). Que se denomina punto de recolección “A”.

*Fotografía N° 30: (A) Sekejahuira (final ladrilleras)*



Fuente: Elaboración propia

- Agua de pozo ubicada en el Distrito N°2 Zona Santa Bárbara - Planta de Compostaje y Lombricultura, Municipio de VIACHA, lugar donde se construirá la planta piloto convencional de tratamiento de agua. Que se denomina punto de recolección “B”.

Fotografía N° 31: (B) Planta de Compostaje y Lombricultura



Fuente: Elaboración propia

El punto (A) fue elegido por la alta turbidez que presenta el agua, además recalcar que estos pozos fueron realizados por obra de la maquinaria pesada del lugar que saca materia prima para la elaboración de ladrillos y esta deja el suelo con grandes orificios de una profundidad mayor a 10 metros provocando de esta manera la filtración de agua de pozo, la cual se pretende aprovechar para el tratamiento.

El punto (B) se lo eligió ya que es una fuente muy cercana de agua de pozo, pero a diferencia de la anterior esta tiene una turbidez muy baja apreciando esta agua se observa un aspecto cristalino, pero tiene un defecto ya que este pozo está a pocos metros del río Pallina, el cual se muestra altamente contaminado lo cual implica que esta agua de pozo puede estar contaminada con metales pesados o ser una agua con altos niveles de Dureza.

Se hicieron varias veces el muestreo, recolectándose en cada uno un aproximado de 100 L por muestreo, en bidones de plástico de 10L debidamente limpios, y con la ayuda de una balde y soga se realizó el llenado de los mismos.

*Fotografía N° 32: Toma de muestra de Agua de Pozo*



Fuente: Elaboración propia

También se realizó el muestreo del agua para el análisis microbiológico en frascos de vidrio previamente esterilizados posteriormente se etiqueto detallando lugar, fecha de muestreo y condiciones del punto de muestreo.

*Fotografía N° 33: Muestreo de agua para Análisis Microbiológico*



Fuente: Elaboración propia

Durante el muestreo, se realizó la determinación insitu de los siguientes parámetros como la turbidez, pH, temperatura y conductividad, cumpliendo de esta manera con la NB - 496. Inmediatamente realizado el muestreo estos fueron llevados al

Laboratorio de la Carrera de Química Industrial de la Facultad de Tecnología, para preservarlas adecuadamente y realizar las pruebas fisicoquímicas, químicas y microbiológicas restantes.

*Fotografía N° 34: Determinación de parámetros in situ*



Fuente: Elaboración propia

### **3.8. Aplicación del Coagulante**

Para poder conocer las condiciones óptimas de trabajo para el tratamiento de aguas recolectadas en el muestreo, se realizó la conocida prueba de jarras.

Estas pruebas se las realizaron en el laboratorio de la carrera de Química Industrial, perteneciente a la Facultad de Tecnología, la cual gracias a este proyecto se benefició con la compra de este equipo tan indispensable.

#### **3.8.1. Descripción del equipo de prueba de jarras de la carrera**

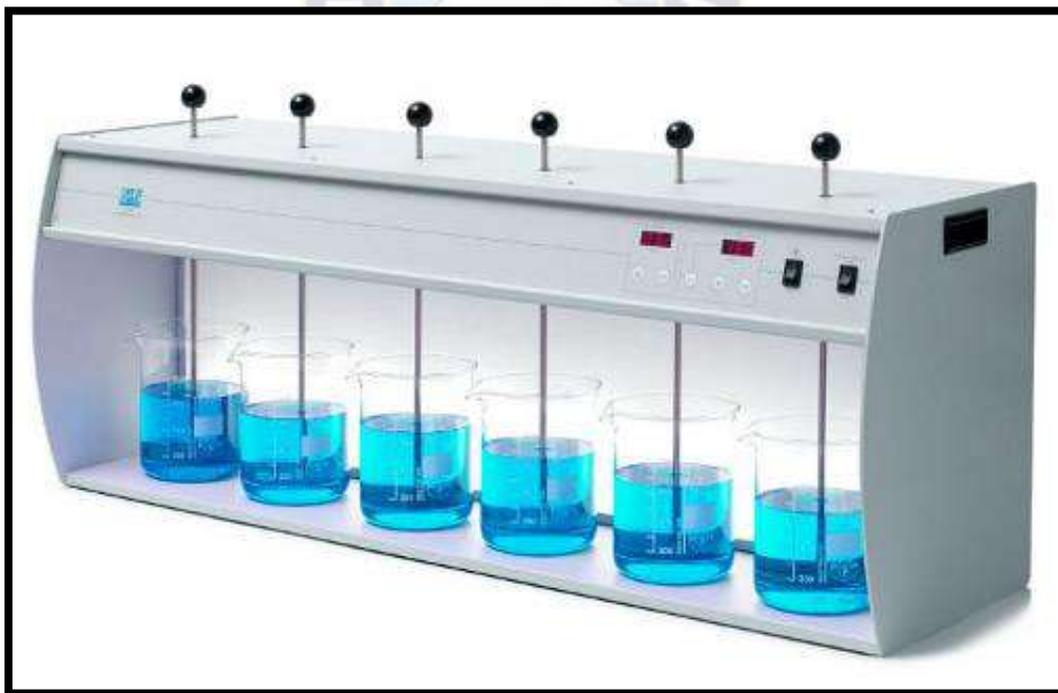
El equipo de jarras es de la marca LOVIBOND modelo Floc-Tester (ET-750), que fue fabricado en un marco metálico robusto con recubrimiento de resina epóxica, que ha sido especialmente concebido para prestar al aparato un alto nivel de protección contra la corrosión química y mecánica.

Cuenta con seis barras agitadoras de acero inoxidable que son regulables en la altura mediante un mandril de sujeción con autobloqueo.

La velocidad de rotación es regulada mediante un motor neumático de rueda dentada de funcionamiento con corriente constante, en donde la corriente constante es regulada electrónicamente con ayuda de un microprocesador. En el panel de control delantero es posible elegir para cada una de las posiciones de la misma velocidad de rotación de 10 – 300 rev./min., la cual será mostrada en la pantalla. Con el interruptor temporizador electrónico se pueden regular tres duraciones de funcionamiento diferentes: hora, minutos o régimen continuo.

Las jarras utilizadas son vasos de precipitación anticorrosivos, de vidrio pyrex con forma cilíndrica y fondo plano, con una capacidad de 1 litro. Estos fueron lavados evitando en usar detergentes debido a que estos pueden contener compuestos aniónicos que son fuertemente absorbidos por las paredes de las jarras de vidrio y estos podrían afectar los resultados de las pruebas en forma significativa.

*Fotografía N° 35: Equipo de Prueba de Jarras*



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.1.1. Características funcionales

**Interruptor principal.-** Con el interruptor principal se enciende y apaga el aparato.

**Interruptor para iluminación del panel de control.-** Este interruptor enciende y apaga la iluminación trasera.

**Ventana del interruptor temporizador.-** Con las teclas y el indicador de esta ventana (teclas ↑ y ↓) pueden ser elegidos los siguientes modos de funcionamientos:

- Continuo
- Tiempo de funcionamiento en minutos hasta máximo 999 minutos
- Tiempo de funcionamiento en horas máximo 99 horas

**Ventana de velocidad del agitador.-** Con las teclas (↑ y ↓) y el indicador de esta ventana se puede regular la velocidad del agitador para las barras agitadoras, se puede elegir una velocidad de agitación de 10 hasta 300 rev./min. El indicador muestra la velocidad de la barra agitadora.

### 3.8.2. Determinación de las condiciones óptimas de tratamiento

Para la determinación de las condiciones óptimas de tratamiento se deben realizar varias pruebas de jarras. Entre los parámetros a evaluarse en estas pruebas esta la dosis óptima, velocidad de agitación, tiempo de sedimentación, etc. La más importante en este caso es la dosis óptima que dependerá de la naturaleza de las muestras de aguas tomadas, por tal motivo, se realizará primeramente este parámetro y los demás se tomaran como secundarios.

### 3.8.3. Determinación de la cantidad óptima de coagulante

Para la determinación de la cantidad óptima de coagulante fue necesario realizar varias pruebas de jarras para cada muestreo, variando la cantidad o concentración de coagulante hasta encontrar el punto exacto.

Se realizaron pruebas en los dos puntos “A” y “B” de muestreo, siendo el punto “A” donde se realizaron varios muestreos ya que estas aguas presentaron una turbidez por encima de los 50 NTU.

Tabla N° 39: Codificación de punto de Muestreo

Punto de Muestreo	Código
Agua de pozo ubicada a la salida del Municipio de Viacha, lugar llamado Sekejahuira (final ladrilleras).	P-A
Agua de pozo ubicada en el Distrito N°2 Zona Santa Bárbara - Planta de Compostaje y Lombricultura, Municipio de VIACHA	P-B

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación de la cantidad óptima de coagulante se debieron seguir los siguientes pasos, basados en la sugerencia bibliográfica de procedimientos del CEPIS que nos indica lo siguiente pasos:

#### 3.8.3.1. Preparación de la solución de coagulante.-

Se preparó una solución del coagulante al 1% para esto se disolvió 2,5 g de coagulante de penca de tuna en 250 ml de agua destilada, se disolvió la muestra mediante agitación constante con la ayuda de una cuchara para facilitar la disolución de los grumos que se forman a temperatura ambiente, no se recomienda calentar ya que los grumos serán más difíciles de disolver, una vez disuelto el coagulante natural utilizarlo inmediatamente en el proceso de coagulación y conservarlo solo por un lapso menor a 24 hr. ya que se vio que el coagulante baja su capacidad coagulante al transcurrir el tiempo.

Fotografía N° 36: Preparación del coagulante natural



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3.2. *Preparación de las jarras.*-

Se vaciaron las muestras de aguas recolectadas en recipientes (tachos) de 60 litros de capacidad y se agitaron con ayuda de un palo de madera, con el fin de homogenizar las partículas en suspensión que pudieran tener. Seguidamente continuando la agitación constante se midió exactamente 1 litro de la muestra de agua de pozo con una probeta graduada y se llevaron a los vasos de precipitado de vidrio (jarras). Una vez llenado los seis vasos estos se acomodaron en el equipo de jarras procurando que las paletas se encuentren al medio de cada jarra, para poder continuar seguidamente con la agitación para mantener las partículas uniformes hasta colocar la dosis de coagulante.

*Fotografía N° 37: Preparación de las Jarras*



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3.3. *Preparación de dosis de coagulante.*-

Para dosificar el coagulante, se emplearon jeringas graduadas de plástico. Se midieron dosis crecientes de solución coagulante, posteriormente se colocaron sumergiéndolas en los vasos o jarras.

Fotografía N° 38: Preparación de la dosis de Coagulante Natural



Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la dosificación se realizaron los cálculos de la siguiente manera:

**Concentración del coagulante al 1%.**

$$C_1 = 1\% \rightarrow \frac{1 \text{ g}}{100 \text{ ml}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} = 10000 \text{ mg/L}$$

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1}$$

**Por ejemplo:**

Si se quiere dosificar 100 mg/L, se realiza el siguiente cálculo:

$$V_1 = \frac{100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 1 \text{ L}}{10000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} = 0,01 \text{ L} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} = 10 \text{ ml}$$

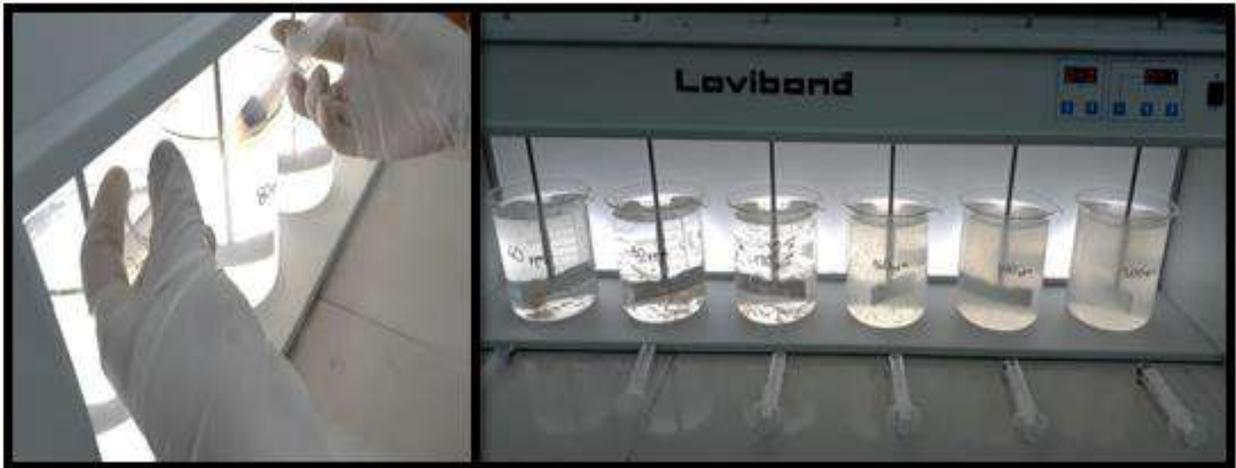
Y así sucesivamente para otras concentraciones.

#### 3.8.3.4. Adición de coagulante de penca de tuna y etapa de coagulación en el equipo de jarras

Previamente a realizar la adición del coagulante se graduó la velocidad de agitación a 100 rpm.

Una vez uniforme la velocidad se realizó la adición del coagulante en las jarras en paralelo ósea simultáneamente a todas las jarras sumergiendo las jeringas en la parte central de la jarra para que la solución caiga en el centro de estas. Se cronometró 3 minutos a partir de la adición de los coagulantes conservándose la velocidad de 100 rpm.

*Fotografía N° 39: Adición del coagulante natural de penca de tuna*



Fuente: Elaboración propia

#### 3.8.3.5. Etapa de floculación.-

Pasado el tiempo de 3 minutos, se disminuyó la velocidad de agitación a 40 rpm y se programó para un tiempo de 20 min, tiempo en el cual los flóculos formados deben tomar un mayor tamaño para una precipitación más rápida.

#### 3.8.3.6. Etapa de sedimentación.-

Una vez pasado los 20 minutos se apaga el equipo y con la ayuda de un cronómetro procedemos a la sedimentación por el lapso de 30 minutos.

*Fotografía N° 40: Sedimentación de los flóculos*



Fuente: Elaboración propia

#### **3.8.3.7. Toma de muestra.-**

La toma de muestras de las aguas tratadas se realizó mediante el empleo de una manguerilla conectada a una jeringa para la succión y como medida de prevención se desecharon los primeros 10 ml que salieron de la manguerilla. Se tomaron las muestras de agua de cada jarra en vasos de precipitado de 100 ml.

*Fotografía N° 41: Toma de Muestra*



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3.8. Análisis de muestras.-

Una vez retirada las alícuotas de agua tratada de cada jarra, inmediatamente se analizaron los parámetros principales para el control de la calidad de métodos de coagulación – floculación, entre estos se valoró la turbiedad mediante el uso de un Turbidímetro Digital.

*Fotografía N° 42: Uso del Turbidímetro Digital*



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3.9. Elección de la dosis óptima de coagulante.-

La elección de la cantidad óptima se determinó mediante la elección de la jarra que presentó mayor porcentaje de remoción de turbiedad, calculado con la siguiente fórmula:

$$\%Re m_{Turb} = \frac{Turbiedad_{inicial} - Turbiedad_{final}}{Turbiedad_{inicial}} * 100\%$$

Así mismo se evaluarón los resultados de cada jarra observando la calidad visible del flóculo obtenido por el método de Willcomb.

Tabla N° 40: Valores del índice de Willcomb

Características	Valor asignado	Calidad
Flóc coloidal, ningún tipo de aglutinamiento	0	Muy mala
Flóc visible, muy pequeño casi imperceptible	2	Mala
Flóc disperso, bien formado pero no sedimenta	4	Regular
Flóc claro, tamaño relativamente grande, sedimenta muy lento	6	Aceptable
Flóc bueno, sedimenta fácil pero no completamente	8	Buena
Flóc excelente, se deposita todo dejando el agua clara	10	Óptima

Fuente: Análisis Bibliográfico <sup>(48)</sup>

Se realizaron varias pruebas de jarras para encontrar los parámetros óptimos para el tratamiento de las aguas de pozo que a continuación serán detalladas:

### 3.9. Ensayos de Pruebas de Jarras

#### 3.9.1. Ensayos con el equipo de jarras para la determinación de la dosis óptima de coagulante natural de penca de tuna

Para esta prueba se trabajó entre rangos desde 4 ppm a 250 ppm de dosificación de coagulante natural de penca de tuna hasta encontrar la dosis óptima de trabajo para el tratamiento de las aguas recolectadas. Además, recalcar que se usó en los ensayos los coagulantes a base de pulpa, cáscara – pulpa y cáscara de penca de tuna tanto de las pencas recolectadas de la zona de San Jorge como de la localidad de Carreras – Rio Abajo, por lo cual los ensayos fueron muchos y se los detalla a continuación:

<sup>48</sup> Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. Ing. Lidia de Vargas

Tabla N° 41: Códigos de coagulante de penca de tuna y lugares de muestreo de agua

Lugar	Descripción	Código de lugar	Penca de Tuna	Código de coagulante	Código Gral. coagulante
Lugar Recolección de Penca de tuna	Zona San Jorge	L1	Pulpa	X	L1 - X
			Cáscara	Y	L1 - Y
			penca entera	Z	L1 - Z
	Localidad de Carrera - Río Abajo	L2	Pulpa	X	L2 - X
			Cáscara	Y	L2 - Y
			penca entera	Z	L2 - Z
Punto de muestreo de aguas	Viacha, lugar Sekejahuira ( Final Ladrilleras)	P-A			
	Viacha, Zona Santa Bárbara Planta de Compostaje	P-B			

Fuente: Elaboración propia

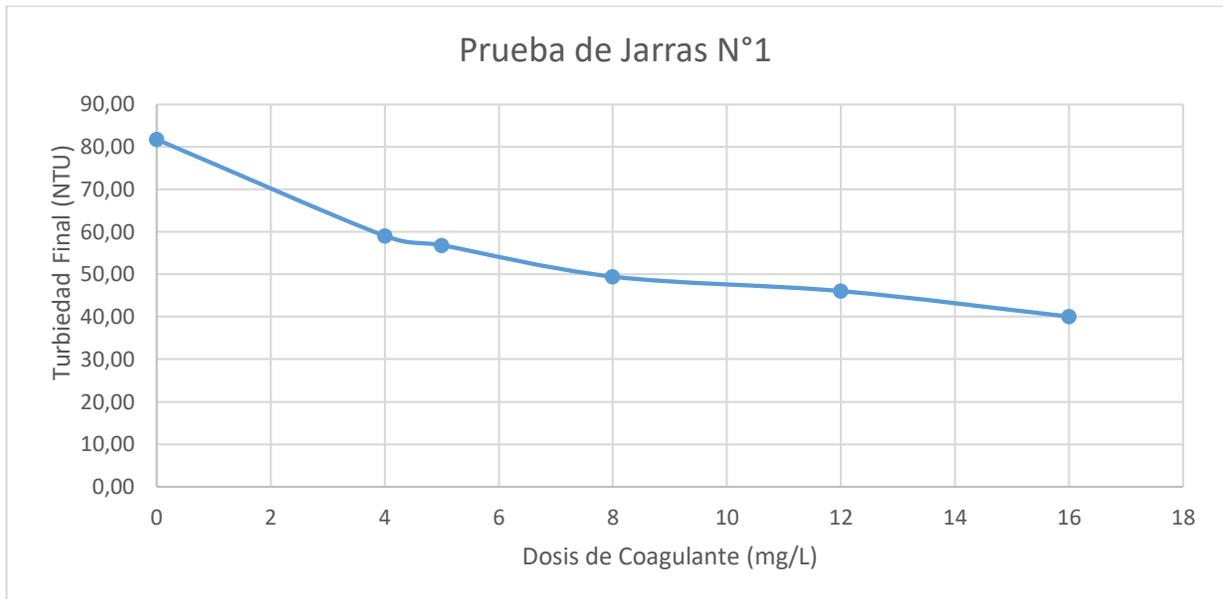
- Segundo muestreo de agua “P-A<sub>2</sub>” con el coagulante “L1-X”

Tabla N° 42: Prueba de Jarra N°1

Código: P – A <sub>2</sub> con L1 – X					Rango: 0 – 16 mg/L
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>0</sub> (NTU)	Turb <sub>F</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
1	0	81,70	81,70	0,00	0
2	4	81,70	59,00	27,78	2
3	5	81,70	56,80	30,48	2
4	8	81,70	49,40	39,53	2
5	12	81,70	46,00	43,70	2
6	16	81,70	40,00	51,04	2

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 10: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°1)



Fuente: Elaboración propia

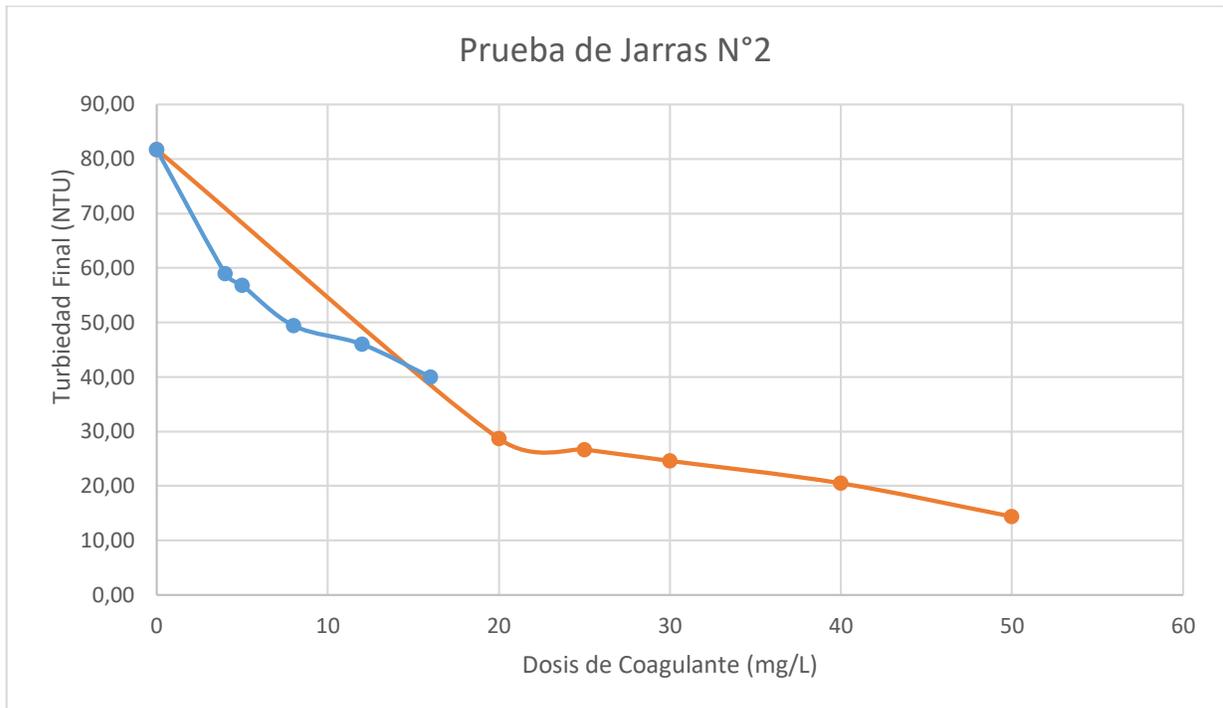
Analizando la tabla y el gráfico de la primera prueba de jarras vemos que el porcentaje de remoción es del 51,04% lo que nos indica que se debe seguir aumentando la dosis, y también apreciando visualmente, se observa que la formación del Flóc ya es algo visible pero tiene un tamaño casi imperceptible.

Tabla N° 43: Prueba de Jarra N°2

Código: P – A <sub>2</sub> con L1 – X				Rango: 0 – 50 mg/L	
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>0</sub> (NTU)	Turb <sub>F</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
1	0	81,70	81,70	0,00	0
2	20	81,70	28,70	64,87	2
3	25	81,70	26,70	67,32	2
4	30	81,70	24,60	69,89	2
5	40	81,70	20,50	74,91	4
6	50	81,70	14,40	82,37	4

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 11: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°2)



Fuente: Elaboración propia

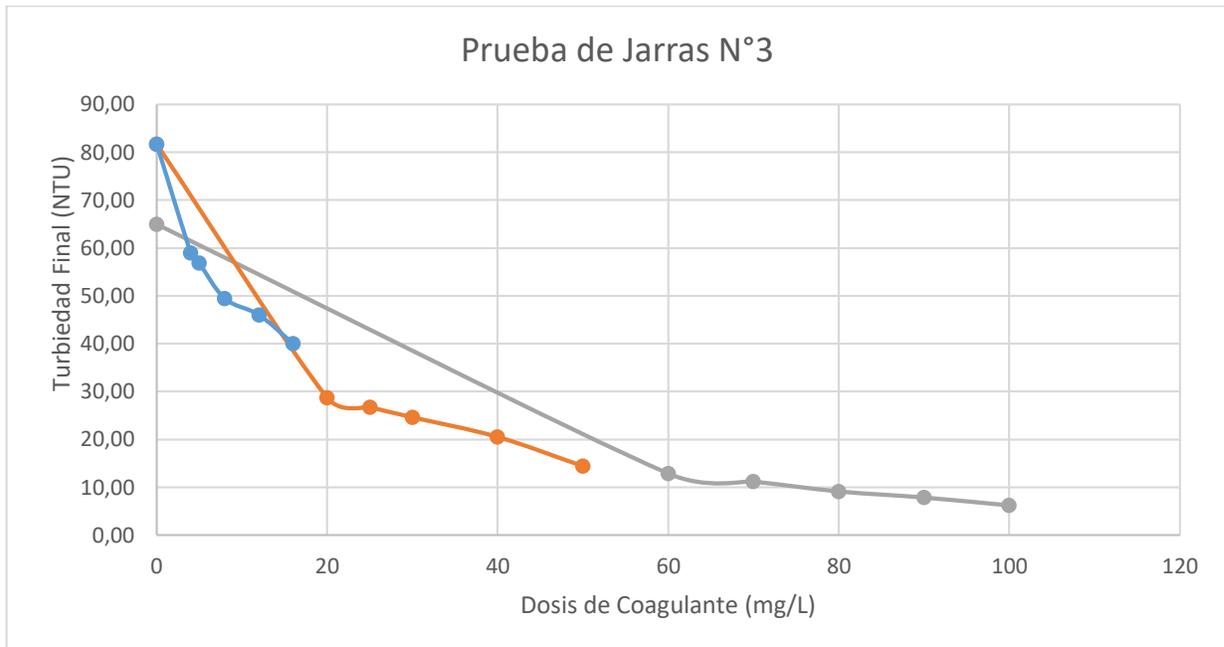
Vemos que los flóculos están formados pero sedimentan con mucha dificultad casi nada, además que el rendimiento de turbiedad nos dio un valor de 82,37 % lo cual nos indica que debemos realizar más pruebas.

Tabla N° 44 Prueba de Jarra N°3

Código: P – A <sub>2</sub> con L1 – X				Rango: 0 – 100 mg/L	
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>0</sub> (NTU)	Turb <sub>F</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
1	0	81,70	81,70	0	0
2	60	81,70	12,90	84,21	4
3	70	81,70	11,20	86,29	4
4	80	81,70	9,14	88,81	6
5	90	81,70	7,86	90,38	6
6	100	81,70	6,22	92,39	6

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 12: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°3)



Fuente: Elaboración propia

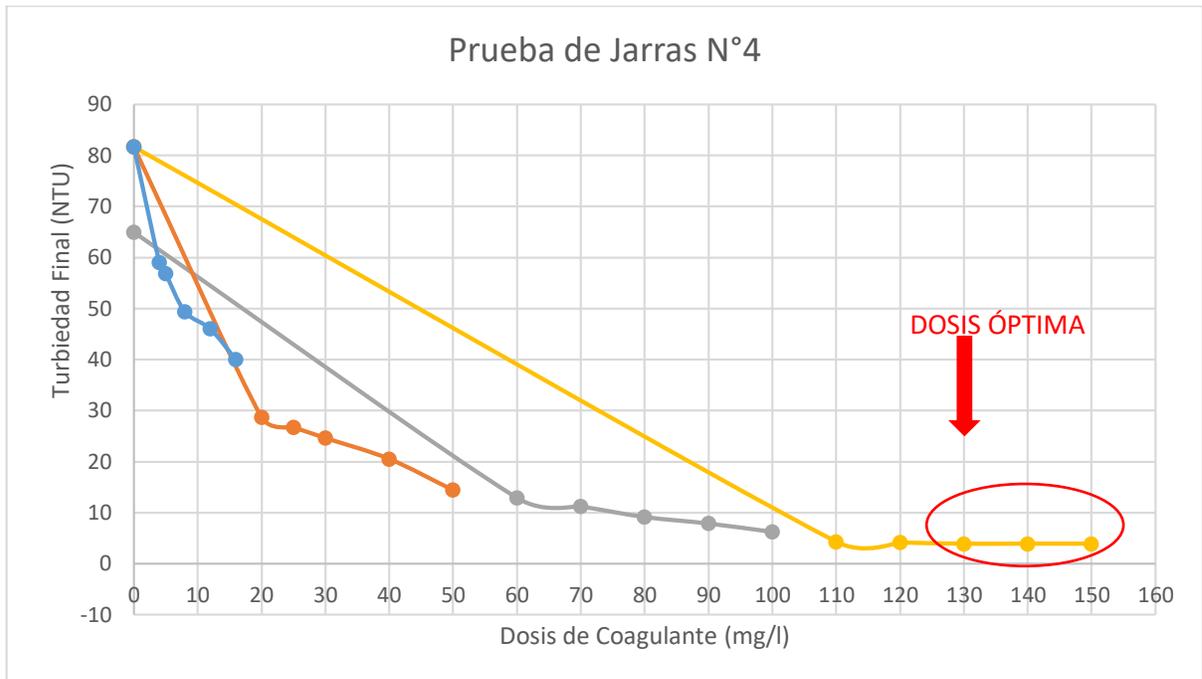
Los flocúlos en esta prueba muestran un tamaño grande parecido a algas, están bien formadas, pero sedimentan lentamente, el valor del rendimiento de turbiedad es de 92,39% lo que nos indica que debemos continuar con una prueba más.

Tabla N° 45: Prueba de Jarra N°4

Código: P – A <sub>2</sub> con L1 – X				Rango: 0 – 150 mg/L	
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>o</sub> (NTU)	Turb <sub>F</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
1	0	81,7	81,7	0	0
2	110	81,7	4,28	94,76	8
3	120	81,7	4,11	94,97	8
4	130	81,7	3,87	95,26	10
5	140	81,7	3,89	95,24	10
6	150	81,7	3,88	95,25	10

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 13: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°4)



Fuente: Elaboración propia

En esta cuarta prueba de jarras se pudo encontrar la dosis óptima que es de 130 mg/L del coagulante natural de penca de tuna (pulpa), además se obtuvo el mayor rendimiento que fue 95,26 % y también se pudo apreciar que los flóculos tienen un tamaño grande y muy notorio y sedimenta por completo dejando el agua de pozo transparente. Observando el gráfico N°13, vemos que los tres últimos datos son muy cercanos por lo cual también podemos tomar como un rango de trabajo estos tres puntos ya que al determinar la turbiedad de estos presentan una turbidez muy baja. Es por esto que para el punto de recolección del agua **P-A** segundo muestreo, correspondiente a Sekejahuira (final ladrilleras) del Municipio de Viacha, la dosis óptima a utilizar en un tratamiento será de 130 mg/L de coagulante natural a base de penca de tuna.

Realizando las pruebas de jarras para este segundo muestreo de agua vemos que el comportamiento del coagulante es proporcional a la turbidez del agua, lo que quiere decir que a mayor turbidez será mayor la concentración de coagulante a utilizar.

Con este segundo muestreo solo se pudo realizar la determinación de la dosis óptima empleando el coagulante obtenido a base de pulpa de penca de tuna de la zona de San Jorge, para las demás pruebas se realizó un tercer muestreo de agua para determinar la eficiencia de los demás coagulantes.

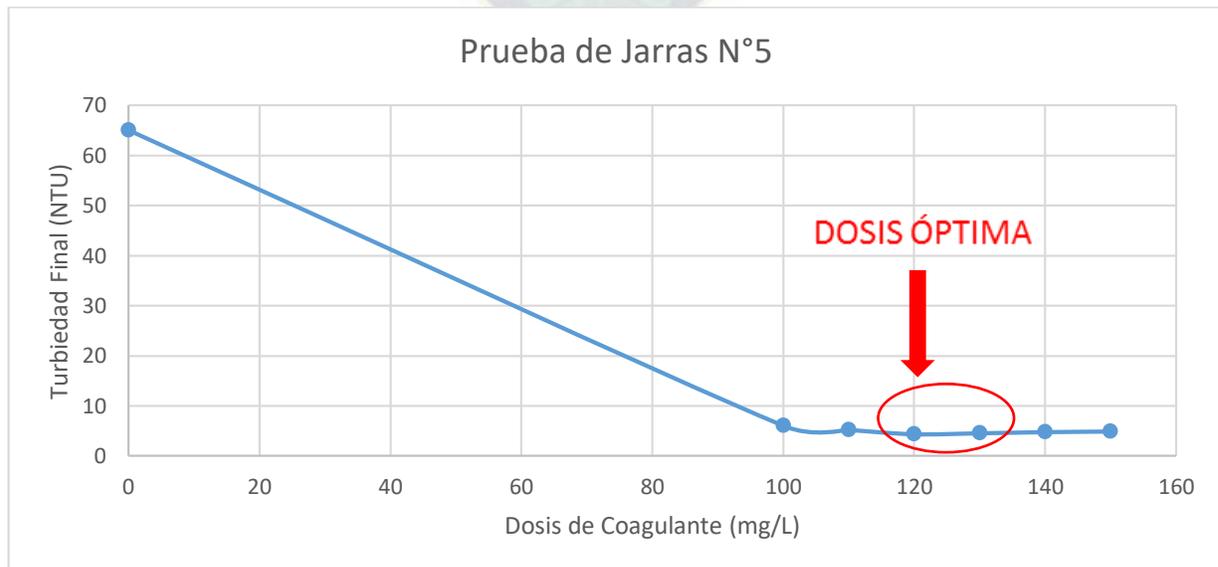
- Tercer muestreo de agua “P-A<sub>3</sub>” con el coagulante “L1-X”

Tabla N° 46: Prueba de Jarra N°5

Código: P – A <sub>3</sub> con L1 – X					Rango: 0 – 150 mg/L
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>o</sub> (NTU)	Turb <sub>F</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
0	0	65,00	65,00	0,00	0
1	100	65,00	6,09	90,63	8
2	110	65,00	5,23	91,95	8
3	120	65,00	4,37	93,28	10
4	130	65,00	4,56	92,98	10
5	140	65,00	4,79	92,63	8
6	150	65,00	4,91	92,45	8

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 14: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°5)



Fuente: Elaboración propia

En este tercer muestreo de agua de pozo del punto P-A, se realizó la determinación de la dosis óptima con mayor facilidad ya que se tiene como base los resultados del primer muestreo. En esta segunda muestra para una turbiedad de 65 NTU determinamos que la dosis óptima es de 120 mg/L de coagulante natural a base de pulpa de penca de tuna, dando un rendimiento de turbidez del 93,28%.

A continuación se mostrará la determinación de la dosis óptima utilizando el coagulante natural a base de la cáscara de penca de tuna de la zona de San Jorge.

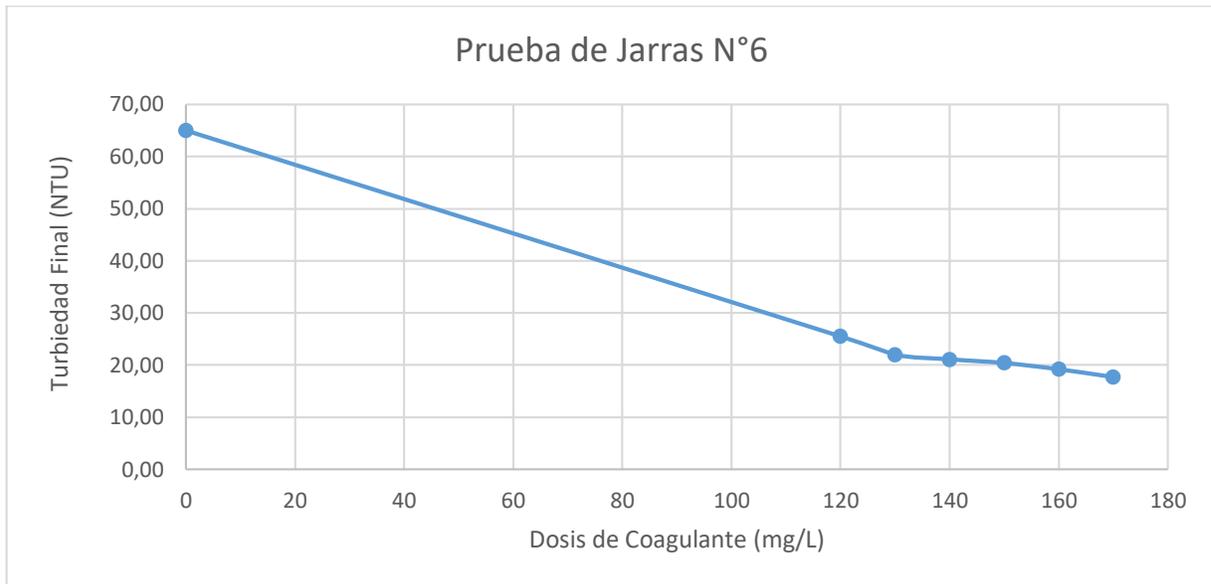
- Tercer muestreo de agua “P-A<sub>3</sub>” con el coagulante “L1-Y”

Tabla N° 47: Prueba de Jarra N°6

Código: P – A <sub>3</sub> con L1 – Y				Rango: 0 – 170 mg/L	
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>o</sub> (NTU)	Turb <sub>f</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
0	0	65,00	65,00	0,00	0
1	120	65,00	25,50	60,77	2
2	130	65,00	22,00	66,15	2
3	140	65,00	21,10	67,54	2
4	150	65,00	20,40	68,62	2
5	160	65,00	19,20	70,46	4
6	170	65,00	17,70	72,77	4

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 15: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°6)



Fuente: Elaboración propia

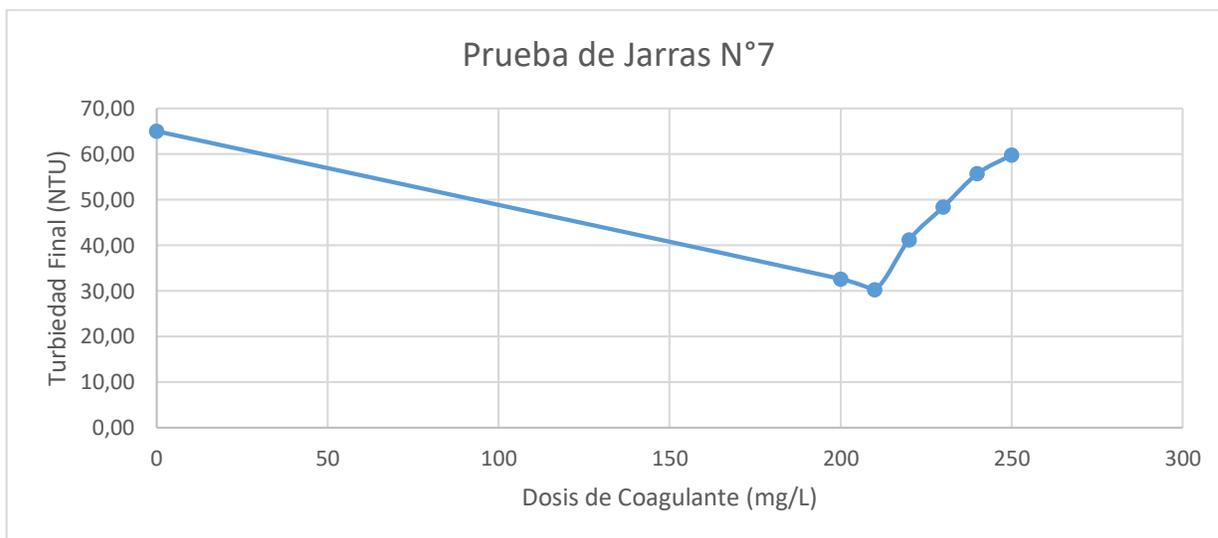
En esta prueba de jarras utilizando el coagulante natural a base de cáscara de penca tuna, podemos ver que la cáscara tiene un poder coagulante muy bajo, dando flóculos muy pequeños y estos no sedimentan quedándose sobrenadando en las jarras, por lo cual se tuvo que realizar otra prueba de jarras hasta encontrar la mejor dosis.

Tabla N° 48: Prueba de Jarra N°7

Código: P – A <sub>3</sub> con L1 – Y				Rango: 0 – 250 mg/L	
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>o</sub> (NTU)	Turb <sub>F</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
0	0	65,00	65,00	0,00	0
1	200	65,00	32,60	49,85	2
2	210	65,00	30,30	53,38	2
3	220	65,00	41,20	36,62	2
4	230	65,00	48,40	25,54	0
5	240	65,00	55,70	14,31	0
6	250	65,00	59,80	8,00	0

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 16: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°7)



Fuente: Elaboración propia

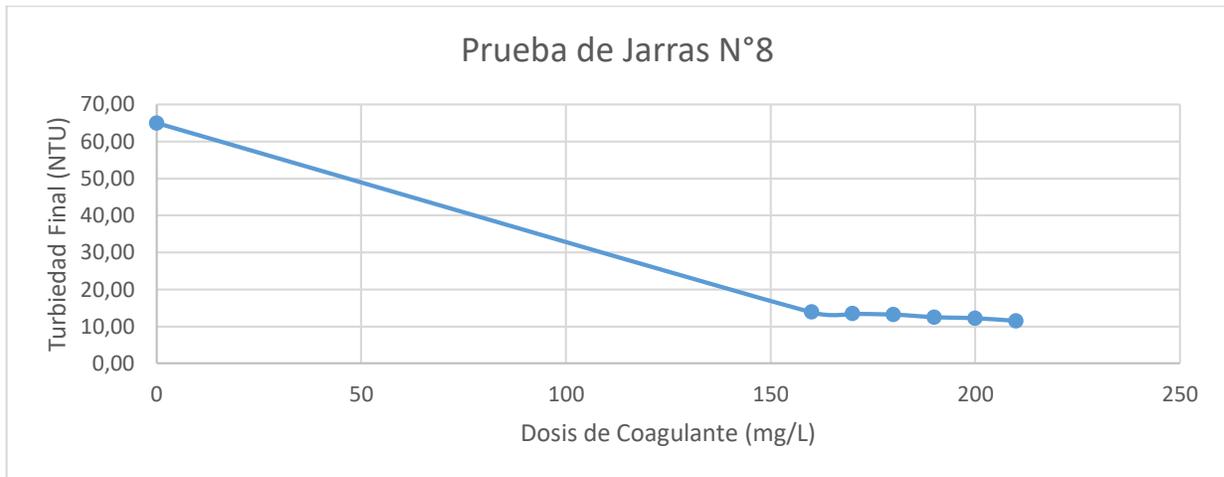
Realizando la prueba de jarras N° 7 se observa que el rango de trabajo es alto ya que en esta prueba podemos constatar una saturación del coagulante en la muestra de agua de pozo dando valores inestables. Por lo cual se preparó nuevamente la solución del coagulante natural a base de cáscara de penca de tuna para realizar la verificación de los rangos.

Tabla N° 49: Prueba de Jarra N°8

Código: P – A <sub>3</sub> con L <sub>1</sub> – Y				Rango: 0 – 210 mg/L	
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>o</sub> (NTU)	Turb <sub>F</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
0	0	65,00	65,00	0,00	0
1	160	65,00	13,90	78,62	2
2	170	65,00	13,50	79,23	2
3	180	65,00	13,30	79,54	2
4	190	65,00	12,60	80,62	4
5	200	65,00	12,30	81,08	4
6	210	65,00	11,60	82,15	4

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 17: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°8)



Fuente: Elaboración propia

Al realizar nuevamente la preparación del coagulante natural a base de cáscara de penca de tuna y dosificar entre 0 a 210 mg/L, vemos que los resultados de turbidez varían mucho con los datos obtenidos en las jarras 6 y 7. Por lo cual vemos que el coagulante a base de cáscara de penca de tuna es inestable y no se recomienda utilizarlo para fines de tratamientos de agua, por lo que se concluye que el coagulante a base de cáscara de penca no es eficiente.

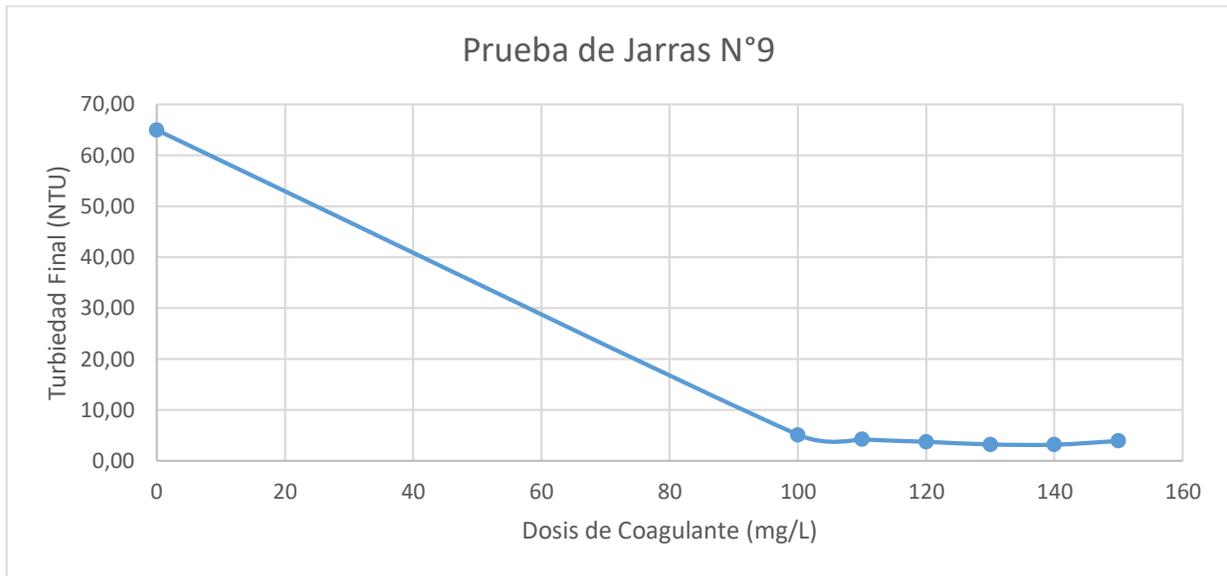
- Tercer muestreo de agua “P-A<sub>3</sub>” con el coagulante “L1-Z”

Tabla N° 50: Prueba de Jarra N°9

Código: P – A <sub>3</sub> con L1 – Z				Rango: 0 –150 mg/L	
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>o</sub> (NTU)	Turb <sub>F</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
0	0	65,00	65,00	0,00	0
1	100	65,00	5,20	92,00	6
2	110	65,00	4,27	93,43	8
3	120	65,00	3,80	94,15	8
4	130	65,00	3,28	94,95	10
5	140	65,00	3,23	95,03	10
6	150	65,00	3,96	93,91	10

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 18: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°9)



Fuente: Elaboración propia

En esta prueba de jarras, del coagulante natural a base de la penca de tuna entera (pulpa y cáscara) vemos que los datos son alentadores ya que se obtuvo un rendimiento en la disminución de la turbidez del 95,03 % y una dosis óptima de 140 mg/L dando como resultado un agua clara con 3,23 NTU de turbidez final. Pero comparando los resultados obtenidos con el coagulante obtenido a base de la pulpa de penca de tuna la dosis es mayor en 20 mg/L más.

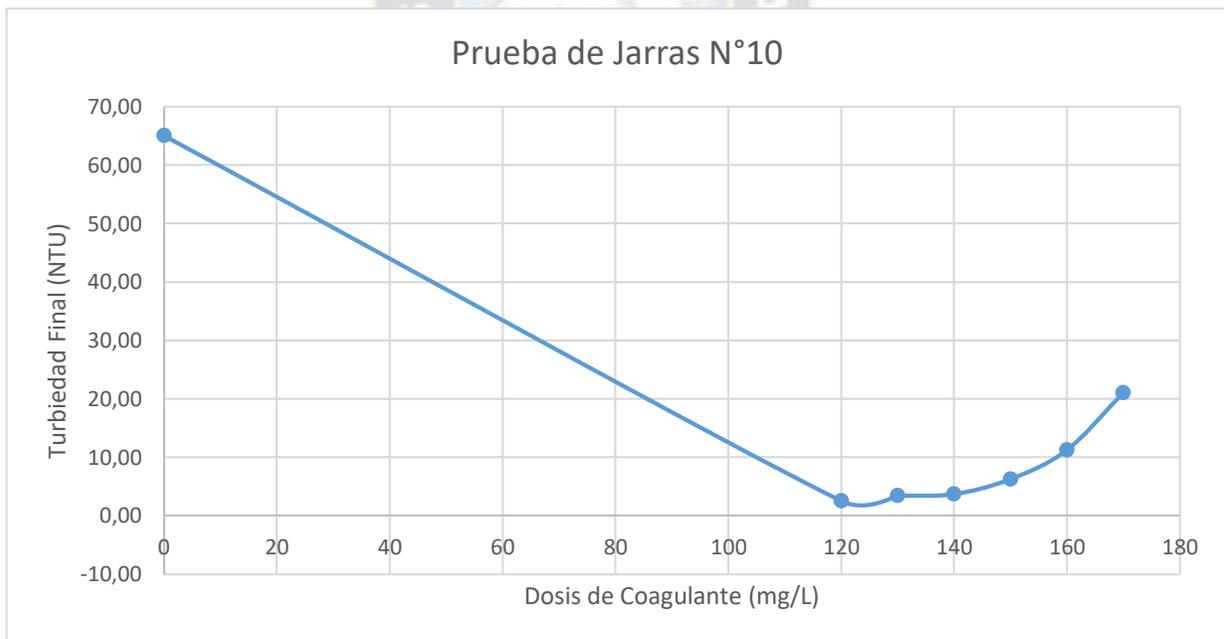
Para poder verificar los resultados se volvió a realizar la prueba con el coagulante a base de la penca de tuna entera que son los siguientes:

Tabla N° 51: Prueba de Jarra N°10

Código: P – A <sub>3</sub> con L1 – Z			Rango: 0 – 170 mg/L		
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>o</sub> (NTU)	Turb <sub>F</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
0	0	65,00	65,00	0,00	0
1	120	65,00	2,52	96,12	10
2	130	65,00	3,35	94,85	10
3	140	65,00	3,67	94,35	10
4	150	65,00	6,23	90,42	8
5	160	65,00	11,20	82,77	6
6	170	65,00	21,00	67,69	4

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 19: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°10)



Fuente: Elaboración propia

Realizando la verificación podemos ver que el coagulante natural a base de la penca de tuna entera varía en 20 mg/L en la dosis óptima, pese a que esta es la misma solución preparada por lo cual podemos decir que existe una mínima inestabilidad en

el coagulante también se pudo observar que la solución de coagulante preparado es inestable en el tiempo ya que solo podemos usarlo dentro de las primeras 12 hr. una vez preparado, ya que pasado ese tiempo da resultados muy inestables.

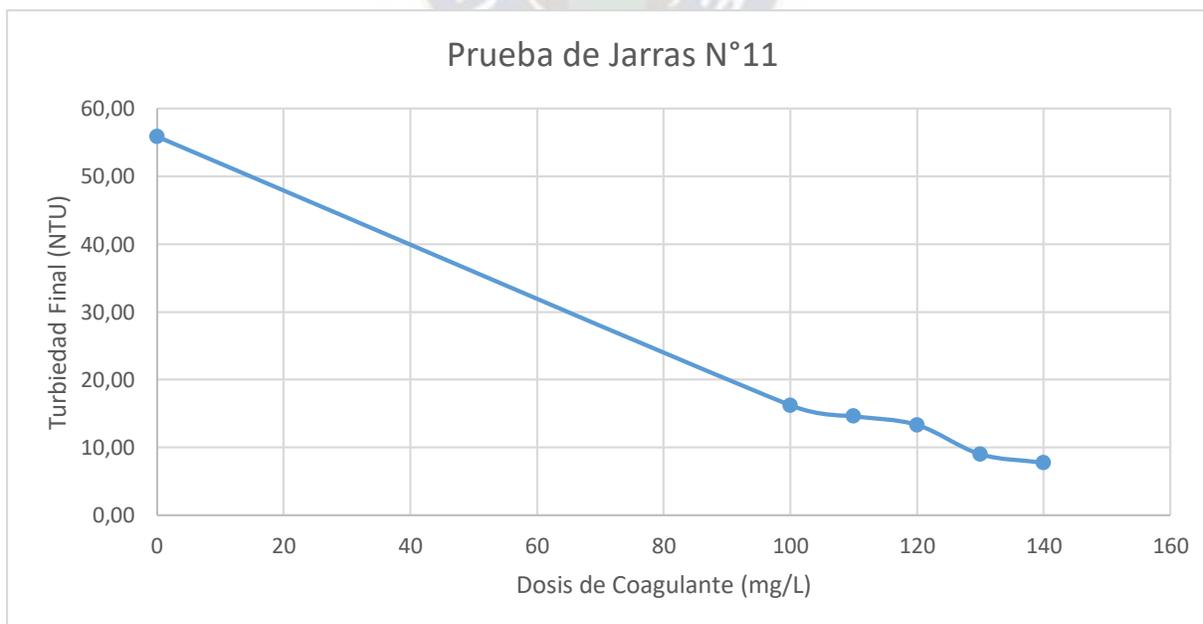
- **Cuarto muestreo de agua “P-A<sub>4</sub>” con el coagulante “L2-X”**

Tabla N° 52: Prueba de Jarra N°11

Código: P – A <sub>4</sub> con L2 – X				Rango: 0 – 140 mg/L	
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>o</sub> (NTU)	Turb <sub>f</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
1	0	55,90	55,90	0,00	0
2	100	55,90	16,20	71,02	4
3	110	55,90	14,60	73,88	4
4	120	55,90	13,30	76,21	4
5	130	55,90	8,97	83,95	4
6	140	55,90	7,70	86,23	6

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 20: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°11)



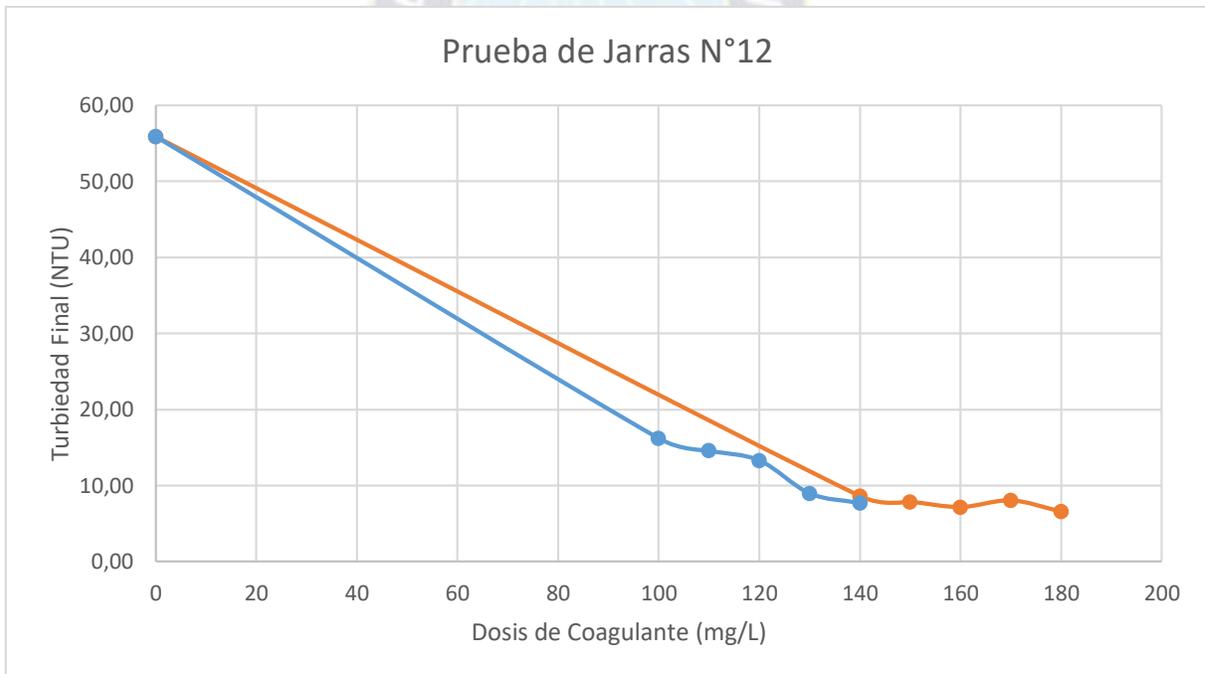
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 53: Prueba de Jarra N°12

Código: P – A <sub>4</sub> con L2 – X				Rango: 0 – 180 mg/L	
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>o</sub> (NTU)	Turb <sub>F</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
1	0	55,90	55,90	0,00	0
2	140	55,90	8,59	84,63	4
3	150	55,90	7,87	85,92	6
4	160	55,90	7,16	87,19	6
5	170	55,90	8,03	85,64	4
6	180	55,90	6,56	88,26	6

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 21: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°12)



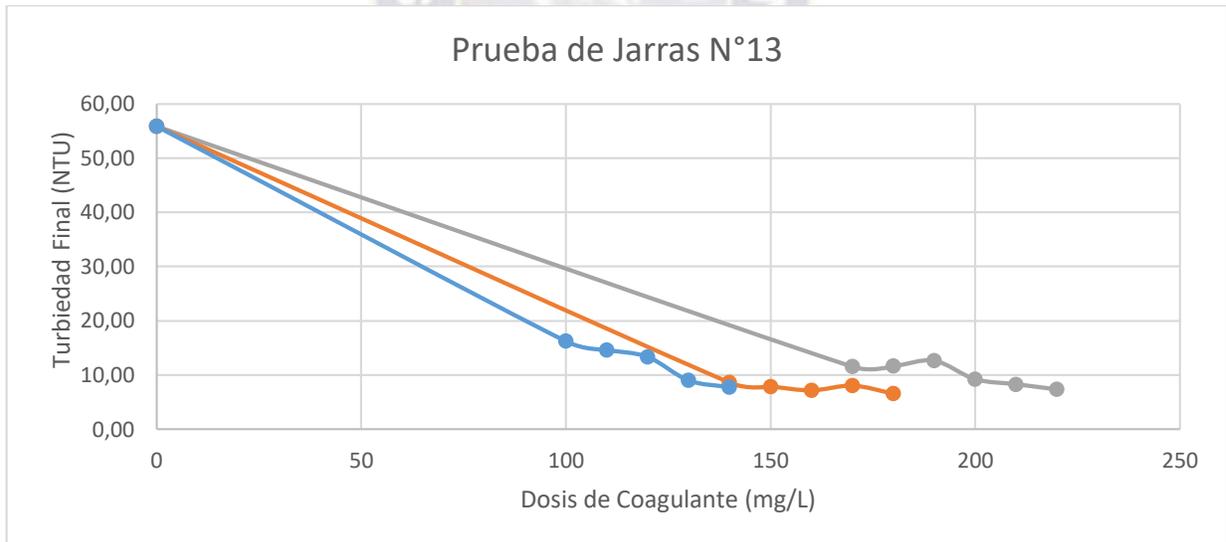
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 54: Prueba de Jarra N°13

Código: P – A <sub>4</sub> con L2 – X				Rango: 0 – 220 mg/L	
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>0</sub> (NTU)	Turb <sub>F</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
	0	55,90	55,90	0,00	0
1	170	55,90	11,50	79,43	4
2	180	55,90	11,60	79,25	4
3	190	55,90	12,60	77,46	4
4	200	55,90	9,19	83,56	6
5	210	55,90	8,25	85,24	6
6	220	55,90	7,30	86,94	6

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 22: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°13)



Fuente: Elaboración propia

Analizando los datos de la tabla 51,52 y 53 respectivamente, vemos que el coagulante natural a base de pulpa de penca de tuna recolectada de la localidad de Carreras muestra mucha inestabilidad en la determinación de la dosis óptima, esto tal vez puede deberse a que preguntando se nos informó que la región sufría de

escasez de agua tanto potable como pluvial, y que este evento puede ser el causante de la inestabilidad de la penca.

Por lo cual este coagulante obtenido no puede ser usado en el tratamiento de aguas de pozo turbias.

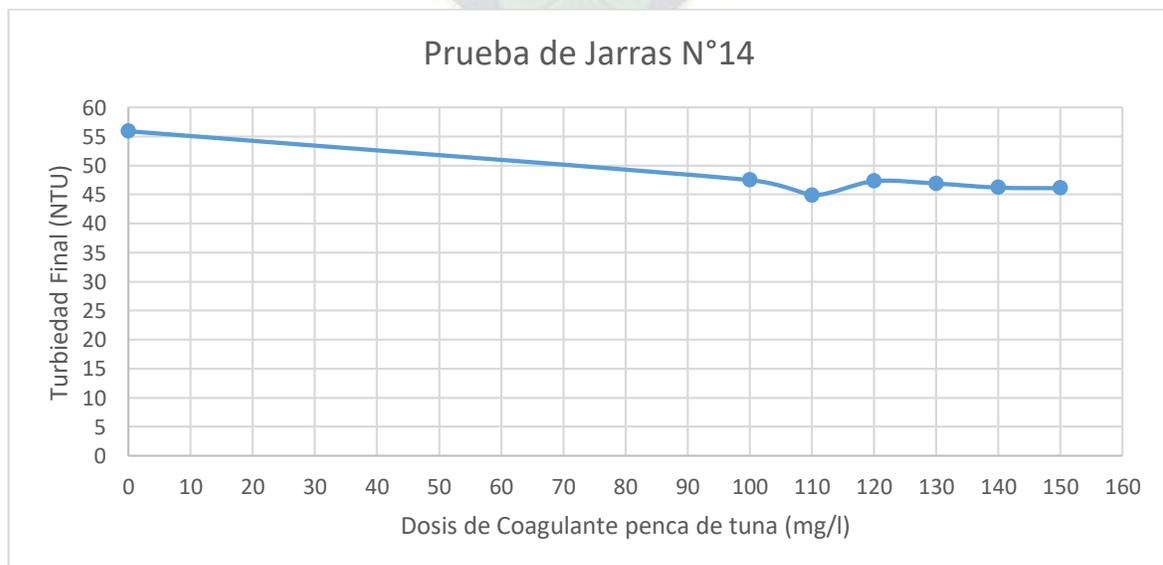
- **Cuarto muestreo de agua “P-A<sub>4</sub>” con el coagulante “L2-Y”**

Tabla N° 55: Prueba de Jarra N°14

Código: P – A <sub>4</sub> con L2 – Y				Rango: 0 – 150 mg/L	
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>0</sub> (NTU)	Turb <sub>F</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
	0	55,90	55,90	0,00	0
1	100	55,90	47,50	15,03	0
2	110	55,90	44,90	19,68	2
3	120	55,90	47,30	15,38	0
4	130	55,90	46,90	16,10	2
5	140	55,90	46,20	17,35	2
6	150	55,90	46,10	17,53	2

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 23: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°14)



Fuente: Elaboración propia

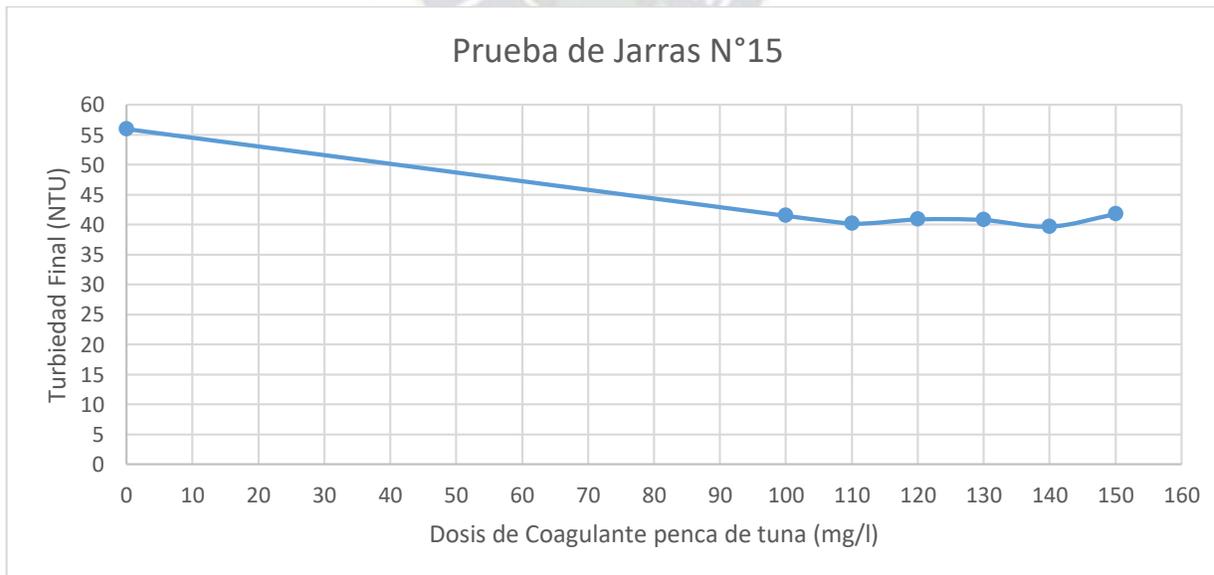
Los datos obtenidos son demasiado inestables por lo cual se realiza la verificación para corroborar resultados y sacar una conclusión.

Tabla N° 56: Prueba de Jarra N°15

Código: P – A <sub>4</sub> con L2 – Y				Rango: 0 – 150 mg/L	
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>o</sub> (NTU)	Turb <sub>F</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
	0	55,90	55,90	0,00	0
1	100	55,90	41,50	25,76	2
2	110	55,90	40,20	28,09	2
3	120	55,90	40,90	26,83	2
4	130	55,90	40,80	27,01	2
5	140	55,90	39,70	28,98	2
6	150	55,90	41,80	25,22	2

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 24: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°15)



Fuente: Elaboración propia

Corroborando los datos, vuelven a salir resultados demasiado inestables, por lo cual el coagulante natural obtenido a base de la cáscara de penca de tuna no se recomienda en el uso como coagulante en el tratamiento de aguas naturales turbias.

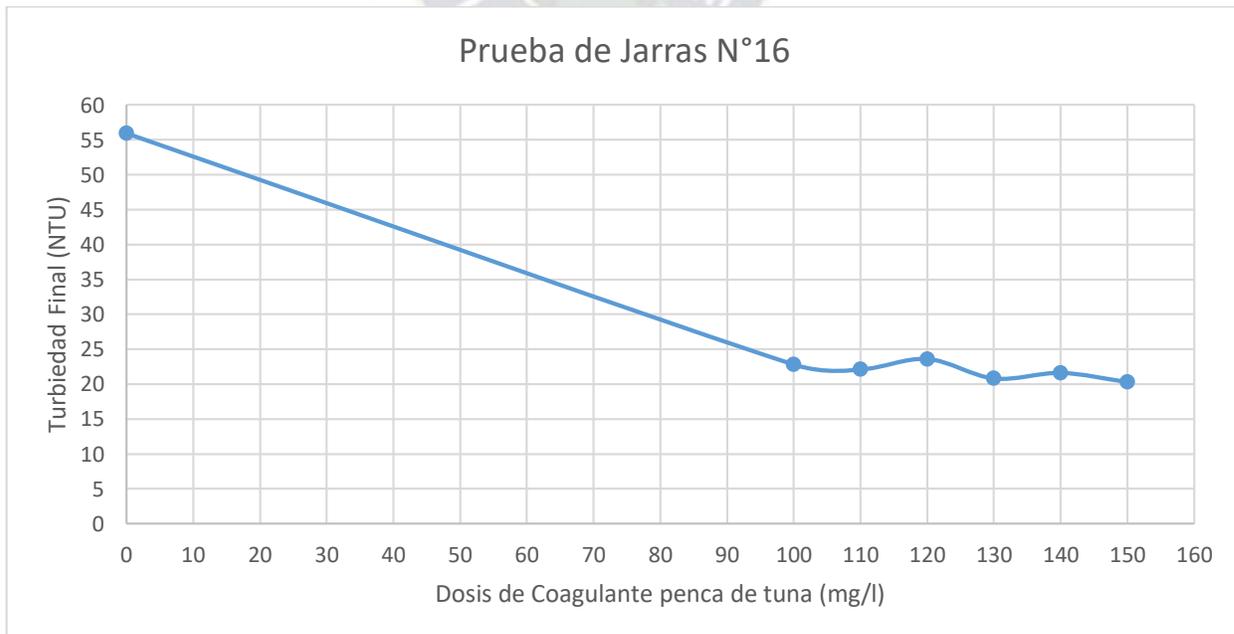
- **Cuarto muestreo de agua “P-A<sub>4</sub>” con el coagulante “L2-Z”**

Tabla N° 57: Prueba de Jarra N°16

Código: P – A <sub>4</sub> con L2 – Z				Rango: 0 – 150 mg/L	
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>o</sub> (NTU)	Turb <sub>f</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
	0	55,90	55,90	0,00	0
1	100	55,90	22,80	59,21	4
2	110	55,90	22,10	60,47	4
3	120	55,90	23,60	57,78	4
4	130	55,90	20,80	62,79	4
5	140	55,90	21,60	61,36	4
6	150	55,90	20,30	63,69	4

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 25: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°16)



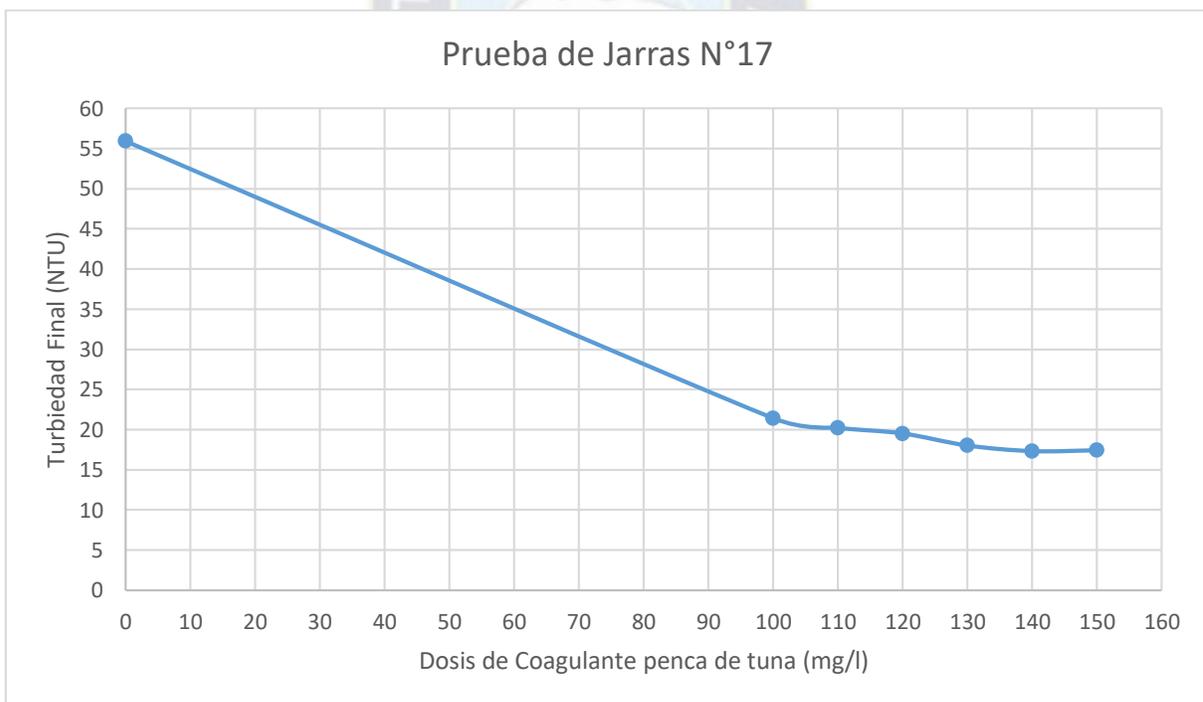
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 58: Prueba de Jarra N°17

Código: P – A <sub>4</sub> con L2 – Z				Rango: 0 – 150 mg/L	
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>0</sub> (NTU)	Turb <sub>F</sub> (NTU)	% Rem. Turb.	Índice de Willcomb
	0	55,90	55,90	0,00	0
1	100	55,90	21,40	61,72	6
2	110	55,90	20,20	63,86	6
3	120	55,90	19,50	65,12	6
4	130	55,90	18,00	67,80	6
5	140	55,90	17,30	69,05	8
6	150	55,90	17,40	68,87	6

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 26: Dosis coagulante vs Turbiedad (Jarra N°17)



Fuente: Elaboración propia

El coagulante natural a base de penca de tuna entera de la localidad muestra resultados poco eficientes, ya que solo baja la turbiedad de la muestra de agua hasta

la mitad de su valor inicial de turbidez, por lo cual tampoco se recomienda utilizar este coagulante en el tratamiento de aguas naturales.

En conclusión podemos decir que los coagulantes obtenidos de las pencas recolectadas de la localidad de Carreras – Río Abajo, presentan mucha inestabilidad y se recomienda no utilizarlos en el tratamiento de aguas naturales y sugerir que otro proyecto enfatice en el estudio de la producción de las pencas de buena calidad.

Por el contrario los coagulantes obtenidos de las pencas recolectadas en la zona de San Jorge mostraron buenos resultados, y el coagulante obtenido de la pulpa fue el que más estabilidad mostró, ya que realizando las verificaciones y los datos obtenidos fueron repetitivos lo cual nos da la confiabilidad deseada para el tratamiento de aguas naturales.

### **3.10. Determinación del tiempo de agitación rápida y velocidad lenta en el periodo de coagulación y floculación respectivamente**

Una vez que se determinó la cantidad óptima de coagulante necesario en las muestras de agua de pozo, se procedió a realizar la corrección de la velocidad de agitación rápida y lenta utilizando el coagulante obtenido a base de pulpa de penca de tuna. Se realizó las siguientes pruebas mostrada a continuación:

*Tabla N° 59: Determinación del tiempo de Agitación Rápida*

Jarra N°	Dosis (mg/l)	Velocidad de Agitación Rápida (rpm)	Tiempo de agitación Rápida (min.)	Turbiedad Inicial (NTU)	Turbiedad Final (NTU)	% Remd. Turb.	Índice de Willcomb
1	120	100	1	65	4,27	93,43	10
2	120	100	2	65	4,37	93,28	10
3	120	100	3	65	3,92	93,97	10

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 60: Determinación Velocidad de Agitación Lenta

Jarra N°	Dosis (mg/l)	Velocidad de Agitación Lenta (rpm)	Turbiedad Inicial (NTU)	Turbiedad Final (NTU)	% Remd. Turb.	Índice de Wilcomb
1	120	20	65	3,36	94,83	10
2	120	20	65	3,48	94,65	10
PROMEDIO	120	20	65	3,42	94,74	
1	120	30	65	3,19	95,09	10
2	120	30	65	3,23	95,03	10
PROMEDIO	120	30	65	3,21	95,06	
1	120	40	65	3,03	95,34	10
2	120	40	65	3,10	95,23	10
PROMEDIO	120	40	65	3,07	95,28	
1	120	50	65	3,68	94,34	10
2	120	50	65	3,72	94,28	10
PROMEDIO	120	50	65	3,70	94,31	

Fuente: Elaboración propia

### 3.11. Determinación del tiempo de sedimentación

El tiempo de sedimentación también es considerado como factor variable, es por esto que se realizaron variaciones de tiempo de sedimentación de 5 minutos. Para esta prueba no se efectuaron pruebas de jarras ya que este parámetro no depende del equipo. Se utilizó un cronómetro para determinar el tiempo exacto de espera.

Tabla N° 61: Determinación del tiempo de sedimentación

Jarra N°	Dosis (mg/l)	Tiempo de Sedimentación (min)	Turbiedad Inicial (NTU)	Turbiedad Final (NTU)	% Remd. Turb.	Índice de Willcomb
1	120	10	65	3,22	95,05	10
2	120	15	65	2,79	95,71	10
3	120	20	65	2,76	95,75	10
4	120	25	65	2,75	95,77	10
5	120	30	65	2,45	96,23	10
6	120	35	65	2,70	95,85	10

Fuente: Elaboración propia

### 3.12. Parámetros óptimos finales de tratamiento

Una vez concluida la evaluación de las tres variables más importantes, cantidad de coagulante necesario, velocidad de agitación lenta y rápida para la coagulación y floculación respectivamente y el tiempo de sedimentación, se puede establecer un proceso óptimo de tratamiento para la naturaleza de las muestras de agua natural, los datos se resumen en la siguiente tabla:

*Tabla N° 62: Parámetros óptimos en el proceso de Coagulación*

Jarra N°	Dosis (mg/l)	Velocidad de Agitación Rápida (rpm)	Tiempo de agitación Rápida (min.)	Velocidad de Agitación Lenta (rpm)/20 min.	Tiempo de Sedimentación (min)	Turb. <sub>0</sub> (NTU)	Turb. <sub>F</sub> (NTU)	% Remd. Turb.	Índice de Wilcomb
0	0	100	3	40	30	65,00	65,00	0,00	0
1	120	100	3	40	30	65,00	3,00	95,38	10
2	120	100	3	40	30	65,00	2,89	95,55	10
3	120	100	3	40	30	65,00	3,02	95,35	10
4	120	100	3	40	30	65,00	2,90	95,54	10
5	120	100	3	40	30	65,00	3,10	95,23	10
6	120	100	3	40	30	65,00	3,03	95,34	10
<b>PROM.</b>	120	100	3	40	30	65,00	<b>2,99</b>	<b>95,40</b>	10
<b>Desviación Estándar</b>							<b>0,08</b>	<b>0,12</b>	

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado los todos los ensayos pertinentes para la un proceso óptimo de coagulación a base de nuestra penca de tuna (pulpa), y realizando la repetitividad seis veces para verificar su eficiencia obtuvimos resultados muy favorables ya que partiendo de una turbidez inicial de 65 NTU logramos llegar con todos los parámetros desarrollados a una turbidez final promedio de 2,99 con una desviación estándar de 0,08, este resultado está por debajo del límite máximo aceptable de turbidez de 5 NTU establecido en la NB-512.

**3.13. Determinación de la dosis óptima del coagulante en muestra de agua de pozo recolectada de la Planta de Compostaje y Lombricultura de la localidad de Viacha**

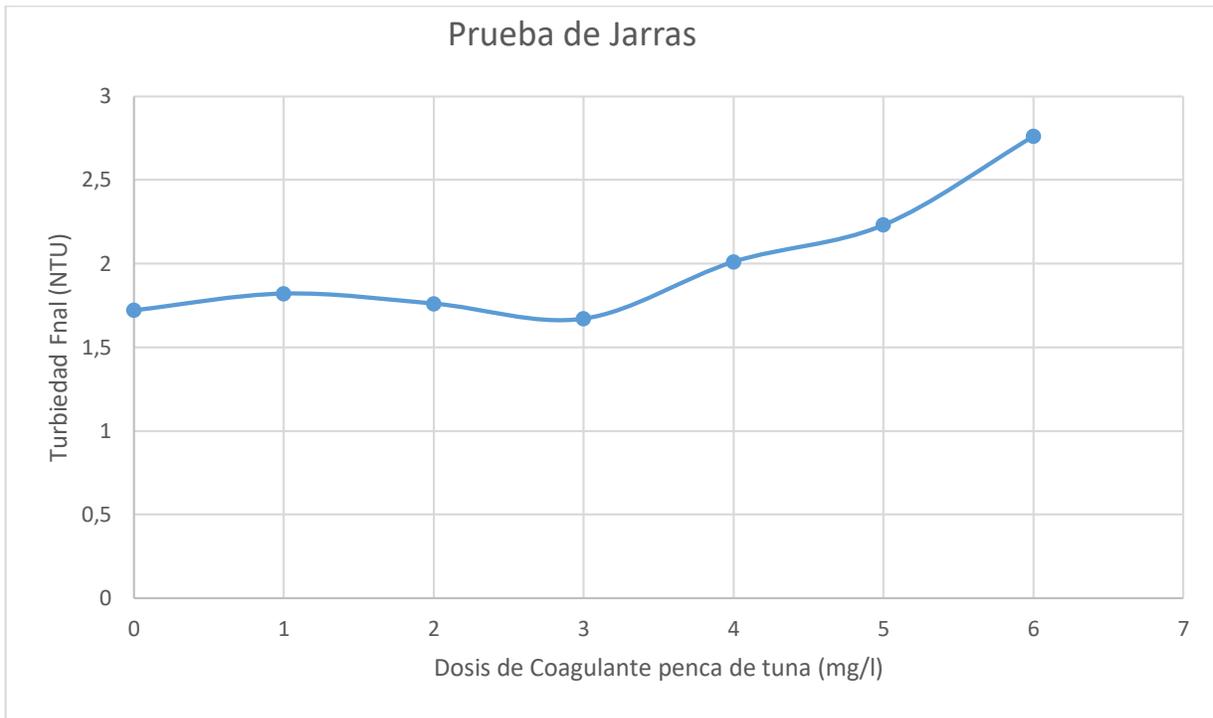
Se realizó una corrida con el equipo de prueba de jarras para determinar la dosis óptima del coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), en la muestra de agua de pozo. El agua recolectada muestra una turbiedad de 1,72 NTU, pese a este resultado se realizó la prueba para ver algún cambio en el agua añadiendo nuestro coagulante.

*Tabla N° 63: Prueba de Jarras*

<u>Prueba de Jarras</u>					
Muestra : Agua de pozo			Rango: 0 - 6 mg/l		
Jarra N°	Dosis (mg/l)	Turbiedad Inicial (NTU)	Turbiedad Final (NTU)	% Rendimiento Turbiedad	índice de Willcomb
	0	1,72	1,72	0	0
1	1	1,72	1,82	-5,81	0
2	2	1,72	1,76	-2,33	0
3	3	1,72	1,67	2,91	6
4	4	1,72	2,01	-16,86	0
5	5	1,72	2,23	-29,65	0
6	6	1,72	2,76	-60,47	0

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 27: Prueba de Jarras



Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos muestran que el coagulante natural tuvo un efecto en la determinación de la dosis óptima bajando la turbiedad del agua de 1,72 NTU a 1,67 NTU. Con lo cual confirmamos que el coagulante también nos sirve cuando se trabaja en rangos bajos de turbiedad.

### **3.14. Resumen de datos de las pruebas de los tres coagulantes obtenidos para hallar el que mejor actividad coagulante tenga.**

A continuación se presenta la tabla donde se resume los datos obtenidos de los tres coagulantes de los dos lugares de recolección:

Tabla N° 64: Resumen de datos para hallar el mejor coagulante

CODIGO DE MUESTREO DE AGUAS	MUESTREO	TIPO DE COAGULANTE	DOSIS (mg/L)	TURB. inicial (NTU)	TURB. final (NTU)	%REM. TURB.	OBSERVACIONES
P-A	P-A1						No se pudo completar ninguna prueba
	P-A2	L1-X	130	81,70	3,87	95,26	Buena efectividad y repetitividad
	P-A3	L1-X	120	65,00	4,37	93,28	Buena efectividad y repetitividad
		L1-Y	210	65,00	11,60	82,15	Mala efectividad y repetitividad
		L1-Z	140	65,00	3,23	95,03	Buena efectividad pero mala repetitividad
	P-A4	L2-X	140	55,90	7,70	86,23	Mala efectividad y repetitividad
		L2-Y	140	55,90	39,70	28,98	Mala efectividad y repetitividad
		L2-Z	140	55,90	17,30	69,05	Mala efectividad y repetitividad
	P-B	P-B1	L1-X	3	1,72	1,67	2,91

Fuente: Elaboración propia

Los códigos empleados se los presenta en la tabla N°41.

Los datos obtenidos nos muestran una buena efectividad y repetitividad del coagulante a base de la *PULPA* de penca de tuna recolectada de la zona San Jorge, por lo cual se usara este coagulante para realizar todas las demás pruebas necesarias en el transcurso del proyecto.

### 3.15. Comparación de efectividad entre el coagulante de penca de tuna (*Opuntia ficus indica*) y el coagulante sulfato de aluminio

Una vez hallados los parámetros óptimos de tratamiento para el coagulante de penca de tuna (*Opuntia ficus indica*), se realizó el tratamiento de las mismas muestras de agua empleando como coagulante el sulfato de aluminio, esto con el objetivo de realizar una comparación de efectividad entre ambos coagulantes.

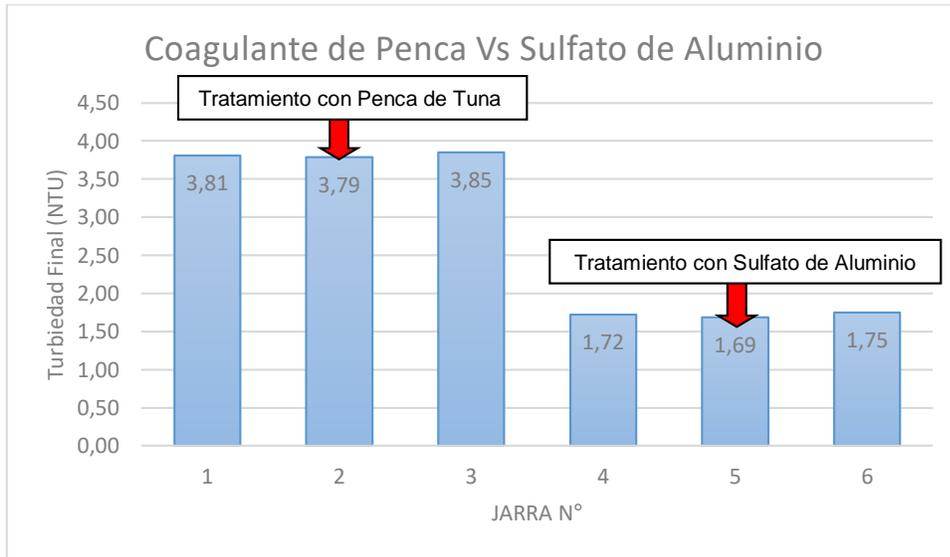
Para esto cabe resaltar que se emplearon los mismos parámetros hallados para el coagulante de penca de tuna.

Tabla N° 65: Penca de tuna Vs Sulfato de Aluminio

P - A7	Dosis mg/L	Velocidad de Agitación Rápida (rpm)	Velocidad de Agitación Lenta (rpm)/20 min	Tiempo de Sedimentación (min)	Turb.o (NTU)	Turb.f (NTU)	%Rem. Turb.	Indice Willcomb
Penca de Tuna	30	100	40	30	26,90	3,81	85,84	10
					26,90	3,79	85,91	10
					26,90	3,85	85,69	10
Sulfato de Aluminio	30	100	40	30	26,90	1,72	93,61	10
					26,90	1,69	93,72	10
					26,90	1,75	93,49	10

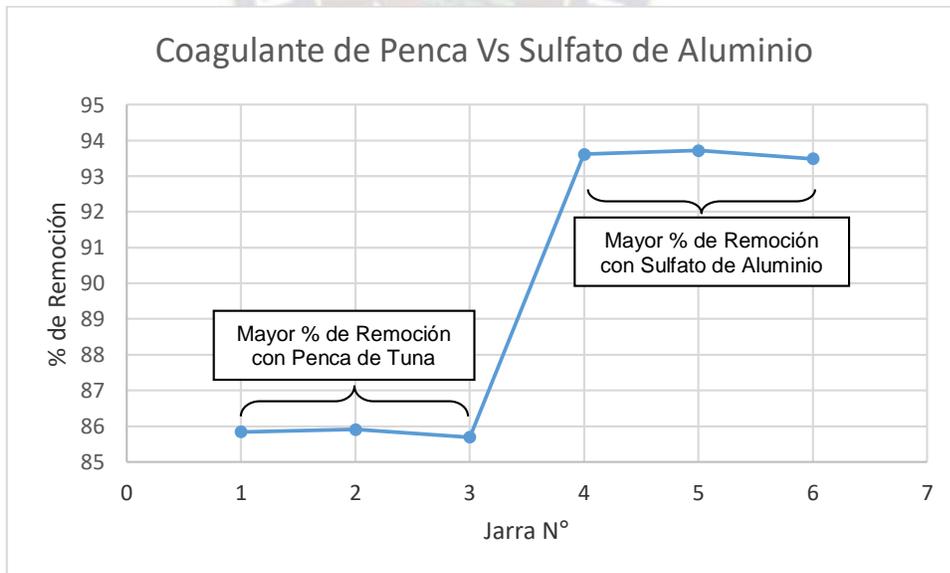
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica N° 28: Turbiedad Final obtenida con el coagulante de Penca de tuna Vs Turbiedad Final obtenida con el Sulfato de Aluminio



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica N° 29: % de Remoción de la Turbiedad



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede ver en los datos y gráficos anteriores queda comprobado que el Sulfato de Aluminio presenta mejor actividad coagulante con respecto a nuestro coagulante natural a base de penca de tuna, ya que el porcentaje de remoción de

turbiedad del sulfato de aluminio en promedio es 93,59 % el cual es, mayor al 85,81% correspondiente al coagulante a base de penca de tuna.

### 3.16. Determinación de Parámetros

#### 3.16.1. Parámetros Fisicoquímicos

Para este proyecto, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- **Temperatura.-** Se midió la temperatura con un termómetro digital, tanto en el muestreo como en laboratorio.
- **pH.-** se utilizó el método potenciométrico, para esto se empleó un pHmetro digital de laboratorio.
- **Turbiedad.-** Para la medición de la turbiedad se empleó el método nefelométrico. Este método está basado en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas con la luz dispersada por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersa, mayor será la turbidez. Se utilizó un turbidímetro digital de campo.

#### 3.16.2. Parámetros químicos

Entre los parámetros químicos que se analizaron fueron determinados por métodos volumétricos e instrumentales tanto por Espectrofotometría U.V. visible y Absorción atómica.

Tabla N° 66: Parámetros Químicos

MÉTODOS		
VOLUMÉTRICO	INSTRUMENTAL	
Alcalinidad	ESPECTROFOTOMETRIA UV-VISIBLE	ABSORCIÓN ATÓMICA
Acidez		Sodio
Dureza	Sulfatos	Hierro
Cloruros	Nitratos	Cobre
		Zinc
		Plomo
		Manganeso

Fuente: Elaboración propia

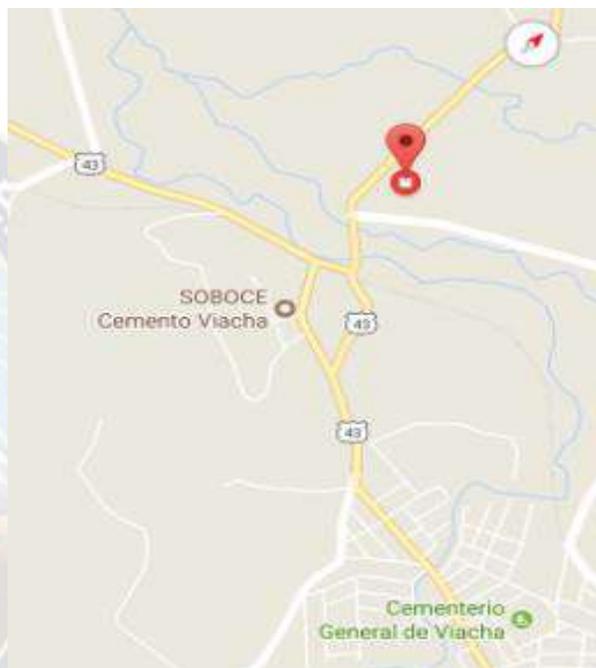
### 3.16.3. Parámetros Microbiológicos

- Coliformes totales, mediante el método del Número más Probable
- Coliformes totales, mediante el método de recuento en placas

### 3.17. Resultados Físico – Químicos, Químicos y Microbiológicos de Agua de Pozo

#### 3.17.1. Muestreo 1 (P-A<sub>1</sub>):

En fecha 19 de Junio de 2017 se efectuó el muestreo de aguas naturales de pozo del lugar Sekejahuira (final ladrilleras), ubicado en la localidad de VIACHA que se encuentra a 16.6424240 de latitud y -68.3270210 de longitud.



A continuación, se reportan resultados del primer muestreo de aguas, como ser Físico – Químicos y Químicos.

Tabla N° 67: Resultados Físico – Químicos del Muestreo 1

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	NORMA NB-512
Temperatura	°C	9,6	
pH		7,59	6,5 - 9
Conductividad	µs	837,1	1500
Turbiedad	NTU	21,3	5

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 68: Resultados Químicos del Muestreo 1

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	NORMA NB-512
Alcalinidad	$(\frac{mg}{L}) HCO_3^-$	75,74	
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	62,08	370
Dureza	$(\frac{mg}{L}) Ca^{+2}$	82,37	200
	$(\frac{mg}{L}) Mg^{+2}$	24,06	150
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	304,92	500
Cloruros	$(\frac{mg}{L}) Cl^-$	29,78	250
Acidez	$(\frac{mg}{L}) CO_2$	-	
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	-	50
Sulfatos	$(\frac{mg}{L}) SO_4^{=}$	301,085	400
Nitratos	$(\frac{mg}{L}) NO_3^-$	1,9004	45
<b>METALES PESADOS</b>			
Sodio	$(\frac{mg}{L}) Na^+$	333,9	200
Hierro	$(\frac{mg}{L}) Fe^{+2}$	0,3189	0,3
Cobre	$(\frac{mg}{L}) Cu^{+2}$	0,0632	1
Zinc	$(\frac{mg}{L}) Zn^{+2}$	< 0,05	5
Plomo	$(\frac{mg}{L}) Pb^{+2}$	< 0,05	0,01
Manganeso	$(\frac{mg}{L}) Mn^{+2}$	< 0,05	0,1

Fuente: Elaboración propia

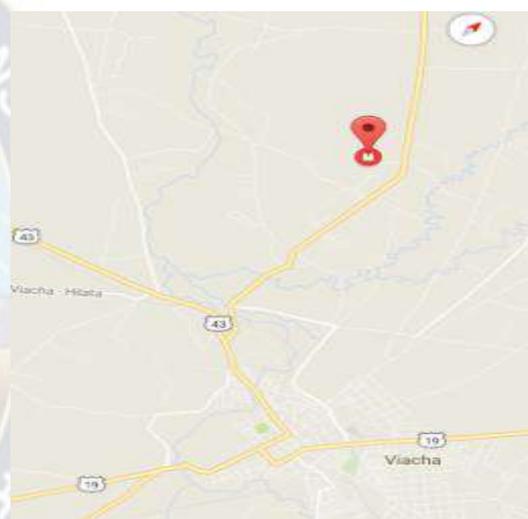
En este primer muestreo podemos apreciar que los resultados obtenidos del agua de pozo en su mayoría están dentro de los límites permitidos por la NB-512 a excepción de los metales sodio (Na) y Hierro (Fe) que presentan valores altos. También resaltar

que la turbidez de esta agua de pozo es de 21,3 NTU, para el estudio de nuestro coagulante de preferencia se trabaja con turbidez por encima de los 50 NTU.

Los análisis y prueba de jarras para este muestreo no fueron satisfactorios para poder determinar la eficiencia del coagulante natural a base de penca de tuna, ya que el volumen recolectado no abasteció, como también el análisis microbiológico se contaminó y por último no se pudo determinar la dosis óptima ya que tuvimos contratiempos con la dosificación ya que el agua de pozo tenía poca turbidez.

### 3.17.2. Muestreo 2 (P-A<sub>2</sub>):

En fecha 3 de Julio de 2017 se efectuó el muestreo de aguas naturales de pozo del lugar Sekejahuira (final ladrilleras), ubicado en la localidad de VIACHA que se encuentra a 16.6224490 de latitud y -68.3214780 de longitud.



A continuación se reportan resultados del segundo muestreo de aguas, como ser Físico - Químicos, Químicos y Microbiológicos y resultados del agua tratada con el coagulante natural Penca de tuna (Pulpa), así realizar la comparación correspondiente.

Tabla N° 69: Resultados Físico – Químicos del Muestreo 2

PARAMETROS	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	NORMA NB-512
Temperatura	°C	10,1	
pH		6,86	6,5 - 9
Conductividad	µs	257	1500
Turbiedad	NTU	81,7	5

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 70: Resultados Químicos del Muestreo 2

PARAMETROS	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	NORMA NB-512
Alcalinidad	$(\frac{mg}{L}) HCO_3^-$	41,77	
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	34,24	370
Dureza	$(\frac{mg}{L}) Ca^{+2}$	21,42	200
	$(\frac{mg}{L}) Mg^{+2}$	11,01	150
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	98,88	500
Cloruros	$(\frac{mg}{L}) Cl^-$	29,78	250
Acidez	$(\frac{mg}{L}) CO_2$	9,55	
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	21,7	50
Sulfatos	$(\frac{mg}{L}) SO_4^{=}$	-	400
Nitratos	$(\frac{mg}{L}) NO_3^-$	44,734	45
<b>METALES PESADOS</b>			
Sodio	$(\frac{mg}{L}) Na^+$	620,6	200
Hierro	$(\frac{mg}{L}) Fe^{+2}$	0,5227	0,3
Cobre	$(\frac{mg}{L}) Cu^{+2}$	0,0342	1
Zinc	$(\frac{mg}{L}) Zn^{+2}$	< 0,05	5
Plomo	$(\frac{mg}{L}) Pb^{+2}$	< 0,05	0,01
Manganeso	$(\frac{mg}{L}) Mn^{+2}$	< 0,05	0,1

Fuente: Elaboración propia

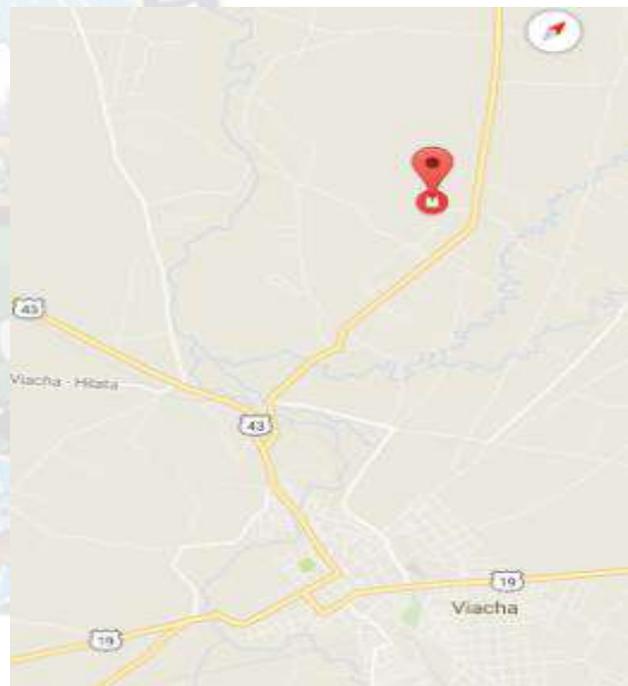
En el segundo muestreo podemos apreciar que los resultados obtenidos del agua de pozo en su mayoría están dentro de los límites permitidos por la NB-512 a excepción

de los metales sodio (Na) y Hierro (Fe) que presentan valores altos. También resaltar que la turbidez de esta agua de pozo es de 81,7 NTU y es una turbiedad muy aceptable para realizar el tratamiento.

En este muestreo seguimos con los ensayos de prueba de jarras hasta encontrar la dosis óptima del coagulante a base de penca de tuna, teniendo resultados alentadores usando solo el coagulante a base de pulpa de penca de tuna ya que con el agua recolectada se trabajó por el lapso de dos semanas y ya no se pudo realizar las demás pruebas con los demás coagulantes por el tiempo de caducidad del agua. Por ese motivo no se realizó un estudio completo pero a partir del tercer muestreo se realizaría todos los parámetros óptimos en el proceso de coagulación, usando también los demás coagulantes obtenidos.

### 3.17.3. Muestreo “P-A<sub>3</sub>”

En fecha 25 de Julio de 2017 se efectuó el muestreo de aguas naturales de pozo del lugar Sekejahuira (final ladrilleras), ubicado en la localidad de VIACHA que se encuentra a 16.6224490 de latitud y -68.3214780 de longitud.



A continuación se reportan resultados del tercer muestreo de aguas, como ser Físico - Químicos, Químicos y Microbiológicos y resultados del agua tratada con el coagulante natural Penca de tuna (Pulpa), así realizar la comparación correspondiente.

Tabla N° 71: Resultados Físico – Químicos del Muestreo 3

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	NORMA NB-512
Temperatura	°C	10,1	16,2	
pH		6,5	6,6	6,5 - 9
Conductividad	µs	185	320	1500
Turbiedad	NTU	65	4,37	5

Fuente: Elaboración propia

Realizando la comparación se aprecia que los resultados obtenidos de pH y conductividad del agua sin tratar están dentro de los límites que la norma NB-512 acepta y que la turbiedad tiene un valor alto que se encuentra fuera del límite aceptable de la norma.

Ahora analizando los resultados del agua tratada utilizando el coagulante natural vemos que hubo un incremento en el pH y conductividad del agua, pero este incremento se encuentra dentro de los límites permitidos por la NB-512; pero se destaca que la turbidez después de realizar el proceso de coagulación con nuestro coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), presenta una disminución bastante significativa y favorable ya que el valor obtenido 4,37 NTU, entra dentro el rango aceptable de la NB-512 (5 NTU). Así confirmamos que utilizando el coagulante natural a base de penca de tuna podemos obtener resultados satisfactorios y no tóxicos.

Tabla N° 72: Resultados Químicos del Muestreo 3

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	NORMA NB-512
	$(\frac{mg}{L}) HCO_3^-$	54,83	57,44	
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	44,94	47,08	370
Dureza	$(\frac{mg}{L}) Ca^{+2}$	28,02	24,72	200
	$(\frac{mg}{L}) Mg^{+2}$	9,01	10,51	150
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	107,12	105,06	500
Cloruros	$(\frac{mg}{L}) Cl^-$	19,85	20,42	250
	$(\frac{mg}{L}) CO_2$	7,68	6,01	
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	17,46	13,65	50
Sulfatos	$(\frac{mg}{L}) SO_4^{=}$	66,894	57,324	400
Nitratos	$(\frac{mg}{L}) NO_3^-$	8,052	3,439	45
<b>METALES PESADOS</b>				
Sodio	$(\frac{mg}{L}) Na^+$	14,75	22,5	200
Hierro	$(\frac{mg}{L}) Fe^{+2}$	0,116	0,035	0,3
Cobre	$(\frac{mg}{L}) Cu^{+2}$	< 0,05	< 0,05	1
Zinc	$(\frac{mg}{L}) Zn^{+2}$	< 0,05	< 0,05	5
Plomo	$(\frac{mg}{L}) Pb^{+2}$	< 0,05	< 0,05	0,01
Manganeso	$(\frac{mg}{L}) Mn^{+2}$	< 0,05	< 0,05	0,1

Fuente: Elaboración propia

Efectuando un análisis también a esta tabla de los resultados químicos que se realizó al agua de pozo sin tratamiento como a esta misma agua después de su tratamiento con el coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), podemos destacar lo siguiente:

- La alcalinidad, cloruros y los iones Na<sup>+</sup> tuvieron un aumento ligero después de utilizar el coagulante natural, esto debido a la presencia de los metales (Na) y sales presentes en la penca de tuna (pulpa). Este aumento no afecto ya que los valores son bajos y se encuentran dentro el rango que establece la norma NB-512.
- La Dureza presenta una disminución después de usar el coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), y se encuentra con un valor bajo que está dentro el rango aceptable que establece la NB-512.
- La acidez tuvo una disminución ligera después de utilizar el coagulante natural y se encuentra dentro el rango aceptable que establece la NB-512.
- Los aniones sulfatos y nitratos tuvieron una disminución después de utilizar el coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), y se encuentra con un valor bajo que está dentro el rango aceptable que establece la NB-512.
- En la determinación de los metales pesados antes y después del tratamiento de coagulación, destacamos que el coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), disminuye metales pesados como el Hierro lo cual es muy beneficiosos a la hora de tratar con aguas residuales. Los demás metales pesados como zinc, plomo, cobre y manganeso se encuentran en concentraciones muy bajas poco detectables para el caso de esta muestra de agua de pozo.

*Tabla N° 73: Resultados Microbiológicos del Muestreo 3*

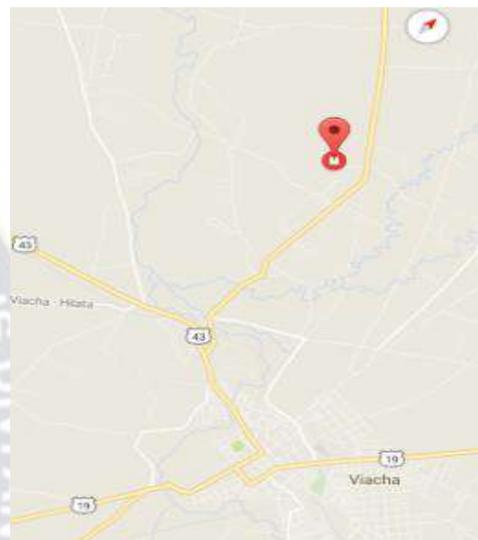
<b>N°</b>	<b>PARÁMETRO ANALIZADO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>RESULTADO DEL AGUA DE POZO SIN TRATAR</b>	<b>NORMA NB-512</b>
1	Bacterias Coliformes totales	NMP Número Más Probable	NMP/100 ml	22	< 2
		MRP Recuento en Placas	UFC/100 ml	2,9 × 10 <sup>4</sup>	

Fuente: Elaboración propia

La tabla de resultados microbiológicos muestra que existe la presencia de bacterias Coliformes en la muestra de agua de pozo recolectada, la cual debe ser tratada mediante un proceso de desinfección, al final del tratamiento para eliminar cualquier presencia de bacterias.

#### 3.17.4. Muestreo “P-A<sub>4</sub>”:

En fecha 6 de Septiembre de 2017 se efectuó el muestreo de aguas naturales de pozo del lugar Sekejahuira (final ladrilleras), ubicado en la localidad de VIACHA que se encuentra a 16.6224490 de latitud y -68.3214780 de longitud.



A continuación se reportan resultados del cuarto muestreo de aguas, como ser Físico - Químicos, Químicos y Microbiológicos y resultados del agua tratada con el coagulante natural Penca de tuna (Pulpa), así realizar la comparación correspondiente.

Tabla N° 74: Resultados Físico-Químicos del Muestreo 4

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	NORMA NB-512
Temperatura	°C	9,1	15	
pH		6	6,1	6,5 - 9
Conductividad	µs	297,7	311,9	1500
Turbiedad	NTU	56,2	3,70	5

Fuente: Elaboración propia

Analizando los resultados del agua tratada utilizando el coagulante natural vemos que hubo un incremento en el pH y conductividad del agua con respecto al agua de pozo sin tratar, pero este incremento se encuentra dentro de los límites permitidos por la NB-512; pero se destaca que la turbidez después de realizar el proceso de

coagulación con nuestro coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), presenta una disminución bastante significativa y favorable ya que el valor obtenido 3,70 NTU, entra dentro el rango aceptable de la NB-512 (5 NTU). Así confirmamos que utilizando el coagulante natural a base de penca de tuna podemos obtener resultados satisfactorios y no tóxicos.

Tabla N° 75: Resultados Químicos del Muestreo 4

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	NORMA NB-512
Alcalinidad	$(\frac{mg}{L}) HCO_3^-$	56,63	66,93	
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	46,42	54,86	370
Dureza	$(\frac{mg}{L}) Ca^{+2}$	29,90	30,62	200
	$(\frac{mg}{L}) Mg^{+2}$	8,22	10,38	150
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	108,58	119,26	500
Cloruros	$(\frac{mg}{L}) Cl^-$	23,48	21,53	250
Acidez	$(\frac{mg}{L}) CO_2$	5,57	4,78	
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	12,67	10,86	50
Sulfatos	$(\frac{mg}{L}) SO_4^-$	89,73	82,704	400
Nitratos	$(\frac{mg}{L}) NO_3^-$	5,793	3,743	45
<b>METALES PESADOS</b>				
Sodio	$(\frac{mg}{L}) Na^+$	36,4	31,0	200
Hierro	$(\frac{mg}{L}) Fe^{+2}$	0,05	< 0,05	0,3
Cobre	$(\frac{mg}{L}) Cu^{+2}$	< 0,05	< 0,05	1
Zinc	$(\frac{mg}{L}) Zn^{+2}$	< 0,05	< 0,05	5
Plomo	$(\frac{mg}{L}) Pb^{+2}$	< 0,05	< 0,05	0,01
Manganeso	$(\frac{mg}{L}) Mn^{+2}$	< 0,05	< 0,05	0,1

Fuente: Elaboración propia

- La alcalinidad y dureza tuvieron un aumento ligero después de utilizar el coagulante natural, esto debido a la presencia de sales presentes en la penca de tuna (pulpa). Este aumento no afecto ya que los valores son bajos y se encuentran dentro el rango que la norma NB-512 establece.
- Los cloruros presenta una disminución después de usar el coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), y se encuentra con un valor bajo que está dentro el rango aceptable que establece la NB-512.
- La acidez tuvo una disminución ligera después de utilizar el coagulante natural y se encuentra dentro el rango aceptable que establece la NB-512.
- Los aniones sulfatos y nitratos tuvieron una disminución después de utilizar el coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), y se encuentra con un valor bajo que está dentro el rango aceptable que establece la NB-512.
- En la determinación de los metales pesados antes y después del tratamiento de coagulación, destacamos que el coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), disminuye metales pesados como el Hierro lo cual es muy beneficiosos a la hora de tratar con aguas residuales. Los demás metales pesados como zinc, plomo, cobre y manganeso se encuentran en concentraciones muy bajas poco detectables para el caso de esta muestra de agua de pozo.

*Tabla N° 76: Resultados Microbiológicos del Muestreo 4*

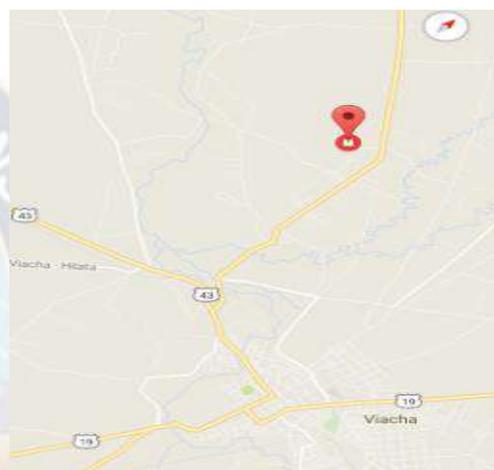
N°	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO DEL AGUA DE POZO SIN TRATAR	RESULTADO DEL AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (pulpa)	NORMA NB-512
1	Bacterias Coliformes totales	NMP Número Más Probable	NMP/100 ml	280	300	< 2
		MRP Recuento en Placas	UFC/100 ml	$3,2 \times 10^4$	$5 \times 10^4$	

Fuente: Elaboración propia

La tabla N°76 de resultados microbiológicos muestra que existe la presencia de bacterias Coliformes en la muestra de agua de pozo recolectada tanto antes y después del tratamiento con el coagulante natural, la cual debe ser tratada mediante un proceso de desinfección, al final del tratamiento para eliminar cualquier presencia de bacterias.

### 3.17.5. Muestreo “P-A<sub>5</sub>”:

En fecha 12 de Septiembre de 2017 se efectuó el muestreo de aguas naturales de pozo del lugar Sekejahuira (final ladrilleras), ubicado en la localidad de VIACHA que se encuentra a 16.6224490 de latitud y -68.3214780 de longitud.



A continuación se reportan resultados del quinto muestreo de aguas, como ser Físico - Químicos, Químicos y Microbiológicos y resultados del agua tratada con el coagulante natural Penca de tuna (Pulpa), así realizar la comparación correspondiente.

Tabla N° 77: Resultados Físico-Químicos del Muestreo 5

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	NORMA NB-512
Temperatura	°C	10	15	
pH		5,6	6,0	6,5 - 9
Conductividad	µs	278,8	300	1500
Turbiedad	NTU	51,9	3,10	5

Fuente: Elaboración propia

Analizando los resultados del agua tratada utilizando el coagulante natural vemos que hubo un incremento en el pH y conductividad del agua, pero este incremento se

encuentra dentro de los límites permitidos por la NB-512; pero se destaca que la turbidez después de realizar el proceso de coagulación con nuestro coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), presenta una disminución bastante significativa y favorable ya que el valor obtenido 3,10 NTU, entra dentro el rango aceptable de la NB-512 (5 NTU). Así confirmamos que utilizando el coagulante natural a base de penca de tuna podemos obtener resultados satisfactorios y no tóxicos.

Tabla N° 78: Resultados Químicos del Muestreo 5

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	NORMA NB-512
	$(\frac{mg}{L}) HCO_3^-$	72,08	77,23	
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	59,08	63,3	370
Dureza	$(\frac{mg}{L}) Ca^{+2}$	27,77	29,19	200
	$(\frac{mg}{L}) Mg^{+2}$	10,38	10,81	150
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	112,14	117,48	500
Cloruros	$(\frac{mg}{L}) Cl^-$	23,48	21,53	250
Acidez	$(\frac{mg}{L}) CO_2$	6,86	8,58	
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	15,6	19,5	50
Sulfatos	$(\frac{mg}{L}) SO_4^-$	120,12	104,80	400
Nitratos	$(\frac{mg}{L}) NO_3^-$	4,78	2,62	45
<b>METALES PESADOS</b>				
Sodio	$(\frac{mg}{L}) Na^+$	31,2	28,8	200
Hierro	$(\frac{mg}{L}) Fe^{+2}$	0,43	< 0,05	0,3
Cobre	$(\frac{mg}{L}) Cu^{+2}$	< 0,05	< 0,05	1
Zinc	$(\frac{mg}{L}) Zn^{+2}$	< 0,05	< 0,05	5
Plomo	$(\frac{mg}{L}) Pb^{+2}$	< 0,05	< 0,05	0,01
Manganeso	$(\frac{mg}{L}) Mn^{+2}$	< 0,05	< 0,05	0,1

Fuente: Elaboración propia

- La alcalinidad, dureza y el ion Na<sup>+</sup>, tuvieron un aumento ligero después de utilizar el coagulante natural, esto debido a la presencia del metal (Na) y sales presentes en la penca de tuna (pulpa). Este aumento no afecto ya que los valores son bajos y se encuentran dentro el rango que la norma NB-512 establece.
- Los Cloruros presentan una disminución después de usar el coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), y se encuentra con un valor bajo que está dentro el rango aceptable que establece la NB-512.
- La acidez tuvo un aumento ligero después de utilizar el coagulante natural y se encuentra dentro el rango aceptable que establece la NB-512.
- Los aniones sulfatos y nitratos tuvieron una disminución después de utilizar el coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), y se encuentra con un valor bajo que está dentro el rango aceptable que establece la NB-512.
- En la determinación de los metales pesados antes y después del tratamiento de coagulación, destacamos que el coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), disminuye metales pesados como el Hierro lo cual es muy beneficiosos a la hora de tratar con aguas residuales. Los demás metales pesados como zinc, plomo, cobre y manganeso se encuentran en concentraciones muy bajas poco detectables para el caso de esta muestra de agua de pozo.

*Tabla N° 79: Resultados Microbiológicos del Muestreo 5*

N°	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO DEL AGUA DE POZO SIN TRATAR	RESULTADO DEL AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (pulpa)	NORMA NB-512
1	Bacterias Coliformes totales	NMP Número Más Probable	NMP/100 ml	220	350	< 2
		MRP Recuento en Placas	UFC/100 ml	$7,7 \times 10^4$	$1,92 \times 10^5$	

Fuente: Elaboración propia

La tabla N°79 de resultados microbiológicos muestra que existe la presencia de bacterias Coliformes en la muestra de agua de pozo recolectada tanto antes y después del tratamiento con el coagulante natural, la cual debe ser tratada mediante un proceso de desinfección, al final del tratamiento para eliminar cualquier presencia de bacterias.

### 3.17.6. Muestreo de agua de pozo de la Planta de Compostaje y Lombricultura (P-B<sub>1</sub>).

En fecha 10 de Octubre de 2017 se efectuó el muestreo de aguas naturales de pozo del Distrito N°2 Zona Santa Bárbara - Planta de Compostaje y Lombricultura, Municipio de VIACHA, ubicado en la localidad de VIACHA.

A continuación se reportan resultados del muestreo del agua de pozo recolectado en la Planta de Compostaje, como ser Físico - Químicos, Químicos y Microbiológicos y resultados del agua tratada con el coagulante natural Penca de tuna (Pulpa), así realizar la comparación correspondiente.

*Tabla N° 80: Resultados Físico – Químicos del muestreo 1 del punto B*

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	NORMA NB-512
Temperatura	°C	10,1	16,2	
pH		8,0	8,0	6,5 - 9
Conductividad	µs	1872	1889	1500
Turbiedad	NTU	1,72	1,67	5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°80 de los resultados físico-químicos vemos que el pH y turbiedad están dentro de los límites permitidos por la norma NB-512, pero utilizando nuestro coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa) en el proceso de coagulación vemos que existe una disminución en la turbidez. Pese a que el agua era cristalina lo cual se verifica con la turbidez baja que presenta, esta tiene una alta conductividad debido a la alta cantidad de iones que presenta.

Tabla N° 81: Resultados Químicos del muestreo 1 del punto B

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	NORMA NB-512
Alcalinidad	$(\frac{mg}{L}) HCO_3^-$	522,56	512,26	
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	428,33	419,89	370
Dureza	$(\frac{mg}{L}) Ca^{+2}$	106,09	102,53	200
	$(\frac{mg}{L}) Mg^{+2}$	39,36	30,71	150
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	427,2	382,7	500
Cloruros	$(\frac{mg}{L}) Cl^-$	314,74	310,85	250
Acidez	$(\frac{mg}{L}) CO_2$	76,66	64,28	
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	174,24	146,08	50
Sulfatos	$(\frac{mg}{L}) SO_4^{=}$	327,660	288,668	400
Nitratos	$(\frac{mg}{L}) NO_3^-$	18,058	17,898	45
<b>METALES PESADOS</b>				
Sodio	$(\frac{mg}{L}) Na^+$	305,45	320,01	200
Hierro	$(\frac{mg}{L}) Fe^{+2}$	0,22	0,17	0,3
Cobre	$(\frac{mg}{L}) Cu^{+2}$	1,24	1,16	1
Zinc	$(\frac{mg}{L}) Zn^{+2}$	8,43	8,03	5
Plomo	$(\frac{mg}{L}) Pb^{+2}$	< 0,05	< 0,05	0,01
Manganeso	$(\frac{mg}{L}) Mn^{+2}$	< 0,05	< 0,05	0,1
Arsénico	$(\frac{mg}{L}) Ar^{+3}$	0,005	0,005	0,01

Fuente: Elaboración propia

La tabla N°81, muestra los resultados del agua de pozo ubicada en la planta de compostaje, esta agua a simple vista tiene un aspecto cristalino siendo su turbidez 1,72 NTU que está dentro de la norma, pero realizando la caracterización de la misma se pudo constatar que esta agua tiene algunos parámetros elevados, como ser su conductividad que está a 1872  $\mu s$  lo que indica presencia considerable de

sales disueltas, el agua tiene una alcalinidad mayor a la permitida por la norma, los valores de los iones sodio son altos esto se puede deber por alguna filtración salina a esta agua, también se ve presencia de metales pesados lo cual es preocupante ya que si se la consume podría existir problemas en la salud la cual afectaría a distintos órganos, esta presencia de estos metales puede deberse a que el pozo se encuentra a pocos metros del río Pallina, el cual se encuentra sumamente contaminado por descargas de alcantarillas, desechos de industrias mineras, industrias alimenticias, etc.

*Fotografía N° 43: Agua de Pozo del punto B (Viacha, Zona Santa Bárbara Planta de Compostaje)*



Fuente: Elaboración propia

*Fotografía N° 44: Río Pallina Distrito 2 del municipio de Viacha, Zona Santa Bárbara*



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 82: Resultados Microbiológicos del muestreo 1 del punto B

N°	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO DEL AGUA DE POZO SIN TRATAR	RESULTADO DEL AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (pulpa)	NORMA NB-512
1	Bacterias Coliformes totales	NMP Número Más Probable	NMP/100ml	150	180	< 2
		MRP Recuento en Placas	UFC/100ml	$6,7 \times 10^3$	$4,7 \times 10^5$	

Fuente: Elaboración propia

Analizando la tabla N°82 de los resultados microbiológicos, se ve que en la determinación del número más probable y prueba de recuento en placas la prueba da positiva para coliformes lo cual nos indica que se debe realizar una desinfección para la eliminación de estas bacterias aunque la presencia de estas sea mínima.

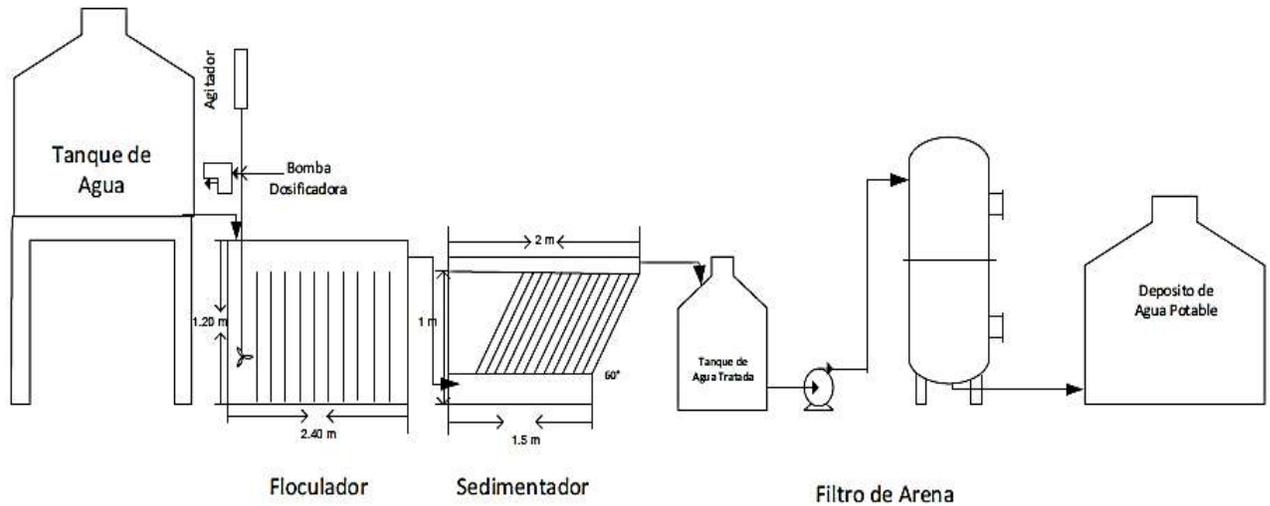
Tabla N° 83: Resumen de los resultados de la caracterización de los muestreos de aguas de pozo

ANÁLISIS	PARÁMETROS	Muestreo P-A1	Muestreo P-A2	Muestreo P-A3		Muestreo P-A4		Muestreo P-A5		Muestreo P-B1		NORMA NB-512
		AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	
FISICO-QUÍMICOS	Temperatura (°C)	9,6	10,1	10,1	16,2	9,1	15	10	15	10,1	16,2	-
	pH	7,59	6,86	6,5	6,6	6	6,1	5,6	6	8	8	6,5- 9
	Conductividad (µs)	837,1	257	185	320	297,7	311,9	278,8	300	1872	1889	1500
	Turbiedad (NTU)	21,3	81,7	65	4,37	56,2	3,7	51,9	3,1	1,72	1,67	5
QUÍMICOS	Alcalinidad (mg/L) CaCO3	62,08	34,24	44,94	47,08	46,42	54,86	59,08	63,3	428,33	419,89	370
	Dureza (mg/L) CaCO3	304,92	98,88	107,12	105,06	108,58	119,26	112,14	117,48	427,2	382,7	500
	Cloruros (mg/L) Cl	29,78	29,78	19,85	20,42	23,48	21,53	23,48	21,53	314,74	310,85	250
	Acidez (mg/L) CaCO3	-	21,7	17,46	13,65	12,67	10,86	15,6	19,5	174,24	146,08	50
	Sulfatos (mg/L) SO4	301,085	-	66,894	57,324	89,73	82,704	120,12	104,8	327,66	288,668	400
	Nitratos (mg/L) NO3	1,9004	44,734	8,052	3,439	5,793	3,743	4,78	2,62	18,058	17,898	45
METALES PESADOS	Sodio(mg/L)	333,9	620,6	14,75	22,5	36,4	31	31,2	28,8	305,45	320,01	200
	Hierro (mg/L)	0,3189	0,5227	0,116	0,035	0,05	< 0,05	0,43	< 0,05	0,22	0,17	0,3
	Cobre (mg/L)	0,0632	0,0342	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1,24	1,16	1
	Zinc (mg/L)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	8,43	8,03	5
	Plomo (mg/L)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,01
	Manganeso (mg/L)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,1
	Arsenico (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,005	0,005	0,0
MICRO-BIOLÓGICOS	NMP Número Más Probable (NMP/100 ml)	-	-	22	-	280	300	220	350	150	180	< 2
	MRP Recuento en Placas (UFC/100 ml)	-	-	2,9*10E4	-	3,2*10E4	5*10E4	7,7*10E4	1,92*10E5	6,7*10E3	4,7*10E5	-

Fuente: Elaboración propia

#### 4. PLANTA PILOTO CONVENCIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS EMPLEANDO COMO NUEVA ALTERNATIVA COAGULANTE NATURAL A BASE DE PENCA DE TUNA, EN LA LOCALIDAD DE VIACHA

*Esquema N° 2: Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Aguas*



Fuente: Diseño a cargo del Lic. Leonardo Cárdenas

*Fotografía N° 45: Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Aguas*



Fuente: Diseño a cargo del Lic. Leonardo Cárdenas

#### **4.1. Capacidad de Diseño**

La planta se diseñó para tratar hasta 0.2 litros por segundo de agua cruda, equivalentes a 720 L/h, en caso de producción de 8 horas continuas haciendo un total de 5.760 L.

#### **4.2. Tipo de Planta**

La planta en mención, es del tipo convencional siendo esta un modelo piloto que se asemeja a una planta de EPSAS a escala pequeña, su abastecimiento se da por medio de un tanque de almacenamiento de 2300 L de capacidad. El agua es sometida a diversos procesos y operaciones unitarias de potabilización de agua como son: mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. El sistema de dosificación del coagulante natural a base de la penca de tuna, se da mecánicamente por medio de un dosificador, el cual debe ser conectado directamente a la corriente eléctrica.

Para regular el caudal que entra a la planta se tiene una llave de paso con la cual manualmente se debe aproximar al caudal deseado.

#### **4.3. Calidad del agua a tratar**

En cuanto a la calidad del agua cruda a tratar, esta debe contar principalmente con niveles altos (por encima de la NB 512) de turbidez, color, sólidos en suspensión.

#### **4.4. Características y ventajas**

- El agua cruda de pozo fue sometida a diversos procesos de potabilización como ser: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.
- El diseño de la planta es de tecnología convencional.
- La planta suministrada fue fabricada totalmente con metal hierro y revestimiento antioxidante el cual garantiza una larga vida útil sin presentar ningún tipo de corrosión y además permite observar el proceso de potabilización.

- El diseño de la planta es de tipo modular totalmente portátil y cada uno de las operaciones unitarias de potabilización es realizada en unidades independientes separadas físicamente una de otra, esto con el fin de facilitar el transporte y ubicación de los equipos constitutivos de la misma en diferentes sitios.
- Posee una altura suficiente para no tener equipos mecánicos intermedios, su construcción robusta y bien reforzada garantiza estabilidad y gran durabilidad, dentro de la planta se desarrollan todos los procesos de clarificación.
- El sistema de dosificación de los agentes coagulantes es programable de tal forma que cuando ingresa agua cruda a la planta se inicia la dosificación del coagulante determinado, e igualmente cuando se suspende el ingreso de agua se deja de dosificar el agente coagulante.

#### **4.5. Especificaciones de la Planta**

##### **4.5.1. Tanques de almacenamiento**

Estos tanques de color negro son ideales para bloquear los rayos del sol que podrían generar bacterias y algas en el agua, son bicapas, blanco por dentro y negro por fuera tienen un respirador y fabricados con polietileno el cual es aprobado para usos alimenticios, no produce olor ni sabor, 100 por ciento virgen, su capa blanca interior antiadherente actúa también como aislante térmico. La tapa rosca previene la entrada de suciedad, insectos, etc., evita que el viento la levante. Se cuenta con tres tanques de estas características, dos de capacidad de 2300 L, que servirán una como almacenamiento del agua cruda de pozo y la otra como almacenamiento del agua potable obtenida. Y se tiene otro tanque de 600 L que sirve para acumular el agua que sale del proceso de sedimentación y mediante una bomba se la envía al filtro.

Fotografía N° 46: tanques de almacenamiento de aguas de los procesos



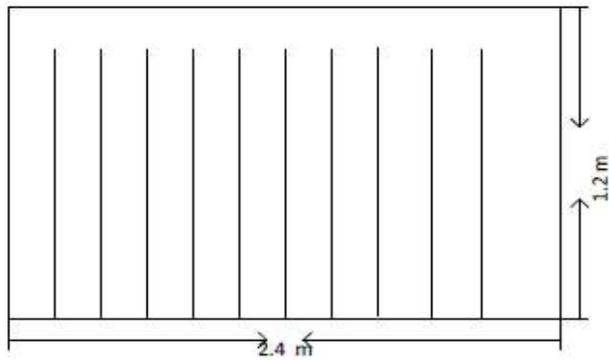
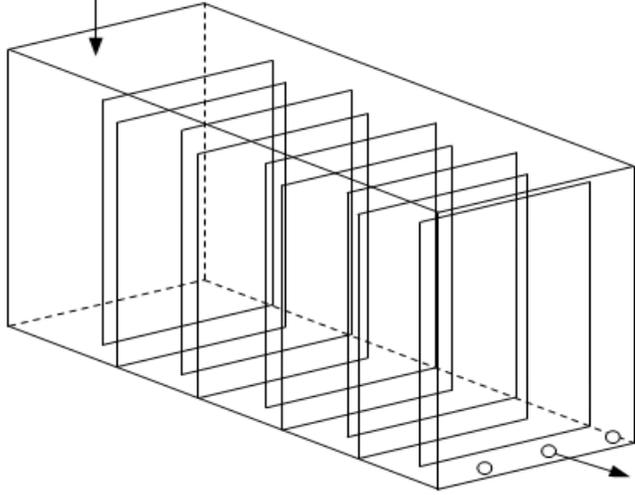
Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.2. Floculador Horizontal

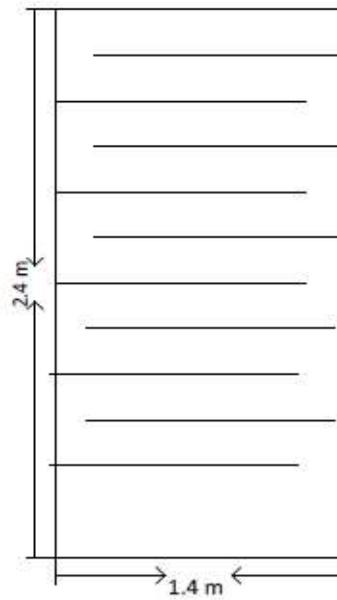
Fabricado en metal de hierro revestido de material antioxidante, de capacidad de 4000 L, el floculador sencillamente es un tanque que efectúa una mezcla suave y lenta, en un tiempo de retención prolongado, este floculador es de flujo libre del agua, que produce una ligera turbulencia que genera la mezcla, tiene una especie de canales por donde el agua realiza su recorrido que se los llama deflectores. Cuenta además con un agitador regulable que se encuentra al inicio del floculador con el objetivo de acelerar la mezcla.

### Esquema N° 3: Floculador

FLOCULADOR



VISTA LATERAL



VISTA DE ARRIBA

Fuente: Diseño a cargo del Lic. Leonardo Cárdenas

Fotografía N° 47: Floculador de flujo horizontal



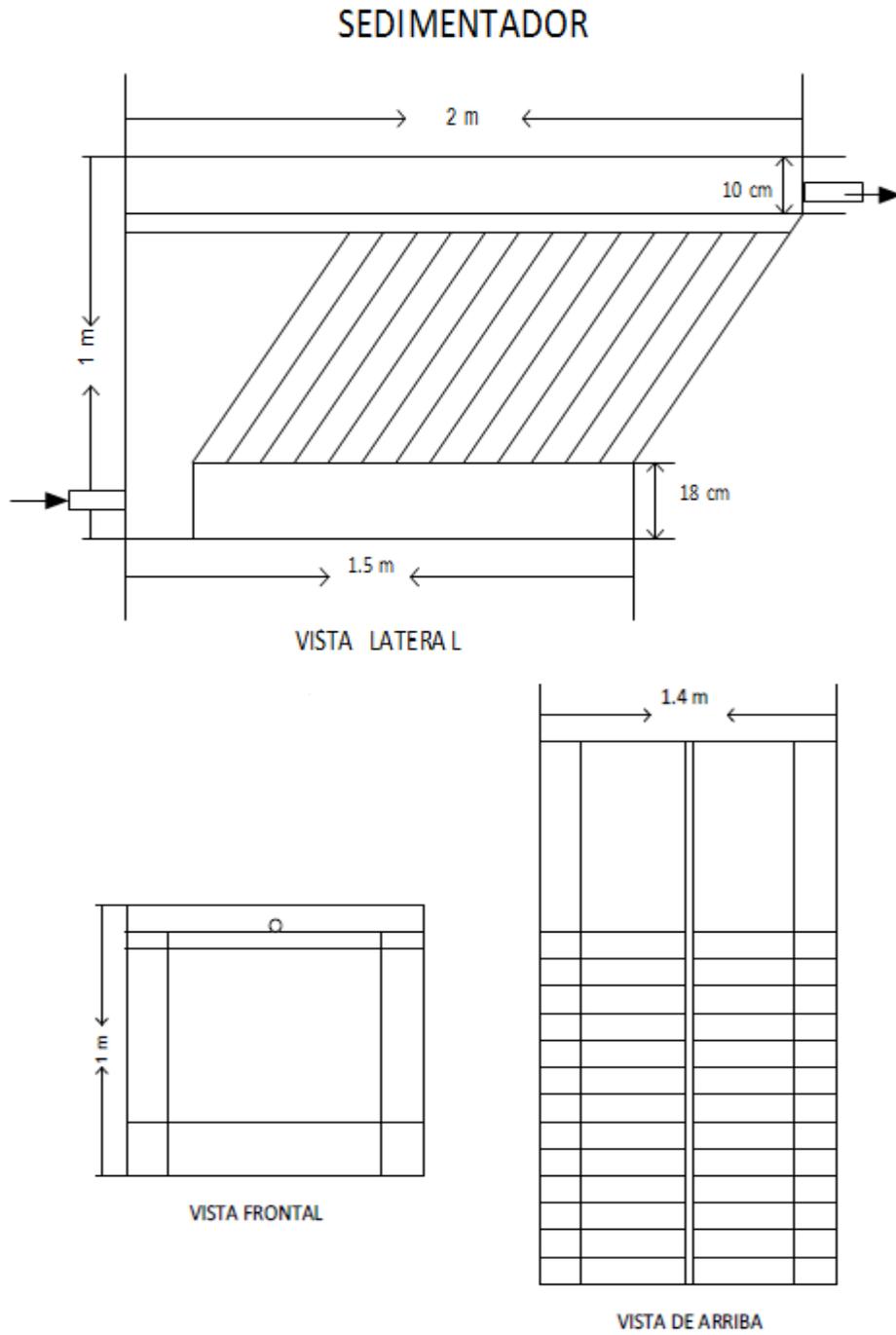
Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.3. Sedimentador

Para su construcción se contó con la asesoría del Licenciado Leonardo Cárdenas quien construyó el Sedimentador con material de Hierro, para luego recubrir con resina poliéster el cual es más resistente a los efectos corrosivos por acción del agua frente al hierro común ya que tiene un volumen casi aproximadamente 2000L.

Las 10 placas inclinadas paralelas con un ángulo de  $60^\circ$  separadas entre 10 cm está dentro del sedimentador sobre un soporte de 2 ranuras o también se conoce como deflectores, ya que están fabricadas con material de PVC (policloruro de vinilo), Una vez que el agua entre por la apertura del sedimentador con los sedimentos residuales que no han podido retenerse del floculador, el agua subirá lentamente ya que el objetivo de éste plano inclinado es que el sedimento por el proceso de adsorción se queda en las placas inclinadas y precipita y no puede subir a la abertura de la salida del sedimentador pero como son varias placas inclinadas, esto ayuda a sedimentar más rápido por esa razón se llama sedimentador rápido de placas planas inclinadas ver fig.N°12, por lo contrario se llegaría a construir un sedimentador de 20 m de longitud lo cual no conviene porque cada placa inclinada es de 1 m de longitud ayudando a sedimentar en un solo instante los sedimentos ya que éste dispositivo sirve para cambiar o desviar la dirección de la corriente del fluido.

Esquema N° 4: Sedimentador



Fuente: Diseño a cargo del Lic. Leonardo Cárdenas

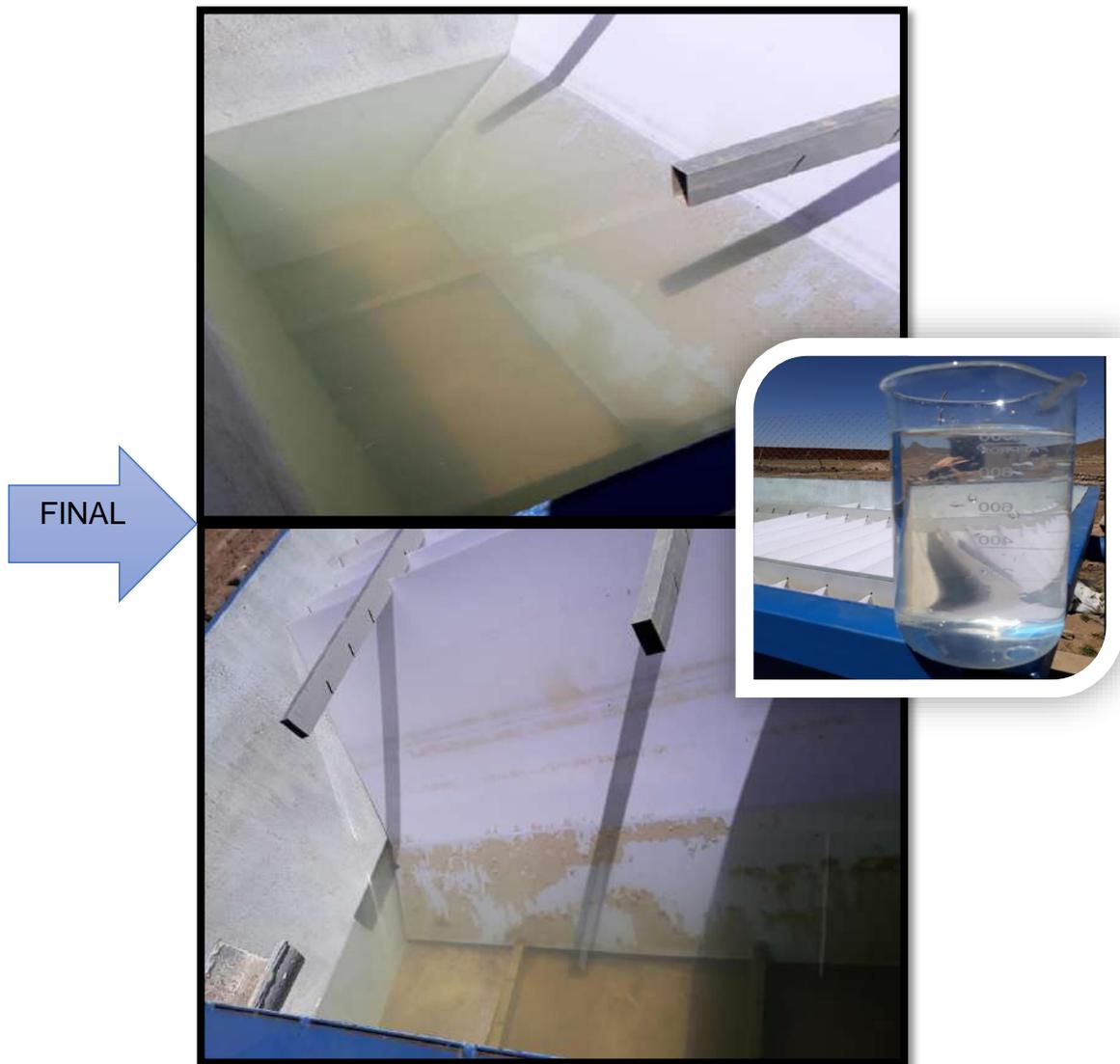
*Fotografía N° 48: Tanque del Sedimentador*



Fuente: Elaboración propia

*Fotografía N° 49: Tanque de Sedimentador y las placas inclinadas de PVC*





Fuente: Elaboración propia

En el Sedimentador se puede observar las partículas floculentas (flocs) ya sedimentadas durante 1 hrs como tiempo de sedimentación que sucede después del proceso de coagulación y floculación y también se puede apreciar que las partículas floculentas también son adsorbidas sobre las placas inclinadas (deflectores) ya que ayuda a sedimentar rápidamente en un tiempo determinado.

#### **4.5.4. Filtro de Arena**

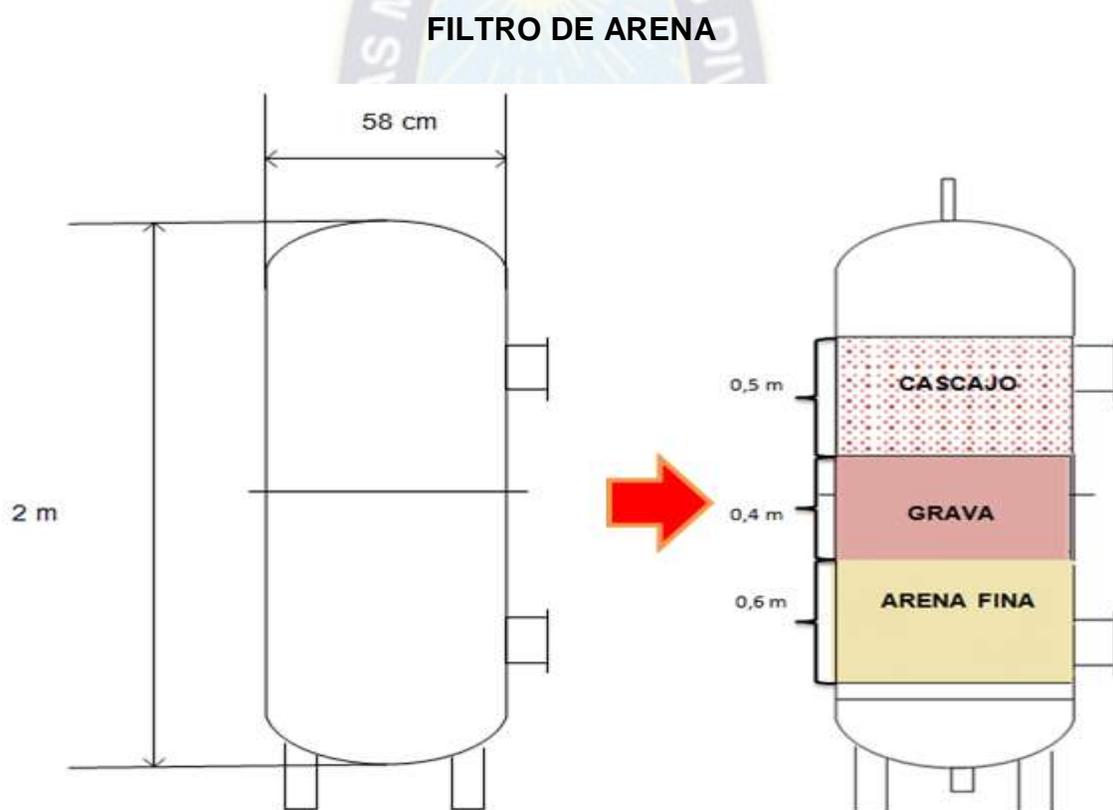
Una vez lleno el tanque de agua tratada, es bombeada por una bomba de agua hacia el filtro de arena que fue construido por el experto Licenciado Leonardo Cárdenas, este filtro de arena está recubierto con resina poliéster el cual es más resistente a los efectos corrosivos por acción del agua frente al hierro común que está fabricada el

filtro de arena y además que es desmontable para la limpieza de los filtros cuando se encuentre totalmente saturado de impurezas.

Los flóculos restantes que aún persisten, se separan mediante filtración.

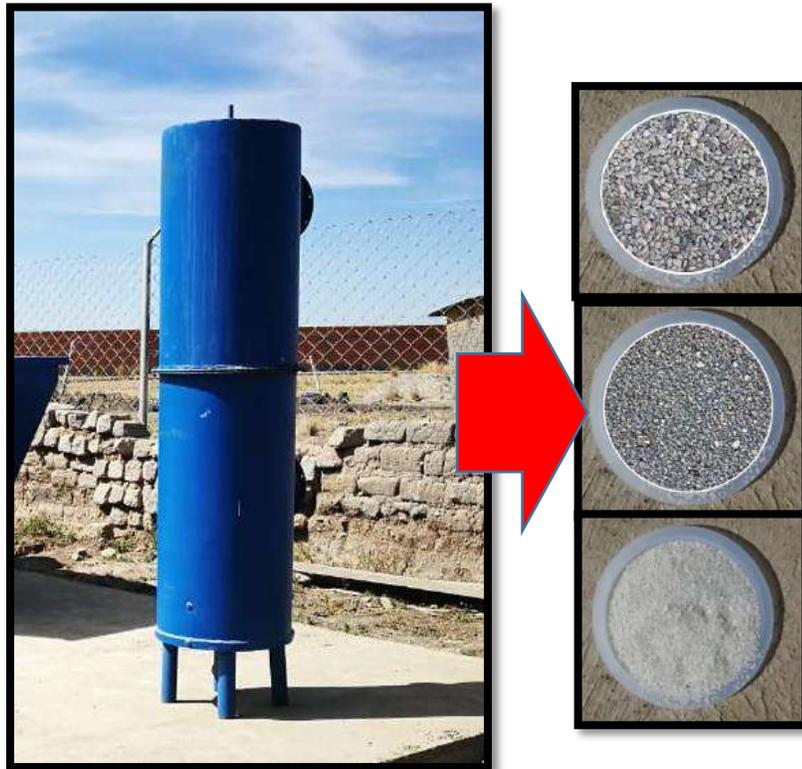
Para el proceso de filtración se utilizaron filtros de cascajo, grava y arena blanquecina, colocada en orden de lo más gruesos a los más finos, este tipo de filtro según el medio filtrante, velocidad de filtración y el sentido del flujo es un **filtro mixto**, rápido de forma descendente pero con más detalle se encuentra en la Tabla N°13.

Esquema N° 5: Filtro de arena



Fuente: Diseño a cargo del Lic. Leonardo Cárdenas

*Fotografía N° 50: Filtro de arena*



Fuente: Elaboración propia

*Fotografía N° 51: Agua tratada del filtro de arena*



Fuente: Elaboración propia

En la anterior fotografía, se observa que el agua ya se encuentra clarificada, con una turbiedad baja que se encuentra dentro de la norma establecida, luego se procedió a efectuar el proceso de desinfección, a una dosis de 5 ppm de concentración de cloro para el tanque del depósito de agua potable de 2300L de capacidad, con el objetivo de eliminar las bacterias que pueda tener y así obtener agua purificada libre de microorganismos, color y turbidez y sea apta para consumo humano.

#### **4.6. Descripción del Funcionamiento**

El agua cruda ingresa a la planta de tratamiento regulada y controlada por la llave de paso instalada a la salida del tanque de almacenamiento del agua cruda, además, cuenta con una tubería de acceso instaladas después de la llave de paso que desemboca en el tanque del floculador.

Al llegar el agua cruda al floculador, se aplica el coagulante con el dosificador mecánico, el cual se ubica al lado del ingreso del agua cruda, de allí el agua hace el recorrido en el floculador de tipo horizontal, el cual hará su recorrido, para luego pasar por un tubo de PVC y empezar su ascenso por el sedimentador de placas planas el cual cuenta con un sistema de tolva de lodos y tubería de desagüe. La salida del sedimentador se hace a través de una tubería perforada que permitió el paso del caudal hacia un tanque de 600 L de ahí con ayuda de una bomba el agua fue enviada al filtro, el cual posee 3 lechos filtrantes de arena, grava y cascajo.

##### **4.6.1. Sistema de Tratamiento**

Capacidad de la planta: 0.2 litros por segundo.

Tiempo de retención total: 90 minutos.

Fuente de agua: Agua de pozo.

Tipo de planta: Planta de potabilización convencional.

Tecnología empleada: Floculador y sedimentador de alta tasa.

Tipo de Flujo: Flujo horizontal.

Operaciones ejecutadas: mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

Material de Fabricación: Hierro revestido con resina poliéster

Espesor de lámina: Espesor variable.

Procedimiento de Operación: Requiere de operario.

Proceso de dosificación: Dosificador mecánico.

Volumen efectivo de la Planta: 2300 litros

Calidad de agua cruda: Turbiedad – Color - Sólidos totales - pH

Temperatura: Ambiente.

Ancho aprox. planta: 3.00 mts.

Largo aprox.: 10.0 mts.

Altura aprox.: 1.90 mts.

#### **4.7. Aplicación del Coagulante Natural (Penca de tuna a base de pulpa)**

Se aplicó como coagulante, un coagulante natural a base de la penca de tuna en una concentración del 1%, esta se la diluyó en agua y para calcular la dosis debemos realizar un ensayo de prueba de jarras para determinar la dosis óptima y escalar la dosis para la planta piloto. La solución coagulante, se mezcla con el agua cruda proveniente del tanque de inicio a una velocidad de 0,2 L/seg. La concentración del coagulante con el agua cruda debe ser similar a la concentración de la prueba de jarras encontrada. Esta mezcla se deposita en el floculador, para la formación de los flocs.

#### 4.8. Puesta en Marcha

Para la puesta en marcha de la Planta Piloto primeramente empezamos con la recolección del agua de pozo en el sector denominado Sekejahuira, que se encuentra a 15 minutos de recorrido en movilidad de la planta piloto que queda ubicada en Viacha, zona Santa Bárbara. El agua se la recolectó en un carro cisterna de capacidad de 10.000 L, se pidió al dueño realizar la limpieza previa a la recolección para evitar contaminación de otro tipo. Se recomienda tratar aguas por encima de los 5 NTU de turbiedad, el agua recolectada para el tratamiento de agua tenía 25,3 NTU de turbiedad inicial.

*Fotografía N° 52: Recolección de agua de pozo en el carro cisterna*



Fuente: Elaboración propia

Una vez recolectada el agua cruda de pozo en el carro cisterna, se la llevo a la planta piloto convencional de tratamiento de aguas instalada en la zona Santa Bárbara y se realizó un suministro continuo del agua de pozo al tanque de almacenamiento de 2300L.

Después del suministro de agua en el tanque realizamos la verificación de que todas las estructuras estén debidamente conectadas.

Revisamos la instalación eléctrica y prendemos la bomba del agitador que está regulado a 100 rpm y el dosificador del coagulante natural lo regulamos a una dosis

de 0,0252 Kg/h, para un caudal de agua de 0.72 m<sup>3</sup>/h (ver ANEXO 8). El agitador y dosificador se encuentran instalados a la entrada del *FLOCULADOR*.

*Fotografía N° 53: dosificador del coagulante*



Fuente: Elaboración propia

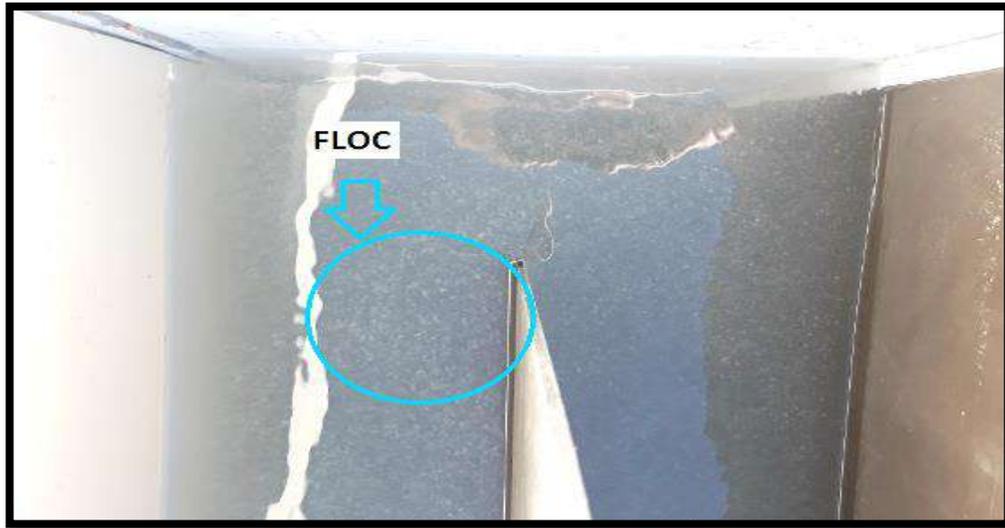
*Fotografía N° 54: dosificación en el floculador*



Fuente: Elaboración propia

Una vez iniciado el primer proceso en el Floculador, el agua cruda se va mezclando con el coagulante y sigue un recorrido por los canales donde se ve la formación de flóculos pequeños.

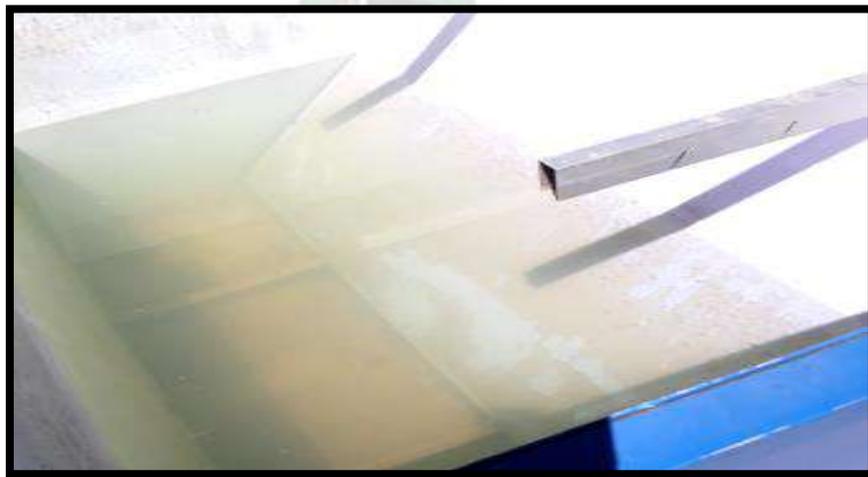
*Fotografía N° 55: formación de los flocs*



Fuente: Elaboración propia

El agua del proceso de floculación se pasa al proceso de Sedimentación con un caudal de  $0,72 \text{ m}^3/\text{h}$ , donde los flocs formados sedimentan por gravedad y su turbidez de salida del sedimentador es de  $7,12 \text{ NTU}$ .

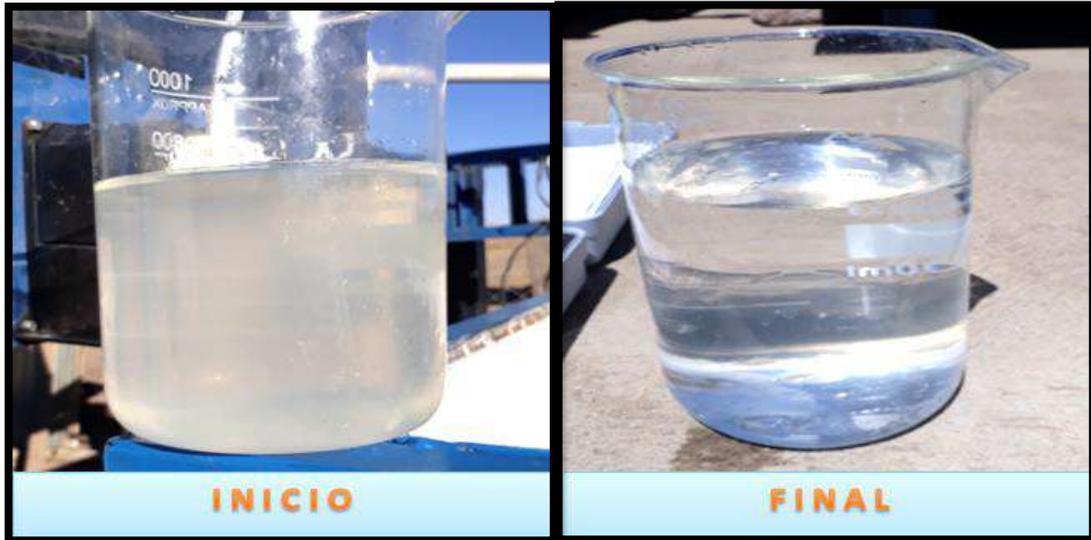
*Fotografía N° 56: Sedimentación de los flocs formados*



Fuente: Elaboración propia

El agua sedimentada se pasa a un tanque de 600 L y de ahí con ayuda de una bomba se envía a la entrada de filtro de arena con un caudal de entrada y salida de 0,6 m<sup>3</sup>/h.

*Fotografía N° 57: turbiedad inicial y final del tratamiento de agua de pozo*

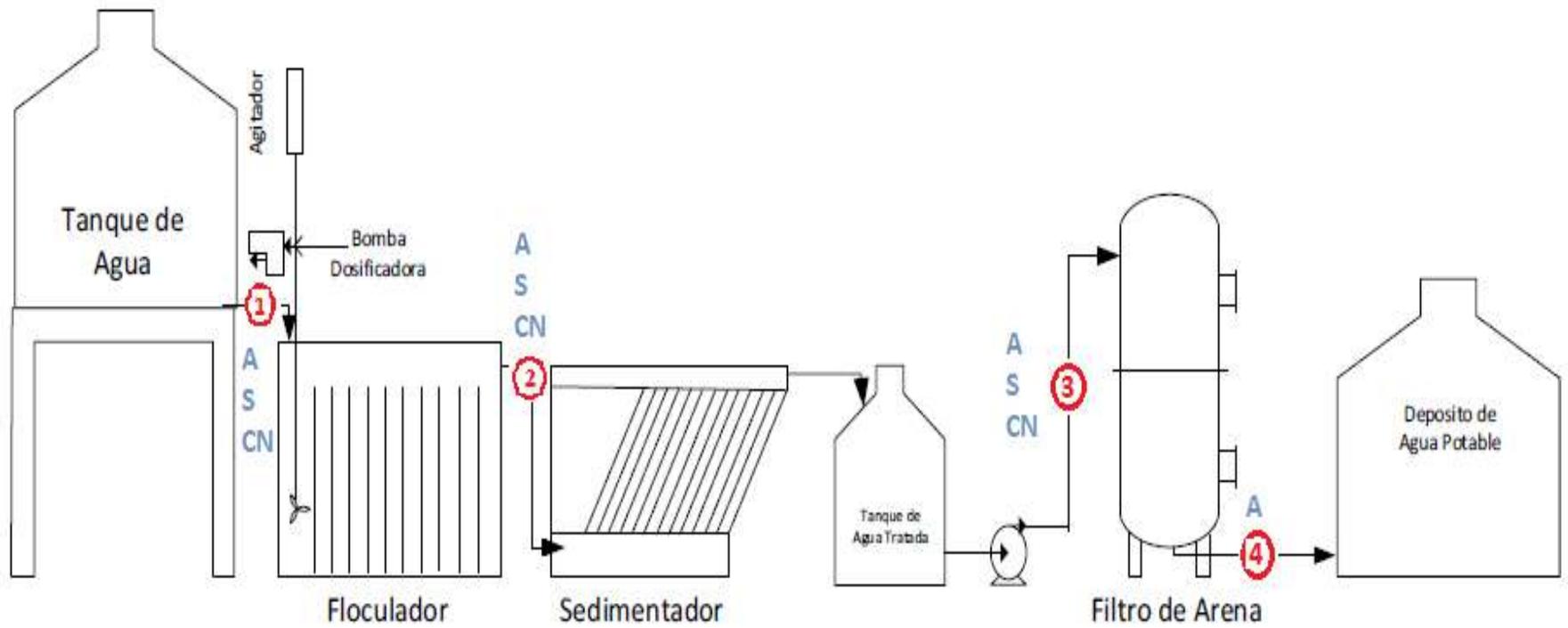


Fuente: Elaboración propia

#### **4.9. Balance de Materia y energía de la Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Aguas de la Localidad de Viacha.**

##### **4.9.1. Balance de Materia de la Planta Piloto convencional de Tratamiento de Aguas**

Esquema N° 6: Corriente y Componentes de la Planta Piloto Convencional de Agua en la Localidad de Viacha



**A= AGUA**  
**S= SOLIDOS**  
**CN= COAGULANTE NATURAL**

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 84: Balance de Materia de la Planta Piloto Convencional de Agua en la Localidad de Viacha

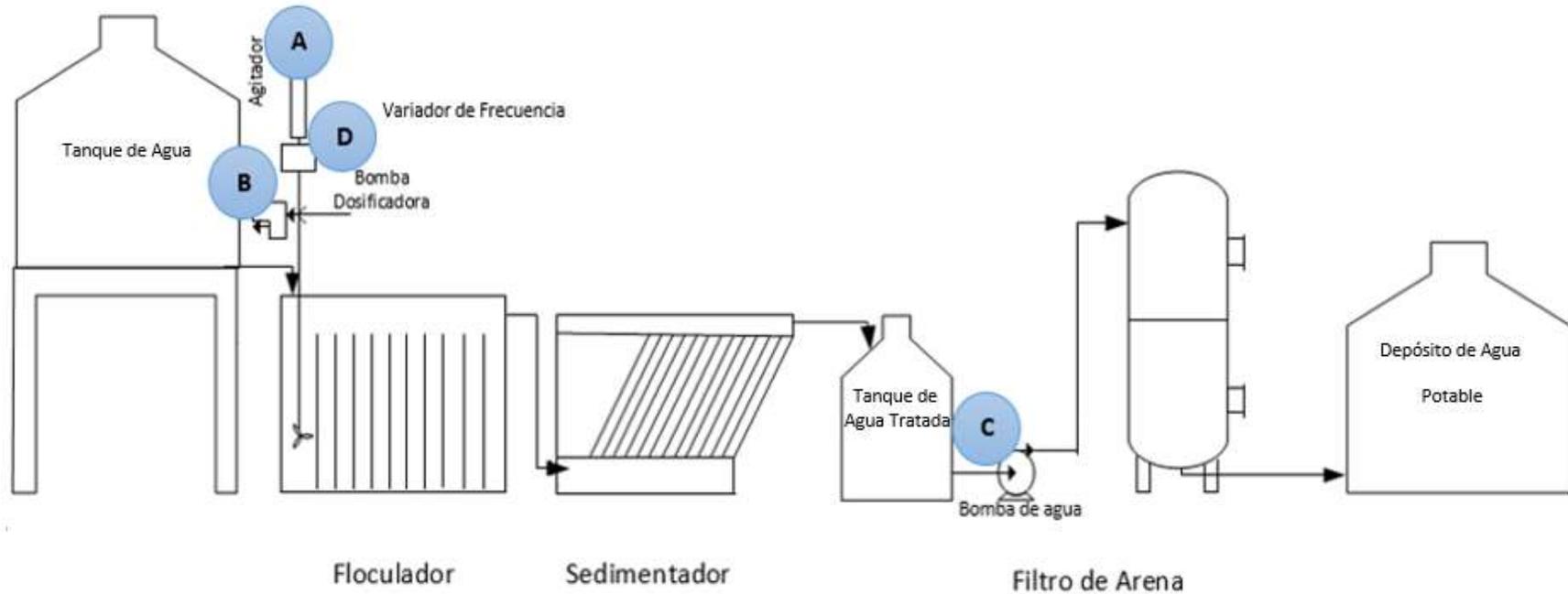
Nº de Corriente	1		2		3		4	
<b>Descripción</b>	<b>Entrada de agua de pozo y coagulante al floculador</b>		<b>Entrada del agua y del coagulante al sedimentador</b>		<b>Entrada del agua y del coagulante al Filtro de Arena</b>		<b>Entrada de agua filtrada al tanque de almacenamiento</b>	
Fase	Liquido		Liquido		Liquido		Liquido	
Turbidez (NTU)	25,3		22,8		7,12		2,68	
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	0,72		0,72		0,60		0,60	
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	1018,50		1018,50		1017,80		1015,30	
<b>Composición</b>	<b>Kg/h</b>	<b>%peso</b>	<b>Kg/h</b>	<b>%peso</b>	<b>Kg/h</b>	<b>%peso</b>	<b>Kg/h</b>	<b>%peso</b>
Agua	718,56	99,797	718,56	99,797	599,62	99,936	600,00	100,00
Solidos	1,44	0,200	1,44	0,200	0,38	0,063	0,00	0,00
Coagulante Natural (penca de tuna)	0,02	0,003	0,02	0,003	0,0044	0,0007	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>720,02</b>	<b>100,00</b>	<b>720,02</b>	<b>100,00</b>	<b>600,00</b>	<b>100,00</b>	<b>600,00</b>	<b>100,00</b>

Fuente: Elaboración propia

La tabla del Balance de Materia describe las cantidades de masa y porcentajes de los componentes involucrados en el tratamiento de aguas en cada proceso, esto para un flujo inicial de 0,72 m<sup>3</sup>/h.

#### 4.9.2. Balance de Energía en función a equipos eléctricos empleados en la planta piloto convencional de tratamiento de agua

Esquema N° 7 : Componentes de la Planta Piloto Convencional de Agua en la Localidad de Viacha



Fuente: Elaboración propia

- A = Motor del Agitador
- B = Bomba dosificadora
- C = Bomba de agua
- D = Variador de Frecuencia

Tabla N° 85: Balance de Energía de la Planta Piloto Convencional de Agua en la Localidad de Viacha

CÓDIGO	CANTIDAD	EQUIPOS	ESPECIFICACIONES	ENERGÍA CONSUMIDA EN (1) HORA (Kwh)	ENERGÍA CONSUMIDA EN (8) HORAS (Kwh/día)	ENERGÍA CONSUMIDA EN (26) DÍAS (Kwh/mes)
<b>A</b>	1	Motor del Agitador de Acero Inoxidable	Marca = IMER 3/4 HP; 50 Hz; 220 V	0,56	4,476	116,376
<b>B</b>	1	Bomba Dosificadora	Marca = BL10 200 w; 50 Hz; 220 V	0,20	1,600	41,600
<b>C</b>	1	Bomba de agua HP	Marca = SPERONI Modelo = CM27 3/4 HP; 50 Hz; 220 V	0,56	4,476	116,376
<b>D</b>	1	Variador de Frecuencia	Marca = INVT Modelo = CHE100 - OR7G - S2 0,75 Kw; 50 Hz; 220 V	0,75	6,000	156,000
<b>CONSUMO DE ENERGÍA TOTAL</b>				<b>2,07</b>	<b>16,552</b>	<b>430,352</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.10. Estructura Organizacional de la Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Aguas.

La Planta Piloto Convencional de Agua tiene una estructura organizacional con la finalidad de establecer las funciones y responsabilidades que han de desarrollar los miembros de la organización, para ejecutar sus actividades laborales de forma eficiente y eficaz.

Gráfica N° 30: Estructura Organizacional de la Planta Piloto Convencional



Fuente: Elaboración propia

#### 4.11. Actividades de mantenimiento y operación en la Planta piloto Convencional de agua potable

Las actividades de mantenimiento y operación tienen como finalidad facilitar cada uno de los procesos en la planta piloto de tratamiento de agua desde su captación hasta el almacenamiento, mostrando de forma simple las definiciones y responsabilidades en la operación y mantenimiento preventivo y correctivo.

- a. **Mantenimiento:** Se refiere a las acciones que se deben realizar en las estructuras y equipos con el fin de prevenir o, reparar daños. (UNATSABAR, 2005)

- b. Mantenimiento Correctivo:** Acciones que se realizaban para reparar daños que se producen por efectos del deterioro o mal funcionamiento de un sistema y que no ha sido posible evitar con el mantenimiento preventivo. (UNATSABAR, 2005)
- c. Mantenimiento Preventivo:** Serie de acciones que se realizan para la conservación de las instalaciones y equipos para evitar fallas en su funcionamiento. (UNATSABAR, 2005)
- d. Operación:** Es la acción de hacer funcionar correctamente las obras del sistema de abastecimiento de agua. (UNATSABAR, 2005)
- e. Operador:** Persona calificada y responsable de la operación y el mantenimiento de las instalaciones del sistema. (UNATSABAR, 2005)

Para asegurar una adecuada operación de la planta y prolongar la vida útil de los equipos, recomendamos realizar el mantenimiento que se describe a continuación

#### **4.11.1. Manuales de Operación y Mantenimiento**

##### *4.11.1.1. Tanque de Almacenamiento de agua cruda*

- ✓ Evitar a toda costa que ingresen elementos extraños como hojas, palos o cualquier residuo presente, para evitar daños en la bomba de agua.
- ✓ Limpiar el tanque de almacenamiento cada semana.
- ✓ Verificar el funcionamiento de la válvula y lubricarla, de ser necesario.
- ✓ Tener en cuenta los cambios en la calidad del agua cruda, especialmente relacionados con el caudal, la turbiedad y los sedimentos de gran tamaño.
- ✓ Interrumpir el servicio cuando el agua esté muy turbia o tenga mucho lodo y avisar al operador de planta sobre esta situación.
- ✓ Detectar fugas, filtraciones y roturas y repararlas de inmediato. Recuerde que las fugas producen exceso de humedad en el suelo, lo que a su vez puede provocar derrumbes o asentamientos del terreno alrededor de las tuberías.

#### 4.11.1.2. Floculador

- ✓ Tomar el caudal de entrada y la dosis óptima de coagulante obtenida mediante la prueba de jarras ajustando el dosificador, se aplica esta, al inicio del floculador para empezar la mezcla rápida. Ya que nunca debe operarse la planta sin tener los insumos necesarios de coagulante y cloro.
- ✓ Comprobar el estado de funcionamiento del equipo dosificador.
- ✓ Cada día se debe limpiar manualmente la bomba dosificadora de coagulante, tanto en líneas de succión como de descarga y sus respectivas mangueras.
- ✓ Activar el equipo dosificador.
- ✓ Regular el motor del Agitador  $\frac{3}{4}$  HP a 100 rpm, mediante un variador de frecuencia.
- ✓ Verificar que no existan obstrucciones en la tubería que conduce la solución de coagulante hasta la mezcla rápida.
- ✓ Verificar que se disuelva completamente la dosis del coagulante natural (penca de tuna).
- ✓ Apagar el equipo de dosificación cuando se haya aplicado totalmente la dosis óptima.
- ✓ Cada mes se debe hacer mantenimiento y lubricación a la bomba dosificadora.
- ✓ El operador de planta debe utilizar los elementos de protección personal.
- ✓ Identificar si existen daños en la estructura e informarlos al Director.
- ✓ Lavar la unidad (floculador) cuando sea necesario, se debe programar ya que afecta la operación de la planta de tratamiento de agua potable.
- ✓ Para el lavado de la unidad, abrir la válvula de entrada y desaguar.

#### 4.11.1.3. Sedimentador

- ✓ Inspeccionar que el sedimentador este removiendo el 90% o más de la turbiedad que ingresa.

- ✓ Vigilar constantemente que no exista la Fermentación de lodos.
- ✓ Revisar si existen daños en la estructura e informarlos de manera inmediata.
- ✓ Para realizar el lavado de la unidad de sedimentación se debe programar con anterioridad y preferiblemente en época de verano.
- ✓ El lavado se inicia deteniendo el funcionamiento total de la planta de tratamiento de agua potable, luego abriendo la válvula de entrada. Posteriormente cuando la unidad este completamente vacía, iniciar con la zona depósito de lodos y revisar canal de desagüe, empezando con el lavado usando agua a media presión de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo.
- ✓ Cerrar válvulas una vez terminado el lavado.

#### 4.11.1.4. Filtro de Arena

- ✓ Inspeccionar la máxima remoción en la unidad de sedimentación.
- ✓ Disponer el volumen de agua necesario para el lavado de los filtros.
- ✓ Verificar el estado de las tres capas que hacen parte de los filtros.
- ✓ Inspeccionar visualmente sobre posibles escombros sobre el lecho filtrante.
- ✓ Verificar que la línea de conducción hacia el tanque de almacenamiento se encuentre libre de obstáculos.
- ✓ Cada mes se debe cambiar la totalidad de la arena de los filtros y lavar la grava.
- ✓ Registrar la fecha y hora cuando se realiza el lavado del filtro.
- ✓ Determinar el caudal empleado.
- ✓ Informar al director de Medio Ambiente de la Planta de tratamiento de agua potable cuando se encuentre daños o anomalías.
- ✓ Verificar que las válvulas estén funcionando en forma adecuada.
- ✓ Lavar los filtros cada semana o cuando sea necesario en contracorriente al flujo.
- ✓ Medir del caudal del agua filtrada.
- ✓ Controlar la Turbiedad del efluente.

#### 4.11.1.5. Depósito de agua potable

- ✓ Controlar la cantidad de cloro residual necesaria para asegurar la desinfección del agua tratada.
- ✓ Verificar el estado y funcionamiento del tanque de almacenamiento.
- ✓ Registrar la cantidad de cloro suministrada y la concentración de cloro residual en el tanque de almacenamiento.
- ✓ Inspeccionar visualmente para identificar que no exista presencia de material extraño, fugas o daños en el tanque de almacenamiento.
- ✓ Revisar el funcionamiento de las válvulas.
- ✓ Limpiar el área circundante y eliminar cualquier foco de suciedad o contaminación.
- ✓ Revisar si existen fugas o grietas en el tanque y repararlas.
- ✓ Limpiar periódicamente el interior del tanque. La frecuencia depende de la calidad del agua y de las condiciones del ambiente. Esta limpieza debe efectuarse con espátula y cepillo, eliminando con cuidado toda suciedad del piso y de las paredes; lavar el interior del tanque sin usar jabón.
- ✓ Revisar si el tanque tiene sedimentos, en caso de ser así, realice la respectiva limpieza.
- ✓ Las válvulas de entrada, salida, desagüe y de paso directo deben cuidarse de la corrosión. Por lo tanto, periódicamente se las debe proteger con pintura anticorrosiva y lubricarlas cuando se requiera.
- ✓ Programar la limpieza del tanque de tal forma que no afecte la producción de agua.

Por seguridad los fines de semana se puede desocupar completamente la estructura para evitar cualquier daño.

A continuación, se describen las actividades de mantenimiento y operación identificando el tiempo, responsable y herramientas.

Tabla N° 86: Actividades de Mantenimiento y operación de la Planta piloto Convencional para el tratamiento de agua potable en la localidad de Viacha

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN					
ESTRUCTURA	Actividades diarias	Actividades periódicas (cada 15 días)	Actividades eventuales (Mensual)	Responsable	Herramientas, equipos e insumos
Tanque de almacenamiento de Agua cruda	Evitar el ingreso de cualquier residuo presente.			Operador de la planta	Registro de la información en libros, bitácoras o formularios.
	Inspección visual	Efectuar semanalmente la limpieza del Tanque o cuando sea necesario	Verificar la presencia de algas, musgos y organismos vivos en el interior del tanque y retírelos.	Auxiliar	Herramienta (cepillos metálicos)
	Operación y el manejo de válvulas con su respectivo mantenimiento oportuno y adecuado.			Operador de la planta	Registro de la información en libros, bitácoras o formularios.
	Revisar la tubería para detectar fugas y daños.			Operador de la planta	Accesorios, (codos, válvulas, uniones)
Floculador	Revisión de estado físico y de funcionamiento (Caudal)			Operador de la planta	Registro de la información
	Limpiar manualmente la bomba dosificadora de coagulante	Efectuar semanalmente la limpieza del Tanque o cuando sea necesario	Verificar la presencia de algas, musgos y organismos vivos en el interior del tanque y retírelos.	Auxiliar	Herramienta (cepillos metálicos)
	Regular el motor del Agitador 3/4 HP a 100 rpm, mediante un variador de frecuencia de 1 HP		Hacer el mantenimiento y lubricación a la bomba dosificadora	Operador de la planta	Registro de la información en libros, bitácoras o formularios.
	Revisar la tubería para detectar fugas y daños.			Operador de la planta	Accesorios, (codos, válvulas, uniones)

Fuente: Elaboración propia

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN					
ESTRUCTURA	Actividades diarias	Actividades periódicas (cada 15 días)	Actividades eventuales (Mensual)	Responsable	Herramientas, equipos e insumos
Sedimentador	Inspección visual y movimiento de las válvulas	Revisión del estado físico y del funcionamiento (caudal, volumen de agua, rebose, fugas, etc.)		Operador de la planta	Registro de la información en libros, bitácoras o formularios.
		Limpieza de la estructura (interna, externa).	Verificar la presencia de algas, musgos y organismos vivos en el interior del tanque y retírelos.	Operador de la planta	Herramienta (cepillos metálicos)
			Pintar con resina poliéster los tanques o cuando sea necesario	Operador de la planta	Herramienta (cepillos metálicos)
	Revisar la tubería para detectar fugas y daños.			Operador de la planta	Accesorios, (codos, válvulas, uniones)
Filtro de Arena	Inspección visual y movimiento de las válvulas			Operador de la planta	Registro de la información en libros, bitácoras o formularios.
		Limpieza de la estructura (interna, externa).	Cambiar la totalidad del lecho filtrante	Operador de la planta	Herramienta (cepillos metálicos)
			Pintura y lubricación de los accesorios (Bomba de agua)	Operador de la planta	Herramienta (cepillos metálicos)
	Revisar la tubería para detectar fugas y daños.		Revisar la estructura para encontrar fugas, daños o deterioro del conjunto.	Operador de la planta	Accesorios, (codos, válvulas, uniones)
Deposito de agua potable	Asegurar que la concentración de cloro debe estar comprendido entre 0,2 y 1,0 mg/L. en el proceso de desinfección			Operador de la planta	Registro de la información en libros, bitácoras o formularios.
	Limpieza de la estructura (interna, externa).	Revisar la estructura para encontrar fugas, daños o deterioro del conjunto.	Pintura y lubricación de los accesorios.	Operador de la planta	Herramienta (cepillos metálicos) Pintura anticorrosiva, brocha, Balde.
	Revise que la tapa del Tanque del depósito del agua potable esté bien cerrada y asegurada.			Operador de la planta	Registro de la información en libros, bitácoras o formularios.
	Revisar la tubería para detectar fugas y daños.			Operador de la planta	Accesorios, (codos, válvulas, uniones)

Fuente: Elaboración propia

#### 4.12. Control de calidad del agua en la planta piloto convencional de tratamiento de agua potable.

En atención a la Norma Boliviana NB 512, los parámetros de control de calidad del agua para consumo humano que se deben realizar, se agrupan de acuerdo a su factibilidad técnica y económica en los siguientes grupos: Control Mínimo, Control Básico, Control Complementario y Control Especial, este último no lo tomaremos en cuenta ya que el agua es de pozo y no residual.

A continuación mostramos la frecuencia de muestreos, para el control de calidad del agua potable de la planta piloto convencional:

*Tabla N° 87: Muestreo Diario para el Control Mínimo de la calidad del agua*

CONTROL	TIPO DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	FECHA										VALOR GUÍA NB-512
			DÍA: 1		DÍA: 2		DÍA: 3		DÍA: 4		DÍA: 5		
			ENTRADA agua cruda	SALIDA agua potable									
M Í N I M O	Control Físico - químico	Temperatura	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		pH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	6,5- 9
		Conductividad	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1500
		Turbiedad	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	5

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 88: Muestreo Trimestral para el Control básico y complementario de la calidad del agua

CONTROL	TIPO DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	FECHA								VALOR GUÍA NB - 512
			1° Trimestre		2° Trimestre		3° Trimestre		4° Trimestre		
			ENTRADA agua cruda	SALIDA agua potable							
BÁSICO	Control Químico	Alcalinidad	X	X	X	X	X	X	X	X	370
		Dureza	X	X	X	X	X	X	X	X	500
		Cloruros	X	X	X	X	X	X	X	X	250
		Acidez	X	X	X	X	X	X	X	X	50
		Sulfatos	X	X	X	X	X	X	X	X	400
		Nitratos	X	X	X	X	X	X	X	X	45
COMPLEMENTARIO	Control Químico	Sodio	X	X	X	X	X	X	X	X	200
		Hierro	X	X	X	X	X	X	X	X	0,3
		Cobre	X	X	X	X	X	X	X	X	1
		Zinc	X	X	X	X	X	X	X	X	5
		Plomo	X	X	X	X	X	X	X	X	0,01
		Manganeso	X	X	X	X	X	X	X	X	0,1
COMPLEMENTARIO	Control Microbiológico	Coliformes totales/NMP	X	X	X	X	X	X	X	X	<2
		Coliformes totales/MRP	X	X	X	X	X	X	X	X	AUSENCIA

Fuente: Elaboración propia

#### 4.13. Aspecto Económico de la Planta Piloto

La Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Aguas, implementada en la localidad de Viacha, fue financiada gracias a la **Cooperación Suiza (COSUDE)** que en coordinación del Proyecto de Investigación Aplicada para la Adaptación al Cambio Climático (**PIA-ACC**) y **AGRUCO**, la cual es la encargada de la coordinación de los proyectos adjuntos y su desembolso.

A continuación se muestra el monto económico gastado en la construcción de la Planta Piloto Convencional:

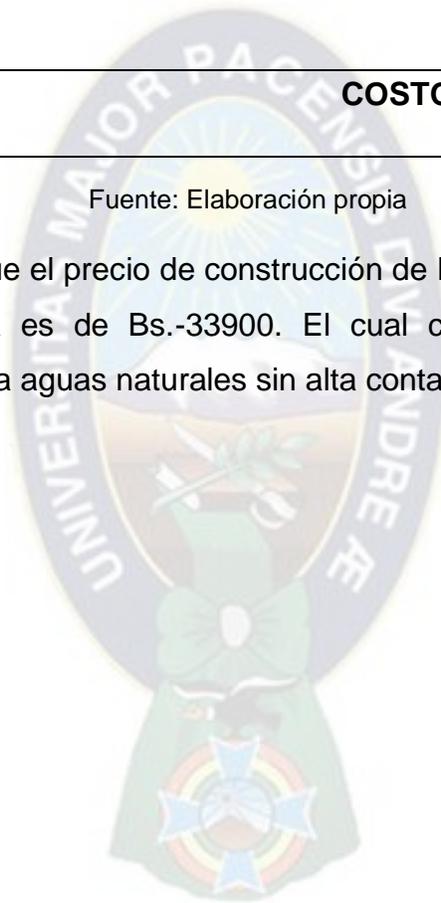
Tabla N° 89: Costos de la Planta Piloto

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN EQUIPOS Y/O MATERIALES	PRECIO Bs.-
2	Tanques de Agua de Polietileno de 2300 L de cap.	6000
1	Una estructura metálica (Soporte del Tanque)	1400
1	Agitador de Acero Inoxidable	2200
2	Bombas Dosificadoras	5200
1	Bomba de Agua HP	2300
1	Vaciado de Piso de Cemento	3500
1	<p><b>Floculador:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 Piezas Planchas de acero al carbón 2x1 m x 3 mm</li> <li>- 20 kilos Electrodo para soldadura 1/8 y 5/16 pulg.</li> <li>- 4 Piezas Esmeril de corte 18 cm diámetro</li> <li>- metros de lijas para hierro</li> <li>- 5 Litros Resina Poliester antioxidante</li> <li>- 4 litros Pintura</li> <li>- metros Tuberia de hierro de 2 pulg diámetro</li> <li>- 10 Piezas Planchas de Aluminio con soporte de PVC 2,60 x 1,20 m x 5 mm</li> </ul>	4800
1	<p><b>Sedimentador:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 7 Piezas Planchas de acero al carbón 2x1 m x 3 mm</li> <li>- 10 piezas planchas de acrílico 1,80 m X 1.20 X 3 mm</li> <li>- Trazado dimensionamiento corte de sedimentador.</li> <li>- Ensamblado soldadura sedimentador</li> <li>- Pulido y pintado</li> <li>- Dimensionamiento y corte de láminas de acrílico</li> <li>- Colocado de láminas del sedimentador</li> </ul>	4500

1	<b>Filtro de Arena:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grava</li> <li>- Cascajo</li> <li>- Arena fina de cuarzo</li> <li>- Pernos y tuercas para sujetar bridas</li> <li>- 5 Piezas Planchas de acero al carbón 2x1 m x 3 mm</li>   <li>- Ensamblado soldadura filtro de arena</li> <li>- Pulido y pintado</li> </ul>	4000
	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>33900</b>

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°89 se ve que el precio de construcción de la Planta Piloto Convencional de tratamiento de agua es de Bs.-33900. El cual cuenta con un sistema de tratamiento completo para aguas naturales sin alta contaminación.



#### 4.13.1. Costos de operación de la Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Aguas.

Tabla N° 90: Costo de operación de la planta piloto convencional de tratamiento de aguas.

COSTO DE OPERACIÓN PARA UN CAUDAL DE 0,720 m <sup>3</sup> /h POR 7 HORAS DE TRABAJO					
ITEM	Especificaciones	PRECIO UNITARIO (Bs/h)	CANTIDAD DE HORAS	PRECIO TOTAL (Bs)	Observaciones
Motor para el traslado del agua de pozo de la fuente al tanque de acumulación	Gasto de energía eléctrica	0,45	1,5	0,675	Materia prima
Dosificador para el coagulante a base de penca	Gasto de energía eléctrica	0,16	7	1,12	Proceso de floculación
Coagulante a base de Penca de tuna		2,86	7	20,02	Coagulante a base de PULPA de penca de tuna
Motor y variador de frecuencia del agitador	Gasto de energía eléctrica	0,45	8	3,6	Proceso de floculación
Bomba para el flujo del tanque de acumulación del sedimentador hacia el filtro	Gasto de energía eléctrica	0,45	4	1,8	Proceso sedimentación - filtración.
Desinfección con Cloro		0,5	7	3,5	Desinfección
Mano de Obra	Operador	9,62	8	76,96	Planta en general
<b>COSTO DE OPERACIÓN TOTAL</b>				<b>107,675</b>	Costo total de 5,04 m <sup>3</sup>
<b>COSTO DE 1 m<sup>3</sup> DE AGUA TRATADA</b>				<b>21,36</b>	

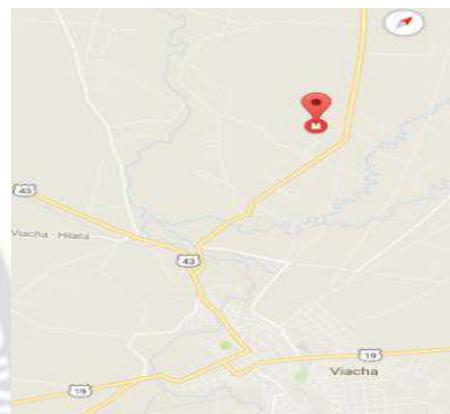
Fuente: Elaboración propia

Vemos en la Tabla N°90, que los costos más significativos son el precio del coagulante y la mano de obra, esto se debe a que el precio de obtención de 1 Kg del coagulante es costoso ya que si se obtiene cantidades mayores este bajaría. La mano de obra es el ítem más caro pero este vendría a estar a cargo de la Alcaldía Municipal de Viacha.

#### 4.14. Resultados Físico – Químicos, Químicos y Microbiológicos de la Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Aguas Aplicando un Coagulante Natural de la Penca de Tuna antes y después de su Tratamiento

##### MUESTREO “P-A<sub>7</sub>”:

En fecha 14 de Agosto de 2018 se efectuó el muestreo de aguas naturales de pozo del lugar Sekejahuira (final ladrilleras), ubicado en la localidad de VIACHA que se encuentra a 16.6224490 de latitud y -68.3214780 de longitud.



A continuación se reportan resultados del séptimo muestreo de aguas, como ser Físico - Químicos, Químicos y Microbiológicos y resultados del agua tratada con el coagulante natural Penca de tuna (Pulpa), así realizar la comparación correspondiente.

*Tabla N° 91: Resultados Físico-Químicos del Muestreo 7*

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	NORMA NB-512
Temperatura	°C	11	15	
Ph		7,26	6,69	6,5 - 9
Conductividad	µs	285,6	267,5	1500
Turbiedad	NTU	25,3	3,81	5

Fuente: Elaboración propia

Analizando los resultados del agua tratada utilizando el coagulante natural vemos que hubo un descenso en el pH y conductividad del agua con respecto al agua de pozo sin tratar, pero este descenso se encuentra dentro de los límites permitidos por la NB-512; pero se destaca que la turbidez después de realizar el proceso de coagulación con nuestro coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa),

presenta una disminución bastante significativa y favorable ya que el valor obtenido 3,81 NTU, entra dentro el rango aceptable de la NB-512 (5 NTU). Así confirmamos que utilizando el coagulante natural a base de penca de tuna podemos obtener resultados satisfactorios y no tóxicos.

Tabla N° 92: Resultados Químicos del Muestreo 7

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	NORMA NB-512
Alcalinidad	$(\frac{mg}{L}) HCO_3^-$	49,78	23,42	
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	40,80	19,20	370
Dureza	$(\frac{mg}{L}) Ca^{+2}$	65,92	115,36	200
	$(\frac{mg}{L}) Mg^{+2}$	20,02	30,03	150
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	247,20	412	500
Cloruros	$(\frac{mg}{L}) Cl^-$	23,49	21,44	250
Acidez	$(\frac{mg}{L}) CO_2$	6,57	5,78	
	$(\frac{mg}{L}) CaCO_3$	13,67	11,86	50
Sulfatos	$(\frac{mg}{L}) SO_4^{=}$	94,83	112,26	400
Nitratos	$(\frac{mg}{L}) NO_3^-$	12,98	13,55	45
<b>METALES PESADOS</b>				
Sodio	$(\frac{mg}{L}) Na^+$	12,05	41,36	200
Hierro	$(\frac{mg}{L}) Fe^{+2}$	0,093	0,0039	0,3
Cobre	$(\frac{mg}{L}) Cu^{+2}$	< 0,05	< 0,05	1
Zinc	$(\frac{mg}{L}) Zn^{+2}$	< 0,05	< 0,05	5
Plomo	$(\frac{mg}{L}) Pb^{+2}$	< 0,05	< 0,05	0,01
Manganeso	$(\frac{mg}{L}) Mn^{+2}$	< 0,05	< 0,05	0,1

Fuente: Elaboración propia

- La alcalinidad descendió y la dureza aumento ligeramente después de utilizar el coagulante natural, esto debido a la presencia de sales presentes en la

penca de tuna (pulpa). Este aumento no afecto ya que los valores son bajos y se encuentran dentro el rango que establece la norma NB-512.

- Los cloruros presenta una disminución después de usar el coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), y se encuentra con un valor bajo que está dentro el rango aceptable que establece la NB-512.
- La acidez tuvo una disminución ligera después de utilizar el coagulante natural y se encuentra dentro el rango aceptable que establece la NB-512.
- Los aniones sulfatos y nitratos tuvieron un aumento después de utilizar el coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), y se encuentra con un valor bajo que está dentro el rango aceptable que establece la NB-512.
- El ion sodio, es ligeramente alto, esto se puede deber por alguna filtración salina a esta agua, pero se encuentra dentro el rango aceptable que establece la NB-512.
- En la determinación de los metales pesados antes y después del tratamiento de coagulación, destacamos que el coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), disminuye metales pesados como el Hierro lo cual es muy beneficiosos a la hora de tratar con aguas residuales. Los demás metales pesados como zinc, plomo, cobre y manganeso se encuentran en concentraciones muy bajas poco detectables para el caso de esta muestra de agua de pozo.

*Tabla N° 93: Resultados Microbiológicos del Muestreo 7*

N°	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAR	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (pulpa) Y DESINFECTANDO CON NaClO	NORMA NB-512
1	Bacterias Coliformes totales	NMP Número Más Probable	NMP/100 ml	240	< 2	< 2
		MRP Recuento en Placas	UFC/100 ml	$4,2 \times 10^4$	No existe presencia	

Fuente: Elaboración propia

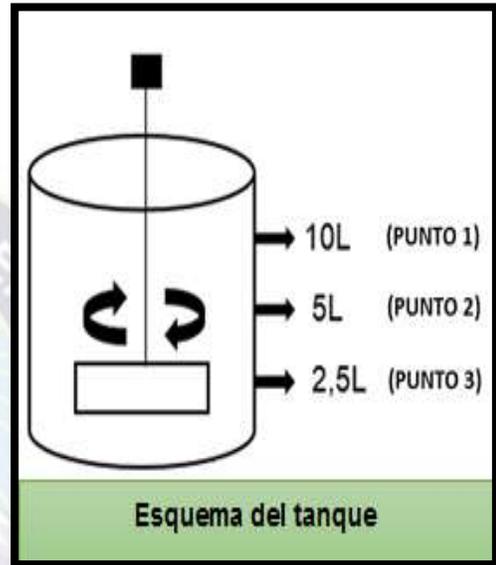
La tabla N°93, muestra los resultados microbiológicos del agua de pozo con la presencia de Coliformes totales analizando por diferentes métodos, pero después del tratamiento con el coagulante natural y desinfectando con lavandina (NaClO), No existe la presencia de bacterias.



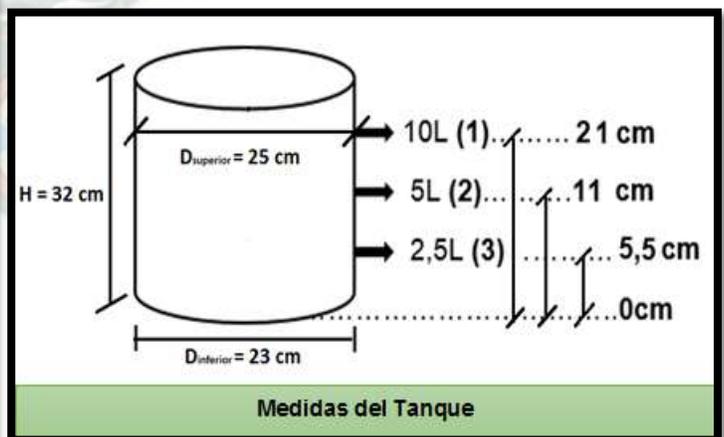
## 5. PROTOTIPO CONVENCIONAL DE UN COAGULADOR PARA USO FAMILIAR

### 5.1. Medidas del Coagulador Convencional de 10 Litros de Capacidad

#### TANQUE:

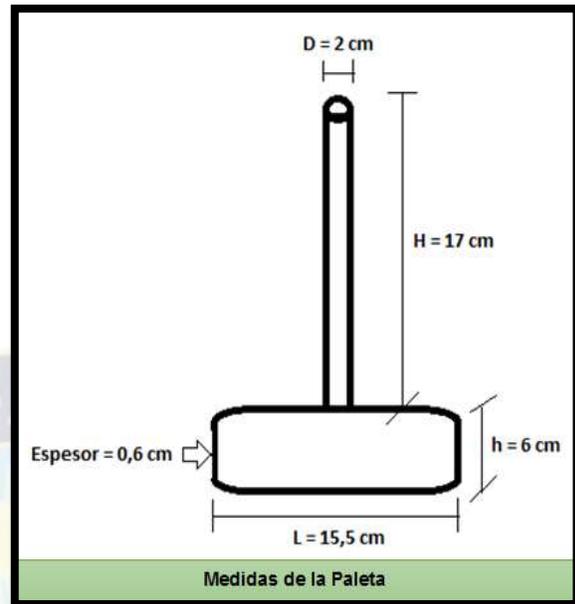


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

## PALETA DE AGITACIÓN:

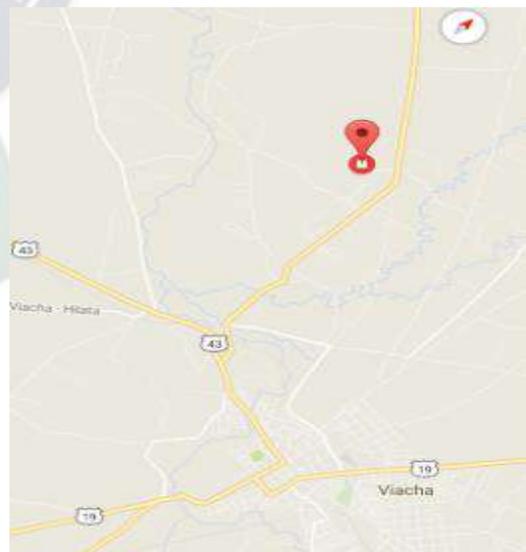


Fuente: Elaboración propia

## 5.2. Prueba del Coagulante Natural a diferentes tiempos de agitación y cloración

### MUESTREO P-A<sub>6</sub>:

En fecha 30 de Octubre de 2017 se efectuó el muestreo de aguas naturales de pozo del lugar Sekejahuira (final ladrilleras), ubicado en la localidad de VIACHA que se encuentra a 16.6224490 de latitud y -68.3214780 de longitud.



### 5.3. Prueba De Jarras (Dosis Óptima De Coagulante)

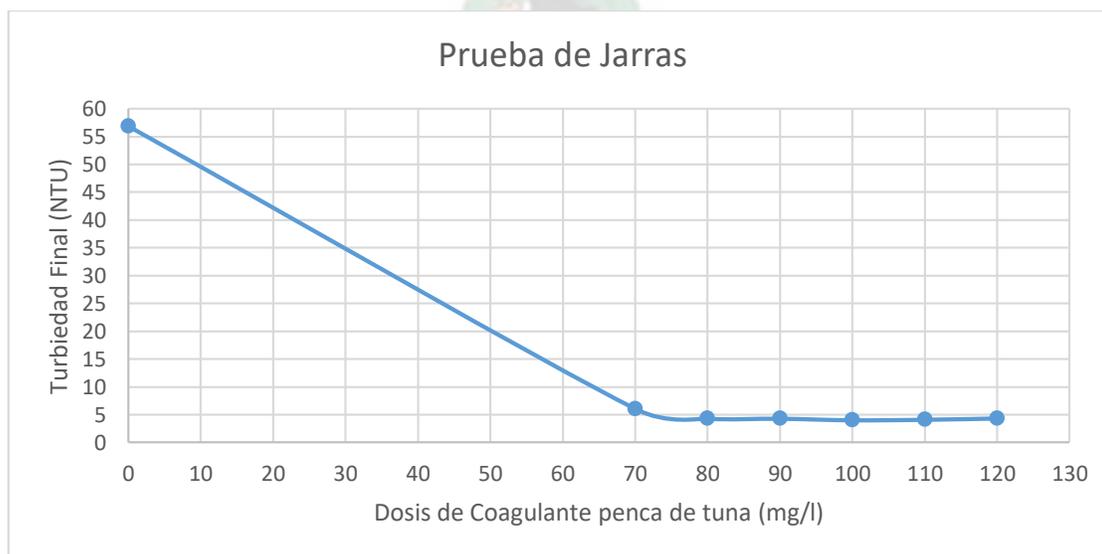
Se realizó a una velocidad de 100 rpm/3min para la coagulación y 40 rpm/30min para la floculación ya formados estos flóculos sedimentaron durante 20min.

Tabla N° 94: Prueba de Jarras de la muestra 6

Prueba de Jarras					
Muestra N°6: agua de pozo			Rango: 0 - 120 mg/l		
Jarra N°	Dosis (mg/l)	Turbiedad Inicial (NTU)	Turbiedad Final (NTU)	% Rendimiento Turbiedad	Índice de Willcomb
	0	56,9	56,9	0	0
1	70	56,9	6,08	89,31	6
2	80	56,9	4,32	92,41	8
3	90	56,9	4,30	92,44	8
4	100	56,9	4,02	92,93	10
5	110	56,9	4,11	92,78	8
6	120	56,9	4,34	92,37	8

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 31: Prueba de Jarras de la muestra 6



Fuente: Elaboración propia

Se realizó 1 prueba de jarras para encontrar la dosis óptima del coagulante de penca de tuna (pulpa) la cual se muestra en la tabla N°84.

*Tabla N° 95: Resultados de la Prueba de Jarras*

Jarra N°	Dosis (mg/l)	Turbiedad Inicial (NTU)	Turbiedad Final (NTU)	% Rendimiento Turbiedad	Índice de Willcomb
4	100	56,9	4,02	92,93	10

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4. Turbiedad y Tiempo de Sedimentación a Diferentes Alturas

Una vez encontrado la dosis óptima del coagulante penca de tuna (pulpa) se preparó 10000 ppm en 100ml de solución de éste. Con la siguiente relación matemática:

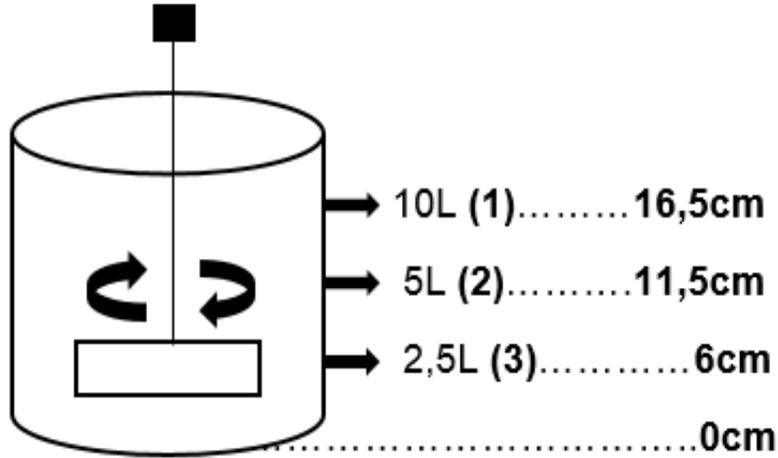
$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

Para dosificar 100ppm en un volumen de 10L se necesitó de coagulante con una concentración de 10000ppm.

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{100ppm * 10L}{10000ppm} = 0,1L = \mathbf{100ml}$$

Se realizó un diseño para la simulación del experimento de la prueba de jarras para una muestra de agua de 10 L, ya formados estos flóculos sedimentaron a tiempos diferentes y se tomó en cuenta tres puntos (1,2 y 3) para medir la turbiedad a tiempos diferentes.

Esquema N° 8: Prueba de Jarras para 10 L de volumen



Fuente: Elaboración propia

**PRUEBA 1:** Se realizó el ensayo por duplicado tomando en cuenta todos los parámetros descritos en cada prueba. A y B respectivamente.

**PRUEBA 1 - A:** Se realizó a una velocidad de 100 rpm/3min para la coagulación y **40 rpm/5min** para la floculación más 1 min de la cloración (NaClO) 6 gotas para 10L de muestra de agua, ya formados estos flóculos sedimentaron a diferentes tiempos.

Tabla N° 96: Turbiedad y tiempo de sedimentación a diferentes alturas

Tiempo de Sedimentación (min)	1 (NTU)	2 (NTU)	3 (NTU)
10	7,58	16,9	28,7
20	5,56	8,75	9,98
30	5,01	6,04	5,99
40	4,03	4,81	5,05
50	4,05	4,08	3,87
60	4,10	3,80	3,79

Fuente: Elaboración propia

**PRUEBA 1 - B:** Se realizó a una velocidad de 100 rpm/3min para la coagulación y a **40 rpm/10min** para la floculación más 1 min de la cloración (NaClO) 6 gotas para

10L de muestra de agua, ya formados estos flóculos sedimentaron a diferentes tiempos.

*Tabla N° 97: Turbiedad y tiempo de sedimentación a diferentes alturas*

<b>Tiempo de Sedimentación (min)</b>	<b>1 (NTU)</b>	<b>2 (NTU)</b>	<b>3 (NTU)</b>
10	6,09	12,1	24,7
20	5,70	7,90	10,1
30	4,56	6,53	6,54
40	4,39	5,03	4,29
50	4,30	4,08	4,54
60	4,09	4,00	4,10

Fuente: Elaboración propia

**PRUEBA 2:** Se realizó el ensayo por triplicado tomando en cuenta solo la velocidad de agitación rápida, pero variando el tiempo de esta como se describe a continuación.

**PRUEBA 2 - A:** Se realizó a una velocidad de **100 rpm/1min** para la coagulación. más 1 min de la cloración (NaClO) 6 gotas para 10L de muestra de agua, ya formados estos flóculos sedimentaron a diferentes tiempos.

*Tabla N° 98: Turbiedad y tiempo de sedimentación a diferentes alturas*

<b>Tiempo de Sedimentación (min)</b>	<b>1 (NTU)</b>	<b>2 (NTU)</b>	<b>3 (NTU)</b>
10	6,87	15,6	18,1
20	5,45	4,26	6,16
30	3,99	3,89	6,09
40	3,54	3,41	3,70
50	3,80	3,53	3,66
60	3,99	3,89	4,19

Fuente: Elaboración propia

**PRUEBA 2 - B:** Se realizó a una velocidad de **100 rpm/3min** para la coagulación. más 1 min de la cloración (NaClO) 6 gotas para 10L de muestra de agua, ya formados estos flóculos sedimentaron a diferentes tiempos.

Tabla N° 99: Turbiedad y tiempo de sedimentación a diferentes alturas

Tiempo de Sedimentación (min)	1 (NTU)	2 (NTU)	3 (NTU)
10	5,07	12,8	15,1
20	4,10	5,20	5,34
30	4,37	4,01	4,59
40	4,23	3,59	4,72
50	3,87	3,40	3,38
60	4,26	3,57	3,42

Fuente: Elaboración propia

**PRUEBA 2 - C:** Se realizó a una velocidad de **100 rpm/5min** para la coagulación más 1 min de la cloración (NaClO) 6 gotas para 10L de muestra de agua, ya formados estos flóculos sedimentaron a diferentes tiempos.

Tabla N° 100: Turbiedad y tiempo de sedimentación a diferentes alturas

Tiempo de Sedimentación (min)	1 (NTU)	2 (NTU)	3 (NTU)
10	6,22	6,88	9,60
20	5,94	4,25	10,9
30	5,24	4,46	4,12
40	5,42	3,79	5,29
50	7,95	3,31	4,39
60	5,19	3,52	3,50

Fuente: Elaboración propia

En resumen tenemos la siguiente tabla para comparar los resultados:

Tabla N° 101: Turbiedad y tiempo de sedimentación a diferentes alturas para las siguientes pruebas

Turbiedad (NTU) a diferentes alturas		Ag. Rápida 100rpm	Ag. Lenta 40rpm	Ag. con Cloro	H	Tiempo de Sedimentación (min)						Parámetros físico-químicos		
						10	20	30	40	50	60	pH	Conduc. (µs)	
Turbiedad (NTU) a diferentes alturas	PRUEBA "1"	P1-A	3 min.	5 min.	1 min.	1	7,58	5,56	5,01	4,03	4,05	4,10	6,5	345,8
						2	16,90	8,75	6,04	4,81	4,08	3,80		
						3	28,70	9,98	5,99	5,05	3,87	3,79		
	PRUEBA "1"	P1-B	3 min.	10 min.	1 min.	1	6,09	5,70	4,56	4,39	4,30	4,09	6,5	346,3
						2	12,10	7,90	6,53	5,03	4,08	4,00		
						3	24,70	10,10	6,54	4,29	4,54	4,10		
	PRUEBA "2"	P2-A	1 min.	NO SE REALIZO	1 min.	1	6,87	5,45	3,99	3,54	3,80	3,99	6,5	353,5
						2	15,60	4,26	3,89	3,41	3,53	3,89		
						3	18,10	6,16	6,09	3,70	3,66	4,19		
		P2-B	3 min.		1 min.	1	5,07	4,10	4,37	4,23	3,87	4,26	6,5	355,9
						2	12,80	5,20	4,01	3,59	3,40	3,57		
						3	15,10	5,34	4,59	4,72	3,38	3,42		
P2-C		5 min.	1 min.		1	6,22	5,94	5,24	5,42	7,95	5,19	6,5	378,1	
					2	6,88	4,25	4,46	3,79	3,31	3,52			
					3	9,60	10,90	4,12	5,29	4,39	3,50			

Fuente: Elaboración propia

Viendo los resultados obtenidos en la Tabla N°102, las pruebas **P1-A** y **P2-A** son las que dan mejores condiciones de operación en función al tiempo. Por lo cual se escogió estas dos para realizar el análisis microbiológico para determinar si los microorganismos se eliminan en estas pruebas.

Pero en conclusión se tomaría para su aplicación la prueba **P2-A** ya que presenta menor tiempo de agitación y vemos que el tiempo de sedimentación es de 50 minutos, el tiempo empleado para la coagulación y desinfección del agua es muy corto y beneficioso para el consumo inmediato de agua en caso de contar con un agua turbia en un área rural ó como paso el año 2017 que el área urbana de La Paz sufrió una escases de agua y si la había llegaba a las casas muy turbia por lo que las personas desconfiaban en tomarla ya que podía traerles problemas estomacales.

### 5.5. Resultados Físico-Químicos y Microbiológicos del análisis del agua de pozo.

A continuación se reportan resultados del muestreo del agua de pozo recolectado en el lugar Sekejahaira (final ladrilleras), como ser Físico – Químicos y Microbiológicos y resultados del agua tratada con el coagulante natural Penca de tuna (Pulpa), así realizar la comparación correspondiente.

Tabla N° 102: Resultados Físico – Químicos

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	NORMA NB-512
Temperatura	°C	16	14	
pH		6,5	6,5	6,5 - 9
Conductividad	µs	319,8	385,7	1500
Turbiedad	NTU	56,9	4,02	5

Fuente: Elaboración propia

Analizando los resultados del agua tratada con el coagulante natural en el tanque de 10 L, vemos que el pH se mantuvo constante y la conductividad del agua con respecto al agua de pozo sin tratar incremento, aun así se encuentra dentro de los límites permitidos por la NB-512; pero se destaca que la turbidez después de realizar el proceso de coagulación con nuestro coagulante natural a base de penca de tuna (pulpa), presenta una disminución bastante significativa y favorable ya que el valor obtenido 4,02 NTU, entra dentro el rango aceptable de la NB-512 (5 NTU). Y también nos indica que trabajando en volúmenes mayores el coagulante sigue siendo efectivo.

Tabla N° 103: Análisis microbiológico de las pruebas encontradas

PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDADES	AGUA DE POZO SIN TRATAR	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (pulpa) y DESINFECCIÓN CON CLORO		NORMA NB-512
				MUESTRA	PRUEBA 1-A	
Bacterias Coliformes totales	NMP Número Más Probable	NMP/100ml	300	< 2	< 2	< 2
	MRP Recuento en placas	UFC/100ml	$4,44 \times 10^4$	No existe presencia	No existe presencia	

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el análisis microbiológico antes y después del tratamiento con el coagulante de la penca de tuna (pulpa) a las pruebas 1-A y 2-A con la baja turbiedad encontrada. Se ve que el uso de cloro fue suficiente para la eliminación de todas las bacterias presentes al inicio ya que en ambos análisis los resultados salieron negativos para Coliformes y que el tratamiento del agua de pozo recolectada fue un éxito.

## 6. CONCLUSIONES

1. Se logró obtener un total de 2 Kg de coagulante natural a base de penca de tuna.

LUGAR	LOTE	PENCA DE TUNA	Masa Inicial penca (g)	Masa Coagulante (g)	Rendimiento (%)
Zona San Jorge	1 -X	Pulpa	4630,10	152,86	3,30
	1 -Y	Cáscara	416,71	70,11	16,82
	1 -Z	Pulpa + Cáscara	2590,60	109,84	4,24
Carreras - Río Abajo	2 -X	Pulpa	9666,20	322,94	3,34
	2 -Y	Cáscara	1199,60	200,36	16,70
	2 -Z	Pulpa + Cáscara	2681,70	129,44	4,83

Se obtuvieron tres tipos de coagulantes y son: **pulpa**, **cáscara** y **pulpa más cáscara**, de dos lugares diferentes, a estos tres tipos de coagulantes obtenidos se realizaron pruebas para verificar cuál de estos 3 coagulantes presentaba mejor estabilidad y poder coagulante. En la Tabla se observa que los rendimientos de obtención son bajos, esto debido a que la penca de tuna es un vegetal que contiene elevada humedad.

2. Se realizó la búsqueda de fuentes de agua de pozo que se encuentren cerca de la ciudad de Viacha, logrando identificar un pozo en la zona Sekejahuira más conocida como Final Ladrilleras, que queda a 15 min. en movilidad de la plaza principal de Viacha, dicha fuente de agua presentó una alta turbidez para su tratamiento.
3. Se realizó los ensayos de prueba de jarras utilizando los tres productos de coagulantes naturales obtenidos de los dos lugares de recolección, siendo el coagulante a base de **pulpa** de penca de tuna recolectada en la zona San Jorge la que presentó una mayor estabilidad, resultados repetitivos y mejor acción coagulante que los otros coagulantes a base de cáscara con pulpa y solo cáscara ya que este último, presenta alta inestabilidad y la pulpa más cáscara tiene una buena actividad coagulante pero no así estabilidad y repetitividad en los resultados. Los resultados de los coagulantes obtenidos de

penas recolectadas de la localidad de Carreras, dieron resultados de inestabilidad y baja efectividad. La tabla siguiente muestra la diferencia de resultados obtenidos:

CÓDIGO DE MUESTREO DE AGUAS	MUESTREO	TIPO DE COAGULANTE	DOSIS (mg/L)	TURB. inicial (NTU)	TURB. final (NTU)	%REM. TURB.	OBSERVACIONES
P-A	P-A1						No se pudo completar ninguna prueba
	P-A2	L1-X	130	81,70	3,87	95,26	Buena efectividad y repetitividad
	P-A3	L1-X	120	65,00	4,37	93,28	Buena efectividad y repetitividad
		L1-Y	210	65,00	11,60	82,15	Mala efectividad y repetitividad
		L1-Z	140	65,00	3,23	95,03	Buena efectividad pero mala repetitividad
	P-A4	L2-X	140	55,90	7,70	86,23	Mala efectividad y repetitividad
		L2-Y	140	55,90	39,70	28,98	Mala efectividad y repetitividad
		L2-Z	140	55,90	17,30	69,05	Mala efectividad y repetitividad
	P-B	P-B1	L1-X	3	1,72	1,67	2,91

Además de lo anteriormente descrito, se vio con las pruebas realizadas que existe una diferencia en los resultados de la penca recolectada en el área urbana con la del área Rural, las penas de ambos lugares presentan gran diferencia en cuanto a su poder coagulante, esto puede deberse por variables de suelo, clima, contaminación, etc., que influyen en la planta. Por lo cual se decidió solo usar penas del área Urbana de La Paz.

También se halló los parámetros óptimos en la dosis del coagulante a base de **PULPA** de penca de tuna de la zona de San Jorge:

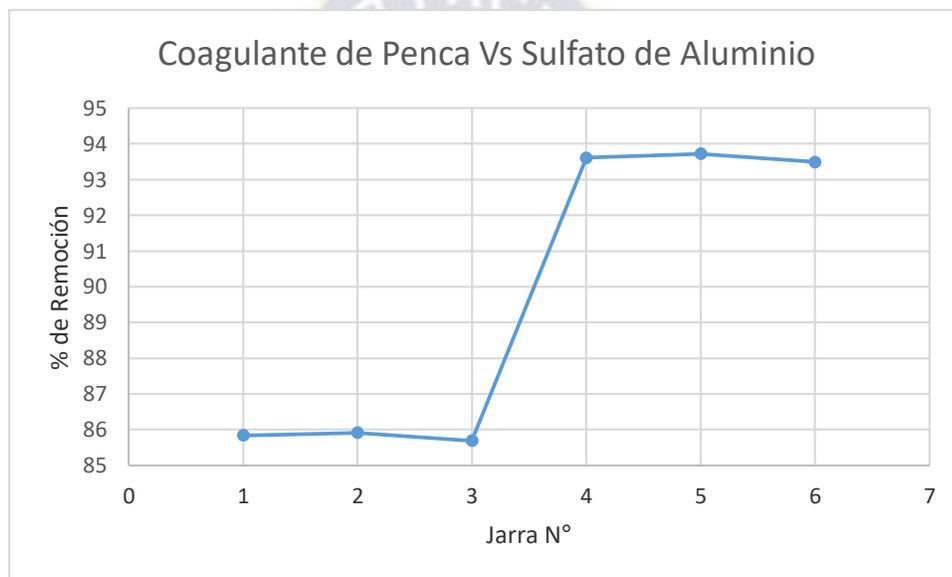
Dosis (mg/l)	Velocidad de Agitación Rápida (rpm)	Tiempo de agitación Rápida (min.)	Velocidad de Agitación Lenta (rpm)/20 min.	Tiempo de Sedimentación (min)	Turb. <sub>0</sub> (NTU)	Turb. <sub>F</sub> (NTU)	% Remd. Turb.	Índice de Wilcomb
120	100	3	40	30	65,00	<b>2,99</b>	<b>95,40</b>	10
<b>Desviación Estándar</b>						<b>0,08</b>	<b>0,12</b>	

4. Las ventajas y desventajas del uso de un coagulante natural o químico implican los siguientes aspectos:

COAGULANTE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>PENCA DE TUNA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Componentes naturales que no alteran las propiedades químicas originales del agua.</li> <li>• No poseen ninguna repercusión en la salud.</li> <li>• Genera lodos no tóxicos, los cuales pueden ser tratados con mayor facilidad y eficiencia por su biodegradabilidad.</li> <li>• Permite la remoción de la turbiedad orgánica e inorgánica y sedimenta lentamente.</li> <li>• Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosis Mayores</li> <li>• Depende de la velocidad de agitación del agua</li> <li>• Requiere personal para la recolección.</li> <li>• Alto costo de producción</li> </ul>
<b>SULFATO DE ALUMINIO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta disponibilidad</li> <li>• Bajo costo</li> <li>• Flexibilidad de uso en diferentes tipos de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de lodos tóxicos inservibles.</li> <li>• Daño al medio ambiente y a la salud</li> <li>• Costo alto en el tratamiento de lodos</li> </ul>

Por todos estos aspectos señalados, se concluye que el uso del coagulante natural nos da una nueva alternativa de tratamiento de aguas para consumo, ya que este producto se lo puede usar en los hogares del área rural que son los más afectados por el consumo de aguas turbias, siendo una alternativa por ser un producto no tóxico y su uso no afecta el sabor ni olor del agua.

5. Se realizó la comparación entre el coagulante a base de pulpa de penca de tuna y el coagulante sulfato de aluminio:



Como se puede ver en el gráfico anterior queda comprobado que el Sulfato de Aluminio presenta mejor actividad coagulante con respecto al coagulante natural a base de penca de tuna, ya que el porcentaje de remoción de turbiedad del sulfato de aluminio en promedio es 93,59 %, mayor al 85,81% correspondiente al coagulante a base de penca de tuna, sin embargo, el coagulante natural presenta ventajas en función a la salud y cuidado medio ambiental.

6. Los resultados de la caracterización de muestras de agua recolectadas en la localidad de Sekejahuira se las puede ver en la Tabla N°83, donde podemos apreciar que los muestreos de agua de pozo de Sekejahuira presentan datos que están dentro de la NB 512 a excepción de la turbiedad y actividad

microbiana, por lo tanto estas aguas son de fácil tratamiento y una buena fuente de agua para ser tratada.

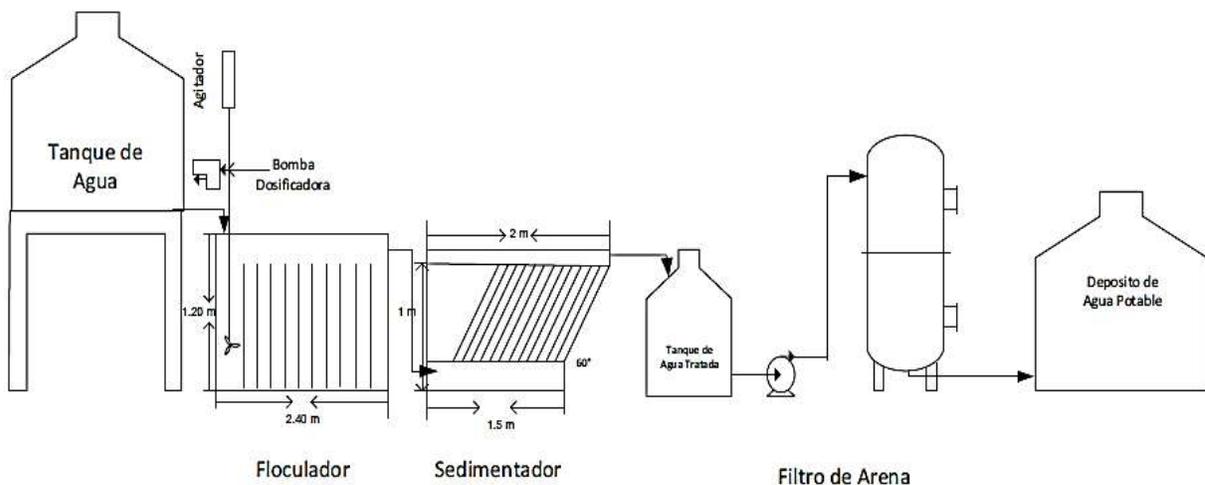
Como ejemplo mostramos uno de los resultados de los muestreos con un tratamiento completo:

ANÁLISIS	PARÁMETROS	Muestreo P-A5			NORMA NB-512
		AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)		
FISICO-QUÍMICOS	Temperatura (°C)	10	15	DESINFECCIÓN CON CLORO	-
	pH	5,6	6		6,5 - 9
	Conductividad (µs)	278,8	300		1500
	Turbiedad (NTU)	51,9	3,1		5
QUÍMICOS	Alcalinidad (mg/L) CaCO <sub>3</sub>	59,08	63,3		370
	Dureza (mg/L) CaCO <sub>3</sub>	112,14	117,48		500
	Cloruros (mg/L) Cl	23,48	21,53		250
	Acidez (mg/L) CaCO <sub>3</sub>	15,6	19,5		50
	Sulfatos (mg/L) SO <sub>4</sub>	120,12	104,8		400
	Nitratos (mg/L) NO <sub>3</sub>	4,78	2,62		45
METALES PESADOS	Sodio (mg/L)	31,2	28,8	200	
	Hierro (mg/L)	0,43	< 0,05	0,3	
	Cobre (mg/L)	< 0,05	< 0,05	1	
	Zinc (mg/L)	< 0,05	< 0,05	5	
	Plomo (mg/L)	< 0,05	< 0,05	0,01	
	Manganeso (mg/L)	< 0,05	< 0,05	0,1	
	Arsenico (mg/L)	0,00	0,00	0,0	
MICRO-BIOLÓGICOS	NMP Número Más Probable (NMP/100 ml)	220	350	< 1	< 2
	MRP Recuento en Placas (UFC/100 ml)	7,7*10E4	1,92*10E5	NO EXISTE PRESENCIA	-

En esta tabla se puede apreciar el buen comportamiento de nuestro coagulante en la remoción de la turbiedad y también la disminución de otros parámetros como ser metales pesados como el hierro el cual en un inicio está fuera de los rangos permitidos de la NB-512, pero una vez realizado el tratamiento con el coagulante natural este baja su concentración

considerablemente y se encuentra por debajo del límite permisible de la NB-512. Se ve un aumento en la actividad microbiana al usar el coagulante natural, pero realizando una desinfección con NaClO (Lavandina), toda la actividad microbiana es eliminada.

7. El diseño de la Planta Piloto fue a cargo de un experto en la materia (Lic. Leonardo Cárdenas). El cual mediante los resultados de la caracterización del agua cruda de pozo, diseñó un sistema de procesos de tratamientos sencillos para la eliminación de la turbidez del agua cruda de pozo para un caudal de entrada de 0,2 L/s, este diseño se asemeja al de las EPSAS pero su capacidad es mucho menor.



La instalación y puesta en marcha, también estuvo a cargo del mismo técnico, el cual una vez diseñada la planta piloto, construyó los equipos e instaló en los predios de ZONA VERDE, una vez instalados todos los procesos se efectuó la puesta en marcha de la Planta piloto, se tuvo una prueba en la cual se verificó las conexiones de las tuberías, conexiones eléctricas, de los dosificadores, del agitador, etc., y así subsanar algún defecto. La 2da. prueba fue la confirmativa y de la que tomamos los datos descritos en el Capítulo 4, donde se logró realizar el tratamiento completo del agua de pozo recolectada.

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA EN LA PLANTA PILOTO CONVENCIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS						
ANÁLISIS	PARÁMETROS	AGUA DE POZO SIN TRATAMIENTO	AGUA DE POZO TRATADO CON COAGULANTE NATURAL PENCA DE TUNA (Pulpa)	DESINFECCIÓN CON CLORO	NORMA NB-512	
FISICO-QUÍMICOS	Temperatura (°C)	11	15			-
	pH	7,26	6,69			6,5 - 9
	Conductividad (µs)	285,6	267,5			1500
	Turbiedad (NTU)	25,3	3,81			5
QUÍMICOS	Alcalinidad (mg/L) CaCO <sub>3</sub>	40,8	19,2			370
	Dureza (mg/L) CaCO <sub>3</sub>	247,2	412			500
	Cloruros (mg/L) Cl	23,49	21,44			250
	Acidez (mg/L) CaCO <sub>3</sub>	13,67	11,86			50
	Sulfatos (mg/L) SO <sub>4</sub>	94,83	112,26			400
	Nitratos (mg/L) NO <sub>3</sub>	12,98	13,55			45
METALES PESADOS	Sodio(mg/L)	12,05	41,36			200
	Hierro (mg/L)	0,093	0,0039			0,3
	Cobre (mg/L)	< 0,05	< 0,05			1
	Zinc (mg/L)	< 0,05	< 0,05		5	
	Plomo (mg/L)	< 0,05	< 0,05		0,01	
	Manganeso (mg/L)	< 0,05	< 0,05		0,1	
	Arsenico (mg/L)	0,00	0,00		0,0	
MICRO-BIOLÓGICOS	NMP Número Más Probable (NMP/100 ml)	240	367	< 2	< 2	
	MRP Recuento en Placas (UFC/100 ml)	4,2*10E4	1,32*10E5	NO EXISTE PRESENCIA	-	

Los resultados de la caracterización del agua de pozo recolectada de Sekejahuira, y tratada en la Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Agua, dio muy buenos resultados ya que se logró obtener agua potable que se encuentra dentro de todos los límites permisibles de la NB-512, y esta agua está lista para el consumo humano.

- Se realizó las actividades de mantenimiento, operación y control de calidad de cada proceso involucrado en el sistema de tratamiento de agua, enfocándonos en un *Mantenimiento Preventivo y Correctivo* para una mejor operación de la Planta, la Tabla N°86 y N°87 describen todas las actividades que se deben realizar para el mantenimiento, operación y control de calidad de la Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Aguas.

9. El costo de producción total de la producción de nuestro coagulante a base de pulpa de penca de tuna y costo de venta del sulfato de aluminio es el siguiente:

COAGULANTE		PRECIO Bs.-
<b>NATURAL</b>	1 Kg de Penca de Tuna	113,60
<b>QUÍMICO</b>	1 Kg de Sulfato de Aluminio	25,00

El precio de nuestro coagulante natural es alto en comparación al sulfato de aluminio, pero cabe recalcar que el precio de producción del coagulante natural está basado solo en 1 Kg de producto ya que si se realizaría a mayor cantidad este precio bajaría notablemente, para este cálculo, se tomaron en cuenta varios factores (energía, solvente, horas hombre, etc).

10. El costo de operación de la Planta Piloto Convencional de Tratamiento de Aguas es la siguiente:

COSTO DE OPERACIÓN PARA UN CAUDAL DE 0,720 m <sup>3</sup> /h POR 7 HORAS DE TRABAJO					
ITEM	Especificaciones	PRECIO UNITARIO (Bs/h)	CANTIDAD DE HORAS	PRECIO TOTAL (Bs)	Observaciones
Motor para el traslado del agua de pozo de la fuente al tanque de acumulación	Gasto de energía eléctrica	0,45	1,5	0,675	Materia prima
Dosificador para el coagulante a base de penca	Gasto de energía eléctrica	0,16	7	1,12	Proceso de floculación
Coagulante a base de Penca de tuna		2,86	7	20,02	Coagulante a base de PULPA de penca de tuna
Motor y variador de frecuencia del agitador	Gasto de energía eléctrica	0,45	8	3,6	Proceso de floculación
Bomba para el flujo del tanque de acumulación del sedimentador hacia el filtro	Gasto de energía eléctrica	0,45	4	1,8	Proceso sedimentación - filtración.
Desinfección con Cloro		0,5	7	3,5	Desinfección
Mano de Obra	Operador	9,62	8	76,96	Planta en general
<b>COSTO DE OPERACIÓN TOTAL</b>				<b>107,675</b>	Costo total de 5,04 m <sup>3</sup>
<b>COSTO DE 1 m<sup>3</sup> DE AGUA TRATADA</b>				<b>21,36</b>	

Los costos más significativos son el precio del coagulante y la mano de obra, esto hace que el costo de producción de agua potable sea de Bs.- 21,36 el metro cubico de agua.

## 7. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda que a base de este proyecto se pueda realizar un estudio de las pencas de distintos lugares y ver el porqué de su diferencia en cuanto a su actividad coagulante de un lugar a otro.
- ✓ Que este trabajo sirva como una alternativa en el uso de productos naturales y la investigación de otros, los cuales son amigables con el medio ambiente y no producen efectos adversos a la salud.
- ✓ Mediante este proyecto se sugiere que la carrera de Química Industrial, con ayuda de fondos de la UMSA y otros entes interesados, pueda producir el coagulante natural a base de penca de tuna.
- ✓ Se recomienda que la Alcaldía de Viacha, de sostenibilidad a la planta instalada en su municipio a favor de comunidades que lo necesitan o a favor de la investigación universitaria, ya que la Planta es versátil en su uso.

## 8. BIBLIOGRAFÍA:

- *“Aplicación de un coagulante obtenido a partir de la Penca de Tuna para la mejora de la calidad en aguas de consumo en la localidad de Achocalla”* de la Lic. Daniela Alcazar,
- “PDM 2012-2016 juntos por Viacha” Plan estratégico institucional
- Gobierno Autónomo Municipal de Viacha Pág. N°8 LIBRO
- “PDM 2012-2016 juntos por Viacha” Plan de Deportes “Viacha Deportiva y Competitiva”
- Gobierno Autónomo Municipal de Viacha Pág. N°11 LIBRO
- Programa de saneamiento del Lago Titicaca (Cuenca Katari, Bahía Cohana) **BID**– junio 11. 2016
- *“El Cultivo de Tuna”* Opuntia ficus indica Gerencia Regional Agraria la Libertad, Trujillo\_Perú Noviembre del 2009. LIBRO
- *“Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación”* **CEPIS** (Centro Panamericano de ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente) Lima, Perú 1975 Pág. N°20 LIBRO
- *“Proyectos educativos – productivos e industrialización de la tuna (Opuntia ficus) como estrategia en la enseñanza de la educación en industria alimentaria y nutrición en la FAN y en la comunidad de San Bartolomé 2010”* Dra. Haydée Rodríguez Navarro” Dra. Haydée Rodríguez Navarro (La Cantuta, Diciembre del 2010).
- *“Protección y métodos de tratamiento del agua”* ¿Hay suficiente agua en el mundo? 1997. OMM-UNESCO. REVISTA
- *“Manual de Procedimientos Técnicos en Saneamiento”* Saneamiento Básico Rural SERIE N°4 1997 LIBRO
- *“Manejo integral de residuos sólidos”* VIACHA-LIMPIA gobierno autónomo municipal de viacha. FOLLETO
- UNIVERSIDAD NACIONAL – FACULTAD DE MINAS (Tratamiento de Aguas) Ing. Jorge Arturo Pérez P. pág. 138
- *“La desinfección del agua “Organización Mundial de la Salud”* Autoridades locales, salud y ambiente- Antoine Montiel pág. 5 LIBRO

- “Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano”NB – 512 Noviembre 2005 LIBRO
- Romero Rojas, Jairo Alberto. Purificación del Agua. 3 ed. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000. LIBRO
- Raúl Guerrero Torres. Manual de tratamiento de aguas. Departamento de sanidad del estado de Nueva York, 1974. LIBRO
- Comité de emergencia del agua UMSA Instituto de Ingeniería Sanitaria - Noviembre 2016 Volumen 1, N°1
- Grupo TAR INNOVA (TECNOLOGÍA AMBIENTAL-Escuela Universitaria Politécnica de SEVILLA) “Tratamiento de Potabilización del Agua” Pág.16 Disponible en la página web:  
[www.elaguapotable.com/Tratamiento%20de%20potabilizacion%20del%20agua%20](http://www.elaguapotable.com/Tratamiento%20de%20potabilizacion%20del%20agua%20)
- SEDAPAL, Evaluación y desarrollo Tecnológico, TRATAMIENTO DE AGUA (COAGULACIÓN FLOCULACIÓN): Disponible en la página web:  
<http://www.sedapal.com.pe/c/document.pdf>
- (UNATSABAR, 2005). PROCEDIMIENTOS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCION. Obtenido de PROCEDIMIENTOS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCION: <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/143esp-O&Mredesdirtr.pdf>

## 9. ANEXOS

### Anexo 1: DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

Para la determinación de la Humedad se utilizó el **método Gravimétrico**, para lo cual se utilizó un secador de bandejas, las bandejas se secaron adecuadamente y se enfriaron. Se pesó aproximadamente 50 a 250 gramos y se secó a 90°C por espacio de 6 horas, pasado este tiempo enfriar y pesar. Nuevamente colocar al secador ahora por el tiempo de una hora a la misma temperatura, pasado este tiempo nuevamente enfriar y pesar realizar estos hasta conseguir un peso constante. Se siguió como dato referencial la NB-319002.

### **Norma Boliviana NB 319002:2006**

#### **Frutas deshidratadas - Determinación de humedad**

##### 1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma, especifica un método llamado de Estufa que determina el porcentaje de humedad, contenido en frutas; se basa en la pérdida de peso que sufre la muestra cuando se somete a las condiciones de tiempo y temperatura que se establecen en esta norma, considerando que dicha pérdida se origina por la eliminación de agua.

##### 2. REFERENCIAS

NB 319008:2007 Frutas Secas – Definiciones y clasificación

##### 3. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, las definiciones son las establecidas en la Norma NB 319008.

##### 4. OBTENCIÓN DE LA MUESTRA

La muestra se obtiene en cantidad suficiente para efectuar la determinación por duplicado, según Norma NB-744 Residuos sólidos -Preparación de muestras para su análisis en laboratorio.

## 5. APARATOS Y EQUIPO

- Balanza analítica con sensibilidad de 0,001 g
- Espátula para balanza
- Estufa con temperatura 150 °C (423 °K) con sensibilidad de 1°C a 2 °C, capaz de mantener una temperatura constante
- Cajas de aluminio con tapa de 250 cc
- Guantes de asbesto
- Desecador con deshidratante
- Equipo usual de laboratorio

## 6. PROCEDIMIENTO

Se coloca la caja abierta y su tapa en la estufa a 120 °C (393°K) durante dos horas, transcurrido ese tiempo, se tapa la caja dentro de la estufa e inmediatamente se pasa al desecador durante dos horas como mínimo o hasta obtener un peso constante.

Se pesa la caja vacía con todo y tapa para obtener la tara.

Se vierte la muestra sin compactar hasta un 50 % del volumen de la caja.

Se pesa la caja cerrada con la muestra y se introduce destapada a la estufa a 90°C (363 °K) durante dos horas, se deja enfriar y se pesa nuevamente. Se repite esta operación las veces que sea necesario hasta obtener un peso constante (se considera peso constante cuando entre dos pesadas consecutivas la diferencia es menor al 0,01 %).

## 7. CÁLCULOS

El porcentaje de humedad se calcula con la siguiente formula, teniendo en cuenta que para obtener PMH y

PMS se debe restar el peso de la caja.

$$\%H = \frac{PMH - PMS}{PMH} \times 100$$

Donde:

% H es la humedad en %

PMH es el peso de la muestra húmeda, en g.

PMS es el peso de la muestra seca, en g.

$PMH = (PMH + P_{caja}) - P_{caja}$

$PMS = (PMS + P_{caja}) - P_{caja}$

Pcaja es el peso de la caja.

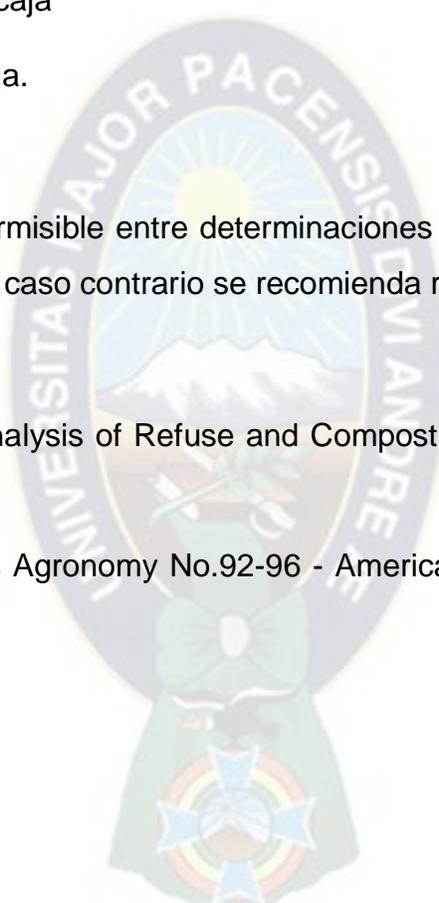
## 8. REPRODUCIBILIDAD

La diferencia máxima permisible entre determinaciones efectuadas por duplicado no debe ser mayor al 1% en caso contrario se recomienda repetir la determinación.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

-Tentative Methods of Analysis of Refuse and Compost Municipal- Refuse Disposal- Appendix A.

-Methods of soil Analysis Agronomy No.92-96 - American Society of Agronomy. Inc. Publisher



## Anexo 2: CÁLCULO DE LA HUMEDAD DE LA PENCA

HUMEDAD DE LA PENCA DE TUNA									
ZONA SAN JORGE					CARRERAS - RÍO ABAJO				
P U L P A	N°	Tiempo [h]	m bandeja(g)	m(b) + muestra (g)	m(muestra)	Tiempo [h]	m bandeja(g)	m(b) + muestra (g)	m(muestra)
	1	0,00	702,7	926,3	223,6	0,00	702,7	915,2	212,5
	2	6,00	702,7	724,5	21,8	6,00	702,7	724,2	21,5
	3	7,00	702,7	724,4	21,7	7,00	702,7	723,9	21,2
	4	8,00	702,7	724,4	21,7	8,00	702,7	723,9	21,2
$\%H = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100$				<b>% H</b>	<b>90,30</b>	$\%H = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100$			
				<b>% H</b>	<b>90,02</b>				
C Á S C A R A	N°	Tiempo [h]	m bandeja(g)	m(b) + muestra (g)	m(muestra)	Tiempo [h]	m bandeja(g)	m(b) + muestra (g)	m(muestra)
	1	0,00	1521,5	1588,9	67,4	0,00	1521,5	1589,8	68,3
	2	6,00	1521,5	1542,3	20,8	6,00	1521,5	1541,6	20,1
	3	7,00	1521,5	1541,0	19,5	7,00	1521,5	1541,5	20,0
	4	8,00	1521,5	1540,9	19,4	8,00	1521,5	1541,5	20,0
$\%H = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100$				<b>% H</b>	<b>71,22</b>	$\%H = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100$			
				<b>% H</b>	<b>70,72</b>				
P U Á L S P C A R Y A	N°	Tiempo [h]	m bandeja(g)	m(b) + muestra (g)	m(muestra)	Tiempo [h]	m bandeja(g)	m(b) + muestra (g)	m(muestra)
	1	0,00	702,1	914,6	212,5	0,00	702,1	916,3	214,2
	2	7,00	702,1	727,9	25,8	7,00	702,1	724,2	22,1
	3	8,00	702,1	727,7	25,6	8,00	702,1	724,0	21,9
	4	9,00	702,1	727,7	25,6	9,00	702,1	724,0	21,9
$\%H = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100$				<b>% H</b>	<b>87,95</b>	$\%H = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100$			
				<b>% H</b>	<b>89,78</b>				

Fuente: elaboración propia

### **Anexo 3: DETERMINACIÓN DE CENIZAS**

Para la determinación de cenizas se utilizó el **método físico (gravimétrico)**, por ignición hasta cenizas blancas, para el cual se utilizaron crisoles de porcelana. Se procedió a calcinar las tres muestras por triplicado de un peso aproximado de 7 gramos de cada una y se llevó a la mufla (horno) a 800°C por 1 horas. Se siguió como norma referencial la NB-746.

#### **Norma Boliviana NB 746**

#### **Residuos Sólidos - Determinación de Cenizas**

##### **1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN**

Esta norma, establece el método de prueba para la determinación

##### **2. REFERENCIAS**

NB 742 Residuos Solios -Terminología sobre Residuos sólidos y Peligrosos.

NB 744 Residuos sólidos –Preparación de Muestras para su Análisis en laboratorio.

##### **3. DEFINICIONES**

Para los efectos de esta norma, las definiciones son las establecidas en la Norma NB 742.

##### **4. OBTENCIÓN DE LA MUESTRA**

La muestra se obtiene en cantidad suficiente para efectuar la determinación por duplicado, según Norma NB-744 Residuos sólidos -Preparación de muestras para su análisis en laboratorio.

##### **5. APARATOS Y EQUIPO**

- Balanza de precisión con sensibilidad de 0,1 g
- Mufla
- Crisol de Platino o porcelana de 50 ml
- Desecador que contenga algún deshidratante adecuado con indicador de saturación

## 6. PROCEDIMIENTO

La muestra se lleva hasta peso constante a 60°C (333°K) y se deja enfriar en el desecador. Poner a peso constante el crisol a temperatura de 200°C (473°K) durante dos horas, se deja enfriar en el desecador y se pesa.

Transferir al crisol aproximadamente 10 g de la muestra seca (que se indica en el punto anterior) y se pesa con aproximación de 0,1 g.

Calcinar en la mufla a 800°C (1.073 °K) hasta obtener un peso constante (se recomienda comprobar el peso constante transcurrida una hora) se deja enfriar en el desecador y se pesa.

## 7. CÁLCULOS

El porcentaje de cenizas en base seca se calcula con la siguiente formula:

$$\%C = \frac{C3 - C1}{C2 - C1} \times 100$$

Donde:

% C = es el porcentaje de cenizas en base seca

C1 = es el peso del crisol vacío, en g

C2 = es el peso del crisol más la muestra seca, en g

C3 = es el peso del crisol más la muestra calcinada, en g

## 8. REPRODUCIBILIDAD DE LA PRUEBA

La diferencia máxima permisible entre determinaciones efectuadas por duplicado no debe ser mayor al 1% en caso contrario se recomienda repetir la determinación.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

-Physical, Chemical and Microbiological Methods of Solid Wastes Testing U.S. Environmental Protection Agency (EPA 6700-73-01), 1973.

#### Anexo 4: CALCULOS DE LA DETERMINACIÓN DE CENIZAS

LUGAR					
Zona San Jorge			Carreras – Río Abajo		
CÁSCARA + PULPA			CÁSCARA + PULPA		
m1[g]	m2[g]	$\% \text{ Cenizas} = \frac{m2}{m1} * 100\%$	m1[g]	m2[g]	$\% \text{ Cenizas} = \frac{m2}{m1} * 100\%$
6,9001	0,0898	1,3014	6,7820	0,0811	1,1958
6,4500	0,0888	1,3767	7,1724	0,1179	1,6438
7,0012	0,0799	1,1412	7,5556	0,1076	1,4241
<b>promedio</b>		1,2731	<b>promedio</b>		1,4212
PULPA			PULPA		
m1[g]	m2[g]	$\% \text{ Cenizas} = \frac{m2}{m1} * 100\%$	m1[g]	m2[g]	$\% \text{ Cenizas} = \frac{m2}{m1} * 100\%$
6,9994	0,0872	1,2458	7,0464	0,0804	1,1410
7,4441	0,0722	0,9699	7,0183	0,0799	1,1385
6,9922	0,0855	1,2228	6,4342	0,0788	1,2247
<b>promedio</b>		1,1462	<b>promedio</b>		1,1681
CÁSCARA			CÁSCARA		
m1[g]	m2[g]	$\% \text{ Cenizas} = \frac{m2}{m1} * 100\%$	m1[g]	m2[g]	$\% \text{ Cenizas} = \frac{m2}{m1} * 100\%$
5,1625	0,1531	2,9656	5,4785	0,1652	3,0154
5,1600	0,1739	3,3702	5,0537	0,1801	3,5637
7,0005	0,1511	2,1584	5,1765	0,1700	3,2841
<b>promedio</b>		2,8314	<b>promedio</b>		3,2877

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 5: DETERMINACIÓN DE pH

Para la determinación del pH se empleó el **método potenciométrico**, previamente se prepararon de la siguiente manera:

Se empezó limpiando (y pelando para el caso de la muestra de pulpa), la penca de tuna y seguidamente se trozo y se llevó a licuar por 10 minutos a alta velocidad, una vez obtenido, se filtró el mucilago en tela de saquillo para luego llevar el filtrado viscoso a filtrar sobre un papel filtro cualitativo para aclarar más el líquido y finalmente se midió el pH de la manera convencional.



## Anexo 6: DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE SECADO

Para la determinación de la velocidad de secado se utilizó el **método Gravimétrico**, pero realizando algunos ajustes, para lo cual se utilizó un secador de bandejas, las bandejas se secaron adecuadamente y se enfriaron. Se pesó aproximadamente 50 a 250 gramos de muestras en las bandejas, se llevó las muestras pesadas a la estufa a temperatura ambiente y se programó la temperatura a 60°C y se deja por un espacio de 30 min, pasado este tiempo se enfriar y pesas y nuevamente llevar a la estufa repetir este procedimiento hasta conseguir un peso constante.

FORMULAS USADAS:

### Humedad en base seca

$$X = \frac{X_T - S_S}{S_S} = \left[ \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg Solido seco}} \right]$$

Dónde:

X = humedad en base seca

X<sub>T</sub> = Peso de la muestra

S<sub>S</sub> = solido seco

### Humedad Promedio

$$X = \frac{\sum X_1, X_2}{2} = \left[ \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg Solido seco}} \right]$$

### Velocidad de Secado

$$W = \frac{S_S}{A} * \frac{X_f - X_i}{t_f - t_i} = \left[ \frac{\text{Kg agua}}{\text{h m}^2} \right]$$

Dónde:

X<sub>f,i</sub> = humedad en base seca

S<sub>S</sub> = solido seco

t = tiempo

A = Área de la bandeja

## Anexo 7: DETERMINACIÓN DEL SOLIDO SECO

Para la determinación del solido seco promediar los 3 últimos valores de **m<sub>muestra</sub>**, que se muestra en la tabla del anexo 2 para cada caso. A continuación se muestra los cálculos y resultados:

ZONA SAN JORGE				CARRERAS-RÍO ABAJO	
	N°	m(muestra)	Ss	m(muestra)	Ss
<b>PULPA</b>	1	223,6	Promedio	212,5	Promedio
	2	21,8	21,7	21,5	21,2
	3	21,7		21,2	
	4	21,7		21,2	
<b>CÁSCARA</b>	N°	m(muestra)	Ss	m(muestra)	Ss
	1	67,4	Promedio	68,3	Promedio
	2	20,8	19,4	20,1	20,0
	3	19,5		20,0	
4	19,4	20,0			
<b>ENTERO</b>	N°	m(muestra)	Ss	m(muestra)	Ss
	1	212,5	Promedio	214,2	Promedio
	2	25,8	25,6	22,1	21,9
	3	25,6		21,9	
4	25,6	21,9			

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 8: CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE COAGULANTE PARA TRATAR UN FLUJO DE 720 L/H DE AGUA DE POZO

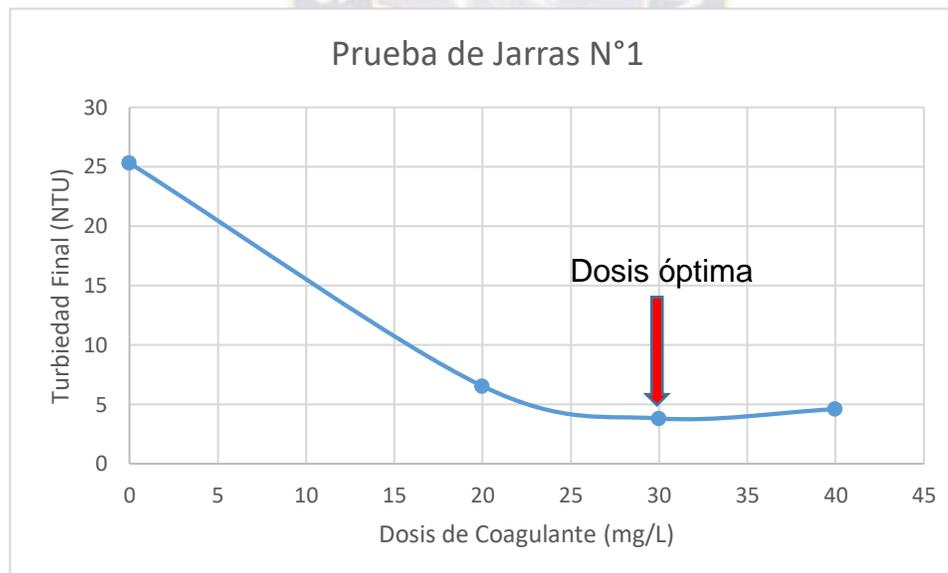
Primero determinamos la dosis óptima de coagulante en Laboratorio

✓ Resultados en Laboratorio con la Prueba de Jarras

Código: P - A <sub>7</sub> con L1 - X				Rango: 0 – 40 ppm	
Jarra N°	Dosis (mg/L)	Turb <sub>o</sub> (NTU)	Turb <sub>F</sub> (NTU)	%Rem. Turb.	Índice de Willcomb
1	0	25,3	25,3	0,00	0
2	20	25,3	6,53	74,19	8
3	30	25,3	3,81	84,94	10
4	40	25,3	4,59	81,86	8

Fuente: Elaboración propia

Se midió 3 mL de solución coagulante al 10000 ppm de concentración para bajar la turbiedad de 25,3 a 3,81 NTU. A una dosis óptima de 30 ppm.



Fuente: Elaboración propia

En esta Grafica, Determinamos la primera prueba de jarras que era suficiente para encontrar la dosis óptima que es de 30 ppm del coagulante natural de penca de tuna (pulpa), además se obtuvo el mayor rendimiento que fue 84,94% y también se pudo

apreciar que los flóculos tienen un tamaño grande y muy notorio y sedimenta por completo dejando el agua de pozo transparente.

✓ En la Planta piloto Convencional de Tratamiento de agua potable

Si la dosis óptima en laboratorio fue 30 ppm, operando en la planta la turbiedad aumenta entonces la dosis óptima para el tratamiento será 35 ppm.

Entonces: para tratar 720 L de agua de pozo realizamos una regla de 3.

3,5 mL de Solución coagulante.....1L de agua de pozo

X mL de Solución coagulante.....720 L de agua de pozo

$$X \text{ mL Sol. coa} = \frac{3,5 \text{ mL Sol. coa} * 720 \text{ L agua pozo}}{1 \text{ L agua pozo}} = 2520 \text{ mL Sol. coagulante}$$

$$2520 \text{ mL Sol. Coa} * \frac{10000 \text{ mg Coa}}{1000 \text{ mL Sol. Coa}} * \frac{1 \text{ g Coa}}{1000 \text{ mg Coa}} = 25,2 \text{ g Coagulante}$$

Por lo tanto para tratar 720 L/h de agua de pozo se requiere 25,2 g/h de Coagulante de penca de tuna.

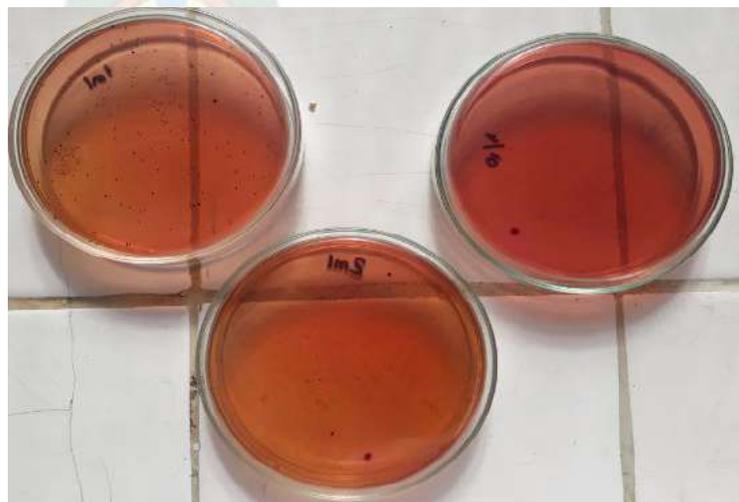
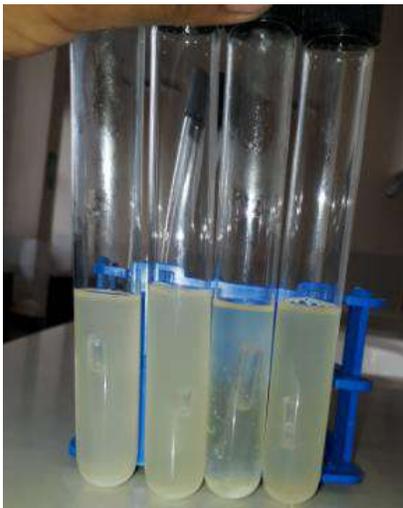
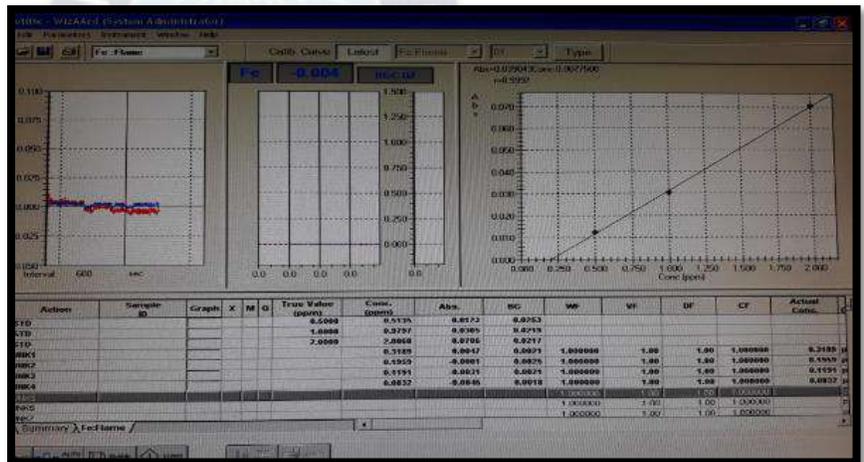
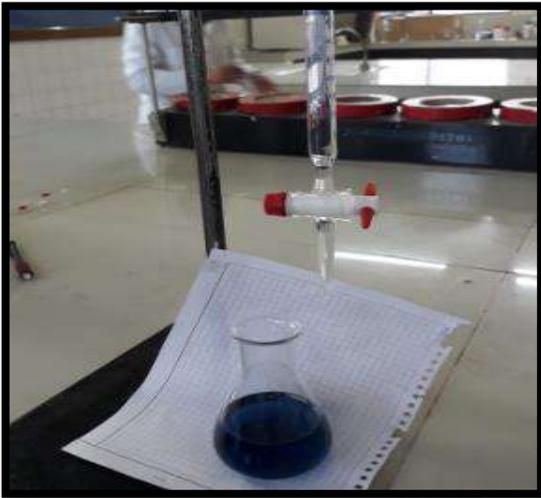
Caudal Volumétrico	Caudal Másico
720 L/h	25,2 g/h
0,7200 m3/h	0,0252 Kg/h

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 9: POZOS DE LA LOCALIDAD DE SEKEJAHUIRA (FINAL LADRILLERAS)**



## Anexo 10: ANALISIS QUIMICO, INSTRUMENTAL Y MICROBIOLOGICO



**Anexo 11: VISITA A LOS PREDIOS DONDE SE CONTRUYO LA PLANTA PILOTO  
CON AUTORIDADES**



**(Ing. Rene Rojas DIRECTOR MEDIO AMBIENTE HAMV, Zulma Yujra - tesista,  
Lic. Graciela Espinoza- tutora, Dra. Gabriela Terrazas – coordinadora, Bertha  
Mamani – tesista, Lic. Leonardo Cardenas – Diseño Planta)**



**Anexo 12: CURSOS Y SEMINARIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS LLEVADO  
EN COCHABAMBA  
POR CAWS-CANADA, ABRIL 2018**



**EXPOSIÓN DEL PROYECTO EN EL I CONGRESO NACIONAL DE CIENCIAS  
AGRARIAS Y II CONGRESO DE CAMBIO CLIMATICO Y DIALOGO DE SABERES  
COCHABAMBA AGOSTO 2018**

