



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Ingeniería Química

**Extracción del mucílago de la penca de tuna y su
aplicación en el proceso de coagulación-floculación de
aguas turbias**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Químico

AUTOR

Megy Ninoska SILVA CASAS

ASESOR

Eder Clidio VICUÑA GALINDO

Lima, Perú

2017



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Silva, M. (2017). *Extracción del mucilago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 (Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
 FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA ✓
 Central: 6197000 anexo 1208

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

14(e)
157

ACTA DE TÍTULO POR TESIS

Los suscritos Miembros del Jurado, nombrado por la Sra. Directora de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, bajo la Presidencia de la Ing. NORMA SALAS DE LA TORRE (Presidenta), el Mg. MANUEL EDUARDO OTINIANO CÁCERES (Miembro), y el Ing. EDER CLIDIO VICUÑA GALINDO (Asesor), después de escuchar la sustentación de la TESIS titulada: "EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO DE LA PENCA DE TUNA Y SU APLICACIÓN EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN DE AGUAS TURBIAS" rendido por la Bachiller en Ingeniería Química SILVA CASAS MEGY NINOSKA; para optar el TÍTULO PROFESIONAL de INGENIERA QUÍMICA. Acordaron calificarle con la NOTA de:

Dieciocho
 (LETRAS)

18
 (NUMEROS)

Ciudad Universitaria, 02 de noviembre de 2017 ✓

N. Salas de la Torre
 Ing. NORMA SALAS DE LA TORRE
 PRESIDENTA

M. E. Otiniano
 Mg. MANUEL EDUARDO OTINIANO CÁCERES
 MIEMBRO

E. Clidio Vicuña Galindo
 Ing. EDER CLIDIO VICUÑA GALINDO
 ASESOR

J. Sandivar Rosas
 Mg. JUANA SANDIVAR ROSAS
 Directora de la Escuela Profesional
 de Ingeniería Química



DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido llegar a esta etapa de mi vida y por demostrarme su amor y protección.

A mis padres, Edwin y Filomena, son mi motor y ejemplo de lucha, sin ustedes no hubiera concluido esta etapa en mi vida profesional. Seguiremos siempre adelante, los amo demasiado.

A mi hermana Betsy por ser mi ejemplo, siempre recordaré como te veía estudiar, eso me motivaba a continuar con mis proyectos, y a mis queridas sobrinas Arely y Ailish, son la alegría que tengo en la vida.

A mi novio Erick, por haber sido mi compañero en toda mi etapa universitaria, testigo de mis buenos y malos momentos, por haber creído siempre en mí y por amarme tal como soy.

A mi abuelita Margarita, por haberme apoyado y aconsejado, sé que desde el cielo aún me estas cuidando.

A mi abuelito Guillermo, por ser el socialista de la familia e impulsarme a luchar por mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor el Mg. Eder Vicuña Galindo por su apoyo, dedicación y amistad, me brindó muchos conocimientos y consejos, no tanto en el desarrollo de este proyecto sino también a nivel personal.

A los profesores de la facultad la Mg. Thais Linares, Dr. Alberto Garrido y a la Química Elizabeth Espinoza, por haberme permitido usar sus ambientes y equipos para el desarrollo de las pruebas experimentales del proyecto.

Al Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y alimentación animal de la Facultad de medicina veterinaria, en especial a la Dra. Sandra Bezada, por el apoyo en el desarrollo del análisis proximal de cada una las muestras.

A mis padres, el desarrollo de este trabajo fue en gran parte gracias a ustedes, me apoyaron en la compra de las pencas, tenemos tantas anécdotas de ese día, y también en el desarrollo de la extracción del mucilago.

A mi novio Erick De la Rosa, por haberme apoyado en el desarrollo de las pruebas experimentales, en especial en la etapa de clarificación de aguas y también por los consejos al momento de redactar la tesis.

A amigos que no dudaron en darme una mano en conseguir ciertos insumos, gracias Ing. César Ortiz e Ing. Luis Huayta

A mis amigas Mariela, Judith y Silvia por siempre animarme a continuar con este reto.

Por último, a la Escuela de Ingeniería Química y a alma mater la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS	6
Objetivo General _____	6
Objetivo Específicos _____	6
 CAPITULO I	 7
NOPALES O TUNA EN EL PERÚ	7
I.1. NOPALES _____	7
I.1.1. Antecedentes	7
I.1.2. Origen y Distribución.....	8
I.2. EL NOPAL EN EL PERÚ _____	9
I.2.1. La Tuna en las crónicas.....	11
I.2.2. Nombres Comunes	11
I.2.3. Clasificación Científica.....	13
I.2.4. Tipos y Características de Opuntia Spp.	13
I.2.5. Hábitat.....	14
I.2.6. Importancia Ecológica	15
I.3. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA _____	15
I.3.1. Composición química general.....	17
I.3.2. Propiedades funcionales de los frutos y cladodios	18
I.3.3. Usos del Nopal.....	20
 CAPITULO II	 24
EL MUCILAGO DE NOPAL	24
II.1. MUCILAGO DE NOPAL _____	24
II.1.1. Extracción de mucilago.....	25

II.1.2.	Factores a considerar en la extracción.....	28
II.1.3.	Composición química del mucilago.....	30
II.1.4.	Aplicaciones del mucilago del nopal	34
<i>CAPITULO III</i>		36
<i>APLICACIÓN DEL MUCILAGO EN EL TRATAMIENTO DE AGUS TURBIAS.....</i>		36
III.1.	AGUA RESIDUAL	36
III.1.1.	Turbiedad y color en el agua residual	36
III.2.	PARTICULAS EN SUSPENSIÓN	38
III.2.1.	Tamaño de las partículas en Suspensión	38
III.2.2.	Los Coloides	39
III.2.3.	Afinidad de las partículas coloidales con el Agua	39
III.2.4.	Carga eléctrica y doble capa	39
III.2.5.	Factores de Estabilidad e Inestabilidad	40
III.3.	COAGULACIÓN	41
III.3.1.	Mecanismo de la Coagulación	43
III.3.2.	Coagulantes Utilizados	46
III.3.3.	Factores que Influyen en la Coagulación	47
III.3.4.	Etapas o fases de coagulación	49
III.3.5.	Tipos de coagulación	50
III.4.	FLOCULACIÓN	52
III.4.1.	Tipos de Floculación.....	52
III.4.2.	Parámetros de la floculación	53
III.4.3.	Floculantes	53
III.5.	POLIMEROS	54
III.5.1.	Clasificación de los Polielectrolitos	55

<i>CAPITULO IV</i>	57
<i>DISEÑO EXPERIMENTAL</i>	57
IV.1. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES _____	57
IV.2. METODOLOGÍA DEL PROYECTO _____	58
IV.3. DISEÑO EXPERIMENTAL _____	58
IV.3.1. Extracción del Mucilago:	58
IV.3.2. Clarificación de aguas turbias	60
IV.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO _____	63
IV.4.1. Extracción del Mucilago	63
IV.4.2. Proceso de Clarificación de agua turbia	65
<i>CAPITULO V</i>	67
<i>PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL</i>	67
V.1. MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS _____	67
V.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL _____	68
V.2.1. Proceso de extracción del mucilago	69
V.2.2. Caracterización del mucilago de tuna:	76
V.2.3. Proceso de clarificación de aguas turbias	76
<i>CAPITULO VI</i>	81
<i>TABULACIÓN DE RESULTADOS</i>	81
VI.1. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MUCILAGO _____	81
VI.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL MUCILAGO _____	84
VI.3. PROCESO DE CLARIFICACIÓN DE AGUAS TURBIAS _____	85

<i>CAPITULO VII</i>	89
<i>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</i>	89
VII.1. PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL MUCILAGO _____	89
VII.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL MUCILAGO _____	103
VII.3. PROCESO DE CLARIFICACIÓN DE AGUAS TURBIAS _____	106
<i>CONCLUSIONES</i>	115
<i>RECOMENDACIONES</i>	117
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	118
<i>ANEXOS</i>	132

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción completa de la clasificación científica de la tuna	13
Tabla 2 Composición química de 100g de nopal fresco	17
Tabla 3 Composición química de cladodios de distintas edades (porcentaje materia seca) ..	18
Tabla 4 Algunos productos alimenticios, subproductos y aditivos obtenidos de la tuna y los cladodios.	23
Tabla 5 Descripción de cada una de las etapas de la extracción del mucilago según diferentes fuentes	25
Tabla 6 Factores, intervalo de valores y Rendimientos porcentual según Publicaciones previas	28
Tabla 7 Descripción e intervalos de los factores a utilizar en este trabajo	29
Tabla 8 Rendimiento de mucilago y composición química (g/100g)	31
Tabla 9 Peso Molecular (PM) y monómero (galactosa, ramnosa, arabinosa, xilosa, ácido galacturónico) presentes en mucilago de Opuntia Spp. Según diferentes estudios	32
Tabla 10 Principales compuestos presentes en el mucilago.....	33
Tabla 11 Tiempos de decantación de las diferentes partículas en función a sus dimensiones	38
Tabla 12 Descripción de los factores de la coagulación.	47
Tabla 13 Identificación de factores en el proyecto	57
Tabla 14 Identificación de factores y sus niveles para la extracción del mucilago.	59
Tabla 15 Matriz de diseño experimental para la extracción del mucilago de tuna.	59
Tabla 16 Identificación de factores y sus niveles para la clarificación de aguas turbias.	60
Tabla 17 Matriz de diseño experimental para la clarificación de aguas turbias.	61
Tabla 18 Cálculo del ANOVA EXPANDIDO para diseño Factorial Fraccionado (2^{3-1}).....	63

Tabla 19 Cálculo del ANOVA EXPANDIDO para diseño Factorial (2^2) por bloques	65
Tabla 20 Rendimiento porcentual de la penca de tuna.....	81
Tabla 21 Rendimiento Promedio Porcentual en la extracción de mucilago según factores a considerar.....	82
Tabla 22 Análisis de varianza – Diseño factorial fraccionad aleatorizado	82
Tabla 23 Resumen del modelo – Diseño factorial fraccionado aleatorizado.....	82
Tabla 24 Coeficientes codificados – Diseño factorial fraccionado.....	83
Tabla 25 Caracterización Química promedio del mucilago de tuna – Análisis proximal en Base húmeda.....	84
Tabla 26 Caracterización Química promedio del mucilago de tuna – Análisis proximal en Base seca.....	84
Tabla 27 Ecuación de Regresión por cada componente del mucilago de tuna en base húmeda	85
Tabla 28 Remoción porcentual promedio de turbidez por interacción de factores (Turbidez y concentración de mucilago).....	85
Tabla 29 Remoción porcentual promedio según interacción de factores (Turbidez y concentración de mucilago) por tratamientos de extracción.....	86
Tabla 30 Análisis de varianza – Diseño factorial por bloques aleatorizado	86
Tabla 31 Resumen del modelo – Diseño factorial por bloques aleatorizado.....	87
Tabla 32 Coeficientes codificados – Diseño factorial por bloques aleatorizado	87
Tabla 33 Remoción de turbidez utilizando Sulfato de Aluminio (Coagulante Catiónico) y el mucilago de tuna como Floculante natural.....	88

Tabla 34 Rendimientos porcentuales de extracción de mucilago, según fuentes bibliográficas	99
Tabla 35 Aspectos y condiciones de cosecha de la Penca de tuna.....	142
Tabla 36 Tratamientos a realizar según factores a considerar.	142
Tabla 37 Cantidad de Penca y agua a utilizar en la etapa de molienda.	143
Tabla 38 Condiciones y rendimientos de extracción del mucilago.....	143
Tabla 39 Rendimiento de la 1era filtración para todos los tratamientos.....	144
Tabla 40 Rendimiento de la 1era centrifugación para todos los tratamientos	144
Tabla 41 Condiciones y rendimiento de la concentración en todos los tratamientos	144
Tabla 42 Condiciones de la precipitación con etanol para todos los tratamientos.....	145
Tabla 43 Rendimiento después de la 2da centrifugación – filtrado y lavado con alcohol para todos los tratamientos.	145
Tabla 44 Rendimiento del mucilago seco con respeto al mucilago fresco para todos los tratamientos.....	146
Tabla 45 Composición química del mucilago de tuna - Análisis Proximal Completo	147
Tabla 46 Condiciones iniciales del agua a tratar.....	148
Tabla 47 Resultados del proceso de clarificación del agua.....	148
Tabla 48 ANOVA EXPANDIDO (Diseño Factorial Fraccionado aleatorizado)	155
Tabla 49 ANOVA EXPANDIDO (Diseño Factorial con bloques aleatorizados)	157

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Representación de Opuntia en la cerámica Moche.....	10
Figura 2 Esquema de la Opuntia Ficus Indica.	16
Figura 3 Estructura parcial propuesta del mucilago de Opuntia Ficus Indica	34
Figura 4 Doble Capa de una partícula coloidal.....	40
Figura 5 Esquema de como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide	42
Figura 6 Fuerzas de atracción y Repulsión	44
Figura 7 Reestabilización de partículas.....	45
Figura 8 Atrapamiento de las partículas en un floculo	45
Figura 9 Efecto de puente de las partículas en suspensión	46
Figura 10 Fases de la coagulación	51
Figura 11 Acción de los polímeros	56
Figura 12 Esquema de la Metodología del proyecto.....	58
Figura 13 Metodología de la extracción de mucilago de tuna	60
Figura 14 Procedencia de las tunas que se cosechó para los fines del proyecto – Tunales de Chilca	69
Figura 15 Acondicionado de las pencas, para su posterior licuado.	70
Figura 16 Picado y licuado de las pencas.....	70
Figura 17 Extracción Acuosa.	71
Figura 18 Primera Filtración	71
Figura 19 Primera Centrifugación.....	72
Figura 20 Concentración del mucilago	72

Figura 21 Precipitación con alcohol etílico.....	73
Figura 22 Segunda Centrifugación.....	73
Figura 23 Lavado y filtración, se obtiene el mucilago en base húmeda	74
Figura 24 Secado y molienda del mucilago seco.	74
Figura 25 Extracción del mucilago a partir del cladodio del nopal	75
Figura 26 Soluciones de mucilago a 10000ppm.	77
Figura 27 Turbidímetro, potenciómetro y medidor de TDS	78
Figura 28 Equipo de prueba de jarras.	78
Figura 29 Clarificación de aguas turbias.....	79
Figura 30 Proceso de coagulación-floculación aplicando polvo seco del mucilago de tuna como floculante.....	80
Figura 31 Resultados de Análisis Proximal - Tratamiento 1	134
Figura 32 Resultado de Análisis Proximal - Tratamientos 2 y 6	135
Figura 33 Resultado de Análisis Proximal - Tratamientos 3	136
Figura 34 Resultado de Análisis Proximal - Tratamientos 4	137
Figura 35 Resultado de Análisis Proximal - Tratamientos 5	138
Figura 36 Resultado de Análisis Proximal - Tratamientos 7	139
Figura 37 Resultado de Análisis Proximal - Tratamientos 8	140

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Gráfica normal de efectos estandarizados con respecto al Rendimiento porcentual de extracción del mucilago	90
Gráfica 2 Diagrama Pareto de efectos estandarizados con respecto al Rendimiento porcentual de extracción del mucilago	91
Gráfica 3 Gráfica de efectos principales para Rendimiento porcentual de extracción del mucilago.....	92
Gráfica 4 Gráfica comparativa de la interacción de los factores, Relación Agua-Penca y Temperatura, para el Rendimiento porcentual de extracción usando el método estadístico Duncan	94
Gráfica 5 Gráfica comparativa de la interacción de los factores, Relación Agua-Penca y Tiempo, para el Rendimiento porcentual de extracción usando el método estadístico Duncan	96
Gráfica 6 Gráfica comparativa de la interacción de los factores, Temperatura y Tiempo, para el Rendimiento porcentual de extracción usando el método estadístico Duncan	97
Gráfica 7 Gráfica de cubos (medias ajustadas) de Rendimiento Porcentual de Extracción del mucilago.....	98
Gráfica 8 Gráfica normal de efectos estandarizados con respecto al porcentaje de remoción de turbidez	106
Gráfica 9 Diagrama Pareto de efectos estandarizados que intervienen en la Remoción de turbidez	108
Gráfica 10 Gráfica de evaluación de factores individuales, Turbidez inicial y concentración de mucilago, en el proceso de clarificación de aguas turbias	109

Gráfica 11 Gráfica comparativa de la interacción de los factores, Turbidez inicial y concentración inicial, para la Remoción de Turbidez usando el método estadístico Duncan 110

Gráfica 12 Gráfica de remoción de turbidez con respecto a los tratamientos de extracción, utilizando el método de comparación Duncan 111

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A 133

ANEXO B 141

ANEXO C 152

**EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO DE LA PENCA DE TUNA Y
SU APLICACIÓN EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN-
FLOCULACIÓN DE AGUAS TURBIAS**

RESUMEN

Los objetivos de esta investigación consisten en la obtención de altos rendimientos de extracción del mucílago de la penca de tuna, luego caracterizar químicamente a esta sustancia y evaluar su eficiencia en el tratamiento de aguas turbias. Para la extracción del mucilago, se aplica el diseño factorial fraccionado, considerando los siguientes factores y sus niveles: Cantidad de Agua - Penca: 3/1 – 4/1, Temperatura de extracción: 60 - 80°C y tiempo de extracción 2 - 4 h; obteniéndose como resultado un polvo blanquecino (mucilago seco), con el mejor rendimiento porcentual de extracción de 2.41, cuando los factores de relación Agua: Penca, Temperatura y tiempo son 3:1, 80°C y 2 h respectivamente, realizando el análisis estadístico se concluye que los tres factores considerados, tienen una influencia significativa del tipo inverso; es decir a medida que estos aumentan, se reduce el rendimiento porcentual de extracción; siendo el tiempo el factor más influyente al tener un valor p igual a 0.000. Al realizar la caracterización del mucilago, mediante el análisis proximal, se obtienen los siguientes resultados para los límites de: Humedad, que varía entre 56 a 74%, Proteínas de 1.9 a 4.10%, Cenizas de 1.44 a 2.20%, Grasas de 0.07 a 0.1% y Carbohidratos de 20.21 a 39%. Relacionando estos resultados con el rendimiento de extracción, mediante la herramienta estadística Minitab, se obtiene la ecuación de Regresión: $\% \text{ Extracción} = -1.079 + 0.0916 \% \text{Carbohidratos}$, que señala la directa relación entre el rendimiento de extracción del mucilago con la cantidad de carbohidratos presentes en el mismo. Con respecto a la aplicación del mucílago extraído en el proceso de clarificación de aguas turbias, utilizando un diseño factorial por bloques, considerando como factores a la turbidez inicial con niveles de 500 NTU y 1000 NTU y la concentración del mucilago con niveles de 30 ppm y 50 ppm, y como bloques a los tratamientos de extracción se obtiene la máxima Remoción de turbidez en un intervalo de 86 % a 88.9 %, cuando la turbidez es de 1000 NTU. Realizando el análisis

estadístico, mediante el programa Minitab e Infostat, se determina la significancia de estos 2 factores, en el caso de la turbidez se tiene una correlación positiva, es decir a medida que aumente sus valores, la remoción también se incrementará, a diferencia de la concentración del mucilago que tiene una influencia inversa, es decir, favorecerá la remoción cuando sus valores sean menores y pertenezcan al intervalo de trabajo de 30 a 50 ppm, donde se ubica la concentración óptima; finalmente, comparando la influencia de ambos factores, la turbidez influye de una manera más significativa al tener un valor $p = 0.000$, mucho más pequeño respecto al otro factor. Comparando el poder de remoción de turbidez con los tratamientos de extracción y considerando también el análisis proximal del mucilago, se concluye finalmente, que las condiciones favorables para la extracción del mucilago son, Relación Agua-Penca igual a 4, 60°C Temperatura y 2 h de tiempo; la misma que tiene una correlación directa con los carbohidratos presentes en el mismo y promueve satisfactoriamente la remoción de la turbidez.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de las aguas en el Perú es un problema muy antiguo. El crecimiento poblacional ha llevado a que los ríos, lagos y mares sirvan de botaderos de todo tipo de residuos, como por ejemplo la basura que constituyen los aceites usados. Por esto, podemos señalar que el grado de la contaminación en la naturaleza crece en la medida en que crece el desarrollo de las ciudades. Y en esta contaminación ambiental, el agua juega un papel importante por ser un elemento de transporte. Recordemos la definición de contaminación del agua: es la alteración de su calidad natural por la acción humana, que la hace total o parcialmente inadecuada para los usos a los que se destina. Entre los ríos más contaminados del Perú están el Mantaro, San Juan, Yauli, Rímac, Moche, Santa, Cañete, Locumba y Huallaga. Las causas que generan esta situación son varias y entre ellas están la actividad minera, la actividad industrial y las ciudades que no cuentan con un sistema adecuado de saneamiento

El tratamiento primario consiste en la remoción, por medios físicos o químicos, de una parte sustancial del material sedimentable o flotante, reduciendo así una fracción importante de la carga orgánica, que representa porcentajes significativos de los sólidos contaminantes. Entre los tipos de tratamiento primario se utilizan: la coagulación y la floculación. Este tipo de tratamiento presenta grandes ventajas, como: una menor sensibilidad a las variaciones tanto de caudal como de composición, gran flexibilidad en el diseño de planta y posibilidad de adaptación según las características del vertido ya que puede ser aplicado a diversos efluentes, estudiando en cada caso el producto que proporcione los mejores resultados.

En las últimas décadas se ha profundizado en el estudio de la coagulación-floculación y en el empleo de nuevos coagulantes, tanto inorgánicos como orgánicos, para conseguir una buena eliminación de materia orgánica y sólidos en suspensión totales, en los procesos de depuración de

aguas residuales urbanas y efluentes industriales. Uno de estos coagulantes químicos utilizados en el tratamiento de aguas residuales es el sulfato de aluminio para remover materia coloidal y sustancias orgánicas, mejorando la calidad del agua. Algunos estudios han concluido que el aluminio residual en el agua de consumo humano puede ser muy peligroso para la salud, causando efectos graves en el sistema nervioso central, hasta el punto que se estima existe una relación entre los agentes etiológicos del mal de Alzheimer y la concentración de aluminio en el organismo humano, indicándose además que ocasiona el envejecimiento prematuro. Tomando en cuenta los altos costos, y más aún, el residual de aluminio que presenta el agua tratada, surge la necesidad de evaluar la efectividad de algunas especies vegetales como coagulante en la potabilización del agua. Los coagulantes naturales son una fuente alternativa con gran potencial aún no explotado suficientemente; se producen de manera espontánea, debido a reacciones bioquímicas que ocurren en animales y en plantas. Por lo general, presentan una mínima o nula toxicidad y, en muchos casos, son productos alimenticios con alto contenido de carbohidratos y de proteínas solubles en agua. Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial; en muchos lugares son utilizados en forma empírica por nativos para aclarar el agua turbia, con muy buenos resultados.

Como alternativa, para sustituir estos coagulantes sintéticos, se plantea en este trabajo establecer una metodología para extraer un mucilago a partir de la penca de tuna y aplicarlo como un coagulante para el tratamiento de aguas, con la finalidad de reducir el nivel de turbidez y así obtener un agua con mayor calidad para el consumo de la población.

OBJETIVOS

Objetivo General

Obtener altos rendimientos de extracción del mucilago de la penca de tuna; mediante la aplicación de un diseño de experimentos, caracterizarlo químicamente y utilizarlo eficientemente en la remoción de la turbidez en aguas turbias.

Objetivo Específicos

- Determinar, mediante un análisis de los trabajos de la literatura especializada, los factores más influyentes en el proceso de extracción del mucílago del *Opuntia ficus Indica*.
- Aplicar un diseño factorial fraccionado para obtener un alto rendimiento en la extracción del mucilago.
- Realizar la caracterización del mucilago por medio de técnicas químicas y/o físicas.
- Determinar la concentración óptima por medio de la prueba de jarras, aplicando el diseño factorial por bloques para obtener el máximo de remoción de la turbidez del agua trabajado.

CAPITULO I

NOPALES O TUNA EN EL PERÚ

I.1. NOPALES

I.1.1. Antecedentes.

El interés del ser humano por los nopales data de miles de años. Su origen e historia están íntimamente relacionados con las antiguas civilizaciones mesoamericanas, en particular con la cultura azteca. Existen evidencias arqueológicas que permiten afirmar que fueron las poblaciones indígenas asentadas en las zonas semiáridas de Mesoamérica las que iniciaron su cultivo de modo formal. (Pimienta, 1990)

Los cronistas de la época, entre ellos Gonzalo Fernández de Oviedo y Valdés, uno de los primeros narradores peninsulares, relata en 1535 en su Historia General y Natural de las Indias, como al acercarse la época de la fructificación de los nopales, los pobladores se alimentaban de las tunas “las cuales tienen en tanto, que no las dejan por cosa del mundo. Y este es el mejor manjar que ellos tienen en todo el año”. Sin duda los nopales influyeron en el asentamiento de tribus errantes que concurrían en la época de la fructificación a las zonas habitadas por estas plantas y acababan por fijar ahí su residencia. (Bravo Hollis, 2002)

Fray Bernardino de Sagahun ilustra, en su Historia General de la Nueva España, estos modos de consumo del nopal: “Hay unos árboles en esta tierra que llaman nopalli, quiere decir tunal, o árbol que lleva tunas; es monstruoso este árbol, el tronco se compone de las hojas y las ramas se hacen de las mismas hojas; las hojas son anchas y gruesas, tiene mucho zumo y son viscosas; tienen espinas las mismas hojas. La fruta que en estos árboles se hace, se llama tuna que son de buen comer; es fruta preciada. Las hojas de este árbol comen las crudas y cocidas. En unos árboles de estos se dan tunas, que son amarillas por dentro, otros las dan que por dentro son coloradas, o

rosadas, y estas son de muy buen comer; otros árboles de estos hay que tienen en las hojas vetas coloradas, y las tunas que se hacen de estas son por de fuera y por dentro moradas...” (Velásquez, 1998)

I.1.2. Origen y Distribución

Los nopales son originarios de América tropical y subtropical y hoy día se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el continente americano. Además, se han difundido a África, Asia, Europa y Oceanía donde también se cultivan o se encuentran en forma silvestre.

Los nopales pertenecen a la familia Cactaceae. La taxonomía de los nopales es sumamente compleja debido a múltiples razones, entre otras porque sus fenotipos presentan gran variabilidad según las condiciones ambientales, se encuentran frecuentemente casos de poliploidia, se reproducen en forma sexual o asexual y existen numerosos híbridos interespecíficos.

El nombre científico le fue asignado por Tournefort en 1700, por su semejanza con una planta espinosa que crecía en el poblado de Opus en Grecia (Velásquez, 1998). Esta especie una vez introducida en España desde México, se distribuyó por toda la cuenca del Mediterráneo. Probablemente los primeros nopales fueron cultivados cerca de Sevilla o Cádiz, puntos terminales de los viajes a las Indias (Barbera, 1999)

Es así como actualmente existen en forma silvestre o cultivada en el sur de España, y en toda la cuenca del Mediterráneo: Francia, Grecia, Italia y Turquía, llegando hasta Israel. Los árabes la llevaron desde España a África, difundiéndose en Argelia, Egipto, Eritrea, Etiopía, Libia, Marruecos y Túnez. Sin embargo, su distribución es aún mayor; en el continente americano, se encuentra desde Canadá a Chile, en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, Estados Unidos de América, México, Perú, y Venezuela y varios países de América Central y el Caribe; en otros

continentes se encuentra en Angola y Sudáfrica, en Australia y la India, existiendo especies tanto cultivadas como silvestres. En estos países, se encuentra parte de las más de 5 000 millones de hectáreas de zonas áridas y semiáridas del planeta y sus pueblos buscan especies que puedan desarrollarse y prosperar en ese peculiar y restrictivo hábitat.

Independientemente de la clasificación taxonómica que pudiera usarse como referencia, en este documento se utiliza el nombre común nopal para la planta completa, la tuna se refiere a la fruta, el nopalito al cladodio tierno y la penca al cladodio adulto.

I.2. EI NOPAL EN EL PERÚ

Los primeros restos sobre el uso de cactáceas encontrados en el Perú datan de la época del Horizonte Pre-agrícola (10,000 - 6000 años de antigüedad), y se encontraron en los basurales próximos a la cueva de Pachamachay en las cercanías del lago de Junín sobre los 4200 msnm. En ese sitio se hallaron semillas de una especie de *Opuntia* de una antigüedad de más de 11,800 años, la cual podría tratarse de *Austrocyllindropuntia floccosa*, que es la única que crece en tales altitudes y cuyos frutos aún siguen siendo consumidos en las serranías del centro y sur del país (Ostolaza, 1994; Vilcapoma, 2000). Desafortunadamente son escasos los estudios de coprolitos humanos que son los tipos de restos arqueológicos que determinarían la identidad de las especies de cactáceas que formaban parte de la dieta del hombre antiguo del Perú.

Posteriormente se encontraron restos de *opuntia* y otras cactáceas, formando parte de ofrendas con las que se enterraban a los muertos como anzuelos, alfileres o peines hechos con espigas de *Austrocyllindropuntia exaltata* y *Neoraimondia arequipensis* (Towle, 1961; Ostolaza, 1994; Piacenza & Ostolaza, 2002). También se han encontrado restos de *opuntia* formando parte del material de construcción en algunas edificaciones prehispánicas (Alvarez & Cáceres, 2003).

El estudio de las manifestaciones artísticas de las culturas pre incas ha permitido identificar otras especies de gran importancia, siendo el cactus “San Pedro” el de mayor relevancia en el Perú prehispánico (Ostolaza, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000; Reyna & Flores, 2001; Anderson, 2001).

Los *opuntias* han sido documentadas como elementos importantes de las culturas Paracas, Nazca, Moche, e Inca (Yacovleff & Herrera, 1934; Blasco & Ramos, 1980; Ostolaza, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000). Sin embargo, el grupo de las *platyopuntias* dentro del que se encuentra la tuna, solo ha sido reportado en las culturas Moche e Inca (Horkheimer, 2004).

Especialmente es en la iconografía Mochica en la que resaltan estos *opuntias* de tallos planos y redondeados (Figura 1), probablemente se trata de *Opuntia macbridei*, la cual se distribuye ampliamente en el norte del país. Presumiblemente sus frutos eran consumidos por los moches, así como por los animales (zorros y venados) que se distinguen en los ceramios (Donan & McClelland, 1995).

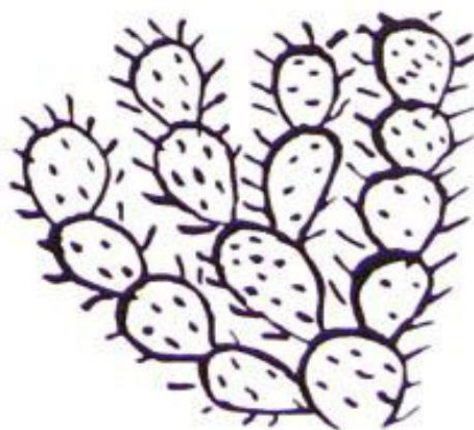


Figura 1 Representación de *Opuntia* en la cerámica Moche (Fuente: Novoa, 2006)

I.2.1. La Tuna en las crónicas

Los primeros reportes de la colonia sobre *O. ficus-indica* en el Perú fueron realizados por cronistas como Pedro de Rivera en el año 1586, quien comenta: “...*hay algunos cardones que se da en la tierra templada, del grandor de una mano, los cuales se cultivan con mucho cuidado; su fruto es de grana colorada finísima con que se tiñe la ropa, que en esta tierra se hace de cumpi y otras curiosas para el vestido de los indios...*” y posteriormente, el padre Bernabé Cobo en su obra “Historia del Nuevo Mundo” en 1650, describe a la tuna de la siguiente manera “*Viven muchos años, en que difieren de las yerbas; no producen ramas ni hojas, sino unos trozos redondos y gruesas pencas encaramadas e ingeridas unas sobre otras; son tiernas aguanosas, como zábilas, pepinos o calabazas, destila de ellas un humor pegajoso como el de la sábila, en que muestran no convenir con los árboles y las matas. Están de alto abajo pobladas de agudísimas espinas, unas mayores que otras, de agujas y alfileres...*” en clara alusión a las características de esta cactácea. Estas referencias indican que durante la llegada de los españoles a esta parte del continente americano encontraron a estas plantas bajo cultivo. Igualmente hacen mención al uso de la cochinilla, Miguel de Estete en el año 1953, en una cita informa que la grana o cochinilla se cultivó en Perú desde antes de la llegada de los españoles, además de que habría otras pruebas de que se producía y se empleaba como colorante, no sólo en Perú (Lima y Ayacucho) sino en Bolivia y Chile, reportando que los indios recogían “*mucha grana y algodón*”, afirmación confirmada posteriormente por el padre Cobo en 1650.

I.2.2. Nombres Comunes

Algunos nombres comunes son muy ilustrativos acerca de su origen y distribución.

El nombre **tuna** es de origen caribeño (Bravo-Hollis & Sanchez Mejorada, 1991), tomado por los primeros españoles que conocieron estas plantas. Más exactamente es un vocablo Taíno

(Morinigo, 1966). Con este término se designa mayormente a los frutos, aunque también se utiliza para la parte vegetativa de las especies de *Opuntia*. Lo extendido de este nombre sugiere que fue el primero conocido por los españoles, aún antes que los nombres mexicanos.

Nopal es un término mexicano derivado del Náhuatl, "Nopalli" (Bravo-Hollis & Sanchez Mejorada, 1991; Morinigo, 1966), con el que se designa a varias especies.

La tuna es conocido como Prickly pear, Cactus pear, Cactus fruti en Estados Unidos; Fico d' India (Sicilia), Figo morisca (Cerdeña), Figo della barbarie en Italia; Higo en España; chumbo en Francia; Tzabar en Israel; Kaktusfeigen en Alemania; Turksupurug en Sudafica Nopal en México y Tuna en Perú y Latinoamérica (Saenz, *et.al*, 2006).

Al retirarse de España, los moros llevaron esta especie al norte de África, llamándola "**Higo de los cristianos**". Actualmente en Marruecos conocida como "**tapia**", ilustrativo de su utilidad como cerco. Su amplia difusión en la cuenca del Mediterráneo puede apreciarse por el término "**Sabra**", que en Israel designa tanto al poblador nativo como a esta especie, como también por la ilustración de esta especie en sellos postales de varios países que rodean el mar Mediterráneo (Kiesling , 1998).

La forma cultivada fue llevada en 1769 a California por misioneros Franciscanos, provenientes de México, llamándosela hasta hoy "**mission cactus**" (Benson & Walkington, 1965).

En el nor-este brasilero se la utiliza como forraje, lo que se expresa claramente por su nombre local "**palma forrageira**". Su introducción en ese país no está registrada con exactitud. Su cultivo es muy importante en el oeste del Estado de Pernambuco (Kiesling , 1998).

I.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* L. El nombre *ficus-indica* había sido usado en "frases diagnósticas" ya mucho antes de Linneo, para designar varias especies (Amaya, 2009).

Tabla 1

Descripción completa de la clasificación científica de la tuna

CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA	
Reino	Vegetal
Subreino	Embryophita
División	Angiospermae
Clase	Dicotyledonea
Subclase	Dialipetalas
Orden	Opuntiales
Familia	Cactácea
Subfamilia	Opuntioideae
Tribu	Opuntiae
Género	<i>Opuntia</i> Nopalea
Subgénero	5
Especies	300

Fuente: Barrientos, (1983)

I.2.4. Tipos y Características de *Opuntia* Spp.

Se conocen casi 300 especies del género *Opuntia*. Sin embargo, hay solo 10 o 12 especies hasta ahora utilizadas por el hombre, ya sea para producción de fruta y nopalitos para alimentación humana, forraje o cochinilla para obtención de colorante (Saenz, *et.al*, 2006).

Entre ellas se encuentran, como especies cultivadas para producción de fruta: *Opuntia ficus-indica*, *O. amyclaea*, *O. xocconostle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*. Como especies silvestres: *Opuntia hyptiacantha*, *O. leucotricha* y *O. robusta*. De las especies citadas, la más ampliamente

cultivada en distintas partes del mundo es *Opuntia ficus indica*; es más, en la cuenca del Mediterráneo es la única *Opuntia* que se cultiva (Uzun, 1997) y se emplea con diferentes propósitos.

Las características de estas especies son variables, diferenciándose en la forma de los cladodios, en la presencia o ausencia de espinas, en el tamaño y color de los frutos y en otras características botánicas. Por ejemplo, los frutos de *Opuntia ficus-indica* son dulces, jugosos, de color amarillo, anaranjado, rojo o púrpura, con mucha pulpa y cascara de grosor variable, pero generalmente delgada (Saenz, *et.al*, 2006).

I.2.5. Hábitat

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 (Amaya, 2009).

La proliferación masiva de ciertos tejidos parenquimatosos, asociados con un 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. Por otra parte, las formas esféricas o suculentas representan los cuerpos más eficientes para evitar la evapotranspiración. Para su óptimo desarrollo, la planta requiere una temperatura anual entre los 18 y 25°C, aunque existen algunas especies resistentes a las bajas temperaturas donde pueden soportar hasta 16 grados centígrados bajo cero, siempre y cuando no se presenten estas temperaturas por períodos prolongados. 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 (Amaya, 2009).

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., aunque también pueden encontrarse a altitudes menores cerca de la costa. En terrenos apropiados con pH neutro y sin problema de plagas, la *Opuntia ficus indica* puede llegar a vivir hasta 80 años. Las plantaciones comerciales de explotaciones intensivas, pueden durar 5 años (Amaya, 2009).

I.2.6. 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 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 (Amaya, 2009).

I.3. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Los nopales son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar 3,5 a 5m de altura. El sistema radical es muy extenso, densamente ramificado, rico en raíces finas absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasa pluviometría. La longitud de las raíces está en relación con las condiciones hídricas y con el manejo cultural, especialmente el riego y la fertilización (Sudzuki, 1993; Sudzuki, 1999; Villegas, 1997)

Su tronco es leñoso y mide entre 20 y 50 cm de diámetro. Sus ramas están formadas por cladodios de 30 a 60 cm de largo x 20 a 40cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor. El cladodio fresco recibe el nombre de nopalito y el adulto de penca.

En las pencas, de color verde opaco, se realiza la fotosíntesis, pues éstas remplazan a las hojas con esa función. Se encuentran protegidas por una cutícula gruesa que, en ocasiones, está cubierta de cera o pelos que disminuyen la pérdida de agua, ya que poseen abundante parénquima. En este tejido se almacenan considerables cantidades de agua lo que permite a las plantas soportar largos periodos de sequía. Cabe destacar el papel de los mucílagos (hidrocoloides presentes en este tejido) que tienen la capacidad de retener el agua (Nobel, *et.al*, 1992).

La Figura 2 esquematiza las partes de la *Opuntia ficus indica*, se identifica: 1) Cladodio o Penca, 2) Espinas, 3) Flor y 4) Fruto.

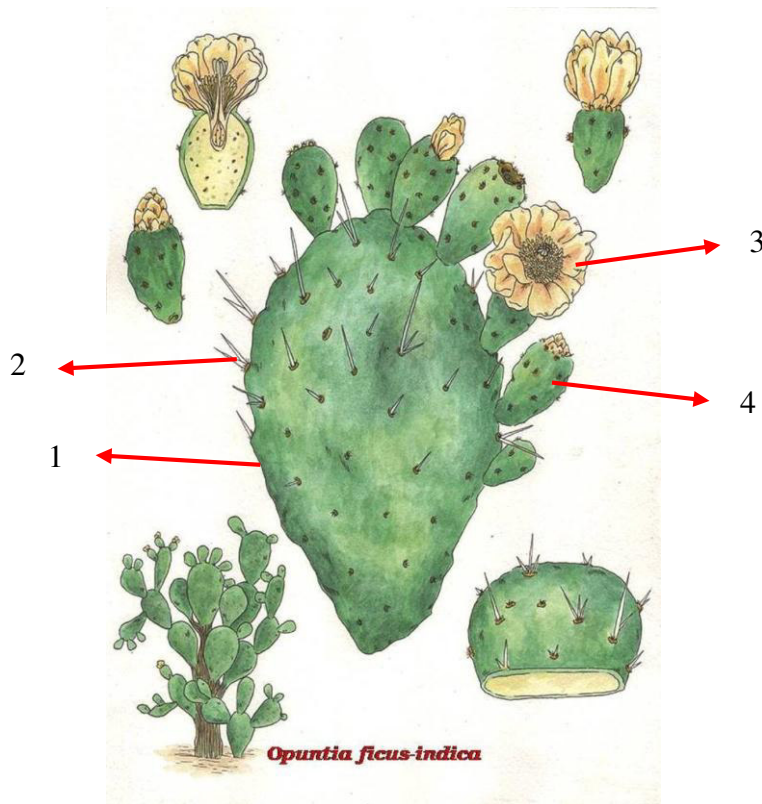


Figura 2 Esquema de la *Opuntia Ficus Indica*.

I.3.1. Composición química general

La Tabla 2 muestra la composición química del nopal fresco. Los cladodios tienen interés desde el punto de vista industrial ya que cuando los brotes son tiernos (10-15 cm) se usan para la producción de nopalitos y cuando están parcialmente lignificados (cladodios de 2-3 años), para la producción de harinas y otros productos.

Tabla 2

Composición química de 100g de nopal fresco

PARÁMETRO	CONTENIDO
Porción comestible	78.00
Energía (Kcal)	27.00
Proteínas (g)	1.70
Grasa (g)	0.30
Carbohidratos (g)	5.60
Calcio (mg)	93.00
Hierro (mg)	1.60
Tiamina (mg)	0.03
Riboflavina (mg)	0.06
Niacina (mg)	0.03
Ascórbico (mg)	8.00

Fuente: De la Rosa & Santana, (2001)

El contenido de los macrocomponentes en el cladodio cambia con su edad, como lo muestra la Tabla 3. Los nopalitos contribuyen con una alta proporción de agua (alrededor del 90%) y son altamente cotizados por su contenido de fibra, comparable al de varias frutas y hortalizas (Zambrano, *et.al*, 1998; Ruales & Zumba, 1998).

Tabla 3

Composición química de cladodios de distintas edades (porcentaje materia seca).

EDAD (AÑOS)	PROTEÍNA	GRASA	CENIZAS	FIBRA CRUDA	EXTRACTO NO NITROGENADO
0.5	9.4	1.00	21.0	8.0	60.6
1	5.4	1.29	18.2	12.0	63.1
2	4.2	1.40	13.2	14.5	66.7
3	3.7	1.33	14.2	17.0	63.7
4	2.5	1.67	14.4	17.5	63.9

Fuente: López (1977) citado por Sáenz, *et.al*, (2006)

Son ricos también en minerales, entre ellos el calcio y el potasio (93 y 166 mg/100 g, respectivamente), y tienen bajo contenido de sodio (2 mg/ 100 g), lo que es una ventaja para la salud humana. Su alto contenido en calcio, los hacen muy interesantes por la importancia de este mineral en la dieta. McConn & Nakata, (2004) en un estudio efectuado en nopalitos señalan, sin embargo, que el calcio no estaría disponible para la utilización por el cuerpo humano, ya que se encuentra bajo forma de cristales de oxalato de calcio. Contienen, además, cantidades moderadas de carotenoides (30 µg/100 g) y vitamina C (11 mg/100 g) (Rodríguez & Cantwell, 1988). La composición química de las cenizas varía en las distintas especies y también dentro de una misma especie, de acuerdo a la composición química del suelo y con los complicados fenómenos mediante los que esas plantas disponen de sus nutrientes. Estos fenómenos se relacionan con la acidez, salinidad, conductividad, grado de disociación o ionización, humedad y textura del suelo.

I.3.2. Propiedades funcionales de los frutos y cladodios

Los compuestos funcionales son aquellos que tienen efectos beneficiosos para la salud y tanto los frutos como los cladodios de la tuna son una fuente interesante de tales componentes, entre los que destacan la fibra, los hidrocoloides (mucilagos), los pigmentos (betalainas y carotenoides), los minerales (calcio, potasio), y algunas vitaminas como la vitamina C (Saenz, *et.al*, 2004). Los

contenidos de estos compuestos son distintos en frutos y cladodios, siendo la pulpa de la fruta la parte más rica en vitamina C mientras que los cladodios son más ricos en fibra.

Una alternativa explorada hace años es la obtención de betalaínas a partir de las tunas rojas o púrpuras. Las betalaínas son pigmentos solubles en agua derivados del ácido betalámico cuya estabilidad se ve afectada por el pH, siendo más estables a pH entre 4,0 y 6,0 (Castellar, *et.al*, 2003). Están formadas por dos grupos principales, las betacianinas (rojas) y las betaxantinas (amarillas), que presentan absorbancias a diferentes longitudes de onda (540 nm y 480 nm, respectivamente). Dentro de las betacianinas se encuentran varios compuestos, entre ellos la betanina, que suele ser el mayor responsable del color rojo (Fernández, *et.al*, 2002). La benina, también llamada rojo-betarraga, es aceptada entre los pigmentos naturales, utilizados principalmente para colorear alimentos que no son tratados térmicamente, como yogur, helados y jarabes. Se encuentra presente tanto en la cáscara como en la pulpa de los frutos y su concentración varía de acuerdo a la especie (Saenz, *et.al*, 2004; Sepúlveda, *et.al*, 2003) por lo que es de interés estudiar y seleccionar las especies que concentran la mayor cantidad del pigmento.

Según su solubilidad en agua, la fibra se clasifica en soluble e insoluble; la primera la conforman mucilagos, gomas, pectinas y hemicelulosas y la insoluble es principalmente celulosa, lignina y una gran fracción de hemicelulosa (Atalah & Pak, 1997). Estas fracciones de fibra tienen efectos fisiológicos distintos: es así como la fibra soluble se asocia con la reducción de los niveles de glucosa y de colesterol y la estabilización del vaciamiento gástrico y la fibra insoluble con la capacidad de retención de agua (aumento del peso de las heces), el intercambio iónico, la absorción de ácidos biliares, minerales, vitaminas y otros y su interacción con la flora microbiana.

Los cladodios son una fuente importante de fibra, de calcio y de mucilagos, tres componentes que son necesarios para integrar una dieta saludable (Saenz C., 2004; Saenz, *et.al*, 2004).

Las pectinas, aunque están presentes en la pulpa en baja cantidad, son parcialmente responsables de la viscosidad de la misma y son un elemento positivo en la producción de jugos y jaleas.

La viscosidad que poseen las pulpas se ve influida por la presencia de pectinas y mucilagos. Ambos compuestos están considerados dentro del grupo de los hidrocoloides por su gran capacidad para captar y retener agua; forman parte, a su vez, de la fibra dietética. Estos compuestos, pueden ser utilizados como espesantes en productos alimenticios (Saenz, *et.al*, 2004; Sepulveda, *et.al*, 2003).

I.3.3. Usos del Nopal

Actualmente, el nopal tiene múltiples usos, entre los que se encuentran los siguientes:

- Como frutal. Para producción de tuna, fruto del nopal, esta cactácea se cultiva en diversos países: México (67.000 Ha), Italia (2.500 Ha), Sudáfrica (1.500 Ha), Chile (1.000 Ha), Colombia (300 Ha), Israel (250 Ha), Estados Unidos de América (200 Ha), entre otros países (Abraján, 2008).
- Como hortaliza (nopalito). Con este propósito el nopal se cultiva en México (10.500 Ha) y en Estados Unidos de América (150 Ha) (Abraján, 2008).
- Como planta forrajera. El nopal se cultiva en muchos países para este propósito: Brasil (500.000 Ha), Sudáfrica (350.000 Ha), México (150.000 Ha, además 3.000.000 Ha de nopaleras silvestres las cuales se usan para la obtención de forraje), Túnez (75.000 Ha), Marruecos (10.500 Ha), Argentina (10.000 Ha), Estados Unidos de América (1.000 Ha, además de 500.000 Ha de nopaleras silvestres). De otros países, como Argelia, Libia, Egipto, Jordania, Etiopía, Namibia, Mozambique, etc., no se dispone de información sobre superficies cultivadas de nopal con fines forrajeros (Abraján, 2008).

- Como sustrato para la producción de grana cochinilla. La cochinilla (*Dactylopus coccus* Costa) es un insecto que produce el carmín, un colorante rojo que ha vuelto a tomar importancia, a raíz de que se prohibieron, por considerarlos cancerígenos, los colorantes artificiales (FDA N° 2 y 4). Se cultiva nopal para producir grana en Perú (70.000 Ha), Bolivia (1.000 Ha), Chile (500 Ha), España (300 Ha), Sudáfrica (100 Ha), Argentina (50 Ha) y México (10 Ha) (Abraján, 2008).
- Como planta medicinal. Se ha probado que los nopalitos y las cáscaras de la tuna ácida (xoconostle) abate los niveles de azúcar y colesterol en la sangre, por lo que su consumo en fresco, cocinado y procesado industrialmente se ha acrecentado en México (Abraján, 2008).
- Como materia prima en la producción de cosméticos. En México y otros países se fabrican, de nopal o de la tuna, cosméticos como: champú, acondicionadores, jabones, cremas, lociones, mascarillas, geles, etc (Abraján, 2008).
- Como materia prima para elaborar bebidas alcohólicas. En México, Estados Unidos de América, Italia, Perú, Chile, Dinamarca, etc., se utiliza el nopal y sobre todo la tuna para fabricar vinos, licores y aguardientes (Abraján, 2008).
- Como cerco. La utilización de las variedades espinosas de nopal para formar cercos en los huertos familiares y en los predios ganaderos es común y muy antigua en México (Abraján, 2008).
- Para la conservación del suelo. El nopal se utiliza en muchos países para proteger el suelo de la erosión hídrica y eólica. Evita la desertificación en zonas áridas y semiáridas, formando setos en curvas de nivel, que soportan las condiciones del medio árido

caracterizado por una precipitación pobre e irregular y alta oscilación térmica diaria y anual (Abraján, 2008).

- Otros usos populares a los que actualmente se les está estudiando su base científica, como la utilización de las pencas en la clarificación de aguas (López, 2000), su adición a la cal como adherente, en pinturas (Ramsey , 1999) o su introducción en el suelo para aumentar la infiltración de agua (Gardiner, *et.al*, 1999)
- La tuna y los cladodios se conservan y transforman aplicando tecnologías equivalentes de procesamiento y existen alimentos tradicionales preparados en base a tuna y nopalitos. Se cuentan entre ellos alimentos en base al fruto: mermeladas, jugos y néctares; productos deshidratados; jugos concentrados, jarabes y licores. En base a los cladodios se encuentran entre otros, encurtidos, jugos, mermeladas y productos mínimamente procesados (Abraján, 2008).
- Otra propiedad distinta es la que se atribuye al nopal como repelente de insectos, aunque no se conocen estudios científicos acerca de esta acción; un producto que con estos fines habría sido probado con éxito en la isla de Roatan, Honduras, está siendo elaborado en Texas, patentando y se ofrece a través de Internet (Saenz, *et.al*, 2006)

A continuación, se mencionan una serie de sectores industriales que pueden obtener y/o beneficiarse con productos obtenidos a partir de los nopales (Saenz, *et.al*, 2006):

- Agroindustria de alimentos y bebidas para consumo humano (producción de diversos alimentos, bebidas alcohólicas y analcohólicas de tuna y nopalitos);
- Agroindustria de alimentos para animales (suplementos y piensos de cladodios y de desechos de la industria procesadora de tuna, como las cáscaras y las semillas);

- Industria farmacéutica (protectores gástricos de extractos de mucílagos; cápsulas y tabletas de polvo de nopal);
- Industria cosmética (cremas, champúes, lociones de cladodios);
- Industria de suplementos alimenticios (fibra y harinas de cladodios);
- Industria productora de aditivos naturales (gomas de cladodios; colorantes de la fruta);
- Sector de la construcción (compuestos ligantes de los cladodios);
- Sector energético (producción de biogás a partir de las pencas);
- Sector productor de insumos para la agricultura (productos del nopal como mejoradores del drenaje de suelos);
- Sector turismo (artesanías en base a cladodios lignificados);
- Industria textil (uso de colorantes naturales como el carmín de cochinilla).

Continuando con las aplicaciones de la tuna y sus cladodios, en este caso, en el sector alimentario, se visualiza la Tabla 4, donde indican los productos y subproductos de estos.

Tabla 4

Algunos productos alimenticios, subproductos y aditivos obtenidos de la tuna y los cladodios.

PRODUCTOS		SUBPRODUCTOS
Tunas	Cladodios	Tunas y Cladodios
Jugos y néctares	Jugos	Aceite de las semillas
Mermeladas, geles y jaleas	Encurtidos y salmuera	Mucilagos de los cladodios
Frutas y láminas deshidratadas	Mermeladas y jaleas	Pigmentos de las cáscaras y frutos
Edulcorantes	Harinas	Fibra dietaria de los cladodios
Alcoholes, vinos y vinagres	Alcohol	
Fruta enlatada	Confites	Pasta forrajera de la cáscara y las semillas
Fruta y pulpa congelada	Salsas	
	Nopalitos	

Fuente: Sáenz, *et.al*, (2006)

CAPITULO II

EL MUCILAGO DE NOPAL

II.1.MUCILAGO DE NOPAL

Otro componente al que se ya se ha hecho mención por su importancia fisiológica es el mucílago. Este compuesto se presenta tanto en los cladodios como en la piel y pulpa de la fruta, aunque en muy diversas proporciones. Estudios efectuados por (Saenz & Sepulveda, 1993) indican que el rendimiento en todos los casos es bajo: 0,5 por ciento en la cáscara y 1,2 por ciento en los cladodios.

Estos hidrocoloides pueden ser interesantes porque se pueden extraer de las pencas maduras dándoles mayor utilidad o de pencas provenientes de la poda de plantas que se cultivan para producción de fruta. Estos hidrocoloides podrían integrar la oferta de una gran gama de agentes espesantes de amplio uso en la industria de alimentos y farmacéutica. Su poder viscosante está siendo actualmente estudiado (Cárdenas, *et.al*, 1997; Medina Torres, *et.al*, 2000; Sepúlveda, *et.al*, 2003) con resultados interesantes, por lo que -si se mejoran los rendimientos de extracción- podría competir con gomas de gran uso como la goma garrofin, el guar u otros agentes espesantes.

Por su parte en Israel, (Garti, 1999) ha estudiado la capacidad como agente emulsionante de la goma o mucilago de *Opuntia ficus-indica*. El autor encontró que esta goma: (1) reduce la tensión superficial e interfacial; (2) estabiliza emulsiones del tipo aceite-agua; (3) forma gotas de aceite pequeñas; (4) absorbe hacia la interface aceite-agua y no contribuye a la viscosidad de los sistemas; (5) los sistemas no floculan. Espinosa (2002) estudio la adición de dispersiones de mucilago de nopal en distintas concentraciones (0,5 y 0,8 por ciento) a espumas elaboradas con clara de huevo, demostrando que la adición de mucilago en las dos concentraciones aumentaba la estabilidad con

respecto a un control sin adición de mucilago de nopal, lo que se manifestaba en una menor sinéresis y un mayor volumen luego de 48 horas de reposo.

Hasta hace poco tiempo, se consideraba que las gomas o hidrocoloides, no contribuían al valor nutritivo de los alimentos, por consiguiente, sus calorías no aumentaban y no impartían ningún sabor ni aroma a los productos a los que se adicionaban.

II.1.1. Extracción de mucilago

No existe una técnica estandarizada para extraer el mucilago debido a que el método cambia según la fuente (Cladodio o fruta) y de la parte específica de la planta (piel, pulpa o semillas).

Las metodologías de extracción del mucílago señaladas en los diferentes estudios realizados son muy variadas, desde metodologías muy simples como la señalada por (Vargas & Ramos, 2003) hasta otras más complicadas como la utilizada por Habibi, *et.al*, (2005). El método cambia según la fuente de mucílago (cladodio o fruto) y la parte concreta de la que se extraerá el hidrocoloide (piel, pulpa o semillas). En función de lo anterior y el grado de pureza que se desea obtener serán las modificaciones al método simple que se deban hacer.

Haciendo una recolección de información se presenta un cuadro resumen de las etapas de extracción en la tabla 5.

Tabla 5

Descripción de cada una de las etapas de la extracción del mucilago según diferentes fuentes

PROCESO	DESCRIPCIÓN
Selección	Se recolectan Pencas de 2 a 3 años de edad, se cosechan durante la mañana, ya que los ácidos de estas varían según la hora de cosecha por tratarse de plantas con metabolismo ácido de las crasuláceas (Corrales, <i>et.al</i> , 2004; Goldstein & Nobel, 1991; Abraján, 2008; Sepúlveda, <i>et.al</i> , 2007)

Lavado – Cepillado

Luego de la selección y antes de entrar al proceso, la fruta debe ser lavada, con agua limpia. En el caso de los nopalitos, al igual que en el caso de la tuna, la remoción de las espinas forma parte de la limpieza. Esta se lleva a cabo en forma manual, con cuchillos afilados; de igual modo ocurre con el pelado manual de la tuna. (Saenz, et.al, 2006)

Pelado

Luego del desespinado, con un cuchillo casero se elimina la cutícula y la epidermis, tratando de recuperar la mayor cantidad de colénquima y parénquima, que es donde se encuentra la mayor cantidad de células que almacenan el mucilago. (Sepúlveda, et.al, 2007; Dominguez, et.al, 2011, Abraján, 2008)

Trituración

Se mezclan la penca previamente pelada con agua destilada para facilitar la molienda, para facilitar la extracción de principios activos.

Extracción Acuosa

A la penca molida se le somete a una extracción solido-líquida, Considerando ciertos factores como Relación Penca/Agua, Temperatura y tiempo. En algunas fuentes solo consideran valores fijos para este proceso (Contreras, et.al, 2015; Dominguez, et.al, 2011; Quispe, 2012; Abraján, 2008), en otros trabajos consideran un rango en cada uno de estos factores para así optimizar el % rendimiento (Sepúlveda, et.al, 2007; Cai, et.al, 2008)

Filtración

Paso necesario para retirar restos de fibra y pulpa de la penca, se usará una tela adecuada para este procedimiento, para así poder quedarse con el líquido mucilaginoso. (Sepúlveda, et.al,2007; Saenz, et.al,2006; Abraján, 2008; Dominguez, et.al, 2011; Quispe, 2012)

Centrifugación

Necesario para retirar mermas de partículas muy pequeñas, que pasaron el 1° filtrado. (Sepúlveda, et.al, 2007; Saenz, et.al, 2006; Cai, et.al, 2008; Abraján, 2008)

Concentración

Este paso es necesario para así poder evaporar el exceso de agua y así reducir el volumen de alcohol a utilizar en la siguiente

	etapa. (Sepúlveda, et.al, 2007; Saenz, et.al, 2006; Cai, et.al, 2008; Abraján, 2008; Dominguez, et.al, 2011)
Precipitación	Esta etapa es necesaria para insolubilizar los polímeros mediante la adición del alcohol, generando un desfase así también poder solubilizar los pigmentos, disolviendo parte de la clorofila presente en la penca. (Sepúlveda, et.al, 2007; Saenz, et.al, 2006; Cai, et.al, 2008; Abraján, 2008; Dominguez, et.al, 2011; Contreras, et.al, 2015)
Centrifugación	Paso necesario para separar el mucilago precipitado del exceso de alcohol. (Sepúlveda, et.al, 2007; Saenz, et.al, 2006; Cai, et.al, 2008)
Lavado – Filtrado	Se utiliza el alcohol para eliminar el exceso de agua y facilitar el secado. (Sepúlveda, et.al, 2007; Saenz, et.al, 2006; Cai, et.al, 2008; Abraján, 2008)
Secado	Consiste en la eliminación del solvente orgánico. (Sepúlveda, et.al, 2007; Saenz, et.al, 2006; Cai, et.al, 2008; Abraján, 2008; Dominguez, et.al, 2011; Contreras, et.al, 2015)

Fuente: Elaboración propia

Otras etapas no consideradas en este cuadro, ya que no se tomarán en cuenta en el proceso experimental de este trabajo debido a un bajo rendimiento porcentual, son el Escaldado y decoloración, ya que la finalidad de estas es obtener un producto blanco y no la de alcanzar rendimientos de extracción elevados. (Abraján, 2008)

II.1.2. Factores a considerar en la extracción

En la tabla 6 se resumirán algunos trabajos de investigación donde se consideraron ciertos factores para obtener un alto Rendimiento porcentual de extracción de polisacáridos.

Tabla 6

Factores, intervalo de valores y Rendimientos porcentual según Publicaciones previas

AUTOR	MATERIA PRIMA (ESPECIE) – PROCEDENCIA	ETAPA	FACTORES	INTERVALO DE VALORES	% RENDIMIENTO
Sepúlveda, et.al, (2007)	Penca (Opuntia Ficus Indica) – Plantaciones en Chile	Extracción	Relación Penca	1/5 – 1/7	1.51
			Fresca / Agua		
		Temperatura	40°C – 16°C		
		Tiempo	4h, 8h y 16h		
Cai, et.al, (2008)	Penca (Opuntia Milpa Alta) – Shangai China	Extracción	Tipo de alcohol	Etanol 95° - Alcohol Isopropílico	0.694
			Relación Extracto/Alcohol	1/3 – 1/4	
			Relación Penca Fresca / Agua	1/2 – 1/3 – 1/4	
			Temperatura	70°C – 80°C – 90°C	
			Tiempo	2h, 3h y 4h	

Fuente: Elaboración Propia

Para este trabajo se considerará como factores los presentados en la tabla 7.

Tabla 7

Descripción e intervalos de los factores a utilizar en este trabajo

FACTOR	INTERVALO	DESCRIPCIÓN
Relación Penca /Agua	1/3 – 1/4	<p>Considerando la información de Sepúlveda, et.al, (2007) concluyen que el rendimiento puede aumentar si este factor o la Temperatura aumentan; Cai, et.al, (2008) analiza cómo influye este factor a una Temperatura y tiempo constantes, viendo que el Rendimiento porcentual es casi constante a valores de 1/3 y 1/4.</p> <p>Tanto Sepúlveda, et.al, (2007) y Cai, et.al, (2008) coinciden que el Rendimiento porcentual de extracción se ve más afectado con este factor. Según Cai, et.al, (2008); quien evaluó este factor a una Relación penca/Agua y tiempo constantes indica que a Temperaturas superiores a 85°C el Rendimiento va disminuyendo debido al aumento de la hidrólisis del polisacárido cuando este factor es mayor.</p> <p>Según Cai, et.al, (2008) después de analizar sus resultados concluye que a medida que el tiempo aumenta hasta 4h este tendrá en efecto positivo en el rendimiento porcentual, exceder este valor originará el cambio de la estructura de la molécula de polisacáridos disminuyendo así el rendimiento.</p>
Temperatura	60°C ± 2, 80°C ± 2	
Tiempo	2h – 4h	

Fuente: Elaboración propia

II.1.3. Composición química del mucílago

El mucílago es un carbohidrato complejo. Entre los monómeros contenidos en la cadena se encuentran: L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-Xilosa y ácido galacturónico. La proporción de estos monómeros en la molécula varía de acuerdo a diversos factores como: variedad, edad, condiciones ambientales y estructura empleada para la extracción (fruto, cáscara, cladodio), entre otros factores. La Tabla 8 muestra la composición química del mucílago de *Opuntia ficus indica* y la Tabla 9 los monómeros presentes en el mucílago de diferentes especies de *Opuntia*, así como su peso molecular, según distintas referencias bibliográficas consultadas. El mucílago está presente como su sal de calcio en las células de mucílago del parénquima de la penca (Trachtenberg & Mayer, 1982).

Tabla 8
Rendimiento de mucilago y composición química (g/100g)

AUTOR	% RENDIMIENTO	HUMEDAD	PROTEÍNA	CENIZAS	GRASA	FIBRA	CARBOHIDRATO
BASE HUMEDA							
Almendárez, (2004)	0.78	7.56	5.0	38.74	0.47	0.47	55.32
Sepúlveda, et.al, (2007)	1.51 ± 0.1	6.0 ± 0.1	7.23 ± 0.1	37.3 ± 1.0	-	-	49.47
Hong & Ibrahim, (2012)	2.12	13.69	4.81	28.67	-	-	52.83
BASE SECA							
Bayar, et.al., (2016)	10.24	10.25	0.92	35.52	-	-	63.45
Abraján, (2008)	-	-	3.65	22.78	0.75	0.52	72.3
Martínez & González , (2012)	-	-	7.39	-	-	-	58.77

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9

Peso Molecular (PM) y monómero (galactosa, ramnosa, arabinosa, xilosa, ácido galacturónico) presentes en mucilago de Opuntia Spp. Según diferentes estudios

AUTOR	MW (g/mol)	GALACTOSA	RAMNOSA	ARABINOSA	XILOSA	ÁCIDO URÓNICO
Srivastava (1974)		+		+		
Saag (1975)		+	+	+	+	+
Paulsen and Lund (1979)		+	+	+	+	+
Mc Garvie and Parolis (1979)		+	+	+	+	+
Trachtenberg & Mayer (1981)	4.3 x 10 ⁶	+	+	+	+	+
Mc Garvie and Parolis (1979)		+		+	+	
Mc Garvie and Parolis (1981)		+	+	+	+	+
Trachtenberg & Mayer (1982)	1.56 x 10 ⁶					
Nobel (1992)		+	+	+	+	+
Sáenz (1993)		+	+	+	+	+
Forni (1994)		+		+	+	+
Cárdena (1997)	3 x 10 ⁶	+	+	+		+
Medina (2000)	2.3 x 10 ⁶	+	+	+	+	+
Cárdenas (2008)		+	+	+	+	
Majdoub (2001)	6.92 x 10 ⁶	+	+	+	+	+
Majdoub (2001)	2.25 x 10 ⁵		+			+
Majdoub (2001)	13.3 x 10 ⁶	+	+	+	+	+
Habibi (2004)		+	+	+	+	+

+ →Indica presencia del polisacárido por Fuente bibliográfica

Fuente: Abraján,(2008)

Tomando en cuenta las investigaciones más recientes, se puede concluir que los principales compuestos presentes en el mucilago de *Opuntia ficus indica* son:

Tabla 10

Principales compuestos presentes en el mucilago

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
L-Arabinosa	24.6 – 42
D-Galactosa	21 – 40.1
L-Ramnosa	7 – 13.1
D-Xilosa	22 – 22.2
Ácido D-Galacturónico	8 – 21.7

Fuente: Saenz, (2004)

De acuerdo a Trachtenberg & Mayer, (1981) el mucilago es un polisacárido, que contiene 10% de ácido urónico, arabinosa, galactosa, ramnosa y xilosa. La composición del mucilago de nopal fue bastante similar para Madjdoub, *et.al*, (2001) compuesto principalmente de L-arabinosa, D-Galactosa, D-xilosa y 19.4% de ácido urónico.

McGarvie & Parolis, (1981) encontraron que el mucilago de nopal está compuesto de una familia de polisacáridos altamente ramificados. Ellos consideran una estructura de unidades de ácido α - D – galacturónico unidas 1 \rightarrow 2 a unidades de β - L – ramnosa enlazadas 1 \rightarrow 4 con ramificaciones en el C -4, las ramificaciones de oligosacáridos de galactosa las cuales llevan L – arabinosa y D – xilosa como sustituyente

mucílago de *Opuntia ficus-indica* y de *Opuntia stricta* variedad Dillenii tienen una conducta similar al sulfato de aluminio para clarificar el agua. (López, 2000)

Trabajos como los de Vaca-Mier, *et.al*(2014) concluye la aplicabilidad del polvo de nopal como un coagulante primario alternativo, de bajo costo, gran efectividad y sin efectos tóxicos al medio ambiente, que, acompañado de otros procesos como la desinfección con sustancias alternativas, representaría una opción de tratamiento sustentable para el reúso de aguas negras en actividades de riego.

Otros como los de Villabona, *et.al*, (2013) determinaron que el material extraído de *Opuntia ficus indica* presenta una alta actividad como coagulante debido a su capacidad para remover 50% del color y 70% de turbidez de aguas crudas con alta turbidez inicial. También se logró establecer que el material no altera significativamente el pH del agua tratada. Todo lo anterior evidenció su potencial aplicación como alternativa a los coagulantes sintéticos. No obstante, ***se expone la necesidad de evaluar la dosis óptima de coagulante, y el efecto de otras variables, tales como la velocidad de agitación***, en el desempeño del material en procesos de clarificación, con el fin de diseñar procesos sustentables.

CAPITULO III

APLICACIÓN DEL MUCILAGO EN EL TRATAMIENTO DE AGUS TURBIAS

III.1. AGUA RESIDUAL

El término agua residual define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación (Dorea, 2006)

A las aguas residuales también se les llama aguas servidas, fecales o cloacales. Son residuos, que habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (del latín cloaca, alcantarilla), nombre que se le da habitualmente al colector. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno (Dorea, 2006)

III.1.1. Turbiedad y color en el agua residual

La turbiedad y el color del agua son principalmente causados por partículas muy pequeñas, llamadas partículas coloidales. Estas partículas permanecen en suspensión en el agua por tiempo prolongado y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. Por otro lado, aunque su concentración es muy estable, no presentan la tendencia de aproximarse unas a otras.

La turbidez es una característica del agua debida a la presencia de partículas suspendidas cuyo tamaño varía desde suspensiones groseras hasta coloides. La presencia de esas partículas provoca

la dispersión y absorción de la luz, dando una apariencia turbia, estéticamente indeseable y potencialmente peligrosa

La principal causa responsable de la turbidez en el agua son arcillas, minerales, sedimentos, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos, siendo las arcillas la causa más común de turbiedad. En cuanto al tamaño de las partículas formadoras de color existe desacuerdo respecto si estas sustancias están completamente disueltas en el agua o en estado coloidal. La mayoría de las partículas antes mencionadas, presentan tamaños inferiores a $3,5 \mu\text{m}$, lo que está muy cerca del límite entre dispersión coloidal y solución verdadera.

Para eliminar estas partículas, causantes de la turbidez, se recurre a los procesos de coagulación y floculación, la coagulación tiene por objeto desestabilizar las partículas en suspensión, es decir facilitar su aglomeración. En la práctica este procedimiento es caracterizado por la inyección y dispersión rápida de productos químicos. La floculación tiene por objetivo favorecer, con la ayuda de la mezcla lenta, el contacto entre las partículas desestabilizadas. Estas partículas se aglutinan para formar un flóculo que pueda ser fácilmente eliminado por los procedimientos de decantación y filtración.

Es muy importante que los procedimientos de coagulación y floculación sean utilizados correctamente, ya que la producción de un flóculo muy pequeño o muy ligero produce una decantación insuficiente; mientras que el agua que llega a los filtros contiene una gran cantidad de partículas de flóculos que rápidamente ensucian los filtros y necesitan lavados frecuentes. Por otro lado, cuando el flóculo es frágil, este se rompe en pequeñas partículas que pueden atravesar el filtro y alterar la calidad del agua producida.

III.2. PARTICULAS EN SUSPENSIÓN

Las partículas en suspensión de una fuente de agua superficial provienen de la erosión de suelos, de la disolución de sustancias minerales y de la descomposición de sustancias orgánicas. A este aporte natural se debe adicionar las descargas de desagües domésticos, industriales y agrícolas. En general la turbiedad del agua es causada por las partículas de materias inorgánicas (arcillas), en tanto que el color está formado por las partículas de materias orgánicas e hidróxidos de metal (hierro, por ejemplo).

III.2.1. Tamaño de las partículas en Suspensión

Las partículas se clasifican de acuerdo a su tamaño; así las partículas con diámetro inferior a 1 micrómetro (μm) que corresponden a partículas de materias orgánicas o inorgánicas, se depositan muy lentamente.

Tabla 11

Tiempos de decantación de las diferentes partículas en función a sus dimensiones

DIÁMETRO DE LA PARTÍCULA (mm)	ESCALA DE TAMAÑOS	ÁREA SUPERFICIAL TOTAL	TIEMPO REQUERIDO PARA SEDIMENTAR
10	Grava	3.15 cm ²	0.3 s
1	Arena Gruesa	31.50 cm ²	3.0 s
0.1	Arena fina	315.00 cm ²	38.0 s
0.01	Sedimento	3150.00 cm ²	33.0 min
0.001	Bacteria	3.15 m ²	55.0 horas
0.0001	Partícula Coloidal	31.50 m ²	230.0 días
0.00001	Partícula Coloidal	0.283 ha	6.3 años
0.000001	Partícula Coloidal	2.83 ha	63.0 años

Fuente: Barrenechea, (1983)

III.2.2. Los Coloides

Las partículas coloidales en el agua por lo general presentan un diámetro entre 1 y 1.000 milimicrómetros y su comportamiento depende de su naturaleza y origen. Estas partículas presentes en el agua son las principales responsables de la turbiedad.

III.2.3. Afinidad de las partículas coloidales con el Agua

Las partículas coloidales se caracterizan por ser hidrofílicas (tienen afinidad por el agua) e hidrófobas (es decir que rechazan al agua), los primeros se dispersan espontáneamente dentro del agua y son rodeados de moléculas de agua que previenen todo contacto posterior entre estas partículas; las partículas hidrofóbicas no son rodeados de moléculas de agua, su dispersión dentro del agua no es espontáneo por lo que requiere de la ayuda de medios químicos y físicos.

Las partículas hidrófobas son en general partículas de materias inorgánicas mientras que las hidrofílicas son materias orgánicas; en realidad solo un poco son las partículas que son exclusivamente hidrofílicas o hidrofóbicas; se obtienen más bien partículas hidratadas a los diferentes grados.

La carga eléctrica y la capa de agua que rodean las partículas hidrófilas tienden a desplazar las partículas unas de otras y, en consecuencia, los estabiliza entro de la solución.

III.2.4. Carga eléctrica y doble capa

Dentro del Agua Superficial, **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 situado 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.

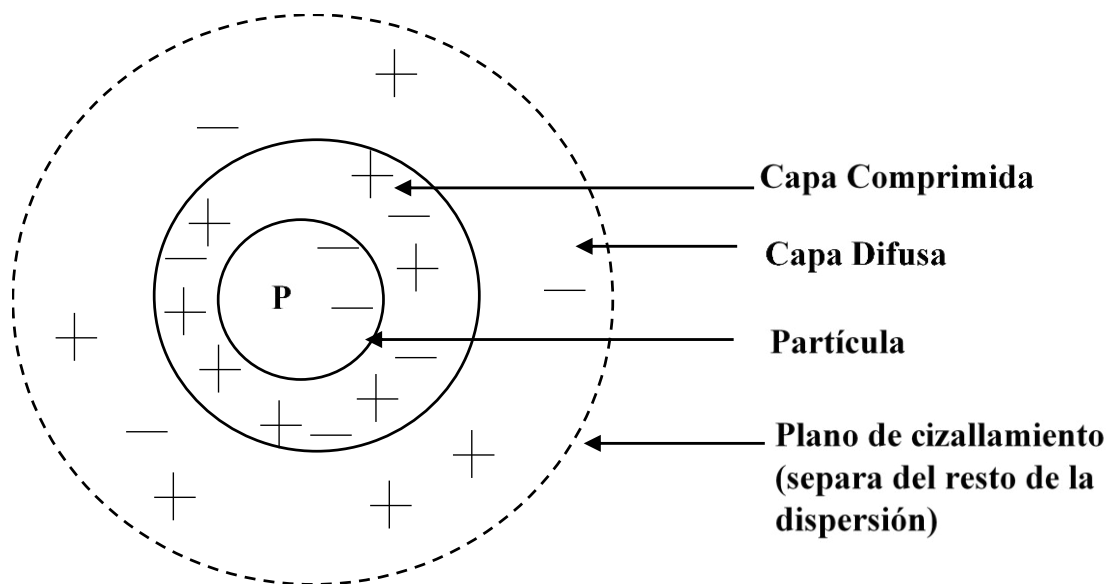


Figura 4 Doble Capa de una partícula coloidal (Fuente: Andía, 2000)

Los iones que 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.

III.2.5. Factores de Estabilidad e Inestabilidad

Las partículas coloidales están sometidas a dos grandes de fuerzas:

- **Fuerzas de atracción de Van der Waals:** E_a (factores de Inestabilidad); son fuerzas de atracción producidas por el movimiento continuo de las partículas.

- **Fuerzas de repulsión electrostáticas:** E_b (columbicas – factor de estabilidad); son fuerzas que impiden la aglomeración de las partículas cuando estas se acercan unas a otras.

El equilibrio de una suspensión coloidal depende de la fuerza resultante entre la fuerza de atracción y la fuerza de repulsión. E_r

$$E_r = E_a + E_b$$

III.3. COAGULACIÓN

El objetivo principal de la coagulación es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración; en consecuencia, se eliminan las materias en suspensión estables; la coagulación no solo elimina la turbiedad sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos.

La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos

El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto, que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada.

En la Figura 4 se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de la superficie del coloide permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

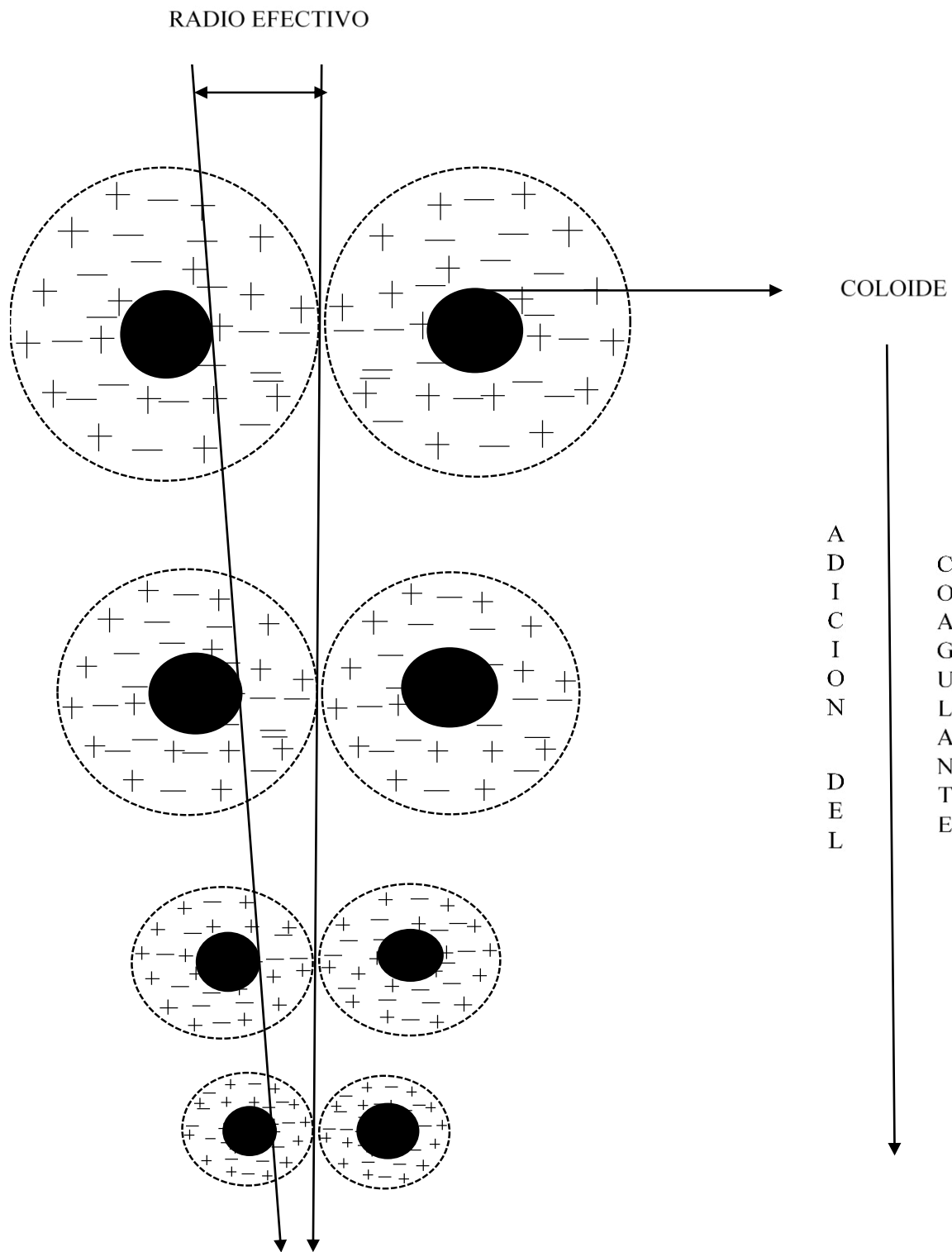


Figura 5 Esquema de como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide
(Fuente: Andía, 2000)

III.3.1. Mecanismo de la Coagulación

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- Compresión de la doble capa
- Adsorción y neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente.

III.3.1.1. Compresión de la doble capa

Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas, esto se consigue sólo con los iones del coagulante.

Existe por otro lado, ver figura 5, un potencial de atracción o fuerzas de atracción E_a , entre las partículas llamadas fuerzas de Van der Waals, que dependen de los átomos que constituyen las partículas y de la densidad de estos últimos.

Observando la Figura 5, se considera si la distancia que separa a las partículas es superior a “L”, entonces las partículas no se atraen. E es la energía que los mantiene separados. Fuerzas de repulsión y las fuerzas de Van der Waals, no son afectados por las características de la solución.

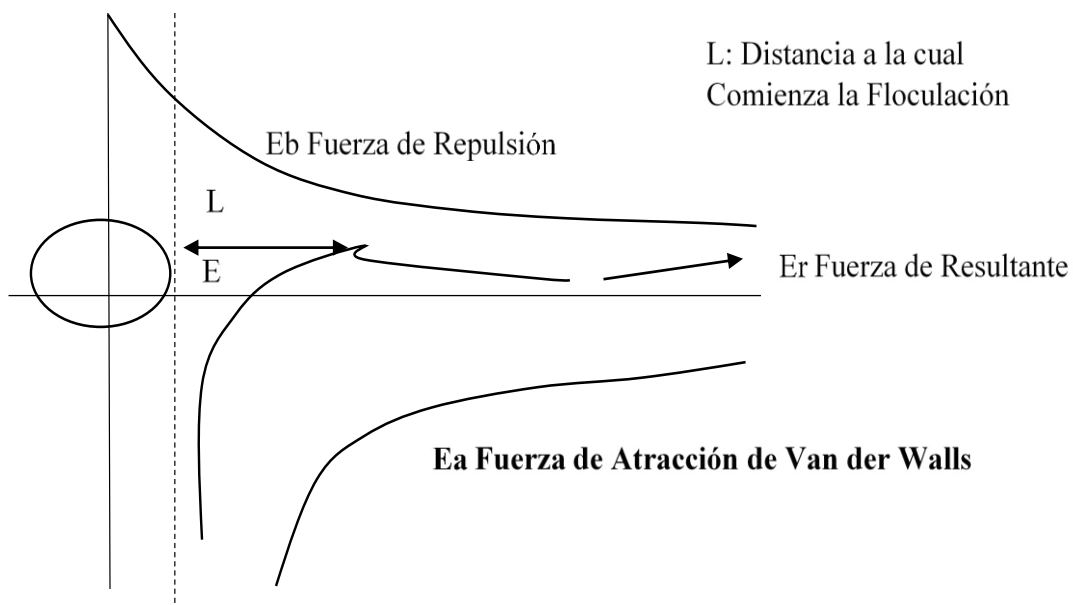


Figura 6 Fuerzas de atracción y Repulsión (Fuente: Andía, 2000)

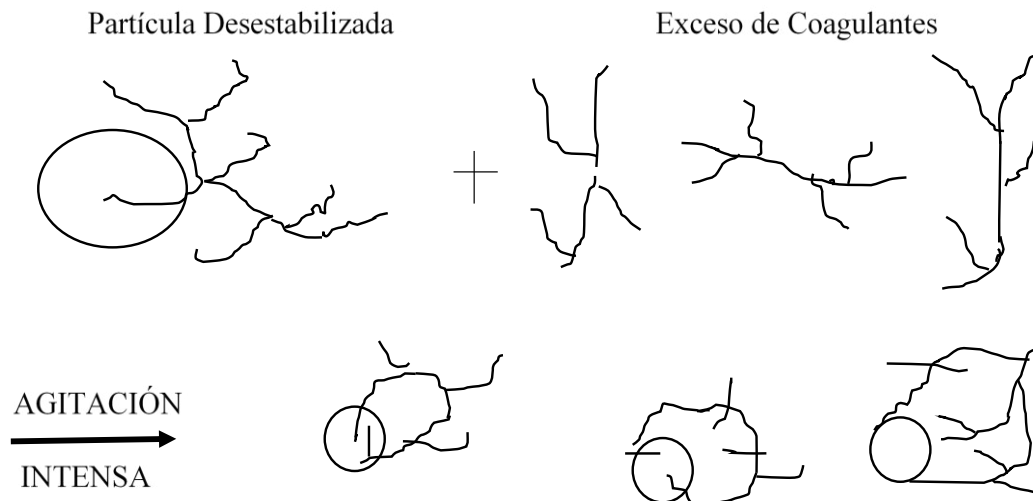
III.3.1.2. Adsorción y Neutralización de cargas

Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide.

El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electrocinético – potencial ZETA, este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua.

Después de la teoría de la doble capa la coagulación es la considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación – floculación, en la que la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente requiriéndose una energía complementaria necesaria; por ejemplo, realizar la agitación mecánica o hidráulica.

Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce a la reestabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que los excesos de coagulante son absorbidos en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original.



FRAGMENTOS DE FLOC REESTABLECIDO

Figura 7 Reestabilización de partículas (Fuente: Andía, 2000)

III.3.1.3. Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado

La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales acelera la formación del precipitado. Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del flóculo; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida. En otras palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante.

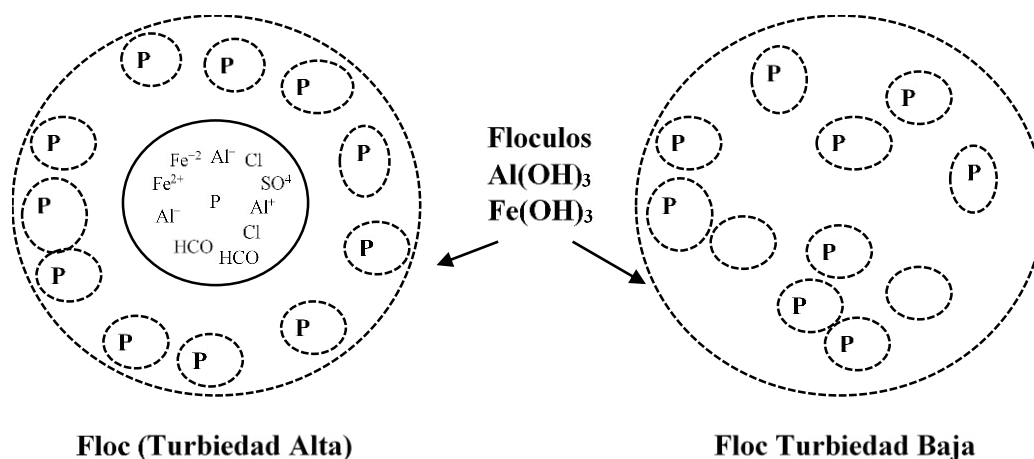


Figura 8 Atrapamiento de las partículas en un floculo (Fuente: Andía, 2000)

III.3.1.4. Adsorción y puente

En cualquier caso, se obtiene el tratamiento más económico utilizando un polímero aniónico, cuando las partículas están cargadas negativamente. Este fenómeno es explicado por la teoría del “puente”. Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales. La molécula de polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas. Por eso se dice que las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales. Esto puede tener una reestabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros.

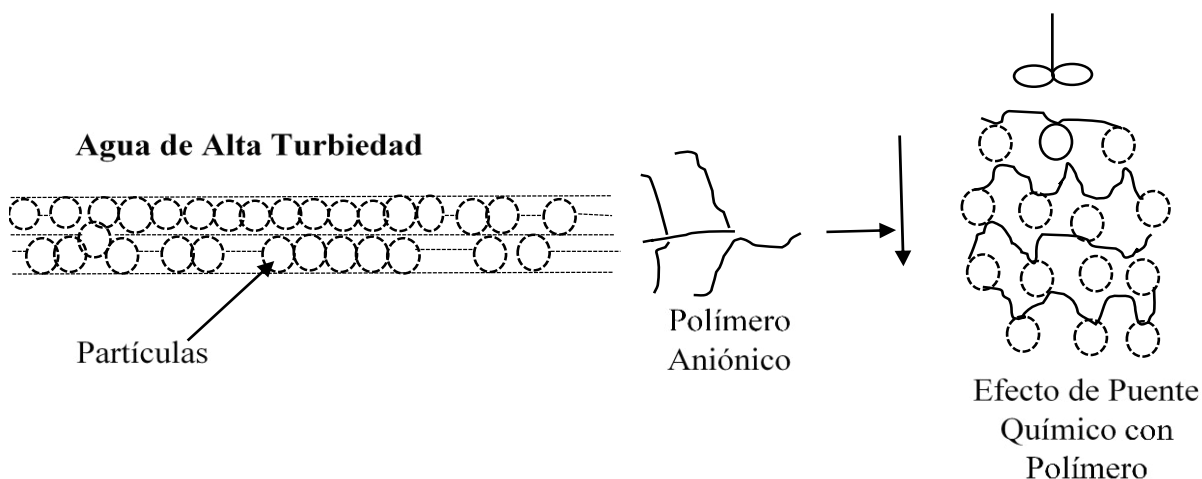


Figura 9 Efecto de puente de las partículas en suspensión (Fuente: Andía, 2000)

III.3.2. Coagulantes Utilizados

Los componentes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando.

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el flóculo son:

- a) Sulfato de Aluminio.
- b) Aluminato de Sodio.
- c) Cloruro de Aluminio.
- d) Cloruro Férrico.
- e) Sulfato Férrico.
- f) Sulfato Ferroso.
- g) Polielectrolitos (Como ayudantes de floculación).

III.3.3. Factores que Influyen en la Coagulación

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

- pH.
- Turbiedad.
- Sales disueltas.
- Temperatura del agua.
- Tipo de coagulante utilizado.
- Condiciones de Mezcla.
- Sistemas de aplicación de los coagulantes.
- Tipos de mezcla y el color.

Tabla 12
Descripción de los factores de la coagulación.

FACTOR	DESCRIPCIÓN
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 del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida es alta.

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

Sales disueltas

- Modificación del rango de pH óptimo.
- Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan 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.

Temperatura

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 flóculo.

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

Dosis del coagulante

- Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escaso, 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 microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.
-

Mezcla	<ul style="list-style-type: none"> • La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra. <p>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.</p>
Turbiedad	<p>Es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz; y es función del número, tamaño y forma de partículas.</p> <p>La turbiedad del agua superficial es gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5 um. La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo.</p>
Aplicación del coagulante	<p>La dosis del coagulante que se adicione al agua es en forma constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida, tal que el coagulante sea completamente dispersado y mezclado con el agua.</p>

Fuente: Andia, (2000)

III.3.4. Etapas o fases de coagulación

El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas.

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Adsorción mutua de coloides.

- Acción de barrido.

III.3.5. Tipos de coagulación

Se presentan dos tipos básicos de coagulación: Por Adsorción y Por Barrido.

- a) Coagulación Por Adsorción:** Se presenta cuando el agua presenta una alta concentración de partículas al estado coloidal; cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son absorbidas por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea.
- b) Coagulación por Barrido:** Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña; en este caso las partículas son atrapadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico.

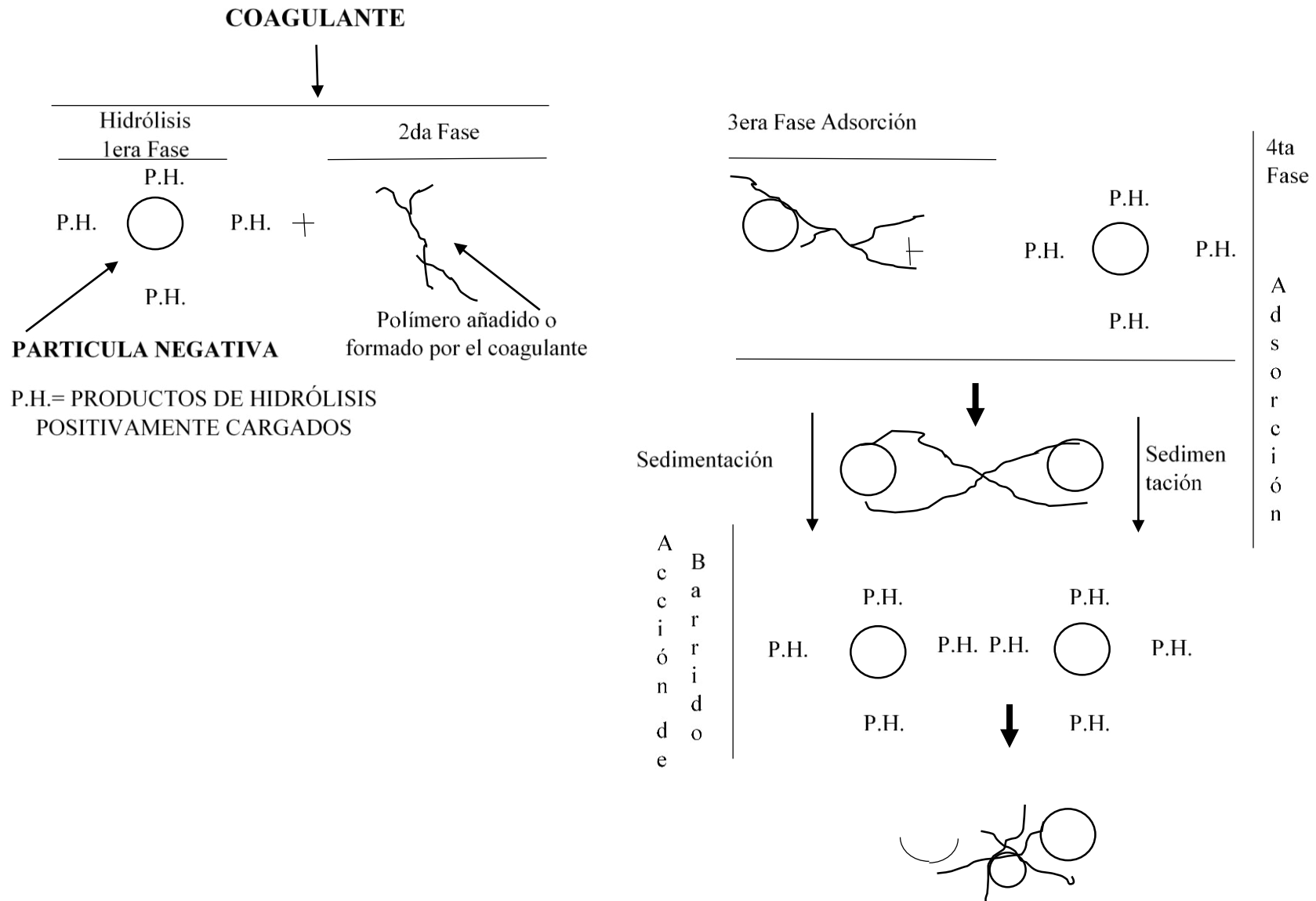


Figura 10 Fases de la coagulación (Fuente: Andía, 2000)

III.4. FLOCULACIÓN

En la segunda etapa de la mezcla que corresponde a una mezcla lenta tiene por objeto permitir los contactos entre los flóculos, la turbiedad y el color, la mezcla debe ser lo suficiente para crear diferencias de velocidad del agua dentro de la unidad, pero no muy grande, ya que los flóculos corren el riesgo de romperse; aún si el tiempo es no más del tiempo óptimo de floculación.

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también aumenta su peso.

La floculación puede ser mejorada por la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación.

III.4.1. Tipos de Floculación

Se mostrará a continuación los tipos de floculación.

III.4.1.1. Floculación Pericinéctica

Este producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.

III.4.1.2. Floculación Ortocinéctica

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microflóculos; para que esto suceda se produce primero la floculación Pericinéctica luego se produce la floculación Ortocinéctica.

III.4.2. Parámetros de la floculación

- Floculación Ortocinética (Se da por el grado de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica).
- Gradiente de Velocidad (energía necesaria para producir la mezcla).
- Número de colisiones (choque entre microfloculos).
- Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
- Densidad y tamaño de floculo.
- Volumen de lodos (los floculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación).

III.4.3. Floclantes

Los floclantes son polímeros o Polielectrolitos con pesos moleculares muy elevados moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas larga.

Estos floclantes pueden ser de naturaleza: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis.

III.4.3.1. Floclantes Minerales

Se encuentra la sílice activada, que es el primer floclante empleado, que debe ser preparado antes de emplear, su preparación es tan delicada y presenta el riesgo de la gelatinización; produce la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución.

III.4.3.2. Floclantes Orgánicos Naturales

Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales.

Los alginatos, cuya estructura polimérica son:

- Los ácidos manuránicos y.

- Los ácidos glucónico.

III.4.3.3. Floculantes Orgánicos de Síntesis

Son los más utilizados y son macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada de 10⁶ a 10⁷ g/mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros:

- Aniónicos (generalmente copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico).
- Neutros o no iónicos (poliacrilamidas).
- Catiónicos (copolímero de acrilamidas + un monómero catiónico).

III.5. POLIMEROS

Al hablar de polímeros (Poliectrolitos), se está hablando de una gran molécula construida por el encadenamiento de pequeñas unidades químicas simples; en algunos casos la cadena es lineal, de forma semejante a como una cadena la forman sus eslabones, en otros casos las cadenas son ramificadas o interconectadas, formando retículos tridimensionales.

Los polímeros, del griego poli (mucho) y meros (partes), reciben también el nombre de macromoléculas, debido al enorme tamaño de las moléculas que los componen. Estas moléculas gigantes tienen pesos moleculares más de cien veces mayores que los de moléculas pequeñas como el agua. Pero a pesar de la gran variedad de polímeros existentes, todos tienen una estructura interna similar y se rigen por las mismas teorías.

Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal, son sus propiedades mecánicas. En general los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción

intermoleculares dependen de la composición química del polímero (Goycoohea & Cárdenas, 2003)

III.5.1. Clasificación de los Polielectrolitos

Los Polielectrolitos, según su origen pueden clasificarse en polímeros naturales y polímeros sintéticos.

III.5.1.1. Los polímeros naturales o biopolímeros

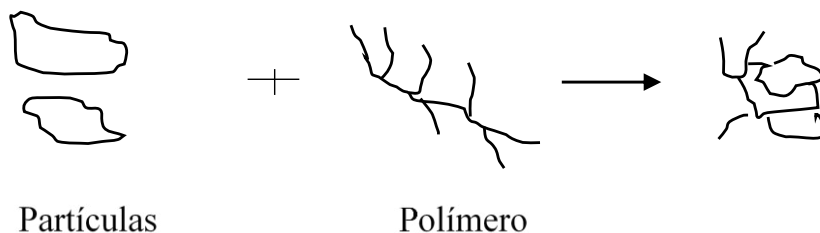
Son aquellos que se producen debido a las reacciones bioquímicas naturales en animales y plantas; son polímeros que muchas veces no tiene una sola composición química bien definida, pues están constituidos principalmente por varios tipos de polisacáridos. Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes y han dado los mejores rendimientos y vale la pena considerarlos para su uso en plantas de tratamiento de aguas, siendo estos los compuestos algínicos, derivados de la tuna y los almidones (Arboleda, 1992)

III.5.1.2. Los polímeros sintéticos

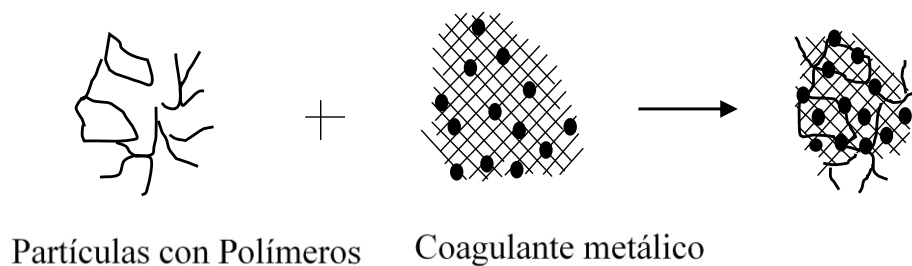
Son compuestos producidos por medio de la transformación química de derivados del carbón y del petróleo, la mayoría se encuentran en polvo seco. Se considera que el 90% de los polímeros sintéticos tienen como monómero básico la acrilamida.

Los polímeros o poli electrolitos pueden tener o no carga eléctrica; los que no la tienen se denominan no iónicos. Los demás pueden ser catiónicos (carga positiva) o aniónicos (carga negativa), también están los que presentan comportamiento anfótero (carga positiva y negativa).

a) Como Coagulante, el polímero es agregado como único coagulante



b) Ayudante de coagulación, agregado antes que el coagulante metálico



c) Ayudante de floculación, agregado después que el coagulante metálico

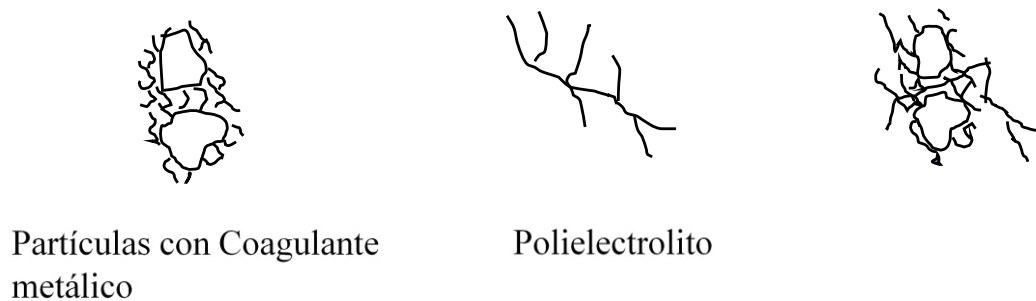


Figura 11 Acción de los polímeros (Fuente: Quispe 2012)

CAPITULO IV

DISEÑO EXPERIMENTAL

En este capítulo se considerará, en primer lugar, los factores a tener en cuenta en cada etapa del proyecto, extracción del mucilago y clarificación de aguas turbias, la metodología, el diseño experimental y análisis estadístico.

IV.1. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES

En la tabla 13, se mencionan los factores que se han considerado en este proyecto. Para la etapa de extracción del mucilago, los factores a tomar en cuenta son: Relación Agua-Penca, temperatura de extracción y tiempo, tal como lo realizaron previamente Sepúlveda, *et.al*, (2007) y Cai, *et.al*, (2008). En la etapa de clarificación de aguas turbias, se consideraron factores como: Turbidez inicial y concentración del mucilago seco, mencionados previamente en Andia, (2000) y Quispe, (2012).

Tabla 13
Identificación de factores en el proyecto

ETAPA DEL PROCESO	FACTORES	NIVELES
EXTRACCIÓN DEL MUCILAGO	<ul style="list-style-type: none"> • Relación de agua: Materia prima • Temperatura de extracción • Tiempo de extracción 	<ul style="list-style-type: none"> • 3:1 – 4:1 • 60°C – 80°C • 2h – 4h
PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACION	<ul style="list-style-type: none"> • Turbidez Inicial • Concentración de coagulante 	<ul style="list-style-type: none"> • 500– 1000NTU • 30 – 50ppm

Fuente: Elaboración propia

IV.2. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

En la figura 12, se esquematiza los pasos a seguir en el proyecto, desde la extracción del mucilago, caracterización del mismo y tratamiento estadístico de los resultados obtenidos, hasta el proceso de clarificación de aguas, donde se utiliza el mucilago como coagulante para tratar aguas turbias previamente caracterizadas, y tratamiento estadístico de datos después de la remoción de la turbidez.

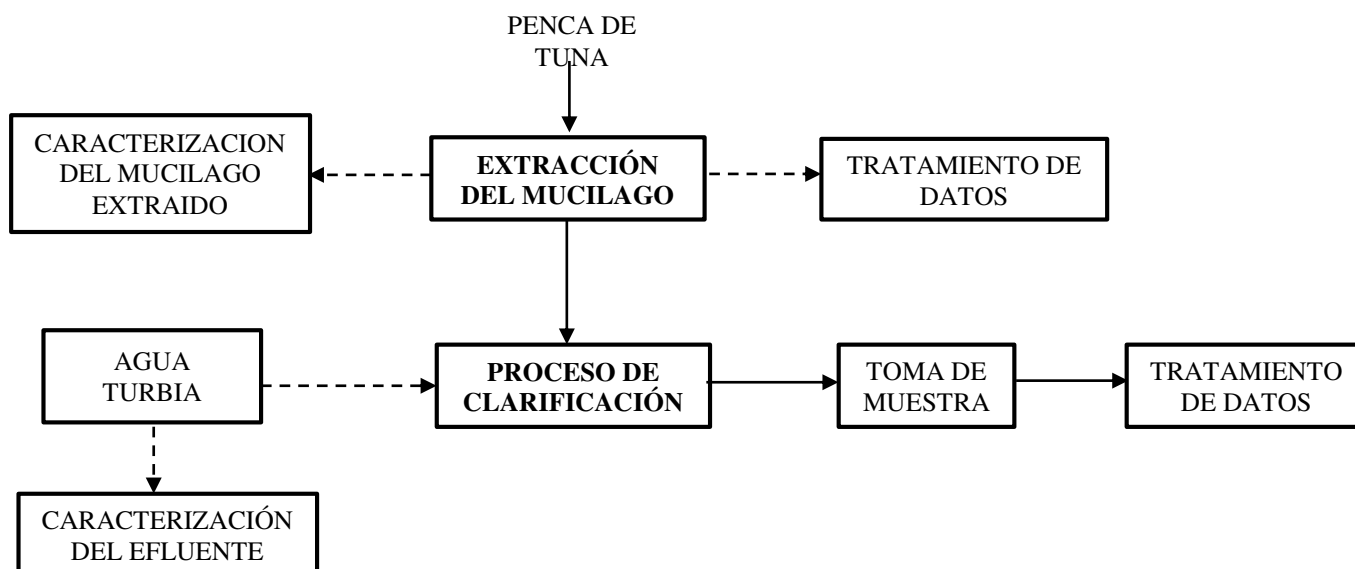


Figura 12 Esquema de la Metodología del proyecto (Fuente: Elaboración Propia)

IV.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

A continuación, se mostrará el diseño experimental que se va a utilizar para cada una de las etapas del trabajo de investigación.

IV.3.1.Extracción del Mucilago:

En el presente trabajo de investigación se utilizará un arreglo factorial de 2^{3-1} con un total de 4 tratamientos, los cuales serán distribuidos según el arreglo del Diseño Factorial Fraccionado considerando 2 repeticiones, los que dan un total de 8 pruebas experimentales.

En la Tabla 14, se muestra los factores y sus niveles, en la etapa de extracción a considerar en el diseño factorial fraccionado.

Tabla 14

Identificación de factores y sus niveles para la extracción del mucilago.

FACTOR	NIVELES	
	1	2
A - Relación Agua/MP	3:1	4:1
B - Temperatura de extracción	60	80
C - Tiempo de extracción	2	4

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se aprecia la matriz experimental, que se visualiza en la Tabla 15, y la metodología en la extracción del mucilago que se muestra en la Figura 13.

Tabla 15

Matriz de diseño experimental para la extracción del mucilago de tuna.

TRATAMIENTO	ITERACION DE FACTORES	CONTRASTE								VARIABLE DE SALIDA
		1	A	B	AB	C	AC	BC	ABC	
T1R1	a2b1c1	+	+	-	-	-	-	+	+	E1
T2R1	a2b2c2	+	+	+	+	+	+	+	+	E2
T3R1	a1b2c1	+	-	+	-	-	+	-	+	E3
T4R1	a1b1c2	+	-	-	+	+	-	-	+	E4
T3R2	a1b2c1	+	-	+	-	-	+	-	+	E5
T2R2	a2b2c2	+	+	+	+	+	+	+	+	E6
T1R2	a2b1c1	+	+	-	-	-	-	+	+	E7
T4R2	a1b1c2	+	-	-	+	+	-	-	+	E8

Fuente: Elaboración propia

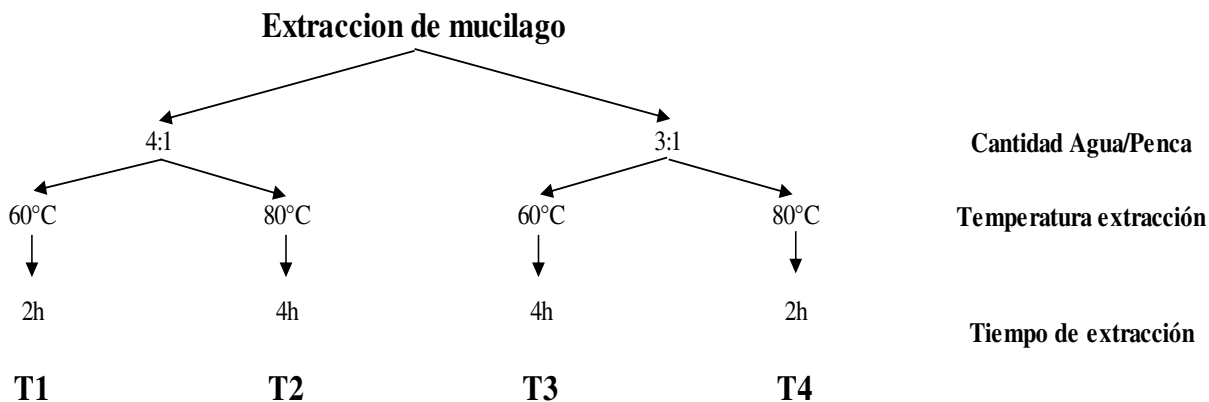


Figura 13 Metodología de la extracción de mucilago de tuna (Fuente: Elaboración Propia)

IV.3.2. Clarificación de aguas turbias

Continuando con los objetivos del presente trabajo de investigación se utilizará un arreglo factorial de 2^2 con un total de 4 tratamientos, los cuales serán distribuidos según el arreglo del Diseño Factorial por bloques aleatorizado considerando 4 repeticiones, los que dan un total de 64 pruebas experimentales.

En la Tabla 16, se visualiza los factores y niveles en esta etapa, y la Tabla 17 muestra la matriz del diseño experimental.

Tabla 16

Identificación de factores y sus niveles para la clarificación de aguas turbias.

FACTOR	NIVELES	
	1	2
A - Turbidez (NTU)	500	1000
B - Concentración de mucilago (ppm)	30	50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17

Matriz de diseño experimental para la clarificación de aguas turbias.

BLOQUE	ITERACIÓN DE FACTORES	CONTRASTE				VARIABLE DE SALIDA	BLOQUE	ITERACIÓN DE FACTORES	CONTRASTE				VARIABLE DE SALIDA
		1	A	B	AB				1	A	B	AB	
1	a1b1	+	-	-	+	RT1	1	a1b1	+	-	-	+	RT33
1	a1b2	+	-	+	-	RT2	1	a1b2	+	-	+	-	RT34
1	a2b1	+	+	-	-	RT3	1	a2b1	+	+	-	-	RT35
1	a2b2	+	+	+	+	RT4	1	a2b2	+	+	+	+	RT36
2	a1b1	+	-	-	+	RT5	2	a1b1	+	-	-	+	RT37
2	a1b2	+	-	+	-	RT6	2	a1b2	+	-	+	-	RT38
2	a2b1	+	+	-	-	RT7	2	a2b1	+	+	-	-	RT39
2	a2b2	+	+	+	+	RT8	2	a2b2	+	+	+	+	RT40
3	a1b1	+	-	-	+	RT9	3	a1b1	+	-	-	+	RT41
3	a1b2	+	-	+	-	RT10	3	a1b2	+	-	+	-	RT42
3	a2b1	+	+	-	-	RT11	3	a2b1	+	+	-	-	RT43
3	a2b2	+	+	+	+	RT12	3	a2b2	+	+	+	+	RT44
4	a1b1	+	-	-	+	RT13	4	a1b1	+	-	-	+	RT45
4	a1b2	+	-	+	-	RT14	4	a1b2	+	-	+	-	RT46
4	a2b1	+	+	-	-	RT15	4	a2b1	+	+	-	-	RT47
4	a2b2	+	+	+	+	RT16	4	a2b2	+	+	+	+	RT48
1	a1b1	+	-	-	+	RT17	1	a1b1	+	-	-	+	RT49

1	a1b2	+	-	+	-	RT18	1	a1b2	+	-	+	-	RT50
1	a2b1	+	+	-	-	RT19	1	a2b1	+	+	-	-	RT51
1	a2b2	+	+	+	+	RT20	1	a2b2	+	+	+	+	RT52
2	a1b1	+	-	-	+	RT21	2	a1b1	+	-	-	+	RT53
2	a1b2	+	-	+	-	RT22	2	a1b2	+	-	+	-	RT54
2	a2b1	+	+	-	-	RT23	2	a2b1	+	+	-	-	RT55
2	a2b2	+	+	+	+	RT24	2	a2b2	+	+	+	+	RT56
3	a1b1	+	-	-	+	RT25	3	a1b1	+	-	-	+	RT57
3	a1b2	+	-	+	-	RT26	3	a1b2	+	-	+	-	RT58
3	a2b1	+	+	-	-	RT27	3	a2b1	+	+	-	-	RT59
3	a2b2	+	+	+	+	RT28	3	a2b2	+	+	+	+	RT60
4	a1b1	+	-	-	+	RT29	4	a1b1	+	-	-	+	RT61
4	a1b2	+	-	+	-	RT30	4	a1b2	+	-	+	-	RT62
4	a2b1	+	+	-	-	RT31	4	a2b1	+	+	-	-	RT63
4	a2b2	+	+	+	+	RT32	4	a2b2	+	+	+	+	RT64

Fuente: Elaboración propia

IV.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En esta unidad, se muestra los diseños experimentales a utilizar, tales como el factorial fraccionado y el factorial con bloques.

IV.4.1.Extracción del Mucilago

En la Tabla 18, se visualiza la distribución de cada término del ANOVA del diseño Factorial Fraccionado considerando el arreglo 2^{3-1} . Estos datos serán verificados mediante los programas estadísticos Minitab 17 e Infostat.

Donde:

k= Cantidad de Tratamientos

n= Número de repeticiones

a, b, c= Niveles de cada uno de los factores

SC= Suma de cuadrados de cada efecto o factor

CM= Media cuadrática por cada efecto

Tabla 18

Cálculo del ANOVA EXPANDIDO para diseño Factorial Fraccionado (2^{3-1})

FUENTE	GL	SC	CM	F
Modelo	k-1	SC _{Modelo}	$\frac{SC_{Modelo}}{k-1}$	$\frac{CM_{Modelo}}{CM_{Error}}$
A	a-1	SC _A	$\frac{SC_A}{a-1}$	$\frac{CM_A}{CM_{Error}}$
B	b-1	SC _B	$\frac{SC_B}{b-1}$	$\frac{CM_B}{CM_{Error}}$
C	c-1	SC _C	$\frac{SC_C}{c-1}$	$\frac{CM_C}{CM_{Error}}$
Error	(n*k-1) - (k-1)	SC _{Error}	$\frac{SC_{Error}}{(n * k - 1) - (k - 1)}$	
Total	n*k-1	SC _{Total}		

Fuente: Sabatier & Vicuña, (Sin fecha); Elaboración propia

Se visualiza a continuación, el cálculo de suma de cuadrados de la Tabla 18

Efectos principales: $Efecto = \frac{Contraste}{n2^{k-1}}$; n : réplica

$$A = \bar{y}_{A+} - \bar{y}_{A-}$$

$$A = \frac{1}{4n} [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc]$$

$$B = \bar{y}_{B+} - \bar{y}_{B-}$$

$$B = \frac{1}{4n} [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac]$$

$$C = \bar{y}_{C+} - \bar{y}_{C-}$$

$$C = \frac{1}{4n} [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab]$$

Considerar:

Generadores del diseño: C=A

Estructura del alias: I+ABC, A+BC, B+AC, C+AB

Suma de cuadrados para un efecto: $SC = \frac{Contraste^2}{n2^k}$

$$SC_A = SC_{BC} = \frac{1}{8n} [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc]^2$$

$$SC_B = SC_{AC} = \frac{1}{8n} [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac]^2$$

$$SC_C = SC_{AB} = \frac{1}{8n} [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab]^2$$

IV.4.2. Proceso de Clarificación de agua turbia

En la Tabla 19, se visualiza la distribución de cada término del ANOVA del diseño Factorial por bloques considerando el arreglo 2^2 y 4 bloques. Estos datos serán verificados mediante los programas estadísticos Minitab 17 e Infostat.

Donde:

k= Cantidad de Tratamientos

n= Número de repeticiones

b= Número de bloques

d, e= Niveles de cada uno de los factores

SC= Suma de cuadrados de cada efecto o factor

CM= Media cuadrática por cada efecto

Tabla 19

Cálculo del ANOVA EXPANDIDO para diseño Factorial (2^2) por bloques

FUENTE	GL	SC	CM	F
Modelo	k+b-2	SC _{Modelo}	$\frac{SC_{Modelo}}{k-1}$	$\frac{CM_{Modelo}}{CM_{Error}}$
D	d-1	SC _D	$\frac{SC_D}{d-1}$	$\frac{CM_D}{CM_{Error}}$
E	e-1	SC _E	$\frac{SC_E}{e-1}$	$\frac{CM_E}{CM_{Error}}$
D*E	(d-1)*(e-1)	SC _{D*E}	$\frac{SC_{D*E}}{(d-1)(e-1)}$	$\frac{CM_{D*E}}{CM_{Error}}$
Bloque	b-1	SC _{Bloque}	$\frac{SC_{Bloque}}{b-1}$	$\frac{CM_{Bloque}}{CM_{Error}}$
Error	[(k*b*n)-1]-(k+b-2)	SC _{Error}	$\frac{SC_{Error}}{(k*b-1)-(k+b-2)}$	
Total	(k*b*n)-1	SC _{Total}		

Fuente: Elaboración Propia

Calculando los términos de la Tabla 19

$$FC = \frac{(\sum y)^2}{kxb}$$

$$SC_{Tratamiento} = \sum_{i=1}^k \frac{y_i^2}{b} - FC$$

$$SC_D = \sum_{i=1}^d \frac{y_i^2}{bxd} - FC$$

$$SC_E = \sum_{i=1}^e \frac{y_i^2}{bx e} - FC$$

$$SC_{D * E} = SC_{Tratamiento} - SC_D - SC_E$$

$$SC_{Bloque} = \sum_{j=1}^b \frac{y_j^2}{k} - FC$$

$$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - FC$$

$$SC_{Error} = SC_{Total} - SC_{Tratamiento} - SC_{Bloque}$$

CAPITULO V

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En este capítulo se detalla desde los materiales y/o equipos utilizados en cada etapa del trabajo, así como detalles experimentales desde el acondicionamiento de la penca hasta su aplicación en la remoción de turbidez de las aguas.

V.1.MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS

Se mostrará los materiales, insumos y equipos a utilizar en cada etapa del proyecto.

Material de Origen Biológico

- Penca de Nopal de Chilca (*Opuntia Ficus Indica*)

Reactivos

- Agua destilada
- Alcohol etílico de 96°C
- Mucilago seco
- Caolín de Huamachuco
- Sulfato de Aluminio Granulado

Material de laboratorio

- Cuchillo
- Tela de Gasa
- Cepillo
- Bagueta de vidrio
- Fiola de 25mL y 500mL
- Pipeta graduada de 10mL
- Embudo de plástico

- Vaso precipitado Pírex de 500mL y 1000mL
- Cocinilla eléctrica
- Mortero de porcelana

Equipos

- Turbidity meter AQ 4500 Marca: Thermo Scientific Orion Aquafast)
- Equipo electrónico para prueba de jarras Phipps & Bird PB 700TM
- Balanza analítica Cimatec S.A.
- Potenciometro
- Medidos de solidos disueltos Totales, Conductividad y temperatura
- Licuadora Oster
- Estufa WTC binder Marca: Kossodo S.A.
- Centrifuga 800D (220v 60Hz)

V.2.PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En este punto se describe cada proceso del trabajo de investigación, por ejemplo, en la extracción del mucilago, desde el acondicionado de la penca, la extracción y la precipitación con alcohol; y en la clarificación de aguas turbias, se describe desde la preparación de las soluciones de mucilago y del agua turbia sintética, hasta la coagulación floculación a las condiciones adecuadas utilizando un equipo de prueba de Jarras.

V.2.1. Proceso de extracción del mucilago

Las pencas recolectadas durante la mañana y con una edad entre 2 – 3 años, proceden de los Tunales de Chilca, ver figura 14.



Figura 14 Procedencia de las tunas que se cosechó para los fines del proyecto – Tunales de Chilca

El acondicionamiento de las pencas consiste en lavarlas con agua potable y para eliminar las espinas de las mismas, se cepillarán para facilitar su manipulación.

Se procederá posteriormente a pelar la penca de tuna y trozarlas, ver figura 15, para posteriormente licuarlas, Figura 16. Se pesará aproximadamente 2500 g de pencas por tratamiento, para facilitar la molienda se mezclará partes iguales de nopal y agua destilada. Se utilizará una licuadora hasta la total molienda de las pencas.

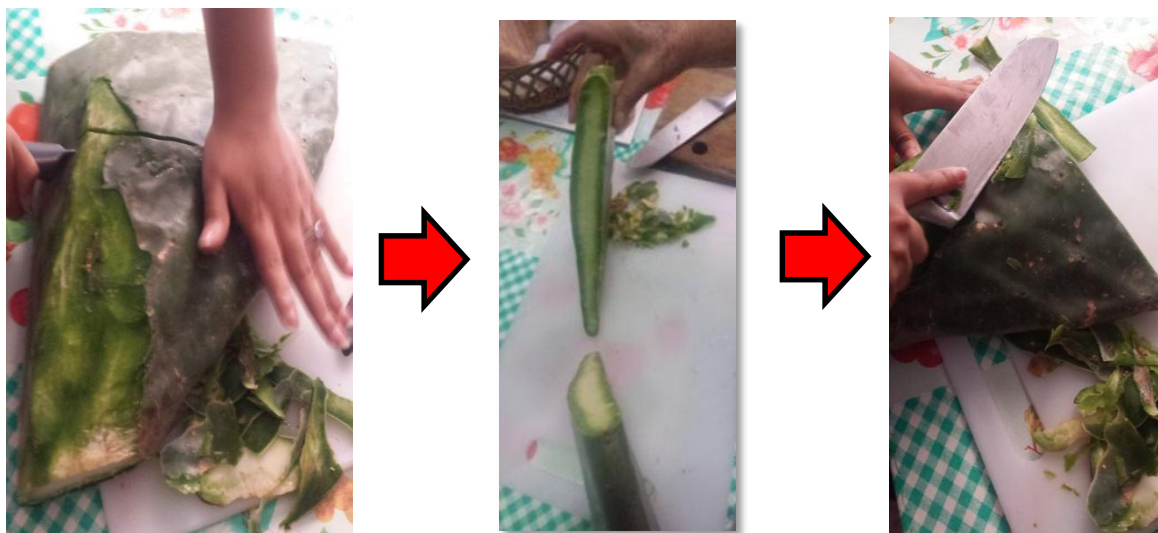


Figura 15 Acondicionado de las pencas, para su posterior licuado.

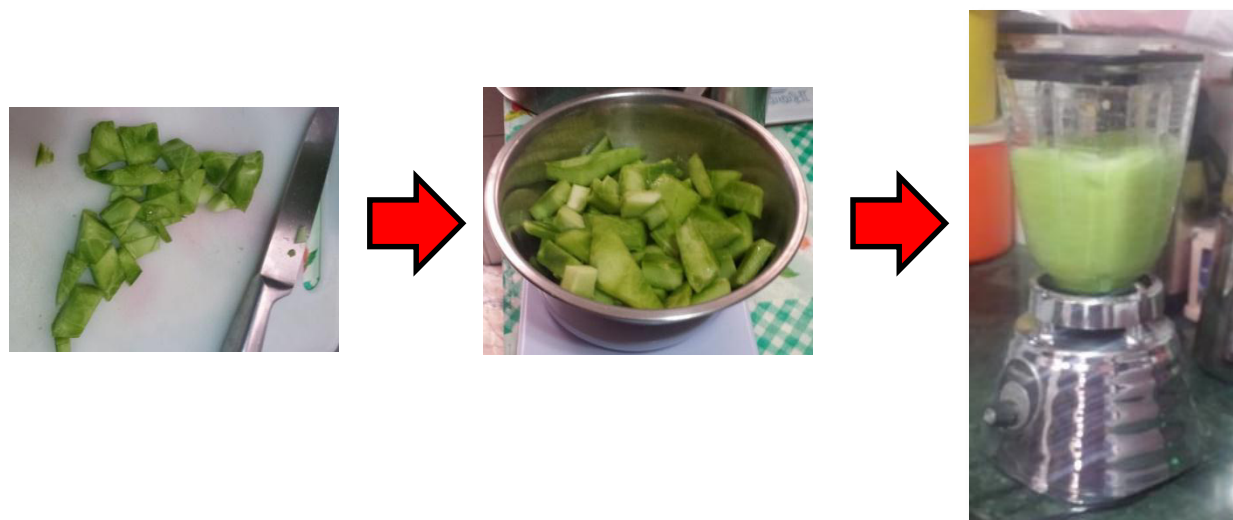


Figura 16 Picado y licuado de las pencas.

El tejido molido se embeberá en agua purificada (En relación 3:1 – 4:1) a Temperatura (60-80°C) por un tiempo (2-4 h). Este paso es importante para recuperar la mayor cantidad de mucílago en fase acuosa (ver Figura 17). El diseño experimental se obtendrá mediante el programa Minitab.



Figura 17 Extracción Acuosa.

Para separar el tejido vegetal y material particulado de menor tamaño se procederá a filtrar y posteriormente a centrifugar, para así obtener un líquido mucilaginoso más limpio (Ver Figura 18).

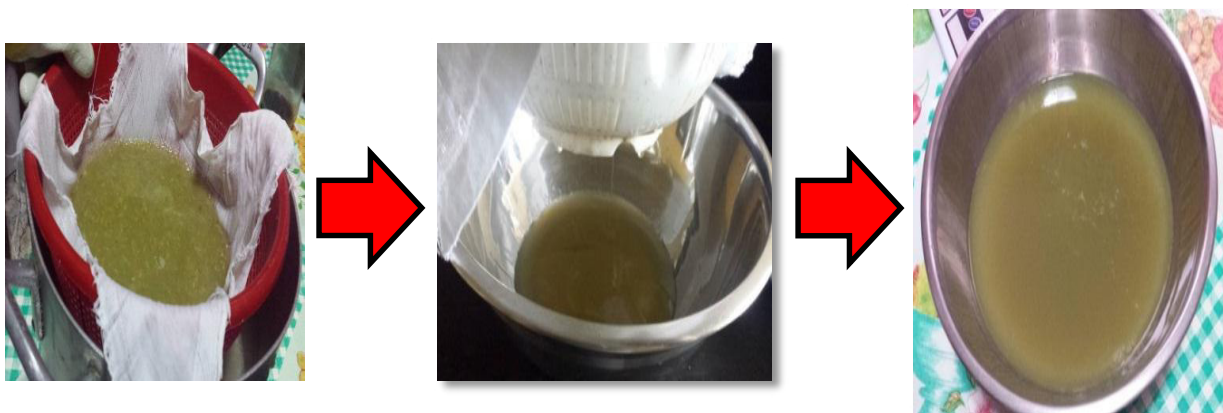


Figura 18 Primera Filtración

NOTA: Los residuos del acondicionado de la penca y la filtración son utilizados como alimentos para animales según Saenz, *et.al*, (2006), la Revista Industrial de campo también menciona el potencial que tiene estos residuos para alimentar al ganado bovino productor de leche también Aranda, *et.al*, (2010) menciona el enriquecimiento proteico del residuo del nopal para utilizarlo como alimentos de animales, otro tipo de uso es aprovecharlo en el acondicionado de

suelos como compost según Jaramillo & Zapata, (2008) de esa manera se reaprovecha toda la penca reduciendo el impacto ambiental.

Las condiciones de centrifugado para la fase acuosa de la extracción fueron 3000 rpm, 20 min.

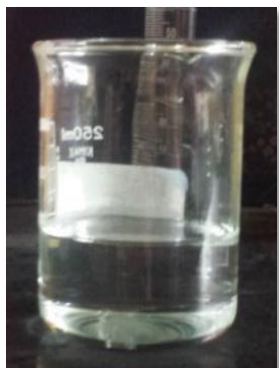


Con la finalidad de reducir el volumen del líquido mucilaginoso y así reducir la cantidad de alcohol a utilizar, se procederá a concentrar las muestras hasta aproximadamente la mitad del volumen por un lapso de 12 horas, por medio de un baño maría a 75°C, Ver Figura 20.



Figura 20 Concentración del mucilago

Para poder insolubilizar los polímeros se realizará la precipitación del mucilago de la fase acuosa mediante la adición del alcohol etílico en proporción de 3:1 con respecto a la cantidad del líquido mucilaginoso concentrado previamente, Ver Figura 21.



ALCOHOL

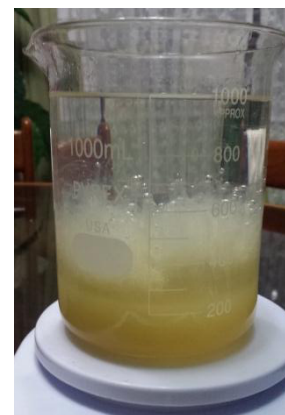


Figura 21 Precipitación con alcohol etílico.

Se procederá a centrifugar esta mezcla para poder separar el mucilago precipitado, se somete a un lavado con alcohol haciéndolo hervir a 75°C y finalmente se filtra, Ver Figura 22 y 23.



ANTES

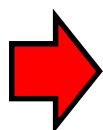


Figura 22 Segunda Centrifugación



DESPUES

NOTA: Según Quispe, (2012) el etanol producto de la precipitación química se reutiliza, por medio de la destilación.



Figura 23 Lavado y filtración, se obtiene el mucilago en base húmeda

El mucilago obtenido se secará a 70°C en una estufa, hasta peso constante, este producto se somete a un proceso de molienda por medio de un mortero para así obtener un polvo blanquecino relativamente fino para posteriormente utilizarlo en el proceso de clarificación de aguas turbias, Ver Figura 24.



Figura 24 Secado y molienda del mucilago seco.

En la figura 25 se visualiza el esquema de la extracción del mucilago a partir de la penca de Tuna, a modo de resumen de lo explicado previamente.

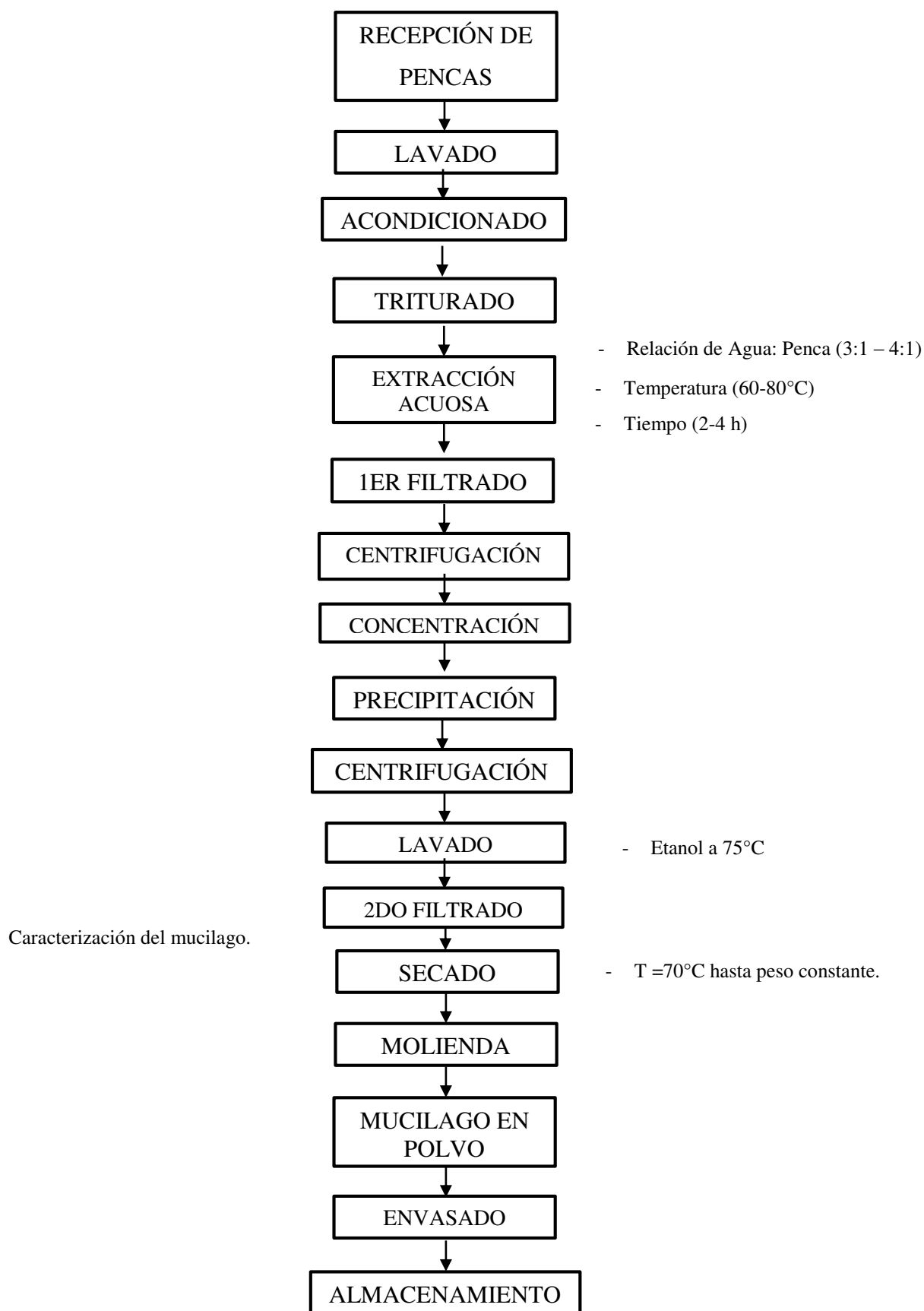


Figura 25 Extracción del mucilago a partir del cladodio del nopal. (Fuente: Elaboración propia)

V.2.2. Caracterización del mucilago de tuna:

Para determinar la composición del mucilago se realizó un Análisis Proximal (Humedad, Cenizas, Proteínas, Grasas y Carbohidratos), enviando al Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y alimentación animal de la Facultad de medicina veterinaria de la UNMSM aproximadamente entre 50 g a 100 g de muestra por tratamiento.

V.2.3. Proceso de clarificación de aguas turbias

Se describe a continuación la preparación de las soluciones de mucilago a utilizar como floculante natural, así como también la solución de agua turbia sintética. Adicionalmente se realizan pruebas utilizando un coagulante catiónico para favorecer la clarificación de aguas.

V.2.3.1. Preparación de la solución de mucilago seco

Se pesa 0.25 g de mucilago seco, se coloca en un vaso precipitado con 10 mL de agua destilada, se agita la mezcla con una bagueta de vidrio para así poder obtener una solución homogénea. Luego se vierte en una fiola de 25 mL, añadiendo agua destilada para poder enrasar la medida. Esto se realiza para cada uno de los tratamientos y sus repeticiones.

Esta solución se agregará posteriormente en un volumen de 1.5 mL y 2.5 mL para la concentración de mucilago a usar en la clarificación de aguas turbias de 30 ppm y 50 ppm respectivamente. En la Figura 26 se visualiza las soluciones del mucilago a utilizar.



Figura 26 Soluciones de mucilago a 10000ppm.

V.2.3.2. Preparación de agua turbia sintética

Para la preparación de agua turbia sintética se utiliza caolín de Huamachuco para poder proporcionar turbidez a estas muestras.

Se pesa aproximadamente 0.75 g y 1.29 g de caolín colocándose en vasos precipitados y adicionando 500 mL de agua destilada, para trabajar a una turbidez inicial de 500 NTU y 1000 NTU respectivamente.

V.2.3.3. Preparación de la solución de Sulfato de Aluminio 1%

Se pesa 0.5 g de Sulfato de Aluminio Granulado, se coloca en un vaso precipitado con 20 mL de agua destilada, se agita la mezcla con una bagueta de vidrio para así poder obtener una solución homogénea. Luego se vierte en una fiola de 50 mL, añadiendo agua destilada para poder enrasar la medida. Esta solución se utilizará posteriormente en concentraciones de 10 ppm hasta 100ppm para favorecer la remoción que turbidez que realiza el mucilago seco.

V.2.3.4. *Proceso de coagulación- floculación mediante prueba de jarras*

Antes de iniciar el proceso de coagulación-floculación, a cada muestra de agua turbia sintética preparada se le medirán las siguientes variables: Turbidez, Solidos disueltos totales, conductividad, pH y temperatura, A continuación, en la Figura 27 se muestra los instrumentos que se usaron para medir estas variables, tales como un turbidímetro, medidor de TDS y potenciómetro.



Figura 27 Turbidímetro, potenciómetro y medidor de TDS

Luego se colocará 6 vasos por ronda en el equipo de prueba de jarras, Ver Figura 28, se adicionará a cada uno de ellos la solución de mucilago seco según el diseño experimental previamente realizado.

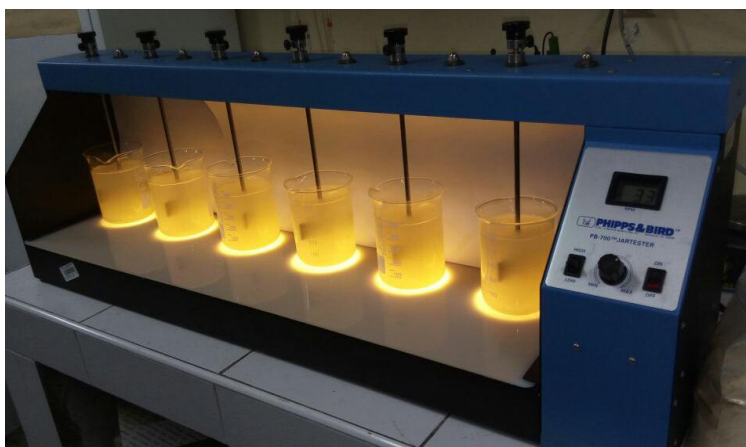


Figura 28 Equipo de prueba de jarras.

Se inicia el proceso de coagulación con un rango de velocidad de agitación de 100 rpm por el tiempo de 1 min, posteriormente se favorece la floculación a una velocidad de 30 rpm por un lapso de 20 min, luego se deja reposar por 30 min para favorecer la sedimentación del caolín y la clarificación del agua. En la Figura 29, se observa el poder de clarificación del mucilago de tuna.

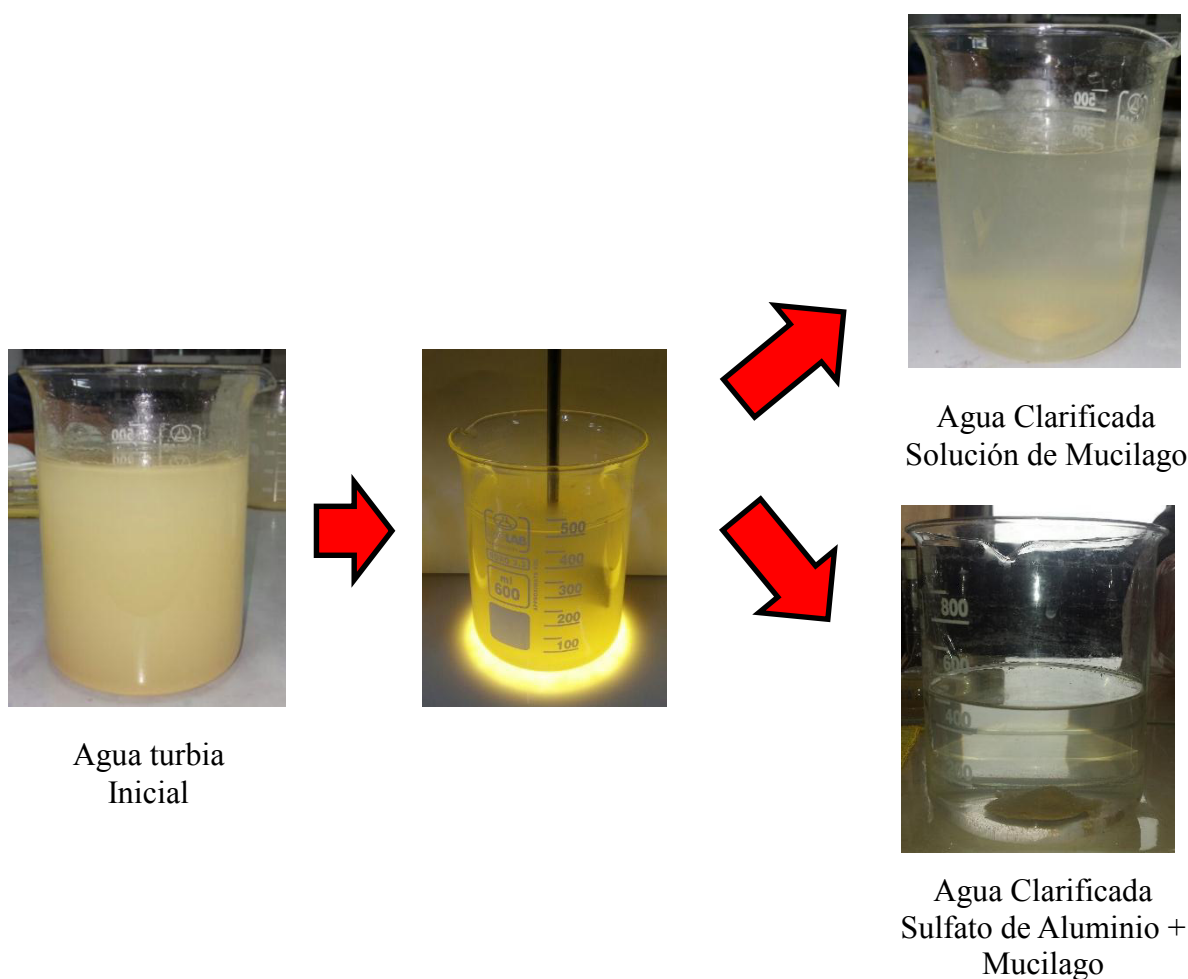


Figura 29 Clarificación de aguas turbias.

Para finalizar se medirá la turbidez, pH, sólidos disueltos totales, conductividad y temperatura en cada uno de los frascos, obteniendo finalmente la Remoción porcentual de turbidez.

En la figura 30, se esquematiza el proceso de coagulación – floculación, considerando los factores que se tomarán en cuenta en esta etapa de este trabajo de investigación.

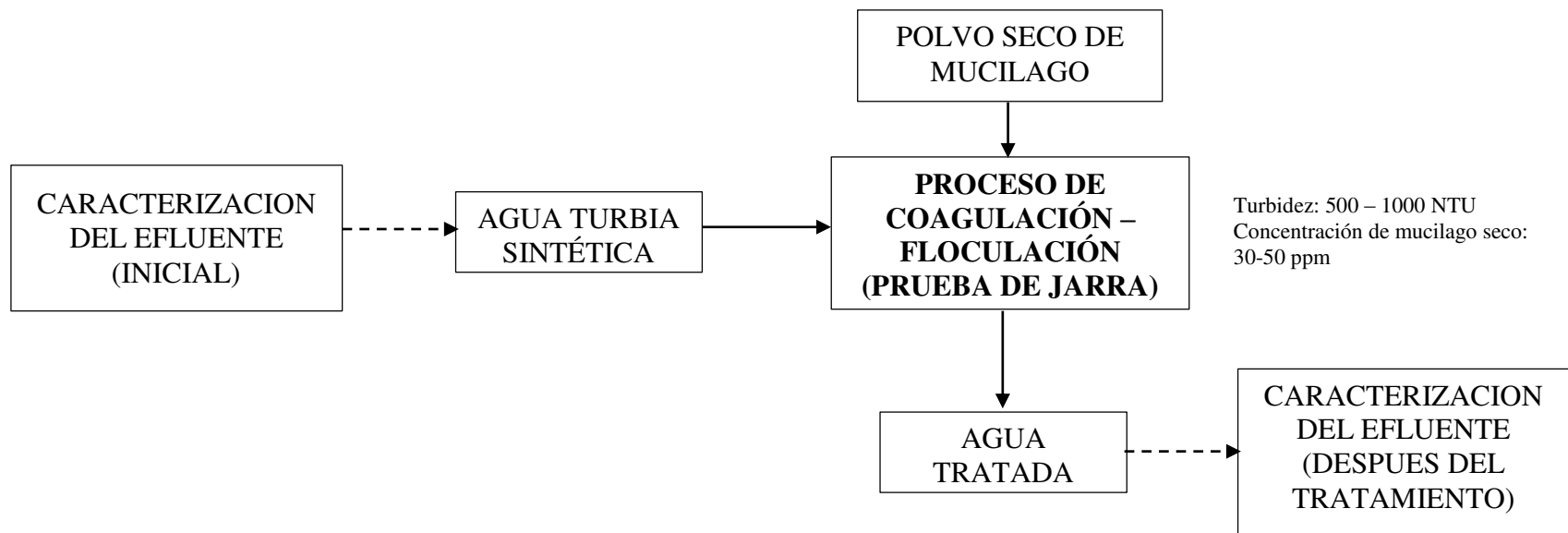


Figura 30 Proceso de coagulación-floculación aplicando polvo seco del mucilago de tuna como floculante (Fuente: Elaboración propia)

CAPITULO VI

TABULACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se muestran las tablas de resultados de la extracción del mucilago, caracterización del mismo y su aplicación como coagulante en el tratamiento de aguas turbias.

VI.1. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MUCILAGO

En la Tabla 20 se muestra el rendimiento porcentual de la tuna, después de la etapa de acondicionamiento.

Tabla 20
Rendimiento porcentual de la penca de tuna

N° PENCA	PESO INICIAL (g)	PESO PENCA PELADA (g)	PESO CÁSCARA (g)	RENDIMIENTO (%)
1	2120	1297	823	61.18%
2	3590	1747	1843	48.66%
3	2437	1461	976	59.95%
4	2174	1302	872	59.89%
5	1254	686	568	54.70%
6	1626	847	779	52.09%
7	2253	1450	803	64.36%
8	1696	1079	617	63.62%
9	1518	996	522	65.61%
10	1584	807	777	50.95%
11	1375	729	646	53.02%
12	1783	1048	735	58.78%
13	1579	908	671	57.50%
14	1423	768	655	53.97%
15	943	434	509	46.02%
16	1381	821	560	59.45%
17	1291	842	449	65.22%
18	1398	750	648	53.65%
19	1471	780	691	53.03%
20	1620	904	716	55.80%
21	1860	958	902	51.51%
RENDIMIENTO PROMEDIO				56.39%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 21 se observa los rendimientos promedios porcentuales de extracción por tratamiento.

Tabla 21

Rendimiento Promedio Porcentual en la extracción de mucilago según factores a considerar.

TRATAMIENTO	FACTORES			% RENDIMIENTO
	AGUA/PENCA	TEMPERATURA	TIEMPO	
1	4	60	2	2.33%
2	4	80	4	0.49%
3	3	80	2	2.41%
4	3	60	4	1.66%

Fuente: Elaboración Propia

Las Tablas 22, 23 y 24 son proporcionadas por el programa estadístico Minitab 17, elaborando un diseño factorial fraccionado.

Para hallar los valores de la Tabla 22, se usa la información brindada en el apartado IV.4.1

Análisis Estadístico para la extracción del mucilago.

Tabla 22

Análisis de varianza – Diseño factorial fraccionad aleatorizado

	FV	GL	SC	CM	F _{CALCULADO}	F _{TEORICO}
MODELO		3	4.7047	1.5682	125.33	
RELACION AGUA/MP		1	0.7750	0.7750	61.94	7.71*
TEMPERATURA		1	0.5886	0.5886	47.04	7.71*
TIEMPO		1	3.3411	3.3411	267.02	7.71*
ERROR		4	0.0500	0.0125		
TOTAL		7	4.7548			

Resultados proporcionados por el programa minitab 17 & Infostat

Tabla 23

Resumen del modelo – Diseño factorial fraccionado aleatorizado

S	R-CUAD.	R-CUAD. (AJUSTADO)	R-CUAD. (PRED)
0.111859	98.95%	98.16%	95.79%

Resultados proporcionados por el programa minitab 17

Tabla 24
Coefficientes codificados – Diseño factorial fraccionado

TERMINO	EFECTO	COEF	EFECTO. DEL COEF.	VALOR T	VALOR P
Constante		1.7238	0.0395	43.59	0.000
Relación Agua/MP	-0.6225	-0.3113	0.0395	-7.87	0.001
Temperatura	-0.5425	-0.2713	0.0395	-6.86	0.002
Tiempo	-1.2925	-0.6463	0.0395	-16.34	0.000

Resultados proporcionados por el programa minitab 17

VI.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL MUCILAGO

En las Tablas 25 y 26 se visualizan las composiciones químicas promedio del mucilago de tuna (antes del secado) por cada tratamiento de extracción en base húmeda y base seca respectivamente, los resultados fueron brindados por el laboratorio de Bioquímica, Nutrición y alimentación animal de la Facultad de Medicina Veterinaria UNMSM.

Tabla 25

Caracterización Química promedio del mucilago de tuna – Análisis proximal en Base húmeda

TRATAMIENTO	HUMEDAD	CENIZAS	PROTEINA	GRASAS CRUDA	CARBOHIDRATOS TOTALES
1	66.35%	1.44%	1.91%	0.07%	30.25%
2	74.02%	2.20%	3.48%	0.09%	20.21%
3	56.96%	1.46%	2.73%	0.09%	38.76%
4	61.01%	1.56%	4.10%	0.10%	33.25%

Resultados proporcionados por Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y alimentación animal, Facultad de medicina veterinaria, UNMSM

Tabla 26

Caracterización Química promedio del mucilago de tuna – Análisis proximal en Base seca

TRATAMIENTO	HUMEDAD	CENIZAS	PROTEINA	GRASAS CRUDA	CARBOHIDRATOS TOTALES
1	33.65%	4.29%	5.66%	0.20%	89.66%
2	25.98%	8.47%	13.40%	0.35%	77.78%
3	43.04%	3.41%	6.40%	0.21%	89.99%
4	38.99%	3.98%	10.55%	0.25%	85.23%

Resultados proporcionados por Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y alimentación animal, Facultad de medicina veterinaria, UNMSM

En el programa Minitab, se realiza el análisis estadístico para cada uno de los términos del análisis proximal (Humedad, Cenizas, Proteínas, Grasas y Carbohidratos), para evaluar la significancia e influencia de los factores de la extracción del mucilago. En la Tabla 27 se muestran las ecuaciones de regresión por cada componente del mucilago de tuna.

Tabla 27

Ecuación de Regresión por cada componente del mucilago de tuna en base húmeda

COMPONENTE	ECUACIÓN DE REGRESIÓN
Humedad	$\% \text{Humedad} = 16.59 + 11.20 \text{ Agua: Penca} + 2.930 \text{ Tiempo}$
Proteínas	$\% \text{ Proteína} = 0.84 + 0.736 \text{ Tiempo}$
Carbohidratos	$\% \text{ Carbohidratos} = 79.99 - 10.77 \text{ Agua: Penca} - 4.16 \text{ Tiempo}$

Resultados proporcionados por el programa minitab 17

VI.3. PROCESO DE CLARIFICACIÓN DE AGUAS TURBIAS

Los resultados de esta etapa se visualizan en la Tabla 47 (Anexo B), a continuación, se agruparán los resultados promedios, para ellos visualizar las Tablas 28 y 29.

Tabla 28

Remoción porcentual promedio de turbidez por interacción de factores (Turbidez y concentración de mucilago).

%REMOCIÓN			
FACTORES		TUBIDEZ (NTU)	
		500	1000
CONCENTRACIÓN	30	78.7%	88.9%
DE MUCILAGO (ppm)	50	74.7%	86.0%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29

Remoción porcentual promedio según interacción de factores (Turbidez y concentración de mucilago) por tratamientos de extracción

% REMOCIÓN SEGÚN FACTORES				
BLOQUE	500 (NTU)		1000 (NTU)	
	30 (ppm)	50 (ppm)	30 (ppm)	50 (ppm)
1	79.98%	75.04%	91.20%	87.91%
2	73.70%	68.16%	87.43%	84.82%
3	79.77%	76.79%	88.12%	85.51%
4	81.40%	78.62%	88.81%	85.84%

Fuente: Elaboración propia

Las Tablas 30, 31 y 32 muestran los resultados de los análisis estadísticos brindados por los programas Minitab 17 e Infostat.

Los valores de la Tabla 30, se calculan adicionalmente usando la información del apartado IV.4.2 Análisis estadístico para la clarificación de aguas turbias.

Tabla 30

Análisis de varianza – Diseño factorial por bloques aleatorizado

FV	GL	SC	CM	F	F_{TEORICO}
Modelo	6	0.2333	0.0389	12.69	
Turbidez	1	0.1857	0.1857	60.59	4.03*
Concentración	1	0.0192	0.0192	6.26	4.03*
Turbidez*Concentración	1	5.7E-04	5.7E-04	0.19	4.03
BLOQUE	3	0.0279	0.0093	3.04	2.77*
ERROR	57	0.1747	3.1E-03		
TOTAL	63				

Resultados proporcionados por el programa minitab 17& Infostat

Tabla 31

Resumen del modelo – Diseño factorial por bloques aleatorizado

S	R-CUAD.	R-CUAD. (ajustado)	R-CUAD. (pred)
0.0549686	57.05%	53.35%	47.70%

Resultados proporcionados por el programa minitab 17

Tabla 32

Coefficientes codificados – Diseño factorial por bloques aleatorizado

TERMINO	EFECTO	COEF	EE. DEL COEF.	VALOR T	VALOR P
Constante		0.82069	0.00687	119.44	0.0000
Bloque					
1		0.0146	0.0119	1.23	0.225
2		-0.0354	0.0119	-2.97	0.004
3		0.0048	0.0119	0.40	0.688
Turbidez	0.10772	0.05386	0.00687	7.84	0.000
Concentración	-0.03464	-0.01732	0.00687	-2.52	0.014

Resultados proporcionados por el programa minitab 17

Después de determinar el bloque más adecuado para la remoción de turbidez y la dosificación óptima del mucilago, se realizaron pruebas adicionales con la finalidad de alcanzar altos valores de remoción porcentual, para ello se adicionó un coagulante catiónico en diferentes dosis, esto se puede apreciar en la Tabla 33.

Tabla 33

Remoción de turbidez utilizando Sulfato de Aluminio (Coagulante Catiónico) y el mucilago de tuna como Floculante natural.

MUCILAGO (PPM)	SULFATO DE ALUMINIO (PPM)	TURBIDEZ INICIAL (NTU)	TURBIDEZ FINAL (NTU)	% REMOCIÓN
	0		83.4	91.66
	10		54.8	94.52
	20		41.8	95.82
	30		28.5	97.15
	40		20.9	97.91
30	50	1000	18.2	98.18
	60		11.2	98.88
	70		9.05	99.10
	80		9.60	99.04
	90		6.15	99.39
	100		7.44	99.26

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VII

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

VII.1. PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL MUCILAGO

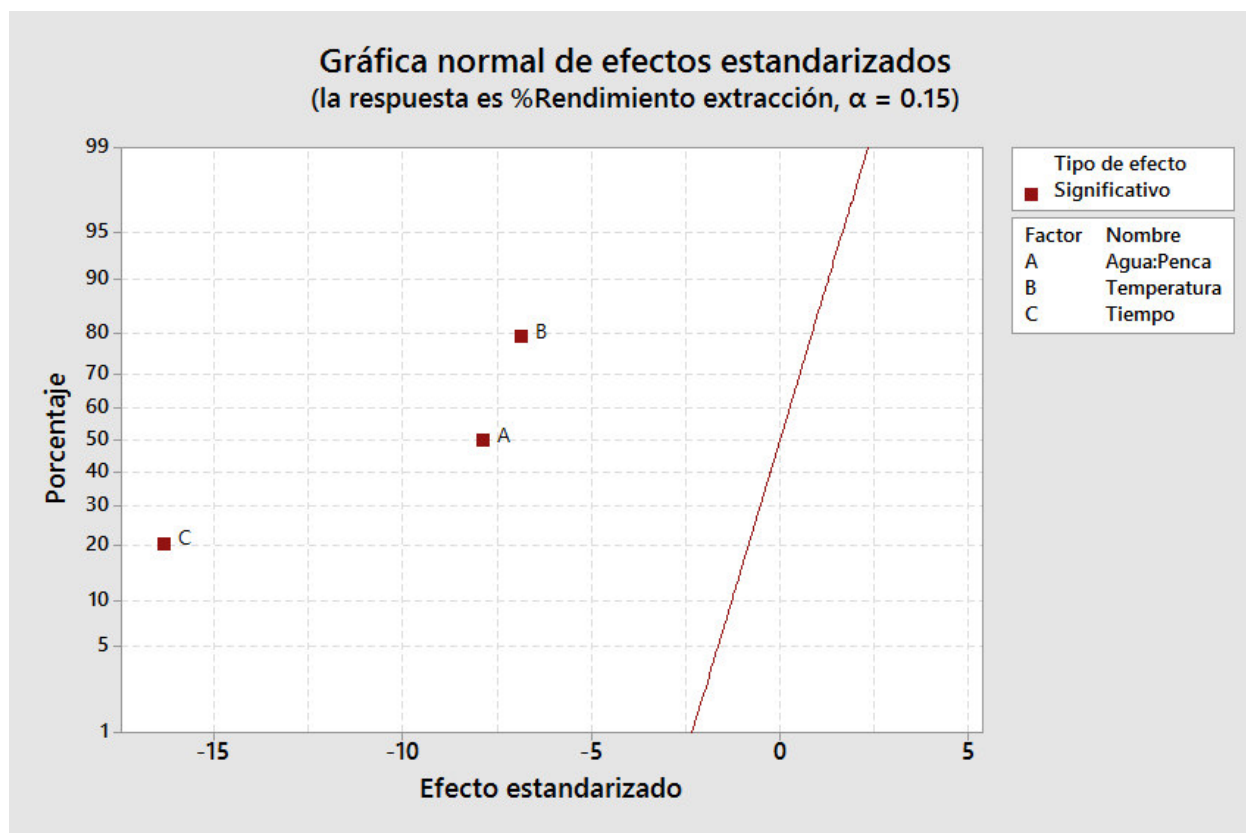
Las pencas utilizadas en el proceso de extracción, procedentes de Chilca- Lima, se sometieron según el procedimiento experimental, ver Tabla 5 y Figura 25, a un acondicionamiento; en la que se retira la cutícula para así reducir la presencia de clorofila o coloración verde en el producto final (Mucilago seco); obteniéndose un Rendimiento promedio porcentual de 56.39, ver Tabla 20.

En la Tabla 21 se presentan los Rendimientos porcentuales promedios de extracción para los 3 factores analizados: Relación Agua-Penca, Temperatura y Tiempo de extracción. Estos resultados fueron procesados mediante un diseño estadístico Factorial Fraccionado 2^{3-1} con dos repeticiones; para el cual se usó el programa Minitab, la opción de diseño experimental DOE, para así poder visualizar la interacción de estos factores con respecto al rendimiento de extracción del mucilago.

Al examinar la Gráfica 1, se aprecia la significancia de cada uno de los efectos principales; relación de Agua: Penca, Temperatura y Tiempo; se llega a esta conclusión al observar que cada uno de los puntos que representa a un factor, se alejan de la línea de referencia. También mediante esta gráfica se determina que al estar estos puntos orientados hacia la izquierda de la línea de referencia influyen de manera inversa sobre la variable respuesta, en este caso, el rendimiento porcentual de extracción del mucilago. A lo mismo podemos llegar al considerar la Ecuación de Regresión, proporcionado por el programa Minitab al analizar estadísticamente los datos, que es el siguiente:

% Rendimiento de extracción: $7.740 - 0.6225 \text{ Agua-Penca} - 0.02713 \text{ Temperatura} - 0.6463 \text{ Tiempo}$

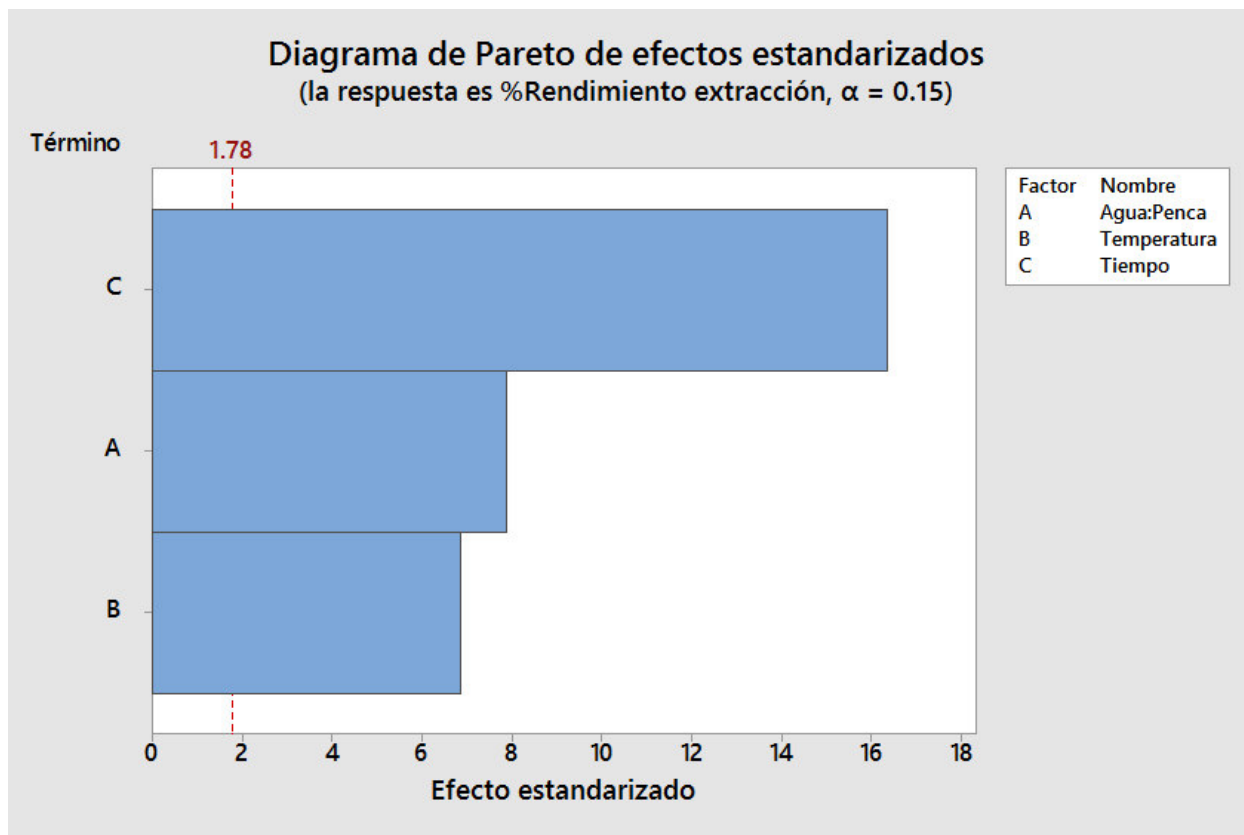
Mediante esta ecuación y al observar cada término de la misma, coincide con el análisis de la Gráfica 1, ya que al encontrar presente cada factor de la extracción, indica que cada uno de estos es significativo, con respecto a los signos de cada coeficiente que acompaña a los factores, al ser estos negativos, señalan la influencia negativa que tiene cada factor sobre el rendimiento de extracción, es decir, cada uno de los 3 factores; Relación Agua-Penca, Temperatura y Tiempo, influye inversamente con el rendimiento porcentual de extracción.



Gráfica 1 Gráfica normal de efectos estandarizados con respecto al Rendimiento porcentual de extracción del mucilago (Fuente Elaborado en Minitab 17)

A partir de la Gráfica 2, Diagrama Pareto de los efectos estandarizados, se infiere que el efecto del tiempo es de mayor significancia respecto a los otros efectos principales; pues se encuentra más alejado del punto de referencia de valor 1.78. De la misma forma se llega a esta conclusión al observar el valor $p = 0.000$, ver Tabla 24, y ser este menor a comparación de los otros 2 factores.

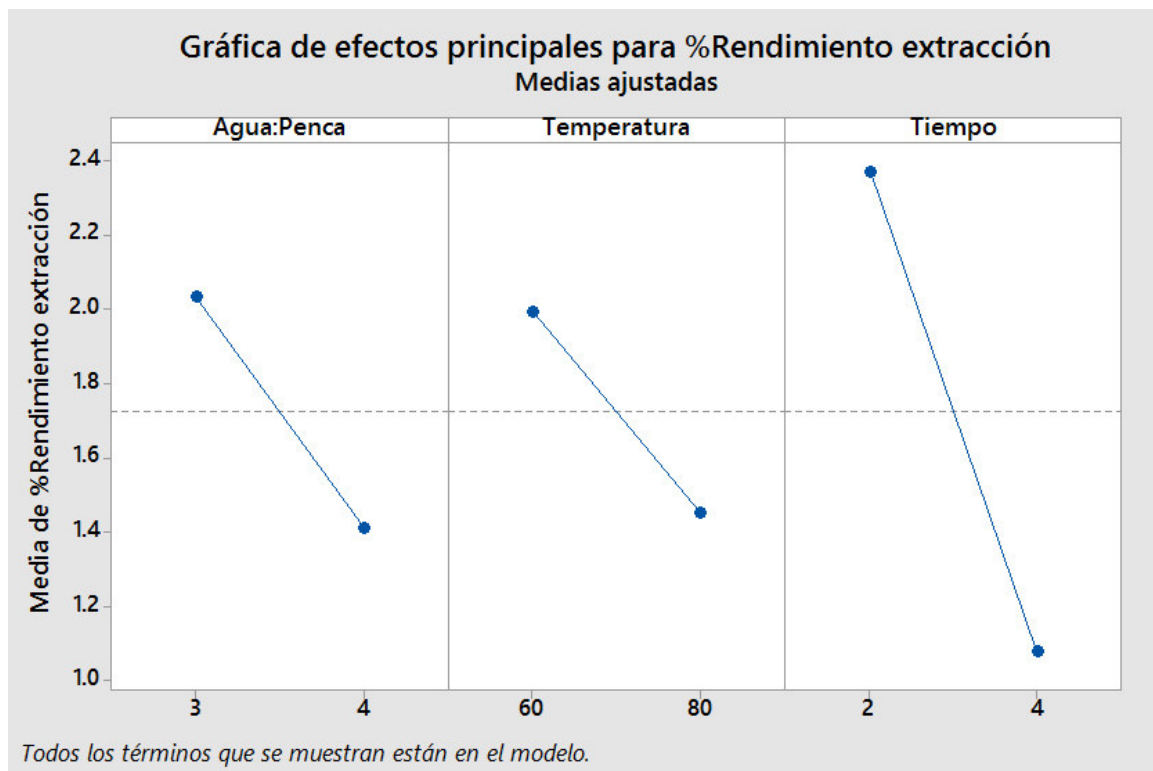
Mediante la Tabla 23, se establece que el modelo estadístico utilizado se ajusta adecuadamente a los datos, se llega a esta conclusión al obtener los valores del R^2 y $R^2(\text{Ajustado})$ igual a 98.98% y 98.16% respectivamente.



Gráfica 2 Diagrama Pareto de efectos estandarizados con respecto al Rendimiento porcentual de extracción del mucilago (Fuente Elaborado en Minitab 17)

Evaluando cada uno de los factores con respecto al Rendimiento porcentual de extracción, se establece que se obtiene un mayor rendimiento para los niveles más bajos de los factores estudiados. Analizando la Gráfica 3, para el factor de relación de agua y penca igual a 3, se obtiene un rendimiento porcentual de extracción de aproximadamente 2.0, se cumple lo mismo si se trabaja con el factor temperatura igual a 60°C y también para el caso del factor tiempo, igual a 2 horas, el rendimiento que se obtiene es igual a 2.4. Un efecto contrario se obtiene cuando se trabaja con los valores más altos de los factores estudiados, así tenemos que para una relación de agua y penca

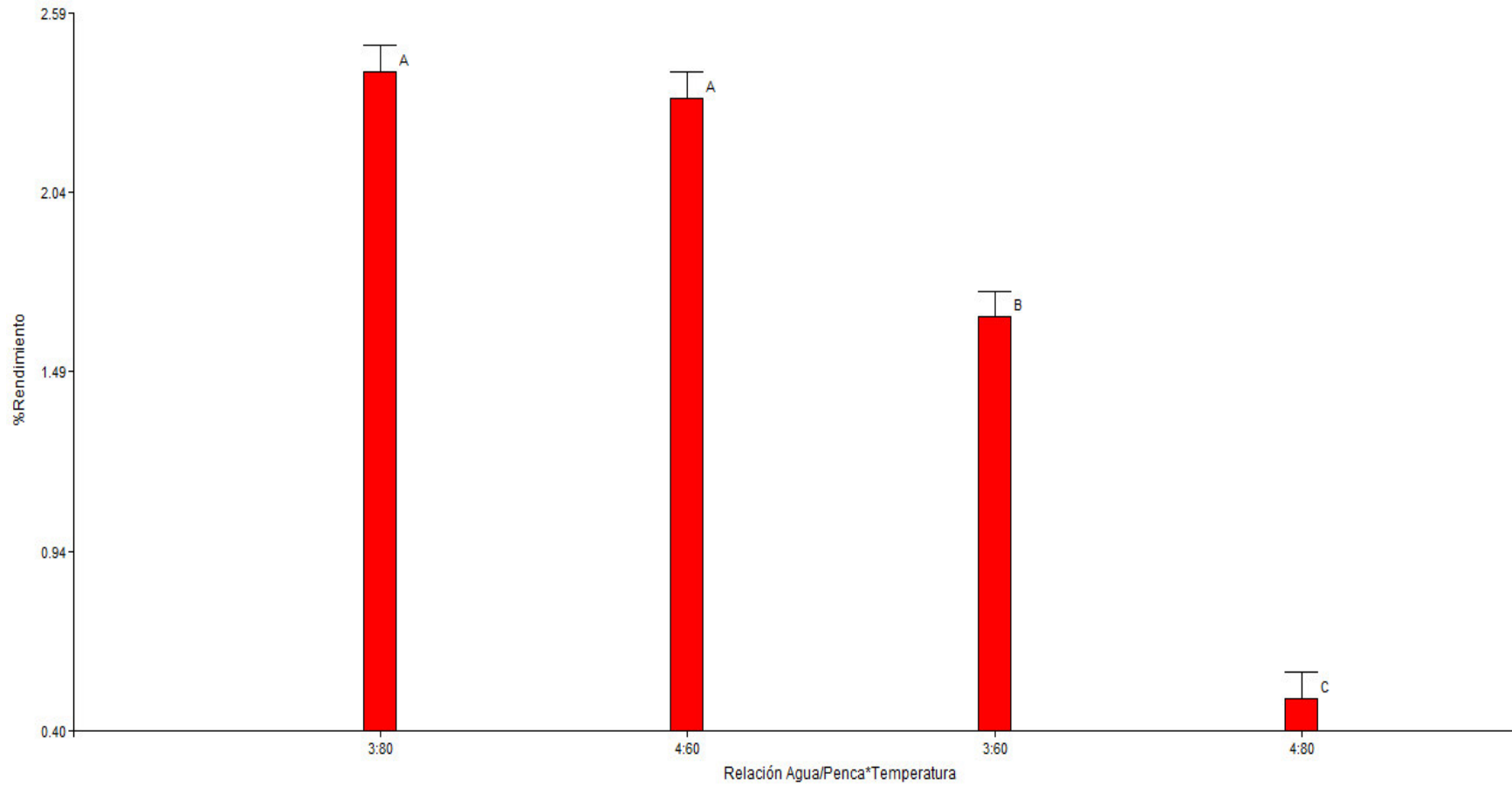
igual a 4, 80°C de temperatura y 4 horas de tiempo los rendimientos porcentuales de extracción son de 1.4 para los 2 primeros factores y 1.0 para el último respectivamente.



Gráfica 3 Gráfica de efectos principales para Rendimiento porcentual de extracción del mucilago (Fuente Elaborado en Minitab 17)

Mediante la Grafica 4 se realiza la comparación de la interacción de 2 factores sobre el rendimiento de extracción, Relación Agua-Penca y Temperatura, usando el programa estadístico Infostat y el método de comparación Duncan, se demuestra que para este tipo de interacción se debe tener una relación inversa de los valores de estos factores para favorecer el rendimiento, tal es el caso que para 80°C de temperatura y la relación de agua y penca igual a 3 se obtiene un valor de 2.4 de rendimiento de extracción, este resultado es aproximadamente igual al que se obtiene de la interacción de 60°C de temperatura y 4 de relación de agua y penca, llegando a la conclusión que ambos tratamientos son estadísticamente iguales y presentan condiciones favorables para la

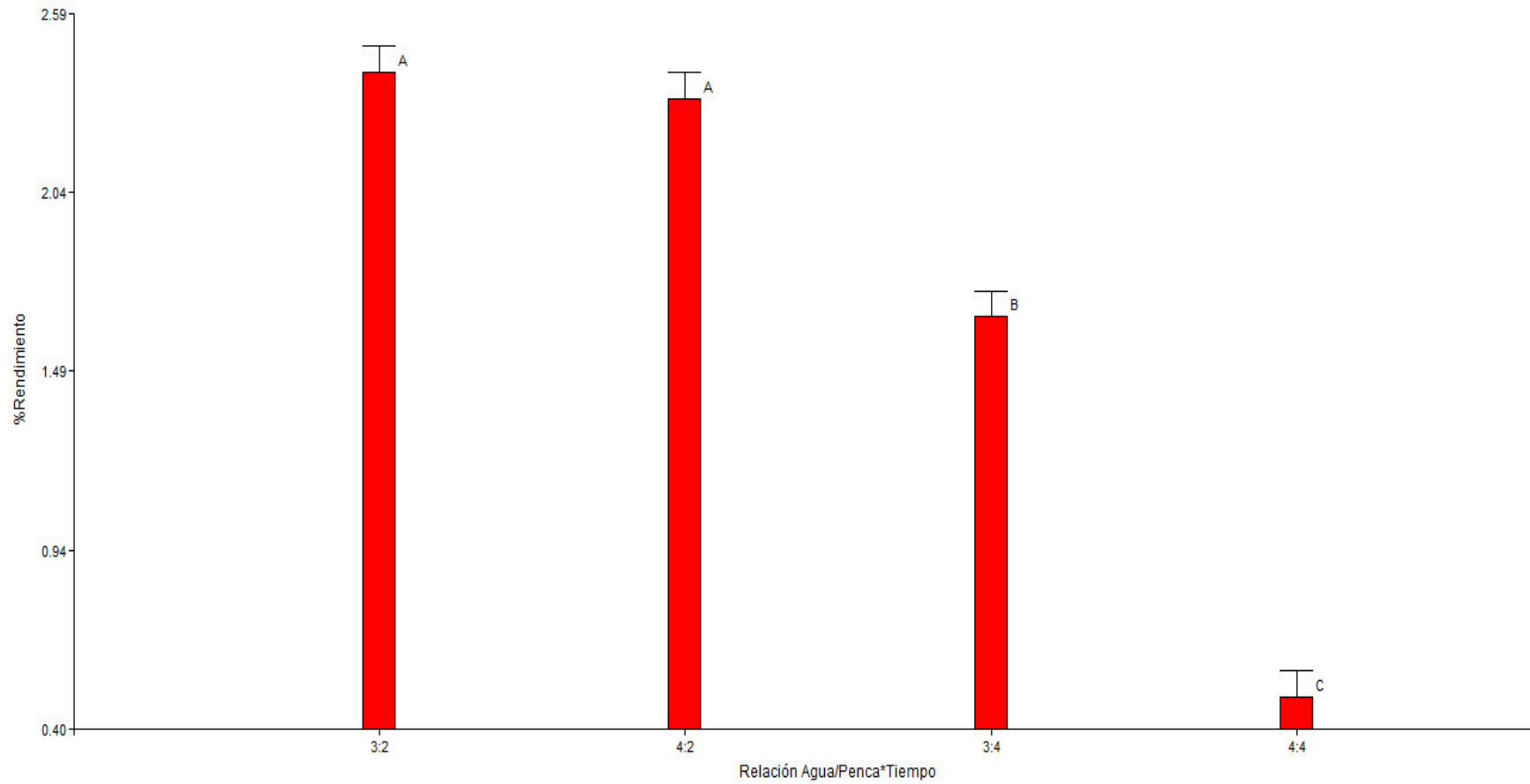
extracción del mucilago; a diferencia de la interacción directa ya sea de valores inferiores o superiores, donde los rendimientos porcentuales de extracción disminuyen notoriamente a 1.5 y 0.6 respectivamente.



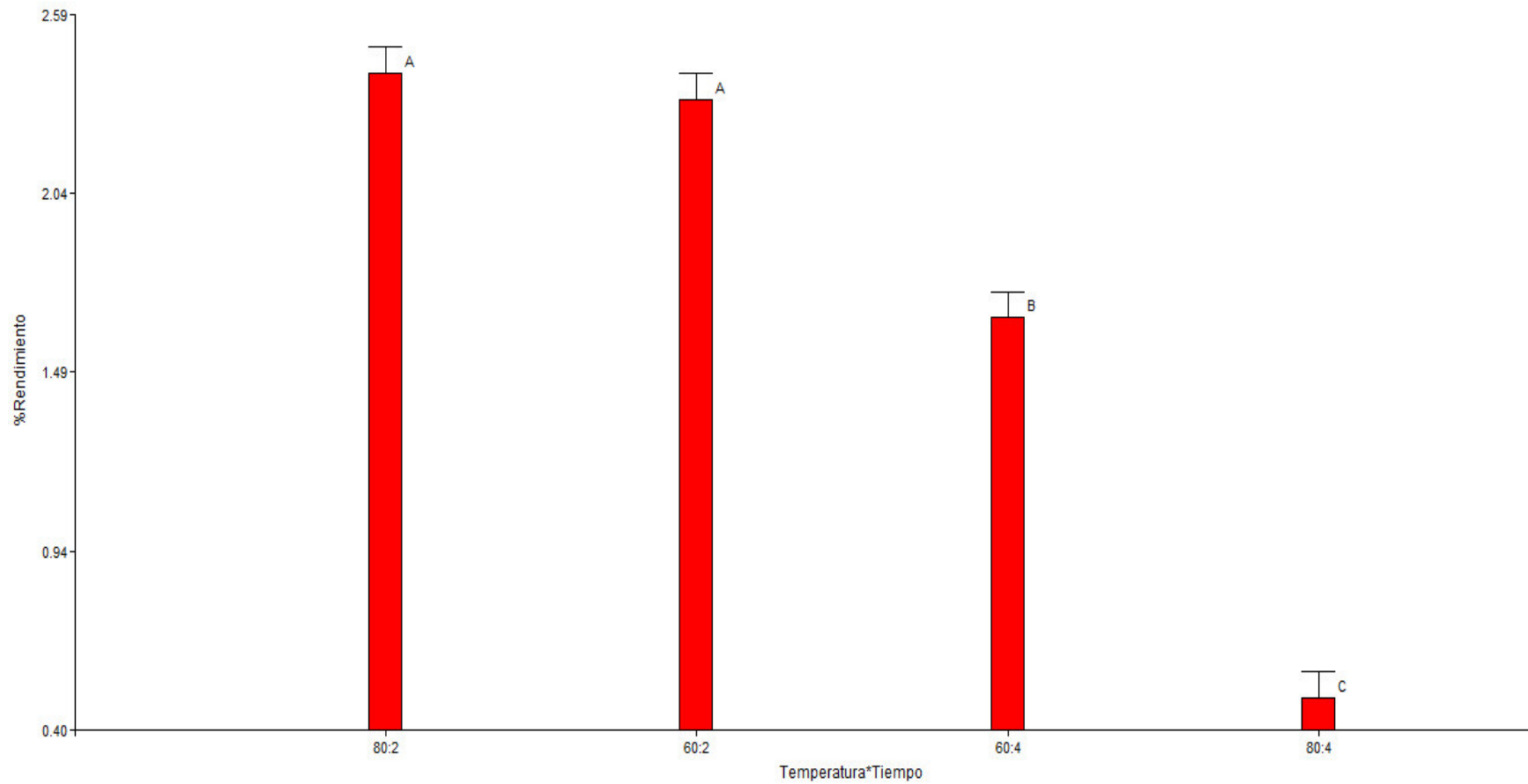
Gráfica 4 Gráfica comparativa de la interacción de los factores, Relación Agua-Penca y Temperatura, para el Rendimiento porcentual de extracción usando el método estadístico Duncan (Fuente: Elaborado en Infostat)

Continuando con la comparación de la interacción de 2 factores, la Grafica 5, que muestra la interacción de Relación Agua-Penca y Tiempo, se concluye que a un tiempo menor, en este caso 2 horas, los rendimientos porcentuales de extracción son mayores alcanzando valores de 2.3, ya sea interactuando con una relación Agua-Penca de 3 o 4. En el caso que se trabaje a largos periodos de tiempo, superiores a 4 horas, el rendimiento de extracción tiende a reducirse alcanzando un valor de 1.5 aproximadamente si se trabaja con 3 de relación Agua-Penca, reduciéndose el rendimiento de extracción mucho más, cuando un tiempo prologando de extracción interactúa con grandes cantidades de agua, en esta oportunidad 4 de relación Agua-Penca alcanzando un rendimiento porcentual de aproximadamente 0.5.

De la misma manera interactúa el tiempo con la temperatura, Grafica 6, alcanzando altos porcentajes de rendimiento, cuando se realiza la extracción en un tiempo de 2 horas. El valor del rendimiento de extracción tiende a reducirse cuando el tiempo es mayor, en este caso 4 horas.



Gráfica 5 Gráfica comparativa de la interacción de los factores, Relación Agua-Penca y Tiempo, para el Rendimiento porcentual de extracción usando el método estadístico Duncan (Fuente: Elaborado en Infostat)

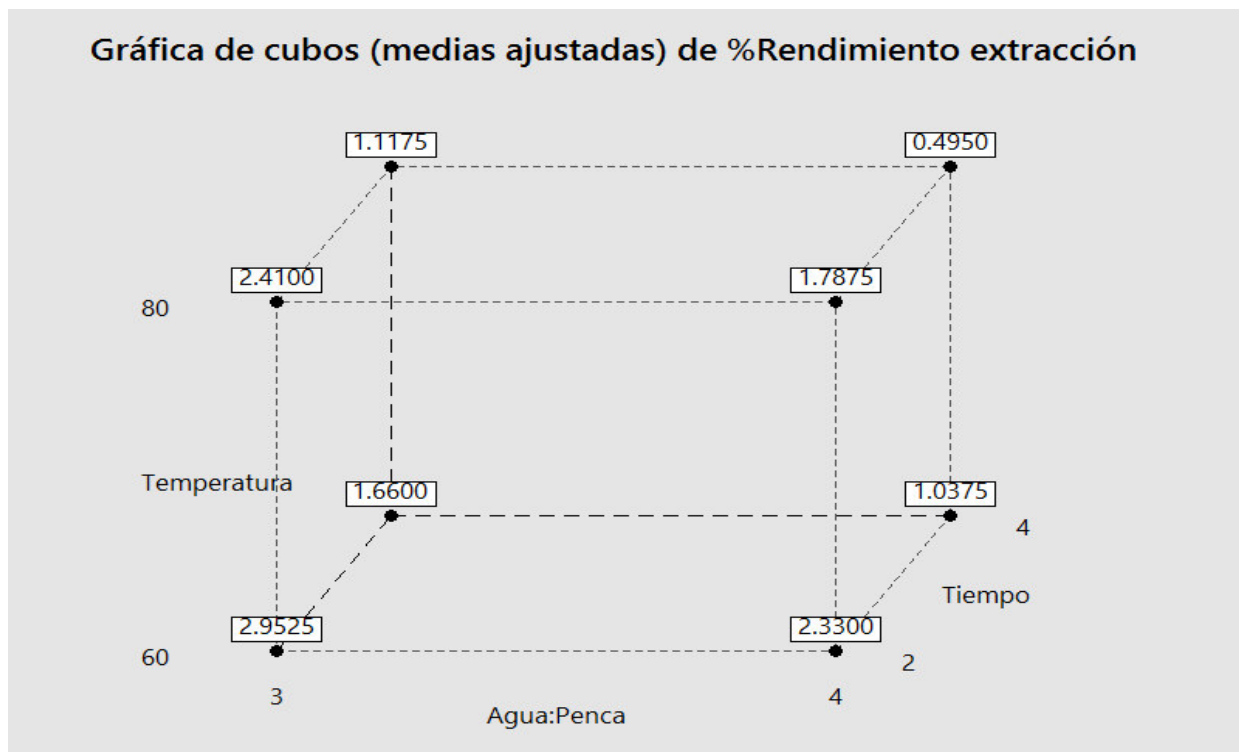


Gráfica 6 Gráfica comparativa de la interacción de los factores, Temperatura y Tiempo, para el Rendimiento porcentual de extracción usando el método estadístico Duncan (Fuente: Elaborado en Infostat)

En la Gráfica 7 se analiza la interacción de los 3 factores, infiriéndose que, si se considera los valores más altos de cada uno de estos factores, el Rendimiento porcentual no es favorable en la extracción obteniéndose aproximadamente 0.495, este valor ira incrementándose conforme se va reduciendo los valores de los factores de interés.

Considerando un tiempo de 2 o 4 horas de extracción interactuando con los factores de temperatura y relación de Agua: Penca, estos dos últimos en relación inversa, influyen notoriamente en el rendimiento de extracción, obteniéndose valores de 2.4 o 0.495 llegándose a la conclusión de la influencia significativa que tiene el tiempo como factor.

Por último, al interactuar los valores más bajos de estos 3 factores que se han considerado en el proceso de extracción, Temperatura de 60°C, 2 horas de tiempo y 3 de relación de Agua: Penca, se obtiene un alto Rendimiento porcentual de extracción dando un resultado de 2.953, siendo este superior a los resultados brindados según fuentes bibliográficas.



Gráfica 7 Gráfica de cubos (medias ajustadas) de Rendimiento Porcentual de Extracción del mucilago (Fuente: Elaborado en Minitab 17)

Comparando los resultados obtenidos en este trabajo con otros autores, ver Tabla 34.

Tabla 34

Rendimientos porcentuales de extracción de mucilago, según fuentes bibliográficas

AUTOR	FACTORES	NIVELES	% RENDIMIENTO MÁXIMO EXTRACCIÓN
Cardenas, et.al, (1998)	-	-	0.07
Almendárez, (2004)	-	-	0.78
Sepúlveda, et.al, (2007)	Relación Agua:Penca	5:1 – 7:1	1.51
	Temperatura	16 °C- 40 °C	
	Tiempo	4 h – 8 h – 16 h	
Cai, et.al, (2008)	Relación Agua:Penca	3:1 – 4:1 – 5:1	0.694
	Temperatura	75 °C – 80 °C – 85 °C	
	Tiempo	2 h – 3 h- 4 h	
Escaldado y decolorado	-	-	0.66
Abraján, (2008)	Relación Agua:Penca	1:5	0.33
	Cocción	Ebullición	
		30 min	
Entero	-	-	0.85
Hong & Ibrahim, (2012)	Solución de	Agua Destilada	2.12
	maceración	NaOH	2.55
Mounir, et.al, (2014)	Tipo de Solvente	Etanol	0.4
		Acetona	0.6
Bayar, et.al., (2016)	Relación Agua:Penca	1:10	10.24
	Temperatura	25 °C	
	Tiempo	90 min	

Fuente: Elaboración Propia

Según la información de la Tabla 34, el rendimiento obtenido por Cárdenas, *et.al.*, (1998) y Almendárez, (2004) de 0.07% y 0.78% respectivamente, son menores que los obtenidos en este trabajo debido a la consideración que se ha realizado tanto en la cosecha de las pencas como en el proceso de extracción.

Sepúlveda, *et.al.*, (2007) considera en su proceso de extracción factores como: Relación de Agua: Penca, Temperatura y Tiempo, obteniendo un rendimiento promedio de extracción de 1.51%, esto lo atribuyen a la mayor influencia que presenta la Temperatura sobre los otros factores ya mencionados, indican que a mayor temperatura el rendimiento de extracción se incrementará. Cabe mencionar también que en el análisis estadístico que realizaron, diseño completamente al azar, muestra la influencia no significativa de estos factores, es por ello que recomiendan incrementar los niveles de cada factor trabajado. Comparando el rendimiento de extracción con los obtenidos en este trabajo que varían entre 0.49 % y 2.41 %, se atribuye esta diferencia a la notable influencia del factor tiempo en la extracción, brindado por el análisis estadístico, también mencionar que los niveles de este, fueron menores a los trabajados en la referencia mencionada. Estos autores también señalan que el contenido del mucilago puede variar dependiendo de las condiciones climáticas, como el frío y la lluvia, debido a la capacidad de estos polisacáridos para absorber el agua como defensa de la planta contra las condiciones de estrés, y también de la edad de la misma.

En el caso de Cai, *et.al.*, (2008) el objetivo de su trabajo fue optimizar la extracción del mucilago a partir de *Opuntia milpa alpa*, considera los mismos factores de extracción que Sepúlveda, *et.al.*, (2007), pero siguiendo las recomendaciones de esta última, incrementan los niveles de temperatura desde 70 °C a 90 °C, alcanzando el rendimiento óptimo de extracción de 0.694 %. Mencionan como factores influyentes a la Temperatura y tiempo de extracción. El bajo

rendimiento se atribuye a los altos valores de la temperatura con los que se trabajó, ya que estos aumentan la hidrólisis de los polisacarios; en el caso de una exposición prolongada de tiempo induce también al cambio molecular de los polisacáridos.

Abraján, (2008), tiene como objetivo modificar el procedimiento de extracción tradicional llamado “entero” para obtener un producto blanco y no color café claro. Estas modificaciones consistieron en realizar un “escaldado” o “decolorado” para así poder eliminar este problema, se obtiene un rendimiento de 0.66 %, esto se atribuye al pelado del nopal donde se elimina también una fracción de pulpa que también contiene el mucílago. En el caso del mucílago “cocido” el rendimiento tan bajo de 0.33 %, se debe a que el mucílago se encuentra contenido dentro de células especializadas y el simple troceado de la penca previo a la cocción, no resulta tan eficiente como la molienda para la liberación del hidrocoloide en las etapas posteriores. Para el mucílago “entero” se alcanzó un rendimiento de extracción de 0.85 %, el más alto de esta publicación, considerando para ello las condiciones de cosecha de la penca así como también la edad de la misma, pero no los factores en la etapa de extracción. En este trabajo de investigación se tomó en cuenta el acondicionamiento que se consideró con la penca, retirar la cutícula, para así obtener un producto más blanco, adicionalmente para favorecer la liberación del hidrocoloide se procedió a licuarlo y no mantenerlo en trozos como menciona esta publicación.

Publicaciones como Hong & Ibrahim, (2012) realizan la extracción del mucílago a partir de Rose cactus, considerando como factores la solución de maceración, agua destilada e NaOH 0.14M, y Temperatura desde 50 °C a 90 °C, alcanzando altos rendimientos en presencia de la solución alcalina de aproximadamente 2.55 %, se atribuye estos resultados ya que estas condiciones hidrolizan componentes insolubles en solubles. Mencionan también que el aumento en el rendimiento con la temperatura puede deberse a la disminución de la viscosidad del mucílago

unido a la muestra, lo que los hace menos pegajosos y se pueden liberar eficazmente a alta temperatura. En este punto existe una contradicción con el análisis que se ha realizado en este trabajo, se observó experimentalmente que a medida que la temperatura aumentaba, el líquido mucilaginoso se volvía menos pegajoso como menciona la referencia, pero los resultados de los rendimientos decrecen al disminuir la viscosidad del mucilago, eso se debe a la hidrólisis y modificación molecular de los polisacáridos, tal como lo menciona Cai, *et.al.*, (2008).

Lo más resaltante de la publicación de Mounir, *et.al.*, (2014), es considerar el efecto de la edad de las pencas y del solvente para la precipitación química. Los resultados fueron favorables para una edad de 1 a 2 años usando como solvente acetona logrando alcanzar 0.6 % de rendimiento de extracción, para el caso del etanol como solvente el rendimiento de extracción fue 0.4 %. En este trabajo de investigación se utilizó etanol debido a la facilidad de disposición de este insumo.

Los resultados de la extracción de Bayar, *et.al.*, (2016) coinciden con la conclusión de este trabajo, que el rendimiento de extracción aumentará a medida que disminuya la temperatura y tiempo de exposición del mucilago, obteniéndose a condiciones de 25 °C y 90 min un rendimiento de 10.24 %.

Considerando información adicional de Saenz, *et.al.*, (2004), menciona que la presencia del mucilago aumenta en condiciones de sequía, esto se atribuye a la propiedad de protección de la misma planta, ya que en esas épocas se obtiene un mucilago más viscoso, por lo tanto aumenta la cantidad que se va a extraer. Estas indicaciones se tomaron en cuenta al momento de cosechar las pencas, ya que en febrero del 2017 la zona de Chilca pasaba por una época de sequía y escasas de lluvias, favoreciendo de esa manera la extracción del mucilago. Lo mencionado anteriormente son puntos a considerar en la adquisición de la materia prima, con respecto al proceso de extracción se

ha desmotrado desde el punto de vista estadístico la significancia de los factores Relación Agua: Penca, Temperatura y la mayor influencia que presenta el Tiempo en este proceso.

Las condiciones más favorables para la extracción del mucilago son las siguientes: 3:1 de Relación de Agua : Penca, 80 °C de temperatura por 2 h de tiempo, obteniendo un rendimiento de 2.41 %, tal como mencionó Cai, *et.al.*, (2008) el rendimiento aumenta con respecto a la temperatura ya que favorece la hidrólisis de los polisacáridos, pero mantenerlo a una prolonga exposición provoca la degradación de los mismos, es por ello que se recomienda trabajar a pequeños tiempos.

VII.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL MUCILAGO

Al analizar estadísticamente los datos de la composición química del mucilago en base húmeda con el programa Minitab 17, se determina la influencia significativa que tienen los factores de extracción del mucilago sobre los valores de Humedad, Proteínas y Carbohidratos.

En la Tabla 27 se observan las ecuaciones de regresión donde relacionan los factores de extracción con cada uno de los parámetros de la caracterización del mucilago. Con respecto a la Humedad, los factores más significativos son la relación Agua: Penca y Tiempo, ambos presentan una correlación positiva, es decir, a medida que los valores de cada factor se incrementen, el porcentaje de Humedad aumenta; de estos dos factores la Relación de Agua: Penca es el que influye más sobre la Humedad. En el caso de las cenizas y grasas, los factores de extracción no son significativos. Para las proteínas el factor Tiempo es el único que influye de manera significativa, teniendo una correlación positiva, esto quiere decir que a medida que el tiempo aumente el porcentaje de proteínas en la base húmeda aumentará. En el caso de los carbohidratos al igual que la Humedad los factores más significativos son la relación Agua: Penca y Tiempo,

ambos presentan una correlación negativa, es decir, a medida que los valores de cada factor se incrementen, se reduce el valor de los carbohidratos.

Al comparar los resultados de la Tabla 25 y 26, composición del mucilago en base húmeda y base seca respectivamente, con las referencias de la Tabla 8 difieren notoriamente, tanto en Humedad; que según fuentes como Sepúlveda, *et.al.*,(2007) y Hong & Ibrahim, (2012) varia en 6.0 % y 13.69% respectivamente, alejándose notoriamente de los resultados de esta publicación que varia entre 56.96 % a 74.02 %; y en Cenizas; que según las mismas fuentes varia entre 37% y 28.67%, valores muy superiores a los obtenidos en este trabajo que varia entre 1.44 % a 2.20%; se asume estas diferencias a las condiciones climáticas en la que se cosechó las pencas de tuna y la composición química del suelo, adicionalmente, a los factores que se han considerado en el proceso de extracción del mucilago. También cabe mencionar que el análisis proximal en este trabajo se realizó después de la 2da filtración en el proceso de extracción, ver Figura 24, para poder analizar la influencia de los factores de extracción en la composición del mucilago.

En el caso de las proteínas los valores obtenidos que oscilan entre 1.91 % a 4.10 % coinciden con Hong & Ibrahim, (2012) que presenta un promedio de 4.81 %, brindando como explicación que a temperaturas de extracción más altas, la cantidad de proteínas se incrementa debido a la desnaturalización de las mismas.

Conociendo que el mucilago es un carbohidrato complejo, Abraján, (2008) menciona que la proporción de estos varia de acuerdo a la variedad, edad, condiciones climáticas y estructura empleadas para la extracción, los resultados de sus análisis en base seca reportan un valor de 72.3% muy similar a los obtenidos en este trabajo que oscila desde 77.78 % a 89.99 %.

Analizando la relación que existe entre la extracción del mucilago y los componentes de la caracterización del mismo, se infiere que para obtener altos rendimientos de extracción, el

porcentaje de carbohidratos presentes en el mucilago debe ser alto. Esto se corrobora al ingresar estos datos en el programa minitab 17 y realizar una regresión múltiple, obteniendo la siguiente ecuación:

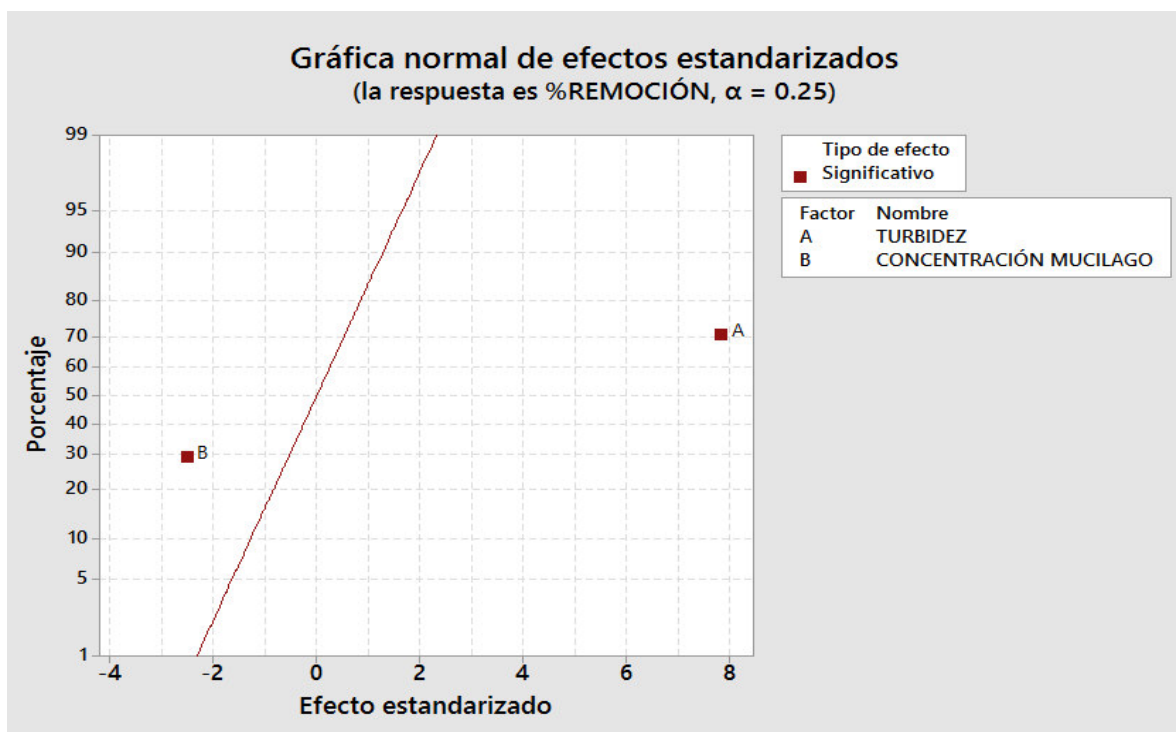
$$\% \text{ Extracción} = -1.079 + 0.0916 \% \text{ Carbohidratos}$$

Esta ecuación indica la relación directa que existe entre el rendimiento porcentual de extracción del mucilago con el porcentaje de Carbohidratos, siendo este el único término significativo de la caracterización con respecto a la extracción.

VII.3. PROCESO DE CLARIFICACIÓN DE AGUAS TURBIAS

En esta etapa del trabajo de investigación se evalúa la capacidad de remoción de turbidez que se tiene de un agua turbia sintética, aplicando el mucilago seco a partir de la penca de tuna como un polielectrolito. Se consideran 2 factores: Turbidez inicial y concentración del mucilago, y se evalúa adicionalmente para cada uno de los tratamientos que se han realizado en la extracción, convirtiéndose estos últimos en bloques, por lo tanto, el diseño estadístico a utilizar es el factorial por bloques aleatorizado.

Al evaluar la significancia de los factores mencionados anteriormente, ver Gráfica 8, se observa que ambos factores son significativos, ya que estos puntos se distancian notoriamente de la línea de referencia. También se puede inferir de esta gráfica que la Turbidez inicial presenta una correlación positiva al ubicarse hacia la derecha de la línea de referencia, en el caso de la concentración del mucilago a diferencia de la turbidez, influye inversamente sobre el porcentaje de remoción.



Gráfica 8 Gráfica normal de efectos estandarizados con respecto al porcentaje de remoción de turbidez (Fuente: Elaborado en Minitab 17)

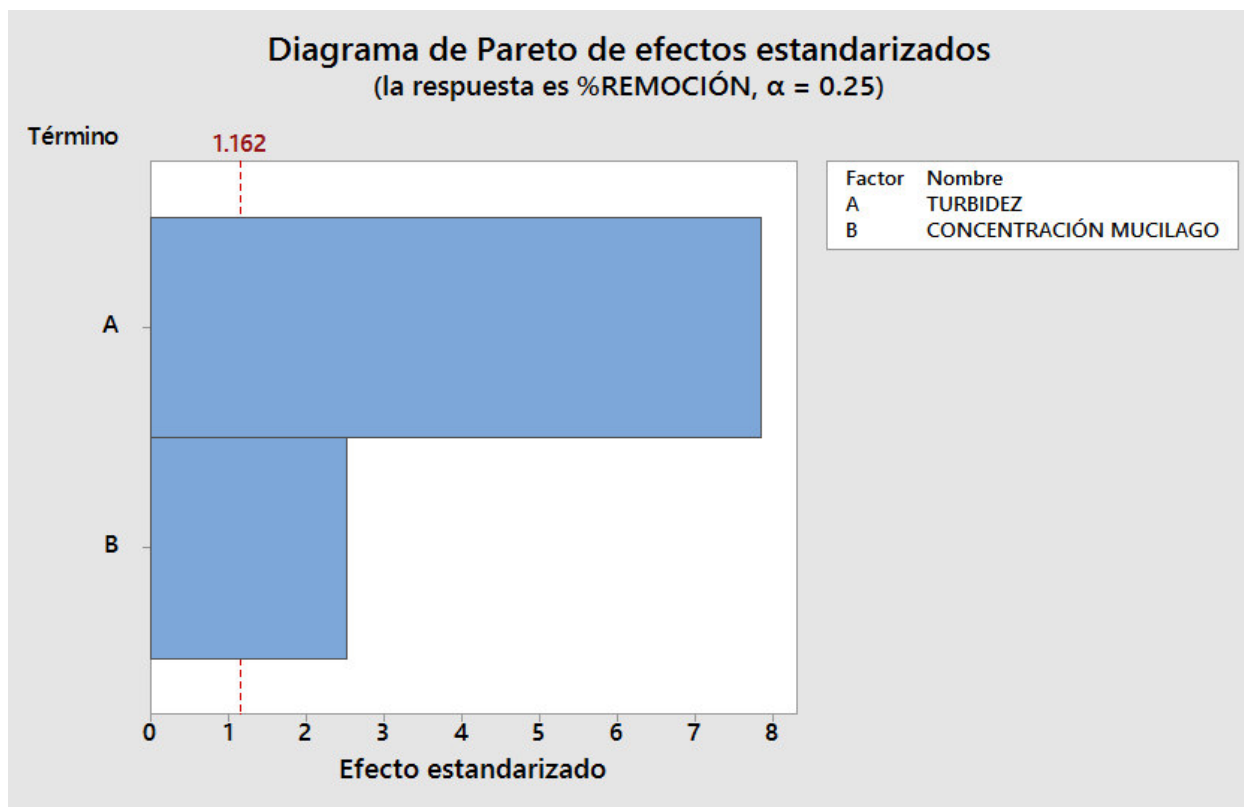
Considerando la Ecuación de regresión:

$$\% \text{ Remoción de turbidez} = 0.7284 + 0.000215 \text{ Turbidez inicial} - 0.001732 \text{ Concentración}$$

Mediante esta ecuación, observando cada término de la misma, coincide con el análisis de la Gráfica 8, al encontrarse presente cada factor de la clarificación, indica que cada uno de estos es significativo, con respecto a los signos de cada coeficiente que acompaña a los factores, al ser estos positivos, como en el caso de la turbidez inicial, señalan la influencia positiva de este factor, es decir, a medida que aumente la turbidez inicial, este favorecerá a la remoción de turbidez. Con respecto a la concentración del mucilago, el signo que presenta es negativo, influenciando de manera inversa sobre la remoción, es decir, a medida que disminuya este, la remoción de turbidez se verá favorecida, tener en cuenta que en este caso que solo se cumplirá esta condición en el intervalo de 30 ppm a 50 ppm, encontrándose entre ellas la dosis óptima para la remoción de turbidez. Esta ecuación también nos indica que la interacción entre ambos factores no es significativa, al no presentarse este término en la ecuación de la remoción porcentual de turbidez.

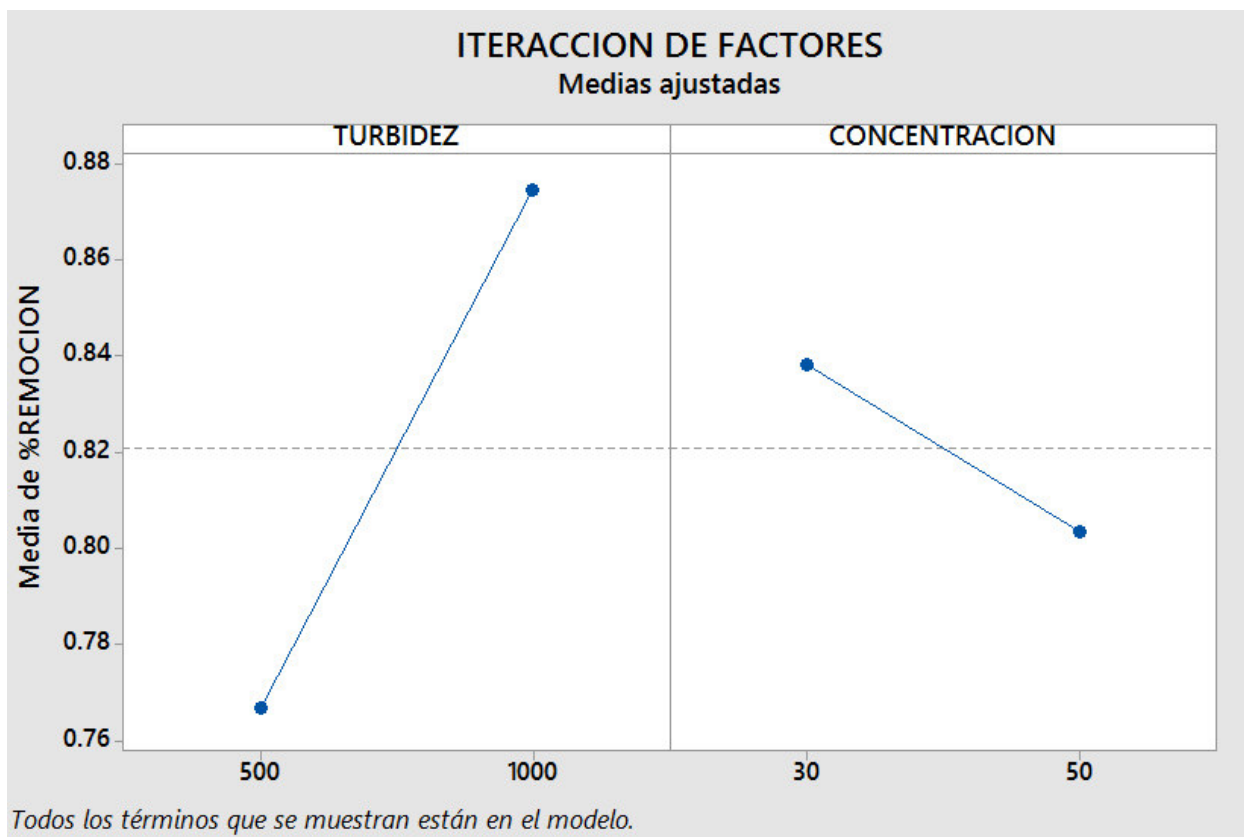
A partir de la Gráfica 9, Diagrama Pareto de los efectos estandarizados, se infiere que el efecto de la turbidez inicial es de mayor significancia respecto a la concentración del mucilago; pues se encuentra más alejado del punto de referencia de valor 1.162, también se llega a esta conclusión al ver la Tabla 32 y comparar el término “valor p” de cada factor, y observar que este valor es menor para el caso de la turbidez inicial.

Considerando la Tabla 31, los valores de R^2 y R^2 (Ajustado) fueron 57.03% y 53.35% respectivamente, lo que indica que los datos obtenidos no se ajustan de manera adecuada al modelo estadístico trabajado, lo que sugeriría que un modelo de ajuste no lineal sea más adecuado.



Gráfica 9 Diagrama Pareto de efectos estandarizados que intervienen en la Remoción de turbidez (Fuente Elaborado en Minitab)

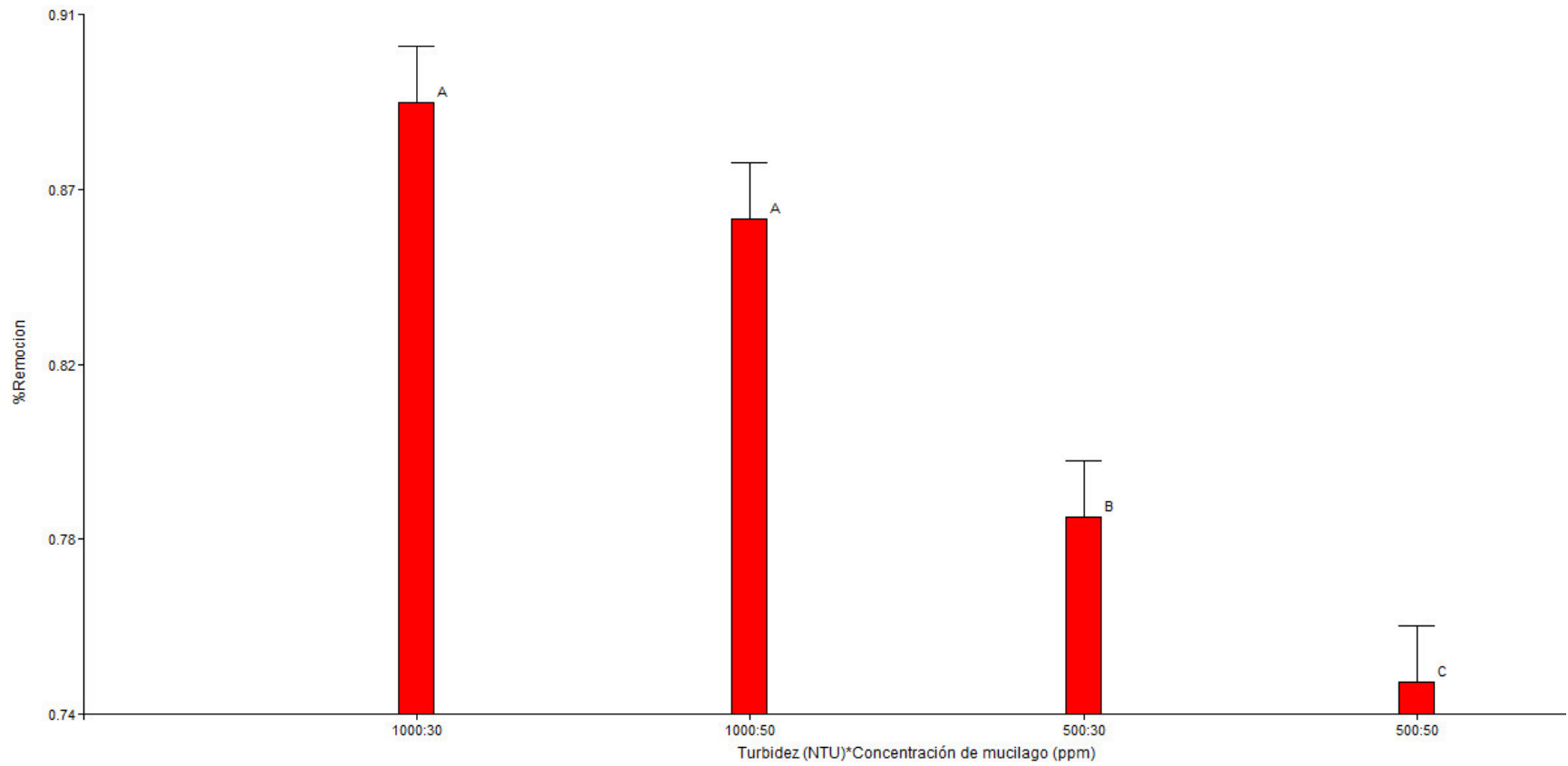
Al evaluar cada factor individualmente, la turbidez inicial con un valor de 500 NTU presenta un porcentaje de remoción porcentual de 77, este valor aumenta notoriamente al incrementarse la turbidez a 1000 NTU, alcanzando una remoción de 88.0. Por otro lado, al analizar la influencia de la concentración del mucilago, cuando este tiene un valor de 30 ppm, el porcentaje de remoción de turbidez es 84.0, disminuyendo ligeramente a 80.0 cuando se trabaja con una concentración de mucilago igual a 50 ppm.



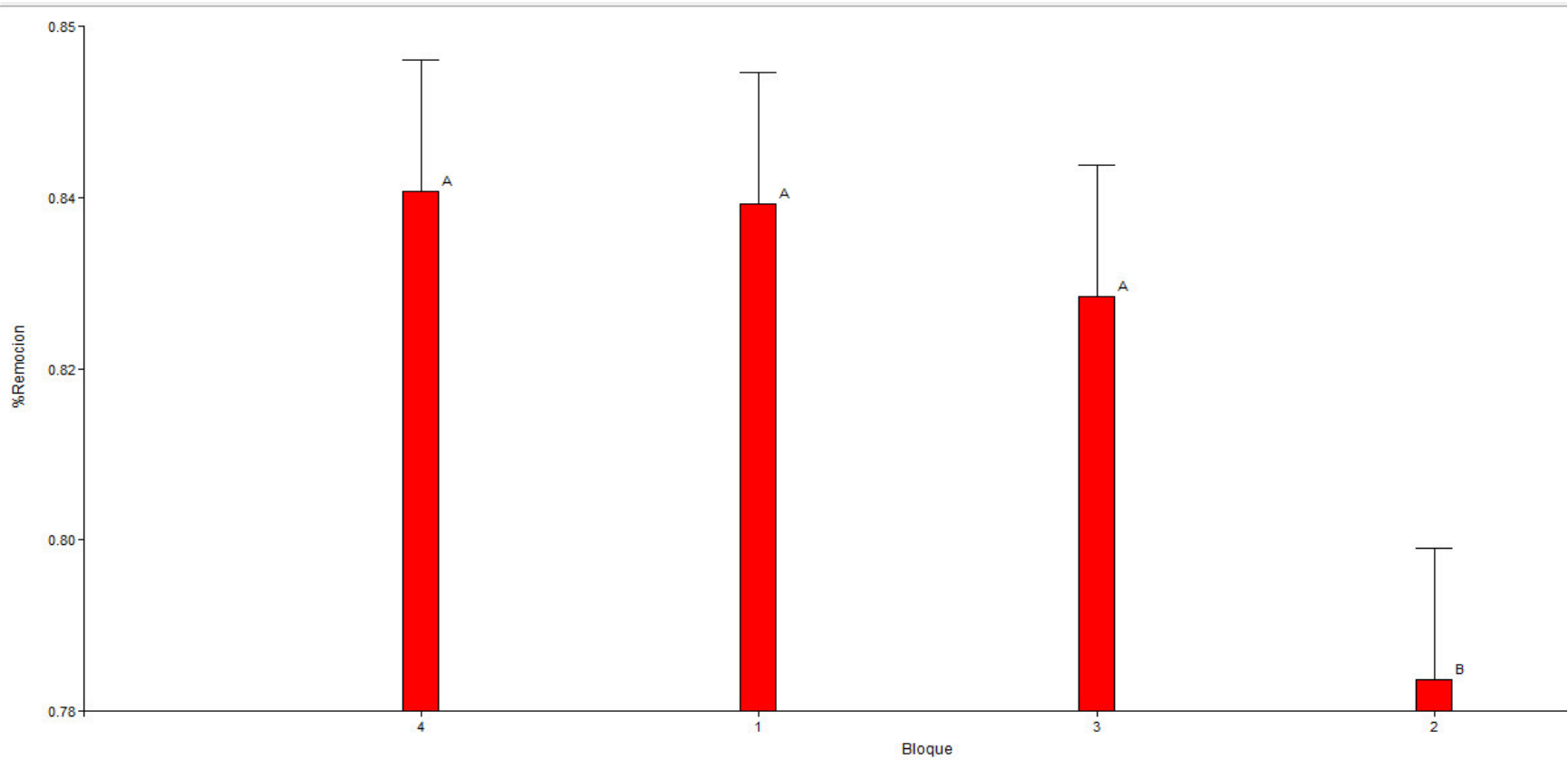
Gráfica 10 Gráfica de evaluación de factores individuales, Turbidez inicial y concentración de mucilago, en el proceso de clarificación de aguas turbias (Fuente Elaborada en Minitab 17)

Mediante la Gráfica 11, comparación entre la interacción de los factores, se infiere que los tratamientos que consideran 1000 NTU como turbidez inicial, son estadísticamente iguales y favorecen la remoción de turbidez, ya que sus valores varían desde 89 a 87, a diferencia de aquellos que consideran 500 NTU como turbidez inicial, que sí difieren estadísticamente y la remoción se ve desfavorecida, decayendo a 79 y 77 de remoción porcentual de turbidez.

La Gráfica 12, comparación del porcentaje de Remoción de turbidez con respecto a los tratamientos de extracción del mucilago, muestra que los tratamientos T4, T1 y T3 favorecen la remoción y son estadísticamente iguales, proporcionando valores de remoción porcentual de 84 a 83; a diferencia en la T2 que decae la remoción porcentual a 78.



Gráfica 11 Gráfica comparativa de la interacción de los factores, Turbidez inicial y concentración inicial, para la Remoción de Turbidez usando el método estadístico Duncan (Fuente: Elaborado en Infostat)



Gráfica 12 Gráfica de remoción de turbidez con respecto a los tratamientos de extracción, utilizando el método de comparación Duncan (Fuente Elaborado en Infostat)

Comparando los resultados de la remoción porcentual de turbidez con los brindados por Quispe (2012) que alcanza un máximo de 41.10 y 39.90 para cada valor de turbidez inicial de 1000 NTU y 500 NTU respectivamente, valores muy bajos a comparación de los obtenidos en el presente trabajo, que alcanza porcentajes de remoción 78.7 y 88.9 para los mismo valores iniciales de turbidez, se atribuye esta diferencia a que en este trabajo se revisó y analizó la amplia literatura existente, y se planificó metodológicamente el manejo de los factores en la etapa de extracción.

Sin embargo, otras fuentes como: Almendárez, (2004), quien presentó los resultados sobre la efectividad del mucílago del *Opuntia cochinellifera* como coagulante primario del agua del lago con fines de potabilización, indica que este nopal es capaz de alcanzar un máximo de remoción porcentual de turbidez de valor 91; también mencionando otra referencia como López, (2000), quien resaltó el uso del mucílago del nopal *Opuntia* como coagulante primario en la clarificación de aguas para consumo humano, indica que alcanzó un porcentaje de remoción de turbidez mayor a 90, además, afirma que el coagulante natural del nopal *Opuntia* es muy útil en la remoción de coliformes; ambas referencias concuerdan con los resultados obtenidos en este trabajo.

Existen estudios que sostienen que propiedades del mucilago favorecen el poder de remoción de turbidez, entre ellas tenemos a Martínez & González, (2012) quienes al analizar al mucilago concluyen que la baja proporción de proteínas, no justifica su poder de coagulante a diferencia de la alta cantidad de carbohidratos, que sí favorece la coagulación. Adicionalmente se tiene a Peruco, *et.al*, (2013) quien cita a Saenz, *et.al*, (2004), quienes atribuyen la capacidad de coagulación del *Opuntia ficus indica*, a la presencia del mucilago, que es un complejo viscoso con la capacidad de retener agua, hecha de moléculas de carbohidratos tales como: arabinosa, galactosa, ramnosa, xilosa y ácido galacturónico. Freitas, *et.al.*, (2015) También consideran al ácido galacturónico como el responsable de la formación de puentes químicos en la floculación.

Recordando el mecanismo de coagulación, las partículas pueden agregarse y establecerse a la solución a través de cuatro mecanismos básicos: la compresión de doble capa, la floculación de barrido, la adsorción y la neutralización de carga, y la adsorción y puente interparticular (Crittenden, *et.al*, 2005). La presencia de sales puede causar la compresión de la doble capa, dando como resultado la desestabilización de las partículas por lo que las interacciones electrostáticas repulsivas son superadas por fuerzas atractivas de van der Waals. La floculación por barrido, o mezcla en el precipitado, ocurre cuando la precipitación de coagulantes atrapa partículas suspendidas dentro de un flóculo coloidal a medida que forma o se asienta (Crittenden, *et.al*. 2005 y Gregory & Duan, 2001). La desestabilización de las partículas a través de la neutralización de carga puede ocurrir cuando las partículas suspendidas en solución absorben iones cargados de forma opuesta. Pueden ocurrir puentes cuando un coagulante forma una cadena polimérica que puede unirse a múltiples partículas de manera que las partículas se unan al coagulante y no necesitan entrar en contacto entre sí.

Gregory & Duan, (2001) menciona que la dosis óptima para un agua dada aumenta a medida que aumenta la turbidez inicial. Este comportamiento es incompatible con un mecanismo de floculación de barrido, pero es consistente con la adsorción y la neutralización de carga, así como mecanismos de adsorción y puente. La reducción observada en la actividad de coagulación cuando la *Opuntia* spp. la dosis es demasiado baja o demasiado alta es consistente con un mecanismo de puente (Israelachvilli, 1992), ya que se espera una relación estequiométrica entre la concentración de partículas y la dosis de coagulante.

Si el mecanismo no es de barrido o la neutralización de carga, hay otros dos posibles mecanismos a considerar: la compresión de doble capa y puente. Aunque *Opuntia* spp. es un coagulante eficaz en soluciones de caolín y agua desionizada, es posible que los iones existentes

naturalmente presentes en el mismo cactus proporcionen la fuerza iónica necesaria para la compresión de la doble capa y por lo tanto la coagulación. Sin embargo, el análisis teórico del contenido de cationes inorgánicos en *Opuntia* spp. (Rodríguez-García, *et.al*, 2007 y Ramírez-Orduna, *et.al*, 2005) y análisis experimental de medidas de conductividad de agua tratada con *Opuntia* spp. (Miller, *et.al*, 2008) indican que la fuerza iónica proporcionada por *Opuntia* spp. no es suficientemente alta para causar coagulación como resultado de la compresión de doble capa. El mecanismo de coagulación predominante para *Opuntia* spp. es adsorción y puente, los cationes divalentes, que se sabe que son importantes para la coagulación con polímeros aniónicos (Weber, 1992), facilitan la adsorción.

Por otro lado, los valores residuales de turbidez obtenidos no cumplen con las características mínimas exigidas en el D.S. N° 031-2010-SA para el agua potable (< 5 NTU); no obstante, es importante tener en cuenta que el proceso de clarificación es una de las primeras etapas implementadas durante el tratamiento del agua cruda, y el valor deseado para los parámetros en mención se puede alcanzar en etapas posteriores. Por eso para favorecer la remoción porcentual de turbidez se realizaron pruebas adicionales, utilizando como coagulante catiónico al Sulfato de Aluminio complementado con el mucilago de tuna reduciendo los valores de turbidez desde 1000 NTU hasta 6.15 NTU.

CONCLUSIONES

- Se ha demostrado que los factores, Relación de Agua: Penca, Temperatura y Tiempo, que se han considerado en el proceso de extracción del mucilago, tomando en cuenta los trabajos como los de Saenz, *et.al*, 2004 y Cai, *et.al*, 2008, son significativos, al obtener un $F_{\text{calculado}} > F_{\text{teórico}}$ en el análisis de varianza del proceso de extracción.
- El tiempo es el factor que tiene mayor influencia sobre el rendimiento de extracción al tener un valor de $p = 0.000$. El tipo de correlación existente entre el rendimiento y los factores es del tipo negativo, apreciándose en la siguiente ecuación: **%Rendimiento de extracción**= 7.740 - 0.6225 Agua: Penca - 0.02713 Temperatura - 0.6463 Tiempo, se interpreta que a medida que se incrementen los niveles de los factores, se reduce el rendimiento porcentual de extracción de mucilago, logrando alcanzar este último, valores desde 0.49 hasta 2.41.
- Considerando los resultados del análisis proximal del mucilago, se infiere que los factores de la extracción influyen significativamente sobre los resultados de Humedad, Proteína y Carbohidratos, predominando la significancia de los factores Relación Agua: Penca y Tiempo. Resaltando la presencia de los carbohidratos como responsables del alto porcentaje de rendimiento de extracción, apreciándose en la siguiente ecuación:
% Rendimiento de Extracción = -1.079 + 0.0916 %Carbohidratos
- En el proceso de clarificación, los factores turbidez y concentración del mucilago son significativos con valores de $F_{\text{calculado}} > F_{\text{teórico}}$, no existiendo una significancia en la interacción entre estos factores donde $F_{\text{calculado}} < F_{\text{teórico}}$. La turbidez es el factor que tiene mayor influencia significativa en esta etapa de clarificación al tener un valor de $p = 0.000$, concluyendo que a medida que la turbidez aumente, el porcentaje de remoción se

incrementará, esto se aprecia con la siguiente ecuación: **% Remoción de turbidez**= $0.7284 + 0.000215 \text{ Turbidez inicial} - 0.001732 \text{ Concentración}$.

- Concluyendo finalmente que las condiciones favorables para la extracción del mucilago, tienen una correlación directa con los carbohidratos presentes en el mismo y promueven satisfactoriamente la remoción de la turbidez.

RECOMENDACIONES

- Realizar las pruebas de extracción de mucilago a niveles más bajos de temperatura y tiempo.
- Realizar análisis químicos y/o instrumentales más complejos para la caracterización del mucilago, para poder determinar la composición de los carbohidratos presentes.
- Evaluar la capacidad clarificante del mucilago, en aguas de elevada turbidez.
- Utilizar otro tipo de muestras de aguas, como por ejemplo efluentes industriales; así como otras variables que sean de interés en el proceso de coagulación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraján Villaseñor, M. A. (2008). *Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucilago del nopal (Opuntia Ficus Indica) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible*. Tesis Doctoral., Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de tecnología de Alimentos., Valencia.
- Almendárez de Quezada, N. (2004). Comprobación de la efectividad del coagulante (Conchifloc) en aguas del lago de Managua "Piedras Azules". *Revista Iberoamericana de Polimeros*, 5(1), 46-54.
- Alvarez, P., & Cáceres, F. (2003). Usos e importancias de las cactáceas en la cultura Churajón (Dpto. Arequipa). *Quepo*, 20-27.
- Amaya Robles, J. (2009). *Cultivo de Tuna (Opuntia Ficus Indica)*. Gerencia Regional Agraria La Libertad, La Libertad, Trujillo.
- Analiza Calidad @ Asesores. (Sin Fecha). *Tratamiento de aguas residuales industriales*. Recuperado el 12 de Julio de 2016, de <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1110aguas.pdf>
- Anderson, E. F. (2001). *The Cactus Family*. Portland, Oregon: Timber Press.
- Andia Cárdenas, Y. (2000). *Tratamiento de Agua-Coagulación y Floculación*. Evaluación de plantas y desarrollo Tecnológico, Sedapal, Lima.
- Aranda Osorio, G., Miranda Romero, L., Flores Valdez, C., Hernandez Mendo, O., Garcia Uriza, G., & Flores Brito, H. (2010). *Enriquecimiento Proteico del Nopal para la alimentación Animal*. Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Zootecnia, Chapingo.
- Arboleda, J. (1992). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Medellín: Editorial Acodal.

- Atalah, E., & Pak, N. (1997). Aumente el consumo de verduras, frutas y legumbres. *Guías de alimentación para la población chilena.*, 79-89.
- Autoridad Nacional del Agua, M. (Sin fecha). *Aguas residuales en el Perú, Problemática y uso en la Agricultura.* Recuperado el 2016 de Agosto de 05, de [http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/356/mod_page/content/128/Peru%20INFO RME%20DE%20PAIS.pdf](http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/356/mod_page/content/128/Peru%20INFO%20RME%20DE%20PAIS.pdf)
- Barbera, C. (1999). Historia e importancia económica y agroecológica. *Producción*, 132, 1-12.
- Barrenechea Martel, A. (2004). Coagulación. En C. P. Ambiente, *En Tratamiento de Agua para consumo humano* (págs. 153-220). Lima, Perú.
- Barrenechea, P. (1983). *Nopal y agaves como recurso de zonas áridas y semiáridas de México en recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México.* Chapingo, Mexico.
- Barrientos, P. (1983). *Nopal y agaves como recurso de zonas áridas y semiaridas de México.* Chapingo-Mexico: Centro de Genetica.
- Bayar, N., Kriaa, M., & Kammoun, R. (2016). Extraction and Characterization of three polysaccharides extracted from *Opuntia Ficus Indica* cladodes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 441-450.
- Benson, L., & Walkington, D. L. (1965). The Southern Californian Prickly Pears-Invasion, Adulteration, and Trial-by-Fire. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 52(3), 262-273.
- Blasco, C., & Ramos, L. J. (1980). *Cerámica Nazca.* Valladolid-España.
- Brack, A. (2003). *Perú, diez mil años de domesticación.* Lima: Ed. Bruño.
- Bravo Hollis, H. (2002). *Pencas de Antaño.* Mexico: In. El Nopal.
- Bravo-Hollis, H., & Sanchez Mejorada, H. (1991). *Las cactáceas de Mexico* (Vol. 3). Mexico D.F: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.

- Cabrera Oberto, G. (2009). *Proponen utilizar coagulante naturales para la potabilizacion del agua*. Recuperado el 03 de Julio de 2016, de LUZ Agencia de Noticias: http://www.agenciadenoticias.luz.edu.ve/index.php?option=com_content&task=view&id=375&Itemid=160
- Cabrera, R. (2009). *Proponen Utilizar coagulantes naturales para la potabilización del agua*. Recuperado el 28 de Junio de 2016, de Universidad de Zulia: http://www.agenciadenoticias.luz.edu.ve/index.php?option=com_content&task=view&id=375&Itemid=160
- Cai, W., Gu, X., & Tang, J. (2008). Extraction, purification and characterization of the polysaccharides from *Opuntia milpa alta*. *Carbohydrate Polymers*, 71, 403-410.
- Campos, J., Colina, G., Fernández, N., Torres, G., & Ojeda, G. (2003). *Caracterización del agente activo de las semillas de Moringa oleifera mediante HPLC*. Venezuela: Ediciones Huaracán.
- Cárdenas, A., Argüelles, W., & Goycoolea, F. (1998). On the posible rol of *Opuntia ficus-indica* mucilage in lime mortar performance in the protection of historical buildings. *J. Profess. Assoc. Cactus Develop.*, 3, 64-71.
- Cárdenas, A., Higuera-Ciapara, I., & Goycoolea, F. (1997). Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus indica*). *J. Profess. Assoc. Cactus Develop.*, 2, 152-159.
- Cardenas, A., Higuera-Ciapara, I., & Goycoolea, F. (1998). Rheology and Aggregation of cactus (*Opuntia Ficus-Indica*) Mucilage in Solution. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 2, 152-159.

- Castellar, R., Obón, J., Alacid, M., & Fernández - Lopez, J. (2003). Color properties and stability of betacyanins from Opuntia fruits. *Journal of Agricultural and food Chemistry*, 51, 2772-2776.
- Castillo, E., Herrera, G., & Méndez, R. (Sin fecha). *Determinación de parámetros de diseño de un tratamiento fisicoquímico de aguas residuales*.
- Castrillón , D. (2012). *Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo b en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de villa Santana*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- Castro Leon, M., & Gibaja Oviedo, S. (1979). *Extracción de polisacáridos de la Opuntia Ficus Indica, Identificación de algunos de sus componentes y su uso en Tratamientos de aguas*. Tesis para optar al Título Profesional de Químico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Escuela Académica de Química, Lima.
- Contreras, K., Mendoza, Y., Salcedo, G., Olivero, R., & Mendoza, G. (2015). EL Nopal(Opuntia Ficus Indica) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Produccion + Limpia*, 10(1), 40-50.
- Corrales García, J., Peña Valdivia, C., Razo-Martinez, Y., & Sanchez Hernandez, M. (2004). Acidity changes and pH-buffering capacity of nopalitos (Opuntia spp.). *Postharvest Biology and Technology*, 32, 169-174.
- Crittenden, J., Trussell, R., Hand, D., Howe, K., & Tchobanoglous, G. (2005). *Water Treatment Principles and Design* (2da ed ed.). (J. W. Sons, Ed.) New Jersey: Inc., Hoboken.
- De la Rosa, J., & Santana, D. (2001). *El nopal. Usos, manejo agronómico y costes de producción de Mexico*. Texcoco, Mexico: CONAZA-UACH-CIESTAAM.

- Dominguez, V., Dominguez, J., Alvarado, D., & Mena, J. (2011). *Extracción y purificación de mucilago de Nopal*. Campo experimental Zacatecas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias, Centro de Investigación Regional del Norte-Centro. , Mexico.
- Donan, C., & McClelland, D. (1995). *Moche fineline Painting: Its Evolucion and Its a Artists* (Ilustrada ed.). (U. F. History, Ed.)
- Dorea, C. (2006). Use of Moringa spp. seeds for coagulation: a review of a sustainable option. *Water Science and technology - water supply*, 6(1), 219-227.
- Espinosa, S. (2002). *Estudios de algunas características físicas de hidrocoloides provenientes de semilla de algarrobo (Prosopis chilensis (Mol.) Stuntz) y de cladodios de nopal (Opuntia Picus-indica (L.) Mill)*. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias., Facultad de Ciencias Agronómicas y Forestales.Universidad de Chile., Santiago-Chile.
- Fernández-López, J., Castellar, R., Obón, J., & Almeda, L. (2002). Screening and Mass-Spectral Confirmation of Betalains in Cactus Pear. *Chromatography*, 56, 591-595.
- Figuroa, J. (2011). *Extracción y purificación de mucilago de Nopal*. Recuperado el 03 de Julio de 2016, de centro de Investigación Regional del Norte-Centro Campo experimental Zacatecas: <http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/extMuNopal.pdf>
- Freitas, T., Oliveira, V., de Souza, M., Geraldino, H., Almeida, V., Fávaro, S., & García, J. (2015). Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (A. esculentus) mucilage as natural coagulant. *Industrial Crops and Products*, 76, 538-544.

- Ganjidoust, H., Tatsumi, K., Yamagishi, T., & Gholian, R. (1997). Effect of syntethic and natural coagulant on ligning removal from pulp and paper waste water. *Water Science Technology*, 35, 286-290.
- García, B. (2007). *Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial*. Universidad Politécnica de Valencia, Instituto de Seguridad Industrial, Raio fisica y Medioambiental, Valencia.
- Gardiner, D., Felker, P., & Carr, T. (1999). Cactus extract increases water infiltration rates in two soils. *Comunn. Soil Sci. Plant Anal.*, 30, 1707-1712.
- Garti, N. (1999). Hydrocolloids as emulsifying agents for oil in water emulsions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 20, 327-355.
- Goldstein, G., & Nobel, P. (1991). Changes in osmotic pressure and mucilage during low-temperature acclimation of *Opuntia ficus-indica*. *Plant Physiology*, 97, 954-961.
- Goycoohea, F., & Cárdenas, A. (2003). Pectins from *Opuntia* spp. A short Review. *Journal of the Professional Association for cactus development*, 5, 17-29.
- Gregory, J., & Duan, J. (2001). Hydrolyzing metal salts as coagulants. *Pure Appl. Chem*, 73(12), 2017-2026.
- Guzmán , L., Villabona, A., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del Agua usando Coagulantes Naturales. *Rev. U.D.C.A. Act & Div. Cient.*, 16(1), 253-262.
- Habibi, Y., Mahrouz, M., & Vignon, M. (2005). Isolation and structural characterization of protopectin from the skin of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate Polymers*, 60, 205-213.
- Hong, T., & Ibrahim, H. (2012). Extraction and Characterization of mucilage from leaves of *Pereskia bleo* (Rose cactus). *J. Teknol dan Industri Pangan*, 23(2), 210-215.

- Horkheimer, H. (2004). *Alimentación y obtención de alimentos en el Perú prehispánico* (Segunda Edición ed.). Lima: Instituto Nacional de Cultura.
- Israelachvili, J. (1992). *Intermolecular and Surface Forces* (2da ed ed.). London: Academic Press.
- Jaramillo Henao, G., & Zapata Marquez, L. (2008). *Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Organicos en Colombia*. Especialización de Gestion Ambiental, Universidad de Antioquia, Facultad de Ingenieria Química, Antioquia.
- Jimenez Fernández, E. (2014). *Obtención del mucilago de la cáscara de la tuna (Opuntia ficus indica) a partir de diferentes métodos de extracción*. Recuperado el 03 de Julio de 2016, de Repositorio Academico de la Universidad de Chile: <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/130028>
- Kiesling , R. (1998). Origen, Domesticación y Distribución de Opuntia ficus-indica. *Journal of the Professional Association of Cactus Development*, 3, 50-60.
- León , F. (2010). *Secado por Aspersión de mucilago de nopal (Opuntia ficus indica) y su efecto en las propiedades reológicas de los polvos constituidos*. Instituto Politécnico Nacional, Santa Cruz Xoxocotlán.
- López, E. (2000). *Utilización de Productos Naturales*. Universidad de la Habana,, La Habana-Cuba.
- López, E. (2000). Utilización de productos naturales en la clarificación de aguas para consumo humano. *Tesis de Maestria, Facultad de ingenieria Química*. La Habana, Cuba: ISPJAE.
- Madjdoub, H., Roudesli, S., Picton , L., Le Cerf, D., Muller, G., & Grisel, M. (2001). Prickly pear nopals pectin from Opuntia Ficus Indica physico-chemical study in dilute and semi-dilute solutions. *Carbohydrate Polymers*, 46, 69-79.

- Martínez García, J., & González Silgado, L. (2012). *Evaluación del poder Coagulante de la tuna (Opuntia Ficus Indica) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas*. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico, Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Química, Cartagena.
- Matsuhira, B., Lillo, L., Sáenz, C., Urzua, C., & Zárate, O. (2006). Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Polymers*, 63(2), 263-267.
- McConn, M., & Nakata, P. (2004). Oxalate reduces calcium availability in the pads of prickly pear cactus through formation of calcium oxalate crystals. *Journal of Agricultural and food Chemistry*, 52, 1371-1374.
- McGarvie, D., & Parolis, H. (1981). Methylation analysis of the mucilage of *Opuntia ficus Indica*. *Carbohydrate Research*, 88, 305-314.
- Medina Torres, L., Brito de la Fuente, E., Torrestiana Sanchez, B., & Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia Picus-indica*). *Food Hydrocolloids*, 14, 417-424.
- Medina-Torres, L., Brito de la Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., & Alonso, S. (2003). Mechanical properties of gels formed by mixtures of mucilage gum (*Opuntia ficus indica*) and carrageenans. *Carbohydrate Polymers*, 52, 143-150.
- Mejía, F. (2014). *Problemática del uso de Aluminio como coagulante en el tratamiento de agua*. Recuperado el 03 de Julio de 2016, de <https://prezi.com/0alcmhciv5me/problematika-del-uso-del-aluminio-como-coagulante-en-el-trat/>
- Miller, S., Fugate, E., Oyanedel Craver, V., Smith, J., & Zimmerman, J. B. (2008). Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of *Opuntia* spp. as a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment. *Environ. Sci. Technol.*, 42, 4274-4279.

- Morinigo, M. (1966). *Diccionario de Americanismos*. (B. Aires, Ed.) Muchnik.
- Mounir, B., Abdeljalil, Z., & Abdellah, A. (2014). Evaluation of the effect of age of cladode and solvent on yield of mucilage and pectin from cactus pads. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(5), 1446-1450.
- Muñoz Martínez, R., Rodríguez Muñoz, S., García Roque, A., & López Morell, E. (2002). *Una solución factible para la clarificación de aguas para consumo humano*. Recuperado el 03 de Julio de 2016, de Revista del empresario cubano: http://www.betsime.disaic.cu/secciones/tec_1_01.htm
- Nobel, P., Cavelier, J., & Andrade, J. (12 de Diciembre de 1992). Mucilage in Cacti: Its Apoplastic Capacitance, Associated Solutes, and Influence on Tissue Water Relations. *Journal of Experimental Botany*, 43(250), 641-648.
- Novoa, S. (2006). Sobre el Origen de la Tuna en el Perú. Algunos alcances. *Revista La Molina*, 174-181.
- Olivero, R., Aguas, Y., Mercado, I., Casas, D., & Montes, L. (2014). Utilización de Tuna (*Opuntia ficus indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Avances Investigación en Ingeniería*, 11(1), 70-76.
- Ostolaza, C. (1994). Horizonte preagrícola. *QUEPO*, 8, 79-86.
- Ostolaza, C. (1995). El Periodo Formativo. *Quepo*, 9, 73-82.
- Ostolaza, C. (1996). La Cultura Paracas. *Quepo*, 10, 42-49.
- Ostolaza, C. (1997). La Cultura Nazca. *Quepo*, 11, 79-86.
- Ostolaza, C. (1998). La Cultura Moche. *Quepo*, 12, 62-68.
- Ostolaza, C. (1999). Culturas Wari y Chimú. *Quepo*, 13, 32-37.
- Ostolaza, C. (2000). El Imperio de los Incas. *Quepo*, 14, 14-23.

- Peruco Theodoro, J. D., Felipe, L. G., Fiori, Z. R., & Bergamasco, R. (2013). Coagulants and Natural Polymers: Perspectives for the Treatment of Water. *Plastic and Polymer Technology*, 2(3), 55-62.
- Piacenza, L., & Ostolaza, C. (2002). Cahuachi y la Cultura Nazca. *Quepo*(16), 22-27.
- Pimienta, E. (1990). *El nopal tunero*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Pompilio Quintana, C. R. (2013). *Uso de Floculantes de origen natural en el tratamiento del agua en términos de turbidez en el río Santa-Huaraz*. Monografía para optar al Título Profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental, Huacho.
- Quispe Jimenez, H. (2012). *Aplicación del mucilago extraído de Nopal (Opuntia Ficus Indica) en la clarificación del agua del río Uchusuma*. Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Químico, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Química, Tacna-Perú.
- Ramirez-Orduna, R., Ramirez, R., Gonzalez-Rodriguez, H., & Haenlein, G. (2005). Mineral content of browse species from Baja California. *Small Ruminant Res*, 57, 1-10.
- Ramsey, J. (1999). *Evaluación del comportamiento del adobe estabilizado con cal y goma de tuna*. Tesis para optar al Título de Ingeniero Agrícola., Universidad Nacional Agraria, La Molina, Lima.
- Reyna, V., & Flores, J. (2001). El uso del "San Pedro" (Echinopsis Pachanoi) en medicina tradicional peruana. *Quepo*, 15, 28-37.
- Rinne, T. (Sin Fecha). Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro. *XXII Congreso de Centroamérica y Panamá de Ingeniería Sanitaria y Ambiental "Superación Sanitaria y Ambiental: El reto"*.

- Rodriguez Gonzales, S., Martínez Flores, H., Órnelas Nuñez, J., & Garnica Romo, M. (Sin fecha). Optimización de la extracción del mucilago de Nopal (*Opuntia ficus Indica*). *XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*.
- Rodriguez, J., Lugo, I., Rojas, A., & Malaver, C. (2007). Evaluacion del proceso de coagulacion para el diseño de una planta potabilizadora. *Umbral Cientifico*(11), 8-16.
- Rodriguez, S., Muñoz, R., García , O., & Fernández, E. (2005). Empleo de un producto coagulante Natural para clarificar Agua. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 36.
- Rodriguez-Felix, A., & Cantwell, M. (1988). Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant Foods Hum Nutr.*, 38(1), 83-93.
- Rodriguez-Garcia, M., Lira, C., Hernandez-Becerra, E., Cornejo-Villegas, M., Palacios-Fonseca, A., Rojas-Molina, I., . . . Monoz-Torres, C. (2007). Physiochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 62, 107-112.
- Ruales, J., & Zumba, J. (1998). Cuantificación y caracterización de fibra dietética en frutas y hortalizas ecuatorianas. *Temas en Tecnología de Alimentos*. 2, págs. 55-59. Mexico: Fibra Dietética. F. CYTED. Dirección de Publicaciones y materiales educativos, Instituto Politecnico Nacional .
- Sabatier Cadalso, J., & Vicuña Galindo, E. (Sin fecha). *Estadística A*. Presentación de clases, Facultad de Química e Ingeniería Química, Lima.
- Saenz, C. (2004). Compuestos funcionales y alimentos derivados de *Opuntia* spp. *El Nopal, Tópicos de actualidad.*, 211-222.
- Saenz, C., & Sepulveda, E. (1993). Alternativas de industrializacion de la tuna (*Opuntia Ficus Indica*). *Alimentos*, 18, 29-32.

- Sáenz, C., & Sepulveda, E. (1993). Alternativas de industrialización de la tuna (*Opuntia ficus indica*). *Alimentos*, 18(3), 29-32.
- Saenz, C., Berger, H., Corrales Garcia, J., Galletti, L., García de Cortázar, V., Higuera, I., . . . Teresa Varnero, M. (2006). *Utilización Agroindustrial del nopal* (Vol. 162). Roma.
- Saenz, C., Sepulveda, E., & Matsuhira, B. (2004). *Opuntia* spp. mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal Arid Environ*, 57(3), 275-290.
- Salas, G. (2013). Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales de la industria textil. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 5(2), 73-80.
- Sepúlveda, E., Saenz, C., & Gómez, C. (2003). Comportamiento reológico de néctar elaborado con hidrocoloide de nopal: efecto del tratamiento térmico. *IX Congreso Nacional y VII Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal.*, (págs. 269-272). Zacatecas, Mexico.
- Sepúlveda, E., Sáenz, C., & Gómez, C. (2003). Determinación de betanina en ecotipos de tuna roja colectados en Chile. *IX Congreso Nacional y VII Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal.*, (págs. 282-285). Zacatecas.
- Sepulveda, E., Saenz, C., & Vallejos, M. (2003). Comportamiento reológico de néctar elaborado con hidrocoloide de nopal: efecto del tratamiento térmico. *IX Congreso Nacional y VII Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*, (págs. 269-272). Zacatecas, Mexico.
- Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E., & Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of arid environments*, 68, 534-547.
- Sopa de Nopal para el ganado. (2007). *Agro Revista Industrial del Campo*.
- Sudsuki, F., Muñoz, C., & Berger, H. (1993). *El cultivo de la tuna (Cactus Pear)*. Chile.

- Sudzuki, F. (1999). Anatomía y Morfología. *Agroecología, cultivo y usos del nopal*, 132, 29-36.
- Towle, M. (1961). *The ethnobotany of the pre-columbian Peru*. Chicago: Aldine Publishing Company.
- Trachtenberg, S., & Mayer, A. (1981). Composition and Properties of Opuntia Ficus Indica mucilage. *Phytochemistry*, 20(12), 2665-2668.
- Trachtenberg, S., & Mayer, A. (1982). Biophysical properties of Opuntia Ficus Indica Mucilage. *Phytochemistry*, 20(12), 2835-2843.
- Uzun, I. (1997). Fruit and cladodes isosymes in cactus pear. *Food and agriculture organization of the United Nations*, 438, 53-55.
- Vaca-Mier, M., López-Callejas, R., Flores-Rodriguez, J., Terres Peña, H., Lizardi Ramos, A., & Rojas Valencia, N. (2014). Aplicación de Nopal (Opuntia Ficus Indica) como coagulante primario de Aguas residuales. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencia Ambientales: Investigación, Desarrollo y práctica*, 7(3), 210-216.
- Vargas-Rodriguez, L., & Ramos-Ramirez, E. (2003). Un método simple de extracción de mucilago en nopal verdura. *I Congreso de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Chapingo*. Mexico.
- Vázquez Gonzalez, O. (1994). *Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental, Universidad Autónoma de Nuevo León, División de Estudios de Postgrado, Monterrey.
- Velásquez, E. (1998). *El nopal y su historia*. Mexico: Clio.

- Vijayaraghavan, G., Sivakumar, T., & Kumar, V. (2011). Application of plant based coagulants for waste water treatment. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, I*, 88-02.
- Vilcapoma, G. (2000). Frutas silvestres de la cuenca del río Chillón (Cactáceas). *Quepo*(14), 59-67.
- Villabona Ortiz, Á., Paz Astudillo, I., & Martínez García, J. (2013). Caracterización de la Opuntia Ficus-Indica para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana Biotecnológica, XV*, 137-144.
- Villegas y de Gante, M. (1997). Los nopales (Opuntia spp) recursos y simbolos tradicionales de Mexico. *VII Congreso Nacional y V Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal* (págs. 271-273). Monterrey: Memorias.
- Weber, W. (1992). *Intermolecular and Surface Forces* (2da ed. ed.). London: Academic Press.
- Wilson, L. (2014). Un vistazo a la Tecnología de Coagulación-Floculación. *Agua Latinoamericana, 14*(4).
- Yacovleff, E., & Herrera, F. L. (1934). El mundo vegetal de los antiguos peruanos. *Revista del Museo Nacional, 3*, 243-322.
- Yang, Y., Abdul-Talib, S., Pei, L., Nizan Ismail, M., Aisah Abd-Razak, S., & Mahyuddin Mohd-Mohtar, A. (2008). *A study on cactus Opuntia as natural coagulant in turbid water treatment*. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de <http://ptarpp2.uitm.edu.my/suhaimiabdultalib/fulltext/A%20Study%20On%20Cactus.pdf>
- Zambrano, M., Hernandez, A., & Gallardo, Y. (1998). Características fisicoquímicas del nopal. *Temas en Tecnología, 2*, págs. 29-42. Mexico: F. CYTED.

ANEXOS

ANEXO A

**RESULTADOS DE ANÁLISIS PROXIMAL DE CADA TRATAMIENTO DE
EXTRACCIÓN**

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
 FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
 LABORATORIO DE BIOQUÍMICA, NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL (LBNA)

N° 18856

ANÁLISIS REQUERIDO: PROXIMAL

MUESTRA : MUCILAGO TUNA T1

REMITENTE : MEGY SILVA CASAS

PROCEDENCIA : LIMA

FECHA DE ADMISIÓN : 16/JUN/2017

BOLETA : N° 0665038

OBSERVACIONES :

	BASE HÚMEDA %	BASE SECA %
HUMEDAD	66.49	33.51
PROTEÍNA	2.38	7.10
EXT. ETÉREO	0.09	0.27
CENIZAS	2.20	6.57
CARBOHIDRATOS TOTALES (por diferencia.)	28.84	86.06

San Borja, Junio 28 del 2017

QF Mg. TERESA ARBAIZA FERNÁNDEZ
 LAB. BIOQUÍMICA, NUTRICIÓN Y
 ALIMENTACIÓN ANIMAL



Figura 31 Resultados de Análisis Proximal - Tratamiento 1

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
 FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
 LABORATORIO DE BIOQUÍMICA, NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL (LBNA)

N° 18857

ANÁLISIS REQUERIDO: PROXIMAL

MUESTRA : MUCILAGO TUNA T2

REMITENTE : MEGY SILVA CASAS

PROCEDENCIA : LIMA

FECHA DE ADMISIÓN : 16/JUN/2017

BOLETA : N° 0665038

OBSERVACIONES :

	BASE HÚMEDA %	BASE SECA %
HUMEDAD	74.02	25.98
PROTEÍNA	3.48	13.40
EXT. ETÉREO	0.09	0.35
CENIZAS	2.20	8.47
CARBOHIDRATOS TOTALES (por diferencia)	20.21	77.78

San Borja, Junio 28 del 2017

QF Mg. TERESA ARBAIZA FERNÁNDEZ
 LAB. BIOQUÍMICA, NUTRICIÓN Y
 ALIMENTACIÓN ANIMAL



Figura 32 Resultado de Análisis Proximal - Tratamientos 2 y 6

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
LABORATORIO DE BIOQUÍMICA, NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL (LBNA)

N° 18858

ANÁLISIS REQUERIDO: PROXIMAL

MUESTRA : MUCILAGO TUNA T3

REMITENTE : MEGY SILVA CASAS

PROCEDENCIA : LIMA

FECHA DE ADMISIÓN : 16/JUN/2017

BOLETA : N° 0665038

OBSERVACIONES :

	BASE HÚMEDA %	BASE SECA %
HUMEDAD	59.28	40.72
PROTEÍNA	2.96	7.28
EXT. ETÉREO	0.13	0.32
CENIZAS	1.48	3.64
CARBOHIDRATOS TOTALES (por diferencia)	36.15	88.76

San Borja, Junio 28 del 2017


QF Mg. TERESA ARBAIZA FERNÁNDEZ
 LAB. BIOQUÍMICA, NUTRICIÓN Y
 ALIMENTACIÓN ANIMAL



Figura 33 Resultado de Análisis Proximal - Tratamientos 3



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
 FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE PRODUCCIÓN ANIMAL
 LABORATORIO DE BIOQUÍMICA, NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL



"AÑO DEL BUEN SERVICIO AL CIUDADANO"

N° I 4778

ANÁLISIS REQUERIDO : ANÁLISIS PROXIMAL
 MUESTRA : MUCÍLAGO TUNA T4
 REMITENTE : MEGY SILVA CASAS
 PROCEDENCIA : LIMA
 FECHA DE ADMISIÓN : 16/JUNIO2017

RESULTADOS

PARÁMETROS	BASE HÚMEDA %	BASE SECA %
HUMEDAD/ B.SECA	61.40	38.60
PROTEÍNA	5.45	14.12
EXT. ETÉREO	0.15	0.40
CENIZAS	1.66	4.29
CARBOHIDRATOS TOTALES (por diferencia)	31.34	81.19

San Borja, Julio 14 de 2017

Teresa Arbaiza Fernández
 QF Mg. TERESA ARBAIZA FERNÁNDEZ
 LAB. BIOQUÍMICA, NUTRICIÓN Y
 ALIMENTACIÓN ANIMAL



Figura 34 Resultado de Análisis Proximal - Tratamientos 4



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
 FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE PRODUCCIÓN ANIMAL
 LABORATORIO DE BIOQUÍMICA, NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL



"AÑO DEL BUEN SERVICIO AL CIUDADANO"

N° I 4779

ANÁLISIS REQUERIDO : ANÁLISIS PROXIMAL
 MUESTRA : MUCÍLAGO TUNA T5
 REMITENTE : MEGY SILVA CASAS
 PROCEDENCIA : LIMA
 FECHA DE ADMISIÓN : 16/JUNIO2017

RESULTADOS

PARÁMETROS	BASE HÚMEDA %	BASE SECA %
HUMEDAD/ B.SECA	54.64	45.36
PROTEÍNA	2.50	5.51
EXT. ETÉREO	0.05	0.10
CENIZAS	1.44	3.18
CARBOHIDRATOS TOTALES (por diferencia)	41.37	91.21

San Borja, Julio 14 de 2017

TERESA ARBAIZA FERNÁNDEZ
 QF Mg. TERESA ARBAIZA FERNÁNDEZ
 LAB. BIOQUÍMICA, NUTRICIÓN Y
 ALIMENTACIÓN ANIMAL



Figura 35 Resultado de Análisis Proximal - Tratamientos 5



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
 FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE PRODUCCIÓN ANIMAL
 LABORATORIO DE BIOQUÍMICA, NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL



"AÑO DEL BUEN SERVICIO AL CIUDADANO"

N° I 4780

ANÁLISIS REQUERIDO : ANÁLISIS PROXIMAL
 MUESTRA : MUCÍLAGO TUNA T7
 REMITENTE : MEGY SILVA CASAS
 PROCEDENCIA : LIMA
 FECHA DE ADMISIÓN : 16/JUNIO2017

RESULTADOS

PARÁMETROS	BASE HÚMEDA %	BASE SECA %
HUMEDAD/ B.SECA	66.20	33.80
PROTEÍNA	1.43	4.22
EXT. ETÉREO	0.04	0.12
CENIZAS	0.68	2.01
CARBOHIDRATOS TOTALES (por diferencia)	31.65	93.65

San Borja, Julio 14 de 2017

TERESA ARBAIZA FERNÁNDEZ
 QF Mg. TERESA ARBAIZA FERNÁNDEZ
 LAB. BIOQUÍMICA, NUTRICIÓN Y
 ALIMENTACIÓN ANIMAL



Figura 36 Resultado de Análisis Proximal - Tratamientos 7



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
 FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE PRODUCCIÓN ANIMAL
 LABORATORIO DE BIOQUÍMICA, NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL



"AÑO DEL BUEN SERVICIO AL CIUDADANO"

N° I 4781

ANÁLISIS REQUERIDO : ANÁLISIS PROXIMAL
 MUESTRA : MUCÍLAGO TUNA T8
 REMITENTE : MEGY SILVA CASAS
 PROCEDENCIA : LIMA
 FECHA DE ADMISIÓN : 16/JUNIO2017

RESULTADOS

PARÁMETROS	BASE HÚMEDA %	BASE SECA %
HUMEDAD/ B.SECA	60.61	39.39
PROTEÍNA	2.75	6.97
EXT. ETÉREO	0.04	0.10
CENIZAS	1.45	3.67
CARBOHIDRATOS TOTALES (por diferencia)	64.85	89.26

San Borja, Julio 14 de 2017


 QF Mg. TERESA ARBAIZA FERNÁNDEZ
 LAB. BIOQUÍMICA, NUTRICIÓN Y
 ALIMENTACIÓN ANIMAL



Figura 37 Resultado de Análisis Proximal - Tratamientos 8

ANEXO B
TABLAS ADICIONALES

EXTRACCIÓN DEL MUCILAGO

Tabla 35

Aspectos y condiciones de cosecha de la Penca de tuna

RECEPCION DE PENCAS DE TUNA	
Lugar	TUNALES EN CHILCA
Edad de penca	2 -3 AÑOS
Especie	OPUNTIA FICUS INDICA
Tiempo de cosecha	POR LA MAÑANA

Tabla 36

Tratamientos a realizar según factores a considerar.

TRATAMIENTOS A REALIZAR			
TRATAMIENTO / FACTORES	RELACION AGUA/PENCA	TEMPERATURA	TIEMPO
T1	4	60	2
T2	4	80	4
T3	3	80	2
T4	3	60	4
T5	3	80	2
T6	4	80	4
T7	4	60	2
T8	3	60	4

Son 4 tratamientos con 2 repeticiones, en total 8 tratamientos.

Fuente: Minitab 17

Tabla 37

Cantidad de Penca y agua a utilizar en la etapa de molienda.

TRATAMIENTO	1	2	3	4	5	6	7	8
LICUADO DE LA PENCA								
Masa (g)	2594	2500	2504	2494	2527	2496	2497	2548
Cantidad de agua (licuada)	2600	2500	2504	2590	2578	2564	2568	2326
pH	4.64	4.22	4.73	4.91	4.46	4.52	4.00	4.50

Tabla 38

Condiciones y rendimientos de extracción del mucilago

TRATAMIENTO	1	2	3	4	5	6	7	8
EXTRACCIÓN DE MUCILAGO								
Relación agua/Penca	4	4	3	3	3	4	4	3
Agua Total (mL)	10575	10065	7671	7494	7581	9985	10089	7649
Temperatura (°C)	60±5	80±5	80±5	60±5	80±5	80±5	60±5	60±5
Tiempo (h)	2	4	2	4	2	4	2	4
pH después de la cocción	4.64	4.20	4.39	4.90	4.45	4.30	4.03	4.13
Rendimiento	97.50%	76.35%	94.22%	92.06%	90.85%	75.34%	93.31%	90.97%

Tabla 39

Rendimiento de la 1era filtración para todos los tratamientos

TRATAMIENTO	1	2	3	4	5	6	7	8
1ER FILTRADO DE MUCILAGO								
Peso mucilago (g)	11194	9155	6949	6989	7742	8793	9610	7867
Rendimiento (%)	85.00%	72.86%	68.29%	69.31%	76.21%	70.07%	75.93%	78.87%
Peso de residuo (g)	1646	439	2638	2206	1441	610	2134	1409
Pérdida (%)	12.82%	4.58%	27.52%	23.99%	15.69%	6.49%	18.17%	15.19%

Tabla 40

Rendimiento de la 1era centrifugación para todos los tratamientos

TRATAMIENTO	1	2	3	4	5	6	7	8
1ER CENTRIFUGADO								
pH	4.05	4.37	4.64	5.03	4.50	4.75	4.03	4.32
Peso final del mucilago	10490	9011	6326	6188	7099	8517	9373	7224
Rendimiento (%)	93.71%	98.43%	91.03%	88.54%	91.69%	96.86%	97.53%	91.83%
Peso del residuo	704	144	623	801	643	276	537	643
Perdida (%)	6.29%	1.57%	8.97%	11.46%	8.31%	3.14%	5.59%	8.17%

Tabla 41

Condiciones y rendimiento de la concentración en todos los tratamientos

TRATAMIENTO	1	2	3	4	5	6	7	8
CONCENTRACIÓN								
Temperatura(°C)	75±5	75±5	75±5	75±5	75±5	75±5	75±5	75±5
pH	3.77	3.99	3.15	4.13	4.12	4.67	4.02	4.24
Volumen inicial (mL)	10490	9011	6326	6188	7099	8793	9910	7867
Tiempo (h)	12	12	12	12	12	12	12	12
Volumen final (ml)	4241	4073	3034	2748	3506	3483	4619	3540
% Concentrado	40.43%	45.20%	47.96%	44.41%	49.39%	39.61%	46.61%	45.00%

Tabla 42

Condiciones de la precipitación con etanol para todos los tratamientos

TRATAMIENTO	1	2	3	4	5	6	7	8
PRECIPITACION								
Relación alcohol /extracto	3	3	3	3	3	3	3	3
Cantidad de alcohol 95°	12723	12219	9102	8244	10518	10449	13857	10620
Cantidad de alcohol 96°	12590	12092	9007	8158	10408	10340	13713	10509
Cantidad de agua	133	127	95	86	110	109	144	111

Tabla 43

Rendimiento después de la 2da centrifugación – filtrado y lavado con alcohol para todos los tratamientos.

TRATAMIENTO	1	2	3	4	5	6	7	8
2DO CENTRIFUGADO - LAVADO – FILTRADO								
Peso del envase (g)	194	192	193	194	192	197	188	192
Cantidad de mucilago + envase (g)	383	247	347	297	321	237	354	310
Cantidad de mucilago	189	55	154	103	129	40	166	112
Rendimiento	7.29%	2.20%	6.15%	4.13%	5.10%	1.60%	6.65%	4.40%

Tabla 44

Rendimiento del mucilago seco con respecto al mucilago fresco para todos los tratamientos

TRATAMIENTO	1	2	3	4	5	6	7	8
SECADO								
Cantidad de mucilago seco (g)	62.4645	14.289	62.7088	39.758	58.5144	10.392	56.108	44.1168
Rendimiento seco (%)	2.41%	0.57%	2.50%	1.59%	2.32%	0.42%	2.25%	1.73%

Tabla 45
 Composición química del mucilago de tuna - Análisis Proximal Completo

TRATAMIENTO	1	2	3	4	5	6	7	8
BASE HÚMEDA								
% Humedad	66.49	74.02	59.28	61.40	54.64	74.02	66.20	60.61
% Proteína	2.38	3.48	2.96	5.45	2.50	3.48	1.43	2.75
% Ext. Etéreo	0.09	0.09	0.13	0.15	0.05	0.09	0.04	0.04
% Cenizas	2.20	2.20	1.48	1.66	1.44	2.20	0.68	1.45
% Carbohidratos totales (por diferencia)	28.84	20.21	36.15	31.34	41.37	20.21	31.65	35.15
BASE SECA								
% Humedad	33.51	25.98	40.72	38.60	45.36	25.98	33.80	39.39
% Proteína	7.10	13.40	7.28	14.12	5.51	13.40	4.22	6.97
% Ext. Etéreo	0.27	0.35	0.32	0.40	0.10	0.35	0.12	0.10
% Cenizas	6.57	8.47	3.64	4.29	3.18	8.47	2.01	3.67
% Carbohidratos totales (por diferencia)	86.06	77.78	88.76	81.19	91.21	77.78	93.65	89.26

Resultados proporcionados por Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y alimentación animal, Facultad de medicina veterinaria, UNMSM

CLARIFICACIÓN DE AGUAS TURBIAS

Tabla 46

Condiciones iniciales del agua a tratar.

CONDICIONES INICIALES DEL EFLUENTE		
Turbidez (NTU)	500	1000
Sólidos Disueltos Totales (ppm)	290	
Conductividad (µs/cm)	579	
pH	7.59	
Temperatura (°C)	22	

Tabla 47

Resultados del proceso de clarificación del agua.

BLOQUE	FACTORES		% REMOCIÓN DE TURBIDEZ	SÓLIDOS DISUELTOS PROMEDIO (PPM)	CONDUCTIVIDAD PROMEDIO (µS/cm)	pH PROMEDIO	TEMPERATURA PROMEDIO
	Turbidez (NTU)	Concentración mucilago (ppm)					
1	1000	50	91.99%	275.00	550.50	7.55	22.00
1	500	30	80.98%	268.00	536.00	7.63	22.00
1	500	50	78.73%	263.50	527.50	7.71	21.50
1	1000	30	93.27%	272.50	545.50	7.75	21.50
2	500	30	85.36%	282.50	565.00	7.50	22.50
2	500	50	78.59%	282.00	564.50	7.50	22.50

2	1000	30	91.78%	246.50	493.50	7.50	23.00
2	1000	50	91.67%	283.00	563.50	7.56	23.00
3	500	30	80.86%	271.50	544.00	6.68	21.50
3	1000	50	89.56%	246.00	493.50	7.78	22.00
3	500	50	82.98%	270.50	540.50	7.55	22.00
3	1000	30	90.72%	270.50	541.50	7.55	21.50
4	1000	30	92.41%	278.00	555.50	7.33	22.00
4	500	50	83.37%	275.50	552.50	7.42	22.00
4	500	30	83.06%	275.50	551.50	7.68	22.00
4	1000	50	89.34%	275.50	552.00	7.50	22.00
1	500	30	85.25%	264.00	528.50	7.64	22.50
1	1000	50	89.52%	274.00	548.00	7.51	22.50
1	1000	30	92.19%	259.50	518.50	7.57	22.50
1	500	50	83.13%	272.00	549.50	7.55	22.50
2	1000	30	89.23%	265.00	530.00	7.60	21.50
2	500	30	64.02%	271.50	542.50	7.60	21.50
2	1000	50	80.00%	271.50	544.50	7.63	21.00
2	500	50	63.42%	268.50	537.00	7.63	21.00
3	500	30	79.57%	272.00	543.50	7.57	22.00
3	1000	50	85.01%	271.00	541.50	7.50	22.00
3	500	50	72.87%	274.50	549.00	7.51	22.50
3	1000	30	85.70%	270.50	541.50	7.54	22.50

4	1000	30	91.21%	278.00	558.00	7.57	22.50
4	500	50	86.14%	277.00	554.00	7.54	22.50
4	500	30	75.81%	274.00	549.00	7.60	23.00
4	1000	50	80.62%	271.00	542.00	7.58	23.00
1	1000	30	90.90%	339.00	677.00	7.87	22.00
1	500	50	76.48%	341.50	683.00	7.73	22.00
1	1000	50	89.57%	329.50	609.50	7.79	22.00
1	500	30	80.42%	291.00	594.50	7.72	22.00
2	1000	50	82.92%	276.00	552.00	7.58	22.50
2	500	50	61.82%	278.00	556.50	7.53	22.00
2	500	30	67.52%	278.00	555.50	7.47	22.50
2	1000	30	81.85%	277.00	549.00	7.44	22.50
3	1000	30	90.91%	275.00	548.50	7.65	22.00
3	1000	50	82.71%	276.50	552.00	7.57	22.50
3	500	50	70.85%	274.00	548.00	7.59	22.00
3	500	30	80.23%	274.00	550.00	7.62	22.00
4	1000	50	89.70%	343.00	686.00	7.73	22.00
4	500	30	82.61%	344.00	688.00	7.74	22.00
4	500	50	79.12%	344.50	690.00	7.82	22.00
4	1000	30	90.05%	345.00	684.50	7.77	22.00
1	500	30	73.25%	298.00	596.50	7.70	21.50
1	1000	30	88.43%	283.50	572.00	7.75	21.50

1	500	50	61.81%	298.50	548.00	7.82	22.00
1	1000	50	80.54%	299.00	597.00	7.74	22.00
2	500	50	68.82%	312.00	638.50	7.67	22.50
2	1000	50	84.71%	280.50	561.50	7.51	22.50
2	1000	30	86.86%	280.50	562.00	7.57	22.50
2	500	30	77.92%	281.50	564.00	7.56	22.50
3	500	50	80.48%	341.00	682.00	7.70	22.00
3	1000	50	84.78%	343.00	685.50	7.78	22.00
3	500	30	78.41%	333.00	668.00	7.83	22.00
3	1000	30	85.17%	342.00	687.00	7.84	22.00
4	500	50	65.83%	272.50	546.00	7.48	22.50
4	1000	30	81.56%	273.00	546.00	7.54	22.50
4	1000	50	83.71%	344.50	688.00	7.89	22.00
4	500	30	84.13%	344.00	688.00	7.75	22.00

ANEXO C**CÁLCULOS PARA LA OBTENCIÓN DEL ANOVA EN CADA PROCESO**

PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MUCILAGO

Se procederá a calcular cada efecto principal

Efectos principales: $Efecto = \frac{Contraste}{n2^{k-1}}; n: réplica$

A = Relación Agua/MP, B= Temperatura y C= Tiempo

$$A = \bar{y}_{A+} - \bar{y}_{A-}$$

$$A = \frac{1}{4n} [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc]$$

$$A = \frac{1}{4} [2.41 + 2.25 + 0.57 + 0.42 - 2.5 - 2.32 - 1.59 - 1.73] = -0.623$$

$$B = \bar{y}_{B+} - \bar{y}_{B-}$$

$$B = \frac{1}{4n} [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac]$$

$$B = \frac{1}{4} [0.57 + 0.42 + 2.5 + 2.32 - 2.41 - 2.25 - 1.59 - 1.73] = -0.543$$

$$C = \bar{y}_{C+} - \bar{y}_{C-}$$

$$C = \frac{1}{4n} [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab]$$

$$C = \frac{1}{4} [0.57 + 0.42 + 1.59 + 1.73 - 2.41 - 2.25 - 2.5 - 2.32] = -1.293$$

Suma de cuadrados para un efecto: $SC = \frac{\text{Contraste}^2}{n2^k}$

$$\begin{aligned} SC_A &= \frac{1}{8} [2.41 + 2.25 + 0.57 + 0.42 - 2.5 - 2.32 - 1.59 - 1.73]^2 \\ &= 0.7750 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SC_B &= \frac{1}{8} [0.57 + 0.42 + 2.5 + 2.32 - 2.41 - 2.25 - 1.59 - 1.73]^2 \\ &= 0.5886 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SC_C &= \frac{1}{8} [0.57 + 0.42 + 1.59 + 1.73 - 2.41 - 2.25 - 2.5 - 2.32]^2 \\ &= 3.3411 \end{aligned}$$

$$SC_A = SS_{BC} = 0.7750$$

$$SC_B = SS_{AC} = 0.5886$$

$$SC_C = SS_{AB} = 3.3411$$

$$SC_{Modelo} = 0.7750 + 0.5886 + 3.3411 = 4.7047$$

$$SC_{Total} = \sum_{i=0}^k y_i^2 - \frac{\sum y^2}{2^{k-1}}$$

$$\begin{aligned} SC_{Total} &= (2.41^2 + 2.25^2 + 0.57^2 + 0.42^2 + 2.5^2 + 2.32^2 + 1.59^2 \\ &\quad + 1.73^2) \\ &\quad - \frac{(2.41 + 2.25 + 0.57 + 0.42 + 2.5 + 2.32 + 1.59 + 1.73)^2}{8} \\ &= 4.7547 \end{aligned}$$

$$SC_{Error} = SC_{Total} - SC_{Modelo} = 4.7547 - 4.7047 = 0.0500$$

Tabla 48

ANOVA EXPANDIDO (Diseño Factorial Fraccionado aleatorizado)

FUENTE	GL	SC	CM	F
Modelo	3	4.7047	$\frac{4.7047}{3} = 1.5682$	$\frac{1.5682}{0.0125} = 125.3343$
Relación Agua/MP	1	0.7750	$\frac{0.7750}{1} = 0.7750$	$\frac{0.7750}{0.0125} = 61.9391$
Temperatura	1	0.5886	$\frac{0.5886}{1} = 0.5886$	$\frac{0.5886}{0.0125} = 47.0420$
Tiempo	1	3.3411	$\frac{3.3411}{1} = 3.3411$	$\frac{3.3411}{0.0125} = 267.0220$
Error	4	0.0500	$\frac{0.0500}{4} = 0.0125$	
Total	7	4.7547		

Fuente: Elaboración propia

PROCESO DE CLARIFICACIÓN DE AGUAS TURBIAS

$$FC = \frac{(\sum y)^2}{kxbxn} = \frac{52.5241^2}{64} = 43.1059$$

$$SC_{Tratamiento} = \sum_{i=1}^k \frac{y_i^2}{b} - FC = \frac{692.982}{4 * 4} - 43.1059 = 0.2054$$

$$SC_D = \sum_{i=1}^d \frac{y_i^2}{bxdxn} - FC = \frac{1385.331}{32} - 43.1059 = 0.1857$$

$$SC_E = \sum_{i=1}^e \frac{y_i^2}{bxexn} - FC = \frac{1380.004}{32} - 43.1059 = 0.0192$$

$$SC_{D*E} = SC_{Tratamiento} - SC_D - SC_E = 0.2054 - 0.1857 - 0.0192$$

$$SC_{D*E} = 5.7 \times 10^{-4}$$

$$SC_{Bloque} = \sum_{j=1}^b \frac{y_j^2}{kxn} - FC = \frac{690.141}{16} - 43.1059 = 0.0279$$

$$SC_{Modelo} = SC_{Tratamiento} + SC_{Bloque} = 0.2054 + 0.0279 = 0.2333$$

$$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - FC = 43.5143 - 43.1063 = 0.4081$$

$$SC_{Error} = SC_{Total} - SC_{Tratamiento} - SC_{Bloque}$$

$$SC_{Error} = 0.4081 - 0.2334 - 0.0279 = 0.1747$$

Tabla 49
ANOVA EXPANDIDO (Diseño Factorial con bloques aleatorizados)

FUENTE	GL	SC	CM	F
Modelo	6	0.2334	$\frac{0.2334}{6} = 0.0389$	$\frac{0.0389}{0.0031} = 12.6911$
Turbidez Inicial	1	0.1857	$\frac{0.1857}{1} = 0.1857$	$\frac{0.1857}{0.0031} = 60.5937$
Concentración	1	0.0192	$\frac{0.0192}{1} = 0.0192$	$\frac{0.0192}{0.0031} = 6.2646$
Turbidez*concentración	1	5.7×10^{-4}	$\frac{5.7 \times 10^{-4}}{1} = 5.7 \times 10^{-4}$	$\frac{0.0006}{0.0031} = 0.1854$
Bloque	3	0.0279	$\frac{0.0279}{3} = 0.0093$	$\frac{0.0093}{0.0031} = 3.0342$
Error	57	0.1747	$\frac{0.1747}{57} = 3.1 \times 10^{-3}$	
Total	63	0.4080		

Fuente: Elaboración propia