

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA**

**DISEÑO DEL PROCESO DE LAVADO DE RESIDUOS PLÁSTICOS  
PROVENIENTES DE INVERNADERO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
QUÍMICA**

**NATHALI PAOLA CARRANZA GAONA**

**paolacarranza@yahoo.com**

**DIRECTOR: ING. FRANCISCO QUIROZ**

**francisco.quiroz@epn.edu.ec**

**QUITO, Julio 2010**

© Escuela Politécnica Nacional 2010  
Reservados todos los derechos de reproducción

## DECLARACIÓN

Yo, Nathali Paola Carranza Gaona, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Nathali Paola Carranza Gaona

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Nathali Paola Carranza Gaona bajo mi supervisión.

---

Ing. Francisco Quiroz

DIRECTOR DE PROYECTO

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xv</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Revisión bibliográfica.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Reciclaje de plásticos.....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Importancia del reciclaje .....	2
1.1.2 Tipos de reciclaje .....	3
1.1.2.1 Reciclaje mecánico.....	3
1.1.2.2 Reciclado químico.....	6
1.1.2.3 Recuperación energética .....	7
<b>1.2 Lavado.....</b>	<b>8</b>
1.2.1 Ablandamiento de la suciedad.....	9
1.2.2 Liberación de la suciedad.....	10
1.2.3 Equipos de lavado empleados .....	10
1.2.4 Lavado industrial.....	13
1.2.5 Detergentes usados en el lavado.....	15
<b>1.3 Tratamiento de efluentes.....</b>	<b>15</b>
1.3.1 Procesos de tratamiento.....	15
1.3.1.1 Eliminación de sólidos .....	16
1.3.1.2 Coagulación química.....	16
1.3.1.3 Flotación.....	17
1.3.1.4 Filtración .....	17
1.3.1.5 Desinfección.....	17
1.3.1.6 Oxidación biológica .....	18
1.3.1.7 Aeróbicos .....	18

1.3.1.8	Anaeróbicos.....	18
1.3.2	Parámetros de control de los efluentes .....	19
1.3.2.1	Turbidez .....	19
1.3.2.2	Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	20
1.3.2.3	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO).....	20
1.3.2.4	Sólidos suspendidos .....	20
1.3.2.5	pH.....	20
1.3.2.6	Aceites y grasas.....	21
1.3.2.7	Organoclorados .....	21
1.3.2.8	Organofosforados.....	21
<b>2</b>	<b>Parte Experimental .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Diseño del proceso del lavado a escala de laboratorio.....</b>	<b>22</b>
2.1.1	Descripción de las configuraciones ensayadas.....	23
2.1.1.1	Configuración 1.....	23
2.1.1.2	Configuración 2.....	23
2.1.2	Equipos y métodos utilizados.....	24
2.1.3	Pruebas realizadas en el proceso de lavado a escala de laboratorio.....	27
2.1.3.1	Recolección de los residuos plásticos de invernadero .....	27
2.1.3.2	Limpieza manual.....	27
2.1.3.3	Reducción preliminar de tamaño .....	28
2.1.3.4	Lavado.....	29
2.1.4	Configuraciones propuestas .....	32
2.1.4.1	Configuración 1.....	32
2.1.4.2	Configuración 2.....	35
<b>2.2</b>	<b>Ensayos del proceso a mayor escala.....</b>	<b>38</b>
2.2.1	Limpieza manual .....	39
2.2.2	Reducción preliminar de tamaño.....	40
2.2.3	Prelavado .....	40
2.2.4	Reducción de tamaño .....	42
2.2.5	Lavado.....	43

<b>2.3</b>	<b>Caracterización de los efluentes después del proceso de lavado.....</b>	<b>45</b>
<b>2.4</b>	<b>Alternativa de tratamiento para los efluentes del proceso de lavado.....</b>	<b>46</b>
<b>3</b>	<b>Resultados y Discusión.....</b>	<b>47</b>
<b>3.1</b>	<b>Resultados obtenidos a escala de laboratorio.....</b>	<b>47</b>
3.1.1	Determinación de los parámetros de operación .....	47
3.1.2	Lavado a escala de laboratorio .....	47
3.1.2.1	Configuración 1.....	47
3.1.2.2	Configuración 2.....	61
3.1.2.3	Elección del mejor método de lavado .....	75
<b>3.2</b>	<b>Resultados obtenidos a mayor escala.....</b>	<b>80</b>
3.2.1	Determinación de las condiciones de lavado .....	80
3.2.2	Prelavado .....	80
3.2.3	Lavado.....	82
<b>3.3</b>	<b>Caracterización de los efluentes después del proceso de lavado.....</b>	<b>86</b>
3.3.1	Caracterización de las aguas a escala de laboratorio.....	86
3.3.2	Caracterización de las aguas a mayor escala.....	86
<b>3.4</b>	<b>Alternativa de tratamiento para los efluentes del proceso de lavado.....</b>	<b>89</b>
<b>4</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>90</b>
<b>4.1</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>90</b>
<b>4.2</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>92</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>.....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>.....</b>	<b>97</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Poderes caloríficos de algunos plásticos y combustibles .....	8
Tabla 2.	Equipos y métodos utilizados .....	24
Tabla 3.	Procedencia del plástico recolectado para las pruebas de lavado.....	27
Tabla 4.	Número de pruebas realizadas a escala de laboratorio para la Configuración 1 .....	34
Tabla 5.	Número de pruebas realizadas a escala de laboratorio en la Configuración 2 .....	37
Tabla 6.	Parámetros de operación determinados a escala de laboratorio .....	47
Tabla 7.	Condiciones de operación para la etapa de lavado de la configuración 1 .....	48
Tabla 8.	Valores de turbidez a diferentes concentraciones de texapón .....	49
Tabla 9.	Valores de turbidez a diferentes concentraciones de NaOH .....	52
Tabla 10.	Determinación de tiempo y número de enjuagues para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-texapón.....	56
Tabla 11.	Determinación de tiempo y número de enjuagues para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-texapón.....	56
Tabla 12.	Determinación de tiempo y número de enjuague para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-NaOH.....	57
Tabla 13.	Determinación de tiempo y número de enjuagues para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-NaOH.....	58
Tabla 14.	Condiciones de operación para la etapa de lavado de la configuración2.....	61
Tabla 15.	Valores de turbidez a diferentes concentraciones de texapón .....	65
Tabla 16.	Valores de turbidez a diferentes concentraciones de NaOH.....	66
Tabla 17.	Determinación de tiempo y número de enjuagues para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-texapón.....	71
Tabla 18.	Determinación de tiempo y número de enjuagues para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-texapón.....	71
Tabla 19.	Determinación del tiempo y número de enjuagues para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-NaOH.....	72

Tabla 20.	Determinación del tiempo y número de enjuagues para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-NaOH.....	73
Tabla 21.	Valores de turbidez de las aguas, al emplear un tiempo de lavado de 25 min .....	76
Tabla 22.	Determinación de la turbidez de las aguas del enjuague posterior a diferentes cargas de material .....	79
Tabla 23.	Parámetros de operación determinados a mayor escala .....	80
Tabla 24.	Caracterización de las aguas de lavado a mayor escala.....	87
Tabla 25.	Análisis de pesticidas de los efluentes de lavado de las pruebas a escala de laboratorio y piloto.....	88
Tabla 26.	Valores de turbidez a diferentes tiempos de lavado, empleando el porcentaje más adecuado de texapón.....	98
Tabla 27.	Valores de turbidez a diferentes tiempos empleando el porcentaje más adecuado de NaOH .....	98
Tabla 28.	Valores de turbidez a diferentes tiempos empleando el porcentaje más adecuado de NaOH, continuación.....	99
Tabla 29.	Valores de turbidez a diferentes tiempos del lavado empleando como sistema de lavado: agua .....	99
Tabla 30.	Valores de turbidez con diferentes cargas de material en la etapa de prelavado .....	100
Tabla 31.	Valores de turbidez con diferentes cargas de material en la etapa de prelavado, continuación.....	101
Tabla 32.	Valores de turbidez con diferentes cargas de material en la etapa de prelavado .....	101
Tabla 33.	Valores de turbidez con diferentes cargas de material en la etapa de prelavado, continuación.....	102
Tabla 34.	Valores de turbidez a diferentes tiempos de lavado, empleando el porcentaje más adecuado de texapón.....	103
Tabla 35.	Valores de turbidez a diferentes tiempos empleando el porcentaje más adecuado de NaOH .....	103
Tabla 36.	Valores de turbidez a diferentes tiempos del lavado empleando como sistema de lavado: agua .....	104
Tabla 37.	Valores de turbidez a diferentes cargas de plástico lavado .....	104

Tabla 38.	Valores de turbidez a diferentes cargas de plástico lavado, continuación.....	105
Tabla 39.	Valores de turbidez con diferentes cargas de material en la etapa de prelavado a.....	106
Tabla 40.	Valores de turbidez con diferentes cargas de material en la etapa de lavado a mayor escala.....	107
Tabla 41.	Valores de turbidez a diferentes cargas de plástico lavado .....	107
Tabla 42.	Valores de turbidez a diferentes cargas de plástico lavado, continuación.....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Películas plásticas de invernadero (Plásticos “Tortuga”).	2
Figura 2.	Esquema de un molino de cuchillas lavador.	4
Figura 3.	Línea de reciclaje compuesta por una etapa de pre-trituración, y una etapa de pre-lavado con agitación en una balsa de lavado y decantación.	11
Figura 4.	Línea de reciclaje compuesta por una etapa de trituración intermedia y una etapa de lavado.	11
Figura 5.	Esquema de un tromel de lavado.	12
Figura 6.	Diagrama de flujo de la planta Plásticos “Tortuga”	13
Figura 7.	Diagrama de flujo de la planta argentina recicladora de plásticos.	14
Figura 8.	Esquema de los pre-tratamientos de coagulación y floculación.	17
Figura 9.	Diagrama de bloques de las etapas empleadas para el diseño del lavado a escala laboratorio.	22
Figura 10.	Diagrama de bloques de la configuración 1	23
Figura 11.	Diagrama de bloques de la configuración 2	24
Figura 12.	Motor de agitación y agitador tipo ancla empleados en las pruebas a escala de laboratorio	25
Figura 13.	Equipo de lavado usado a escala de laboratorio. (CIAP)	25
Figura 14.	Molino de cuchillas SHINI. (Servicios Técnicos Industriales)	26
Figura 15.	Turbidímetro HACH 21000P empleado para evaluación de los procesos de lavado.	26
Figura 16.	Etapas de limpieza manual de las cubiertas plásticas de invernadero	28
Figura 17.	Plástico de invernadero antes de la reducción preliminar de tamaño.	28
Figura 18.	Reducción manual realizada a los plásticos	29
Figura 19.	Foto del equipo de lavado usado a escala de laboratorio.	30
Figura 20.	Pruebas para determinar la relación de lavado y la velocidad de agitación	32
Figura 21.	Tamiz del molino de cuchillas	33
Figura 22.	Molino de cuchillas empleado para la reducción de tamaño del plástico.	33

Figura 23.	Fotos del prelavado realizado a escala de laboratorio. (CIAP) .....	36
Figura 24.	Equipo de lavado empleado a mayor escala. (Laboratorio de Operaciones Unitarias).....	38
Figura 25.	Agitador mecánico de seis paletas empleado en las pruebas.....	39
Figura 26.	Etapa de limpieza manual de las cubiertas plásticas de invernadero. ....	39
Figura 27.	Reducción manual realizada a los plásticos a mayor escala.....	40
Figura 28.	Prelavado realizado a mayor escala. (Laboratorio de Operaciones Unitarias).....	41
Figura 29.	Plástico prelavado. (Laboratorio de Operaciones Unitarias).....	41
Figura 30.	Alimentación del plástico prelavado al molino de cuchillas. (Servicios Técnicos Industriales) .....	42
Figura 31.	Parte interna del molino de cuchillas en la etapa de reducción de tamaño. (Servicios Técnicos Industriales).....	42
Figura 32.	Prueba para determinar la relación de lavado.....	43
Figura 33.	Etapa de lavado a mayor escala.....	44
Figura 34.	Valores de turbidez de las aguas de lavado de los cinco porcentajes de texapón empleados, evaluados en un tiempo de 30 min.....	49
Figura 35.	Plásticos lavados con distintos porcentajes de texapón en un tiempo de 30 min .....	50
Figura 36.	Foto del sistema de lavado al trabajar con 0,25 % de texapón.....	50
Figura 37.	Valores de turbidez de las aguas de lavado de los tres porcentajes de NaOH empleados, evaluados en un tiempo de 30 min.....	51
Figura 38.	Plásticos lavados con distintos porcentajes de NaOH en un tiempo de 30 min .....	52
Figura 39.	Valores de turbidez de las aguas de lavado de los tres sistemas, empleando los porcentajes más adecuados de NaOH y texapón.....	53
Figura 40.	Plásticos lavados a distintos tiempos al emplear únicamente agua.....	54
Figura 41.	Plásticos lavados a distintos tiempos al emplear el sistema agua-texapón .....	54
Figura 42.	Plásticos lavados a distintos tiempos al emplear el sistema agua-NaOH.....	55
Figura 43.	Comparación de las plásticos antes y después del método de enjuague al emplear el sistema agua-texapón.....	56

Figura 44.	Aguas obtenidas al emplear el sistema: agua-texapón .....	57
Figura 45.	Comparación de los plásticos antes y después del primer enjuague al emplear el sistema agua-NaOH .....	58
Figura 46.	Comparación de las plásticos antes y después del método de enjuague al emplear el sistema: agua-NaOH.....	59
Figura 47.	Aguas obtenidas al emplear el sistema: agua-NaOH.....	59
Figura 48.	Plásticos lavados empleando los tres sistemas de lavado.....	60
Figura 49.	Turbidez del agua de prelavado en función de la cantidad de plástico.....	62
Figura 50.	Agua de prelavado comparada con agua limpia.....	63
Figura 51.	Valores de turbidez de las aguas de lavado de los tres porcentajes de texapón empleados, evaluados en un tiempo de 30 min.....	64
Figura 52.	Plásticos lavados con distintos porcentajes de texapón en un tiempo de 30 min .....	65
Figura 53.	Valores de turbidez de las aguas de lavado de los tres porcentajes de NaOH empleados, evaluados en un tiempo de 30 min.....	66
Figura 54.	Plásticos lavados con distintos porcentajes de texapón en un tiempo de 30 min .....	67
Figura 55.	Valores de turbidez de las aguas de lavado de los tres sistemas, empleando los porcentajes más adecuados de NaOH y texapón.....	68
Figura 56.	Plásticos lavados a distintos tiempos al emplear únicamente agua.....	68
Figura 57.	Plásticos lavados a emplear un tiempo de 25 y 50 min (sistema: agua) .....	69
Figura 58.	Plásticos lavados a distintos tiempos al emplear el sistema: agua-texapón .....	69
Figura 59.	Plásticos lavados a 25 y 50 min al emplear el sistema: agua-texapón .....	70
Figura 60.	Plásticos lavados a 25 y 50 min, al emplear el sistema: agua-NaOH) .....	70
Figura 61.	Plásticos lavados a distintos tiempos al emplear el sistema: agua-NaOH.....	70
Figura 62.	Comparación de las plásticos antes y después del método de enjuague al emplear el sistema agua-texapón.....	72
Figura 63.	Plástico obtenido después de la etapa de lavado con el sistema: agua-NaOH.....	73

Figura 64.	Comparación de los plásticos antes y después del método de enjuague al emplear el sistema agua-NaOH.....	74
Figura 65.	Plásticos empleando los tres sistemas de lavado, empleando un tiempo de lavado de 25 min.....	74
Figura 66.	Aguas de lavado de los tres sistemas para un tiempo de lavado de 25 min. ....	75
Figura 67.	Turbidez de las aguas de lavado de las configuraciones 1 y 2 empleando un tiempo de lavado de 25 min.....	76
Figura 68.	Muestras lavadas con el sistema: agua empleando las configuraciones 1 y 2 para un tiempo del lavado de 25 min. ....	77
Figura 69.	Comparación de las muestras lavadas con las dos configuraciones tomando como referencia el plástico sin ningún proceso de lavado. ....	77
Figura 70.	Agua de lavado comparada con agua limpia al realizar 3 cargas de material al emplear la misma agua de lavado para un tiempo de 25 min. ....	78
Figura 71.	Muestras lavadas con el método de lavado más adecuado de lavado (configuración 2), al trabajar con 3 cargas de material.....	79
Figura 72.	Turbidez del agua de prelavado en función de la cantidad de plástico.....	81
Figura 73.	Agua de prelavado a mayor escala comparada con agua limpia. ....	81
Figura 74.	Valores de turbidez del agua de lavado a mayor escala empleando el sistema agua.....	82
Figura 75.	Plásticos lavados a emplear un tiempo de 25 y 50 min.....	83
Figura 76.	Agua de lavado a mayor escala comparada con agua limpia. ....	83
Figura 77.	Comparación entre la muestra inicial (sin ningún proceso) y la muestra lavada a mayor escala. ....	84
Figura 78.	Plástico lavado a mayor escala.....	84
Figura 79.	Muestras lavadas con la configuración 2 al trabajar con 3 cargas de material.....	85
Figura 80.	Agua de lavado comparada con agua limpia al realizar 3 cargas de material al emplear la misma agua de lavado para un tiempo de 20 min. ....	85

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO 1</b>	
Datos de turbidez obtenidos para la determinación de los tiempos de lavado en la configuración 1.....	98
<b>ANEXO 2</b>	
Datos de turbidez obtenidos para la determinación de los tiempos de lavado en la configuración 2.....	100
<b>ANEXO 3</b>	
Datos de turbidez obtenidos la pruebas a mayor escala.....	106
<b>ANEXO 4</b>	
Análisis realizados por la empresa Gruntec .....	109
<b>ANEXO 5</b>	
Norma técnica para el control de descargas líquidas de sectores productivos.....	110

## RESUMEN

El presente trabajo se enfocó en el diseño de un proceso de lavado de residuos plásticos provenientes de invernaderos que permitiera obtener un plástico de buena apariencia que facilite los procesos posteriores de reciclaje.

La parte teórica contiene aspectos generales sobre el reciclaje de plásticos, su importancia y los tipos de reciclaje. Además se describe información acerca del proceso de lavado y lo referente a procesos de tratamiento de efluentes.

En la parte experimental se muestran las pruebas realizadas a escala de laboratorio que permitieron determinar el método de lavado más adecuado, para ello, se propusieron dos configuraciones de lavado, las cuales se basaron en información bibliográfica y en procesos industriales aplicados en nuestro entorno.

La configuración uno estuvo constituida por las siguientes etapas: recolección de los residuos plásticos de invernadero, limpieza manual, reducción preliminar de tamaño (manual), reducción de tamaño (molino de cuchillas) y lavado. La configuración dos por: recolección de los residuos plásticos de invernadero, limpieza manual, reducción preliminar de tamaño (manual), prelavado, reducción de tamaño (molino de cuchillas) y lavado.

La diferencia entre las dos configuraciones empleadas fue que en la configuración dos, se añadió una etapa de prelavado.

En cada configuración propuesta, se emplearon tres sistemas de lavado: agua, agua-texapón y agua-NaOH, para cada uno de ellos se establecieron sus tiempos de lavado y para los dos últimos sistemas, se determinaron sus concentraciones y sus métodos de enjuague más adecuados. Para seleccionar cada una de ellos, se tomaron como parámetros de control: la turbidez de los sistemas y la apariencia de los plásticos lavados.

A partir de estos resultados, se seleccionó, a la configuración dos, como el método de lavado más adecuado.

Las condiciones determinadas a escala de laboratorio fueron: una relación de 100 g de plástico por cada 4 l de agua, con un tiempo de lavado de 30 min y al emplear como sistema de lavado agua.

El mejor método de lavado seleccionado a escala de laboratorio (configuración dos), fue replicado a mayor escala en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela Politécnica Nacional. Para ello se empleó un equipo de lavado constituido por un tanque de 40 gal de capacidad y un agitador mecánico de seis paletas accionado por un motor de velocidad única (142 rpm).

En estas pruebas se determinó una nueva relación de lavado de 7 kg de plástico en 90 l de agua, con un tiempo de lavado de 20 min.

Con el objetivo de cuidar que los agentes contaminantes contenidos en el plástico no sean un problema que se traslade al agua, se evaluó el contenido de pesticidas, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, sólidos totales, DQO, DBO<sub>5</sub>, aceites y grasas, pH de los efluentes de lavado a mayor escala. Determinándose que desde el punto de vista de los agroquímicos, su contenido, se encuentra bajo los límites máximos permisibles de la normativa japonesa de alimentos y de la norma técnica 213.

No obstante, al evaluar sus características fisicoquímicas, los sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, sólidos totales, DQO, DBO<sub>5</sub>, presentan problemas en su descarga, al superar los límites máximos permisibles regulados por la norma técnica 213, por lo que se recomienda realizar un proceso de tratamiento de los efluentes.

## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador existen aproximadamente 4729 Ha dedicadas al cultivo de flores. La provincia que se destaca, en cuanto a superficie cultivada de flores, es Pichincha, con aproximadamente el 66 % de la superficie total. En el Distrito Metropolitano de Quito, existen una gran cantidad de florícolas que cultivan bajo invernaderos, hay alrededor de 85 florícolas con un promedio de 10 hectáreas cada una (BCE, 2005).

Los invernaderos emplean alrededor de 2000 kg de plástico por cada hectárea cultivada, este plástico se suele reemplazar por uno nuevo, en aproximadamente dos años, generándose una gran cantidad de residuos, la mayor parte de los cuales no tienen un tratamiento adecuado (Serrano, 2001). Es por ello, necesario establecer un proceso apropiado de reciclaje que elimine los posibles contaminantes presentes en el plástico y así disponer de un material apto para el procesamiento.

De acuerdo con el registro de gestores calificados de residuos de la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente, existe un sólo gestor calificado y tecnificado (Empresa: "Guido Ramos"), de la información suministrada por este gestor, mensualmente recibe entre 15 y 20 toneladas de plástico de invernadero, lo cual indica que solamente una pequeña parte de los residuos plásticos se están procesando de una manera tecnificada (DMMA, 2008), y aunque no existe una cuantificación del destino que tienen los plásticos de invernadero, se percibe que la capacidad actual del gestor es insuficiente para procesar todo el plástico que se genera.

El presente trabajo forma parte del proyecto: "Reciclaje de los residuos plásticos provenientes de los invernaderos del sector florícola del DMQ", realizado por el Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (CIAP) de la Escuela Politécnica Nacional, es auspiciado por el Fondo Ambiental y tiene por objeto determinar un proceso de lavado apropiado para reciclar mecánicamente los residuos plásticos provenientes de los invernaderos del Distrito Metropolitano de Quito.

# 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1.1 RECICLAJE DE PLÁSTICOS

Los plásticos juegan un papel muy significativo en las dimensiones ambientales, sociales y económicas del desarrollo sostenible.

Nuestro estilo de vida moderna no sería posible sin los plásticos, su crecimiento se explica por la sustitución continua de materiales alternativos y el crecimiento económico que acarrea un mayor consumo (Tijera, 2010).

El aporte de los plásticos en el sector agrícola es indiscutible, el microclima generado por los plásticos de invernadero, al favorecer la etapa de crecimiento de las plantas, ha hecho que estos se conviertan en una técnica eficiente para los sistemas de cultivo (Fernández *et al.*, 1995).

Las cubiertas plásticas de invernadero son consideradas como uno de los recursos más atractivos y sencillos para el reciclaje, esto se debe a la homogeneidad del material, pues generalmente están constituidos por polietileno de baja densidad y polietileno lineal de baja densidad, y no existen otros plásticos que posteriormente deban ser separados antes del reciclaje. Además se pueden recolectar grandes cantidades de películas plásticas en pequeñas zonas. No obstante, una de las limitaciones de su reciclaje, es su degradación, debida a largos períodos de exposición ambiental, que provocan la pérdida de sus propiedades, agravándose esta situación por las operaciones de reciclaje (Tzankova *et al.*, 2000).

Como en algún momento, todos los productos alcanzan la etapa final de su vida útil, resulta necesario gestionar al final de su ciclo de vida, un proceso de reciclaje.

Definiéndose a éste como una alternativa que permite la disminución de las cantidades de residuos que deban eliminarse a través de vertederos, por incineración o por otras vías.



**Figura 1.** Películas plásticas de invernadero (Plásticos “Tortuga”).

### **1.1.1 IMPORTANCIA DEL RECICLAJE**

El reciclaje alarga la vida útil de los materiales plásticos, pues permite reutilizar los materiales para convertirlos nuevamente y varias veces en productos plásticos similares o diferentes a los originales. Además permite la reducción del uso de combustibles no renovables, ya que los plásticos se fabrican a partir de petróleo y al utilizar granza recuperada de residuos plásticos se reduce la necesidad de este recurso energético (Tijera, 2010).

El principal beneficio del reciclaje, es la reducción de la demanda por espacios para los rellenos sanitarios, pues se evita que los plásticos usados se depositen en ellos y ocupen un volumen que puede ser aprovechado por residuos urbanos.

## 1.1.2 TIPOS DE RECICLAJE

De acuerdo al mecanismo de reciclaje, se tienen tres tipos: reciclaje mecánico, químico y térmico.

### 1.1.2.1 Reciclaje mecánico

Constituye uno de los procesos más sencillos que consiste en la recuperación de residuos plásticos a través de medios mecánicos.

Para optimizar la eficiencia de este reciclaje, los materiales empleados deben ser lo más homogéneos posibles, debido a la poca afinidad que presentan los plásticos entre sí. La mejor manera de conseguir este objetivo es realizando una recolección selectiva (Goodship, 2007).

Entre los ejemplos de materiales que se emplean para este tipo de reciclaje se encuentran las botellas de politereftalato de etileno (PET), los filmes industriales elaborados con poliolefinas o los marcos de ventanas de PVC.

Para reciclar mecánicamente los residuos plásticos, estos deben pasar previamente por una serie de etapas, que en general son las siguientes:

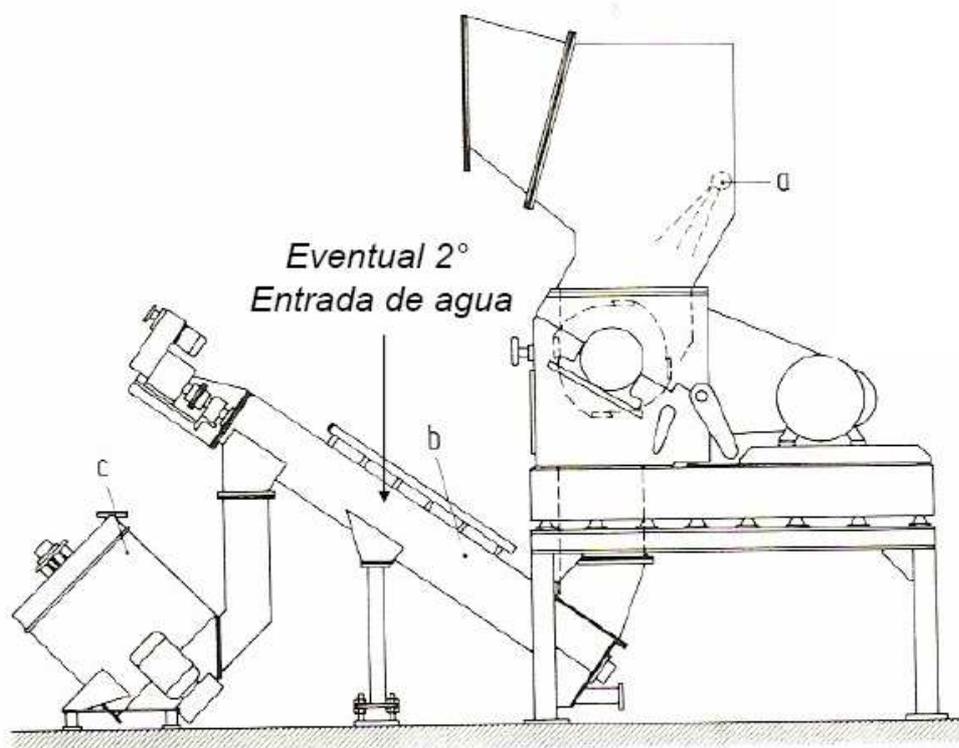
Reducción de tamaño: antes de que los desperdicios plásticos puedan ser procesados, necesitan ser reducidos a partículas de un tamaño de aproximadamente 4 a 20 mm de diámetro.

Para la reducción de tamaño se pueden emplear diversos equipos, entre ellos: guillotinas (productos rígidos), trituradoras de cuchillas (perfiles, tiras extruidas y películas plásticas) y trituradoras tipo tornillo (grandes volúmenes de material), (Goodship, 2007).

Según el grado de suciedad que posean los plásticos, la molienda final se puede realizar como una operación en seco o en húmedo. En la molienda en húmedo, la alta turbulencia en la cámara de corte crea una acción de lavado intenso, mientras que al mismo tiempo se reduce el desgaste de las cuchillas de corte (Ohe, 1995).

Esta trituración proporciona la posibilidad de utilizar la energía en más del 99%, otra de las ventajas, es que no se produce un sobrecalentamiento del rotor y en general de la cámara de molido. (Brandrup *et al.*, 1995).

Procesos que combinan la trituración y el lavado, también son posibles y constituyen alternativas del proceso de reciclaje. En la siguiente figura se puede observar ejemplo de esta combinación, este equipo está compuesto por una entrada de agua (a), un tornillo sin fin transportador con base cribada (b) y un secador (c).



**Figura 2.** Esquema de un molino de cuchillas lavador.

(Aseplas, 2009)

Lavado: esta etapa permite reducir los posibles contaminantes presentes y disponer de un material apto para ingresar en un equipo de procesamiento.

Consiste en la remoción de la suciedad (sólida o líquida) adherida a un sustrato, al emplear generalmente una fuerza mecánica y un vehículo de lavado en el que se deposite el material eliminado. Este proceso finaliza cuando el material indeseado permanece suspendido en el medio de lavado sin adherirse de nuevo al sustrato.

Posteriormente se realizará un estudio más profundo de la etapa de lavado de los plásticos de invernadero.

Secado: consiste en la reducción de la humedad que posee el plástico después de la etapa de lavado.

El secado de las partículas plásticas se puede lograr por medios mecánicos y térmicos. Generalmente se emplean los dos procesos en conjunto, primero se suele eliminar la humedad en forma mecánica y luego térmica. El contenido de humedad residual después del secado mecánico depende de la estructura del material triturado, generalmente para películas plásticas se tiene un porcentaje de humedad entre 10 a 20%, en contenedores y botellas entre 1 a 3% y para partes con paredes gruesas menos del 1%.

El secado térmico está diseñado para lograr un contenido de humedad residual inferior al 1% en cada caso. Esto permite que posteriormente no se produzcan problemas en las siguientes operaciones (Ohe, 1995).

Procesamiento: el plástico es procesado con la finalidad de obtener gránulos de plástico que puedan ser procesados posteriormente por cualquier método de transformación, sea este extrusión, inyección o moldeo por compresión.

### 1.1.2.2 Reciclado químico

El reciclado químico consiste en la depolimerización de los plásticos (fraccionamiento de los materiales poliméricos en pequeños componentes), en monómeros o en materias primas de bajo peso molecular, que pueden ser empleados para obtener nuevos polímeros o para producir monómeros u otros productos petroquímicos como ceras y parafinas (Goodship, 2007).

En el reciclado químico, no es necesaria la selección de los plásticos y se pueden tratar fácilmente plásticos mezclados o heterogéneos, reduciendo así los costos de recogida y selección.

Existen varios procesos de reciclado químico, los cuales son: pirolisis, hidrogenación y gasificación.

#### a. Pirólisis

Consiste en someter al polímero a altas temperaturas (entre 400°C y 800°C), en ausencia de oxígeno. A estas temperaturas los residuos se transforman en gases, líquidos y cenizas sólidas denominadas “coque” de pirolisis (Brandrup *et al.*, 1995).

Esta descomposición se produce a través de una serie compleja de reacciones químicas y de procesos de transferencia de materia y calor.

A partir de la pirólisis pueden obtenerse diferentes productos secundarios, en función de la tecnología de tratamiento que se utilice, un ejemplo de este proceso es la producción de combustible sintético para motores de ciclo diesel a partir de residuos plásticos.

## **b. Hidrogenación**

En este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas. Para la eficiencia del proceso se puede utilizar catalizadores que faciliten el craqueo, obteniéndose más productos alifáticos (Brandrup *et al.*, 1995).

## **c. Gasificación**

Es la transformación del polímero en una mezcla gaseosa (principalmente hidrógeno y monóxido de carbono) mediante la oxidación parcial con aplicación de calor. Las condiciones a las que generalmente se da la reacción son a temperaturas sobre los 1600 °C y presiones sobre los 150 bares (Brandrup *et al.*, 1995).

### **1.1.2.3 Recuperación energética**

Es la tercera alternativa de reciclaje. Este método es aconsejable en el caso de tener plásticos que estén muy deteriorados, sucios, o mezclados con otros materiales difíciles de separar. Además lo esencial para una buena valorización es que los materiales a gestionar tengan elevado poder calorífico, requisito que los plásticos cumplen a la perfección, pues los plásticos, como se puede observar en la Tabla 1, tienen un contenido energético similar o superior al de los combustibles fósiles.

De hecho, con un envase de yogur se obtendría la energía necesaria para mantener encendida una bombilla durante una hora

La recuperación energética se realiza por medio de la incineración de estos residuos y consiste en la introducción de los mismos, una vez homogenizados, en un horno donde se producirá la combustión, en presencia de oxígeno, de éstos y el calor que se desprenda se utilizará para calentar un líquido (normalmente agua) que pasará a vapor y generará energía.

Es importante destacar que durante la incineración pueden aparecer sustancias tóxicas, como es el caso de dioxinas y furanos, por lo tanto es imprescindible contar con sistemas de limpieza y gestión, tanto de gases como de cenizas, adecuados para que no se emitan dichas sustancias al exterior.

**Tabla 1.** Poderes caloríficos de algunos plásticos y combustibles

<b>Ítem</b>	<b>Poder calorífico (MJ/kg)</b>
Polietileno	43,3 – 46,5
Polipropileno	46,5
PVC	22,0
Gas oil	45,2
Carbón	25,0
Petróleo	42,3
Mezcla de residuos plásticos	31,8

(Goodship, 2007)

## **1.2 LAVADO**

Los residuos plásticos de invernadero están generalmente contaminados con tierra, grapas y adhesivos, es por ello que deben ser limpiados en un proceso de lavado que garantice la mayor parte de eliminación de contaminantes y que permita disponer de un material apto para ingresar en un equipo de procesamiento.

Los factores a tomar en cuenta en este proceso son: temperatura, tiempo de lavado, naturaleza mecánica del proceso (agitación), la razón de lavado (expresada como la relación entre el sustrato a lavarse y la cantidad del medio de lavado) y las condiciones de enjuague, así como el grado y tipo de contaminación del material.

La gran variedad de combinaciones entre tantos factores, hacen que este proceso sea complejo y para que un proceso de lavado sea eficiente debe ir precedido por un estudio de las condiciones más adecuadas del sistema.

El uso de detergentes está limitado por el aspecto ambiental debido a que los efluentes del proceso de lavado deben ser tratados para que puedan ser reutilizados nuevamente en el ciclo de lavado.

En segundo lugar, es necesario encontrar un adecuado sistema de purificación de las aguas residuales para no contaminar ni dañar el entorno en el cual se desarrolla el proceso de reciclado.

Esquemáticamente el lavado puede ser dividido en dos etapas: ablandamiento de la suciedad y liberación de la suciedad.

### **1.2.1 ABLANDAMIENTO DE LA SUCIEDAD**

Esta etapa consiste en “suavizar” la suciedad adherida en el plástico, para lo cual se requiere de un largo tiempo o de una intensa circulación (alta agitación). Al emplear un tiempo prolongado de ablandamiento, se puede ahorrar energía mecánica pues esta etapa produce que la suciedad sea más fácilmente removida en el lavado.

Esta etapa puede ser llevada a cabo en tanques de gran volumen, cerrados o abiertos, el tiempo de residencia del material dependerá de su grado de contaminación.

### 1.2.2 LIBERACIÓN DE LA SUCIEDAD

La liberación de la suciedad se lleva a cabo bajo una intensa agitación, la que genera una alta turbulencia entre el material y el medio de lavado, produciéndose un efecto de fricción entre los plásticos.

La agitación mecánica es muy importante, pues mantiene al medio homogéneo, es decir asegura la misma concentración de detergente y de sucio en todas partes y evita fenómenos de sedimentación.

Por otra parte tiene un papel indispensable que es el producir el cizallamiento necesario para remover, disolver o solubilizar el sucio retenido, los remolinos generados son capaces de arrollar el sucio y despegarlos del sólido (Salager, 1988).

### 1.2.3 EQUIPOS DE LAVADO EMPLEADOS

Los equipos utilizados en la etapa de lavado, varían y pueden actuar aisladamente o en conjunto para obtener mejores resultados. Se pueden emplear balsas de lavado y decantación, lavadoras con agitación e incluso un tromel de lavado.

**Las balsas de lavado y decantación**, tienen como función ejecutar un pre-lavado por agitación, inmersión y decantación, disponiendo para esto de norias, que fuerzan el material a sumergirse en el agua al mismo tiempo que lo obligan a circular hasta la salida, se encuentran en línea, en posición inmediata tras la pre-trituración (disminución del tamaño del material a las dimensiones suficientes para realizar un primer tratamiento de lavado o descontaminación).

Este proceso es repetido normalmente en una balsa de lavado tres veces hasta su salida, lo que permite retirar una gran cantidad de contaminantes.

En la siguiente figura, se puede ver este equipo de lavado.



**Figura 3.** Línea de reciclaje compuesta por una etapa de pre-trituración, y una etapa de pre-lavado con agitación en una balsa de lavado y decantación.

(PLASMAQ, 2010)

Como se muestra en la Figura 4, el mismo equipo también puede ser colocado en una fase más avanzada del proceso, después de una trituración intermedia (reducción del material previamente lavado para obtener una granulometría que permita la segunda fase de lavado o descontaminación), donde se ejecuta una función de enjuague y separación de los materiales por decantación, proceso en el que los materiales más pesados se depositan en el fondo mientras los más ligeros flotan.



**Figura 4.** Línea de reciclaje compuesta por una etapa de trituración intermedia y una etapa de lavado.

(PLASMAQ, 2010)

**El tromel**, es una máquina rotativa que, en algunos casos, al mezclar con agua y una solución de NaOH caústica, produce un buen efecto de lavado. Utilizado en los sistemas de reciclaje de películas plásticas o cualquier otra instalación de reciclaje de plásticos, teniendo como principal función liberar y separar el material y al mismo tiempo sacudir partes de arenas y otros residuos. Colocado antes de la pre-trituración protege los elementos de corte del triturador de desgaste prematuro.

Se compone principalmente de un cilindro construido en chapa de acero laminado de gran espesor con un sistema de paletas regulares para variar la producción. Su interior está provisto de perfiles longitudinales para elevar el material y favorecer el efecto de lavado.



**Figura 5.** Esquema de un tromel de lavado.

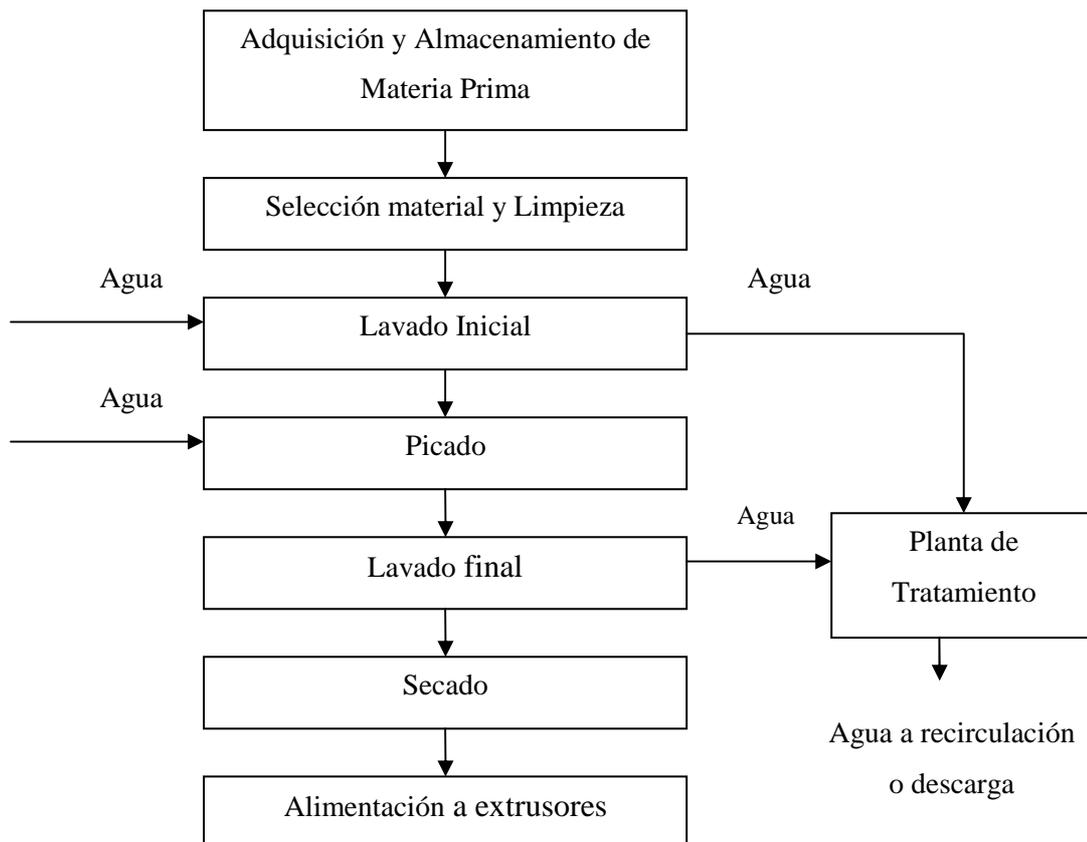
(PLASMAQ, 2010)

También se suelen usar lavadoras provistas de agitadores que operan a altas velocidades (Brandrup *et al.*, 1995).

### 1.2.4 LAVADO INDUSTRIAL

Algunos ejemplos de los procesos de lavado de plásticos que se emplean industrialmente son:

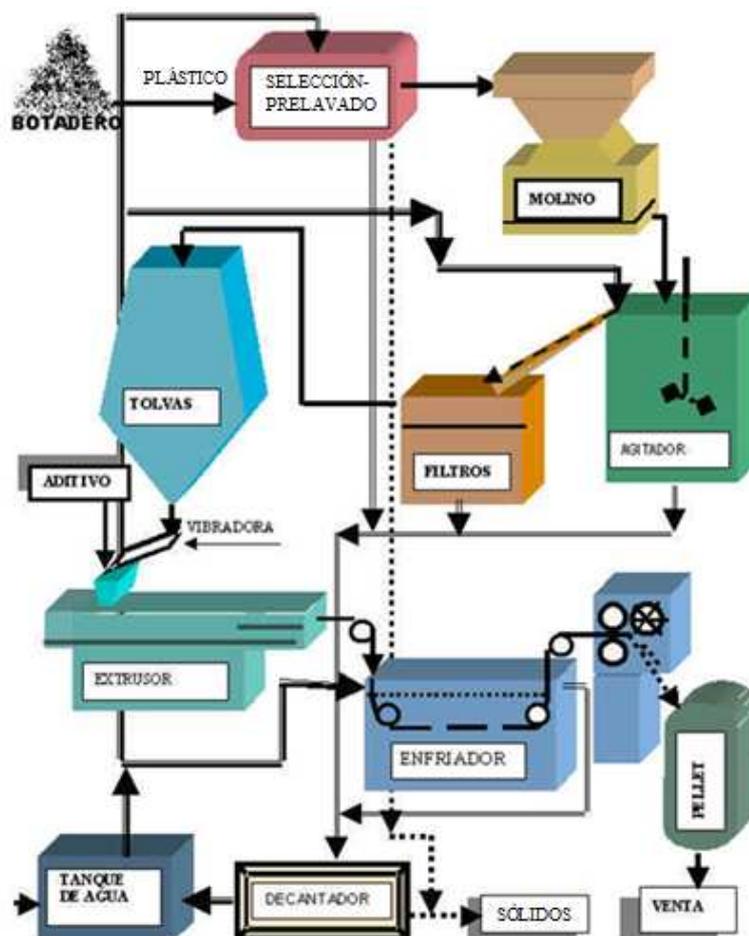
- Una planta boliviana que trabaja con politereftalato de etileno, emplea un proceso de lavado en frío y en caliente, usa NaOH como agente de lavado, pero no se tiene una referencia de la cantidad de NaOH requerida.
- “Plásticos Tortuga”, es una empresa ecuatoriana dedicada al reciclaje de plásticos. Su materia prima es recolectada a través de proveedores organizados en la recuperación del plástico del relleno sanitario municipal y de centros de acopio estratégicos en distintos puntos del Distrito Metropolitano de Quito y de varias provincias. Su proceso general de reciclaje se muestra en la Figura 6.



**Figura 6.** Diagrama de flujo de la planta Plásticos “Tortuga”

- Otra de las empresas dedicadas al reciclaje es una planta argentina recicladora de plásticos, que posee una capacidad de 36,50 ton por mes, cuyo objetivo es la obtención de gránulos a partir de polietileno de baja y alta densidad, emplea las etapas mostradas en la Figura 7. Su etapa de lavado consiste en el empleo de chorros de agua para eliminar impurezas visibles (etiquetas y otros), para luego pasar a una etapa de reducción en el tamaño de las partículas utilizando un molino de cuchillas, que posteriormente serán introducidos en un tanque con agua y agitación.

Los plásticos lavados son recogidos a través de filtros y el agua de lavado será tratada con un proceso de decantación.



**Figura 7.** Diagrama de flujo de la planta argentina recicladora de plásticos.

(Reyes, 2010)

### **1.2.5 DETERGENTES USADOS EN EL LAVADO**

Aunque no existe un agente de lavado específico para lavar los plásticos de desechos urbanos, los más usados a nivel industrial y en estudios de titulación anteriormente realizados, son NaOH y detergentes sintéticos como el texapón (lauril éter sulfato de sodio). La cantidad usada dependerá de sus condiciones, aproximadamente se suele emplear 0,5 gramos de agente de lavado por kg de agua.

## **1.3 TRATAMIENTO DE EFLUENTES**

Como resultado del proceso de lavado, se generan efluentes que deben ser tratados por dos razones: la primera de ellas es debido a que se usan grandes cantidades de agua y es conveniente su recirculación, y la segunda se debe a que los sólidos obtenidos en las aguas de lavado son altos y para ser descargados al alcantarillado o a una fuente de agua requieren de un tratamiento previo.

Cuando los plásticos se encuentran muy sucios, las aguas de lavado pueden llegar a contener un 30 % de residuos sólidos y esta cantidad debe desecharse en forma apropiada. Además cerca del 2 al 5 % del plástico (que se genera durante el proceso de reciclaje, especialmente durante la molienda) inevitablemente se descarga junto con la suciedad (Ohe, 1995).

Es por ello necesario emplear procesos destinados a alterar las propiedades o la composición física, química o biológica de los efluentes líquidos, de manera que se transformen en vertidos que cumplan con las regulaciones vigentes o que minimicen su efecto.

### **1.3.1 PROCESOS DE TRATAMIENTO**

Estos procesos de tratamiento pueden involucrar las siguientes operaciones unitarias:

### **1.3.1.1 Eliminación de sólidos**

Este tratamiento consiste en la separación de los sólidos de tamaño grueso, por medio de tamices, o sistema de rejillas de barras.

### **1.3.1.2 Coagulación química**

Las aguas naturales contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión, ambas pueden ser orgánicas e inorgánicas.

Las materias en suspensión pueden tener un tamaño y densidad tal, que pueden eliminarse del agua por simple sedimentación, pero algunas partículas poseen un tamaño tan pequeño ( $1\ \mu\text{m}$  y  $0,2\ \mu\text{m}$ ) y tienen una carga eléctrica superficial tal, que las hace repelerse continuamente, impidiendo su aglomeración y la formación de una partícula más pesada que facilite su sedimentación.

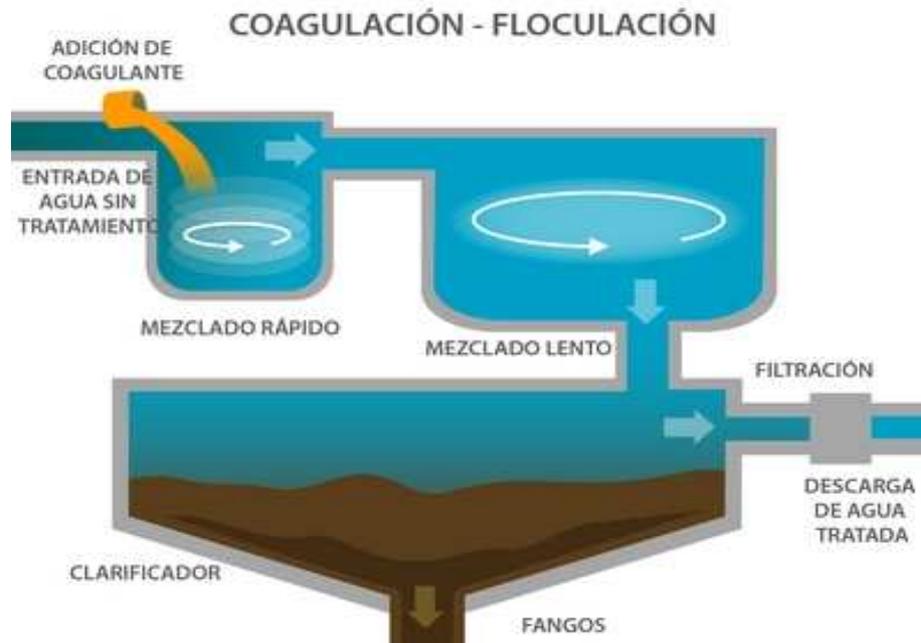
La coagulación y la floculación son pre-tratamientos que aglomeran entre sí a los sólidos en suspensión para formar cuerpos de mayor tamaño a fin de que los procesos de filtración física puedan eliminarlos con mayor facilidad.

Un coagulante químico, como sales de hierro, sales de aluminio o polímeros, se agregan al agua fuente para volver fácil la adherencia entre las partículas.

Los coagulantes funcionan creando una reacción química y eliminando las cargas negativas que causan que las partículas se repelan entre sí.

Después, la mezcla coagulante-agua fuente se agita lentamente en un proceso que se conoce como floculación.

Este agitado del agua induce que las partículas choquen entre sí y se aglutinen para formar grumos o "flóculos" que se pueden eliminar con mayor facilidad (Guerrero, 1991).



**Figura 8.** Esquema de los pre-tratamientos de coagulación y floculación.

(Guerrero, 1991)

### 1.3.1.3 Flotación

Proceso que por la acción de agentes flotantes, el material en suspensión en el agua se ve afectado en su densidad.

### 1.3.1.4 Filtración

Consiste en eliminar las partículas suspendidas a través de lechos de arena, en carbón activado u en otro material granulado.

### 1.3.1.5 Desinfección

Es una operación en que los microorganismos vivos patógenos son eliminados a través de un tratamiento con cloro.

### **1.3.1.6 Oxidación biológica**

En esta etapa los microorganismos descomponen la materia orgánica contenida en el agua contaminada o transforman las sustancias complejas en productos finales más simples.

Estos sistemas pueden ser anaeróbicos y aeróbicos, y su propósito es reducir el  $\text{DBO}_5$  a valores legalmente admisibles.

### **1.3.1.7 Aeróbicos**

Son los tratamientos habitualmente empleados, siendo el proceso de fangos activados el utilizado normalmente.

Se basan en la descomposición de la materia orgánica por la adición de microorganismos en presencia de oxígeno. Son sistemas adaptables a una gran variedad de vertidos y bastantes flexibles. No obstante, tienen esencialmente dos inconvenientes importantes, como es la generación de una gran cantidad de lodos y el importante gasto energético para proporcionar el oxígeno necesario para la fermentación.

Los lodos generados suponen un residuo sólido de grandes dimensiones. Normalmente suele ser retirado por las empresas municipales de residuos y van al vertedero, aunque en la actualidad se está estudiando su uso como abono después de diversos tipos de tratamiento.

El oxígeno se suele aportar mediante turbinas aireadoras en superficie o mediante difusores de oxígeno situados en el fondo del reactor biológico.

### **1.3.1.8 Anaeróbicos**

Se basa en la degradación de la materia orgánica por bacterias anaeróbicas formándose metano y monóxido de carbono, la ventaja de este tratamiento es esencialmente la posibilidad de aprovechar el valor calorífico del gas en la

explotación de la propia planta, la baja producción de lodos, así como el valor de los mismos que pueden ser empleados como abono por su alto valor fertilizante.

No obstante, es importante considerar que este sistema requiere un tiempo de retención muy alto, es muy sensible a cualquier cambio de pH o de temperatura, necesita ser calentado para que la temperatura de fermentación sea la adecuada y además existen cientos de riesgos asociados al manejo del biogas, razones que impiden el mayor desarrollo de estos procesos y que hacen que en numerosas ocasiones no sea rentable la instalación de este tipo de plantas (Sincero y Sincero, 2003).

### **1.3.2 PARÁMETROS DE CONTROL DE LOS EFLUENTES**

A continuación se muestran los parámetros de control que han sido empleados para la evaluación del mejor método de lavado y para tener una referencia de las características que presentan las aguas después del proceso de lavado.

La elección de estos parámetros de control se la hizo en base a proyectos de titulación anteriores (Izurieta y Placencia, 2004 e Illánez y Torres, 2005) y a la norma técnica 213, la cual controla las descargas líquidas de los sectores productivos del Distrito Metropolitano de Quito.

#### **1.3.2.1 Turbidez**

Se define como el efecto óptico que se origina al dispersarse o interferirse el paso de los rayos de luz que atraviesan una muestra de agua, a causa de las partículas minerales u orgánicas que el líquido puede contener en forma de suspensión; tales como microorganismos, arcilla, precipitaciones de óxidos diversos, carbonato de calcio precipitado, compuestos de aluminio, etc.

Este parámetro puede ser usado en la salida de las plantas de tratamiento de aguas para indicar la calidad de los procesos.

### **1.3.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Representa la cantidad necesaria de oxígeno para oxidar la materia orgánica de un efluente con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido) y convertirla en dióxido de carbono y agua. Se expresa en mg por litro de oxígeno.

### **1.3.2.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO)**

Constituye una medida de la cantidad orgánica biodegradable, es la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en las aguas residuales a una temperatura de 20°C, generalmente se lo determina en un período de 5 días por lo que se lo conoce como DBO5, el DQO siempre es mayor que el DBO debido a que muchas sustancias pueden degradarse por métodos químicos pero no biológicos.

### **1.3.2.4 Sólidos suspendidos**

Los sólidos suspendidos son llamados sedimentables y son determinados volumétricamente por precipitación en un cono Imhoff, son responsables de la turbidez ya que interfieren con la luz que atraviesa el efluente. Constituyen una medida aproximada de la cantidad de barro que se obtendrá en el proceso de decantación

### **1.3.2.5 pH**

Representa la concentración de ión hidrógeno, es un parámetro importante en sistemas de agua natural y la utilizada en la industria, el rango de concentración tolerable para la vida es muy estrecho, se debe mantenerlo neutro o cercano a 8 para prevenir la corrosión de los equipos utilizados para su tratamiento.

### **1.3.2.6 Aceites y grasas**

En el ámbito ambiental ceras, lípidos complejos, aceites minerales como keroseno, crudo, lubricantes son conocidas como grasas, en su mayoría estos compuestos orgánicos son altamente estables debido a que no son consumidos fácilmente por microorganismos.

### **1.3.2.7 Organoclorados**

Son compuestos orgánicos con alto contenido de átomos de cloro, conforman un grupo de pesticidas artificiales desarrollados principalmente para controlar las poblaciones de insectos, algunos de ellos son el DDT, aldrín, clordano, dieldrín, endrín, heptacloro, HCH (hexaclorociclohexano) y toxafeno, su acción en el cuerpo humano se da nivel del sistema nervioso, genera alteraciones de la transmisión del impulso nervioso, su uso está prohibido en casi todo el mundo por sus problemas de acumulación, alta estabilidad química y difícil biodegradación.

### **1.3.2.8 Organofosforados**

Son sustancias orgánicas conformadas por un átomo de fósforo unido a 4 átomos de oxígeno en algunas sustancias a 3 de oxígeno y 1 de azufre, se consolidaron como insecticidas de uso agrícola con la prohibición de los organoclorados, sus principales características son: alta toxicidad, baja estabilidad química y nula acumulación en los tejidos.

Algunos de los organofosforados que han salido del mercado son el malatión, paratión y lindano, de estos compuestos puede liberarse átomos de fósforo asociado con la inhibición de la transmisión nerviosa lo que provoca la muerte (Sincero y Sincero, 2003).

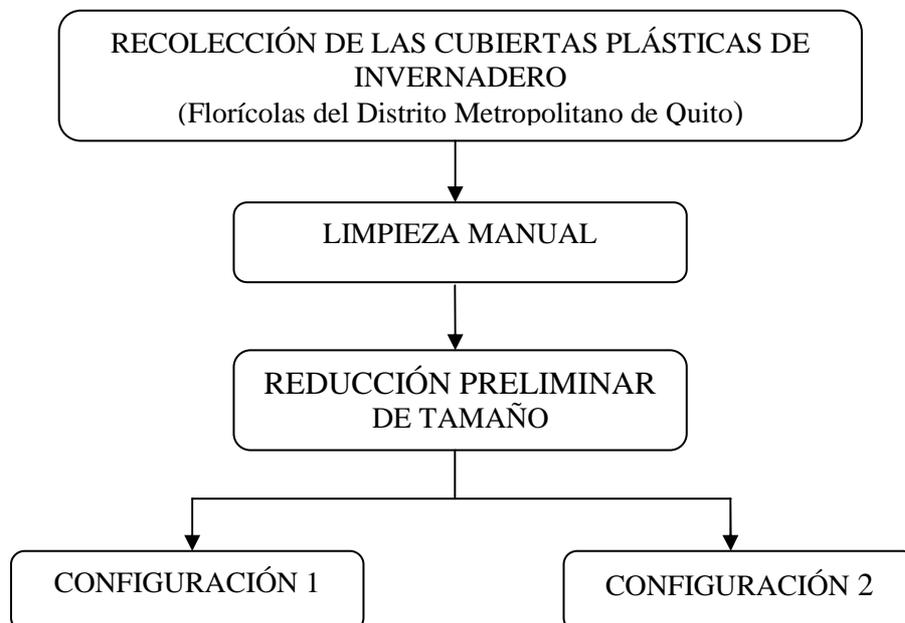
## 2 PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1 DISEÑO DEL PROCESO DEL LAVADO A ESCALA DE LABORATORIO

Para el diseño de la etapa de lavado, se plantearon diferentes configuraciones a escala laboratorio, basándose en la información bibliográfica (Izurieta y Placencia, 2004 e Illáñez y Torres, 2005) y en procesos industriales aplicados en nuestro entorno.

Se seleccionó una configuración, que permitió disponer de un material apto para su procesamiento (extrusión) y se replicó éste método de lavado a escala piloto en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela Politécnica Nacional.

A continuación se muestra en detalle el método seguido para cumplir con los objetivos planteados en este proyecto.

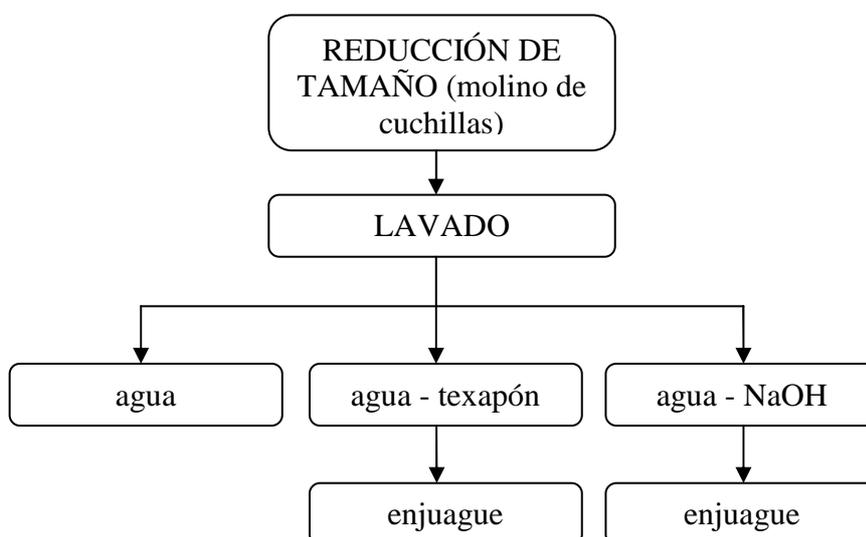


**Figura 9.** Diagrama de bloques de las etapas empleadas para el diseño del lavado a escala laboratorio

### 2.1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CONFIGURACIONES ENSAYADAS

A fin de proponer una secuencia de lavado que permita obtener un plástico adecuado para su procesamiento (extrusión), se tomaron como referencia, investigaciones relacionadas con el reciclaje mecánico de los plásticos realizadas en el Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (Izurieta y Placencia, 2004 e Illáñez y Torres, 2005), cuya secuencia de lavado se muestra a continuación:

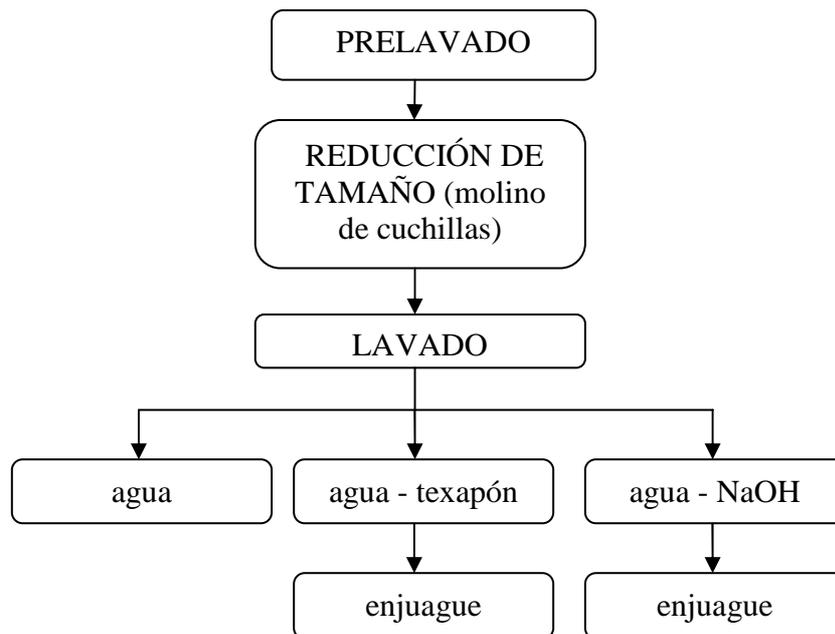
#### 2.1.1.1 Configuración 1



**Figura 10.** Diagrama de bloques de la configuración 1

#### 2.1.1.2 Configuración 2

Debido a las dificultades encontradas en la configuración 1, particularmente en lo referente a la apariencia final del plástico, se diseñó una nueva configuración que contempló la incorporación de una etapa de prelavado. Las etapas empleadas en esta configuración se muestran en la Figura 11.



**Figura 11.** Diagrama de bloques de la configuración 2

### 2.1.2 EQUIPOS Y MÉTODOS UTILIZADOS

A continuación, se presenta un resumen de los equipos y métodos utilizados en cada una de las pruebas del lavado a escala de laboratorio.

**Tabla 2.** Equipos y métodos utilizados

Proceso	Equipo	Metodología
Reducción de tamaño del plástico	Molino de cuchillas SHINI	----
Lavado a escala de laboratorio	Tanque cilíndrico de 18 l de capacidad	----
	Motor de agitación TLINE de velocidad variable	----
	Agitador tipo ancla	----
	Agitador mecánico de seis paletas	----
Evaluación de los efluentes de lavado	Turbidímetro HACH 21000P	ALPHA 2130 B Nefelométrico



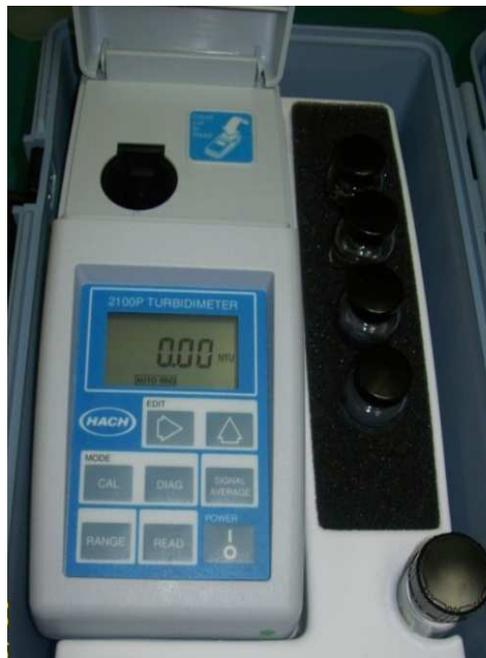
**Figura 12.** Motor de agitación y agitador tipo ancla empleados en las pruebas a escala de laboratorio



**Figura 13.** Equipo de lavado usado a escala de laboratorio. (CIAP)



**Figura 14.** Molino de cuchillas SHINI. (Servicios Técnicos Industriales)



**Figura 15.** Turbidímetro HACH 21000P empleado para evaluación de los procesos de lavado.

### 2.1.3 PRUEBAS REALIZADAS EN EL PROCESO DE LAVADO A ESCALA DE LABORATORIO

Se realizaron pruebas con las configuraciones de lavado mostradas en las Figuras 10 y 11, para las cuales fueron comunes las tres primeras etapas, que consistieron en la recolección de los residuos plásticos de invernadero, limpieza manual y reducción preliminar de tamaño, y se detallan a continuación:

#### 2.1.3.1 Recolección de los residuos plásticos de invernadero

Se trabajó con 27 kg de cubiertas plásticas de invernadero provenientes de cinco fincas del Distrito Metropolitano de Quito. Las cantidades de plástico recolectado se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Procedencia del plástico recolectado para las pruebas de lavado

<b>Finca</b>	<b>Cantidad de plástico empleado (kg)</b>
Valle Flor	13,3
Flower Village	11,2
Flor Agro	1,1
Quito Flores	0,3
La Loma 1	1,1
<b>TOTAL</b>	<b>27,0</b>

#### 2.1.3.2 Limpieza manual

Los residuos plásticos de invernadero, usualmente vienen con tierra y en varias ocasiones grapas, clavos, trozos de madera, elementos metálicos y cintas adhesivas (PVC).

La presencia de estos contaminantes, determina el riesgo de deterioro de los elementos metálicos de los equipos, por lo que deben ser retirados de forma manual, como se indica en la Figura 16.



**Figura 16.** Etapa de limpieza manual de las cubiertas plásticas de invernadero

### 2.1.3.3 Reducción preliminar de tamaño

En la Figura 17, se puede ver el tamaño que exhiben los plásticos de invernadero, es por ello que resulta necesaria una etapa, que facilite su manipulación en los procesos de alimentación en el molino de cuchillas y prelavado (etapa de la configuración 2), para lo cual se redujo de forma manual su tamaño, empleando una cuchilla hasta obtener pedazos de aproximadamente 30 por 40 cm, este proceso se lo indica en la Figura 18.



**Figura 17.** Plástico de invernadero antes de la reducción preliminar de tamaño



**Figura 18.** Reducción manual realizada a los plásticos

#### 2.1.3.4 Lavado

El propósito de esta etapa fue determinar las condiciones más adecuadas para obtener un material apto para su procesamiento (extrusión).

Se emplearon tres sistemas de lavado: agua, agua-texapón y agua-NaOH. Para cada sistema se determinó el tiempo que permita obtener un plástico de buena apariencia y para los sistemas agua-texapón y agua-NaOH, se determinaron sus concentraciones y sus métodos de enjuague (número y tiempo de enjuagues) más adecuados.

Los métodos empleados, se muestran posteriormente en cada configuración. En la Figura 19 , se muestra el equipo de lavado utilizado en todas las pruebas, el cual estuvo compuesto por un tanque de 18 l de capacidad y un agitador tipo ancla accionado por un motor reductor de velocidad variable.

La eficacia de las etapas de lavado y enjuague, se la hizo tomando como parámetros de control: la turbidez de las aguas, método de evaluación empleado en un trabajo de titulación previo (Izurieta y Placencia, 2004) llevado a cabo en el

Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros de la EPN, así como la apariencia del plástico lavado.

Cómo una manera de verificación de los resultados obtenidos, se realizaron paralelas en cada una de las pruebas.



**Figura 19.** Foto del equipo de lavado usado a escala de laboratorio.

Para la medición de la turbidez de las aguas, se empleó un turbidímetro HACH 21000P perteneciente al Centro de Investigaciones y Control Ambiental (CICAM) de la Escuela Politécnica Nacional.

Al no existir un valor que indique cuán alta o baja es la turbidez, se consideró que un valor cercano a 5 NTU, es un valor poco significativo, debido a que éste corresponde al límite máximo permisible de la turbidez del agua para el consumo humano. Para evaluar las pruebas de lavado, se tomó como referencia a 10 NTU para definir un valor de turbidez poco significativo.

Para realizar las respectivas pruebas de lavado, fue necesario determinar ciertos parámetros de operación (velocidad de agitación y relación de lavado), que permitan generar una alta turbulencia entre el plástico y el medio de lavado.

La alta turbulencia permitirá generar remolinos, que son capaces de arrollar los contaminantes y de despegarlos del plástico, a su vez, mantendrán el medio de lavado homogéneo (al usar agentes de limpieza).

La relación de lavado, permitirá determinar la cantidad de agua mínima para que el plástico fluya sin estancamientos.

Estos parámetros se usaron en todas las pruebas a escala de laboratorio. A continuación se muestra el método seguido en cada uno de ellos:

#### **d. Determinación de la relación de lavado**

Esta relación corresponde a la proporción más adecuada de agua que permita lavar los plásticos. Se realizaron dos pruebas, donde se colocaron aproximadamente 100 g de plástico sucio previamente triturado en un molino de cuchillas, en un tanque de 18 l de capacidad, se incrementaron determinadas cantidades de agua, hasta obtener un material que fluya sin estancamientos.

#### **e. Determinación de la velocidad de agitación**

Para determinar la velocidad de agitación más adecuada, se empleó un agitador tipo ancla, seleccionado a partir de información bibliográfica (Izurieta y Placencia, 2004).

Con la relación de lavado anteriormente determinada, se emplearon distintas velocidades (200, 210, 220, 230, 240 y 250 rpm) y se seleccionó la más adecuada, de acuerdo al movimiento producido entre el sistema de lavado y el plástico, además se observó que no se produzcan pérdidas de la solución

(plástico y sistema de lavado) por salpicadura. En la siguiente figura, se muestran fotografías de las pruebas realizadas.



**Figura 20.** Pruebas para determinar la relación de lavado y la velocidad de agitación

## 2.1.4 CONFIGURACIONES PROPUESTAS

### 2.1.4.1 Configuración 1

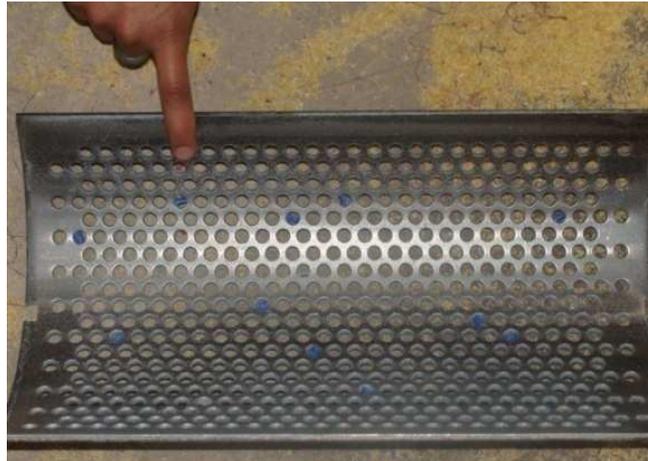
Las etapas de esta configuración fueron las siguientes: recolección de los residuos plásticos de invernadero, limpieza manual, reducción preliminar de tamaño (manual), reducción de tamaño (molino de cuchillas) y lavado.

Las tres primeras etapas al ser comunes para las dos configuraciones se detallaron anteriormente y las siguientes etapas se describen a continuación:

#### a. Reducción de tamaño

En esta etapa se empleó un molino de cuchillas marca SHINI, el cual se observa en la Figura 22.

La molienda del plástico se llevó a cabo empleando un tamiz con un diámetro de orificio de 8 mm, que fue el tamiz con el que el molino vino equipado, el cual se muestra en la Figura 21. Este proceso se lo realizó en la empresa de Servicios Técnicos Industriales (STI). El tamaño de partícula obtenido fue apropiado para su lavado y no presentó inconvenientes en las pruebas realizadas.



**Figura 21.** Tamiz del molino de cuchillas



**Figura 22.** Molino de cuchillas empleado para la reducción de tamaño del plástico

## b. Lavado

Se empleó la metodología descrita anteriormente. El número de pruebas realizadas se la hizo en base a trabajos previos (Izurieta y Placencia, 2004 e Illánz y Torres, 2005), donde se emplearon pruebas paralelas como manera de verificación de los resultados obtenidos, realizándose así, 26 pruebas de lavado, distribuidas de la siguiente manera:

**Tabla 4.** Número de pruebas realizadas a escala de laboratorio para la Configuración 1

<b>Objetivo de la prueba</b>	<b>Agua</b>	<b>Agua- texapón</b>	<b>Agua- NaOH</b>
Determinación de la concentración más adecuada	-	10	6
Determinación del tiempo más adecuado de lavado	2	2	2
Determinación del enjuague final	-	2	2

A continuación se muestran al detalle las pruebas realizadas para cumplir con los propósitos de esta etapa.

### *Determinación de la concentración de los agentes de lavado*

Para determinar la concentración de los agentes de lavado (texapón y NaOH), se emplearon diferentes porcentajes, los cuales fueron tomados de referencias bibliográficas (Izurieta y Placencia, 2004 e Illánz y Torres, 2005). A continuación se muestran los porcentajes empleados.

- *Determinación de la concentración de texapón*

Se trabajaron con los siguientes porcentajes: 0,0005; 0,0025; 0,005; 0,125; y 0,25; realizándose paralelas con cada concentración, en las cuales se evaluó la turbidez de los sistemas de lavado en un tiempo de 30 min.

- ***Determinación de la concentración de NaOH***

Se trabajaron con los siguientes porcentajes: 0,5; 1,0 y 1,5, se realizaron paralelas con cada concentración, evaluándose la turbidez en un tiempo de lavado de 30 min.

**Determinación del tiempo de lavado**

Para determinar el tiempo de lavado, se evaluó la turbidez de los sistemas empleados cada 5 min, por un tiempo total de 50 min.

Para los sistemas agua-texapón y agua-NaOH, se trabajó con las concentraciones de texapón y NaOH determinadas como las más adecuadas.

**Determinación del número de enjuagues**

El objetivo de esta etapa fue la remoción del agente de limpieza (texapón y NaOH) del plástico lavado.

Una vez determinadas las concentraciones de texapón y NaOH más adecuadas, se procedió a determinar el número y tiempo de enjuagues; para ello se probó un método de enjuague que consistió en dos enjuagues consecutivos de 10 min cada uno, el tiempo escogido para estos enjuagues estuvo basado en referencias bibliográficas (Izurieta y Placencia, 2004 e Illánez y Torres, 2005).

**2.1.4.2 Configuración 2**

Las etapas de etapas de esta configuración fueron las siguientes: recolección de los residuos plásticos de invernadero, limpieza manual, reducción preliminar de tamaño (manual), prelavado, reducción de tamaño (molino de cuchillas) y lavado.

Las tres primeras etapas ya se describieron anteriormente y las demás se muestran a continuación:

**a. Prelavado**

Esta fue la etapa que diferenció a la configuración dos. Con ella se buscó eliminar la tierra adherida superficialmente a las películas plásticas y “suavizar” su suciedad, facilitando su etapa posterior de lavado.

Para ello, se colocó una cantidad determinada de agua, la que permitió humedecer completamente la película plástica.

Como se puede observar en la Figura 23, se sumergió libremente cada película plástica por tres ocasiones en el agua, y se evaluó la turbidez de las aguas en función de la cantidad de plástico prelavado.



**Figura 23.** Fotos del prelavado realizado a escala de laboratorio. (CIAP)

**b. Reducción de tamaño**

Se aplicó la misma metodología de la configuración 1.

### c. Lavado

Se empleó la misma metodología descrita anteriormente. Se realizaron 24 pruebas de lavado a escala de laboratorio, distribuidas de la siguiente manera:

**Tabla 5.** Número de pruebas realizadas a escala de laboratorio en la Configuración 2

Objetivo de la prueba	Agua	Agua- texapón	Agua- NaOH
Determinación de la concentración más adecuada	-	6	6
Determinación del tiempo más adecuado de lavado	2	2	2
Determinación del enjuague final	-	2	2
Pruebas de prelavado: 2			

#### Determinación de la concentración de los agentes de lavado

Se empleó la metodología aplicada en la configuración 1. Con la diferencia que para el sistema agua- texapón, no se emplearon los porcentajes de 0,125 y 0,25, debido a razones que se explicarán en la discusión de resultados.

- *Determinación del tiempo de lavado*

Se empleó la metodología aplicada en la configuración 1

- *Determinación del número de enjuagues*

Se empleó el mismo método de la Configuración 1.

## 2.2 ENSAYOS DEL PROCESO A MAYOR ESCALA

Este proceso fue realizado en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela Politécnica Nacional, para ello se empleó la configuración que produjo los mejores resultados a escala de laboratorio. En la Figura 24, se muestra el equipo de lavado empleado, el cual estuvo constituido por un tanque cilíndrico de 40 gal de capacidad y un agitador mecánico de 6 paletas, accionado por un motor de velocidad única, este sistema de agitación fue el único que se tenía a disposición. El agitador empleado se lo puede apreciar en la Figura 25.



**Figura 24.** Equipo de lavado empleado a mayor escala. (Laboratorio de Operaciones Unitarias)



**Figura 25.** Agitador mecánico de seis paletas empleado en las pruebas de lavado a mayor escala.

### 2.2.1 LIMPIEZA MANUAL

Al igual que en las pruebas a escala de laboratorio, fue necesario eliminar los residuos con los que vienen los plásticos (grapas, clavos, trozos de madera, elementos metálicos y cintas adhesivas), esta etapa se la puede observar en la siguiente figura.



**Figura 26.** Etapa de limpieza manual de las cubiertas plásticas de invernadero.

### 2.2.2 REDUCCIÓN PRELIMINAR DE TAMAÑO

Al igual que en las pruebas a escala de laboratorio, la reducción fue manual como se muestra en la Figura 27, para ello se empleó una cuchilla. El tamaño de plástico obtenido fue de aproximadamente 1 por 1 m, el cual facilitó su manipulación en los procesos posteriores (alimentación en el molino de cuchillas y prelavado).



**Figura 27.** Reducción manual realizada a los plásticos a mayor escala.  
(Plásticos “Tortuga”)

### 2.2.3 PRELAVADO

Se empleó un tanque de 30 gal de capacidad con una cantidad determinada de agua, se sumergió libremente los pedazos de plásticos previamente reducidos de tamaño por tres ocasiones, como se muestra en la Figura 28.

Al igual que en las pruebas a escala de laboratorio, se evaluó la turbidez del agua en función del plástico prelavado.

A continuación en las Figura 28 y 29 se muestran, la etapa de prelavado y los plásticos antes de ser introducidos al molino de cuchillas.



**Figura 28.** Prelavado realizado a mayor escala. (Laboratorio de Operaciones Unitarias)



**Figura 29.** Plástico prelavado. (Laboratorio de Operaciones Unitarias)

#### 2.2.4 REDUCCIÓN DE TAMAÑO

La reducción del plástico prelavado, se la realizó en un molino de cuchillas en la empresa de Servicios Técnicos Industriales (STI). En las siguientes figuras se muestran fotografías de esta etapa.



**Figura 30.** Alimentación del plástico prelavado al molino de cuchillas. (Servicios Técnicos Industriales)



**Figura 31.** Parte interna del molino de cuchillas en la etapa de reducción de tamaño. (Servicios Técnicos Industriales)

### 2.2.5 LAVADO

Se empleó el sistema de lavado que generó los mejores resultados a escala de laboratorio.

Al igual que en las pruebas a escala de laboratorio, se tomaron como parámetros de control: la turbidez del sistema de lavado, así como la apariencia del plástico lavado.

Se lavaron aproximadamente 21 kg de plástico, se determinó la relación de lavado (plástico-agua) con la metodología usada a escala de laboratorio y se empleó una velocidad única de agitación, debido a que sólo se disponía de un motor.

A continuación se muestra la prueba realizada para establecer la relación de lavado.



**Figura 32.** Prueba para determinar la relación de lavado



**Figura 33.** Etapa de lavado a mayor escala

### **Determinación del tiempo de lavado**

Para determinar el tiempo de lavado, se evaluó la turbidez del sistema usado cada 5 min, por un tiempo total de 50 min.

### **2.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES DESPUÉS DEL PROCESO DE LAVADO**

Los efluentes fueron analizados en lo referente a su contenido de pesticidas y a sus características fisicoquímicas.

La determinación del contenido de pesticidas fue analizada por la empresa Gruntec y los demás parámetros fueron analizados por el Centro de Investigaciones y Control Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional (CICAM). Para seleccionar los parámetros fisicoquímicos a evaluar, se tomó como referencia la norma técnica 213, la cual controla las descargas líquidas de los sectores productivos del Distrito Metropolitano de Quito (ANEXO 5).

Al ser el objetivo del lavado, eliminar del plástico, los posibles contaminantes presentes y disponer de un material apto para ingresar en un equipo de procesamiento, se debe cuidar de que si se remueven componentes peligrosos del plástico, estos no sean un problema que se traslade al agua, por lo que fue necesario monitorizar los niveles de estos contaminantes en las aguas de lavado.

Debido a que los análisis de pesticidas son costosos, se evaluaron los efluentes de los sistemas de lavado más adecuados de las dos configuraciones a escala de laboratorio y los efluentes obtenidos a mayor escala (ver Tabla 25).

Para determinar la peligrosidad de los agroquímicos obtenidos en los efluentes de lavado, se tomaron como referencia dos normas: la norma japonesa de alimentos empleando los valores permitidos para alimentos como el brócoli y la espinaca y la norma 213 planteada por la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente, la cual muestra límites máximos permisibles de pesticidas organoclorados y organofosforados en los efluentes de descarga.

Para la caracterización fisicoquímica de las aguas se trabajó únicamente con los efluentes de la mayor escala, pues en esta prueba se trabajó con la mejor configuración de lavado, y se empleó mayor cantidad de plástico.

## **2.4 ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO PARA LOS EFLUENTES DEL PROCESO DE LAVADO**

Sobre la base de los análisis realizados, definidos por los siguientes parámetros: turbidez, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, sólidos totales y pH, se propuso una alternativa de tratamiento para los efluentes obtenidos.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 RESULTADOS OBTENIDOS A ESCALA DE LABORATORIO

##### 3.1.1 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN

Se determinaron los siguientes parámetros de operación, los mismos que fueron empleados en todas las pruebas de las configuraciones 1 y 2.

**Tabla 6.** Parámetros de operación determinados a escala de laboratorio

<b>Parámetros de operación</b>	<b>Método de evaluación</b>
Velocidad de agitación	240 rpm
Relación: plástico – solución de lavado	100 g de plástico en 4 l de agua

Los parámetros de operación obtenidos experimentalmente fueron los mismos que los determinados en trabajos anteriores (Izurieta y Placencia, 2004 e Illáñez y Torres, 2005).

##### 3.1.2 LAVADO A ESCALA DE LABORATORIO

###### 3.1.2.1 Configuración 1

Para esta configuración de lavado, se determinaron las siguientes condiciones:

**Tabla 7.** Condiciones de operación para la etapa de lavado de la configuración 1

<b>Sistema de lavado</b>	<b>Tiempo de lavado (min)</b>	<b>Concentración de los agentes de limpieza (%)</b>	<b>Número de enjuagues</b>	<b>Tiempo del enjuague final (min)</b>
Agua	30	-	-	-
Agua-texapón	35	0,0005	1	10
Agua-NaOH	35	0,5	1	10

Las pruebas realizadas para obtener estas condiciones de lavado, se muestran a continuación:

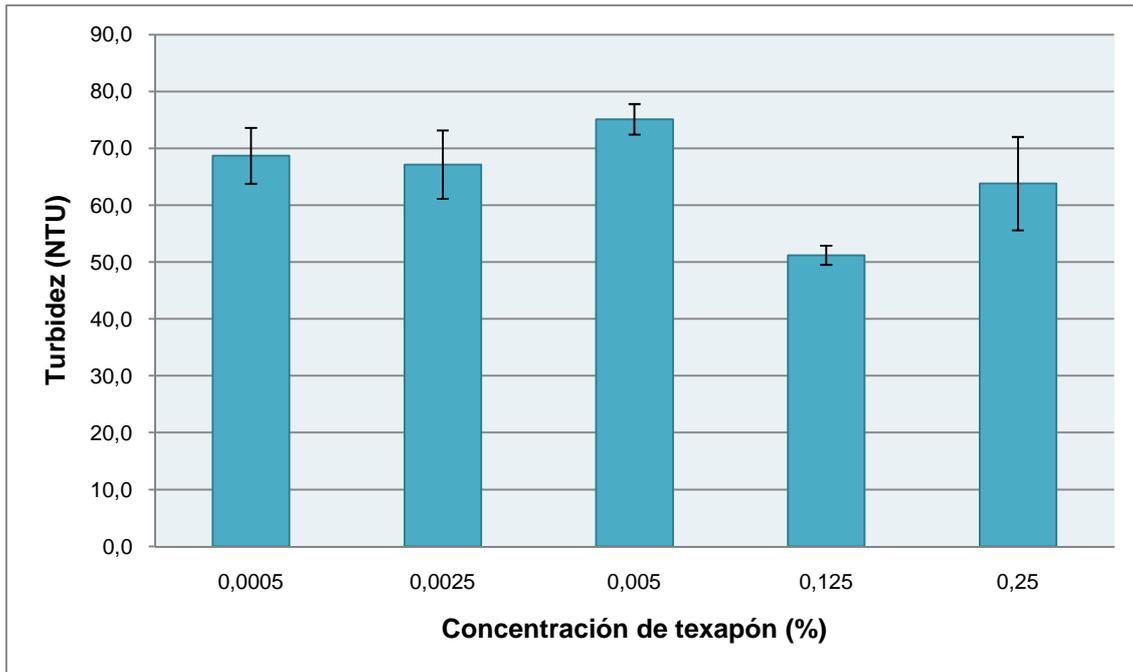
**a. Determinación de la concentración de los agentes de lavado**

Se determinaron las concentraciones de texapón y NaOH más adecuadas.

**Determinación de la concentración de texapón**

En la Figura 34 y en Tabla 8 se puede observar que con los porcentajes de 0,0005; 0,0025, 0,005 y 0,25 se obtienen los valores más altos de turbidez, es decir, con estas concentraciones se produce la mayor eliminación de la contaminación del plástico, por lo que se podría emplear cualquiera de estas concentraciones.

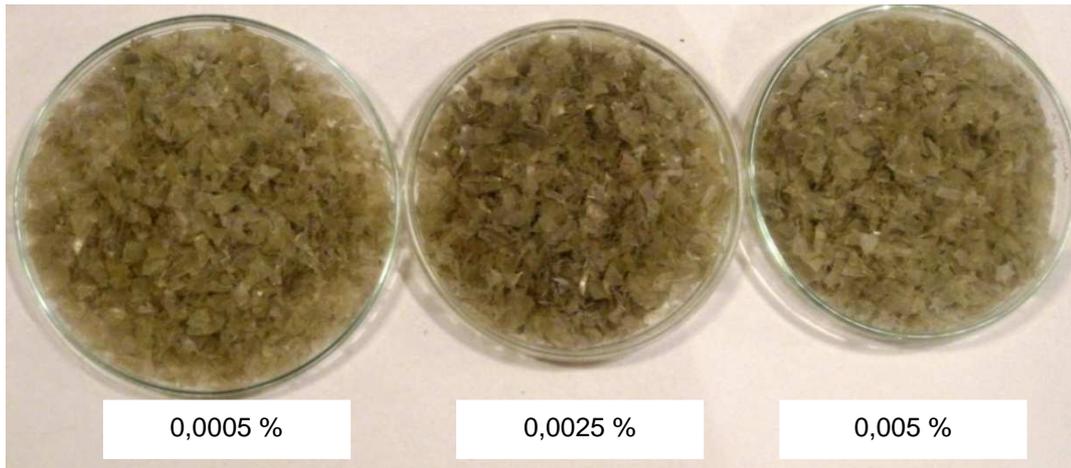
Otro de los parámetros evaluados fue la apariencia que presentaron los plásticos después del lavado, y como se puede ver en la Figura 35, no existen diferencias notorias entre ellos.



**Figura 34.** Valores de turbidez de las aguas de lavado de los cinco porcentajes de texapón empleados, evaluados en un tiempo de 30 min

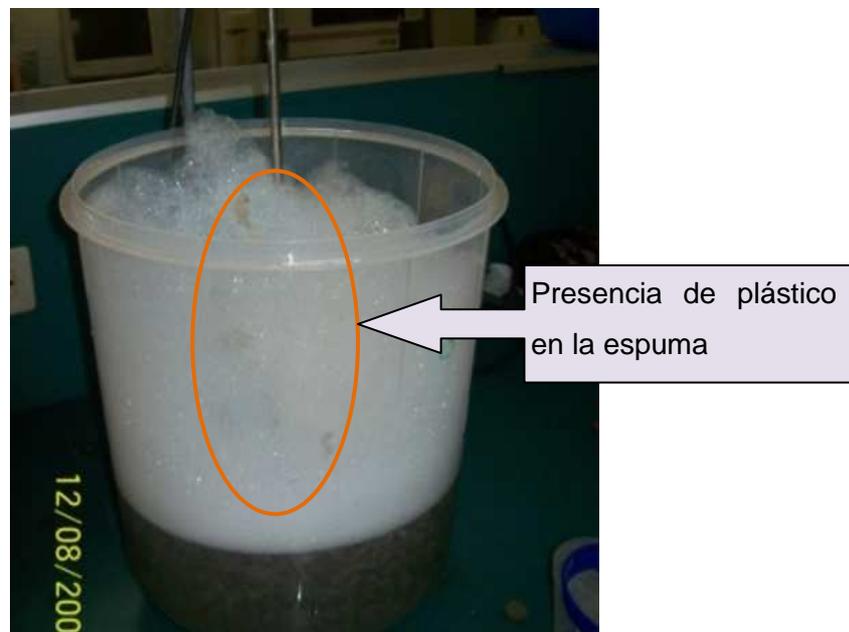
**Tabla 8.** Valores de turbidez a diferentes concentraciones de texapón

Muestras	Texapón %	Tiempo (min)	Turbidez(NTU)		Promedio turbidez (NTU)	Desviación Estándar
T1 y T2	0,0005	30	65,20	72,15	68,70	4,91
T3 y T4	0,0025	30	62,90	71,40	67,20	6,01
T5 y T6	0,005	30	77,00	73,20	75,10	2,69
T7 y T8	0,125	30	50,00	52,40	51,20	1,70
T9 y T10	0,25	30	58,00	69,60	63,80	8,20



**Figura 35.** Plásticos lavados con distintos porcentajes de texapón en un tiempo de 30 min

Además, es importante mencionar que con los porcentajes de 0,125 y 0,250 se tuvieron problemas al trabajar, pues se produjeron pérdidas del plástico y la formación excesiva de espuma como se muestra en la Figura 36.



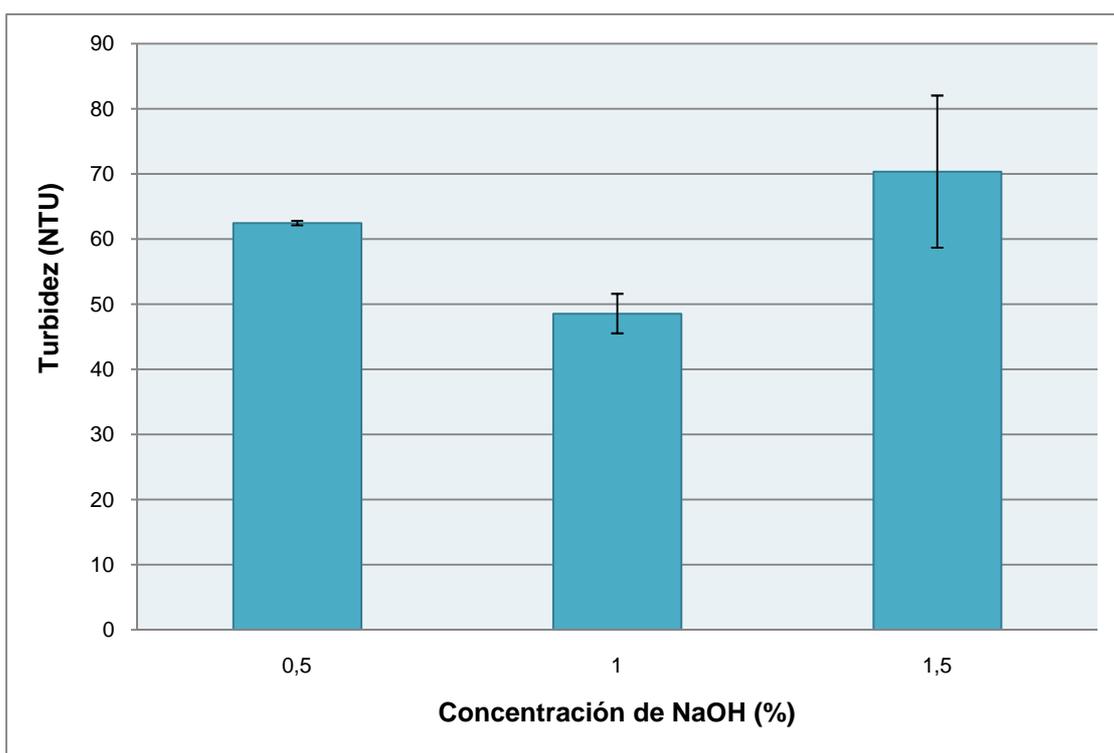
**Figura 36.** Foto del sistema de lavado al trabajar con 0,25 % de texapón.

Estas razones permitieron seleccionar a 0,0005 %, como la concentración de texapón más adecuada.

### Determinación de la concentración de NaOH

En la Figura 37 y en Tabla 9, se puede observar que con los porcentajes de 0,5 y 1,5 se obtiene los mayores valores de turbidez, por lo que se podría trabajar con cualquiera de estas concentraciones.

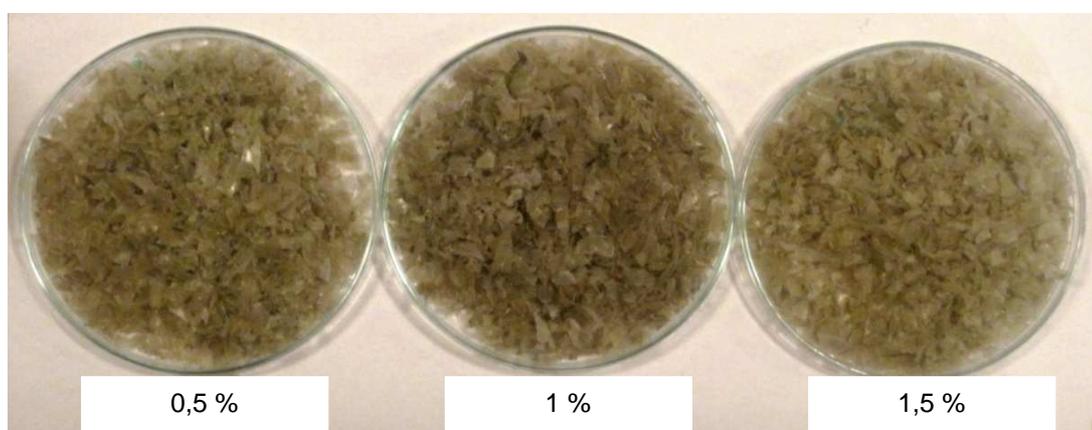
En la Figura 38., se muestran los plásticos lavados con estas concentraciones, pero al comparar su apariencia no se perciben diferencias notorias entre ellos, por otra parte es importante señalar que al trabajar con 1,5% de NaOH se generaron vapores irritantes, es por esto que se seleccionó a 0,5 como el porcentaje más adecuado de NaOH.



**Figura 37.** Valores de turbidez de las aguas de lavado de los tres porcentajes de NaOH empleados, evaluados en un tiempo de 30 min

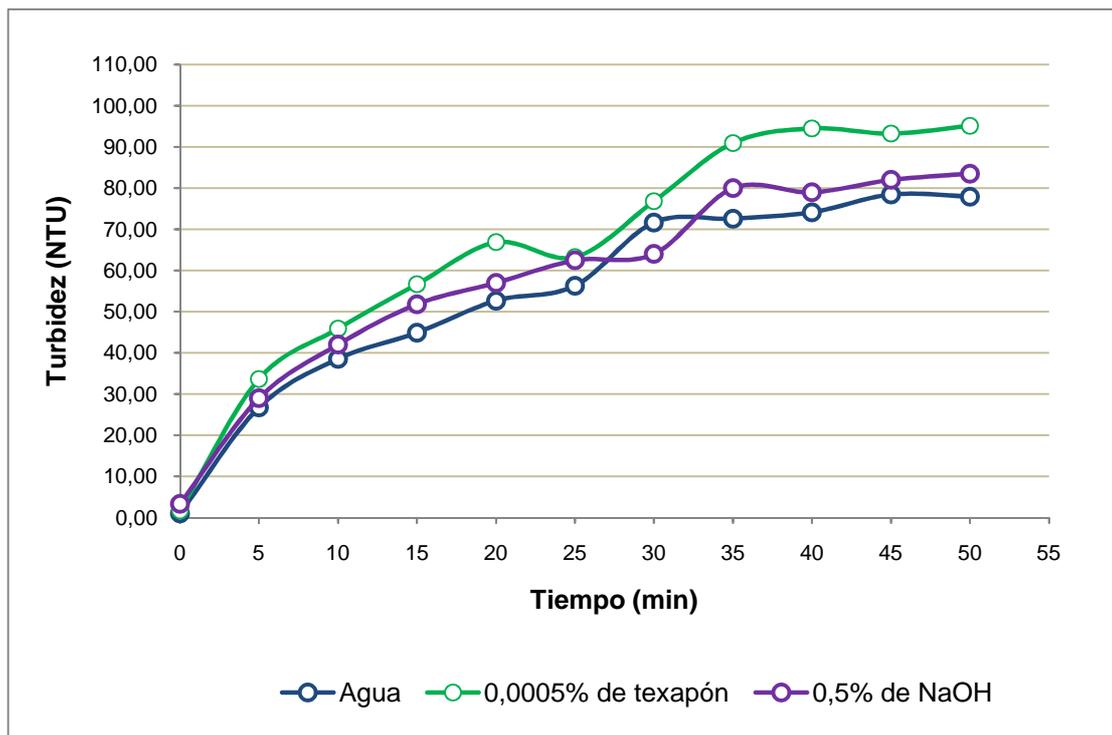
**Tabla 9.** Valores de turbidez a diferentes concentraciones de NaOH

Muestras	NaOH %	Tiempo (min)	Turbidez(NTU)		Promedio turbidez (NTU)	Desviación Estándar
S1 y S2	0,5	30	62,70	62,20	64,00	0,35
S3 y S4	1	30	46,40	50,70	49,00	3,04
S5 y S6	1,5	30	62,10	78,60	70,00	11,67

**Figura 38.** Plásticos lavados con distintos porcentajes de NaOH en un tiempo de 30 min

#### b. Determinación de los tiempos de lavado

En la Figura 39, se muestran los valores de turbidez registrados en un tiempo de lavado de 50 min. Al analizar la gráfica obtenida se puede observar que en un tiempo determinado la turbidez deja de variar en forma significativa, presentando a partir de este un comportamiento asintótico, y se alcanza un tipo de equilibrio, donde la cantidad de contaminante extraído es poco significativa. Los valores de turbidez obtenidos en cada prueba, se muestran en el ANEXO 1.

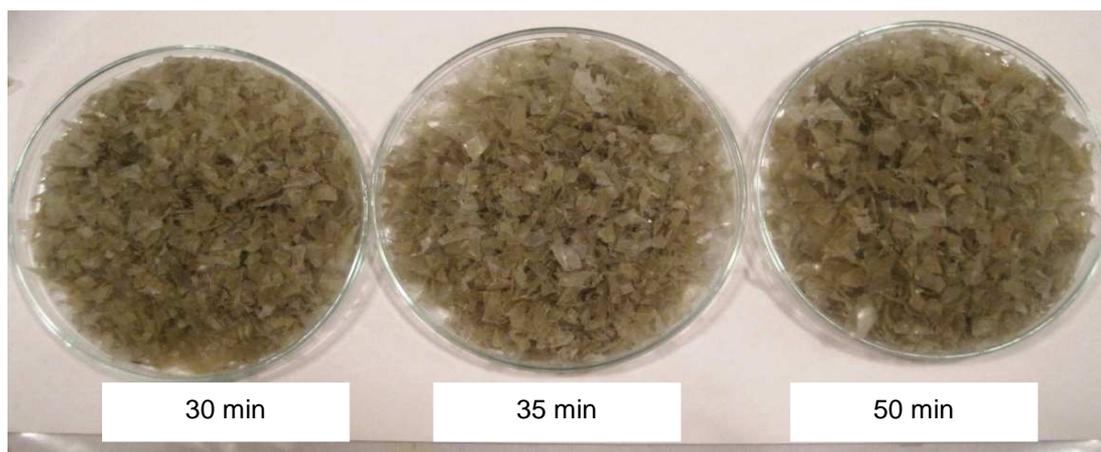


**Figura 39.** Valores de turbidez de las aguas de lavado de los tres sistemas, empleando los porcentajes más adecuados de NaOH y texapón.

Para seleccionar el tiempo más adecuado de lavado, además de evaluar la turbidez de sus aguas, se comparó la apariencia final de los plásticos lavados a distintos tiempos.

En la Figura 40, se puede ver la apariencia que presentan los plásticos a partir del tiempo en donde las medidas de turbidez no varían significativamente, estos plásticos fueron lavados únicamente con agua, y no existen diferencias notorias entre ellos.

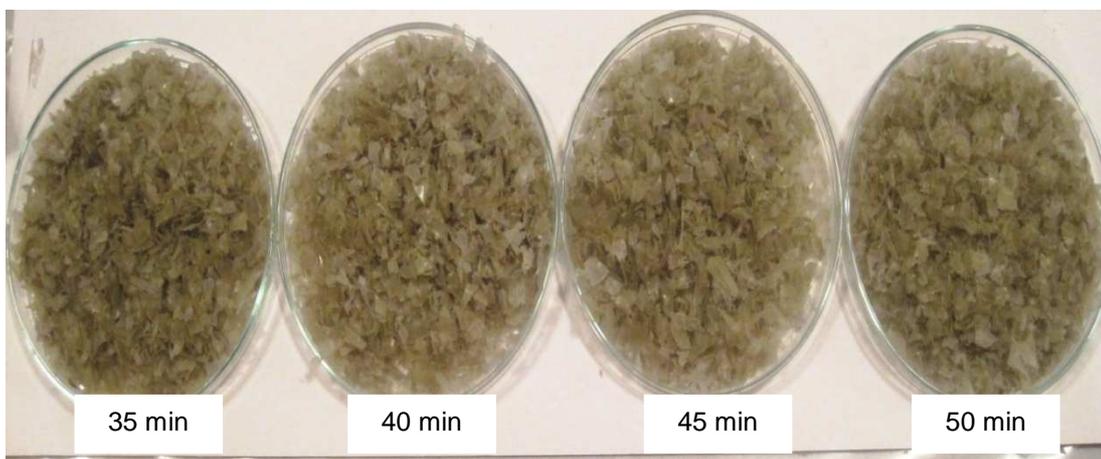
Es por ello que, que se determinó que para este sistema de lavado, se requiere de un tiempo de 30 min.



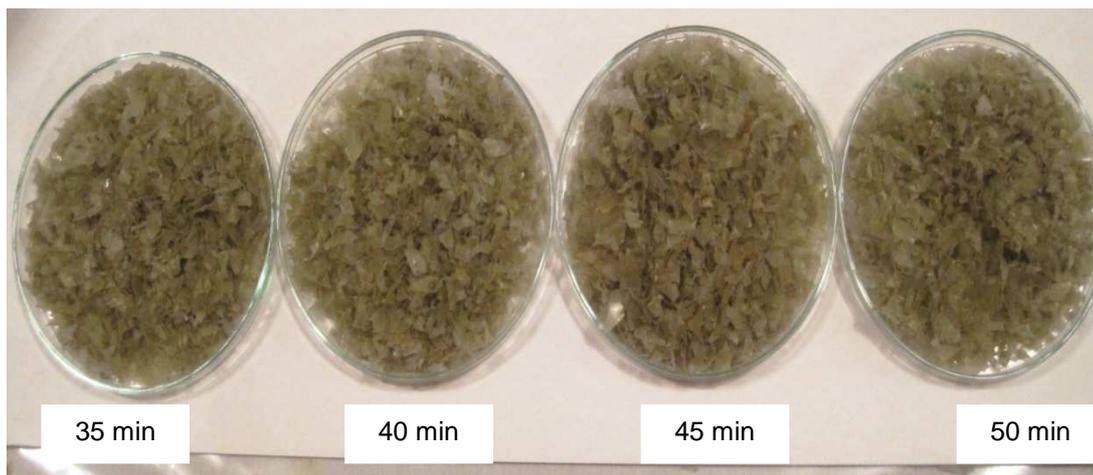
**Figura 40.** Plásticos lavados a distintos tiempos al emplear únicamente agua

Para los sistemas: agua- texapón y agua-NaOH, se empleó la misma metodología descrita anteriormente.

La apariencia final de los plásticos con estos sistemas de lavado, se muestran a continuación.



**Figura 41.** Plásticos lavados a distintos tiempos al emplear el sistema agua-texapón



**Figura 42.** Plásticos lavados a distintos tiempos al emplear el sistema agua-NaOH

Se determinó un tiempo de lavado de 35 min para cada uno de estos sistemas.

### c. Determinación del número de enjuagues

Como el objetivo del enjuague, fue el remover el agente de limpieza residual, este proceso se lo llevó a cabo para los sistemas de lavado: agua-texapón y agua-NaOH.

#### *Sistema: Agua- Texapón*

En la Tabla 10 y en la Tabla 11, los valores de turbidez, muestran que en el primer enjuague, se extrae, la mayor cantidad de detergente.

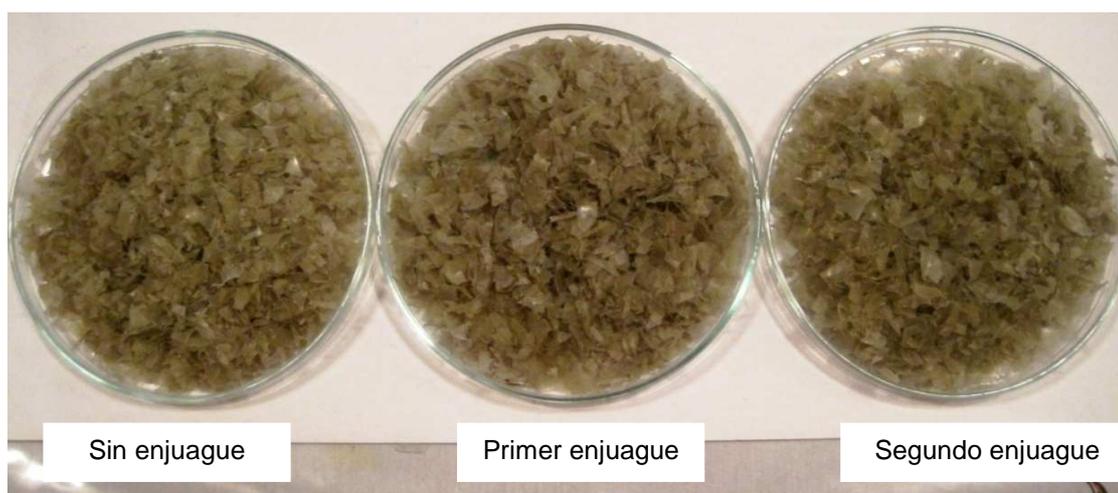
Las Figuras 43 y 44, muestran la apariencia de los plásticos después de la etapa de enjuague y la apariencia de las aguas de lavado y enjuagues realizados, éstas muestran que un segundo enjuague no justifica el tiempo de agitación y el consumo de agua. Por tanto se determinó que únicamente se requiere de un enjuague de 10 min.

**Tabla 10.** Determinación de tiempo y número de enjuagues para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-texapón

<b>Primer enjuague</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
	<b>Muestra M3*</b>	<b>Muestra M4*</b>	
0	1,20	1,28	1,24
5	33,60	25,70	29,65
10	39,50	40,70	40,10

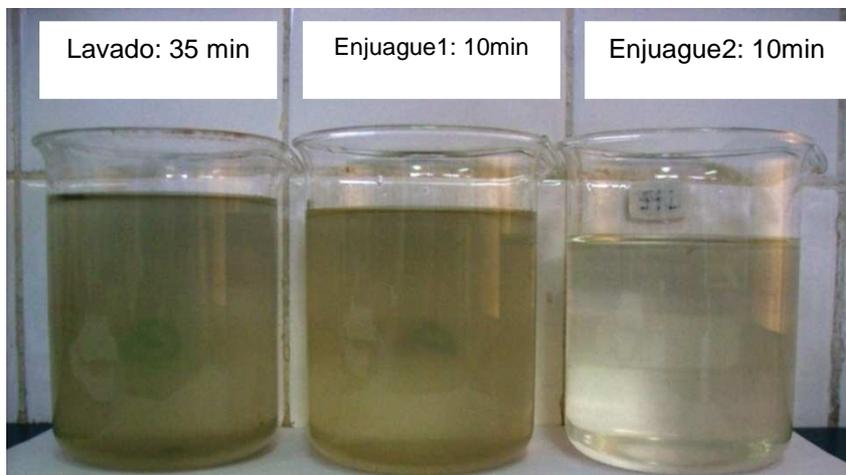
**Tabla 11.** Determinación de tiempo y número de enjuagues para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-texapón

<b>Segundo enjuague</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
	<b>Muestra M3*</b>	<b>Muestra M4*</b>	
0	2,740	2,60	2,67
5	12,40	11,90	12,15
10	12,89	12,71	12,80



**Figura 43.** Comparación de las plásticos antes y después del método de enjuague al emplear el sistema agua-texapón

En la siguiente figura se muestran las aguas de lavado, y de enjuague obtenidas para este sistema.



**Figura 44.** Aguas obtenidas al emplear el sistema: agua-texapón

**Sistema: Agua- NaOH**

Se empleó el mismo método de enjuague del sistema agua-texapón, los valores de turbidez obtenidos se muestran en la Tabla 12 y en la Tabla 13, en ellos se puede ver, que en el primer enjuague se produce la mayor remoción del agente residual.

**Tabla 12.** Determinación de tiempo y número de enjuagues para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-NaOH

<b>Primer enjuague</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
	<b>Muestra M5*</b>	<b>Muestra M6*</b>	
0	1,26	1,31	1,29
5	49,54	48,83	49,19
10	59,17	57,79	58,48

**Tabla 13.** Determinación de tiempo y número de enjuagues para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-NaOH

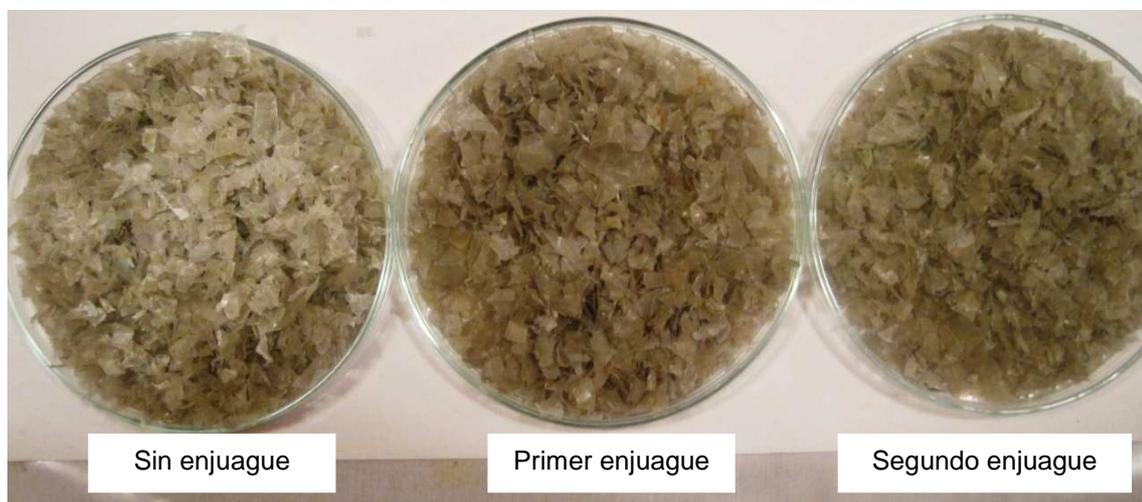
<b>Segundo enjuague</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
	<b>Muestra M5*</b>	<b>Muestra M6*</b>	
0	1,35	1,43	1,39
5	10,12	8,28	9,20
10	13,11	11,57	12,34

En la Figura 45, se puede ver una muestra del plástico antes y después del primer enjuague, en la primera de ellas, se puede observar una capa blanquecina adherida a ella, la cual puede deberse a los sólidos totales disueltos del agua y de los iones: hidróxilo, bicarbonato y carbonato, que se disocian en el agua y que son muy ávidos de reaccionar con la humedad como con el dióxido de carbono del medio ambiente, este comportamiento se vió favorecido por el pH básico empleado. Esta capa desapareció después del primer enjuague.



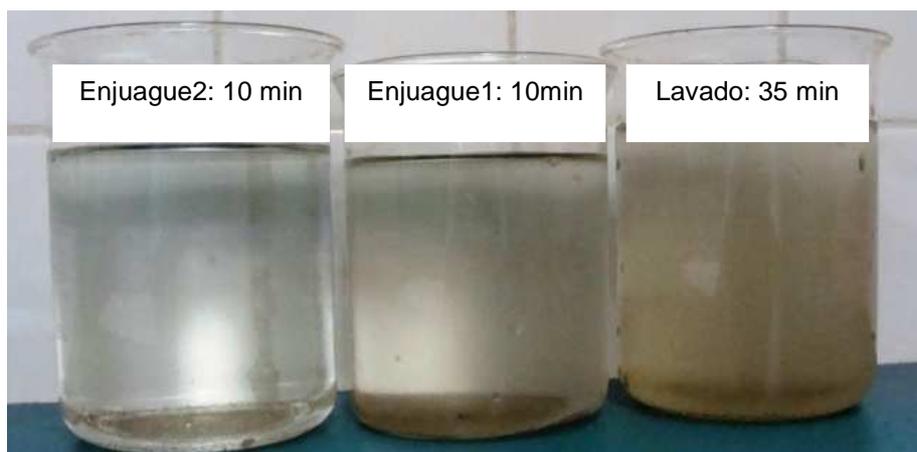
**Figura 45.** Comparación de los plásticos antes y después del primer enjuague al emplear el sistema agua-NaOH

En la siguiente figura, no se observan diferencias apreciables en la apariencia de los plásticos después del primer y del segundo enjuague.



**Figura 46.** Comparación de las plásticos antes y después del método de enjuague al emplear el sistema: agua-NaOH

En la Figura 47, se observan las aguas de lavado y de los distintos enjuagues realizados.



**Figura 47.** Aguas obtenidas al emplear el sistema: agua-NaOH

Al observar los resultados obtenidos en las Figuras 46 y 47, se decidió que se requiere únicamente de un enjuague de 10 min.

**d. Muestras lavadas empleando los tres sistemas de lavado**

Los plásticos que se muestran a continuación han sido lavados con las condiciones más adecuadas determinadas a escala de laboratorio y como se puede observar, no se evidencian diferencias notorias entre ellos.

Por lo que si se desearía emplear esta configuración como un proceso de lavado, se debería emplear como sistema de lavado únicamente agua, pues el tiempo de lavado es menor (30 min), además no se requiere de un enjuague final, y porque el proceso para tratar las aguas de lavado para su recirculación o su descarga es más sencillo y menos costoso que al emplear los otros sistemas.



**Figura 48.** Plásticos lavados empleando los tres sistemas de lavado

Al comparar el medio de lavado escogido para esta configuración, se tiene que éste coincide con uno de los trabajos anteriormente realizados (Izurieta y Placencia, 2004).

El tiempo de lavado determinado en el actual trabajo fue 15 min menor a el trabajo anterior, esto puede deberse a que el grado de contaminación y nivel de

deterioro que presentan los residuos plásticos provenientes de invernaderos, es muy variable, y que las condiciones de lavado (especialmente tiempo de lavado) son propias de cada material a lavar y de la calidad del material que se desee obtener.

Además en el trabajo anterior, se requiere de un enjuague adicional de 10 min al emplear agua, en este trabajo se consideró realizar esta etapa únicamente para eliminar el agente de limpieza residual.

### 3.1.2.2 Configuración 2

Para esta configuración de lavado, se determinaron las siguientes condiciones de operación:

**Tabla 14.** Condiciones de operación para la etapa de lavado de la configuración 2

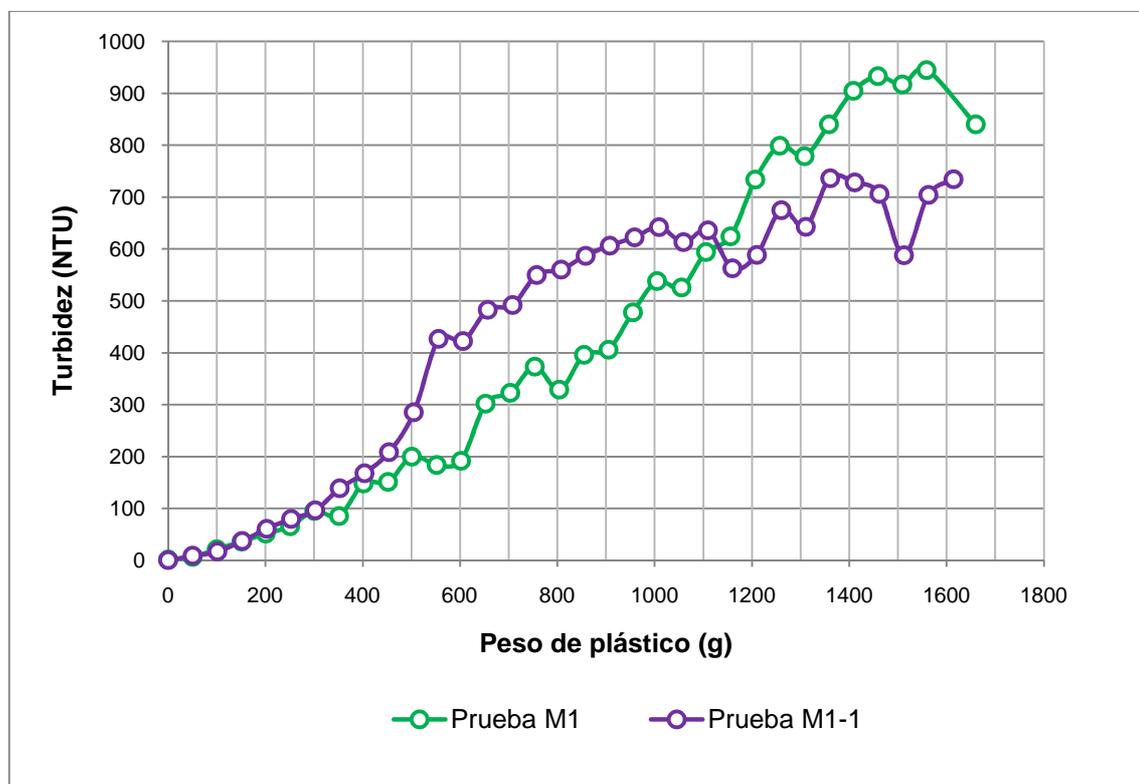
Sistema de lavado	Tiempo de lavado (min)	Concentración de los agentes de limpieza	Número de enjuagues	Tiempo del enjuague final (min)
Agua	25	-	-	-
Agua-texapón	25	0,0005	1	10
Agua-NaOH	35	0,5	1	10

#### a. Prelavado

Se emplearon 2 l de agua en cada prueba y se procesaron entre 1,6 a 1,7 kg de residuos plásticos. En ellas, se alcanzaron valores de turbidez entre 700 y 800 NTU.

En la Figura 49, se pueden ver incrementos y disminuciones notorias en los valores de turbidez.

Estas variaciones pueden deberse a las interacciones que se producen entre las partículas removidas (en su mayoría tierra), las cuales tienden a unirse unas con otras hasta alcanzar un tamaño suficiente que provoca la precipitación de las mismas, haciendo que el valor de la turbidez disminuya y aumente conforme a la suciedad removida.



**Figura 49.** Turbidez del agua de prelavado en función de la cantidad de plástico

En la siguiente figura, se muestra una comparación entre el agua limpia y el agua al final de la etapa de prelavado.



**Figura 50.** Agua de prelavado comparada con agua limpia

Es importante mencionar que en esta etapa, se obtuvieron altos valores de turbidez, debido a la cantidad de material prelavado, que superó en 32 veces a la relación de lavado determinada a escala de laboratorio, pues en esta etapa lo único que se buscó fue humedecer al plástico y “suavizar” sus contaminantes, para facilitar su etapa posterior de lavado.

El problema que se generó en estas pruebas, fue la reducción del volumen final del agua de prelavado, la cual fue aproximadamente del 50%.

Este problema podría evitarse al emplear un sistema, que permita recuperar el agua contenida en los plásticos, por ejemplo se podrían usar rejillas o mallas adaptadas a recipientes, donde los plásticos pudieran reposar segundos antes de que sean alimentados en el molino de cuchillas, el agua recuperada deberá ser reintroducida en la etapa de prelavado.

Otra solución a este problema podría ser el empleo de un molino lavador, el cual se muestra en la Figura 2, y como se indicó en la parte bibliográfica consta de una entrada de agua, la cual proporciona al plástico la humedad necesaria.

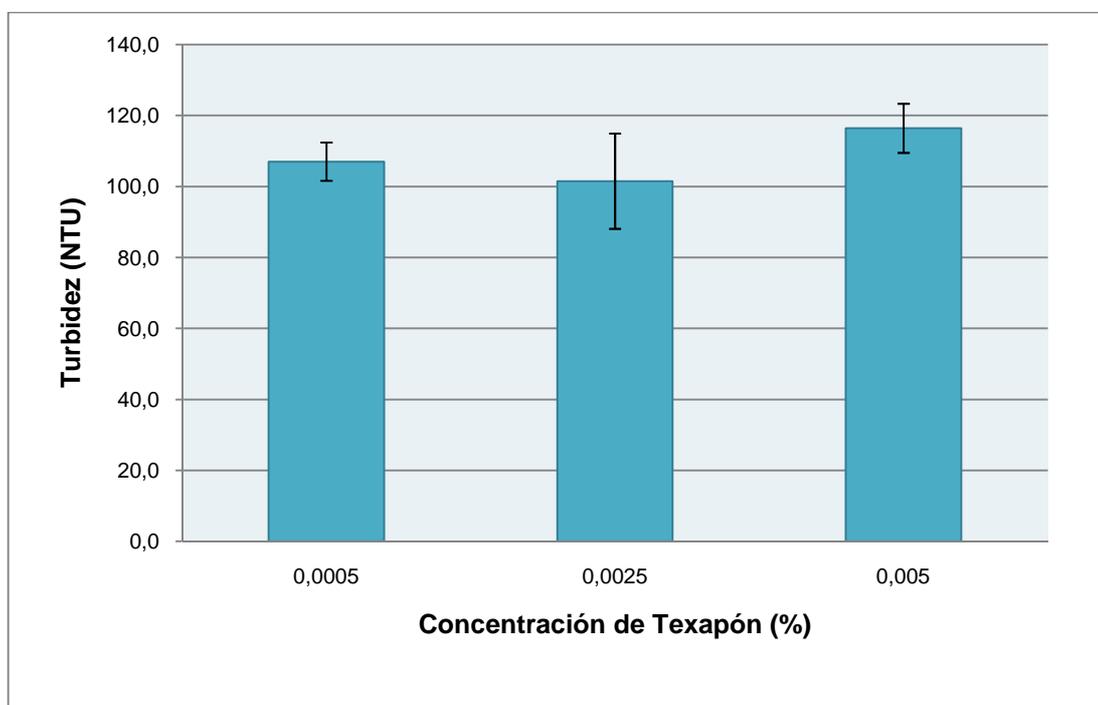
**b. Determinación de las concentraciones de los agentes de lavado**

A continuación se muestran las concentraciones de texapón y NaOH determinadas como las más adecuadas.

- *Determinación de la concentración de texapón*

Los porcentajes de texapón que se emplearon fueron: 0,0005; 0,0025, 0,0050. No se emplearon las demás porcentajes (0,125 y 0,5), debido a que en las pruebas realizadas en la configuración 1, se produjeron pérdidas del plástico y la formación excesiva de espuma.

En la Figura 51 y en la Tabla 15, se muestran las medidas de turbidez obtenidas en un tiempo de lavado de 30 min, en ellos se puede ver que al emplear los tres porcentajes de texapón, se tienen resultados similares, por lo que se podría trabajar con cualquiera de ellos.

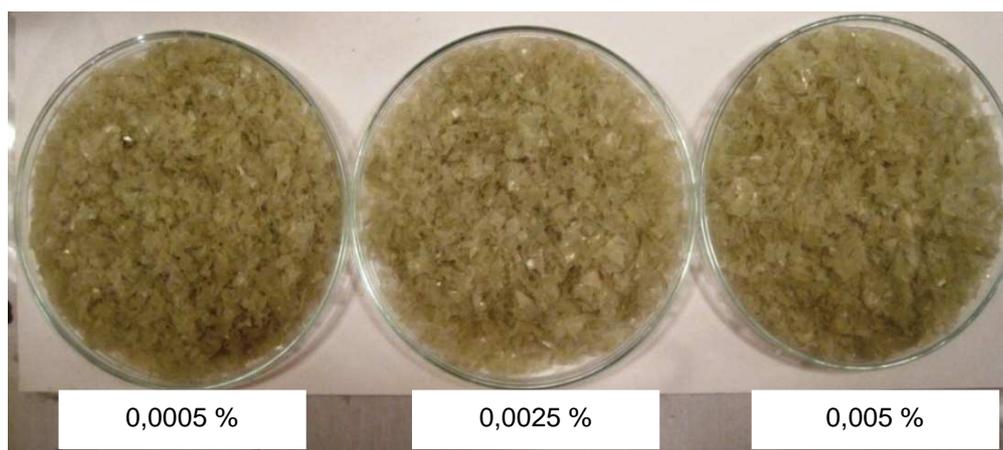


**Figura 51.** Valores de turbidez de las aguas de lavado de los tres porcentajes de texapón empleados, evaluados en un tiempo de 30 min

**Tabla 15.** Valores de turbidez a diferentes concentraciones de texapón

Muestra	Texapón %	Tiempo (min)	Turbidez (NTU)		Promedio turbidez (NTU)	Desviación estándar
T11 y T12	0,0005	30	103,20	110,80	107,00	5,37
T13 y T14	0,0025	30	111,00	92,00	101,50	13,44
T15 y T16	0,005	30	121,30	111,50	116,40	6,93

En la Figura 52, se puede observar la apariencia de los plásticos lavados a estas concentraciones, y en ellos no se aprecian diferencias notorias.

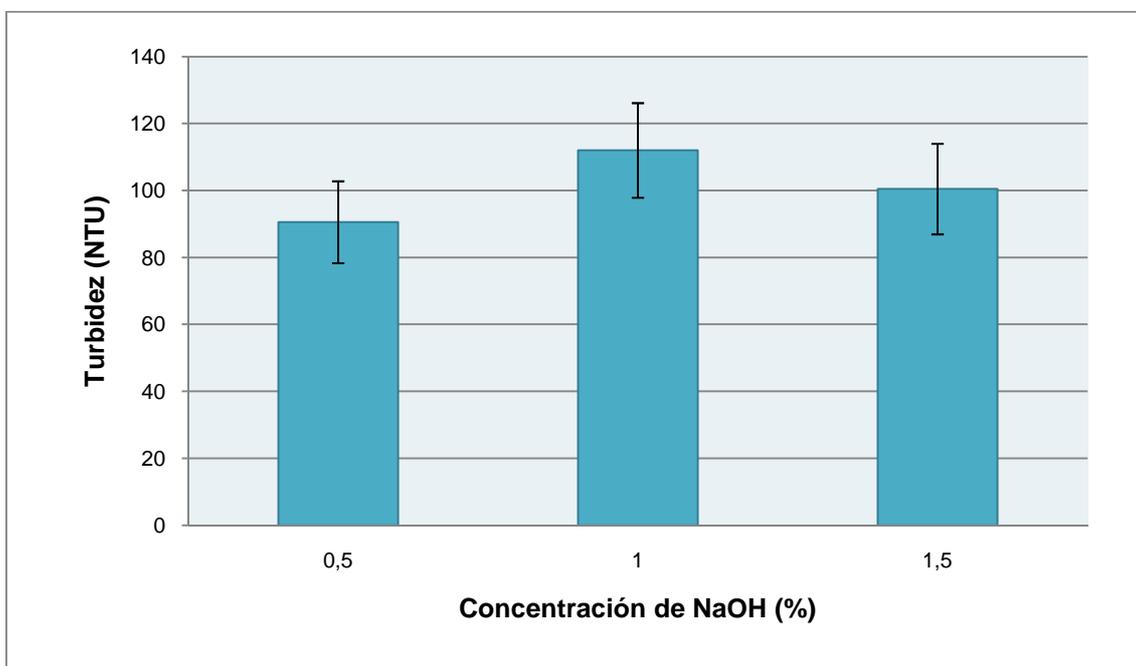
**Figura 52.** Plásticos lavados con distintos porcentajes de texapón en un tiempo de 30 min

Al evaluar estos dos parámetros, se seleccionó a 0,0005 como el porcentaje de texapón más adecuado, por ser la menor concentración empleada.

- *Determinación de la concentración de NaOH*

En la Figura 53 y en Tabla 16, se indican los valores de turbidez obtenidos después de un tiempo de lavado de 30 min, en ellos se puede observar que es

posible emplear cualquiera de los porcentajes de NaOH, pues con las tres concentraciones se obtienen valores similares de turbidez.

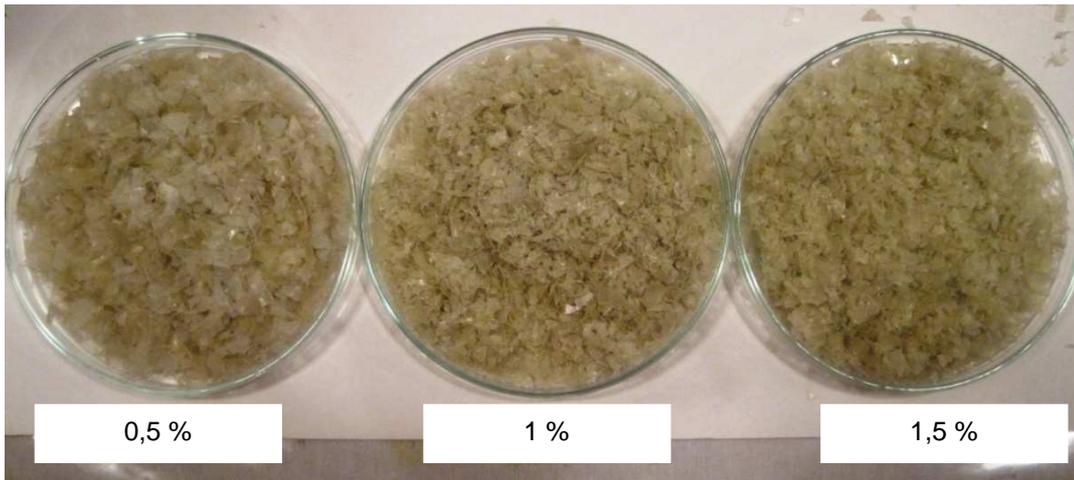


**Figura 53.** Valores de turbidez de las aguas de lavado de los tres porcentajes de NaOH empleados, evaluados en un tiempo de 30 min

**Tabla 16.** Valores de turbidez a diferentes concentraciones de NaOH

Muestras	NaOH %	Tiempo (min)	Turbidez (NTU)		Promedio turbidez (NTU)	Desviación estándar
S7 y S8	0,50	30	99,20	81,90	90,55	12,23
S9 y S10	1,00	30	122,00	102,00	112,00	14,14
S11 y S12	1,50	30	110,00	90,90	100,45	13,51

En la Figura 54, se compara la apariencia de los plásticos lavados con los tres porcentajes de NaOH utilizados, en ella, no se observan diferencias apreciables.



**Figura 54.** Plásticos lavados con distintos porcentajes de NaOH en un tiempo de 30 min

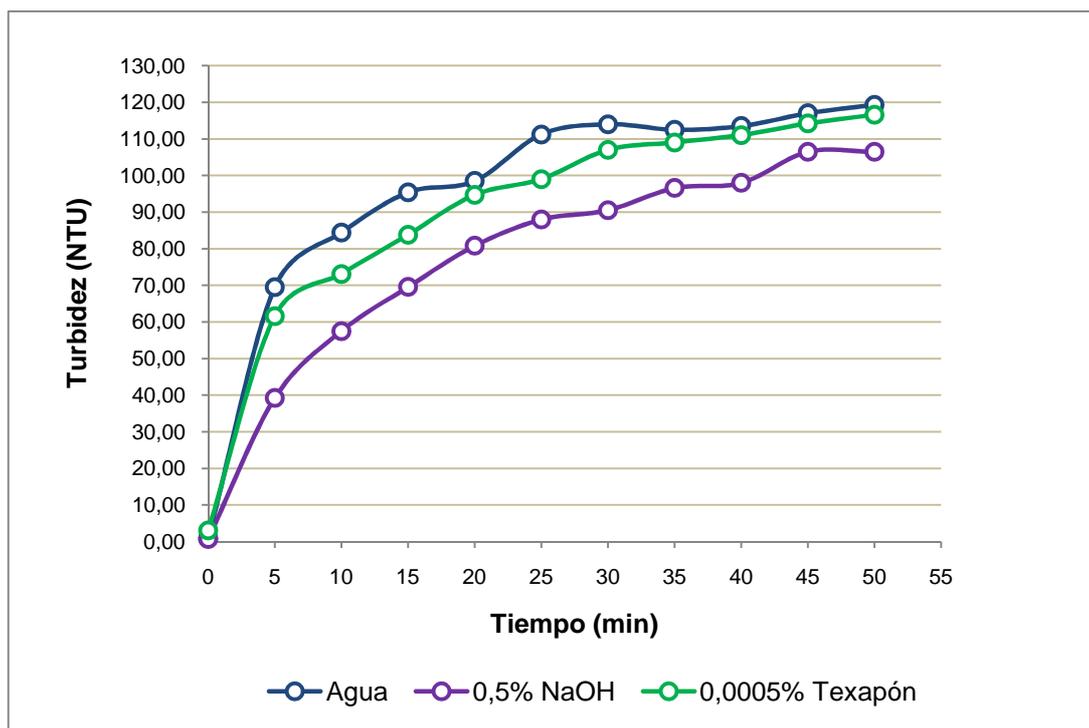
Estas pruebas permitieron seleccionar a 0,5 % de NaOH como el más adecuado, por ser el menor de ellos, y debido a que al trabajar con 1,5% al igual que en la configuración 1, se tuvieron problemas con los vapores irritantes generados.

#### c. Determinación de los tiempos de lavado

En la Figura 55, se muestran los valores de turbidez medidos cada 5 min en un tiempo total de lavado de 50 min.

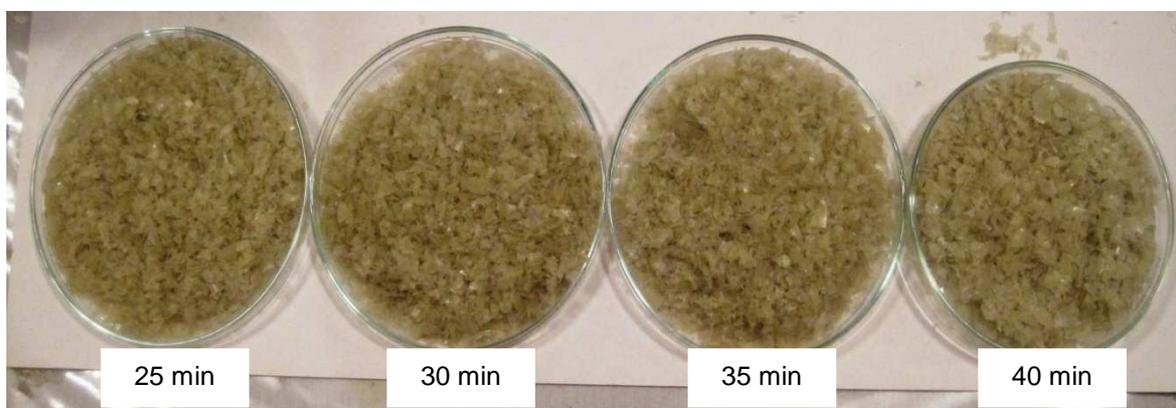
Al analizar la gráfica obtenida se puede ver que en un tiempo determinado, no se producen cambios significativos en la turbidez de las aguas de cada sistema. Los valores de turbidez para cada sistema de lavado se muestran en el ANEXO 2.

Al igual que en la configuración 1, para la selección de los tiempos más adecuados de lavado, además de evaluar la turbidez de sus aguas, se comparó la apariencia final de los plásticos lavados.

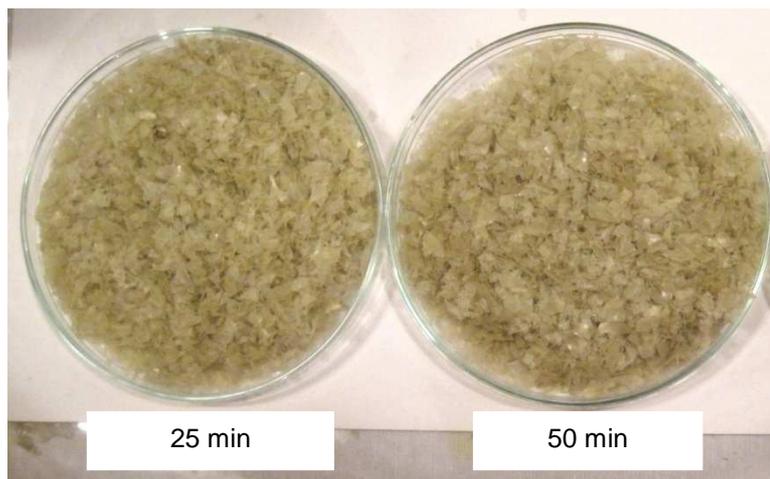


**Figura 55.** Valores de turbidez de las aguas de lavado de los tres sistemas, empleando los porcentajes más adecuados de NaOH y texapón

En las Figuras 56 y 57, se muestran la apariencia que presentan los plásticos a partir del tiempo en donde las medidas de turbidez no variaron de forma significativa, el sistema de lavado empleado fue agua, esta figura muestra que entre ellos no se perciben diferencias.



**Figura 56.** Plásticos lavados a distintos tiempos al emplear únicamente agua



**Figura 57.** Plásticos lavados a emplear un tiempo de 25 y 50 min (sistema: agua)

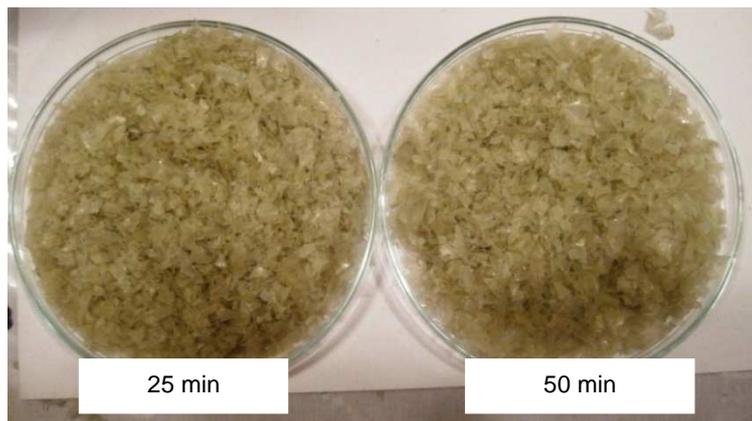
Se determinó un tiempo de lavado de 25 min al emplear únicamente agua.

Para los sistemas: agua- texapón y agua-NaOH, se empleó la misma metodología descrita anteriormente, determinándose 25 min de lavado para el sistema texapón-agua y 35 min para el sistema agua- NaOH.

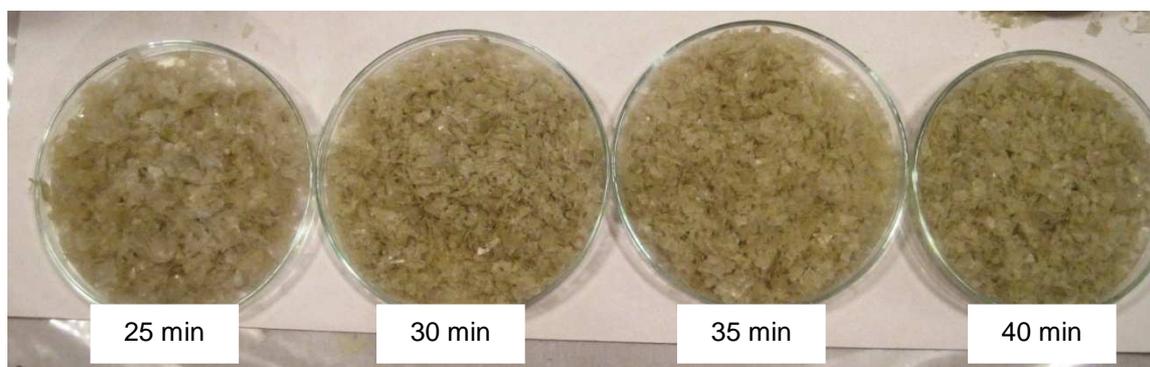
La apariencia final de los plásticos con estos sistemas de lavado, se muestran a continuación.



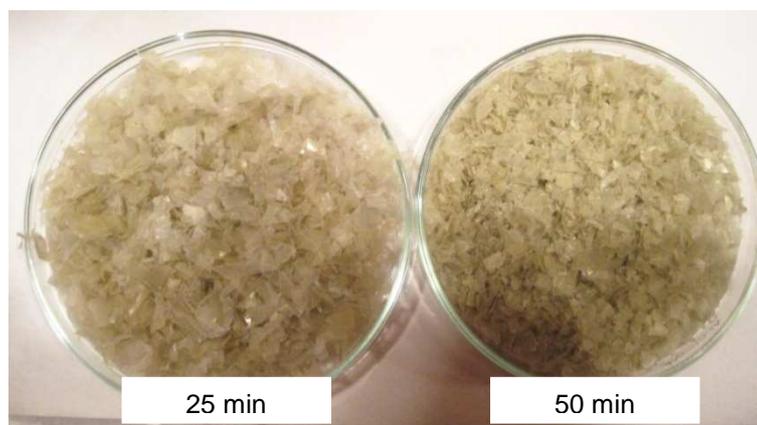
**Figura 58.** Plásticos lavados a distintos tiempos al emplear el sistema: agua-texapón



**Figura 59.** Plásticos lavados a 25 y 50 min al emplear el sistema: agua-texapón



**Figura 60.** Plásticos lavados a 25 y 50 min, al emplear el sistema: agua-NaOH)



**Figura 61.** Plásticos lavados a distintos tiempos al emplear el sistema: agua-NaOH

**d. Determinación del número de enjuagues para los sistemas texapón y NaOH**

*Sistema: Agua- Texapón*

En la Tabla 17 y en la Tabla 18, se puede ver que en el primer enjuague se da la mayor remoción del agente de lavado residual, pues en el segundo enjuague, la cantidad removida es mínima (11,32 NTU).

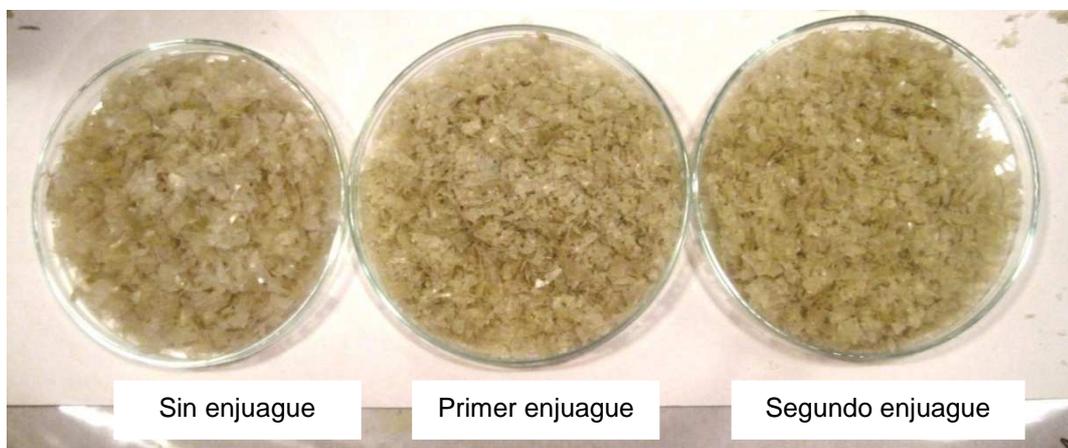
**Tabla 17.** Determinación de tiempo y número de enjuagues para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-texapón

<b>Primer enjuague</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
	<b>Muestra LT*</b>	<b>Muestra LT1*</b>	
0	2,70	3,70	3,20
5	24,70	38,30	31,50
10	31,70	54,30	43,00

**Tabla 18.** Determinación de tiempo y número de enjuagues para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-texapón

<b>Segundo enjuague</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
	<b>Muestra LT*</b>	<b>Muestra LT1*</b>	
0	2,76	3,12	2,94
5	7,35	9,55	8,45
10	12,45	10,19	11,32

En la Figura 62, se puede ver que no se aprecian diferencias notorias en la apariencia de los plásticos después de los enjuagues respectivos, por lo cual se determinó se debe emplear una sola etapa de enjuague de 10 min.



**Figura 62.** Comparación de las plásticos antes y después del método de enjuague al emplear el sistema agua-texapón

**Sistema: Agua- NaOH**

Se empleó el mismo método de enjuague del sistema agua-texapón, los valores de turbidez obtenidos se muestran en la Tabla 21 y en la Tabla 20, en ellos se puede ver, que en el primer enjuague se produce la mayor remoción del agente residual.

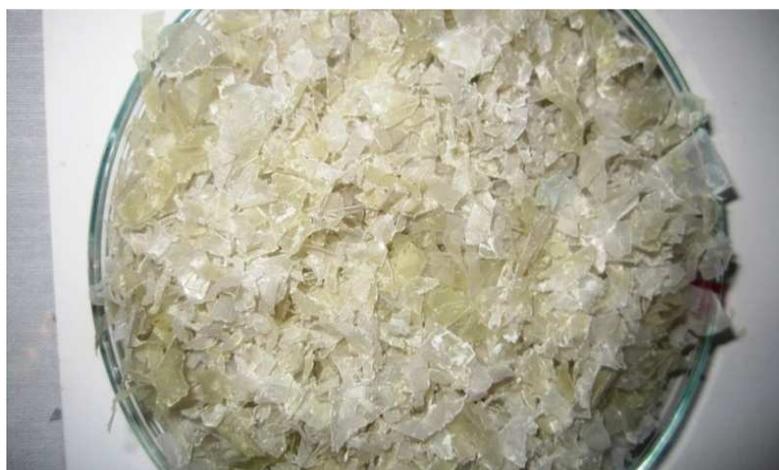
**Tabla 19.** Determinación del tiempo y número de enjuagues para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-NaOH

<b>Primer enjuague</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
	<b>Muestra LS*</b>	<b>Muestra LS1*</b>	
0	1,18	1,25	1,22
5	24,70	24,30	24,50
10	44,13	42,09	43,11

**Tabla 20.** Determinación del tiempo y número de enjuagues enjuagues para el lavado de plásticos de invernadero para el sistema: agua-NaOH

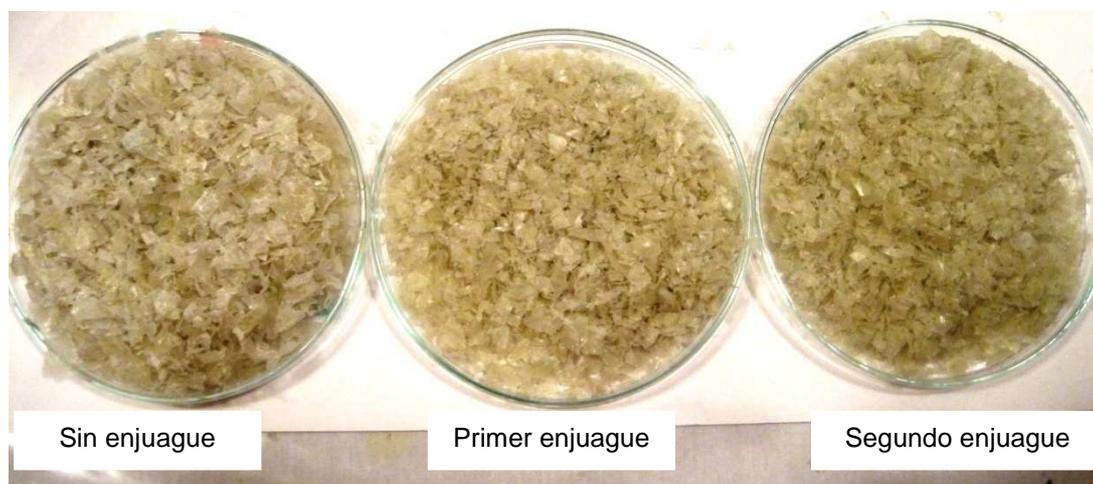
<b>Segundo enjuague</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
	<b>Muestra LS*</b>	<b>Muestra LS*</b>	
0	1,73	1,98	1,86
5	8,21	6,99	7,60
10	12,76	13,06	12,91

En la Figura 63, se puede ver una muestra del plástico después de la etapa de lavado con NaOH, esta presentó una capa blanca en la superficie de los plásticos, la cual fue eliminada en el primer enjuague.



**Figura 63.** Plástico obtenido después de la etapa de lavado con el sistema: agua-NaOH

Por los valores de turbidez obtenidos, por la apariencia de los plásticos mostrados en la Figura 64, se decidió que se requiere únicamente de un enjuague de 10 min.



**Figura 64.** Comparación de las plásticos antes y después del método de enjuague al emplear el sistema agua-NaOH

**e. Muestras lavadas empleando los tres sistemas de lavado**



**Figura 65.** Plásticos empleando los tres sistemas de lavado, empleando un tiempo de lavado de 25 min.



**Figura 66.** Aguas de lavado de los tres sistemas para un tiempo de lavado de 25 min.

### 3.1.2.3 Elección del mejor método de lavado

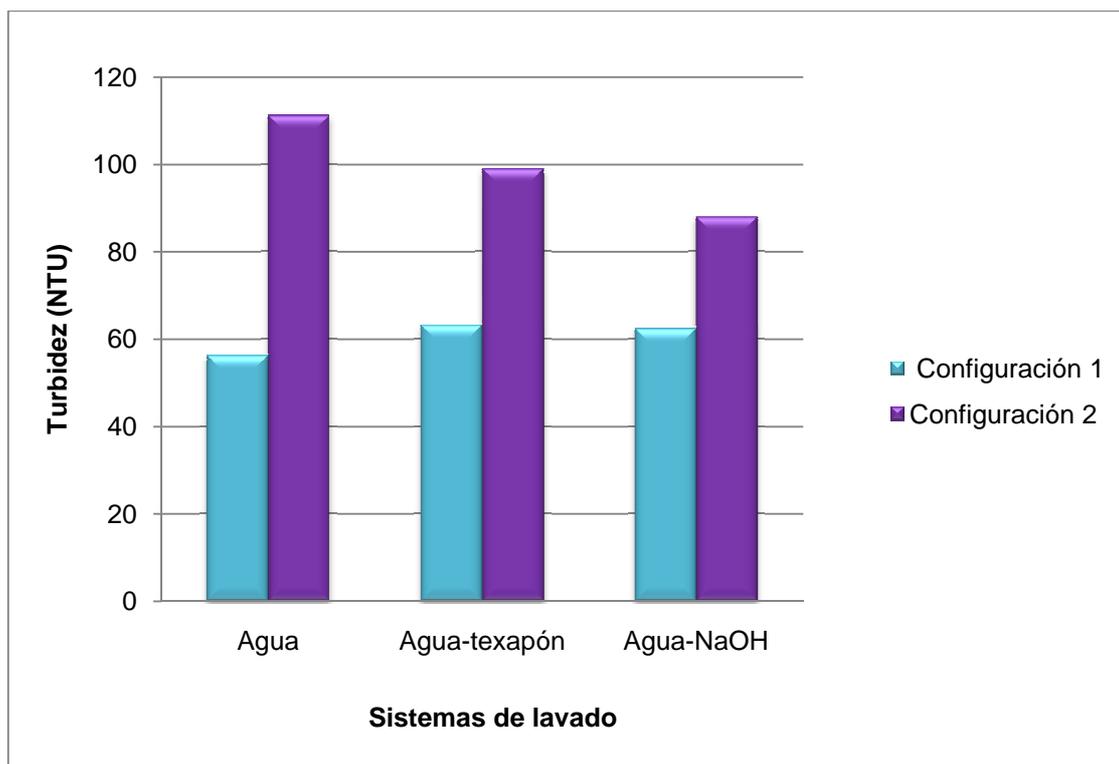
Para seleccionar la mejor alternativa de lavado, se compararon los siguientes parámetros: la turbidez de los sistemas empleados en un tiempo de lavado de 25 min y la apariencia final de los plásticos, las cuales se pueden observar en las Figuras 67, 68 y 69, respectivamente.

Los resultados obtenidos, permitieron descartar a la configuración 1, pues todos los valores de turbidez obtenidos en sus respectivas pruebas fueron excedidos por los de la configuración 2, además al evaluar la apariencia de los plásticos obtenidos en las dos configuraciones, se aprecia una diferencia notoria entre ellos, además la configuración 2, permitió conseguir menos tiempos de lavado para los sistemas: agua y agua-texapón.

Para seleccionar el mejor sistema de lavado, se empleó el mismo método de evaluación, en cuanto a la turbidez, se obtuvieron las mayores medidas de turbidez al trabajar únicamente con agua, y no se percibieron diferencias notorias en la apariencia final de los plásticos lavados con los diferentes sistemas, lo cual se evidencia en la Figura 65.

Además se consideró que al emplear los sistemas agua-texapón y agua-NaOH, el sistema de tratamiento de las aguas implica mayores costos.

Todas estas razones permitieron seleccionar al agua, como el sistema de lavado más adecuado.



**Figura 67.** Turbidez de las aguas de lavado de las configuraciones 1 y 2 empleando un tiempo de lavado de 25 min

**Tabla 21.** Valores de turbidez de las aguas, al emplear un tiempo de lavado de 25 min

Sistema de lavado	Tiempo (min)	Turbidez (NTU)	
		Configuración 1	Configuración 2
Agua	25	56,25	111,23
Agua – texapón	25	63,25	99,00
Agua - NaOH	25	62,45	88,00

La Figura 68 permite evidenciar claramente la diferencia de trabajar con las 2 configuraciones, generando la necesidad de realizar un proceso de prelavado antes del lavado.



**Figura 68.** Muestras lavadas con el sistema: agua empleando las configuraciones 1 y 2 para un tiempo del lavado de 25 min.

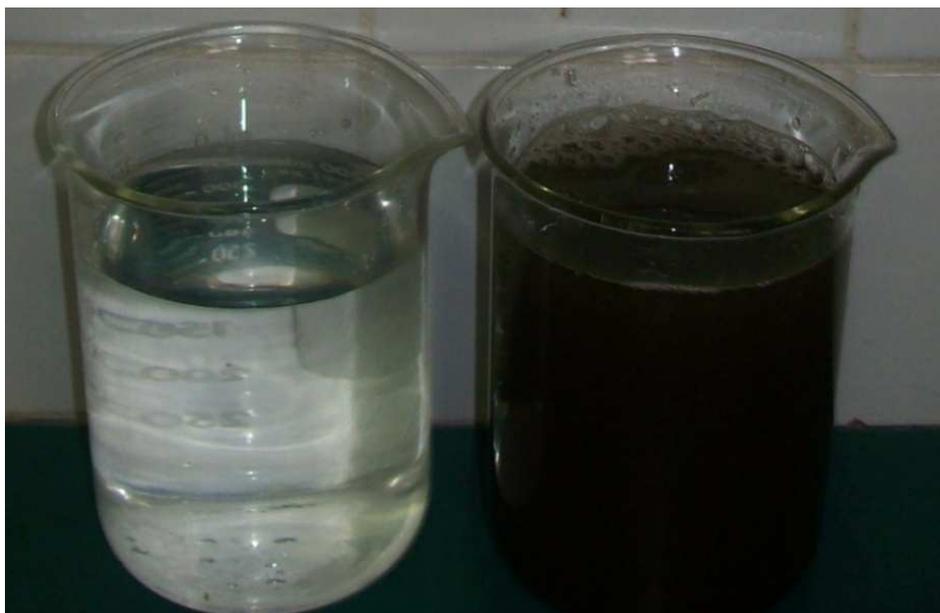


**Figura 69.** Comparación de las muestras lavadas con las dos configuraciones tomando como referencia el plástico sin ningún proceso de lavado.

Con el fin de determinar cuántas cargas de material se pueden lavar empleando la misma agua, se realizaron diferentes pruebas con el mejor método de lavado (configuración 2) y con las condiciones de operación, determinadas a escala laboratorio.

La máxima cantidad que se pudo lavar fue 300 g de plástico en 4 l de agua, es decir, se pueden realizar 3 lavados consecutivos (100 g de plástico en cada carga). Las mediciones de turbidez se muestran en la Tabla 37.

Se decidió no realizar más lavados, debido a que el agua presentó una apariencia desagradable (presencia de espuma y mal olor), lo cual se puede evidenciar en la Figura 70.



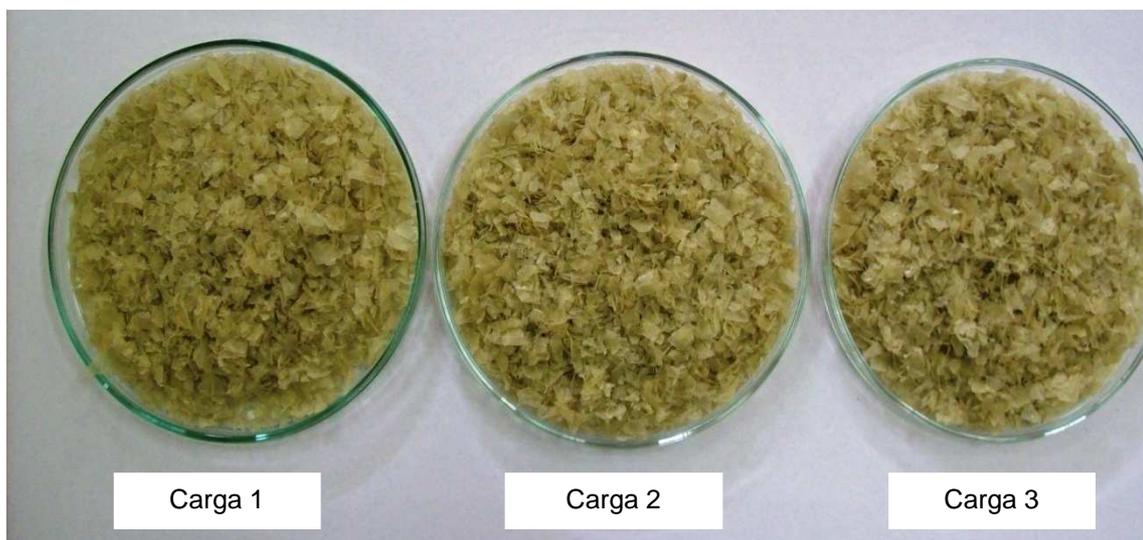
**Figura 70.** Agua de lavado comparada con agua limpia al realizar 3 cargas de material al emplear la misma agua de lavado para un tiempo de 25 min.

Para evaluar la efectividad de la etapa de lavado a estas condiciones, se realizaron enjuagues posteriores de 15 min, a cada una de las cargas, para evaluar si la cantidad de contaminantes que contenía aún el plástico después del lavado, era significativa.

En la Tabla 22, se puede observar que la cantidad de contaminantes removidos fue mínima, determinándose así que el agua de lavado empleada produce aún buenas condiciones de lavado, además en la Figura 71 no se percibieron diferencias en la apariencia de los plásticos obtenidos en las diferentes cargas.

**Tabla 22.** Determinación de la turbidez de las aguas del enjuague posterior a diferentes cargas de material

<b>Enjuague posterior al lavado</b>		
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Número de carga</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
15	1	5,36
15	2	4,92
15	3	6,50



**Figura 71.** Muestras lavadas con el método de lavado más adecuado de lavado (configuración 2), al trabajar con 3 cargas de material

## 3.2 RESULTADOS OBTENIDOS A MAYOR ESCALA

### 3.2.1 DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LAVADO

Se empleó la mejor alternativa de lavado determinada a escala de laboratorio (configuración 2), con el sistema de lavado más adecuado (agua). La relación determinada a mayor escala fue tres veces mayor a la cantidad de plástico determinada a escala de laboratorio.

**Tabla 23.** Parámetros de operación determinados a mayor escala

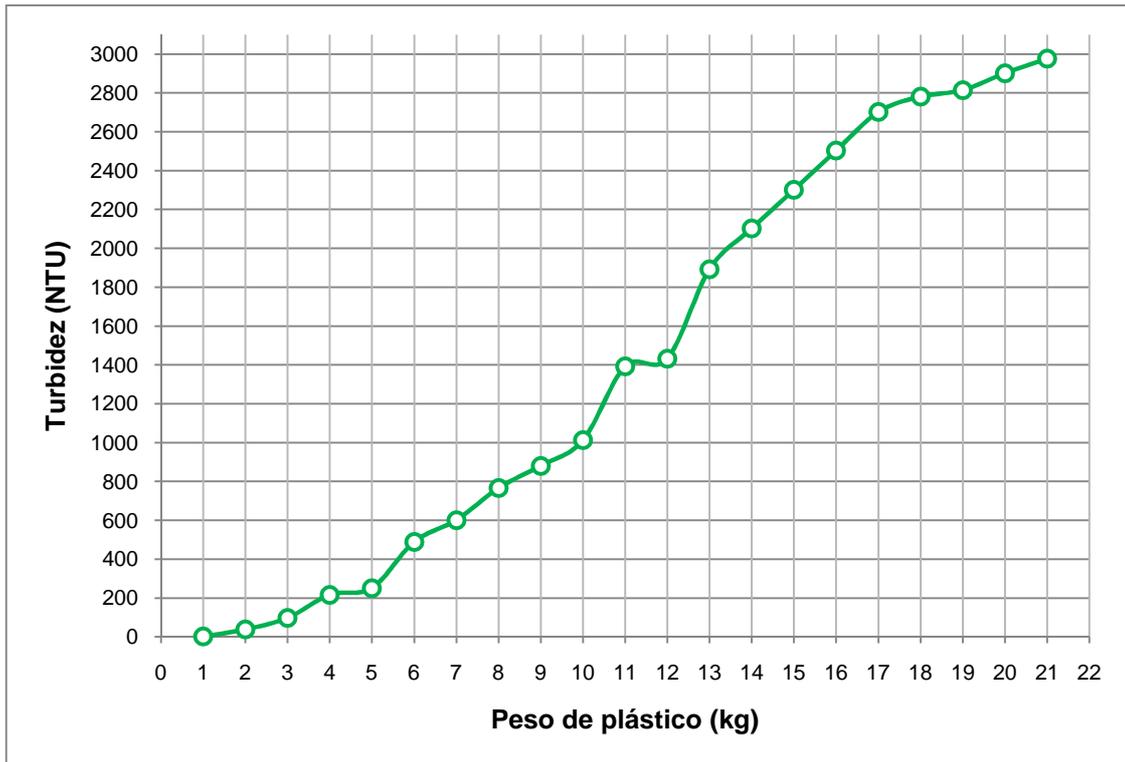
Parámetros de operación	Método de evaluación
Velocidad de agitación	142 rpm
Relación plástico - solución de lavado	7 kg de plástico en 90 l de agua
Sistema de lavado	agua
Tiempo de lavado	20 min

### 3.2.2 PRELAVADO

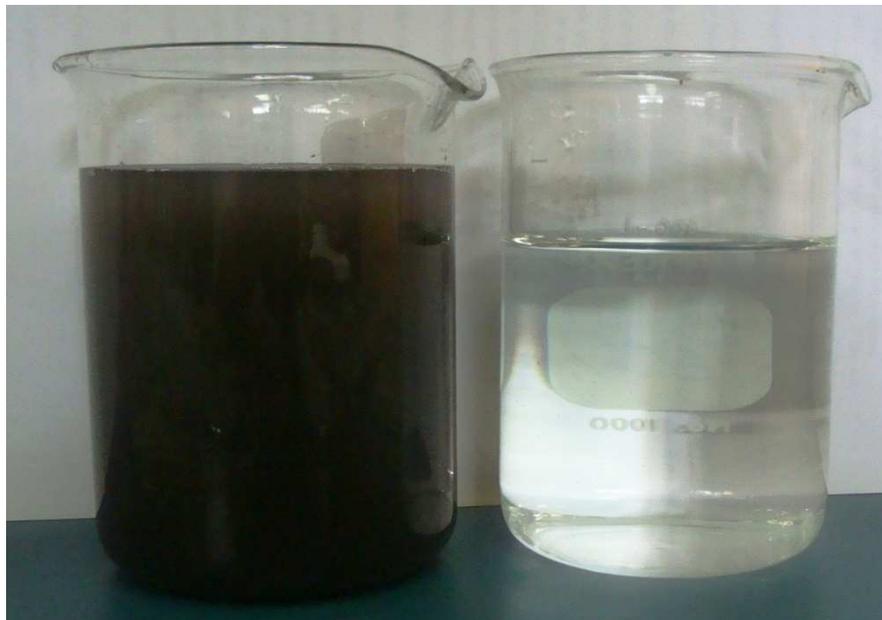
Se procesaron 21 kg de plástico en 30 l de agua. En ella, se alcanzó una turbidez de aproximadamente 3000 NTU (ver Figura 72).

Al igual que en las pruebas a escala de laboratorio, el problema que se generó, fue la reducción de aproximadamente el 60% del volumen del agua.

La Figura 72, muestra la remoción de la suciedad del plástico evaluada a través de los valores de turbidez y la Figura 73 muestra la apariencia del agua al final del prelavado.



**Figura 72.** Turbidez del agua de prelavado en función de la cantidad de plástico



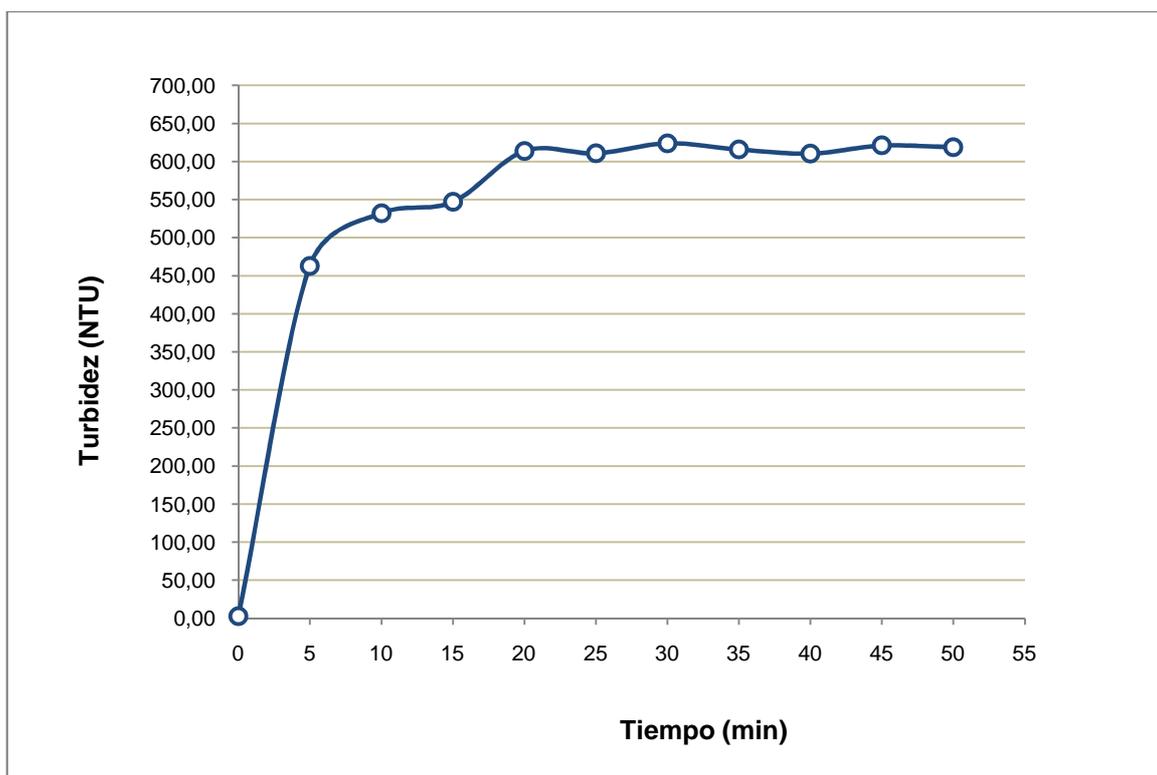
**Figura 73.** Agua de prelavado a mayor escala comparada con agua limpia.

### 3.2.3 LAVADO

#### Determinación del tiempo de lavado

La Figura 74, muestra los valores de turbidez del agua evaluada en un tiempo de 50 min, en ella se puede ver un aumento notorio de turbidez a los 5 min, para a los 20 min alcanzar un comportamiento que se lo puede definir como asintótico, es por ello que se seleccionó este tiempo como el más adecuado, pues a mayores tiempos la turbidez y la apariencia de las muestras lavadas (ver Figura 74) no experimentaron variaciones significativas, obteniéndose un tiempo de 5 min menos al determinado a escala de laboratorio.

Los valores de turbidez a detalle se muestran en el ANEXO 3.

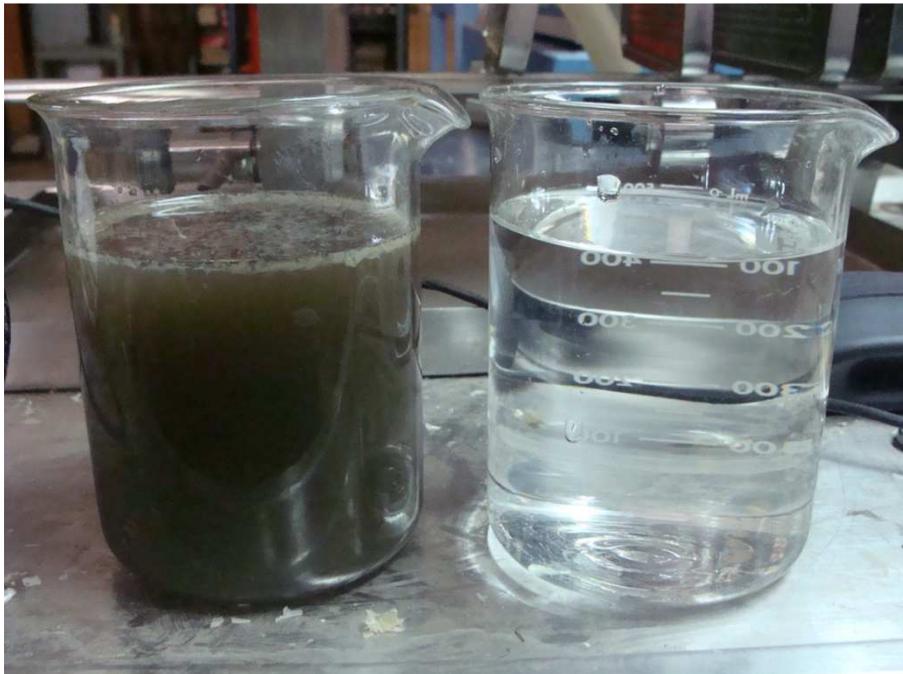


**Figura 74.** Valores de turbidez del agua de lavado a mayor escala empleando el sistema agua



**Figura 75.** Plásticos lavados a emplear un tiempo de 25 y 50 min

En la siguiente figura, se muestra una comparación entre el agua limpia y el agua al final de la etapa de lavado.



**Figura 76.** Agua de lavado a mayor escala comparada con agua limpia.

En la siguiente figura se puede observar los plásticos antes y después del proceso de lavado a mayor escala.



**Figura 77.** Comparación entre la muestra inicial (sin ningún proceso) y la muestra lavada a mayor escala.



**Figura 78.** Plástico lavado a mayor escala

Se evaluó la concentración de pesticidas en los efluentes de prelavado y lavado, además se realizaron tres lavados consecutivos (7 kg de plástico en cada carga) empleando el mismo medio de lavado (90 l de agua), con el fin de evaluar la concentración de pesticidas de los efluentes al aumentar la cantidad de plástico. Estos resultados se muestran posteriormente.

En la Figura 79, se puede observar que los plásticos lavados presentaron buena apariencia y no se percibieron diferencias notorias entre ellos, pero el agua resultante, presentó mal olor y la presencia de espuma.



**Figura 79.** Muestras lavadas con la configuración 2 al trabajar con 3 cargas de material



**Figura 80.** Agua de lavado comparada con agua limpia al realizar 3 cargas de material al emplear la misma agua de lavado para un tiempo de 20 min.

### **3.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES DESPÚES DEL PROCESO DE LAVADO**

#### **3.3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS A ESCALA DE LABORATORIO**

En la Tabla 25 se muestra el contenido de pesticidas de los efluentes de lavado de las pruebas a escala de laboratorio y piloto. Los resultados muestran que el lavado además de remover la suciedad del plástico, produce la remoción de pesticidas.

Además, se puede ver que en la configuración 2, la mayor remoción de agroquímicos se da en la etapa de prelavado, comprobándose de nuevo la importancia de esta etapa.

En forma general, se puede observar que el contenido de pesticidas presentes en las aguas de las diferentes pruebas (incluso en la prueba realizada para evaluar la concentración de pesticidas al aumentar la cantidad de plástico), se encuentran bajo los límites máximos permitidos por la norma técnica 213 y por la normativa japonesa de alimentos.

#### **3.3.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS A MAYOR ESCALA**

En el Centro de Investigaciones y Control Ambiental (CICAM), se analizaron las aguas obtenidas después del proceso de lavado a mayor escala, los parámetros evaluados se muestran en la Tabla 24.

Al analizar estos resultados, se encuentra que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos sedimentables y sólidos suspendidos se encuentran fuera de los límites máximos permisibles para la descarga según lo estipulado por la norma técnica 213, por lo que se hace necesario un tratamiento adecuado de las aguas para que pueden ser introducidas nuevamente en el proceso.

**Tabla 24.** Caracterización de las aguas de lavado a mayor escala

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>LÍMITE*</b>	<b>LÍMITE*</b>
			<b>Alcantarillado</b>	<b>Cauce de agua</b>
Aceites y grasas	mg/l	28,00	100	50
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/l	263,60	146	96
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	1770,00	292	168
pH	mg/l	6,89	5 a 9	5 a 9
Sólidos sedimentables	mg/l	12,50	10	1,0
Sólidos suspendidos	mg/l	6220,00	116	72
Sólidos totales	mg/l	6372,00	-	-

**Tabla 25.** Análisis de pesticidas de los efluentes de lavado de las pruebas a escala de laboratorio y piloto

TIPO DE PESTICIDA	Organoclorados				Organofosforados			Organonitrogenados				Carbamatos
	Chlorothalonil	Endosulfán I	Endosulfán II	Endosulfán Sulphate	Cadusafos	Diazinón	Chlorpirifos	Atrazine	Ametryn	Penconazole	Metalaxyl	Carbofuran
<b>Configuración 1</b>												
Agua (ppb)	0,03	0,06	0,12	0,02		0,07			0,02		0,42	
Agua-texapón (ppb)		1,70	1,20				0,38					
Agua- NaOH (ppb)		0,05	0,05									
<b>Configuración 2</b>												
Prelavado (ppb)	0,02	0,03	0,18	0,03		0,10	0,03				2,70	0,13
Agua (ppb)											0,57	
Agua- Texapón (ppb)						0,03					1,41	
Agua-NaOH (ppb)												
<b>Lavado a mayor escala</b>												
Prelavado (ppb)	0,08	0,13	0,30		0,21	0,88		0,11		0,08		3,30
Lavado (21 kg de plástico en 90 l de agua), (ppb)		0,26	0,19			0,14					0,34	
<b>NORMA JAPONESA DE ALIMENTOS</b>	<b>BRÓCOLI (ppb)</b>	<b>500</b>	<b>500</b>			<b>100</b>						
	<b>ESPINACA (ppb)</b>	<b>2</b>	<b>2</b>			<b>100</b>						
<b>NORMA TÉCNICA 213 (Dirección Metropolitana de Medio Ambiente) (ppb)</b>	<b>50</b>				<b>100</b>				-			

### **3.4 ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO PARA LOS EFLUENTES DEL PROCESO DE LAVADO**

Las tecnologías existentes para el tratamiento de este tipo de efluentes son sencillas y son diseñadas en función de las características del efluente.

Se propone una alternativa preliminar, que en caso de ser implementada, debe ser afinada con una ingeniería de detalle, la cual comprende el siguiente tratamiento:

Una etapa de pre tratamiento que conste de una eliminación de las partículas plásticas que se generan especialmente durante la molienda, para lo cual se recomienda el uso de mallas o rejillas menores a 3,3 mm, pues las partículas de plástico alcanzan este tamaño después de la etapa de trituración, según lo establecido en un trabajo previo de titulación (Terán A., 2010).

Para luego pasar por una etapa de sedimentación, en la que se eliminen las partículas suspendidas (en su mayoría tierra), mediante un proceso de floculación y coagulación con sulfato de aluminio, por ser el floculante más empleado a nivel industrial por su bajo costo y por su alta eficiencia.

En la floculación, se suele, aproximadamente eliminar un 65% de los sólidos en suspensión del agua residual, dado que en la composición de dichos sólidos hay materia orgánica, su eliminación lleva asociada una reducción de aproximadamente 35% de  $DBO_5$ .

Razón por la cual se recomienda realizar un nuevo análisis de  $DBO_5$  y DQO después del proceso de sedimentación para determinar si los procesos anteriores, produjeron la disminución de estos parámetros, de no ser así, se hace necesario realizar un tratamiento biológico, con un proceso aeróbico, pues este requiere de menos controles.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- Los objetivos planteados al inicio de este proyecto se han cumplido a cabalidad, pues se diseñó una etapa de lavado que permite obtener un plástico apto para los procesos posteriores de reciclaje.
- Se comprobó la importancia de una etapa de prelavado en los procesos de acondicionamiento del plástico debido a que ésta, facilita el proceso de lavado, remueve la mayor cantidad de pesticidas contenidos en el plástico y disminuye el tiempo de lavado.
- No se justificó el uso de texapón y NaOH en el lavado de los plásticos, pues se obtuvieron resultados similares al trabajar únicamente con agua, además si se desea trabajar con estos agentes se debería considerar el costo del tratamiento de las aguas residuales.
- El sistema de lavado determinado como el más adecuado (agua), coincide con uno de los trabajos previos.
- El tiempo de lavado utilizado en este trabajo fue menor al de los trabajos anteriores, lo que se le atribuye a la adición de una etapa de prelavado, la que como se mostró anteriormente, facilitó la etapa de lavado al “suavisar” la suciedad contenida en el plástico.
- En general, se puede observar que el contenido de pesticidas presentes en las aguas de las diferentes configuraciones, se encuentran bajo los límites máximos permitidos por la norma técnica 213 y por la normativa japonesa de alimentos, por lo cual, tratándose de aguas de descarga desde el punto de vista de los pesticidas se concluye que no existe problema alguno con su descarga.

- Debido a la gran cantidad de agua que se requiere en los procesos de lavado y a las características fisicoquímicas que éstas presentan, se hace necesario un tratamiento adecuado de las aguas para que puedan ser recirculadas. Este tratamiento podría constar de una etapa de pretratamiento que elimine partículas plásticas, seguido de un proceso de sedimentación mediante el uso de floculantes y de ser necesario un tratamiento biológico.
- No se consideró necesario un enjuague adicional al trabajar únicamente con agua, pues el objetivo del enjuague final fue el remover el agente de lavado residual.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda clasificar el plástico recolectado según su grado de contaminación, para que el proceso de prelavado se lo haga primero con los plásticos menos contaminados, y así evitar que estos se ensucien más al emplearse las aguas de prelavado de los plásticos más sucios.
- Este trabajo constituye una referencia de una alternativa de lavado, la cual puede ser modificada según el grado de limpieza que se desee obtener en los plásticos.
- Se recomienda realizar una etapa de prelavado, pues ésta además de permitir la obtención de un plástico apto para su procesamiento, permite alargar la vida útil de las cuchillas del molino.
- Se recomienda diseñar una planta de tratamiento de los efluentes generados en el proceso de lavado, que permita la recirculación del agua de los procesos.
- La alternativa propuesta para este tratamiento de aguas podría estar compuesta por un tratamiento primario (separación física, sedimentación: coagulación y floculación) en la que se eliminen la mayor cantidad de partículas suspendidas (en su mayoría tierra), para seguir con un tratamiento biológico según los valores de DBO y DQO que se tengan después de este tratamiento previo.
- Se recomienda que para determinar la máxima cantidad de plástico que se puede lavar en la misma agua, se tome como parámetro de referencia el contenido de pesticidas de los efluentes, (el agua deberá ser utilizada hasta que ésta alcance los límites máximos permisibles para la descarga).
- Para evaluar la calidad de los plásticos lavados, se deben secarlos y además de evaluarlos visualmente, se recomienda tocarlos con la yema de los dedos para determinar si estos no contienen tierra o algún otro contaminante.

- El grado de contaminación y nivel de deterioro que presentan los residuos plásticos provenientes de invernaderos, es muy variable, desde plásticos que están prácticamente limpios hasta plásticos llenos de tierra, grapas y muy deteriorados. Esto condiciona el nivel de efectividad de los procesos de tratamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Banco Central del Ecuador, 2005, “Análisis sobre el cultivo de flores (III Censo Nacional Agropecuario)”,  
[http://www.sica.gov.ec/censo/contenido/analisis\\_flores.pdf](http://www.sica.gov.ec/censo/contenido/analisis_flores.pdf), (Julio, 2009).
2. Brandrup, J., Bittner, M., Michaeli, W. y Menges G., 1996, “Recycling and Recovery of Plastics”, Hanser Publishers, Munich, Alemania, pp. 227, 236-237, 434-447.
3. Dirección Metropolitana de Medio Ambiente, 2008, “Listado de gestores de residuos calificados”,  
<http://www.dmambiental.comli.com/downloads/gestores.pdf> (Octubre, 2008).
4. Fernández, M., Orgaz F. y López J., 1995, “Aplicación de los plásticos en las tecnologías agrarias”, FIAPA-CEPLA, Almería, pp. 231-241.  
Guerrero, R., 1991, “Manual de tratamiento de aguas”, editorial Limusa, México D.F., pp. 79-92.
5. Goodship, V., 2007, “Introduction to Plastics Recycling”, segunda edición, Smithers Rapra, Shrewsbury, Reino Unido, pp. 50-55, 63-70, 112-119.
6. Illánez, F. y Torres, M., 2005, “Reciclaje Mecánico de plásticos de invernadero”, Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito, Ecuador, pp.119-130.
7. Izurieta, S. y Placencia, M., 2004, “Reciclaje Mecánico de filmes de polietileno en la ciudad de Quito”, Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito, Ecuador, pp.126-148.
8. Noticias del Medio Ambiente, 2010, “¿Cómo se deben reciclar los plásticos?”,  
<http://www.ecoticias.com/residuos-reciclaje/19233/Como-se-deben-reciclar-los-plasticos-medio-ambiente-medio-energias-renovables> (Febrero, 2010).

9. Ohe, W., 1995, "Reciclaje mecánico de plásticos postconsumo en Alemania", [http://www.plastico.com/tp/secciones/TP/ES/MAIN/IN/ARCHIVO/1995\\_2000/doc\\_4716\\_HTML.html?idDocumento=4716](http://www.plastico.com/tp/secciones/TP/ES/MAIN/IN/ARCHIVO/1995_2000/doc_4716_HTML.html?idDocumento=4716) (Junio, 2009).
10. PLASMAQ, 2010, "Equipos de reciclaje y de recuperación", [http://www.plasmaq.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=43:sistemas-de-reciclagem&catid=16:sistemas&Itemid=50&lang=es](http://www.plasmaq.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=43:sistemas-de-reciclagem&catid=16:sistemas&Itemid=50&lang=es) (Enero, 2010).
11. Reyes, P., "Diseño de un Sistema de Reciclaje de Plásticos Para ExtruPlast S.R.L", <http://www.univalle.edu/publicaciones/journal/journal1/pag2.htm> (Enero, 2010).
12. Salager, J., 1988, "Detergencia; fenómenos y mecanismos", [http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S331A\\_Detergencia.pdf](http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S331A_Detergencia.pdf) (Octubre, 2009).
13. Serrano, C., 2001 "Reciclaje de desperdicios plásticos mezclados", <http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/ateneo/dossier/plasticos/plasticocom/mezclados.htm> (Noviembre, 2009).
14. Sincero, A. y Sincero, G., 2003, "PHYSICAL-CHEMICAL TREATMENT OF WATER AND WASTEWATER", 1ra. Edición, IWA Publishing, Florida, Estados Unidos, pp.2-15, 2-22.
15. Tzankova, N., 2000, "Characterization and reprocessing of greenhouse films", Elsevier Science, Palermo, Italia, pp. 1-6.
16. Terán, A., 2010, "Diseño de los procesos de reducción de tamaño, secado y granceado de residuos plásticos provenientes de invernaderos", Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito, Ecuador, p. 49.

17. Tijera, E., 2010, “¿Por qué el reciclaje de plásticos es importante para el medio ambiente?”,[http://www.plastico.com/tp/secciones/TP/ES/MAIN/IN/ARTICULO\\_S/doc\\_74416\\_HTML.html?idDocumento=74416](http://www.plastico.com/tp/secciones/TP/ES/MAIN/IN/ARTICULO_S/doc_74416_HTML.html?idDocumento=74416) (Enero,2010).

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### DATOS DE TURBIDEZ OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE LAVADO EN LA CONFIGURACIÓN 1

**Tabla 26.** Valores de turbidez a diferentes tiempos de lavado, empleando el porcentaje más adecuado de texapón

<b>% de texapón: 0,0005</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
	<b>Muestra A3</b>	<b>Muestra A4</b>	
0	1,32	2,12	1,72
5	34,30	33,00	33,65
10	47,70	44,00	45,85
15	65,30	48,00	56,65
20	71,60	62,10	66,85
25	68,10	58,40	63,25
30	88,90	64,70	76,80
35	99,10	82,80	90,95
40	108,00	81,00	94,50
45	102,00	84,50	93,25
50	98,14	92,10	95,12

**Tabla 27.** Valores de turbidez a diferentes tiempos empleando el porcentaje más adecuado de NaOH

<b>% de NaOH: 0,5</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
	<b>Muestra Q</b>	<b>Muestra R</b>	
0	3,39	3,30	3,35
5	27,00	31,00	29,00
10	41,43	42,57	42,00

**Tabla 28.** Valores de turbidez a diferentes tiempos empleando el porcentaje más adecuado de NaOH, continuación

<b>% de NaOH: 0,5</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
	<b>Muestra Q</b>	<b>Muestra R</b>	
0	3,39	3,30	3,35
5	27,00	31,00	29,00
10	41,43	42,57	42,00
15	48,60	55,00	51,80
20	54,89	59,11	57,00
25	62,70	62,20	62,45
30	65,00	63,00	64,00
35	74,00	86,00	80,00
40	75,00	83,00	79,00
45	78,00	86,00	82,00
50	89,00	92,00	83,50

**Tabla 29.** Valores de turbidez a diferentes tiempos del lavado empleando como sistema de lavado: agua

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
	<b>Muestra A1</b>	<b>Muestra A2</b>	
0	1,12	0,82	0,97
5	27,80	25,60	26,70
10	40,30	36,70	38,50
15	47,20	42,50	44,85
20	54,90	50,40	52,65
25	57,90	54,60	56,25
30	70,86	72,43	71,65
35	71,61	73,50	72,56
40	72,40	75,80	74,10
45	73,70	83,10	78,40
50	76,14	79,68	77,91

## ANEXO 2

### DATOS DE TURBIDEZ OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE LAVADO EN LA CONFIGURACIÓN 2

**Tabla 30.** Valores de turbidez con diferentes cargas de material en la etapa de prelavado

<b>Muestra M1</b>		
<b>Peso del material (g)</b>	<b>Peso acumulado (g)</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
0	0	1,49
50,17	50,17	6,48
50	100,17	21,6
50,4	150,57	36,4
50	200,57	51,3
49,96	250,53	65,5
50,08	300,61	95,3
50,66	351,27	85,4
50,45	401,72	148
50,3	452,02	151
49	501,02	200
50,75	551,77	184
50,11	601,88	192
50,7	652,58	302
50,4	702,98	323
50,4	753,38	373
50,8	804,18	329
50,41	854,59	396
50,22	904,81	406
50,3	955,11	478
49,6	1004,71	538

**Tabla 31.** Valores de turbidez con diferentes cargas de material en la etapa de prelavado, continuación.

<b>Muestra B</b>		
<b>Peso del material (g)</b>	<b>Peso acumulado (g)</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
50,3	1055,01	526
50,57	1105,58	594
50,54	1156,12	624
50,87	1206,99	734
50,29	1257,28	799
50,51	1307,79	779
50,39	1358,18	840
50,41	1408,59	905
50,42	1459,01	933
49,9	1508,91	917
50,1	1559,01	945
101,02	1660,03	840

**Tabla 32.** Valores de turbidez con diferentes cargas de material en la etapa de prelavado

<b>Muestra M1-1</b>		
<b>Peso del material (g)</b>	<b>Peso acumulado (g)</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
0	0	0,71
50,74	50,17	8,805
50,52	101,26	16,75
50,63	151,89	37,55
50,6	202,49	60,95
50,02	252,51	79,85
50,1	302,61	96,55
50,26	352,87	139
50,5	403,37	168
50,8	454,17	208,5
50,9	505,07	285

**Tabla 33.** Valores de turbidez con diferentes cargas de material en la etapa de prelavado, continuación

<b>Muestra M1-1</b>		
<b>Peso del material (g)</b>	<b>Peso acumulado (g)</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
50,9	555,97	426,5
50,23	606,2	422,5
50,8	657	483
50,63	707,63	492
50,16	757,79	550
50	807,79	560
50,11	857,9	587
50,02	907,92	606,5
50,93	958,85	622,5
50,23	1009,08	642
50,18	1059,26	613
50,19	1109,45	636
50,34	1159,79	563
50,1	1209,89	588,5
50,33	1260,22	675
50,29	1310,51	643
50,58	1361,09	736,5
50,23	1411,32	728,5
50,7	1462,02	706
50,26	1512,28	588
50,6	1562,88	704
51,81	1614,69	734,5

**Tabla 34.** Valores de turbidez a diferentes tiempos de lavado, empleando el porcentaje más adecuado de texapón

<b>% de texapón: 0,0005</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
	<b>Muestra D3</b>	<b>Muestra D4</b>	
0	3,15	2,85	3,00
5	67,20	56,00	61,60
10	86,13	60,07	73,10
15	96,21	71,39	83,80
20	99,86	89,54	94,70
25	101,2	96,8	99,00
30	117,00	97,00	107,00
35	114,32	103,68	109,00
40	119,23	102,77	111,00
45	119,22	109,18	114,20
50	126,00	107,12	116,56

**Tabla 35.** Valores de turbidez a diferentes tiempos empleando el porcentaje más adecuado de NaOH

<b>% de NaOH: 0,5</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
	<b>Muestra H</b>	<b>Muestra I</b>	
0	0,65	0,67	0,66
5	45,40	33,00	39,20
10	61,40	53,60	57,50
15	78,50	60,60	69,55
20	89,10	72,50	80,80
25	95,80	80,20	88,00
30	99,20	81,90	90,55
35	97,11	96,09	96,60
40	107,00	89,00	98,00
45	104,00	83,30	106,50
50	110,00	103,00	106,50

**Tabla 36.** Valores de turbidez a diferentes tiempos del lavado empleando como sistema de lavado: agua

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
	<b>Muestra P1</b>	<b>Muestra P2</b>	
0	1,00	0,80	0,90
5	75,24	63,76	69,50
10	88,14	80,66	84,40
15	98,78	92,02	95,40
20	106,43	90,57	98,50
25	110,56	111,90	111,23
30	119,24	108,76	114,00
35	114,23	110,79	112,51
40	118,27	108,73	113,50
45	119,22	114,78	117,00
50	123,12	115,48	119,30

**Tabla 37.** Valores de turbidez a diferentes cargas de plástico lavado

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Número de carga</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
		<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>	
0	1	0,76	0,66	0,71
5		110,00	116,00	113,00
10		134,00	126,00	130,00
15		137,00	127,00	132,00
20		145,00	145,00	145,00
25		144,00	143,00	143,50
5	2	290,00	310,00	300,00
10		328,00	319,00	323,50
15		354,00	344,00	349,00
20		355,00	375,00	365,00
25		358	331	354,5

**Tabla 38.** Valores de turbidez a diferentes cargas de plástico lavado, continuación

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Número de carga</b>	<b>Turbidez(NTU)</b>		<b>Promedio turbidez (NTU)</b>
		<b>Muestra</b>	<b>Muestra</b>	
5	3	548	553	550,50
10		565	581	573,00
15		596	549	572,50
20		623	594	608,50
25		603	594	598,5

### ANEXO 3

#### DATOS DE TURBIDEZ OBTENIDOS LA PRUEBAS A MAYOR ESCALA

**Tabla 39.** Valores de turbidez con diferentes cargas de material en la etapa de prelavado a mayor escala

<b>Muestra EPP</b>	
<b>Cantidad de plástico prelavado (kg)</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
1	1,43
2	38,2
3	97,5
4	216
5	251
6	489
7	766
8	880
9	891
10	930
11	1012
12	1392
13	1432
14	1892
15	2102

**Tabla 40.** Valores de turbidez con diferentes cargas de material en la etapa de lavado a mayor escala

<b>Muestra EPL</b>	
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
0	2,86
5	463,00
10	532,00
15	547,00
20	614,00
25	610,87
30	624,00
35	616,00
40	610,54
45	621,20
50	618,87

**Tabla 41.** Valores de turbidez a diferentes cargas de plástico lavado

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Número de carga</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
0	1	2,86
5		463
10		542
15		547
20		614
5	2	541
10		590
15		782
20		905

**Tabla 42.** Valores de turbidez a diferentes cargas de plástico lavado, continuación

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Número de carga</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
5	3	1278
10		1386
15		1582
20		1410

## **ANEXO 4**

### **ANÁLISIS REALIZADOS POR LA EMPRESA GRUNTEC**

## **ANEXO 5**

### **NORMA TÉCNICA PARA EL CONTROL DE DESCARGAS LÍQUIDAS DE SECTORES PRODUCTIVOS**