



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

ESTUDIO DE LOS EFLUENTES DEL PROCESAMIENTO DE POTA EN PIURA Y SU POTENCIAL USO COMO FERTILIZANTE

Jorge Leoncio Monterroso Céspedes

Piura, 03 de Agosto de 2011

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área Departamental de Ingeniería Industrial y Sistemas

Agosto 2011



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



“Estudio de los efluentes del procesamiento de papa en Piura y su potencial uso como fertilizante”

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Industrial y de Sistemas

Jorge Leoncio Monterroso Céspedes

Asesor: Dr. Gastón Cruz Alcedo

Piura, Marzo 2011

“Esta tesis se la dedico a Dios por iluminar mis pasos cada día, a mis padres por el amor y el apoyo que siempre me brindan, a mis abuelos que son un ejemplo de vida, a mis hermanas por su paciencia y a mi familia, amigos y aquellas personas que me ayudaron a realizar este trabajo”

Prólogo

En los últimos años, el aumento del procesamiento de papa en la Región Piura ha generado múltiples plazas de trabajo y grandes divisas por la exportación de diversos productos a base de este recurso marino (harina y congelado). Por otro lado, esta actividad ha provocado el incremento de centros artesanales que operan de manera informal a las afueras de la ciudad de Paita, sin control municipal ni legislativo. La mayoría de estos centros carecen de un sistema de tratamiento de efluentes y su vertido es dirigido al relleno sanitario o a pozas de decantación, los cuales generan malos olores, modificaciones a las características del suelo y daños al medio ambiente; convirtiéndose en un foco infeccioso que atenta contra la salud de la población cercana a esos lugares.

El alto contenido proteico que tienen los descartes de papa, despertó el interés de producir harina artesanal. Con operaciones básicas de cocción de los descartes, secado, molido y, finalmente mezclado con otros productos; se obtiene harina de papa balanceada, pero de baja calidad. Al mismo tiempo, el proceso de cocción de residuos de papa genera un efluente que contiene proteínas solubles, sólidos insolubles, minerales y residuos provenientes de la descomposición.

La presente tesis ha sido elaborada con la finalidad de evaluar el aprovechamiento de los efluentes de harina y congelado de papa, a través de una serie de ensayos de digestión anaeróbica para obtener un fertilizante orgánico líquido denominado biol. Este tratamiento contribuiría a la reducción de la contaminación provocada por el vertido de estos efluentes resultantes a diversos cuerpos receptores de suelos y agua. Además, este biofertilizante se podría emplear en los cultivos de la Región Piura con el fin de obtener productos orgánicos y disminuir los costos de producción de los agricultores, descartando el uso sostenido de fertilizantes químicos.

Por último, quisiera expresar mi agradecimiento al Dr. Gastón Cruz Alcedo, a la Dra. Fabiola Ubillús Albán y al Ing. Arturo Arbulú Zuazo, por su ayuda, experiencia y contribución a la elaboración de esta tesis. Igualmente, agradecer al Dr. Miguel Castro Sánchez por el asesoramiento sobre el proceso productivo de la papa; y una especial mención a la Dirección Regional de Producción (DIREPRO) por la información brindada y por las facilidades dadas para las visitas a diversas plantas de procesamiento de papa de la Región Piura.

Resumen

Mediante la evaluación de la digestión anaeróbica de los efluentes del procesamiento de papa, se puede obtener un fertilizante líquido (biol) que estimularía el crecimiento y desarrollo de las plantas y, a la vez, se podría reducir la contaminación que genera el vertido de este tipo de efluentes al relleno sanitario o cualquier cuerpo receptor. Para estudiar esta aplicación se recolectaron efluentes de plantas de procesamiento artesanales e industriales de papa de la Región Piura, que fueron analizados y utilizados como materia prima para la experimentación. Se llevaron a cabo cuatro series de ensayos de digestión anaeróbica, a través de digestores económicos tipo *batch*; utilizando hojas (frescas y secas) y tallos de plátano, y cascarilla de arroz como sustratos; y vísceras de pescado, rumen de vacuno y levadura como inóculos. Después, se extrajeron los bioles y se analizaron algunos parámetros físico-químicos de los mismos para su evaluación como fertilizante y también se midieron las producciones del gas resultante del proceso.

A pesar de que se obtuvieron significativos volúmenes de biogás, este no tenía la concentración deseada de metano, porque el ensayo cualitativo a la llama fue negativo. Por otro lado, los resultados de los análisis físico-químicos de los bioles obtenidos permiten afirmar que se podrían utilizar como biofertilizante líquido con porcentajes significativos de macronutrientes como: nitrógeno, potasio y fósforo; así como apreciable reducción en el contenido de sales (sodio), respecto al efluente de papa inicial. En general, los valores encontrados en los bioles experimentales son semejantes a los valores de los parámetros físico-químicos de los bioles reportados en la bibliografía y, a la vez, superan los valores de los nutrientes de los abonos foliares comerciales.

Índice General

Introducción	01
Capítulo 1: Situación actual del procesamiento de papa en Piura	03
1.1 La papa	03
1.1.1 Definición	03
1.1.2 Anatomía	04
1.1.3 Biología	04
1.1.4 Composición química, nutricional y mineral	04
1.2 Marco socio-económico del procesamiento de papa en Piura	06
1.2.1 Evolución de la actividad del procesamiento de papa en Piura	06
1.2.1.1 Antecedentes	06
1.2.1.2 Procesamiento de papa en Piura	07
1.2.2 Exportación de productos de papa	07
1.2.2.1 Harina de papa	08
1.2.2.2 Congelado de papa	12
1.3 Procesos productivos de la harina y congelado de papa	16
1.3.1. Proceso industrial de la harina de papa	17
1.3.1.1 Harina de papa artesanal	17
1.3.1.2 Harina de papa industrial	21
1.3.2 Proceso industrial de congelado de papa	25
1.3.2.1 Congelado de papa sin pre-cocción	25
1.3.2.2 Congelado de papa precocida	33
1.4 Volúmenes de efluentes del procesamiento de papa en Piura	41
1.4.1 Volumen estimado de efluente del proceso de harina de papa	41
1.4.2 Volumen estimado de efluente del proceso de congelado de papa	46
1.5 Marco legal y normativo	49
1.5.1 Reglamento para la disposición y procesamiento artesanal de papa	50
1.5.2 Modificación del reglamento para la disposición y procesamiento artesanal de papa	50
1.5.3 Reglamentos y leyes peruanas	50
Capítulo 2: Fundamentos del tratamiento de efluentes y la digestión anaeróbica	53
2.1 Definición de efluente	53

2.2 Tipos de efluentes	53
2.2.1 Efluentes de la industria pesquera	53
2.2.2 Efluentes de la industria de la pota	54
2.2.2.1 Efluentes del proceso de harina de pota	54
2.2.2.2 Efluentes del proceso de congelado de pota	56
2.3 Parámetros de caracterización de efluentes	57
2.3.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	57
2.3.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	57
2.3.3 Sólidos totales	58
2.3.4 Sólidos suspendidos totales	58
2.3.5 Fósforo total	58
2.3.6 Nitrógeno total	59
2.3.7 Nitrógeno amoniacal	59
2.3.8 Materia orgánica	59
2.3.9 Coliformes totales	60
2.3.10 Coliformes fecales o termotolerantes	60
2.3.11 Otros parámetros de caracterización de efluentes	60
2.3.11.1 Acidez y alcalinidad (pH)	60
2.3.11.2 Aceites y grasas	60
2.3.11.3 Temperatura	61
2.3.11.4 Turbidez	61
2.3.11.5 Color y olor	61
2.4 Técnicas de tratamiento de efluentes	61
2.4.1 Tratamiento previo	62
2.4.2 Tratamiento primario	63
2.4.3 Tratamiento secundario	64
2.4.4 Tratamiento terciario	68
2.5 Tratamientos de efluentes pesqueros	68
2.5.1 Infraestructura de las plantas pesqueras para el tratamiento de efluentes	68
2.5.2 Tratamientos de efluentes pesqueros	69
2.5.2.1 Rejillas	69
2.5.2.2 Trampas de sólidos	69
2.5.2.3 Tanque de sedimentación	70
2.5.2.4 Sistemas de flotación	70
2.5.2.5 Tratamiento del agua de cola	70
2.6 Teoría de la digestión anaeróbica	71
2.6.1 Definición	71
2.6.2 Productos de la digestión anaeróbica	71
2.6.2.1 Biogás	71
2.6.2.2 Bioabono	72
2.6.3 Bioquímica de la digestión anaeróbica	73
2.6.3.1 Hidrólisis	73
2.6.3.2 Acidogénesis	73
2.6.3.3 Acetogénesis	74
2.6.3.4 Metanogénesis	74
2.6.3.5 Sulfurogénesis	76
2.6.4 Factores que influyen en el desarrollo de la digestión anaeróbica	77
2.6.4.1 Temperatura	77

2.6.4.2	pH y alcalinidad	78
2.6.4.3	Tiempo de retención	79
2.6.4.4	Relación carbono/nitrógeno	79
2.6.4.5	Agitación	81
2.6.4.6	Toxicidad e inhibidores	82
2.6.4.7	Contenido de sólidos	83
2.6.5	Tipos de biodigestores	83
2.6.5.1	Según la forma de operación	83
2.6.5.2	Por el número de etapas	84
Capítulo 3: Experimentación con efluentes del procesamiento de pota		87
3.1	Experimentación con biodigestores	88
3.1.1	Cálculos y condiciones previas a la experimentación	88
3.1.2	Ensayos de digestión anaeróbica con diferentes tipos de sustratos	90
3.1.2.1	Experimento N° 01: Efluente del proceso de harina de pota con distinta carga orgánica	90
3.1.2.2	Experimento N° 02: Efluente del proceso de harina de pota con hojas de plátano	93
3.1.2.3	Experimento N° 03: Efluente del proceso de congelado de pota con diversos tipos de inóculos	95
3.1.2.4	Experimento N° 04: Efluente del proceso de harina de pota con hojas secas de plátano y levadura	97
3.2	Procedimiento de la extracción de las muestras de bioles	99
Capítulo 4: Resultados y discusión		101
4.1	Caracterización de los efluentes de pota	101
4.1.1	Análisis de cloruros	101
4.1.2	Análisis de metales y minerales	102
4.1.3	Análisis físico-químico	103
4.1.4	Análisis microbiológico	104
4.2	Resultados de los ensayos de digestión anaeróbica	105
4.2.1	Producción acumulada de biogás por reactor	105
4.2.1.1	Experimento N° 01: Efluente del proceso de harina de pota con distinta carga orgánica	106
4.2.1.2	Experimento N° 02: Efluente del proceso de harina de pota con hojas de plátano	107
4.2.1.3	Experimento N° 03: Efluente del proceso de congelado de pota con diversos tipos de inóculos	108
4.2.1.4	Experimento N° 04: Efluente del proceso de harina de pota con hojas secas de plátano y levadura	110
4.2.1.5	Influencia de la temperatura en las producciones acumuladas de biogás	110
4.2.2	Análisis del producto fermentado orientado a su uso como biol	111
4.2.2.1	Comparación de los bioles experimentales con los resultados de experiencias encontradas en la bibliografía	116

4.2.2.2 Comparación final de los bioles experimentales con abonos foliares comerciales	118
Conclusiones y recomendaciones	121
Referencias bibliográficas	125
Anexos	143

Introducción

La presente tesis consta de cuatro capítulos, los cuales se detallan a continuación:

El capítulo 1, “Situación actual del procesamiento de pota en Piura”, brinda información sobre la pota (*Dosidicus gigas*) y presenta la situación actual del procesamiento de este recurso hidrobiológico y la evolución de sus exportaciones a lo largo del tiempo. También presenta los procesos productivos de la harina y congelado de pota, estimaciones de los volúmenes de efluentes que generan y el marco legal que rige esta actividad.

El capítulo 2, “Fundamentos del tratamiento de efluentes y la digestión anaeróbica”, expone una base teórica relacionada a los efluentes, es decir, sus tipos, parámetros de caracterización y diversos tratamientos que se aplican en la actualidad. Además, se muestran los fundamentos básicos sobre la digestión anaeróbica.

En el capítulo 3, “Experimentación con efluentes del procesamiento de pota”, se muestra una descripción de las cuatro series de ensayos de digestión anaeróbica utilizando efluentes de pota y algunos sustratos complementarios. Esto abarca: tipos de materiales e insumos utilizados, los cálculos de las composiciones de las mezclas ensayadas de cada biodigestor, materiales y procedimientos para la instalación de los biodigestores y las evaluaciones cualitativas de biogás. También se detalla el procedimiento de la extracción de los bioles.

En el cuarto y último capítulo, “Resultados y discusión”, se exponen los resultados de los análisis de cloruros, de metales y minerales, físico-químicos y microbiológicos de los efluentes de pota y la determinación de su carácter contaminante según las normas peruana y venezolana. También, se muestran los resultados de los ensayos de digestión anaeróbica, en cuanto a los volúmenes obtenidos de biogás, mediciones de pH y los análisis de los parámetros físico-químicos de los bioles extraídos. Finalmente, se presentan las comparaciones de los parámetros físico-químicos de los bioles experimentales con los resultados reportados en la bibliografía y con la composición de los abonos foliares comerciales, para verificar el uso potencial de los bioles experimentales como biofertilizantes.

Capítulo 1

Situación actual del procesamiento de pota en Piura

En el presente capítulo se definirán conceptos básicos y detalles importantes relacionados al calamar gigante y su procesamiento a nivel artesanal e industrial en la región Piura. Esto permite analizar el marco socio-económico, la evolución de la actividad económica a base de pota y visualizar los distintos procesos para la obtención de harina y congelado. Además, se presentará el marco legal y los esfuerzos para establecer estándares y formalizar la actividad.

1.1 La pota

1.1.1 Definición

Su nombre científico es: *Dosidicus gigas*. La pota es una especie de molusco marino perteneciente a la clase *Cephalopoda*, subclase *Coleoidea*, orden *Decapododiformes*¹. Es una especie pelágica oceánica que realiza migraciones por alimentación y reproducción, encontrándose en las zonas del Pacífico Central y Sur Oriental desde el Golfo de California hasta Chile⁷. Tiene un aspecto casi idéntico al calamar con el que suele confundirse y, por ello, recibe el nombre de “calamar gigante”; teniendo otros nombres comunes como: jibia, calamar volador, *jumbo squid*¹.

En el Perú, la pota se encuentra tanto en aguas jurisdiccionales como en la zona adyacente de alta mar; ubicándose los lugares de mayores concentraciones en el extremo norte del dominio marítimo (A partir de los 10° S), hasta aproximadamente los 90 a 100 metros de la línea costera. Las condiciones ambientales que propician esta concentración, se darían por la formación y persistencia de frentes en la confluencia de aguas moderadamente cálidas con aguas frías, donde la temperatura de agua a profundidad de 50 m es aproximadamente 14 a 15° C. Esto significa que la concentración, dispersión y pesca de este recurso está influenciado por la estructura de las masas de agua. Además, las corrientes marinas tienen influencia en el comportamiento de la pota, principalmente en sus rutas de migración y desplazamientos².

La pota o calamar gigante es uno de los principales productos de exportación no tradicional en nuestro país y el tercero del sector pesquero después de la harina y el aceite de pescado².

1.1.2 Anatomía

Este animal tiene dos branquias y un sistema circulatorio cerrado, formado por un corazón sistémico y dos corazones branquiales. Tiene en su cuerpo un manto torpediforme estrecho, cilíndrico y alargado, con dos aletas carnosas y triangulares. En la parte delantera se ubica la porción cefálica, con dos ojos muy evolucionados y que se prolonga en diez tentáculos¹. Estos tentáculos se extienden hasta alcanzar casi la misma longitud del manto, recibiendo el nombre de brazos (o patas) y poseen cuatro hileras de ventosas en los extremos que suman 60 a 200 pares³.

La pota común es de color rosado claro con pequeñas manchas rojizas y azuladas, lo cual le permite mimetizarse en el agua marina. Cuando este animal se siente amenazado expelle una "tinta" o sepia de color marrón muy oscuro¹.



Foto 1.1: Pota (*Dosidicus gigas*)

1.1.3 Biología

La pota tiene un ciclo de vida corto con un máximo de dos a tres años². Por eso, la pesca del *Dosidicus gigas* debe ser a los seis meses de edad. Esta especie presenta altas tasas de crecimiento, con tallas registradas de especies adultas que son clasificadas en: pequeñas (130 – 340 mm), medianas (240– 600 mm) y grandes (mayores de 550 mm)³. Se estima que la tasa promedio de crecimiento mensual es de 6 cm durante el primer año de vida y de 2 cm mensuales, en el segundo año de vida². El calamar gigante es un organismo monocíclico, es decir, se puede reproducir una sola vez en su vida³.

1.1.4 Composición química, nutricional y mineral

Su composición química depende del sexo, tamaño, alimentación, localización y temporada de captura, etc. Con respecto a su composición, es alto en proteínas y bajo en grasas³. Igualmente, contiene vitaminas como: B3, niacina y B12. Sus componentes minerales más abundantes son: fósforo, potasio, sodio y magnesio²²².

A continuación se muestran tablas del análisis proximal de la pota, sus componentes minerales y su composición física de manera porcentual:

Tabla 1.1: Análisis proximal de la pota

Contenido	Promedio (%)
Humedad	81,1
Grasa	1,1
Proteína	16,0
Sales Minerales	1,7
Calorías (100g)	101,0

Tabla 1.2: Macro y microelementos de la pota (componentes minerales)

Parámetros	Promedio
Sodio (mg/100g)	198,2
Potasio (mg/100g)	321,9
Calcio (mg/100g)	9,1
Magnesio (mg/100g)	45,6
Hierro (ppm)	0,8
Cobre (ppm)	1,4
Cadmio (ppm)	0,2
Plomo (ppm)	0,2

Tabla 1.3: Composición física de la pota

Componente	Promedio (%)
Cuerpo o tubo	49,3
Aleta	13,4
Tentáculos	21,4
Vísceras	15,4

Fuente: Compendio biológico tecnológico de las principales especies hidrobiológicas comerciales del Perú (marzo de 1996) – Instituto del Mar del Perú – Instituto Tecnológico Pesquero del Perú⁴.

La tabla 1.4 presenta la composición química proximal del calamar gigante, en comparación de otras especies de calamares de otras regiones.

Tabla 1.4: Composición química proximal de músculo de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) y otras especies de calamares (en porcentaje)

Especie	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)
<i>Dosidicus gigas</i> (Costa chilena)	82,23	15,32	0,87	1,31
<i>Dosidicus gigas</i> (Costa de Sonora)	86,26	12,16	0,79	0,37
<i>Todarodes pacificus</i>	76,6 – 78,0	19,8-20,6	1,88-1,90	1,57-1,59
<i>Loligo opalescens</i>	77,00	19,60	2,74	1,62
<i>Illex argentinus</i>	78,80	18,20	2,03	1,71

Fuente: Elaboración y evaluación de vida de anaquel de salchichas tipo *frankfurter* a partir de músculo de calamar gigante (*Dosidicus gigas*). Instituto Tecnológico de los Mochis. México³.

1.2 Marco socio-económico del procesamiento de pota en Piura

1.2.1 Evolución de la actividad del procesamiento de pota en Piura

1.2.1.1 Antecedentes

La presencia del *Dosidicus gigas* ha sido detectada desde los 35° N a 47° S en el Océano Pacífico. Entre los años 1835 y 1842, en las costas chilenas se había resaltado su abundancia desde Arica hasta Valparaíso. Además, esta especie tiene una dieta basada en congrios, merluzas, crustáceos bentónicos, jurel, sardina y la existencia de canibalismos en su población. A partir de los años de 1991 y 1992 su explotación comercial empezó a intensificarse, con incrementos altos de su pesca desde el 2001 hasta ahora⁵.

En el Golfo de California, la pesca artesanal del calamar gigante empezó desde 1974 con pequeñas flotas, producción baja y de consumo local⁶. Después, en 1978, se produce la incorporación de flotas camaroneras a la pesca de este recurso y es el periodo entre 1979 y 1981 que se explota a gran escala. Sin embargo, de 1983 a 1987, se origina un periodo de escasez con bajas pescas. A pesar de ello, fue entre los años 1989 a 1992 y desde 1994 hasta la actualidad se produjeron nuevos periodos de pesquería comercial de la pota, con aumentos enormes de producción e infraestructura para su procesamiento⁷.

En Japón, a inicios del siglo XX ya se empezaba a capturar la pota en sus costas. En 1910 ya se capturaban 50 mil toneladas de pota, mientras que ahora la pesca de pota japonesa es de 500 mil toneladas anuales. Las diferencias de medida entre el calamar gigante japonés y peruano son notorias, ya que el primero tiene en promedio un tamaño de 20 cm y con un peso máximo de 400 g, mientras que el segundo llega a tener un tamaño de 1 metro y con pesos que sobrepasan los 50 kg⁸.

En nuestro país, la pesca artesanal es una de las principales fuentes de abastecimiento de alimentos hidrobiológicos para consumo humano. Una de las principales especies que se extrae del mar para su procesamiento es la pota. Entre las principales zonas de extracción se ubican en los puertos de Tumbes, Piura (Talara y Paita), Ancash (Samanco), Arequipa (Lomas, Quilca y Matarani) y Moquegua (Ilo)².

A partir de 1991, la extracción comercial de este recurso se viene realizando a nivel artesanal e industrial, principalmente para la elaboración de diversos productos congelados y de secado para el mercado asiático y europeo. A nivel industrial, los barcos calamareros emplean máquinas automáticas de pesca con poteras y luces de atracción; mientras que a nivel artesanal se realiza a bordo de embarcaciones pequeñas, mediante el uso de redes cortineras y poteras manuales⁹.

Los desembarques de la flota artesanal han superado las 100 mil toneladas desde el 2003, habiendo descargado 291138 Tn en 2005, 434902 Tn en 2006 y 423504 Tn en el 2007. El principal destino de estos desembarques de pota es el congelado, representando el 89,6% del total nacional para el año 2007. Además, Piura es el departamento donde se desembarca el 89% de la pota a nivel nacional².

1.2.1.2 Procesamiento de pota en Piura

El procesamiento de pota en el departamento de Piura empezó de una manera artesanal e informal, sin que las autoridades de los municipios y sanitarias hayan conseguido todavía la total formalización de esta actividad, a pesar de ciertas normas legales que se han dado en materia ambiental y de higiene. También es cierto que existen algunas empresas procesadoras que han invertido en mejoras de su producción y que tienen unas instalaciones adecuadas para sus operaciones.

En Sullana hace doce años los residuos de las plantas de congelado de pota eran arrojados al relleno sanitario, donde se generaba su descomposición natural. A estas zonas, llegaron algunos pobladores que empezaron a cocinar los restos, secarlos para luego molerlos y mezclarlos con otros productos a fin de obtener alimentos balanceados. El alto contenido proteico despertó el interés de producir harina de pota artesanalmente. Por ello, los pocos procesadores artesanales se trasladaron a la periferia de la ciudad, generando efluentes como: los residuos líquidos de la limpieza de pota y el “agua de cola” del proceso de deshidratado de pota, que generan daños al ambiente y a la salud.

En la actualidad, la actividad artesanal del deshidratado de pota aún se realiza de manera clandestina e informal a las afueras de las ciudades de Paita y Sullana, observándose que el calamar gigante es cocinado en pailas grandes y sucias, y soleándose al aire libre y tirada en la tierra. Además, utilizan herramientas oxidadas y trabajadores sin ninguna indumentaria de protección. Esto origina productos de dudosa calidad, que no cumplen los requisitos ni estándares de higiene sanitaria y genera malos olores para las zonas aledañas a los sitios de elaboración de dichos productos.

A pesar de la actividad informal del deshidratado de calamar gigante, existen plantas de harina y congelado de pota que se ajustan a la legalidad, con tecnología adecuada y normas de higiene, produciendo productos de calidad para el mercado nacional y extranjero. Pero la mayoría de estas plantas realizan mínimos tratamientos a los efluentes generados por sus procesos de producción, planteando un problema que podría tener solución a largo plazo si se utilizan los mecanismos adecuados. Además, Piura es el departamento que alberga el 56% de las plantas que procesan congelado de pota a nivel nacional y el 51% de las plantas que tienen permiso de procesamiento de harina residual. Estas plantas de harina y congelado de pota se ubican mayormente en las zonas de Paita y Talara².

1.2.2 Exportación de productos de pota

En los últimos años, el procesamiento de pota se ha convertido en una actividad industrial y económica que ha generado grandes beneficios económicos para las empresas peruanas y divisas para el país. La harina y el congelado de pota se han convertido en productos apreciados por los países extranjeros, a pesar del impacto ambiental negativo que provoca su industrialización clandestina y las pocas medidas para tratar sus efluentes.

En este apartado se expone la evolución de las exportaciones de la harina y congelado de pota en toneladas y valor FOB, sus principales compradores en los últimos años, así como el precio promedio por kilogramo. Todos los valores expuestos en los gráficos, han sido

extraídos de los resúmenes por partida arancelaria de la harina y congelado del calamar gigante, que se encuentran disponibles vía Internet en la página oficial de la SUNAT.

Para el cálculo del precio promedio por kilogramo se tomó la suma de los valores FOB en dólares exportados a los cinco principales países destino, dividiéndose esto entre la suma de kilogramos exportados de esos mismos países en cada año. Con esto se obtiene un precio promedio sin considerar pequeñas exportaciones con precios altos, evitando así distorsionar los resultados finales.

1.2.2.1 Harina de pota

Entre las variedades y/o formas de la harina de pota (*squid meal*) se pueden mencionar las siguientes: residual, prime, super prime, super prime especial, estándar, secada al vapor, martajada, granulada, etc. Todas estas presentaciones dependen del nivel de proteínas, partes de pota que han sido utilizadas, así como el proceso para su elaboración.

En la tabla 1.5 se muestran algunas características organolépticas de la harina de pota:

Tabla 1.5: Características organolépticas de la harina de pota

Características organolépticas	Ficha técnica harina de pota
Partes que se utilizan	Tubo, aleta y tentáculos sin ojos ni picos
Color	Claro, de tonalidad ligeramente amarillo
Olor	Ligero olor a pota fresca, casi neutro (olor suave)
Sabor	Agradable, con características propias a la materia prima
Textura	Homogéneamente molida

Fuente: IMPEXCO PERÚ LTDA²⁰⁶

En las tablas 1.6 y 1.7 se muestran las especificaciones físico-químicas y microbiológicas de la harina de pota *prime*, *super prime* y *super prime especial*. Como se puede observar, la diferencia radica en el nivel de proteínas que tiene cada tipo de harina¹⁰.

Tabla 1.6: Especificaciones físico-químicas de distintos tipos de harina de pota

Especificación Físico-química	Rango	Unidad	<i>Prime</i>	<i>Super Prime</i>	<i>Super Prime esp.</i>
Proteína	min.	%	80	83	85
Humedad	max.	%	10	8	8
Grasa	max.	%	8	5	5
Cenizas	max.	%	4	4	4
Arena sola	max.	%	0,1	0,1	0,1
Sal y arena	max.	%	3	3	3
TVN*	max.	mg/100g	350	300	280
Anti-oxidante	min.	ppm	150	150	150
Histamina**	max.	ppm	100	50	50
FFA***	max.	%	18	17	17
Digestibilidad de la pepsina	min.	%	92	96	96

Fuente: PRODUMAR¹⁰

* TVN (Nitrógeno Volátil Total): contenido de nitrógeno de bases volátiles. Al almacenar la harina de pota, acumula una cantidad importante de bases volátiles que reducen su calidad.

** Histamina: Es una amina derivada de la histidina, cuya presencia en los tejidos de la pota y el pescado es un indicador de la falta de frescura de la materia prima a la hora del proceso.

*** FFA (Ácidos Grasos Libres): contenido de los ácidos grasos libres (expresados como ácido oléico). Es el índice de la descomposición de la grasa contenida en la harina de pota. La descomposición de la grasa ocurre bajo influencia de la luz, oxígeno, etc.; deteriorando el gusto y olor de la harina. Un FFA bajo demuestra una harina de buena calidad.

Tabla 1.7: Especificaciones microbiológicas de distintos tipos de harina de pota

Especificación microbiológica	Rango	Unidad	<i>Prime</i>	<i>Super Prime</i>	Super Prime esp.
Enterobacterias	---	---	---	Ausente	Ausente
Shigella	---	---	---	Ausente	Ausente
Salmonella	---	ufc/g	---	< 10	< 10
Vibrio Cholerae	---	---	---	---	Ausente

Fuente: PRODUMAR¹⁰

A continuación, se exponen algunas cifras, valores y parámetros relacionados a las exportaciones de la harina de pota y su evolución a lo largo de las últimas dos décadas:

A. Evolución de las exportaciones de harina de pota

El gráfico 1.1 presenta las exportaciones en cuanto a la cantidad de toneladas de la harina de pota, entre los años 1996 y 2009:

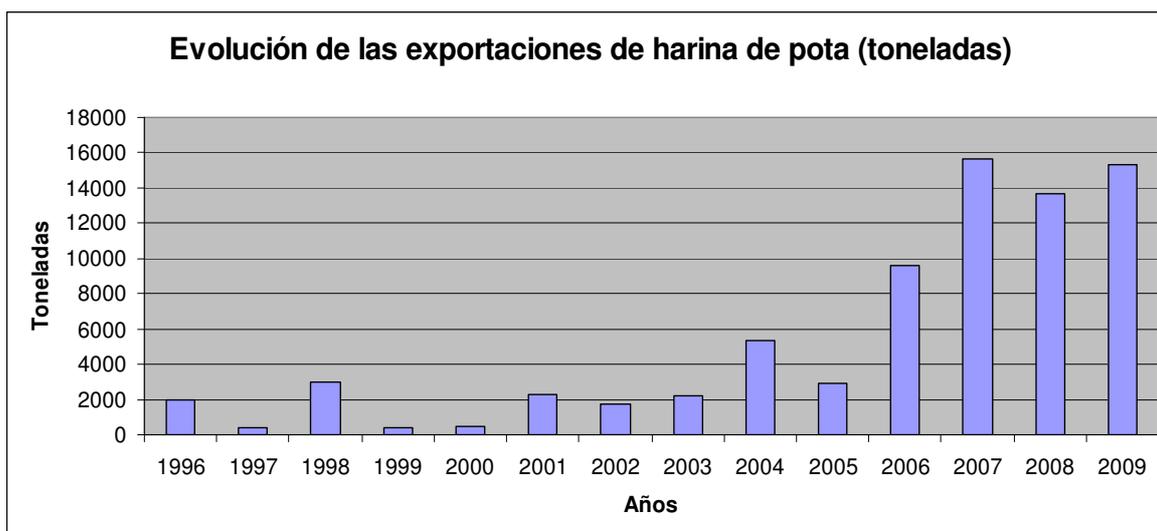


Gráfico 1.1: Evolución de las exportaciones de harina de pota (en toneladas)

Fuente: SUNAT

En los últimos cuatro años se han observado grandes crecimientos como el del año 2006 del 229% respecto al 2005 y en el 2007 con un porcentaje del 63% respecto al año anterior. En la actualidad, las exportaciones de harina de pota alcanzaron las 15365 toneladas, es decir, un 12% más que al año anterior.

El gráfico 1.2 presenta el valor FOB de las exportaciones de harina de pota, entre los años 1996 y 2009:



Gráfico 1.2: Evolución de las exportaciones de harina de pota (en miles de dólares)

Fuente: SUNAT

En los últimos cuatro años se han registrado grandes crecimientos de los ingresos por las exportaciones de este producto como en el 2006 con un 114% respecto al año anterior y en el 2007 con un 149% respecto al año anterior. A pesar que en la actualidad las exportaciones de harina de pota alcanzaron los 13,4 millones de dólares, es decir, un 8% menos que el año anterior; los ingresos por este producto no bajan desde hace tres años, manteniéndose la tendencia de crecimiento.

En general, los gráficos 1.1 y 1.2 muestran la alta demanda de los países extranjeros por la harina de pota que ya se insertó en el mercado internacional. Además, la apertura de este producto a nuevos clientes también forma parte de este crecimiento sostenido.

B. Principales compradores de harina de pota

El gráfico 1.3 muestra los principales compradores de harina de pota, entre los años 1996 y 2009:

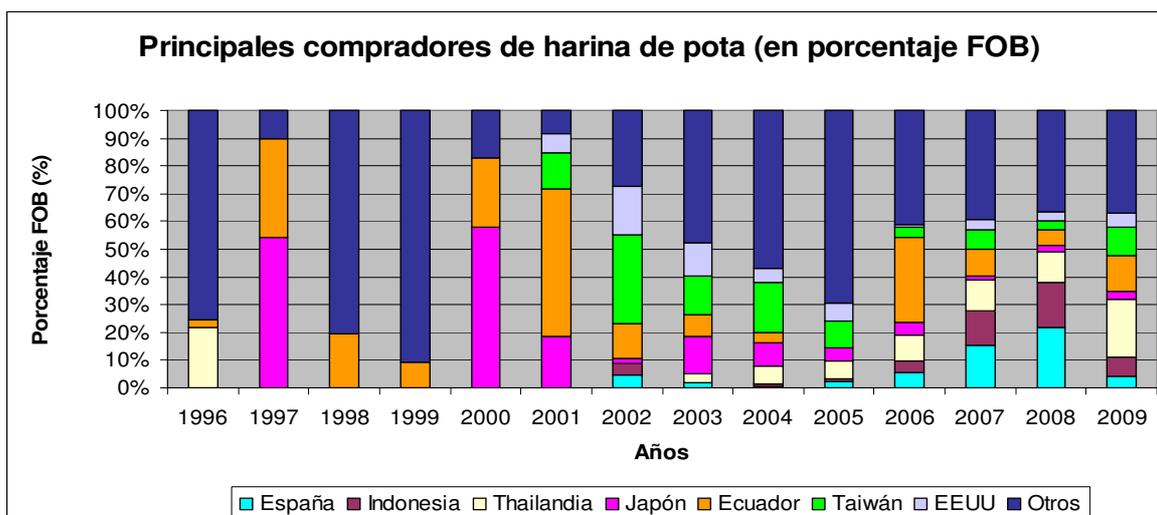


Gráfico 1.3: Principales compradores de harina de pota (en porcentaje FOB)
Fuente: SUNAT

La diversidad de países que adquieren harina de pota peruana, no delimita un reducido número de países que compran siempre este producto. Existe una tendencia variable en los porcentajes FOB de los países que mayormente compran harina de pota peruana. Estas variaciones de los valores FOB son bruscas, siendo visible esta tendencia entre los años 1996 – 2001 y regulándose paulatinamente a partir del 2006. También, hay un crecimiento progresivo del porcentaje FOB de países como Taiwán y Tailandia, posiblemente para reprocesar el producto con el fin de exportar a terceros países.

La abundancia o escasez de la pota va a determinar la demanda de la harina de pota. Además, de las características y los parámetros de calidad que pueda tener.

C. Precio promedio por kilogramo de harina de pota

El gráfico 1.4 muestra la evolución de los precios promedios por kilogramo de harina de pota, entre los años 1996 y 2009:

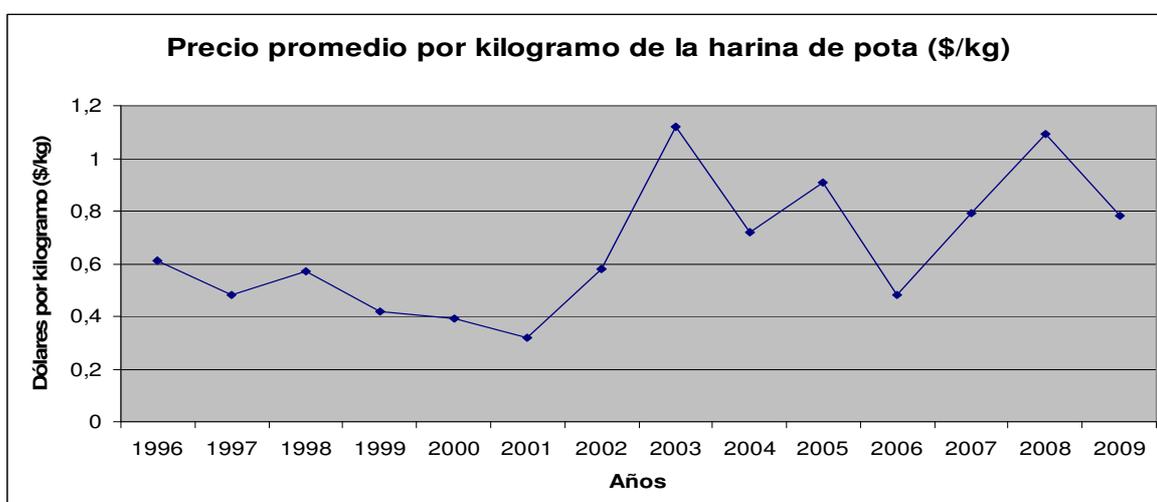


Gráfico 1.4: Evolución del precio promedio por kilogramo de harina de pota
Fuente: SUNAT

Se producen tres tendencias distintas, respecto al precio promedio por kilogramo:

- 1996 – 2001: Se observan pocas variaciones bruscas, pero hay una tendencia al decremento. A este periodo le corresponde las exportaciones con bajas cantidades de toneladas y bajos ingresos de valor FOB. Asimismo, se caracteriza por las pocas variaciones entre toneladas y valores FOB de harina de pota exportada.
- 2001 – 2006: Los aumentos y disminuciones del precio promedio son más notorios y bruscos; partiendo de un precio promedio 0,32 \$/kg en el 2001, hasta llegar a 0,48 \$/kg en el año 2006.
- 2006 – 2009: Los aumentos y disminuciones del precio promedio son también notorios y bruscos; partiendo de un precio promedio de 0,48 \$/kg en el 2006, hasta llegar a 0,78 \$/kg en el 2009. También, se observan dos tendencias: una de crecimiento entre los años 2006 al 2008 y otra de decremento entre 2008 y 2009. Justamente, al finalizar la primera tendencia se observa el segundo precio promedio más alto de los tres periodos, el cual es 1,09 \$/kg en el año 2008.

1.2.2.2 Congelado de pota

El congelado de pota tiene las siguientes presentaciones:

- Tubos limpios, sin piel, sin alas, punta recortada, interfoliados, tamaño variable.
- Filetes/mantos crudos o cocidos, punta recortada, sin piel, interfoliado o en bloque, diferentes cortes y tamaños (bailarina).
- Filetes precocidos o secos, sin piel, interfoliado o en bloqueo, tamaño variable.
- Anillos, empanizados o sin empanizar, IQF*.
- Bistecks tenderizados o sin tenderizar, interfoliados o IQF*.
- Tiras/rabas, dados/cubos, botones, IQF*.
- Mince/pulpa lavada, estabilizada, en bloques.
- Alas crudas o cocidas, con/sin piel, bloques.
- Tentáculos (rejos), sin ojos ni pico, sin “uñas”, con o sin ventosas, crudos o cocidos, enteros o seccionados, en bloques.
- Surimi, hamburguesas, nuggets y pre-formados empanizados.
- Otras presentaciones: desmenuzada, tabletas, botones, rodajas, nuca, picadillo, tacos redondos, hueveras, brochetas, pasta, cartílago, etc.

* IQF (*Individual Quick Freezing* ó congelación rápida de manera individual): permite que los cristales de hielo que se forman dentro de las células de los tejidos sean de tamaño muy pequeño. De esta forma se evita que las paredes celulares que conforman los tejidos vegetales se rompan. Por lo que, al descongelar el producto no hay derrame de fluidos celulares, lo cual garantiza su textura y valor nutritivo²⁰⁷.

Las tablas 1.8 y 1.9 muestran las características organolépticas y la información nutricional del congelado de pota, respectivamente:

Tabla 1.8: Características organolépticas del congelado de pota

Características organolépticas	Ficha técnica del congelado de pota
Partes que se utilizan	Tubo (manto), aleta
Color (Apariencia)	Músculo blanco translúcido a amarillo cremoso
Sabor y olor	Característico de la especie, libre de olores anormales
Deshidratación	Sin deshidratación

Fuente: SEACE¹¹

Tabla 1.9: Información nutricional del congelado de pota

Parámetros	Valores
Proteína	12,0 – 16,0 %
Grasa	0,3 – 1,2 %
Carbohidratos	0,1 – 0,3 %
Sales minerales	1,0 – 1,7 %
Valor calórico	51,1 – 76,0 kcal

Fuente: SEACE¹¹

Niveles superiores en contenido de proteínas, carbohidratos y valor calórico de la tabla 1.9, son considerados conformes.

A continuación, se exponen algunas cifras, valores y parámetros relacionados a las exportaciones de congelado de pota y su evolución a lo largo de las últimas dos décadas:

A. Evolución de las exportaciones de congelado de pota

El gráfico 1.5 expone las exportaciones de congelado de pota de acuerdo a la cantidad de toneladas, entre los años 1997 y 2009:

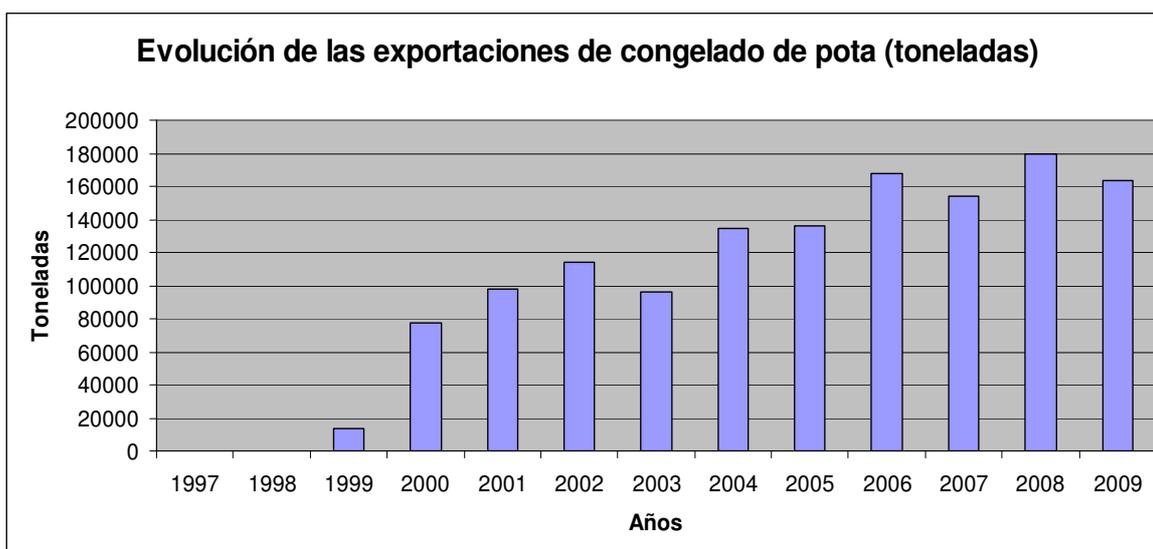


Gráfico 1.5: Evolución de las exportaciones de congelado de pota (en toneladas)

Fuente: SUNAT

A partir del año 2000 los incrementos en las toneladas exportadas son notorios y se observa una tendencia creciente que se consolida desde el año 2006, con exportaciones que sobrepasan las 153 mil toneladas anuales. A pesar de estas elevadas cantidades de

toneladas anuales se observan periodos de aumentos y disminuciones variables, sin embargo, este comportamiento no aminora la tendencia de crecimiento que tiene la exportación de este producto.

El gráfico 1.6 muestra el nivel de exportaciones de congelado de pota de acuerdo al valor FOB en miles de dólares, entre los años 1997 y 2008:

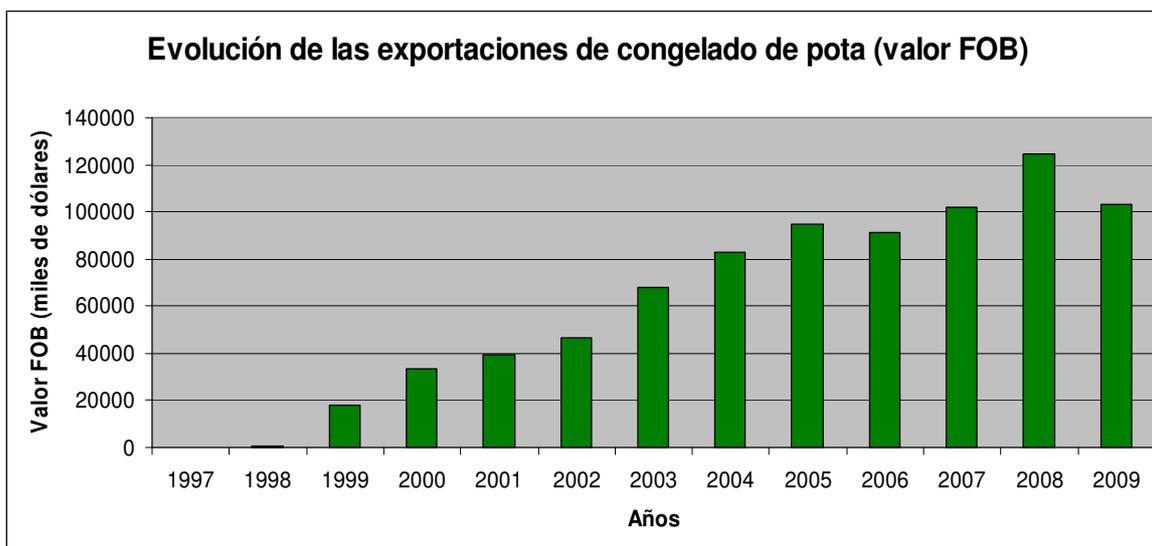


Gráfico 1.6: Evolución de las exportaciones de congelado de pota (en miles de dólares)
Fuente: SUNAT

Desde el año 2000 los aumentos de los valores FOB son más altos y a partir del 2005 la tendencia de crecimiento es más definida, con altos ingresos por exportación que superan los 90 millones de dólares anuales. Asimismo, el comportamiento creciente de las exportaciones del congelado tiene más aumentos de sus valores FOB anuales que declives.

Los gráficos 1.5 y 1.6 muestran el alto interés que tienen otros países por este producto, así como el incremento de nuevos clientes que mantienen la tendencia de crecimiento. Igualmente, estos valores expresan las altas producciones de congelado de pota y la mejora de los procesos de las plantas industriales, para aumentar cada año sus producciones. Además, una característica importante de este producto es que se utiliza integralmente la especie, exportándose más de 20 presentaciones a más de 50 países.

En general, las exportaciones de congelado de pota han tenido un comportamiento creciente desde 1997, con grandes aumentos notorios que empezaron desde el 2000. A partir de ese año las toneladas exportadas de congelado de pota se han incrementando hasta la actualidad en un 110%, mientras que el valor FOB aumentó en un 237%.

B. Principales compradores de congelado de pota

El gráfico 1.7 presenta los principales compradores de congelado de pota en porcentaje FOB, entre los años 1997 y 2009:

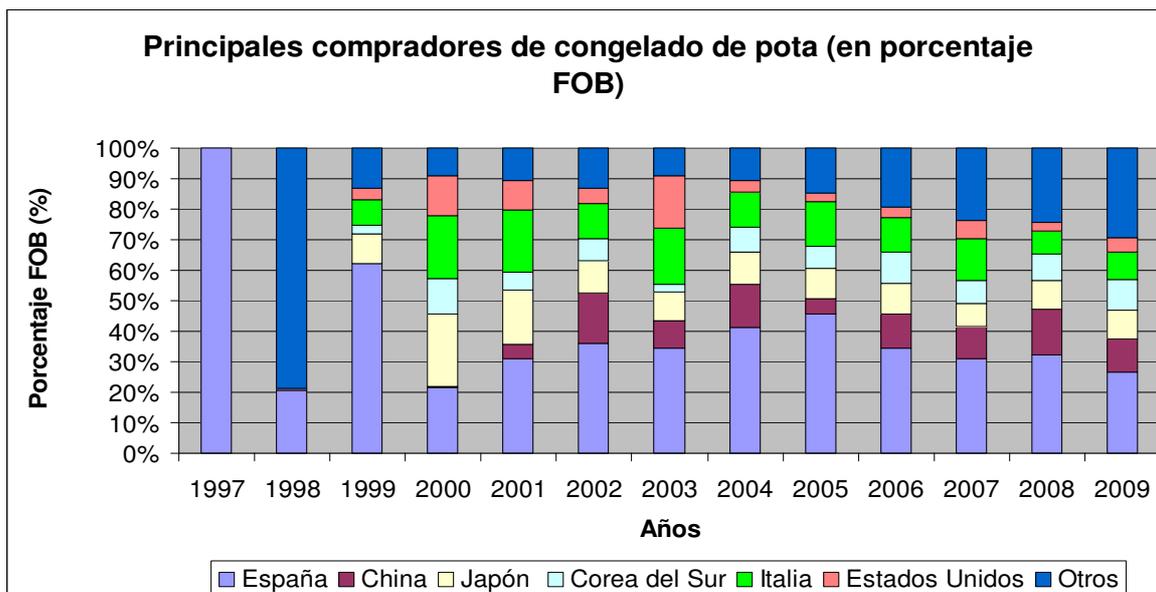


Gráfico 1.7: Principales compradores de congelado de pota (en porcentaje FOB)
Fuente: SUNAT

Actualmente, los principales destinos de este producto son: el mercado europeo conformado por España e Italia y el asiático integrado por: China, Japón y Corea del Sur; los cuales representan juntos el 66,08% de las exportaciones. De estos países, España es el principal país que compra congelado de pota con un porcentaje FOB de 26,6%. A lo largo del tiempo, este país siempre se ha posicionado como el principal destino del congelado de pota. Por otra parte, el mercado asiático conformado por: China, Japón y Corea del Sur, se consolida como uno de los grupos que habitualmente adquieren este producto y con porcentajes FOB actuales de 10,77%, 9,42% y 10,04%, respectivamente.

Al contrario de los compradores de harina de pota, no existen muchas variaciones en la participación porcentual de los países compradores de congelado.

C. Precio promedio por kilogramo de congelado de pota

El gráfico 1.8 muestra el precio promedio por kilogramo del congelado de pota, entre los años 1997 y 2009:

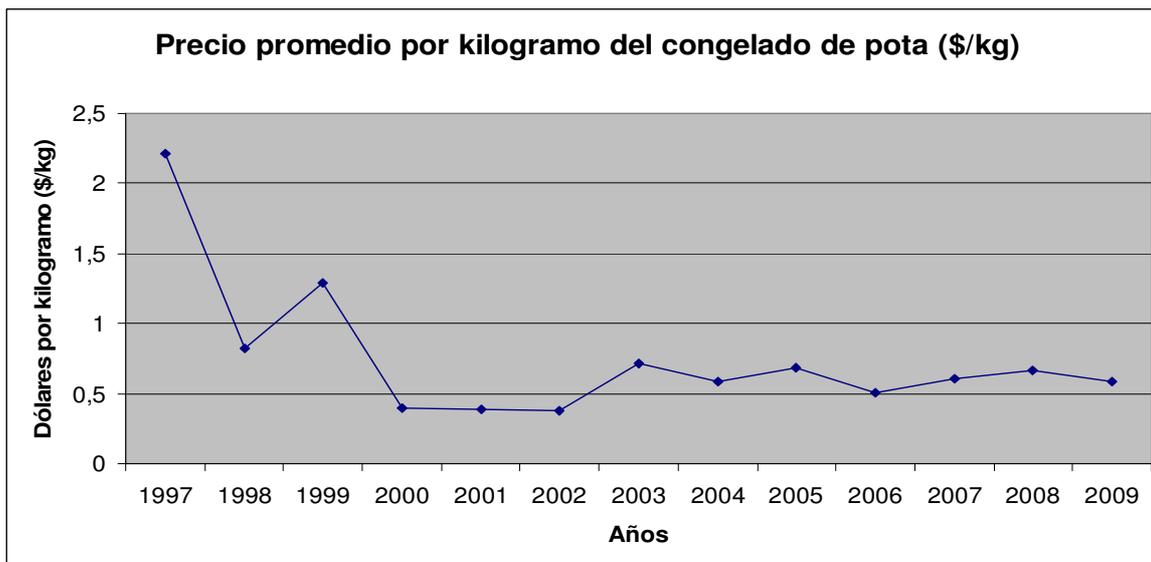


Gráfico 1.8: Precio promedio por kilogramo de congelado de papa
Fuente: SUNAT

Se producen dos tendencias distintas, respecto al precio promedio por kilogramo:

- 1997 – 2000: Se observan una disminución brusca, partiendo de un precio inicial de 2,21 \$/kg en 1997 hasta llegar a 0,40 \$/kg en el 2000.
- 2000 – 2009: El precio promedio no sufre variaciones significativas en este periodo, lo cual denota un comportamiento más estable. Parte de un precio promedio 0,40 \$/kg en el 2000 hasta llegar a 0,59 \$/kg en el año 2009. Además, se observa el precio promedio más alto de 0,71 \$/kg en el 2003 y el más bajo de todos, el cual es 0,38 \$/kg en el 2002.

La inestabilidad de los precios promedio de congelado, entre los años 1997 y 2000 le corresponde un periodo de bajas cantidades de toneladas exportadas y bajos valores FOB, debido a la escasez de papa por el Fenómeno del Niño de los años 1997 y 1998. Mientras, que el periodo estable de los precios promedio, entre 2000 y 2009, le corresponde un periodo de exportación de altas cantidades de toneladas de congelado de papa, así como altos valores FOB. Por tanto, el precio promedio está en función de la demanda del mercado exterior y apertura de nuevos mercados, así como los periodos de escasez y abundancia de la papa (recurso estacional y caníbal).

Actualmente el precio promedio del congelado de papa por kilogramo es de \$ 0,59, mostrando una tendencia a la baja y cayendo aproximadamente un 11% respecto del año 2008.

1.3 Procesos productivos de la harina y congelado de papa

Con la información obtenida de diversas visitas a plantas de procesamiento de papa de la región (ciudades: Sullana, Paita, Piura), se describen los procesos industriales para obtener harina y congelado de papa en las plantas visitadas:

1.3.1 Proceso industrial de la harina de pota

1.3.1.1 Harina de pota artesanal

A continuación se describen las operaciones del proceso de harina de pota artesanal, que se realiza a las afueras de la ciudad de Paita. Este proceso se realiza en dos fases:

A. Productores artesanales de deshidratado

Estos productores artesanales de deshidratado realizan operaciones básicas de cocción y secado a los descartes de pota, provenientes del proceso industrial de congelado (partes de pota no seleccionadas para el congelado), con el objetivo de restarle humedad; para luego venderlos a plantas medianas que completan su conversión final a harina de pota artesanal.

1. Recepción de la materia prima

Los descartes de pota del proceso de congelado, son recepcionados en la arena o sobre láminas de plástico para su procesamiento. Estos descartes han sido trasladados en cámaras desde las plantas de congelado de Paita.

2. Troceado

Los descartes de pota grandes son cortados manualmente con cuchillos de acero inoxidable, para facilitar el proceso de cocción artesanal.

3. Cocción artesanal

La pota troceada es cocinada en pailas grandes de 1,7 m³ (aproximadamente) utilizando leña, petróleo o querosene, con la finalidad de coagular las proteínas y extraer la mayor humedad posible. Con ello se mantiene el alto valor proteico y se extrae la grasa.

En promedio, se cocina aproximadamente una tonelada de pota por lote y por un espacio de 35 minutos, en un rango de temperatura que oscila entre 58 y 95 °C. En esta operación se reduce hasta un 50% la humedad de la pota y se produce el efluente de cocinado, que es arrojado a la arena.

En la foto 1.2 se observa la cocción artesanal de pota:



Foto 1.2: Cocción artesanal de pota

4. Secado al sol

La pota cocinada es tirada sobre plásticos o en la arena para secarla al aire libre con los rayos del sol y con el calor del ambiente. Esta operación reduce hasta un 20 a 25% la humedad de la pota. Tiene una duración de uno a dos días.

En la foto 1.3 se observa el secado al sol de la pota cocinada:



Foto 1.3: Secado al sol de la pota cocinada

5. Ensacado

Luego de concluir el secado al sol, la pota es trasladada en carretillas hacia una zona de ensaque. En ese lugar, la pota deshidratada se la deposita en sacos y comercializada a plantas que puedan terminar su procesamiento a harina.

B. Plantas medianas o artesanales de harina

Plantas artesanales que compran los descartes de pota deshidratada para su transformación final a harina. La pota deshidratada es sometida a operaciones de

desarenado, un segundo secado y molienda. Dependiendo de los requerimientos de los clientes finales de estas plantas, se realizan mezclas de harina de pota de baja y alta calidad para compensar y brindar el nivel de proteínas deseado.

6. Recepción de la materia prima en planta

La pota deshidratada en sacos es recepcionada por la planta artesanal en una zona de almacenamiento temporal. A partir de ahí, se inician las operaciones finales para su conversión final a harina.

7. Desarenado

La pota almacenada es trasladada hacia una zaranda vibratoria para extraer la arena contenida. Las partículas de arena pasan por los orificios de las mallas de la zaranda y son retiradas. Es necesaria la operación de desarenado, porque la pota deshidratada es secada en la arena o sobre plásticos y al aire libre.

8. Segundo troceado

La pota desarenada es transportada hacia un picador industrial, con la finalidad de que sea cortada y triturada en trozos, facilitando la operación de secado.

9. Secado

Para esta operación se utiliza un secador rotatorio. A este secador se le agrega la materia prima por la boca de entrada y por la boca de salida tiene un quemador. Esta operación reduce la humedad de la pota deshidratada hasta un 10%.

10. Molienda

Se realiza en un molino industrial de martillos, para obtener un polvillo más fino, homogéneo y de una granulometría específica de acuerdo a las especificaciones de los clientes.

11. Adición de anti-oxidantes

Las grasas de la harina artesanal de pota se estabilizan mediante la adición de un antioxidante, después de concluida la molienda.

12. Ensaque

La harina artesanal de pota es transportada hacia una balanza ensacadora, la cual posee un pantalón de ensaque sobre el cual se vierte la harina, siendo recibida en sacos de polipropileno de 50 kg.

13. Almacenamiento

Finalmente, la harina es guardada en una zona de almacenamiento, formando rumas de mil sacos cada una. Previamente, antes del armado de las rumas se realiza un

tratamiento al suelo de la zona de almacenamiento a base de cal y sobre ella se colocan esteras.

La figura 1.1 muestra el diagrama de flujo del proceso de harina de pota artesanal:

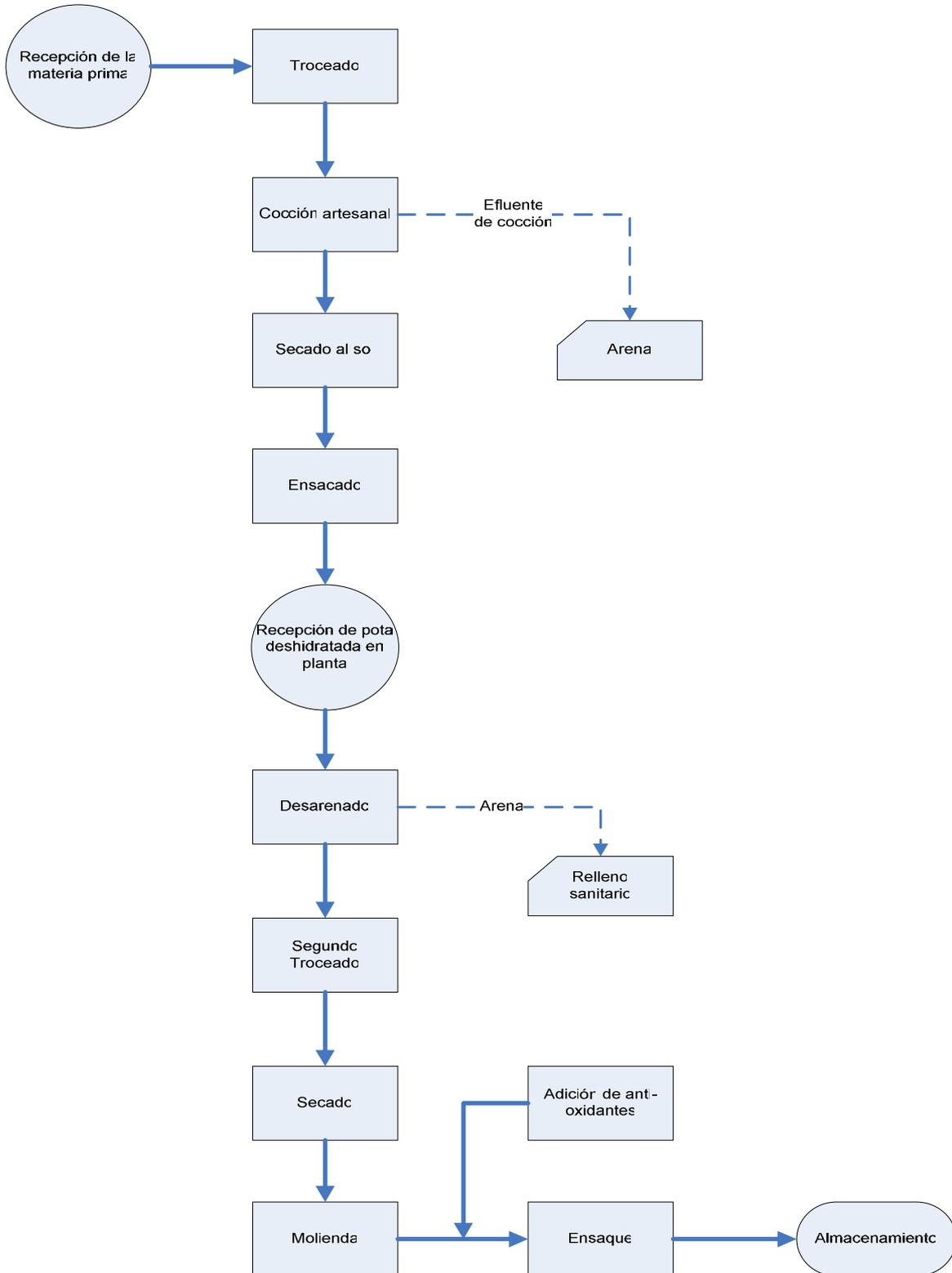


Figura 1.1: Diagrama de flujo del proceso de harina de pota artesanal

1.3.1.2 Harina de pota industrial

A continuación se describen las operaciones del proceso industrial de la harina de pota, realizada por una empresa que se ubica a las afueras de la ciudad de Paita^{208, 209}:

1. Recepción de la materia prima

La pota, en forma de descarte o en estado fresco, es recepcionada en la planta. Esta materia prima llega a la planta en cámaras, las cuales descargan en una poza de concreto.

2. Almacenamiento de materia prima

La materia prima se almacena en una poza de concreto armado que cuenta con unas rejillas especiales para que la sanguaza sea drenada y dirigida a la etapa de cocción.

3. Cocción

La materia prima es trasladada a través de un transportador helicoidal hacia un cocinador mixto, funcionando a una temperatura que oscila entre 95 – 100 °C y por espacios de 10 a 16 minutos. Esta operación se realiza con la finalidad de coagular las proteínas y romper el tejido adiposo de la materia prima, lo que permite retirar el agua, las grasas, aceites y residuos viscosos líquidos contenidos en la materia prima. Con la cocción se logra reducir la humedad de la pota hasta un 50% y se genera un efluente, el cual es dirigido hacia el separador de sólidos para aprovechar la mayor cantidad posible de residuos sólidos y proteínas disueltas contenidas.

4. Pre-Strainer

La masa de cocción es descargada a la prensa a través de un pre-strainer. El pre-strainer es un dispositivo drenador que permite la eliminación de residuos centrífugos, partículas finas y aceites de la masa cocida, para facilitar una óptima operación de prensado. Dicha máquina consta de un tambor colador rotatorio, para que el licor *pre-strainer* percole a través de una malla especial y lleguen a la siguiente etapa aquellos sólidos susceptibles de ser prensados. Este licor es dirigido hacia el separador de sólidos para recuperar aquellos residuos para su procesamiento final a harina de pota.

5. Prensado

Esta operación consiste en exponer a la masa cocinada a altas presiones y bajas velocidades de rotación, para lograr una eficiente separación mecánica de los sólidos y las grasas. Con el prensado se obtiene dos productos:

- Una fase sólida llamada torta de prensa. Es un queque con mínima cantidad de agua y grasa.

- Una fase líquida denominada licor de prensa. Es un caldo con significativa cantidad de sólidos recuperables. Esta fase líquida se junta con el licor pre-strainer para ser tratados en un separador de sólidos.

La operación se realiza en una prensa mecánica de doble tornillo que consiste en dos cilindros huecos concéntricos. Cada cilindro lleva fuertemente sujetas unas placas de acero inoxidable que tienen la función de tamiz. Los dos tornillos helicoidales tienen forma ahusada y funcionan girando en direcciones opuestas. La masa cocida entra por la parte de menor diámetro del cilindro, es comprimida con gran fuerza para obtener la torta de prensa que va hacia la parte más ancha y dirigida al rompequeque; mientras que el licor de prensa escurre a través de rejillas y trasladada al separador de sólidos.

La prensa de doble tornillo reduce hasta un 35 a 40% la humedad que puede contener la pota cocida.

6. Separador de sólidos

Esta operación consiste en el empleo del efluente de cocción, el caldo pre-strainer y el licor de prensa, que en conjunto contienen: agua, aceites de pota, proteínas disueltas, sales y partículas finas; las cuales son separadas en una fase sólida y otra líquida. Esta separación se produce por efectos de una fuerza centrífuga que divide los efluentes en dos fases:

- Una fase sólida llamada sólidos recuperables (o separados). Estos sólidos en conjunto con la torta de prensa ingresan al rompequeque.
- Una fase líquida denominada licor de separadora. Es trasladada a las centrífugas.

Este tratamiento se realiza previo calentamiento con vapor directo que se le da a los efluentes a una temperatura de 95° C; obteniendo una óptima separación.

7. Centrifugación

El licor de separadora es calentado en un tanque con vapor indirecto y, después, es llevado a una centrífuga de discos con tambor autolimpiante. Este licor ingresa a la centrífuga, obteniéndose dos productos:

- Un licor con bajo porcentaje de grasa y sólidos denominado agua de cola, el cual es expulsado periódicamente y es llevado a la planta evaporadora de agua de cola.
- Un aceite que se envía a un tanque de almacenamiento.

Por efectos de la alta fuerza centrífuga, también se producen algunos sólidos separados que son compactados fuertemente contra la pared del tambor. Mediante un sistema hidráulico en el fondo del tambor, estos sólidos son descargados a gran velocidad.

8. Evaporación (concentración de agua de cola)

El agua de cola se concentra para ser incorporada en la torta de prensa. Esta operación se realiza en evaporadores de tres efectos, con vapor de agua a temperaturas de 120, 100 y 70 °C.

El agua de cola a tratar contiene entre 7 y 8% de sustancias sólidas disueltas y está compuesta principalmente de: aminoácidos, proteínas y sales minerales. Al llevarse a cabo la evaporación, el agua de cola aumenta su concentración de sólidos hasta seis veces su concentración inicial. Con la incorporación de este concentrado a la torta de prensa se enriquece nutricionalmente la harina, aumenta el rendimiento del proceso y significa un mayor aprovechamiento de la materia prima. El concentrado de agua de cola se obtiene a una temperatura de 62 °C y en conjunto con la torta de prensa son transportadas al rompequeque.

9. Rompequeque

Es un molino desintegrador y compacto, que se encarga de desmenuzar y/o deshilar la torta de prensa, así como algunos sólidos recuperables que se obtuvieron del separador de sólidos y el concentrado de agua de cola proveniente de la evaporación.

10. Secado

Esta operación se realiza en una sola etapa mediante un secador rotatorio de aire caliente. En esta etapa se reduce la humedad de la torta de prensa de 35 – 40% hasta 7 – 10%, obteniéndose una masa seca de pota a una temperatura aproximada de 85 °C.

11. Molienda

Se realiza con el objetivo de uniformizar el producto, utilizando un molino de martillos móviles. La pota seca se desintegra por el impacto de los martillos, que giran rápidamente en torno a un eje horizontal; transformando la masa seca en un polvillo más fino denominado harina. El molino lleva una rejilla que retiene la harina de pota, hasta que sea lo suficientemente fina como para poder pasar los orificios. Con este tipo de molino se obtiene un producto homogéneo y de granulometría uniforme.

12. Enfriamiento

El producto final se enfría desde una temperatura aproximada de 85 °C hasta los 32 °C, por medio de un sistema de enfriamiento neumático conformado por un ventilador centrífugo y un ducto que la lleva hasta un ciclón que se ubica fuera de la sala de ensaque. En esta zona se colecta el producto final y por medio de un transportador helicoidal es enviado a la tolva de adición de antioxidantes.

13. Adición de anti-oxidantes

La harina enfriada se estabiliza mediante una adición de antioxidante (Etoxiquina) a razón de 600 a 650 ppm. Este compuesto se mezcla con la harina en un transportador mezclador, pasando a un transportador alimentador de la tolva de ensaque.

14. Ensaque

La harina de pota es pesada en una balanza automática y ensacada en sacos de polipropileno, siendo cerradas con máquina de coser de cabezal fijo o de mano. Los pesos de los sacos de harina son de 25 o 50 kg cada uno.

15. Almacenamiento

Los sacos de harina de pota son estibados en el almacén de la planta, para su periodo de estabilización y análisis para su posterior despacho.

La figura 1.2 presenta el diagrama de flujo del proceso de harina de pota industrial:

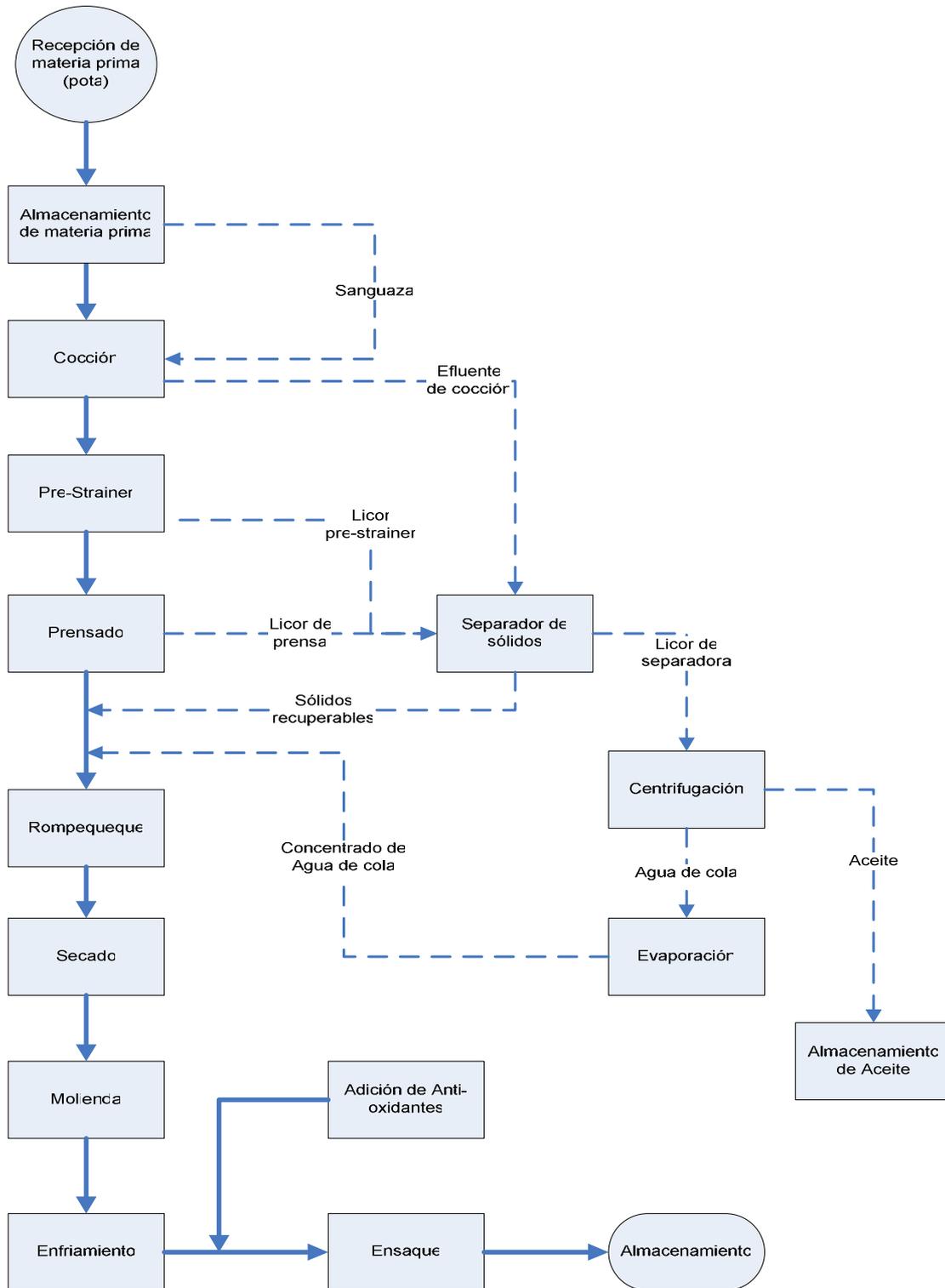


Figura 1.2: Diagrama de flujo del proceso de harina de pota industrial

1.3.2 Proceso industrial de congelado de pota

En las plantas de congelado de pota existen dos tipos de procesos, dependiendo de la ejecución o no de la operación de pre-cocción en tinas, la cual genera un efluente tratable con una carga relativamente contaminante en comparación al proceso de congelado sin precocido. Por eso, utilizando este criterio, existen dos tipos de congelado de pota:

1.3.2.1 Congelado de pota sin pre-cocción

A continuación, se describen las operaciones para la producción del congelado de pota sin pre-cocción. Este proceso fue observado en Paíta²¹⁰.

1. Recepción de la materia prima

Se realiza una evaluación de calidad al momento de recepcionar la pota con el fin de determinar el porcentaje de pota defectuosa, de acuerdo a parámetros establecidos por la empresa. También se mide la temperatura de la materia prima, la cual debe ser menor de 5 °C. Después, se realiza un control de procesos en un pequeño laboratorio.

La pota aprobada es depositada en cajas exotérmicas, luego es codificada y pesada para saber la cantidad de materia prima que ingresa al proceso (ver Foto 1.4).



Foto 1.4: Recepción de la materia prima

2. Eviscerado y limpieza

A la pota fresca se le extrae aquellas partes que no son prioridad para el producto final, como piel externa, vísceras, ventosas, etc., así como aquellos residuos ajenos al proceso. Después, la pota eviscerada es limpiada con agua potable y trasladada a la siguiente etapa. Esta operación se realiza manualmente (ver Foto 1.5).

Producto de esta operación, los residuos son conducidos a una zona de almacenamiento y luego llevados al relleno sanitario. Mientras que el agua de limpieza es trasladada mediante canaletas al pozo séptico.



Foto 1.5: Eviscerado y limpieza de pota

3. Fileteado

A la pota fresca se le retira definitivamente la piel (piel interna), dependiendo de los requerimientos del cliente (con o sin piel). Después, se procede a quitar parte del callo y la cabeza de la pota. El callo es la parte de la base de la pota que es muy dura. Esta operación se realiza manualmente (ver Foto 1.6).

Finalmente, se separan las aletas, tubos y los tentáculos para trasladarlas a las diferentes zonas de cortado, mientras que a la cabeza y el callo son destinados a la zona de almacenamiento de residuos. Por otro lado, la piel interna es destinada a la planta de harina residual.



Foto 1.6: Fileteado de pota

4. Cortado

Esta operación también se realiza manualmente y utilizando cuchillos de acero inoxidable. Consiste en la definición de los tipos de cortes a las partes de pota que se van a congelar. Las partes escogidas de pota son depositadas en bandejas, colocando una lámina de polietileno entre las partes seleccionadas para luego poder separarlas fácilmente en las siguientes operaciones (ver Fotos 1.7 y 1.8).



Foto 1.7: Cortado N° 01 de pota



Foto 1.8: Cortado N° 02 de pota

5. Primer lavado

La pota cortada se agrega a una fuente de agua clorada con hielo. Esto se realiza con la finalidad de eliminar la acidez y el amoníaco del mismo recurso marino. A la pota lavada se le deja en la fuente por un espacio de 12 a 16 horas (ver Foto 1.9). El efluente del primer lavado es conducido mediante canaletas hacia un pozo séptico.



Foto 1.9: Primer lavado

6. Selección, clasificado y pesado

Esta operación sirve para verificar las dimensiones de los diferentes tipos de cortes como: dedos, daditos y filete; porque estos son hechos manualmente y se pudo haber cometido algunos errores. Después del visto bueno de este control de calidad, se procede a retirar el producto de la fuente y se pesa (ver foto 1.10).



Foto 1.10: Selección, clasificado y pesado

7. Segundo lavado

Se realiza un segundo lavado con agua y hielo que contiene hipoclorito de sodio a 8%. Este lavado se realiza con la finalidad de eliminar cualquier materia extraña que pueda estar en la superficie del producto y reducir su carga microbiana (ver Foto 1.11). El efluente del segundo lavado es conducido mediante canaletas al pozo séptico.



Foto 1.11: Segundo lavado

8. Plaqueado

A la pota se le coloca en láminas de polietileno de baja densidad de 1,2 milésimas de pulgada. Después, se colocan en unas bandejas de plástico para su traslado al congelado. Estas láminas y bandejas fueron previamente lavadas y desinfectadas con agua clorada a 60 ppm.

En la Foto 1.12 se muestra como se realiza el plaqueado.



Foto 1.12: Plaqueado

9. Congelado

Hay tres formas de congelar la pota, las cuales son:

- Túnel estático: Utiliza ventiladores que permiten el ingreso de aire frío, el cual envuelve el ambiente a una temperatura determinada. El producto aproximadamente ingresa con una temperatura de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se deja en este túnel hasta que se obtenga una temperatura final de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Foto 1.13: Túnel estático

- Túnel continuo: Este sistema congela mediante ráfagas de aire, que circulan por encima de los productos a una temperatura entre -30 y 40 °C y con una velocidad entre 5 y 6 m/s. Es un congelador violento que congela el producto más rápidamente que el túnel estático. Con este tipo de congelamiento la fruta adquiere una ligera capa de hielo. Además, ofrece un rendimiento entre 200 y 300 kg/h.

Uno de los problemas que puede tener este congelamiento es que el producto puede sufrir de desecación superficial.



Foto 1.14: Túnel continuo

- Armario de placas: Es una máquina que contiene una serie de placas que se abren y se cierran automáticamente. Las placas son unos estantes de aluminio que tienen perforaciones en su interior y dentro de ellas circula un líquido refrigerante, que puede ser amoníaco. Al circular el refrigerante dentro de las placas, transmiten frío por arriba y abajo del producto.

Este tipo de congelamiento genera bloques de hielo con espesores que van desde los 6 hasta los 15 centímetros. Tiene una eficiencia de congelamiento entre 0,5 y 0,7 Tn/h. Este método es relativamente rápido y dura aproximadamente 3 horas y alcanzan temperaturas por debajo de los -30 ° C incluso alcanzando los -40 ° C.



Foto 1.15: Armario de placas

10. Desbandejado

A la pota se le retira la lámina de polietileno para la siguiente operación de glaseado. Si el producto se ha pegado, este se separa y se vuelve a hacer otra selección de producto.



Foto 1.16: Desbandejado

11. Glaseado

El glaseado es un golpe de frío que se le da al producto. El glaseado es una delgada capa protectora de hielo que se forma en la superficie del producto, al sumergirlo en agua potable que se congela sobre el bloque (a veces con aditivos aprobados). Esta capa protegerá al producto de la oxidación, deshidratación y no sufrirá alteraciones en olor, color, etc. durante su almacenamiento (ver Foto 1.17). Esta capa hace que el producto final pese unos 100 a 200 gramos más, dependiendo de los requerimientos del cliente. El efluente del glaseado es trasladado al pozo séptico para aminorar su carga contaminante.



Foto 1.17: Glaseado

12. Empacado

La pota congelada es empacada de acuerdo al tipo de producto en bolsas de polietileno y luego en cajas de cartón (ver Foto 1.18). El empackado también comprende el etiquetado, el producto es identificado con fecha, peso y el código de habilitación de planta para que pueda exportarse.



Foto 1.18: Empacado

13. Almacenamiento en cámara de frío

La pota congelada y procesada es almacenada en cámaras frigoríficas, para su posterior comercialización (Ver foto 1.19). Dichas cámaras de almacenamiento trabajan a unas temperaturas que van desde los $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. El producto llega a la cámara con una temperatura de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el producto final como mínimo de estar a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Foto 1.19: Almacenamiento del congelado de pota

La figura 1.3 muestra el diagrama de flujo del proceso congelado de pota sin pre-cocción:

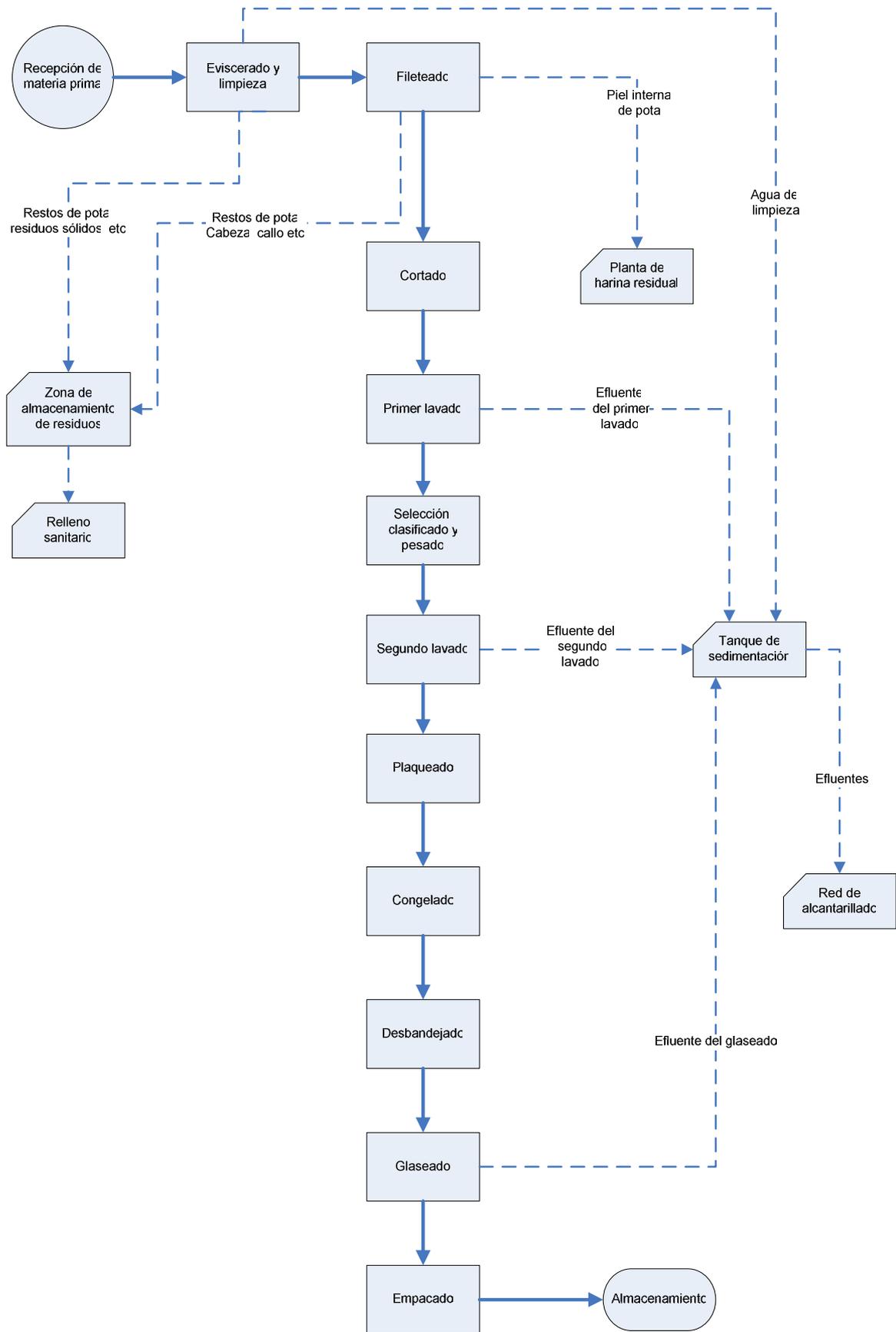


Figura 1.3: Diagrama de flujo del proceso del congelado de pota sin pre-cocción

El proceso productivo de la planta de congelado sin pre-cocción que se visitó, está controlado por un sistema de aseguramiento de la calidad preventiva, basada en el plan HACCP: *Hazard Analysis and Critical Control Points* (Análisis de riesgos y control de puntos críticos). Este plan tiene fundamentos científicos y carácter sistemático que permite identificar peligros específicos y establecer medidas para su control, con el objetivo de garantizar la inocuidad de los productos. Para ello, la planta cuenta con laboratorios químicos y microbiológicos equipados.

Sobre el tratamiento de residuos y efluentes:

- Las rejillas de las canaletas atrapan los residuos sólidos y las partes de pota de las operaciones de: eviscerado y limpieza, así como el fileteado. Las partes de pota no utilizadas en el proceso, las cuales son: piel externa, restos de vísceras, callo, cabeza, ventosas, etc. y residuos sólidos ajenos al proceso, son conducidas en grandes canastillas hasta una zona de almacenamiento de residuos y luego son llevadas al relleno sanitario. Por otra parte, la piel interna es conducida a otras instalaciones de la misma empresa para hacer harina residual de pota.
- Los efluentes del congelado sin pre-cocción: agua de limpieza, efluentes del primer y segundo lavado y el efluente del glaseado, son dirigidos a través de canaletas a un tanque de sedimentación (ver punto 2.5.2.3) con el objetivo de reducir la mayor cantidad de sólidos sedimentables, impurezas y sustancias extrañas en los que se retira un porcentaje de materia orgánica. Posteriormente, los efluentes tratados son conducidos a la red de alcantarillado.

1.3.2.2 Congelado de pota precocida

A continuación se describen las operaciones de la producción del congelado de pota precocida. Este proceso fue observado en plantas ubicadas en Sullana y Piura.

1. Recepción de materia prima

La materia prima llega a la planta transportada en cámaras isotérmicas con bloques de hielo en su interior. La pota puede ser recibida en forma entera, fileteada y/o separada en partes. Además, la calidad de la materia prima está asegurada por los proveedores reconocidos por la empresa y por el examen sensorial que se le realiza en la planta.

2. Eviscerado – Fileteado

La materia prima es distribuida a las mesas de trabajo para que sea eviscerada y limpiada con agua potable de la red. Esta operación se realiza de forma manual por operarios de la planta. Asimismo, los restos de pota que no forman parte del proceso y residuos sólidos son llevados hacia una zona de almacenamiento, en canastas gigantes, fuera del área del proceso para su posterior evacuación.

A la materia prima eviscerada, se le secciona en sus diferentes partes: el tubo, los tentáculos y las aletas, colocándolas en recipientes separados para su posterior procesamiento (ver Foto 1.20). Luego, los tubos (manto) se despielan y pasan a la

siguiente etapa de refrigerado por inmersión. La piel también se descarta y no forma parte del proceso, llevándola a la zona de almacenamiento de residuos.

El producto se coloca en las mesas de fileteo y personal entrenado procede a realizar cortes mariposa (tubo-aleta), corte ventral por la pluma y corte tipo tubo (fileteado) (ver Foto 1.21); de acuerdo a los requerimientos del cliente (espesor, parte y tipo de corte). Además, se retira aquellas partes de la pota que pasaron desapercibidas anteriormente.



Foto 1.20: Pota eviscerada



Foto 1.21: Pota fileteada

3. Refrigerado

Los tubos y filetes, tentáculos y aletas se colocan en recipientes (previamente lavados y desinfectados) con agua refrigerada a una temperatura menor que 5 °C.



Foto 1.22: Refrigerado de pota

4. Primer lavado

El lavado se realiza en recipientes con agua clorada a 0,5 – 2 ppm y a una temperatura aproximadamente entre 0 y 10 °C. Se realiza individualmente y tiene como objetivo eliminar restos de vísceras, partículas indeseables y aminorar la carga bacteriana propia de la superficie del producto.

Los filetes son dirigidos a la operación de laminado, mientras que las aletas y tentáculos son trasladados a la pre-cocción.



Foto 1.23: Primer lavado

5. Laminado

El laminado de filete se realiza con una máquina laminadora, con la finalidad de obtener filetes más delgados de pota y con un espesor de acuerdo a las especificaciones del cliente.



Foto 1.24: Pota laminada

6. Pre-cocción-tinas de cocción

Empleo de cocinadores industriales de vapor indirecto, en forma de tinas con distintas canastillas para la precocción de la materia prima. Esta operación se realiza con la finalidad de restarle agua, grasas, aceites a la materia prima y concentrar su mayor valor proteico, para su posterior congelado. La precocción se realiza por lotes de 500 a 750 kg de cada parte de pota seleccionada en rangos de tiempos definidos. Además, esta operación se realiza en un rango a temperaturas entre 95 y 100 °C y reduce la humedad de la pota hasta un 50%.

Esta operación empieza cuando la tina de cocción se llena de agua hasta el tope y con la ayuda de un brazo mecánico la canastilla llena de pota es colocada dentro de la tina correspondiente. Luego de haber cocinado varias canastillas en la misma tina, se procede al cambio del agua. Para ello, la tina en la parte inferior tiene un tubo de escape regulado por un timón para el desalojo de dicha agua utilizada en la precocción. Así el efluente es expulsado hacia unas canaletas con rejillas para la retención de algunos sólidos y luego conducido hacia unas pozas de sedimentación para su posterior tratamiento.

La tabla 1.10 muestra las diversas presentaciones del congelado de pota precocida, con sus tiempos de cocción y sus números de cocciones:

Tabla 1.10: Tiempos de cocción y número de cocciones para la precocción de pota

Parte de pota	Tiempo de cocción (minutos)	Número de cocciones
Tubo y filete	18 – 20	8 – 9
Tentáculo	25 – 30	11 – 12
Aleta	45 – 50	15 – 16

Fuente: Planta visitada

En las fotos 1.25 y 1.26 se observan las aletas de pota precocidas en las tinas de cocción, mientras que en la foto 1.27 se muestra la precocción del filete de pota.



Foto 1.25: Tinajas de precocción de pota



Foto 1.26: Aleta de pota precocida



Foto 1.27: Filete de pota precocida

7. Enfriado-semicongelado

Luego de que la materia prima es precocida, necesita enfriarse para facilitar su congelado. Por ello, cada canastilla es trasladada mediante un brazo mecánico a dos tinajas de enfriamiento, las cuales contienen:

- Primera tina: la pota es depositada en una tina que contiene agua fría a 0 °C, por un tiempo de 10 minutos.
- Segunda tina: Después, la pota es sumergida en una tina que contiene agua fría y hielo a 0 °C más la adición de salmuera. Esta etapa se realiza por un tiempo de 5 minutos.

En la foto 1.28 se observa el proceso de enfriado del filete de pota sumergida en agua fría y hielo a 0 °C con adición de salmuera (segunda tina).



Foto 1.28: Enfriado-semicongelado del filete de pota

8. Tratamiento químico

El tratamiento químico se le realiza al producto con insumos de proceso autorizados, con al finalidad de bajar la acidez de la pota. Las especificaciones de los aditivos son dadas por el cliente de acuerdo a la presentación. Entre los aditivos que se pueden utilizar están los siguientes: Cafodo 2, Carnal, Hasenosa, etc.

9. Selección, codificado y pesado

Se procede a seleccionar y codificar por tipo de pieza, a las distintas presentaciones del congelado de pota precocida (ver Foto 1.29). Luego de la selección y clasificación del producto, se procede a su pesado de acuerdo al pedido del cliente. El pesado se realiza con la ayuda de una balanza electrónica.



Foto 1.29: Selección del congelado de pota

10. Segundo lavado

Previo a su envasado, el producto se somete a un segundo lavado. Este lavado es por aspersión con agua clorada a 0.5 – 2 ppm y a una temperatura cercana a 0 °C. Esta operación se realiza con la finalidad de eliminar cualquier impureza del tipo físico, microbiológico y mantener el producto a temperaturas bajas.



Foto 1.30: Segundo lavado

11. Envasado

La forma del envasado dependerá de la clasificación previa y del tipo de producto final a obtener (IQF o en block). Todas las variedades del producto se colocan en bandejas metálicas con lámina de polietileno, los cuales van siendo ubicados en los *racks*; donde cada carro se identifica por su número y fecha del producto.



Foto 1.31: Envasado

12. Congelado

El producto debidamente estibado, se congela de dos diferentes maneras:

- **Túneles de congelación:** Consisten en unas cámaras en cuyo interior se introducen estante con ruedas donde se coloca la pota a congelar. El túnel, provisto de paneles aislantes, mantiene el producto en contacto con aire frío. El aire es enfriado al circular sobre serpentines refrigerantes. La congelación en estos túneles es lenta, aproximadamente de 15 a 18 horas, lo cual origina cristales de hielo grandes.
- **Plaqueros (armario de placas):** Son armarios grandes de congelación, los cuales reciben las diversas presentaciones de la pota depositadas en placas. Un refrigerante que circula por el interior de las placas, permite el congelamiento del producto. El tiempo de congelación y operación es de 3 a 4 horas.

Ambos tipos de congelación operan a una temperatura de operación de -30°C y el producto debe tener una temperatura interna de -18°C (como mínimo).

En la foto 1.32 se observa la pota envasada en los túneles de congelación.



Foto 1.32: Túneles de congelación

13. Empacado y etiquetado

El producto final se coloca en bolsas de polietileno y es empacada en cajas master de cartón corrugado sellado con cinta adhesiva. Es etiquetado con las características del producto, con la fecha de producción, pesado y se le coloca un código de identificación y uno de habilitación de la planta para su exportación.

En la foto 1.33 se observa el empaqueo de la pota congelada.



Foto 1.33: Empacado de la pota congelada

14. Almacenamiento de producto

El producto es estibado en parihuelas y se guarda en una cámara de conservación a una temperatura menor a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Foto 1.34: Almacenamiento de la pota congelada

La figura 1.4 presenta el diagrama de flujo del congelado de pota precocida:

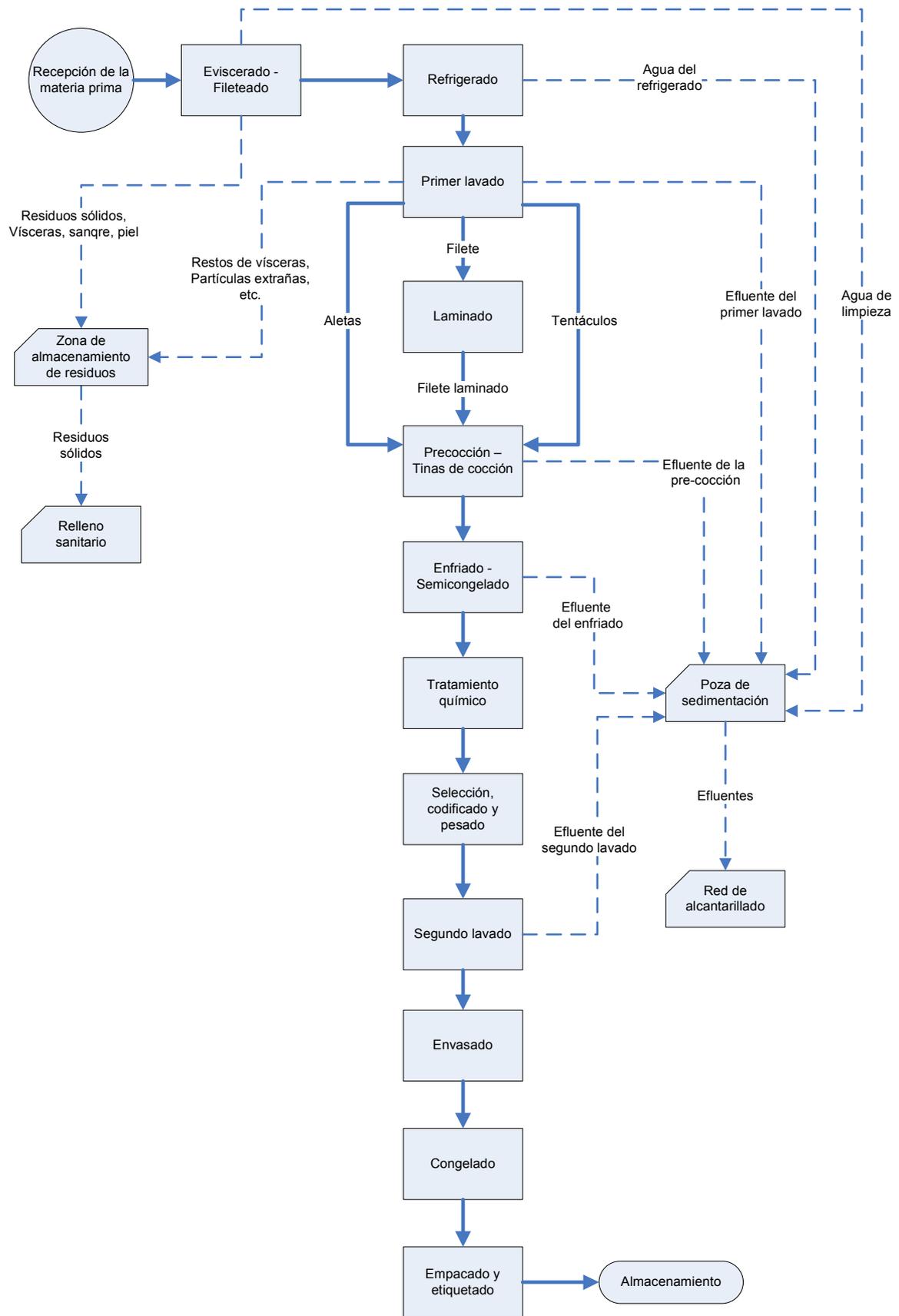


Figura 1.4: Diagrama de flujo del proceso de congelado de pota precocida

El proceso de congelado de pota precocida también se basa en HACCP: *Hazard Analysis and Critical Control Point*: Es la técnica de inspección preventiva y representa la posibilidad de identificar peligros físicos, químicos y biológicos en las diferentes etapas del proceso, enfatiza el rol de la industria en la prevención y solución continua de problemas que pueden ocurrir desde la captura de la materia prima hasta el consumidor final.

Sobre el tratamiento de residuos y efluentes:

- Todas las instalaciones de la fábrica poseen canaletas con rejillas. Todos los residuos y efluentes pasan por una serie de trampas o rejillas especiales, donde quedan atrapadas sólo los residuos sólidos. Estos residuos sólidos son aquellas partes de la pota que no han sido seleccionadas: restos de vísceras, piel, sangre, ventosas y otros residuos sólidos ajenos al proceso. Estos residuos sólidos son conducidos hacia una zona de almacenamiento de residuos y mediante un transporte son evacuados al relleno sanitario.
- Los efluentes del congelado son: agua de limpieza, agua del refrigerado, efluentes del primer y segundo lavado, efluente de la pre-cocción, agua del enfriado-semicongelado. Estos efluentes pasan las rejillas de las canaletas y son conducidos hacia unas pozas de sedimentación (ver punto 2.5.2.3), donde reciben un tratamiento físico para reducir sólidos sedimentables en los que se retira un porcentaje de materia orgánica. Luego, estos efluentes tratados son conducidos a la red de alcantarillado.

1.4 Volúmenes de efluentes del procesamiento de pota en Piura

El problema planteado del impacto ambiental negativo que generan los efluentes del procesamiento de harina y congelado de pota en Piura, obliga a determinar medidas y parámetros para establecer el grado de contaminación que provocan estas actividades económicas en nuestra región. Entre esos parámetros se encuentra el cálculo de los volúmenes de efluentes del procesamiento de pota, que permite percibir una idea global de lo nocivo de esta actividad productiva y hallar las medidas pertinentes para su mejoramiento al largo plazo.

El cálculo de estos volúmenes de efluentes del procesamiento de pota se ha hecho en base de datos experimentales, de observaciones de los procesos industriales, de entrevistas a responsables de estas actividades y/o personas relacionadas a la industria de la pota. Además de fuentes como: las listas de exportaciones de la página oficial de la SUNAT, datos proporcionados por la Dirección Regional de la Producción – Piura (DIREPRO) y las descripciones de los diagramas de flujo de los procesos en estudio (congelado y harina de pota). Por otra parte, en los cálculos se ha recurrido a la aplicación de balances de materia.

1.4.1 Volumen estimado de efluente del proceso de harina de pota

A. Efluente de harina de pota artesanal

El efluente se genera en la cocción de los descartes de pota en pailas:

- Las medidas aproximadas de una paila utilizada a las afueras de la ciudad de Paita son: largo=2,4 m; ancho=1,2 m y altura=0,6 m. Al iniciar la cocción de los descartes, la paila se llena de agua hasta una altura de 0,1 m y luego se coloca la pota fresca hasta una altura final de 0,5 m.
- Se calcula el peso de la pota fresca empleada en la paila de cocción:

$$\text{Volumen de la pota en la paila de cocción} = 2,4 \times 1,2 \times 0,4 = 1,152 \text{ m}^3 \dots \text{(I)}$$

$$\text{Densidad de pota} = 800 \text{ kg/m}^3 \text{ (aproximadamente)}$$

Utilizando el valor de (I) y la densidad aproximada de la pota, se obtiene:

$$1,152 \times 800 = 921,6 \text{ kg de pota fresca/lote} \dots \text{(II)}$$

- En cada cocción el líquido remanente en la paila alcanza una altura de 0,2 m. Con este dato se halla el volumen de efluente generado en cada lote:

$$2,4 \times 1,2 \times 0,2 = 0,576 \text{ m}^3 \text{ de efluente/lote} \dots \text{(III)}$$

- Utilizando los valores (II) y (III), se obtiene el volumen de efluente producido por tonelada de pota fresca:

$$\frac{0,576}{0,922} = 0,625 \text{ m}^3 \text{ de efluente/Tn pota fresca}$$

En la cocción que se realiza a las afueras de la ciudad de Paita se generan 0,625 m³ de efluente por tonelada de pota fresca.

Para calcular las toneladas de harina de pota artesanal respecto a las toneladas de pota fresca, se parte del diagrama de flujo del procesamiento artesanal de harina de pota que se muestra en la figura 1.5 y la humedad del material en cada etapa:

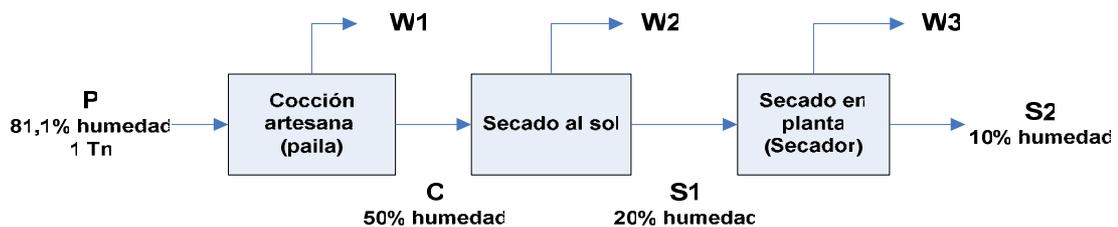


Figura 1.5: Procesamiento artesanal de harina de pota

Realizando los balances de materia de cada operación, se obtiene:

- | | | |
|---------------------|------------------|---------------------|
| • Cocción en paila: | • Secado al sol: | • Secado en planta: |
| C = 0,378 Tn | S1 = 0,236 Tn | S2 = 0,21 Tn |
| W1 = 0,622 Tn | W2 = 0,142 Tn | W3 = 0,026 Tn |

En resumen, por cada tonelada de pota fresca se obtiene 0,21 Tn de harina de pota artesanal. El efluente de harina de pota está constituido por el líquido remanente de la operación de cocción (valor W1), porque las dos operaciones de secado generan

emisiones gaseosas (valores W2 y W3). Por tanto, por cada 0,21 Tn de harina de pota artesanal se producen 0,622 Tn de efluente arrojado a la arena.

La tabla 1.11 muestra la relación de las plantas de procesamiento artesanal de deshidratado de pota con licencia de operación, brindada por la Dirección Regional de Producción (DIREPRO – Piura) y la capacidad operativa por mes de cada planta.

Tabla 1.11: Empresas autorizadas para procesamiento artesanal de deshidratado de pota (Año 2008)

Nº	Razón social	Capacidad (Tn/mes)
1	Álvarez Jiménez María Teresa	60
2	Calle Ojeda Wilson Draco	40
3	Chozo Paredes María Santos	15
4	Comercializadora Napari EIRL	150
5	Díaz Alfaro Segundo Simón	150
6	Empresa Cabarsa EIRL	80
7	FOG SAC.	200
8	Hidalgo Atoche Filadelfo	100
9	Madrid Madrid Santiago	100
10	North Pacific S.A.C.	450
11	Pardo de Riega Natalia	160
12	Quinde Oliva Efraín Beria	100
13	Ramírez Sarango Bertha Emerita	600
14	Rivera Rivas Jaime	300
15	Rodríguez Zapata Julio	60
16	Seminario Trelles Liliana del Rosario	235
17	Silva Puescas Eugenio	35
18	Ydrogo de Ayón Digna Esmerita	120
Capacidad Total por mes		2955

Fuente: DIREPRO

Con una capacidad estimada de 2955 Tn de harina artesanal de pota por mes, se puede calcular que se requiere 14071,43 Tn de pota fresca/mes. Luego, se obtienen las toneladas de efluente por mes:

$$\frac{2955(0,622)}{0,21} = 8752,43 \text{ Tn de efluente de pota/mes}$$

Expresado en volumen: 8377,13 m³ de efluente de pota/mes (densidad experimental del efluente de harina de pota: 1,0448 Tn/m³).

En síntesis, para la elaboración de harina de pota artesanal en el Departamento de Piura se emplean 14071 Tn de pota fresca por mes y se generan 8377 m³ de efluente de pota por mes.

B. Efluente de harina de pota industrial

Se calcula el volumen de efluente generado por la operación de cocción:

- Se genera una cantidad de efluente por cocción igual al 50% de la pota entrante a la cocina.
- Por cada tonelada de pota fresca se generan 0,5 Tn de efluente de cocción de pota. Utilizando la densidad experimental del efluente, se obtiene:

$$\frac{0,5}{1,0448} = 0,4786 \text{ m}^3 \text{ efluente/Tn pota fresca}$$

Se calcula el volumen de efluente generado por la operación de prensado de la pota cocinada:

- Se genera una cantidad de efluente por prensado igual al 15% del peso de pota entrante a la prensa. Con este dato se pueden obtener el volumen de efluente generado por tonelada de pota cocinada:

$$\frac{0,15}{1,0448} = 0,1436 \text{ m}^3 \text{ efluente/Tn pota cocinada}$$

En la cocción industrial se producen 0,4786 m³ de efluente por tonelada de pota fresca y en el prensado se generan 0,1436 m³ de efluente por tonelada de pota cocinada.

Para calcular las toneladas de harina de pota industrial respecto a las toneladas de pota fresca, se parte del diagrama de flujo del procesamiento industrial de harina de pota que se muestra en la figura 1.6:

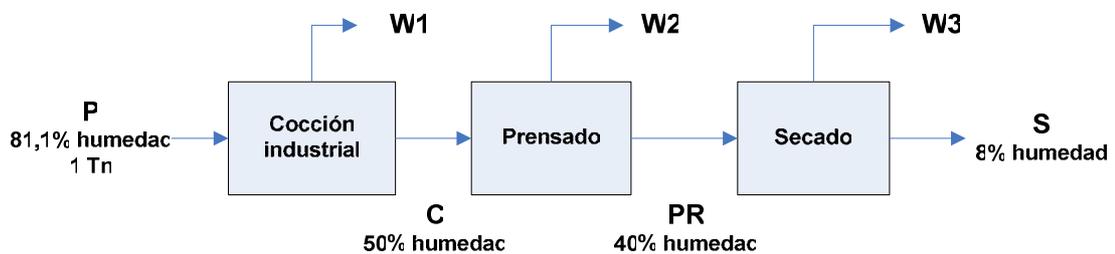


Figura 1.6: Procesamiento industrial de harina de pota

Realizando los balances de materia de cada operación, se obtiene:

- | | | |
|---------------|---------------|--------------|
| • Cocinado: | • Prensado: | • Secado: |
| C = 0,378 Tn | PR = 0,315 Tn | S = 0,205 Tn |
| W1 = 0,622 Tn | W2 = 0,063 Tn | W3 = 0,11 Tn |

En resumen, por cada tonelada de pota fresca se obtiene 0,205 Tn de harina de pota industrial. El efluente de harina de pota es la suma de los efluentes de las operaciones de cocción y prensado (valor W1+W2), porque la operación de secado genera una emisión gaseosa (valor W3). Por tanto, por cada 0,205 Tn de harina de pota industrial producen 0,685 Tn de efluente, que es enviado a la planta de agua de cola, donde se concentra por evaporación. Por lo tanto, no se descarga ningún efluente, ni a la red de alcantarillado, ni a un cuerpo receptor.

La tabla 1.12 presenta la relación de plantas de procesamiento de harina de pota industrial, con licencia de operación, proporcionada por la Dirección Regional de Producción (DIREPRO – Piura). En dicha tabla, se muestra la producción estimada por mes de cada planta, la cual ha sido calculada teniendo en cuenta:

- La capacidad máxima de cada planta para procesar todos sus recursos hidrobiológicos (valores proporcionados por DIREPRO – Piura).
- Las exportaciones de harina de pota del año 2008 (valores obtenidos de las partidas arancelarias de SUNAT y del Informe Anual del Desarrollo del Comercio Pesquero en el Perú – 2008).
- Se asume que las exportaciones de harina de pota industrial de cada planta equivalen al 35% de su capacidad máxima operativa para elaborar este producto. Este criterio se ha utilizado porque existe un gran número de empresas comercializadoras y exportadoras que venden al exterior este producto. Asimismo, la harina de pota industrial forma parte del mercado nacional.

Tabla 1.12: Plantas industriales de procesamiento de harina de pota industrial (Año 2008)

Nº	Nombre de la empresa	Producción estimada (Tn/mes)
1	Agropesca S.A.	234
2	Armadores y Congeladores del Pacífico S.A.	123
3	Corporación Refrigerados Iny S.A.	187
4	Corporación Pesquera Inca S.A.C.	453
5	DEXIM S.R.L.	70
6	Empresa Pesquera Puerto Rico S.A.C.	1639
7	FRIOMAR S.A.C.	141
8	Import Export Pesca y Agricultura S.R.L.	123
9	Industrial Pesquera Yacila S.A.	187
10	Industrias Bioacuáticas Talara S.A.C.	666
11	Interfish S.A.C.	60
12	Pacific Freezing Company S.A.C.	211
13	Peruvian Sea Food S.A.	117
14	Pesquera Hayduk S.A.	203
15	Pesquera Ribaudó S.A.	35
16	Pesquera Santa Enma S.A.	1170
17	Pesquera Tierra Colorada S.A.	82
18	Productos Marinos del Pacífico Sur S.A.	1170
19	Proveedora de Productos Marinos S.A.C.	297
20	SEAFROST S.A.C.	70
21	Trading Fishmeal Corporation S.A.C.	123
Producción total estimada por mes		7361

Fuente: DIREPRO, SUNAT, PROMPERÚ

Con una producción estimada de 7361 Tn de harina de pota industrial por mes, se puede calcular que se requiere 35907,32 Tn de pota fresca/mes. Luego se obtienen las toneladas de efluente por mes:

$$\frac{7361(0,685)}{0,205} = 24596,51 \text{ Tn de efluente de pota/mes}$$

Expresado en volumen: 23541,84 m³ de efluente de pota/mes

En síntesis, para la elaboración de harina de pota industrial en el Departamento de Piura se emplean 35907 Tn de pota fresca por mes y se generan 23542 m³ de efluente de pota por mes; los cuales, sin embargo, son recuperados en su totalidad a través de una planta de concentrado de agua de cola.

1.4.2 Volumen estimado de efluente del proceso de congelado de pota

Para estimar el volumen de efluente generado por la pre-cocción de pota en tinajas de cocción, se realiza lo siguiente:

- Las medidas de una tina de cocción de una planta de congelado de pota son: largo=4,95 m; ancho=1,2 m y altura=0,55 m. Al iniciar la pre-cocción de la pota en las tinajas, se llena de agua hasta una altura de 0,3 m y luego se coloca la pota fresca hasta una altura final de 0,46 m. Además, el peso de la pota fresca por lote cada tina es aproximadamente 750 kg...(I)
- En cada pre-cocción, el líquido remanente alcanza una altura de 0,35 m. Con este dato se halla el volumen de efluente generado en cada cocinada:

$$4,95 \times 1,2 \times 0,35 = 2,079 \text{ m}^3 \text{ de efluente/tina... (II)}$$

- En la pre-cocción según se trate diferente parte de pota (aleta, tubo y tentáculo) se cocinan varios lotes de pota en la misma tina, sin retirar el líquido remanente. Asimismo, las plantas de congelado refieren que el mínimo número de lotes de pota por tina es 8, mientras que el máximo es 16.
- Utilizando los valores (I) y (II), así como los datos del mínimo y máximo número de lotes de pota, se obtiene el volumen de efluente producido por tonelada de pota fresca:

- Con el máximo número de lotes por tina:

$$750 \text{ kg} \times 16 = 12 \text{ Tn de pota fresca} \rightarrow \frac{2,079}{12} = 0,1733 \text{ m}^3 \text{ de efluente/Tn pota fresca}$$

- Con el mínimo número de lotes por tina:

$$750 \text{ kg} \times 8 = 6 \text{ Tn de pota fresca} \rightarrow \frac{2,079}{6} = 0,3465 \text{ m}^3 \text{ de efluente/Tn pota fresca}$$

En la pre-cocción se genera un volumen de efluente que se encuentra comprendido en un rango de 0,17733 y 0,3465 m³ por tonelada de pota fresca.

Para calcular las toneladas de papa precocida congelada respecto a las toneladas de papa fresca, se parte del diagrama de flujo del procesamiento del congelado de papa que se muestra en la figura 1.7:

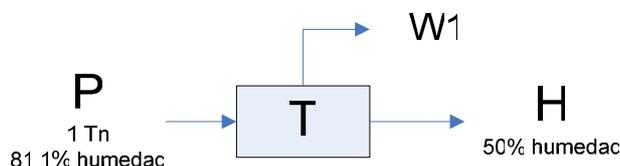


Figura 1.7: Procesamiento de papa precocida congelada

Realizando el balance de materia, se obtiene para 1 tonelada de papa eviscerada, cortada y limpiada con agua potable:

$$H = 0,378 \text{ Tn}$$

$$W1 = 0,622 \text{ Tn}$$

Por cada tonelada de papa fresca se obtiene 0,378 Tn de congelado de papa industrial. Además, por cada 0,378 Tn de congelado de papa también se producen 0,622 Tn de efluente de su procesamiento.

La tabla 1.13 presenta la relación de plantas de procesamiento de congelado de papa precocida, con licencia de operación, proporcionada por la Dirección Regional de Producción (DIREPRO – Piura). La producción estimada de cada planta por mes, ha sido calculada teniendo en cuenta:

- La capacidad máxima de cada planta para procesar todos sus recursos hidrobiológicos (valores proporcionados por DIREPRO – Piura).
- Las exportaciones de congelado de papa del año 2008 y sabiendo que las partes de papa que se someten a precocción antes de congelarse, son: reje, filete, tentáculos, tubo y aleta (valores obtenidos de las partidas arancelarias de SUNAT y del Informe Anual del Desarrollo del Comercio Pesquero en el Perú – 2008 y 2009).
- Se asume que toda la producción de congelado de papa es destinada a la exportación. Este criterio se ha utilizado porque este producto tiene una alta demanda exterior en todas sus presentaciones.

Tabla 1.13: Plantas industriales de procesamiento de congelado de pota precocida (Año 2008)

Nº	Nombre de la empresa	Producción estimada (Tn/mes)
1	Agroindustrias del Chira S.R.L.	64
2	Armadores y Congeladores del Pacífico S.A.	307
3	CNC S.A.C.	607
4	Corporación de Ingeniería de Refrigeración S.R.L.	241
5	Daewon Susan E.I.R.L.	240
6	DEXIM S.R.L.	187
7	Exportadora Cetus S.A.	68
8	Fernández S.R.L.	49
9	FREEKO Perú S.A.	56
10	FRIOMAR S.A.C.	251
11	Frutos del Perú S.A.	131
12	ILLARI S.A.C.	288
13	Industrias Pesqueras Frida Sophia S.A.C.	125
14	Inversiones Holding S.A.C.	334
15	MAI SHI GROUP S.A. S.A.C.	156
16	M.I.K. - CARPE S.A.C.	485
17	M.V.P. Enterprise S.R.L.	11
18	Pacific Freezing Company S.A.C.	1654
19	Pesco Marine S.A.C.	162
20	Pesquera Hayduk S.A.	328
21	Pesquera Santa Emma S.A.	240
22	Productora Andina de Congelados S.R.L.	100
23	Provedora de Productos Marinos S.A.C.	127
24	Refrigerados FISHLOG & HIJOS S.A.C.	94
25	RUNAPESCA S.A.C.	75
26	SEAFROST S.A.C.	531
27	SERMARSU S.A.C.	10
Capacidad Total por mes		6921

Fuente: DIREPRO, SUNAT, PROMPERÚ

Con una capacidad total estimada de 6921 Tn de congelado de pota precocida por mes, se puede calcular que se requiere: 18309,52 Tn de pota fresca/mes. Luego se obtienen las toneladas de efluente por mes:

$$\frac{6921(0,622)}{0,378} = 11388,52 \text{ Tn de efluente de pota/mes}$$

Expresado en volumen: 10919,01 m³ de efluente de pota/mes (densidad experimental del efluente de congelado de pota: 1,043 Tn/m³).

Para la producción de congelado de pota precocida en el Departamento de Piura se emplean 18310 Tn de pota fresca por mes y generan 10919 m³ de efluente de pota por mes.

La tabla 1.14 muestra el resumen de los cálculos estimados con respecto a la cantidad de papa cocinada o precocida y la generación de los volúmenes de efluentes, de las actividades de la harina y congelado de papa.

Tabla 1.14: Tabla resumen de la cantidad de papa y de los volúmenes estimados de efluentes generados por las actividades de harina y congelado

Procesos	Efluente por cada tonelada de papa fresca (m ³)	Papa fresca requerida por mes (Tn)	Efluente producido por mes (m ³ /mes)
Harina de papa artesanal	0,625	14071	8377
Harina de papa industrial	0,656	35907	0
Congelado de papa pre-cocida	0,622	18310	10919

La tabla 1.14 revela diferencias notables en la cantidad de papa fresca que procesan las empresas de harina de papa industrial respecto a la artesanal y el congelado. Además, el proceso de elaboración industrial de harina de papa es mucho más eficiente que el artesanal y que el congelado, porque se recupera en su totalidad el efluente del primero en una planta de concentrado de agua de cola y, por ende, no es arrojado a ningún cuerpo receptor.

A esto debemos agregar que existen muchas plantas formales que producen harina de papa industrial con grandes infraestructuras y maquinaria especializada, respecto a la artesanal y el congelado. Asimismo, el volumen del efluente de la harina de papa artesanal es considerable pero no tan elevado, porque no se engloban en estas cifras las productoras artesanales clandestinas que deshidratan la papa. Por otra parte, el volumen de efluente del congelado de papa precocida por mes es muy elevado y pocas plantas tratan esta agua residual mediante pozos sépticos o de sedimentación, ya que la mayoría vierte este efluente a la red de alcantarillado o a cualquier cuerpo receptor.

Esto refleja la necesidad de tratamiento de efluentes que aminoren y así eviten arrojar estas aguas residuales a cualquier cuerpo receptor. Por ello, la reutilización de esta agua para obtener un mayor provecho, como fuentes de energía y fertilizante, reduciría el impacto ambiental que generaría su desecho al aire libre.

1.5 Marco legal y normativo

El marco legal y normativo con respecto al calamar gigante (*Dosidicus gigas*) abarca las facultades de las autoridades correspondientes para realizar labores de administración sobre el recurso hidrobiológico y de los demás participantes que guardan relación para su extracción, procesamiento, etc.

A continuación se presenta el Reglamento para la disposición y procesamiento artesanal de papa, su posterior modificación y algunos dispositivos legales que han ido evolucionando con posteriores obsolescencias, vigencias y actualizaciones.

1.5.1 Reglamento para la disposición y procesamiento artesanal de pota

La aparición informal de centros de procesamiento artesanal de descartes, recortes y restos de calamar gigante en la región Piura (Paita, Talara, Sullana) ha ocasionado graves problemas de contaminación y la propagación de malos olores hacia las zonas cercanas a estas plantas. Ante esta problemática, se elaboró un reglamento para regular las actividades de la industrialización de la pota en los centros informales de Piura.

En el Anexo A.1 se presenta la versión completa del “Reglamento para la disposición y procesamiento artesanal de los descartes, recortes y restos de calamar gigante generados por las actividades de semiproceso en desembarcaderos pesqueros artesanales y de la industria de congelado”.

1.5.2 Modificación del reglamento para la disposición y procesamiento artesanal de pota

Los cambios en la modificación del reglamento están relacionados con los agentes participantes, autorización y licencia de operación para instalar una planta de procesamiento, tipo de producto y condiciones sanitarias de instalación, características técnicas del producto, efectos del incumplimiento del reporte de información mensual de las actividades de los procesadores artesanales y aplicación efectiva de la fiscalización, infracciones, sanciones y disposiciones finales.

En el Anexo A2 se presenta el dispositivo de modificación del reglamento mencionado.

1.5.3 Reglamentos y leyes peruanas

A continuación se menciona el marco legal y la legislación ambiental relacionada a la pota, así como algunas normas del sector pesquero:

1. Decreto Supremo N° 005-91-PE (13-12-91). Aprobación del reglamento para la operación de barcos poteros y calamareros, así como su control y vigilancia.
2. Decreto Ley N° 25977 (22-12-92). Ley general de pesca.
3. Resolución Ministerial N° 155-94-PE (30-04-94). Se aprueba el plan de ordenamiento pesquero de la pota o calamar gigante.
4. Resolución Ministerial N° 478-94-PE (15-12-94). Esta resolución fija los límites máximos permisibles de emisión al medio marino de residuos y desechos para la actividad pesquera de consumo humano indirecto. La base de esos límites son los parámetros: Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO₅), sólidos totales, grasas y el pH para medir los efluentes industriales de la actividad pesquera como: sanguaza, agua de bombeo, agua de cola.
5. Resolución Ministerial N° 208-96-PE (02-04-96). Normas Complementarias para la aplicación del Título VII del Reglamento de la Ley General de Pesca relativas a la protección del medio ambiente.

6. Resolución Ministerial N° 645-97-PE (24-10-97). Establece que el Ministerio de Pesquería es la autoridad competente en materia ambiental en el sector pesquero.
7. Resolución Ministerial N° 721-97-PE (14-11-97). Se aprueba el Protocolo de monitoreo de efluentes de la industria pesquera de consumo humano directo. Es una guía que trata aminorar los daños de la contaminación en el medio marítimo, terrestre y atmosférico. Además, apoya el monitoreo de efluentes industriales, mediante la definición de parámetros que señalen el grado de contaminación por materia orgánica o coliformes fecales.
8. Resolución Ministerial N° 047-98-PE (06-02-98). Se aprueba el plan de ordenamiento pesquero del calamar gigante o pota. Este documento consta de trece capítulos que describen la conservación del recurso hidrobiológico, la forma de operación de los barcos calamareros, del permiso de pesca, de las obligaciones, del control y vigilancia y de las obligaciones.
9. Resolución Ministerial N° 236-98-PE (13-05-98). Se establecen condiciones más estrictas para la protección de recursos hidrobiológicos destinados a la pesca industrial y su posterior procesamiento.
10. Resolución Directorial N° 212-98-PE/DNE (08-07-98). Aprueba el método de cálculo de la captura nominal del calamar gigante o pota para aplicarse a las embarcaciones calamareras con fines extractivos.
11. Decreto Supremo N° 004-99-PE (28-03-99). Presenta el marco jurídico regulador de las actividades pesqueras con relación con el medio ambiente y así garantizar la sostenibilidad de la actividad.
12. Resolución Ministerial N° 300-99-PE (22-10-99). Aprueba el Formulario para la Declaración de Impacto Ambiental (DIA).
13. Decreto Supremo N° 013-2001-PE (29-03-01). Se aprueba el reglamento de Ordenamiento Pesquero del Calamar Gigante o Pota. Este reglamento se realizó con la finalidad de aprovechar de manera racional el calamar gigante o pota, teniendo en cuenta sus características biológicas y poblacionales del recurso. Asimismo, fomentar el desarrollo de una flota nacional especializada y la correspondiente industria para su procesamiento, optimizando los beneficios económicos por su explotación. También, establece un control o régimen de acceso a la captura total permisible, temporadas de pesca, sistema de pesca, zonas de pesca, requerimientos de investigación, derechos de pesca nacional e internacional, control y vigilancia de la explotación del recurso, prohibiciones y sanciones relacionados a la explotación del calamar gigante o pota.
14. Resolución Ministerial N° 017-2002-PRO (07-08-02). Aprueba el Convenio de Cooperación entre el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y el Centro de Investigación de Recursos Pesqueros Marinos del Japón (JAMARC) para realizar una investigación conjunta bajo la modalidad de pesca exploratoria y prospección del calamar gigante (pota) con la ayuda de una embarcación japonesa, en el dominio marítimo peruano y por un periodo de 66 días.

15. Resolución Ministerial N° 208-2002-PRODUCE (03-12-02). Establece la cuota de captura del recurso Calamar Gigante o pota para el año 2003 en 150 mil toneladas, teniendo en cuenta el Reglamento de Ordenamiento Pesquero del Calamar Gigante o Pota y ante la posibilidad de una dispersión del recurso en el post-Niño 2002-2003.
16. Decreto Supremo N° 002-2007-PRODUCE (02-02-07). Declara la importancia estratégica y de interés nacional la promoción del consumo de la anchoveta y pota.
17. Decreto Supremo N° 013-2007-PRODUCE (13-07-07). Establece medidas para autorizar las operaciones de transbordo en puertos peruanos de embarcaciones pesqueras de arrastrefactoría y calamareras por capturas de diversos de la pota y otros recursos hidrobiológicos fuera del dominio marítimo peruano (200 millas marinas).
18. Decreto Supremo N° 010-2008-PRODUCE (30-04-08). Aprueba los límites máximos permisibles (LMP) para efluentes de la industria de harina y aceite de pescado, donde se definen los límites de una serie de parámetros químicos y biológicos, para medir el grado de contaminación de las empresas de esta industria.

Capítulo 2

Fundamentos del tratamiento de efluentes y la digestión anaeróbica

El presente capítulo es un marco teórico que presenta los distintos tipos de efluentes de la industria pesquera y de pota, así como los parámetros físico-químicos que los caracterizan. Además, se definen los distintos tipos de tratamiento de efluentes y se detalla la teoría de la digestión anaeróbica.

2.1 Definición de efluente

Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, el efluente es el líquido que procede de una planta industrial.

Son las descargas o salidas de flujos líquidos residuales¹², tratados o sin tratar, producto de cualquier proceso industrial. Estos flujos líquidos son arrojados al alcantarillado o a cualquier cuerpo receptor¹³.

Los efluentes son de naturaleza química como biológica y poseen un alto valor tóxico¹⁴, lo que constituye un factor de contaminación si son arrojados al aire libre y, a su vez, son recuperables si se les aplica un tratamiento y control adecuados.

2.2 Tipos de efluentes

2.2.1 Efluentes de la industria pesquera

Entre los tipos de efluentes que se pueden identificar en la industria pesquera, tenemos:

1. Agua de bombeo

Está formado por el agua de mar con que se bombea el pescado desde las bodegas de las embarcaciones hasta las pozas de almacenamiento de las plantas. En términos de flujo, el agua de bombeo es el efluente de mayor volumen generado por una planta

harinera en el Perú. Contiene en promedio entre 3 y 5% de proteína (suspendida y disuelta) y 2% de aceite¹⁵.

El agua de bombeo es tratada para la recuperación de proteínas y aceites, con el empleo de mallas de 1 mm y sistemas de flotación con aire disuelto¹⁵. Con esto se aminora la carga orgánica que es arrojada al mar y, a la vez, se recupera proteínas y aceites para otros procesos.

2. Sanguaza

Es un efluente con contenidos sólidos, que se forma en la bodega de las embarcaciones y en las pozas de almacenamiento de pescado en las plantas, antes de su transformación a otros productos. La sanguaza contiene sangre, mucus, algunos sólidos y restos de pescado. Se forma como consecuencia de la actividad bacteriana y de la acción autolítica de las enzimas que se hallan en los estómagos de las especies marinas¹⁵.

3. Agua de cola

Este efluente es un subproducto de la operación de prensado para el procesamiento de la harina¹⁵. Es la fracción líquida que se obtiene a partir del caldo de prensa (fase líquida del prensado), al ser sometida a un proceso de centrifugación¹⁶. Producto de esta operación, se recupera gran parte de aceite de ese remanente, eliminando un gran porcentaje de los sólidos en suspensión y grasas¹⁷.

Actualmente, el agua de cola no se arroja a ningún cuerpo receptor, sino que se concentra en un sistema de evaporación y el concentrado retorna al proceso de harina.

4. Agua de limpieza

Este efluente está relacionado al agua empleada en la limpieza y lavado de las diversas áreas de los procesos pesqueros: materiales, instalaciones, desinfección de equipos, lavado de la materia prima, etc¹⁵.

2.2.2 Efluentes de la industria de la pota

2.2.2.1 Efluentes del proceso de harina de pota

La harina de pota se produce de manera artesanal e industrial, generándose diversos tipos de efluentes (ver punto 1.3.1).

En la producción de harina de pota artesanal, se genera efluente de la cocción en la pampa. Está compuesto básicamente de agua, residuos de pota, aceites y arena.

En la producción de harina de pota industrial, se generan los siguientes efluentes:

a) Sanguaza de pota

Se origina en las pozas de almacenamiento y está formada por residuos sólidos, restos de pota, agua, sangre, proteínas y aceites. Este efluente es recirculado y trasladado a la operación de cocción para aprovechar su contenido proteico en el proceso.

b) Efluente de la cocción industrial

Es el efluente producido en el cocinador industrial. Está conformado básicamente por agua, residuos sólidos, proteínas, grasas, aceites, residuos viscosos líquidos, etc. Este efluente es llevado a un separador de sólidos para recuperar la mayor cantidad de partículas sólidas finas y proteínas, que puedan insertarse nuevamente al procesamiento de harina.

c) Licor pre-strainer

Este efluente es conducido al separador de sólidos para extraer la mayor cantidad de partículas sólidas y proteínas, que puedan insertarse nuevamente al procesamiento de harina.

d) Licor de prensa

Este efluente contiene agua, restos de los sólidos, aceite, proteínas disueltas y minerales de la pota. Es conducido al separador de sólidos para recuperar la mayor cantidad de partículas sólidas y proteínas, que puedan insertarse nuevamente al procesamiento de harina.

e) Licor de separadora

Se forma cuando el caldo *pre-strainer* y el licor de prensa son sometidos a un separador de sólidos, para dividir esos dos efluentes en una fase líquida y otra sólida por efectos de una fuerza centrífuga. Esa fase líquida se denomina licor de separadora y está conformada por pequeñas cantidades de aceite y proteína disuelta de la pota. Este efluente es conducido a una operación de centrifugación para extraer la mayor cantidad de aceite.

f) Agua de cola

El licor de separadora al ser centrifugado, se divide en agua de cola y aceite. El agua de cola contiene 8 % de sustancias sólidas disueltas y está compuesta principalmente de aminoácidos, proteínas, vitaminas, sales minerales y un bajo porcentaje de grasa. Este efluente es trasladado a una planta evaporadora, con la finalidad de concentrarlo en evaporadores y aumentar su proporción de sólidos para incorporarlo nuevamente al proceso (concentrado de agua de cola).

En resumen, el proceso industrial de harina recupera todos los efluentes y los reincorpora al proceso como concentrado de agua de cola.

2.2.2.2 Efluentes del proceso de congelado de pota

El congelado de pota tanto si se realiza o no la operación de pre-cocción, genera diversos tipos de efluentes (ver punto 1.3.2).

a) Agua de limpieza

Este efluente no es tan contaminante, ya que se le eliminan mediante rejillas, las partículas extrañas, partes externas de pota, restos de vísceras, etc.

b) Efluente del primer lavado

Está formado por: agua, cloro, restos de pota, partículas sólidas, etc.

c) Efluente del segundo lavado

Está formado por: agua, hipoclorito de sodio, partículas sólidas, etc.

d) Efluente del glaseado

El efluente del glaseado está conformado por: agua, algunos aditivos (químicos), partículas extrañas, etc.

e) Agua del refrigerado

Este efluente está conformado por: agua, restos de pota, partículas extrañas, residuos sólidos, etc.

f) Efluentes del primer y segundo lavado

Estos efluentes están conformados por: agua, cloro, partículas extrañas, restos de pota, etc.

g) Efluente de la pre-cocción

Este efluente se origina como consecuencia de la cocción de las partes seleccionadas de pota en tinas, con el objetivo de restarle agua, grasas, aceites, etc. a la materia prima y concentrar su mayor valor proteico, para su posterior congelado. Este efluente está formado por: agua, residuos sólidos, partes externas de pota, proteínas, grasas, y aceites de pota disueltas, etc.

h) Agua de enfriado

La pota precocida necesita enfriarse debido a la operación de pre-cocción, con la finalidad de facilitar su congelado. Por ello, la materia prima es enfriada en dos tinas: una con agua fría y otra que contiene agua fría, hielo y salmuera. Esas aguas residuales de las dos tinas son los efluentes del enfriado y están compuestos de: agua, salmuera, partículas sólidas, partes externas de pota, grasas, aceites, etc.

2.3 Parámetros de caracterización de efluentes

Los parámetros que caracterizan a los efluentes son importantes para calificar, de acuerdo a sus valores, su grado de contaminación y así establecer el impacto que generan en el cuerpo receptor donde se vierten. Entre los principales parámetros de control de efluentes, tenemos:

2.3.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

También llamada demanda bioquímica de oxígeno al quinto día. Es la cantidad de oxígeno disuelto que requiere la materia orgánica presente en una muestra de agua residual, para estabilizarse en un tiempo y a una temperatura determinados en condiciones aeróbicas¹⁹.

También se define como la cantidad de oxígeno (mg/l) que necesita una población microbiana heterogénea para descomponer y oxidar la materia en una muestra de agua, en un tiempo y temperatura determinados²⁰. Asimismo, el DBO₅ es un indicador de la cantidad de materia orgánica biodegradable y de la presencia de microorganismos en una muestra de agua a medir. Un elevado valor de este parámetro, nos indica una mayor cantidad de materia orgánica en muestra de agua, por lo que, mayor será la cantidad de oxígeno que se necesitará para su descomposición, generando condiciones desfavorables para la vida marina ante una posible disminución de oxígeno disuelto²¹.

Este parámetro DBO₅ se halla midiendo el oxígeno consumido por los organismos en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno, en un intervalo de tiempo de cinco días. También, se deben garantizar condiciones para favorecer el crecimiento y desarrollo de los agregados bacterianos. Además, del intervalo de tiempo establecido, la temperatura debe oscilar entre los 20 °C durante el proceso de oxidación²².

2.3.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica del agua residual, susceptible de ser oxidada por medios químicos (un oxidante fuerte)²³. También, se define como la cantidad de oxígeno (en mg/l) consumido en la oxidación de las sustancias reductoras, que hay en una muestra de agua²⁴. Es decir, la medida de la capacidad de consumo de oxígeno de los materiales orgánicos e inorgánicos de una muestra de residual²⁵.

Es un parámetro referente para medir el grado de contaminación y la calidad del agua expresada en mg/l (O₂), en base a la materia orgánica detectada en las muestras de aguas residuales.

El procedimiento para hallar este parámetro se basa en la digestión u oxidación con un agente oxidante como el dicromato potásico²³.

2.3.3 Sólidos totales

También llamado residuo seco, es la cantidad de materia sólida que queda como residuo después de una operación de evaporación o secado, en un rango de temperatura que oscila entre los 103 a 105 °C²⁶. Los sólidos totales están formados por los sólidos suspendidos y los sólidos disueltos^{27, 154}.

También se define como la medida de la cantidad total de sales y materia orgánica que contiene una muestra de agua residual, pero este parámetro está influenciado por la temperatura y la duración de la desecación^{153, 154}. En síntesis, el residuo seco es un indicativo de los iones, minerales, metales y del contenido salino del agua¹⁵⁵.

2.3.4 Sólidos suspendidos totales

Es un indicador de la calidad del agua. Se define como la porción de sólidos retenidos, luego de filtrar un determinado volumen de muestra de aguas residuales, por medio de crisoles o filtros de fibra de vidrio (medios filtrantes de porosidad estandarizada) que posteriormente se secan a una temperatura entre 103 – 105 °C²⁸. Forman parte de este grupo: pequeñas partículas de materia orgánica e inorgánica, microorganismos y plancton²⁹. Estos sólidos suspendidos totales se dividen en volátiles (SSV) y fijos (SSF)²⁸:

1. Sólidos suspendidos fijos (SSF): Son los residuos que quedan cuando el filtro de fibra de vidrio, que contiene los sólidos suspendidos totales, es sometido a una calcinación en mufla a una temperatura de 500 ± 50 °C³⁰.
2. Sólidos suspendidos volátiles (SSV): Son aquellas partículas volatilizadas en el proceso de calcinación antes mencionado. Este parámetro es más utilizado en la ingeniería ambiental³⁰.

2.3.5 Fósforo total

Es la concentración de todas las formas presentes del fósforo, ya sean orgánicas, inorgánicas, disueltas y/o en formas de partículas en una muestra de agua residual. El fósforo orgánico procede de la descomposición de la materia orgánica de: aguas residuales domésticas, aguas residuales agroindustriales (criaderos, plantas de sacrificio) y de industrias alimenticias³¹. El fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales, casi exclusivamente en la forma de fosfatos. Además, los fosfatos provienen de efluentes de productos de limpieza, fertilizantes, procesos biológicos, etc³².

El fósforo es un nutriente importante para el crecimiento de organismos y es una de las bases primordiales para la existencia de vida. Por ende, la descarga de fosfatos en las aguas, es un estimulante del crecimiento de macro y microorganismos fotosintéticos en cantidades nocivas³². El exceso de su concentración en el agua provoca lo que se llama eutroficación. Este fenómeno consiste en crecimiento desmedido de la biota vegetal, debido a un enriquecimiento masivo de nutrientes o elementos inorgánicos, de los ecosistemas marinos: ríos, mares, lagos, etc. (descargas de vertimientos fosfatados)³¹.

El procedimiento para hallar el valor de este parámetro se realiza por la transformación de todas las formas de fósforo contenidas y la detección del ortofosfato en solución por cualquier método cuantitativo (análisis químico) ³³.

2.3.6 Nitrógeno total

Es un parámetro que engloba todas las formas de nitrógeno reducidas orgánicas y amoniacales, es decir, es la suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, nitritos y nitratos ³⁴. El nitrógeno total Kjeldahl es la suma del nitrógeno orgánico en todas sus formas y el ión amonio (NH_4^+) ³⁵. Mientras, que el nitrógeno orgánico está constituido por proteínas, polipéptidos y aminoácidos ³⁴.

Las diversas formas de nitrógeno permiten determinar si la contaminación en una muestra analizada, ha sido muy reciente o lleva mucho tiempo de contaminado. Si la muestra contiene cantidades elevadas de nitrógeno orgánico y amoniacal, con pocas de nitritos y nitratos, se concluye que el proceso de nitrificación ya se ha producido y que la contaminación no es muy reciente. Sin embargo, cantidades elevadas de la forma nitrato en aguas superficiales, es un indicio de que este procede del proceso de nitrificación ²¹.

2.3.7 Nitrógeno amoniacal

El nitrógeno amoniacal es una de las formas iónicas de nitrógeno que es absorbida por las plantas para su desarrollo ¹⁶⁸, es soluble en agua y queda retenido por el poder absorbente del suelo ¹⁶³. El nitrógeno amoniacal es el resultado de la primera transformación del nitrógeno orgánico, mediante el proceso de mineralización (descomposición) realizado por bacterias y hongos ²⁰⁵. Además, parte del nitrógeno amoniacal se transforma en nitrato a través de la nitrificación, el cual requiere la presencia de oxígeno ²⁰⁵.

2.3.8 Materia orgánica

Es un conjunto de sustancias químicas que están formadas normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno; y provienen de animales, plantas o compuestos de síntesis de actividades humanas. También, pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo, boro, hierro, halógenos, etc. ^{24, 160}. Además, la principal característica de estas sustancias es que arden y pueden ser quemadas (compuestos combustibles) ¹⁶⁰.

La materia orgánica fresca está constituida por: hidratos de carbono simples y complejos (monosacáridos, polisacáridos como la celulosa, el almidón o el glucógeno, glicosilaminas, hemicelulosas, etc.); compuestos nitrogenados (proteínas y componentes, ácidos nucleicos y componentes, vitaminas, alcaloides, etc.); lípidos (grasas, ácidos grasos, ceras, fosfolípidos, pigmentos, etc.); ácidos orgánicos (cítrico, fumárico, málico, malónico, succínico); polímeros y compuestos fenólicos (ligninas, taninos, etc.) y elementos minerales ¹⁶¹. En general, los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales son las proteínas entre 40 y 60%, hidratos de carbono entre 25 y 50%, y lípidos aproximadamente un 10%.

Una forma de cuantificar la materia orgánica en efluentes es a través de parámetros que reportan el oxígeno necesario para oxidarse, porque la materia orgánica disuelta incrementa la demanda bioquímica de oxígeno. Estos parámetros son: Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Carbono Orgánico Total (COT) ²⁴.

2.3.9 Coliformes totales

Los coliformes son una familia de bacterias que se hallan en el tracto intestinal de los seres humanos y de los animales de sangre caliente (homeotermos), siendo expulsados a través de la materia fecal. También se encuentran en las plantas. Sirven como indicadores de contaminación de las aguas residuales o cualquier clase de desechos, encontrándose en las capas superficiales de los efluentes o en los sedimentos del fondo ³⁶.

Sabiendo que no todos los coliformes son fecales, por ello, se dividió en dos grupos distintos para su uso como índices de contaminación: coliformes totales, que abarcan casi toda la familia y los coliformes fecales, aquellos que son de origen intestinal ³⁷.

2.3.10 Coliformes fecales o termotolerantes

Son un sub-grupo de los coliformes totales y son capaces de fermentar la lactosa en un rango de temperaturas entre los 44,5 °C – 45,5 °C. El grupo que representa el 95% de los coliformes que se encuentran en las heces fecales se denomina: *Escherichia coli* y, también, se hallan algunas bacterias de los géneros *Klebsiella* y *Citrobacter*. Los coliformes fecales se hallan casi exclusivamente en las heces de los animales de sangre caliente, por eso indican mejor la presencia de contaminación fecal.

Se utilizan para evaluar la eficiencia de una planta de tratamiento de efluentes ³⁸.

2.3.11 Otros parámetros de caracterización de efluentes

2.3.11.1 Acidez y alcalinidad (pH)

La acidez de las aguas residuales es originada por la disociación de compuestos orgánicos e inorgánicos. Los principales ácidos que influyen en los efluentes son: sulfúrico, clorhídrico, nítrico, fosfórico, carboxílico, carbónico, etc. En contraste, la alcalinidad de las aguas residuales es generada por sustancias que al disociarse en solución acuosa producen iones hidróxido, por ejemplo: amoníaco y soda cáustica. Por ello, los valores extremos de pH tienen efectos dañinos como el emulsiónamiento de aceites, corrosión, precipitación, volatilización de sulfuros y otros gases ¹⁹.

2.3.11.2 Aceites y grasas

Son triglicéridos llamados también ésteres de la glicerina, con ácidos grasos de cadena larga de hidrocarburos que varían en longitud ⁴⁰.

Estas sustancias son de origen vegetal o animal, lentamente degradables e insolubles en el agua y menos densas que ésta. La consecuencia de su desecho a cualquier medio es que su presencia en el agua crea emulsiones y películas que impiden la penetración de la luz, evitando el desarrollo de la fotosíntesis. Además, impide el paso del aire, provocando la no oxigenación de las aguas superficiales sin permitir la autodepuración²¹.

2.3.11.3 Temperatura

Este parámetro es importante porque la mayor parte de las reacciones químicas y biológicas, así como las acciones sinérgicas de los efluentes, se producen a altas temperaturas. La elevada temperatura de una sustancia estimula la disminución de la concentración de oxígeno y otros gases disueltos⁴⁴, así como la descomposición de los fangos y la formación de gas por aplicación de bacterias. En síntesis, indica la presencia de efluentes o residuos industriales en cualquier cuerpo receptor, como el mar²¹.

2.3.11.4 Turbidez

El agua que pierde su transparencia a causa de la existencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos haya en el efluente, más alta será la turbidez⁸⁵.

2.3.11.5 Color y olor

El color es un indicador visual y básico para descubrir si un compuesto se encuentre en el agua residual. El color del desagüe refleja la concentración de los tipos de efluente o residuos que contiene⁴⁴.

Los olores son producidos por compuestos volátiles o gaseosas (como H₂S, NH₃, etc.), debido a materia orgánica en descomposición o productos químicos generados en la industria y tratamiento de aguas residuales⁸⁶. El olor es una medida valiosa, pero superficial, e indica si un desagüe es fresco en descomposición o séptico. También, indica la presencia de desechos industriales. Por ejemplo, puede ser común en mercados de pescados mal acondicionados, la presencia de fuertes olores que conlleva a una alta DBO₅, por encima de la capacidad de tratamiento de los sistemas calculados para condiciones normales⁴⁴.

2.4 Técnicas de tratamiento de efluentes

Las técnicas de tratamiento de efluentes son una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, con el objeto de eliminar o reducir los contaminantes de las aguas residuales, para ser reutilizables en el medio y, a la vez, generar un residuo sólido o fango para otros propósitos potenciales. Estas aguas residuales son producidas por zonas urbanas, instituciones, edificios comerciales y plantas industriales. Dependiendo del tipo de contaminante de efluente y de su lugar de procedencia, se deben aplicar los distintos tratamientos para evitar daños al medio ambiente⁴⁵.

Los diversos tratamientos de efluentes que se realizan actualmente, se dividen en: previo, primario, secundario o biológico, terciario y diversos⁴⁶.

La figura 2.1 presenta la secuencia general de la aplicación de los tipos de tratamiento a un efluente industrial⁴⁷:

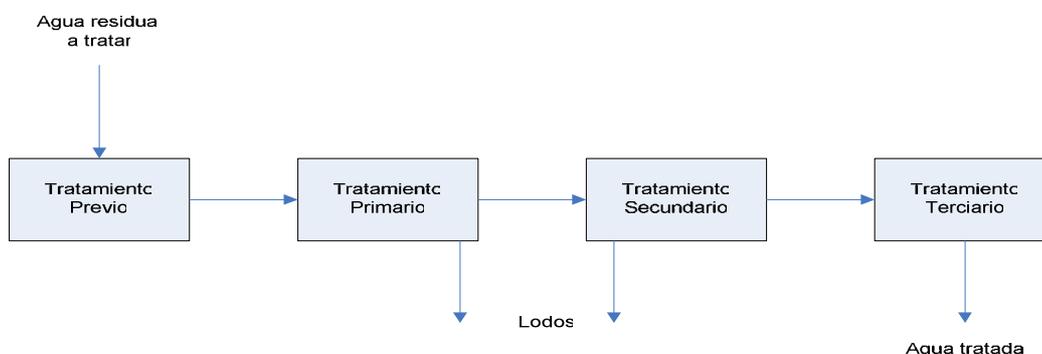


Figura 2.1: Esquema general de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales⁴⁷

La tabla 2.1 muestra los niveles de remoción que alcanzan los tratamientos primarios, secundarios y terciarios cuando son aplicados a un efluente⁴⁷.

Tabla 2.1: Niveles de remoción de los efluentes de acuerdo al tratamiento aplicado

Parámetros	Tratamiento (% remoción)		
	Primario	Secundario	Terciario
DBO	35	90	99,99
DQO	30	80	99,80
SS (Sólidos suspendidos)	60	90	--
N (Nitrógeno)	20	50	99,50
P (Fósforo)	10	60	variable

Fuente: Avances en Biotecnología Ambiental⁴⁷

A continuación, se describen los tipos de tratamientos de efluentes que se realizan actualmente en la industria:

2.4.1 Tratamiento previo

El tratamiento previo consiste en separar y/o eliminar cuerpos de gran tamaño, y evitar que ingresen a los sistemas de tratamientos posteriores. En esta etapa se realiza la pre-aireación para eliminar compuestos volátiles que pueden estar en las aguas residuales y aumentar su contenido de oxígeno, lo que disminuye los malos olores que se pueden generar⁴⁸.

Entre las operaciones que forman parte de este tratamiento previo, tenemos^{48, 53}:

- Desbaste (retención de sólidos grandes mediante rejillas y retención de partículas entre 0,3 y 1,5 mm a través de tamices).
- Desarenado (por sedimentación).

- c) Separación de grasas y aceites (generalmente, por flotación, que consiste en la insuflación del aire, para desemulsionar las grasas, que tienden a subir a la superficie⁵³).

2.4.2 Tratamiento primario

El tratamiento primario tiene como objetivo la separación y remoción (por medios físicos) de los elementos en suspensión que no se hayan podido separar, retener o eliminar en los tratamientos previos. Asimismo, de las sustancias que contienen grasas y aceites y que pueden estar aún en el efluente⁴⁶.

Entre los tratamientos primarios, tenemos:

a) Sedimentación

En el proceso de sedimentación, el agua residual pasa a través de enormes tanques circulares o rectangulares, llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primarios y están equipados con raspadores para recoger los fangos producidos y llevarlos a otras etapas de los tratamientos⁴⁵.

b) Coagulación

Es el proceso de desestabilización de las partículas coloidales contenidas en las aguas residuales, originada por añadir un reactivo químico denominado coagulante. Este reactivo cumple la función de neutralizar las cargas eléctricas de las partículas, provocando que tiendan a unirse entre sí⁵¹.

El efluente industrial contiene diversos tipos de residuos como impurezas solubles e insolubles, de las cuales resaltan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y diversos tipos de microorganismos, bacterias, etc. Estas partículas coloidales poseen carga superficial negativa, que no permite que se acerquen entre ellas mismas y permanecen en un medio estable. Por eso, la coagulación trata de alterar algunas características de los efluentes para su posterior remoción con otros tratamientos⁵⁴.

El proceso se realiza en una unidad de tratamiento llamada mezcla rápida, donde se añade el coagulante. Después, se necesita una agitación lenta, que se desarrolla en un floculador. Es ahí donde las partículas chocan entre sí, se aglomeran y forman otras partículas mayores denominadas flóculos (floculación)⁵⁴.

Entre los tipos de coagulantes tenemos⁵¹:

- Sales de aluminio: Sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, sulfato de aluminio con cal, sulfato de aluminio con soda cáustica, sulfato de aluminio con carbonato de sodio, aluminato sódico, policloruro básico de aluminio.
- Sales de hierro: Cloruro férrico, cloruro férrico con cal, sulfato férrico, sulfato férrico con cal, sulfato ferroso, sulfato ferroso con cloro, sulfato ferroso con cal, cloruro férrico con aluminato sódico.

c) Floculación

Es el proceso químico de reunir partículas coaguladas y desestabilizadas presentes en las aguas residuales, luego de la adición de coagulantes; para luego separarlas bajo la forma de aglomeraciones de mayor peso y tamaño llamados flóculos⁵⁴. Esas aglomeraciones al no estar configuradas como masa continua, permite su remoción mediante la sedimentación, flotación o filtración⁵⁸.

2.4.3 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario tiene la finalidad de eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal, que no ha podido ser eliminada en tratamientos previo y primario); degradándose el contenido biológico de las aguas residuales. También, este tratamiento se denomina biológico, porque está basado en las actividades de los microorganismos⁴⁶. El tratamiento secundario consiste en un proceso biológico natural y controlado, fundamentándose en el crecimiento y participación de microorganismos contenidos en el agua residual, que se desarrollan en reactores o en cubas de aireación. Estos microorganismos son capaces de asimilar la materia orgánica y los sólidos en suspensión, produciendo: anhídrido carbónico, agua y nueva biomasa bacteriana que se separa y precipita por decantación (decantador secundario)⁴⁸.

El resultado de esa limpieza y clarificación del agua residual, es la producción de unos fangos que deben ser removidos. Asimismo, los flóculos bacterianos generados en el reactor, sedimentan. Este sedimento, que está formado principalmente por bacterias, se denomina fango activo⁴⁸.

A continuación, se mencionan algunos tratamientos secundarios:

a) Filtros percoladores

Es un sistema de lechos compuesto por un estanque o cama de grava, hecha de materiales sintéticos o piedras de alta relación área/volumen, sobre la cual se rocían las aguas residuales pretratadas. El conjunto de piedras y materiales sintéticos conforman el medio filtrante, por donde se agregan colonias de bacterias que se apegan al lecho permeable formando una bio-película adherida que entran en contacto con las cargas orgánicas. Estas cargas son digeridas por las bacterias, eliminando los contaminantes del agua residual como producto de su metabolismo⁶⁴.

La eficiencia del sistema de filtro percolador varía en un rango del 65 a 95% y depende de las características y tipo de agua residual, de la carga orgánica e hidráulica que se le aplica al filtro percolador⁶³.

b) Fangos activos

Es un tratamiento de depuración biológica, que consiste en el desarrollo de un cultivo bacteriano aerobio, agitado, disperso en forma de flóculo y en suspensión que se alimenta del agua residual, siendo capaz de metabolizar los contaminantes biológicos

que conforman el efluente industrial⁶⁶. Este sistema de fangos activos opera en dos cámaras separadas, de la siguiente manera:

- Un reactor biológico

También llamado cuba de aireación. Es un tanque agitado y aireado, donde el efluente procedente del tratamiento primario es mezclado con aire finamente dividido, para que se produzca la parte biológica del proceso. Es decir, la absorción, floculación, oxidación y descomposición de la materia orgánica que está presente en el agua residual⁶⁵.

La agitación que adopta el cultivo bacteriano evita que se formen sedimentos y que la mezcla de los flóculos bacterianos con el efluente sea homogénea. Además, la aireación cumple la función de suministrar el oxígeno necesario para la participación de las bacterias y los restantes microorganismos aerobios⁶⁵.

- Un decantador secundario

Luego de un periodo de tiempo de retención del efluente en el reactor pasa al decantador secundario. En esta parte del proceso, el agua con fango reposa y, por tanto, los fangos floculados sedimentan, logrando separar el agua clarificada que se vierte al cauce de los fangos⁵³.

En este proceso de fangos activos, las bacterias son el factor más importante porque son las causantes de la descomposición de la materia orgánica del efluente y también de nutrientes que requieren como el nitrógeno, fósforo y otros oligoelementos. Estos microorganismos son las bacterias aerobias y facultativas que descomponen la materia orgánica con el fin de obtener energía para sintetizar el resto de materia orgánica bajo la forma de células nuevas. No obstante, cantidades excesivas de compuestos orgánicos, metales pesados y/o sales pueden inhibir o destruir el sistema⁶⁵.

c) Lagunas de estabilización

Es un método natural que se basa en la construcción de reservorios artificiales, producto de excavaciones cercadas por diques o taludes de tierra con pocas profundidades (de 2 a 5 m) y con periodos de permanencia hidráulica muy grandes (hasta 40 días). Están separados por compartimientos que tienen distintas funciones (anaerobias, facultativas y de maduración) y están diseñadas con forma rectangular o cuadrada. Tienen la finalidad primordial de tratar y embalsar las aguas residuales mediante factores biológicos y mejorar sus características sanitarias aprovechando el proceso bio-químico y físico denominado autopurificación natural⁶⁷.

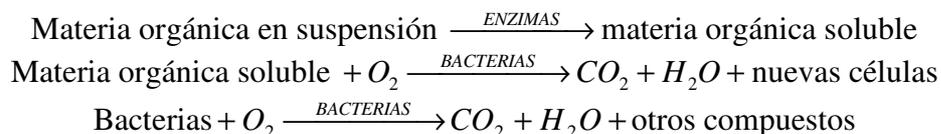
Los procesos biológicos más importantes que se producen en una laguna de estabilización son los siguientes⁶⁷:

d) Digestión aerobia

Es la descomposición de lodos orgánicos en presencia de oxígeno, con producción de CO_2 , agua, lodos estabilizados y una oxidación muy intensa⁷³. Esta degradación se basa en la aeración prolongada de los lodos primarios o activados (del sedimentador primario u otros procesos aeróbicos) para influir en el desarrollo de bacterias aerobias, hasta sobrepasar el periodo de síntesis de las células con el fin de que realicen su propia auto-oxidación. Como consecuencia de la energía calorífica desprendida en la oxidación, las bacterias aerobias trabajan más rápido que las metánicas, por ende, no hay producción de metano⁷³.

Este proceso se realiza en un estanque abierto que requiere oxígeno, por lo que, necesita aereación prolongada⁴⁸. En condiciones aeróbicas, las bacterias consumen la materia orgánica y la transforman en dióxido de carbono. Cuando haya carencia de materia orgánica, las bacterias mueren y sirven como alimento para otras⁴⁵.

En síntesis, el proceso involucra la oxidación directa de la materia orgánica biodegradable y la auto-oxidación de la materia celular, en tres etapas: en la primera, los sólidos suspendidos orgánicos son solubilizados para que puedan ser asimilados por microorganismos en la segunda; mientras que la tercera consiste en la auto-oxidación de la materia celular de la segunda. Estas etapas son esquematizadas del siguiente modo⁷⁶:



Este proceso biológico está fuertemente influenciado por la temperatura, por lo que, caídas de este factor puede aumentar el tiempo de retención. Sin embargo, una reducción de la eficacia de este proceso originado por una disminución en la temperatura, no produce los problemas de malos olores de una digestión anaerobia sin calentamiento. La reducción de las materias volátiles logradas en este proceso y con condiciones climatológicas frecuentes, es inferior que una digestión anaerobia con calentamiento. Asimismo, la eliminación de gérmenes patógenos es menos eficaz que el proceso anaerobio, consiguiéndose un 85% en la remoción⁷⁴.

La digestión aerobia es un proceso más flexible que anaerobia, ya que las bacterias metánicas participantes de esta última son sensibles a los cambios de temperatura, pH y ante la presencia de cationes pesados como Cr^{6+} . Por tanto, el proceso aerobio se adapta de manera eficiente al tratamiento de lodos contenidos en efluentes industriales. Igualmente, debido a la sencillez, rusticidad y soportar variaciones de temperatura, los digestores aerobios se han extendido a zonas rurales. Los factores que influyen en los digestores aerobios son: tiempo de detención hidráulica, criterios de carga, necesidades de oxígeno, necesidades energéticas para el mezclado, condiciones ambientales, el funcionamiento y explotación del proceso⁷⁴.

2.4.4 Tratamiento terciario

El tratamiento terciario consiste en la eliminación de la materia orgánica no depurada en el tratamiento biológico, además, de la no degradable o sales inorgánicas disueltas⁴⁶. Este tratamiento es la etapa final de cualquier agua residual para aumentar su calidad y pureza, de acuerdo al estándar exigido para ser descargado en el ambiente receptor determinado (río, mar, campo, lago, etc.). Por consiguiente, una de las características de este tipo de tratamiento es la reutilización del agua tratada⁴⁵. Sin embargo, esta agua debe ajustarse a unos parámetros adecuados y al uso final que tendrá, porque puede presentar un contenido bacteriológico y necesita ser desinfectada⁴⁶.

A pesar de su gran eficiencia, no todas las plantas tienen este tipo de tratamiento⁴⁸. Es poco aplicado en la depuración de aguas residuales urbanas y es restringido en las aguas industriales urbanas.

Entre las operaciones que forman parte el tratamiento terciario son las siguientes:

- a) Ósmosis inversa.
- b) Microfiltración.
- c) Desinfección (cloración, ozonización, radiación UV).

2.5 Tratamientos de efluentes pesqueros

2.5.1 Infraestructura de las plantas pesqueras para el tratamiento de efluentes

La industria del procesamiento de recursos hidrobiológicos en Paita tiene una infraestructura básica para el tratamiento de sus efluentes, especialmente en la producción de harina y aceite de pescado porque provoca una mayor acción deteriorante en el litoral peruano. A continuación, se describe la infraestructura y maquinaria que tienen las plantas pesqueras, para el tratamiento de sus efluentes¹⁹:

1. Plantas de harina y aceite de pescado

Generalmente cuentan con maquinaria especializada para el tratamiento del agua de bombeo, de la sanguaza y del agua de cola.

2. Plantas de congelado de pescado

Estas plantas no tienen maquinaria y equipos especializados para el tratamiento de efluentes. La infraestructura física consta de pozas de sedimentación de diferentes dimensiones y de lagunas de oxidación.

3. Plantas de enlatado-conservas de pescado

Tampoco cuentan con maquinaria específica para el tratamiento de efluentes. Los efluentes son conducidos a las plantas de harina de la misma empresa o establecimiento, para ser tratados por el mismo sistema aplicado.

2.5.2 Tratamientos de efluentes pesqueros

Entre los sistemas que se aplican en la industria pesquera para el tratamiento de efluentes, tenemos:

2.5.2.1 Rejillas

La función principal de las rejillas es eliminar objetos de gran tamaño como restos de recursos pesqueros. Las rejillas mayormente son utilizadas en las plantas de congelado, enlatado y curado, en las canaletas que conducen los efluentes¹⁸⁶.

2.5.2.2 Trampa de sólidos

Este dispositivo cumple la función de retener una buena cantidad de los sólidos en suspensión y los sedimentables presentes en los efluentes pesqueros. Es de concreto o mampostería. Dentro tienen incorporada una pantalla de concreto o mampostería para efectuarse la retención (ver figura 2.2). Además, este dispositivo previene problemas de atascamientos en canaletas¹⁸⁷.

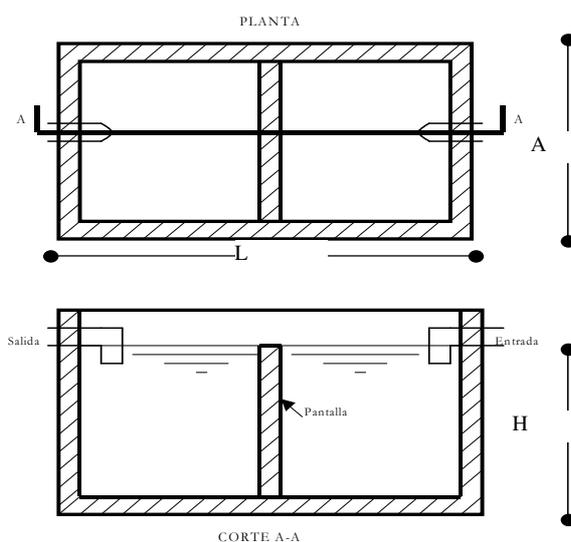


Figura 2.2: Esquema de la trampa de sólidos¹⁸⁷

2.5.2.3 Tanque de sedimentación

Los tanques de sedimentación están diseñados para concentrar y remover los sólidos suspendidos orgánicos de cualquier agua residual¹⁸¹. Los efluentes pesqueros al pasar por los tanques de sedimentación se estancan o fluyen lentamente. Las partículas sólidas precipitan al fondo del tanque formando una capa de lodo, mientras que el agua se clarifica por flujo ascendente y es recolectada en una canaleta y conducida a la red de alcantarillado¹⁸⁰.

Los efluentes son mantenidos en los tanques por un lapso de 0,5 a 3 horas o más, permitiendo que el 40 a 65% de los sólidos se posen en el fondo de tanque, extrayéndose los lodos acumulados por medio de colectores mecánicos. El material orgánico es ligeramente más pesado que el agua y se sedimenta lentamente. Los materiales orgánicos más ligeros, como grasas y aceites, flotan en la superficie y se deben desnatar¹⁸¹.

2.5.2.4 Sistemas de flotación

La flotación consiste en la generación de pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en cualquier agua residual con la finalidad de que se eleven hasta la superficie y sean arrastradas para su extracción del sistema. Esta operación es adecuada para eliminar partículas que tiene una densidad inferior a la del agua, como en el caso de emulsiones (aceites y grasas), es decir, una dispersión de gotas de un líquido inmisible⁵⁶.

2.5.2.5 Tratamiento del agua de cola

El agua de cola es tratada en plantas conformadas por evaporadores múltiples en serie (tres o cuatro efectos). Este efluente es calentado a temperaturas entre 70 y 120 °C, con la finalidad de concentrar los sólidos disueltos hasta niveles de 40 a 45%. Al finalizar la operación, el efluente inicial se ha transformado en concentrado de agua de cola que es reinsertado a la etapa de secado del proceso de harina.

Existen diferentes tipos de plantas evaporadoras de agua de cola, entre las cuales tenemos: a contrapresión, tubos inundados, película descendente, etc.

En la foto 2.1 se muestra una planta evaporadora de película descendente que usa los vahos de secadores a vapor indirecto como agente calefactor¹⁹³.



Foto 2.1: Planta evaporadora de película descendente¹⁹³

2.6 Teoría de la digestión anaeróbica

2.6.1 Definición

La digestión anaeróbica es un proceso biológico y natural que consiste en la descomposición microbiana de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, a través de una serie de reacciones bioquímicas⁹⁷, produciendo una mezcla de gases denominada: biogás y una suspensión acuosa que contiene componentes muy complejos de descomponer⁹⁶. Este proceso ocurre de forma espontánea en las profundidades de los ríos, lagos, pantanos, mar, sedimentos marinos y en el tracto intestinal de muchos animales⁹⁷.

El biogás está compuesto en su mayor parte por metano y dióxido de carbono⁹⁷, con pequeñas proporciones de otros componentes como: nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, ácido sulfhídrico (H₂S), etc⁹⁶.

Además, se obtiene una suspensión acuosa que contiene materiales sólidos difíciles de degradar denominado: biofertilizante⁹⁸, el cual está compuesto de elementos minerales como: fósforo, calcio, flúor, magnesio, etc⁹⁷. Este biofertilizante tiene una fase sólida conocida como biosol y una fase líquida llamada biol. Estos últimos tienen características provechosas para los cultivos y estimula el crecimiento de las plantas⁹⁸.

2.6.2 Productos de la digestión anaeróbica

2.6.2.1 Biogás

El biogás se define como la mezcla de un conjunto de gases que se producen a partir de la descomposición de la materia orgánica en un ambiente anaerobio mediante la acción de microorganismos. Está compuesto aproximadamente de 55 – 65% metano, 35 - 45% de dióxido de carbono y de otros elementos (gases) en menor proporción como: de 0 – 3% de nitrógeno, 0 – 1% de hidrógeno, 0 – 1% sulfuro de hidrógeno (H₂S)⁹⁷.

El biogás tiene un poder calorífico entre los 4000 y 6000 kcal/m³⁹⁹ y puede ser usado como combustible renovable para el reemplazo de otras fuentes de energía fósil⁹⁶.

La tabla 2.2, muestra algunas características de los gases que forman parte del biogás¹⁰³:

Tabla 2.2: Composición y características del biogás

Características	CH ₄	CO ₂	H ₂ – H ₂ S	Otros	Biogás
Composición % volumen	55 – 70	27 – 44	1	3	100
Valor calórico (MJ/m ³)	35,8	---	10,8	22	21,5
Valor calórico (kcal/m ³)	8600	---	2581	5258	5140
Ignición (% en aire)	5 – 15	---	---	---	6 – 12
Temperatura ignición en °C	650 – 750	---	---	---	650 – 750
Presión crítica (MPa)	4,7	7,5	1,2	8,9	7,5 – 8,9
Densidad (g/l)	0,7	1,9	0,08	---	1,2
Densidad relativa	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83

Fuente: Textos Científicos¹⁰³

2.6.2.2 Bioabono

También llamado biofertilizante, es uno de los productos finales de la fermentación anaeróbica. Se define como un fango o lodo que tiene la función de un excelente abono de alta calidad agronómica⁹⁸.

Dependiendo de las características y propiedades de los efluentes o residuos sólidos que se van a emplear en la fermentación, el bioabono que sale del biodigestor equivale entre 85 y 90% de los elementos que entraron al inicio de la biodigestión. Sin embargo, este bioabono es separado en dos componentes bien definidos: el componente líquido es conocido como biol y representa el 90% del biofertilizante saliente, mientras que el componente sólido que se conoce como biosol equivale al 10% del bioabono saliente (porcentajes aproximados)⁹⁸.

A continuación se describen los dos tipos de bioabono:

a) Biol o bioabono líquido

Es la parte líquida que proviene de la suspensión acuosa extraída del digestor, luego de concluir la fermentación anaeróbica. La obtención de este componente líquido, se efectúa a través de la decantación o sedimentación del fango resultante⁹⁷. La composición de cada biol está en función de las características y tipo de los residuos y/o materiales empleados en la digestión, en consecuencia, se puede afirmar que cada biol es único y que no puede tener una clasificación global por las distintas combinaciones de componentes a emplear para su producción⁹⁸. Además, tiene aproximadamente entre 5 y 6% de sólidos totales⁹⁷.

El biol promueve el desarrollo de las plantas, de sus raíces y frutos debido a la presencia activa de las hormonas vegetales de crecimiento en su composición. Estas hormonas vienen a ser los desechos de la digestión que realizan las bacterias participantes de la fermentación anaeróbica y sus beneficios en las plantas disminuyen la necesidad de agregarle fertilizante mineral o de otros tipos⁹⁸.

También estas hormonas vegetales se llaman fitohormonas y se definen como fitorreguladoras del desarrollo de las plantas porque regulan sus procesos fisiológicos, estimulan la formación de nuevas raíces, inducen la floración y tienen acción fructificante. No obstante, sea cual sea la procedencia del biol, con respecto a los materiales que se emplearon para la fermentación, siempre contienen estas fitohormonas. Los principales grupos de hormonas vegetales son: adeninas, purinas, auxinas, giberelinas y citoquininas⁹⁸.

b) Biosol o bioabono sólido

Es un fertilizante sólido similar al compost y viene a ser la parte sólida de la suspensión acuosa resultante de la digestión anaeróbica. Representa aproximadamente el 10% de la materia saliente del biodigestor y tiene un rango de humedad entre 10 a 25%. Su composición y propiedades, así como el biol, dependen de las características y tipo de materiales a emplearse en la fermentación⁹⁸. Tiene alrededor de 35% de sólidos totales⁹⁷.

2.6.3 Bioquímica de la digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso amplio y complejo que se caracteriza por numerosas reacciones químicas que transforman la materia orgánica y efluentes en biogás y bioabono (principalmente metano), así como por un número alto y diverso de microorganismos que son los participantes claves de la ejecución del proceso, generando los productos finales por medio de su metabolismo¹⁰⁴.

El proceso de digestión anaeróbica se divide en cinco etapas definidas que ocurren de manera simultánea¹⁰⁴. Estas etapas son las siguientes:

2.6.3.1 Hidrólisis

Los compuestos orgánicos complejos de los sustratos (contenidos en los biodigestores) son hidrolizados y solubilizados por la acción de enzimas producidas y excretadas por bacterias hidrolíticas y facultativas¹⁰⁵.

La hidrólisis fracciona las moléculas complejas como: celulosa, polisacáridos, almidones, lípidos, proteínas y carbohidratos¹⁰⁶, en moléculas más simples y pequeñas denominadas: monómeros¹⁰⁵. El resultado final es que los carbohidratos se convierten en azúcares simples, los lípidos en ácidos grasos y glicerol y las proteínas se dividen en polipéptidos y aminoácidos¹⁰⁴. También se libera dióxido de carbono (CO_2) e hidrógeno molecular (H_2)¹⁰⁶.

Esta etapa de hidrólisis en la mayoría de ocasiones es demasiado lento. Por ello, se afirma que es el proceso limitante de la velocidad global de la fermentación anaeróbica, de los sustratos con alto contenido en sólidos. No obstante, las aguas residuales y efluentes de las industrias están compuestos de materia orgánica de bajo peso molecular y fácilmente degradables⁹⁷.

2.6.3.2 Acidogénesis

Los compuestos orgánicos simples y solubles, productos de la hidrólisis, sufren un proceso de fermentación por ácido-bacterias que los transforman en ácidos grasos volátiles o ácidos simples de cadena corta. Estas bacterias formadoras de ácidos, se denominan: fermentativas acidogénicas y son también facultativas, porque pueden vivir con o sin presencia de oxígeno¹⁰⁷.

Por lo tanto, mediante la acidogénesis se fermentan las moléculas orgánicas solubles en compuestos como acético, fórmico y H_2 , que pueden ser tratados directamente por bacterias metanogénicas. También se descomponen en compuestos orgánicos más reducidos como: propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol, que posteriormente son oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa. Además, como productos finales también se incluyen: CO_2 , H_2 , H_2S , etc¹⁰⁴.

2.6.3.3 Acetogénesis

A esta etapa se le conoce también como: acidogénesis intermediaria o deshidrogenación¹⁰⁵. Los productos finales de la etapa anterior son transformados en acetato, hidrógeno y CO₂¹⁰⁶. Durante esta etapa participan dos tipos de bacterias:

- a) Bacterias acetogénicas: Este tipo de bacterias transforma aquellos compuestos que no pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos¹⁰⁴ (etanol, ácidos grasos volátiles: valeriato, butirato, propionato, etc. y algunos compuestos aromáticos) en productos más sencillos como acetato, CO₂ y H₂⁹⁷.

Además, aportan aproximadamente el 54% del hidrógeno que se usará en la formación de metano¹⁰⁶.

- b) Bacterias homoacetogénicas: Estos microorganismos son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares y compuestos monocarbonados como el formiato o la mezcla gaseosa de H₂/CO₂, siendo posteriormente fermentados para producir acetato como único metabolito¹⁰⁴.

En contraste con las bacterias acetogénicas, éstas no producen hidrógeno como resultado de su digestión, sino que lo usan como sustrato para su proceso metabólico¹⁰⁴.

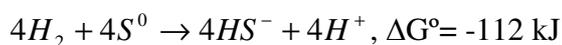
2.6.3.4 Metanogénesis

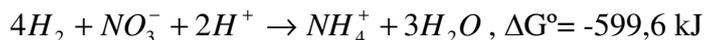
Se completa el proceso de la digestión anaeróbica con la participación de las bacterias metanogénicas, que son las responsables de la formación y producción de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H₂/CO₂, formiato, metanol y algunas metilaminas. En esta etapa de metanogénesis se resalta la presencia de dos grandes grupos de microorganismos, de acuerdo al sustrato que emplean para su metabolismo: hidrogenotróficos, que consumen H₂/CO₂ y fórmico; y acetoclásticos que consumen acetato, metanol y algunas aminas¹⁰⁴.

La acción de las bacterias metanogénicas en esta cuarta etapa es el factor clave para el desarrollo de la fermentación anaeróbica, pues estos microorganismos son muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura, viven solo en un rango muy estrecho de pH (6.6 - 8.0). Además son sensibles a la toxicidad de ciertos materiales reduciéndose o hasta paralizándose la digestión¹⁰⁷.

Entre las principales reacciones metanogénicas tenemos¹⁰⁴:

- Reacciones hidrogenotróficas:





- Interconversión formiato-hidrógeno:



- Metanogénesis acetoclástica:



- Metanogénesis a partir de otros sustratos:

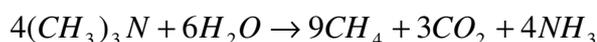
Fórmico:



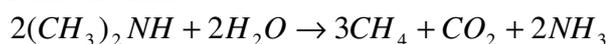
Metanol:



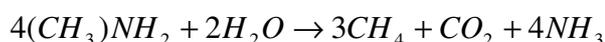
Trimetil-amina:



Dimetil-amina:



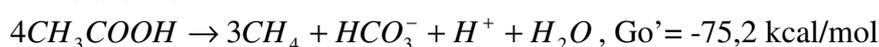
Monometil-amina:



Bicarbonato-H₂:

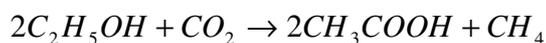


Ácido acético:

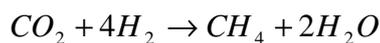


En esta etapa, el metano también se forma como producto de la oxidación del alcohol etílico y de la reducción del dióxido de carbono, a través de las siguientes reacciones⁹⁷:

Alcohol etílico:

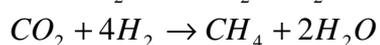
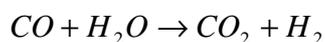


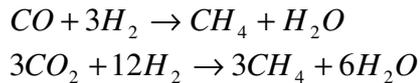
Dióxido de carbono:



Además, el metano se genera también por la reducción del dióxido de carbono, siendo esto producto de la oxidación de los ácidos acético y propiónico¹¹⁰:

Dióxido de carbono:

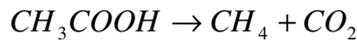




Ácido propiónico:



Ácido acético:



2.6.3.5 Sulfurogénesis

La sulfurogénesis o sulfato reducción es el proceso basado en la reducción de las formas de sulfato a sulfuro de hidrógeno, a través de la participación activa de las bacterias sulfatoreductoras (BSR) ¹¹¹.

En presencia de sulfatos, contenidos en los reactores anaeróbicos, las BSR compiten con las bacterias metanogénicas (BM) por sustratos comunes como: formiato e hidrógeno, y con las bacterias acetogénicas (BA) por compuestos como: propionato y butirato. Esta competencia por los sustratos entre las BSR y las BM, no significa que la metanogénesis y la sulfatoreducción sean procesos excluyentes; pueden ocurrir de manera simultánea ¹¹¹.

En la figura 2.3, se puede observar las distintas etapas de la digestión anaeróbica y los respectivos grupos de bacterias que participan en este proceso:

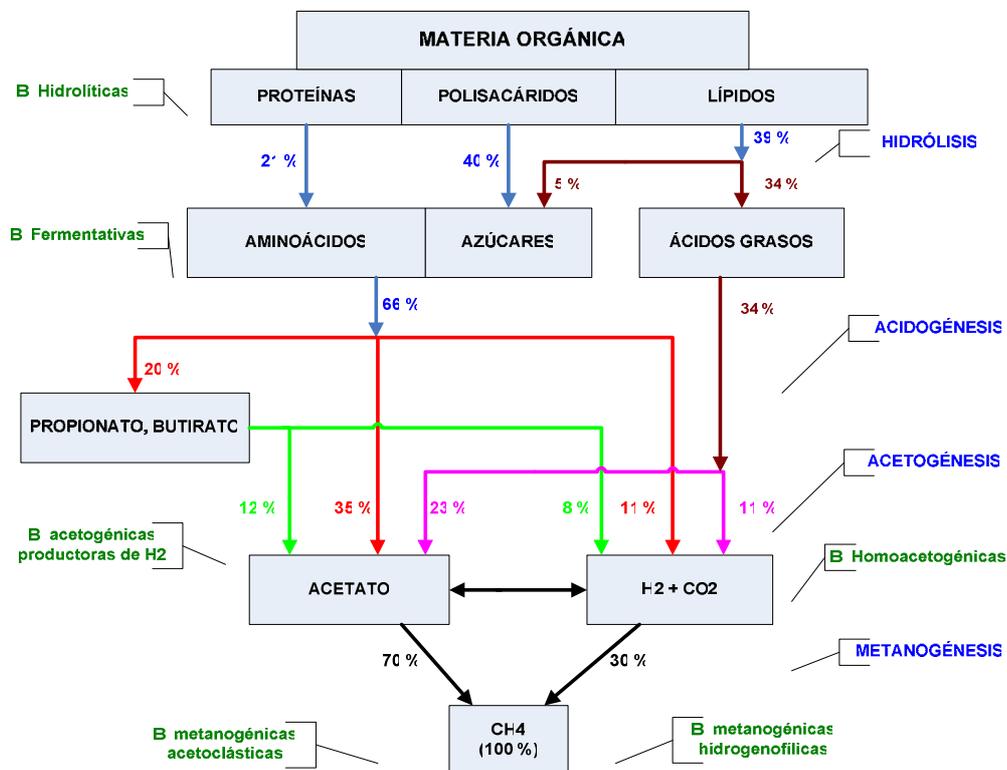


Figura 2.3: Etapas de la digestión anaeróbica ¹¹¹

2.6.4 Factores que influyen en el desarrollo de la digestión anaeróbica

Por la naturaleza biológica de la digestión anaeróbica, existen algunos factores que influyen tanto a la operación del reactor anaeróbico como el desempeño de las poblaciones microbianas¹¹⁶. Entre los factores que se pueden mencionar, tenemos:

2.6.4.1 Temperatura

La temperatura de operación del biodigestor es uno de los principales parámetros a tomar en cuenta para su diseño, porque variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden provocar una desestabilización del proceso de fermentación¹¹⁴. Estas variaciones causan una declinación del metabolismo microbiano, debido a la degradación de las enzimas, lo que agrava la vida de las células¹⁰⁵. Por eso, debe existir una temperatura homogénea en el digestor con un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura¹¹⁴.

Cada tipo de bacterias tiene un nivel óptimo de crecimiento y metabolismo dentro de un rango de temperatura definido. De los cuatro grupos generales de microorganismos, las bacterias metanogénicas son las más sensibles a cambios de temperatura que otros microorganismos en el reactor¹⁰⁵ y su actividad puede inhibirse dependiendo del grado de la variación (su rango óptimo está entre 30 y 60 °C)¹⁰⁷. Sin embargo, otros grupos como las bacterias fermentativas son menos sensibles a los cambios de temperatura, continuando su producción de ácidos grasos volátiles durante la inactividad metanogénica¹¹⁷. En contraste, las bacterias acetogénicas, que pueden realizar un catabolismo sustancial, incluso a bajas temperaturas¹⁰⁵.

La temperatura del proceso también influye en otros parámetros físico-químicos de la digestión anaeróbica como la solubilidad y la viscosidad¹¹⁷:

- La solubilidad de los gases generados desciende al aumentar la temperatura, favoreciendo la transferencia líquido-gas. Esto disminuiría la concentración de gases tóxicos como NH_3 y H_2S , beneficiando el crecimiento de las bacterias anaerobias.
- El descenso de solubilidad de CO_2 provocaría un incremento del pH, lo que generaría fangos de elevada concentración de amonio, produciéndose posibles inhibiciones de NH_3 .
- La solubilidad de la mayoría de sales aumenta con la temperatura, lo cual facilita el acceso de materia orgánica a las bacterias, acelerando el proceso.
- La viscosidad de sólidos y semisólidos desciende al aumentar la temperatura, lo que implica menos necesidad de agitación.

En pequeños sistemas instalados no se controla la temperatura, operando a temperatura ambiente y sin darles calor con algún tipo de mecanismo. Entre las formas de aumentar la temperatura de operación y la cantidad de biogás producido es calentar el agua residual que se agregará al reactor, para incrementar el crecimiento bacteriano¹⁰⁷. En otros casos, el reactor es enterrado con el fin de evitar pérdidas de calor y desequilibrios en la población

microbiana. También, hay una mayor resistencia a las variaciones de la temperatura cuando la concentración de sólidos en el fluido es mayor¹¹⁷.

2.6.4.2 pH y alcalinidad

El rango de pH óptimo de la digestión anaeróbica es de 6,5 a 7,5, por eso, el pH del proceso no debe estar fuera de ese rango para que se desarrolle satisfactoriamente¹¹⁶. El pH en el reactor anaerobio es un indicador de la producción de biogás como de su composición. Por eso, un descenso a valores inferiores a 6 indica que el biogás generado es pobre de gas metano y con cualidades energéticas menores. Asimismo, incrementos o descensos de pH, pueden inhibir la fermentación o detenerla¹⁰⁴.

La tabla 2.3 muestra los grupos bacterianos y sus respectivos niveles de pH óptimos¹⁰⁴:

Tabla 2.3: Niveles de pH óptimos de los grupos bacterianos en la digestión anaeróbica

Grupos Bacterianos	Niveles de pH óptimos
Fermentativos	7,2 – 7,4
Acetogénicos	7,0 – 7,2
Metanogénicos	6,5 – 7,5

Fuente: *Phosphorus precipitation in anaerobic digestion process*. Marti, Nuria¹⁰⁴.

La producción de ácidos grasos durante la fase fermentativa provoca la disminución del pH del fluido en la digestión. A medida que se desarrolla la digestión se produce amoníaco (NH_3), a partir de la descomposición de las proteínas y de la reducción de nitratos, neutralizando los ácidos con su carácter básico. Estando el proceso estabilizado, el pH del digestor toma un valor ligeramente básico entre 7 y 7,2, lo cual es un rango óptimo para la digestión. Por eso, es decisivo la cantidad de nitrógeno presente en la alimentación del digestor para alcanzar los valores de pH óptimos¹¹⁷.

Existen tres métodos para la corrección de los bajos niveles de pH en un reactor:

- Parar la alimentación del biodigestor, permitiendo que las bacterias metanogénicas asimilen los ácidos grasos volátiles, provocando el aumento de pH a un nivel aceptable. Esto se logra, porque al parar la alimentación se aminora la actividad de las bacterias fermentativas y se reduce la producción de los ácidos grasos volátiles. Obteniendo un pH aceptable, se puede continuar la alimentación del biodigestor¹⁰⁵.
- En caso de que el contenido del reactor sea muy ácido, se puede agregar sustancias buffer para incrementar el nivel pH. Ejemplos de materia a agregar son: cal, bicarbonato sódico (es caro y proviene la precipitación del carbonato de calcio)¹¹⁷, cenizas, fertilizante, agua amoniacal diluida, licor fermentado, etc.¹¹⁵
- Extraer frecuentemente una pequeña cantidad de efluente del biodigestor y agregar materia prima fresca en la misma cantidad y en forma simultánea, para corregir los niveles de pH dentro del reactor¹¹⁵.

2.6.4.3 Tiempo de retención

El tiempo de retención es el número de días que cierta cantidad de desechos o aguas residuales deben permanecer dentro del biodigestor, para que los grupos bacterianos degraden la materia orgánica por su actividad metabólica¹⁰⁷. El tiempo de retención está relacionado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura de este. Una mayor temperatura origina una disminución en los tiempos de retención para la fermentación y, en consecuencia, los volúmenes del reactor necesarios para la digestión de un determinado volumen de sustrato, serán menores¹¹⁹.

Respecto al tipo de sustrato, los componentes con mayor proporción de carbono retenido (celulosa) empleados en el proceso, requieren mayores tiempos de retención para ser totalmente degradados¹¹⁹.

En los reactores anaerobios se trabaja a régimen estacionario o de lote (discontinuos o batch¹¹⁹), donde el tiempo de retención transcurre entre la carga del sistema y su descarga. También, se opera en un sistema de carga diaria (continuo o semicontinuo¹¹⁹), donde el tiempo de retención determina el volumen diario de carga para alimentar el reactor¹⁰⁷.

Existen dos tipos de tiempo de retención de los materiales a emplear en la digestión:

- a) El tiempo de retención de los sólidos biológicos (TRSB): Se calcula dividiendo la cantidad de materia orgánica o sólidos volátiles que entran al biodigestor entre la cantidad de materia orgánica que sale del sistema cada día. Este valor representa la media del tiempo de retención de los grupos bacterianos en el reactor¹⁰⁵.
- b) El tiempo de retención hidráulico (TRH): es la relación entre el volumen del biodigestor y la media de la carga diaria¹⁰⁵:

$$\frac{VB}{TRH} = VCD$$

Donde:

VB= Volumen del biodigestor (m³)

VCD= Volumen de la carga diaria (m³/día)

TRH= Tiempo de retención hidráulico (días)

Al aumentar el valor del parámetro THR, aumenta el grado de materia orgánica degradada así como la producción de metano, que irá disminuyendo cuando logre alcanzar el óptimo de producción. En la práctica, se opera con tiempos de retención entre 20 a 55 días¹⁰⁴ y la carga diaria está entre 1 a 5 kg de sólidos totales/m³ de digestor¹⁰⁷.

2.6.4.4 Relación carbono/nitrógeno

Toda materia orgánica tiene la capacidad de generar biogás mediante la digestión anaeróbica, de acuerdo a ciertas condiciones de operación; la cantidad y calidad de los productos finales dependen de la composición de los materiales utilizados. De todos los

elementos y nutrientes que conforman la materia orgánica, el carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de la alimentación de las bacterias formadoras de metano. El carbono es la fuente de energía, mientras que el nitrógeno estimula la formación de nuevas células y el crecimiento bacteriano¹⁰⁷.

El nitrógeno contenido en la digestión presenta doble beneficio: Sirve para la síntesis de aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos de las bacterias; y es transformado en amoníaco, compuesto que mantiene la neutralidad del pH. Un exceso de nitrógeno produce una formación excesiva de amoníaco, la cual es tóxica para las metanobacterias e inhibe el proceso¹¹⁷; y una cantidad insuficiente de nitrógeno limita la reproducción de los microorganismos y se vuelve lenta la velocidad de producción de biogás¹⁰⁷.

Los microorganismos deben consumir el carbono y el nitrógeno (nutrientes principales) en una determinada proporción y este valor está medido por la relación carbono-nitrógeno (C/N) que contiene la materia orgánica utilizada en la operación¹¹⁷. El criterio general es que la cantidad de carbono en relación a la cantidad de nitrógeno (C/N) en el material orgánico a degradar debe estar en una relación de 20 a 30¹¹⁵.

Valores de C/N inferiores a 20:1 para la fermentación, son inhibitorios porque causa una excesiva formación de NH₃, mientras que valores superiores a 30:1 denotan la escasez de nitrógeno, lo que causa un decremento en el crecimiento de los agregados bacterianos. Por ello, los valores de las tablas C/N permiten combinar distintos sustratos (de origen animal, vegetal, etc.) para obtener un C/N global y óptimo para una digestión, teniendo en cuenta las condiciones ambientales de experimentación. Además, es recomendable analizar los componentes de los sustratos para averiguar su comportamiento y si es factible su combinación para la fermentación¹¹⁷.

Los sustratos ricos en carbono producen más biogás que los ricos en nitrógeno; asimismo es más veloz la producción de biogás a partir de sustratos nitrogenados, que los ricos en carbono, porque el proceso se hace más lento¹¹⁵ y tiende a acidificarse. Si hay exceso en nitrógeno se formará amoníaco, lo cual aumenta el pH y disminuye el poder fertilizante de los lodos efluentes¹⁰⁷.

La relación de C/N se puede calcular de la siguiente manera¹¹⁵:

$$K = \frac{C1X1 + C2X2 + C3X3 + \dots}{N1X1 + N2X2 + N3X3 + \dots} = \frac{\sum CiXi}{\sum NiXi}$$

Donde:

C = Porcentaje de carbono en la materia prima

N = Porcentaje de nitrógeno en la materia prima

X = Peso de la materia prima

K = C/N de la mezcla de las materias primas

En la tabla 2.4 se presentan algunas materias primas para la realización de la digestión anaerobia, con sus respectivos valores de carbono y nitrógeno, además del valor C/N¹¹⁵:

Tabla 2.4: Relación carbono/nitrógeno de materiales usados en la digestión anaerobia

Materias Primas	Contenido de carbono (%)	Contenido de nitrógeno (%)	Relación carbono a nitrógeno (C/N)
Paja seca de trigo	46	0,53	87:1
Paja seca de arroz	42	0,64	67:1
Cascarilla de arroz	37,6	0,38	99:1
Paja de cebada	42	0,88	48:1
Tallo del maíz	40	0,75	53:1
Chala de maíz	39	0,70	56:1
Pasto	40	2,52	16:1
Cacahuates	11	0,59	19:1
Totorales	41	0,23	178:1
Hojas frescas de plátano	42	1,11	38:1
Hojas secas de plátano	41	1,00	41:1
Tallos de plátano	40	0,75	53:1
Aserrín	24	0,06	400:1
Césped	43	2,15	20:1
Papel mezclado	43,25	0,25	173:1
Papel periódico	49,15	0,05	983:1
Papel de revistas	32,9	0,07	470:1
Estiércol de vacuno	32	1,50	21:1
Estiércol de ovinos	60	3,70	16:1
Estiércol de equinos	47	2,40	20:1
Estiércol de porcinos	73	2,60	28:1
Estiércol de gallináceas	70,2	5,85	12:1
Estiércol de auquénidos	42	3,70	11:1
Estiércol de cuyes	37,2	2,22	17:1
Estiércol de conejos	47,2	2,02	23:1

Fuente: Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales¹¹⁵

2.6.4.5 Agitación

En la digestión anaeróbica, una buena mezcla de los sustratos que componen el interior del biodigestor es importante para el desarrollo del proceso. Los objetivos de la agitación del contenido del biodigestor, son los siguientes¹⁰⁴:

- Mantener una temperatura uniforme en todo el reactor anaerobio.
- Evitar la formación de espumas y la sedimentación en el contenido del biodigestor.
- Generar el contacto el sustrato fresco con los grupos bacterianos.
- Evitar la creación de espacios muertos sin actividad biológica, que pueden reducir el volumen efectivo del reactor.
- Remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanógenas¹¹⁹.

La forma de la agitación puede ser mecánica, hidráulica y neumática. Igualmente, la velocidad de agitación debe ser fuerte para que se produzca una óptima homogeneidad dentro del biodigestor y, a la vez, evitando la ruptura de los grupos bacterianos¹⁰⁴. También, existen equipos sofisticados de agitación que tienen integrados: agitadores a hélice, recirculadores de sustrato e inyectores de gas¹¹⁹.

2.6.4.6 Toxicidad e inhibidores

El proceso de digestión anaeróbica se inhibe y disminuye la velocidad de producción de biogás, en presencia de sustancias tóxicas en el sistema. Estas sustancias pueden ser¹¹⁶:

- Subproductos o productos intermedios de la actividad metabólica los organismos anaerobios del reactor: H₂, H₂S, NH₃, VFA (ácidos grasos volátiles – AGV).
- Sustancias que forman parte del sustrato.
- Sustancias que irrumpen en el sistema, de manera accidental o por otras causas.

Algunas sustancias inhibidoras pueden ser:

a) Ácidos grasos volátiles

Un aumento en la concentración de ácidos grasos volátiles en el sistema genera inestabilidad en el reactor anaerobio, la cual se traduce en una disminución de la producción de biogás¹⁰⁴. Esto indica un decremento en las poblaciones de metanobacterias por sobrecarga, variación de pH del contenido en el biodigestor, carencia de nutrientes o la introducción de inhibidores al sistema¹¹⁶.

b) Hidrógeno

El hidrógeno es un compuesto intermedio del proceso anaerobio. Su acumulación y producción excesiva en el sistema produce la inhibición de la acetogénesis, lo cual genera la acumulación de ácidos grasos volátiles con más de dos átomos de carbono¹⁰⁴.

c) Nitrógeno amoniacal

El nitrógeno amoniacal es un nutriente básico para el crecimiento de los microorganismos, pero una concentración excesiva puede retardar su crecimiento. El nitrógeno amoniacal es la suma del ión amonio (NH₄⁺) y del amoniaco (NH₃). Estas especies se encuentran en equilibrio químico y su concentración relativa de cada una de ellas depende del pH¹⁰⁴.

d) Sulfatos

Elevadas concentraciones de sulfatos en el sustrato pueden inhibir la digestión anaeróbica, en especial la etapa metanogénica. En presencia de sulfatos, las metanobacterias compiten con las bacterias sulfatoreductoras por los mismos sustratos (acetato e hidrógeno), teniendo mayores ventajas termodinámicas y cinéticas éstas

últimas. El resultado de esta competición entre los dos tipos de bacterias, indicará la proporción final de ácido sulfhídrico y de metano que tendrá el biogás producido¹⁰⁴.

e) Cationes y metales pesados

Los cationes de metales alcalinos y alcalino-térreos estimulan la actividad bacteriana a bajas concentraciones. Pero a partir de cierto nivel, producen toxicidad, inhibición y disminución en la velocidad de crecimiento de las bacterias¹⁰⁴. Los metales pesados perjudican con mucha toxicidad a la digestión a bajas concentraciones¹⁰⁴.

f) Otros inhibidores

El oxígeno es un elemento inhibidor ante las etapas de la digestión anaeróbica que son realizadas por bacterias estrictamente anaerobias. Concentraciones del orden de $1 \mu\text{g} / \text{l}$ se vuelven tóxicas para el proceso. Entre otros inhibidores de este proceso se pueden mencionar: desinfectantes y antibióticos¹⁰⁴.

2.6.4.7 Contenido de sólidos

Toda materia orgánica está compuesta de agua y de una fracción sólida a la que se llama sólidos totales¹⁰⁷. Dentro del reactor anaerobio, a medida que incrementa el contenido de sólidos, la movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve limitada y, por lo tanto, la producción de biogás disminuye. Por ello, debe delimitarse el valor del contenido de sólidos para evitar desequilibrios en el proceso de digestión¹¹⁹.

Experimentalmente, se ha demostrado que la carga orgánica empleada en el reactor anaeróbico debe contener entre 7 a 9% de sólidos totales, para que la digestión se desarrolle de manera óptima¹⁰⁷.

2.6.5 Tipos de biodigestores

2.6.5.1 Según la forma de operación

1. Digestor por lotes o tipo "batch"

Este digestor se carga con material en un sólo lote y una sólo vez. Después de un determinado periodo de digestión y cuando se ha dejado de producir gas, se descarga y se vacía por completo, alimentándolo nuevamente para realizar otra fermentación¹¹⁵.

La duración de la carga dentro de este digestor es entre 2 a 4 meses aproximadamente (dependiendo del clima del lugar de operación)⁹⁷. El material de carga tiene una alta concentración de sólidos¹¹⁵ en un rango de 35 a 45% de sólidos totales. Además, responde con gran eficiencia cuando se fermentan materiales celulósicos⁹⁷, desechos sólidos orgánicos, restos de vegetales, materias primas sólidas y utilizando una buena inoculación en un rango de 5 al 10% en base al peso¹¹⁵. Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente¹⁶⁴.

Las ventajas de usar este digestor es que el proceso se inicia y se finaliza una sólo vez y sin contratiempos, empleando mano de obra en el momento de la carga y descarga, de los materiales y productos finales, respectivamente. La desventaja se traduce en la necesidad de mecanizar el proceso cuando se manejan sólidos a grandes volúmenes. No obstante, siempre se obtiene una gran producción de biogás y un bioabono de gran calidad¹¹⁵. La producción de biogás en este tipo de digestor es de 0,5 a 1,0 m³ de biogás/m³ de digestor¹⁶⁴.

2. Digestor semi-continuo

En este digestor se realiza una carga inicial con material orgánico que tiene una concentración de sólidos totales de 6 a 12%⁹⁷. Cuando decrece el rendimiento del biogás, se añaden nuevos componentes y se descargan los productos finales en la misma proporción volumétrica¹¹⁵.

El sustrato que se utilizará debe ocupar un volumen aproximado del 80% del digestor, mientras que el 20% de volumen restante sirve para las posteriores cargas continuas, conforme disminuya la producción de biogás¹¹⁵. Esta alimentación de la carga puede ser diaria, interdiaria o cada cierto periodo de tiempo⁹⁷.

Este digestor trabaja con gran eficiencia cuando trata material blando como: excreta de animales, materiales no celulósicos, etc.⁹⁷.

3. Digestor continuo

El proceso de fermentación es ininterrumpido, con unos productos finales que se descargan y son equivalentes a los materiales que ingresan al reactor, en volumen. La producción de biogás siempre es uniforme en el tiempo y de grandes volúmenes. Los tamaños de este tipo de digestor varían entre tamaño grande (mayor de 15 m³) y mediano (entre 6,3 y 15 m³)¹¹⁵.

Operan con bajo porcentaje de sólidos totales de 2 a 4 %⁹⁷ y tiene una carga de alta dilución de 3 a 5 veces agua/excreta. Su funcionamiento es un manejo hidráulico del sistema, para descargar en el momento de ingresar la carga automáticamente, lo cual no requiere de mano de obra para la operación. El digestor se carga diaria o interdiariamente, agregando cantidades de sustrato ricos en nutrientes¹¹⁵. Operan con gran eficiencia cuando emplean aguas residuales industriales y urbana⁹⁷.

2.6.5.2 Por el número de etapas

1. Digestor de una sola etapa:

La digestión anaeróbica se ejecuta en un solo depósito o reactor. Su estructura es simple y de bajo costo para su construcción. Es de fácil manejo y se utiliza mayormente en el campo¹¹⁵.

2. Digestor en dos o más etapas

La fermentación ocurre en dos o más reactores. Los materiales que forman parte de la carga se degradan primero y producen biogás en una primera etapa. Después, el efluente resultante de la primera etapa (carga orgánica que no se pudo descomponer) sufre un nuevo proceso de fermentación en una segunda etapa¹¹⁵.

Del mismo modo, se puede realizar la digestión anaeróbica en 3 o 4 etapas. Las desventajas de estos digestores es que requieren para su operación largos periodos de retención y necesitan una alta inversión para su construcción, ejecución y mano de obra. La ventaja es que se logra una buena descomposición de la materia orgánica, es decir, mientras más etapas de digestión, mayor aprovechamiento y utilización de la carga orgánica¹¹⁵.

Capítulo 3

Experimentación con efluentes del procesamiento de papa

En este capítulo se describen las muestras de efluentes del procesamiento de papa y sus ensayos de digestión anaeróbica, así como la caracterización del líquido resultante (biol) de cada ensayo experimental.

La recolección de efluentes se realizó al final de la operación de cocción o precocción, para conseguir la máxima carga orgánica y bacteriana. Las muestras se extrajeron de las tinas con una jarra de plástico limpia y fueron colocadas en los siguientes depósitos con tapa:

- Recipientes de plástico para el análisis físico-químico o de minerales.
- Frascos de vidrio esterilizado de 250 ml, para el análisis microbiológico.
- Bidones de plástico de 20 litros para los ensayos de fermentación.

Las muestras de efluente de papa se obtuvieron de plantas de deshidratado artesanal e industrial para harina, así como de plantas de congelado con precocción; ubicadas en las ciudades de Sullana, Paita y Piura.

En la tabla 3.1 se muestra la procedencia de las muestras de efluentes de papa recogidas, para su respectiva caracterización.

Tabla 3.1: Procedencia de las muestras de efluentes de papa recogidas

Procedencia	Ubicación	Operación	Muestra
Planta Industrial de harina 1	Sullana	Poza de cocción	H1
		Poza de maceración	H2
		Poza de cocción	H3
Planta Industrial de harina 2			
Centro de deshidratado artesanal para harina 1	Paita	Cocción artesanal	H4
Centro de deshidratado artesanal para harina 2		Cocción artesanal	H5
Centro de deshidratado artesanal para harina 3		Cocción artesanal	H6 ¹
Planta Industrial de congelado 1	Sullana	Pre-cocción	C1
Planta Industrial de congelado 2	Piura		C2

¹ El efluente H6 no ha sido caracterizado; sólo ha sido utilizado para los ensayos de fermentación anaeróbica.

Estas muestras fueron trasladadas al lugar de análisis y/o experimentación el mismo día de la extracción.

3.1 Experimentación con biodigestores

Los objetivos que se persiguen al realizar los ensayos de digestión anaeróbica, son:

- Desarrollar procedimientos para el tratamiento de los efluentes del procesamiento de pota.
- Evaluar la producción de biogás para los diferentes tipos de carga orgánica, de inóculos y de efluentes de pota, en cada uno de los ensayos.
- Caracterizar los bioles de cada reactor anaeróbico mediante análisis físico-químicos y de minerales, teniendo en cuenta su uso potencial como fertilizante.
- Evaluar la influencia de algunos factores como la temperatura, pH, relación carbono/nitrógeno, etc. en la fermentación anaeróbica.

3.1.1 Cálculos y condiciones previas a la experimentación

Para realizar una óptima digestión anaeróbica, el contenido de carbono y nitrógeno que debe tener el material orgánico dentro del biodigestor debe estar en una relación de 20 a 30⁹⁷. Por eso, el valor de la relación carbono/nitrógeno (C/N) que se ha escogido para la experimentación es 25.

Para la preparación de la carga de los biodigestores y el cálculo de la relación carbono/nitrógeno, se tuvo en cuenta los valores de DQO y nitrógeno obtenidos del análisis físico-químico de cada efluente, y considerando que en la materia orgánica hay un 58% de carbono¹²¹.

- Por ejemplo, para el efluente del proceso de harina de pota, con un DQO de 72358 mg/l (O₂) y un contenido de Nitrógeno Total de 10200 mg/l (ver muestra H4 de la tabla 4.3), se tiene:

$$X = \frac{72358 \times 58}{100} = 41967,64 \text{ mg de Carbono/litro}$$

Convirtiendo el valor anterior a porcentaje y realizando la misma operación para el valor del Nitrógeno Total, se obtiene una relación carbono/nitrógeno del efluente de harina de pota:

$$C/N = \frac{4,2}{1,02} = 4 : 1$$

- Para el efluente del proceso de congelado de pota, con los valores de la DQO y Nitrógeno Total de la tabla 4.3 (muestra C2), se hallan los porcentajes de Carbono (1,38%) y Nitrógeno (0,53%), respectivamente. Por tanto su relación carbono/nitrógeno es:

$$C/N = \frac{1,38}{0,53} = 3 : 1$$

Las condiciones que se tuvieron en cuenta para la experimentación, son las siguientes:

1. Tipo de biodigestor

El biodigestor empleado en los ensayos experimentales fue del tipo Batch (en lote). En cada experimento, varios biodigestores se cargaron con efluentes y sustratos complementarios, llevándose a cabo la fermentación hasta cuando la producción de gas era lenta o se hubiese estancado definitivamente; entonces se descargaba por completo para el análisis respectivo.

2. Carga de los biodigestores

La carga de cada biodigestor estuvo conformada por tres elementos:

Materia prima: Efluentes de la cocción o pre-cocción de pota.

Inóculo: es la fuente de microorganismos y bacterias que son indispensables para el inicio, desarrollo y evolución de los ensayos de digestión anaeróbica. Para la experimentación, se utilizaron tres tipos de inóculo: vísceras de pescado, rumen de vacuno y levadura fresca.

Carga orgánica: es la fuente de materia orgánica adicional que se agrega a los biodigestores, para corregir la relación de carbono/nitrógeno al valor óptimo para la fermentación y ayudar al metabolismo de los agregados bacterianos contenidos en los reactores.

Para el caso de la experimentación, la carga orgánica adicional utilizada fue: cascarilla de arroz; tallos, hojas frescas y secas de plátano.

En la carga de algunos biodigestores no se utilizaron los tres elementos, porque se pretendía verificar la evolución de la digestión anaeróbica de uno o dos elementos combinados. Además, la carga de los biodigestores no recibió ningún pre-tratamiento como el compostaje, para mejorar los ensayos experimentales.

3. Agitación

La agitación tiene la finalidad de crear un contacto íntimo entre los microorganismos y los componentes orgánicos, para que se ejecute la fermentación anaeróbica. En los ensayos, la agitación se realizó de forma manual con diversos movimientos laterales.

4. Temperatura

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la ciudad (clima cálido) y experiencias pasadas, se optó por trabajar a temperatura ambiente. En el período de estudio la temperatura osciló entre 16 y 35 °C.

3.1.2 Ensayos de digestión anaeróbica con diferentes tipos de sustratos

3.1.2.1 Experimento N° 01: Efluente del proceso de harina de pota con distinta carga orgánica

Los objetivos específicos que se persiguen en este primer ensayo, son los siguientes:

- Evaluar el efluente del proceso de harina de pota, como materia prima principal para cada biodigestor en este primer experimento.
- Evaluar diversos tipos de carga orgánica adicional en los reactores anaeróbicos, para estimular la producción de biogás y caracterización del biol, empleando en todos los casos las vísceras de pescado como inóculo.
- Verificar y comprobar las características del biogás producido por cada biodigestor.

1. Materiales e insumos utilizados

- Biodigestores: Bidones de plástico PVC de 2 galones, con una manguera de plástico acoplada en la tapa del bidón (parte superior) y sellados con silicona, para mantener las condiciones anaeróbicas de la experimentación, es decir, evitar fugas de biogás o la entrada de agentes extraños (Ver Anexo C.1).
- Para la carga de los biodigestores, se utilizaron los siguientes materiales:
 - Inóculo: vísceras de pescado frescas (se consiguieron el mismo día de la preparación de la carga de los biodigestores), finamente cortadas y pesadas inmediatamente antes de la carga.
 - Materia prima: efluente del proceso de harina de pota (proveniente de la operación de cocción de descartes de pota).
 - Carga orgánica: hojas secas de plátano, hojas frescas de plátano, cascarilla de arroz y tallos de plátano.

2. Condiciones y cálculos para el experimento

- Todos los biodigestores se diferenciaron por el tipo de carga orgánica utilizada. A continuación, en la tabla 3.2 se mencionan los componentes usados:

Tabla 3.2: Componentes de los biodigestores del primer experimento

Componentes	Biodig. N° 01	Biodig. N° 02	Biodig. N° 03	Biodig. N° 04
Materia prima	Efluente de harina de pota (Muestra H4)			
Inóculo	Vísceras de pescado			
Carga orgánica	Hojas secas de plátano	Hojas frescas de plátano	Tallos de plátano	Cascarilla de arroz

- Los cálculos del contenido de carga orgánica y efluente de pota que debe tener cada biodigestor se realizaron de la siguiente manera:
 - Se empleó el valor de la densidad experimental del efluente de harina de pota (1044,8 g/l).
 - Se define un C/N = 25 como óptimo para la carga de los biodigestores.
 - El 75% del volumen total del digestor (2 galones) es destinada para la carga, es decir, 1,5 galones o 6,82 litros.
 - Los porcentajes de carbono y nitrógeno del efluente de harina de pota son 4,2% y 1,02% respectivamente; C/N = 4:1.

Los porcentajes de carbono y nitrógeno de cada tipo de carga orgánica, fueron tomados de la tabla 2.4. La densidad fue calculada experimentalmente, siendo 110 g/l para las hojas secas de plátano, 220 g/l para hojas frescas de plátano, 260 g/l para tallos de plátano y 90 g/l para cascarilla de arroz.

- Empleando la ecuación de la relación carbono/nitrógeno (ver punto 2.6.4.4) en la que se reemplazan los pesos por los datos de volumen por densidad, se tiene:

$$C/N = 25 = \frac{C_e \cdot \rho_e \cdot x + C_c \cdot \rho_c \cdot y}{N_e \cdot \rho_e \cdot x + N_c \cdot \rho_c \cdot y}$$

Donde:

x, y: volúmenes del efluente de pota y de la carga orgánica

C_e, N_e: porcentajes de carbono y nitrógeno del efluente

C_c, N_c: porcentajes de carbono y nitrógeno de la carga orgánica

ρ_e, ρ_c: densidades del efluente y la carga orgánica

Teniendo como ecuación adicional $x + y = 6,82$ litros, se resuelve el sistema para cada tipo de carga orgánica, obteniéndose de ese modo los volúmenes x, y (ml) de efluente y carga que se colocan en cada biodigestor.

- En la tabla 3.3 se aprecian los contenidos, cantidades (en peso y volumen) y porcentajes (en peso) de los materiales que se agregaron a los biodigestores, de acuerdo a los cálculos realizados.

Tabla 3.3: Composición de cada biodigestor en el primer experimento

Parámetros	Biodig. N° 01	Biodig. N° 02	Biodig. N° 03	Biodig. N° 04
Materia prima	Efluente de harina de pota (Muestra H4)			
Inóculo	Visceras de pescado			
Carga orgánica	Hojas secas de plátano	Hojas frescas de plátano	Tallos de plátano	Cascarilla de arroz
Volumen de materia prima (litros)	0,50	0,84	1,36	0,70
Peso del inóculo (gramos)	410,89	390,52	411,34	380,45
Peso de la carga orgánica (gramos)	695,20	1315,60	1419,60	550,80
Porcentaje de materia prima (%)	32,08	33,97	43,70	43,99
Porcentaje de inóculo (%)	25,23	15,11	12,65	22,88
Porcentaje de carga orgánica (%)	42,69	50,92	43,65	33,13
Relación C : N	25	25	25	25

Para este primer experimento se decidió colocar la misma cantidad de inóculo a cada biodigestor, aproximadamente 400 gramos.

3. Procedimiento de la carga de los biodigestores

El procedimiento fue el mismo en todos los experimentos. La carga orgánica constituida por hojas frescas, hojas secas y tallos de plátano fue picada previamente en pequeños pedazos con ayuda de tijeras. Para la cascarilla de arroz no fue necesario eso.

La mezcla de materiales en cada biodigestor fue realizada de la siguiente manera: primero se introdujo la materia orgánica vegetal; a continuación se vertió la mezcla líquida de efluente e inóculo, agitando los bidones para que se moje uniformemente la carga orgánica; finalmente se cerraron los biodigestores con las tapas acondicionadas con su respectiva manguera de plástico, sellando con silicona.

4. Instalación de los biodigestores

Los biodigestores fueron montados según se aprecia en las fotos del Anexo C.1: las mangueras de los biodigestores fueron insertadas en probetas invertidas sobre bandejas, llenas de agua, de modo que por desplazamiento se pueda medir el volumen de gas generado, sin que ingrese oxígeno al sistema.

5. Evaluación cualitativa del biogás

Como una medida indirecta de su posible contenido de metano, se intentó encender el biogás contenido en las probetas. Para ello, se retiró la manguera, se levantó ligeramente la probeta y se prendió un fósforo en su interior, observándose algunas chispas como producto de la combustión del material inflamable con el fuego.

3.1.2.2 Experimento N° 02: Efluente del proceso de harina de pota con hojas de plátano

Los objetivos específicos que se persiguen en este segundo ensayo, son los siguientes:

- Comparar la fermentación del efluente del proceso de harina de pota, con y sin carga orgánica adicional, así como también la fermentación de solo la carga orgánica con agua (sin efluente).
- Evaluar la posible diferencia entre dos formas de la misma carga orgánica vegetal: hojas frescas y hojas secas de plátano.

1. Materiales e insumos utilizados

Los materiales, insumos y recipientes utilizados en este segundo experimento fueron básicamente los mismos que en el primero, salvo que en uno de los biodigestores se usó una cámara de llanta para intentar recoger el gas generado, como se explica más adelante.

2. Condiciones y cálculos para el experimento

- Todos los biodigestores se diferenciaron por el tipo de carga orgánica utilizada. La tabla 3.4 resume los componentes usados en cada biodigestor:

Tabla 3.4: Componentes de los biodigestores del segundo experimento

Componentes	Biodig. N° 05	Biodig. N° 06	Biodig. N° 07	Biodig. N° 08
Materia Prima	Efluente de harina de pota (Muestra H4)		Agua destilada	Efluente de harina de pota (Muestra H4)
Inóculo	Vísceras de pescado			---
Carga orgánica	Hojas frescas de plátano	Hojas secas de plátano		---

- Para una relación C/N = 25, se procedió a calcular los volúmenes de efluente y carga orgánica en cada biodigestor, con la siguiente excepción: en el biodigestor N° 07, que contiene agua destilada como materia prima, se utilizó la relación C/N del efluente para hallar el volumen teórico de esa materia prima. Los volúmenes teóricos de efluente de harina de pota calculados para los biodigestores N° 05 y 06 fueron 0,84 y 0,5 litros respectivamente, mientras que el volumen teórico de agua destilada fue de 0,5 litros para el biodigestor N° 07. Sin embargo, se incrementaron los volúmenes de efluente y de agua destilada en los biodigestores N° 05, 06 y 07 respectivamente, para asegurar que las cargas orgánicas (hojas secas y frescas de plátano) sean mojadas totalmente en el interior de los biodigestores (ver tabla 3.5).

Como se utilizó sólo efluente de harina de pota en el biodigestor N° 08, éste ocupó el 75% del volumen total del bidón, es decir, 6,82 litros.

- En la tabla 3.5 se aprecian las cantidades (en peso y volumen) y porcentajes (en peso) de los materiales que se agregaron a los biodigestores.

Tabla 3.5: Composición de los biodigestores en el segundo experimento

Parámetros	Biodig. N° 05	Biodig. N° 06	Biodig. N° 07	Biodig. N° 08
Materia Prima	Efluente de harina de pota (Muestra H4)		Agua destilada	Efluente de harina de pota (Muestra H4)
Inóculo	Vísceras de pescado			---
Carga orgánica	Hojas frescas de plátano	Hojas secas de plátano		---
Volumen de materia prima (litros)	1,83	1,52	1,85	6,82
Peso del inóculo (gramos)	52,75	53,67	53,13	---
Peso de la carga orgánica (gramos)	1315,60	695,20	695,20	---
Porcentaje de materia prima (%)	58,29	67,96	72,09	100
Porcentaje de inóculo (%)	1,61	2,29	1,98	---
Porcentaje de carga orgánica (%)	40,10	29,75	25,93	---
Relación C : N	19	15	41	4

Con respecto al peso del inóculo, se utilizó un peso muy inferior en comparación del primer experimento. Esto se realizó para verificar el desempeño de la fermentación en todos los biodigestores con un menor peso, a excepción del que sólo tenía efluente de harina de pota (biodigestor N° 08).

Teóricamente la mezcla interna de cada biodigestor debe tener una relación Carbono/Nitrógeno igual a 25, pero se agregó un mayor volumen de materia prima (efluente de harina de pota y agua destilada) para asegurar que las cargas orgánicas (hojas de plátano) sean mojadas totalmente en el interior de los biodigestores N° 05, 06 y 07. Por ello, las relaciones C/N de los biodigestores N° 05 y 06, que figuran en la Tabla 3.5, son menores a 25. Para el caso de los biodigestores N° 07 y 08, el primero adopta la relación C/N de las hojas secas de plátano y el segundo tiene una relación C/N del efluente de harina de pota (como único componente), respectivamente.

3. Instalación de los biodigestores

La instalación de los biodigestores fue realizada de la manera como se muestra en las fotos del Anexo C.2. Además, se debe mencionar que al noveno día en el biodigestor N° 06, se extrajo la manguera de plástico del interior de la probeta y se conectó a una cámara de llanta para almacenar una mayor cantidad de biogás.

4. Evaluación cualitativa del biogás

Se intentó encender el biogás contenido en una cámara de llanta y que provenía del biodigestor N° 06. Para ello, al concluir la experimentación la cámara de llanta se

conectó a un mechero de Bunsen y se intentó prenderlo empleando el biogás almacenado. A pesar de haber obtenido una cantidad alta de biogás, en este intento no se pudo obtener una llama, como prueba de la obtención del biogás.

3.1.2.3 Experimento N° 03: Efluente del proceso de congelado de pota con diversos tipos de inóculos

Los objetivos específicos que se persiguen en este tercer ensayo, son los siguientes:

- Evaluar si el otro tipo de efluente de pota (del congelado) tiene un comportamiento distinto al efluente de harina, ensayado en los experimentos N° 01 y 02.
- Evaluar diversos tipos de inóculos como: rumen de vacuno, levadura y vísceras de pescado; con el objetivo de incrementar la población bacteriana para el desarrollo de cada etapa de la digestión anaeróbica.
- Verificar y comprobar las características y propiedades del biogás producido por cada reactor anaeróbico.
- Analizar el parámetro pH de la mezcla contenida en cada biodigestor, para examinar la evolución de la fermentación anaeróbica.

1. Materiales e insumos utilizados

Los materiales, insumos y recipientes utilizados en este tercer experimento fueron similares a los empleados en los dos primeros, salvo que se utilizaron biodigestores de mayor volumen (bidones de plástico de 20 litros), en los que además se instalaron válvulas para la toma de muestras líquidas durante la fermentación, con el fin de monitorear el pH (se usó papel indicador de pH y pH-metro). Además, para la recepción del biogás se utilizaron pelotas de playa de juguete totalmente desinfladas, para evitar cualquier volumen de aire que se pueda mezclar con el biogás.

La materia prima para este ensayo, como se mencionó anteriormente, fue el efluente de precocción de congelado de pota (tubo de pota). Como carga orgánica adicional se utilizó hojas secas de plátano. Como inóculo se usó vísceras de pescado frescas y finamente cortadas. También se utilizaron: rumen de vacuno y levadura fresca.

2. Condiciones y cálculos para el experimento

- Todos los biodigestores se diferenciaron por los tipos de carga orgánica e inóculo utilizados. La tabla 3.6 resume los componentes usados en cada biodigestor:

Tabla 3.6: Componentes de los biodigestores del tercer experimento

Componentes	Biodig. N° 09	Biodig N° 10	Biodig. N° 11	Biodig. N° 12	Biodig. N° 13
Materia Prima	Efluente de congelado de pota (Muestra C2)				
Inóculo	---	Levadura fresca	Rumen de vacuno	---	Vísceras de pescado
Carga orgánica	Hojas secas de plátano				

- Para el cálculo de los volúmenes de materia prima y carga orgánica, se mantuvo el valor de la relación C/N = 25. El 75% del volumen total del digestor es destinado para la carga de éste, es decir, 15 litros.

Los volúmenes teóricos de efluente de congelado de papa calculados para los biodigestores N° 09, 10 y 11 fueron de 1,88 litros para cada uno. No obstante, los volúmenes de efluente cargados en esos biodigestores fueron mayores que los calculados mediante la ecuación de la relación C/N, para asegurar que las cargas orgánicas (hojas secas de plátano) sean mojadas totalmente (ver tabla 3.7).

A manera de control, en el biodigestor N° 12 se utilizó sólo el efluente del congelado de papa, sin inóculo ni carga orgánica, ocupando el 75 % del volumen del bidón, es decir, 15 litros de efluente.

En el biodigestor N° 13 se utilizó efluente de congelado de papa con inóculo pero sin carga orgánica, ocupando igualmente 15 litros.

- En la tabla 3.7 se aprecian las cantidades (en peso y volumen) y porcentajes (en peso) de los materiales que se agregaron a los biodigestores.

Tabla 3.7: Composición de los biodigestores en el tercer experimento

Parámetros	Biodig. N° 09	Biodig N° 10	Biodig. N° 11	Biodig. N° 12	Biodig. N° 13
Materia Prima	Efluente de congelado de papa (Muestra C2)				
Inóculo	---	Levadura fresca	Rumen de vacuno	---	Vísceras de pescado
Carga orgánica	Hojas secas de plátano			---	---
Volumen de materia prima (litros)	7,30	6,50	8,20	15	15
Peso del inóculo (gramos)	---	106,29	108,10	---	104,83
Peso de la carga orgánica (gramos)	1444,30	1444,30	1444,30	---	---
Porcentaje de materia prima (%)	84,08	81,41	84,66	100	99,33
Porcentaje de inóculo (%)	---	1,27	1,07	---	0,67
Porcentaje de carga orgánica (%)	15,92	17,32	14,27	---	---
Relación C : N	13	14	12	3	3

Respecto al peso del inóculo, se utilizó un peso mayor en comparación al segundo experimento (aproximadamente el doble de peso). Esto se realizó para verificar el desempeño de la fermentación en todos los biodigestores, dado que el efluente de congelado tiene una relación C/N más baja que el efluente de harina. Asimismo, se mantuvo el mismo peso de la carga orgánica, de acuerdo a los cálculos.

Como en el experimento anterior (N° 02), los valores de las relaciones Carbono/Nitrógeno en todos los biodigestores no son 25, porque se agregó un mayor volumen de materia prima (efluente de congelado de pota) para asegurar que las cargas orgánicas (hojas secas de plátano) sean mojadas totalmente en el interior de los biodigestores N° 09, 10 y 11. Por ello, las relaciones C/N que figuran en la Tabla 3.7 son menores que 25. Para el caso de los biodigestores N° 12 y 13, ambos toman la relación C/N del efluente de congelado de pota.

3. Instalación de los biodigestores

La instalación de los biodigestores se realizó tal como se muestra en las fotos del Anexo C.3.

4. Evaluación cualitativa y medición del volumen de biogás producido

Para este experimento no se realizó ninguna medición cualitativa del biogás, porque la producción de éste fue muy baja.

Debido al diferente dispositivo de recepción y almacenamiento de biogás, es decir, pelotas de playa en lugar de probetas, la forma de medir el biogás cambia. El volumen de la pelota conteniendo biogás fue medido a través del volumen de agua que ésta desplazaba en una batea. Esta medición se realizó cada dos a tres días.

5. Medición del pH de las muestras del contenido de los biodigestores

Para el desarrollo de la digestión anaeróbica, una de las condiciones es que el pH de la mezcla contenida en los biodigestores debe estar en un rango de 6,5 y 7,5 ¹¹⁶. Por ello, se optó por medir el pH del interior de los biodigestores, para verificar si la fermentación anaeróbica se desenvuelve normalmente en todos los biodigestores. Las mediciones del pH se realizaron a partir del cuarto día de experimentación, en intervalos de uno a tres días.

3.1.2.4 Experimento N° 04: Efluente del proceso de harina de pota con hojas secas de plátano y levadura

- El objetivo específico de este cuarto ensayo es verificar el comportamiento del efluente del proceso de harina de pota, como materia prima para cada biodigestor, utilizando sólo hojas secas de plátano en los reactores anaeróbicos, como carga orgánica adicional y sólo levadura fresca como inóculo.

1. Materiales e insumos utilizados

Los materiales, insumos y recipientes utilizados en el cuarto experimento fueron similares a los anteriormente descritos. Se vuelve a utilizar el efluente de harina de pota (cocción de descartes) como materia prima y se emplearon bidones de 20 litros como biodigestores, esta vez sin válvulas para toma de muestras.

Para la recepción del biogás se utilizó nuevamente probetas de 2 litros.

2. Condiciones y cálculos para el experimento

- Todos los biodigestores se diferenciaron por la carga orgánica y/o por el inóculo agregados. La tabla 3.8 muestra los componentes usados en cada biodigestor:

Tabla 3.8: Componentes de los biodigestores del cuarto experimento

Componentes	Biodig. N° 14	Biodig. N° 15	Biodig. N° 16
Materia prima	Efluente de harina de pota (Muestra H6)		
Inóculo	---	Levadura fresca	---
Carga orgánica	Hojas secas de plátano		

- En la tabla 3.9 se aprecian los contenidos, cantidades (en peso y volumen) y porcentajes (en peso) de los materiales que se agregaron a los biodigestores, de acuerdo a los cálculos realizados:

Tabla 3.9: Composición de cada biodigestor en el cuarto experimento

Parámetros	Biodig. N° 14	Biodig. N° 15	Biodig. N° 16
Materia prima	Efluente de harina de pota (Muestra H6)		
Inóculo	---	Levadura fresca	---
Carga orgánica	Hojas secas de plátano		
Volumen de materia prima (litros)	1,10	1,10	15
Peso del inóculo (gramos)	---	120	---
Peso de la carga orgánica (gramos)	1529	1529	---
Porcentaje de materia prima (%)	42,91	41,07	100
Porcentaje de inóculo (%)	---	4,29	---
Porcentaje de carga orgánica (%)	57,09	54,64	---
Relación C : N	25	25	25

El volumen de materia prima (efluente de pota) y el peso la carga orgánica, fue definido de acuerdo al procedimiento de cálculo ya descrito en el primer experimento, con una relación C/N de 25. Con respecto al peso del inóculo, se ha mantenido un valor similar al anterior experimento, para verificar su incidencia en los resultados finales y su participación en la digestión anaeróbica como fuente de microorganismos.

3. Instalación de los biodigestores

La instalación de los biodigestores fue de modo similar a los experimentos anteriores.

4. Evaluación cualitativa del biogás

Se intentó encender el biogás contenido en las probetas del mismo modo que en el primer experimento. En este intento se observaron algunas chispas como producto de la combustión del material inflamable con el fuego. Asimismo, la llama del fósforo en el interior de la probeta tuvo una mayor intensidad y se mantuvo por más tiempo que en el primer experimento.

3.2 Procedimiento de la extracción de las muestras de bioles

Para los cuatro experimentos ejecutados, se tomaron muestras de biol de cada digestor, a fin de analizarlas y determinar los parámetros físico-químicos de dicho residuo líquido al que se ha denominado biol (uno de los productos finales de la fermentación anaeróbica).

Para la toma de muestras se usó botellas de plástico de boca ancha de 500 ml de capacidad, previamente lavadas con agua potable y etiquetadas con un código de identificación para su posterior análisis en laboratorio. Las muestras se tomaron al final de cada experimento (último día), después de quitar o cortar las mangueras de recolección de biogás, y de homogeneizar el contenido del respectivo bidón mediante agitación.

Las muestras líquidas de cada biodigestor fueron filtradas a través de un trozo de tela (tocuyo) sobre un embudo. Sobre la tela quedaron algunos sólidos fermentados con mal olor, que en su mayoría eran las cargas orgánicas empleadas: hojas frescas, hojas secas y tallos de plátano, así como cascarilla de arroz.

Las botellas de plástico, conteniendo las muestras, fueron cerradas con sus respectivas tapas, lavadas exteriormente y refrigeradas para su posterior análisis de parámetros físico-químicos. Por otra parte, los bidones fueron desechados al relleno sanitario, así como los materiales empleados para los experimentos y toma de muestras.

Los parámetros físico-químicos que serán medidos en las muestras de bioles son: residuo seco a 60 °C, pH, nitrógeno total y amoniacal, fósforo, potasio, sodio y materia orgánica, para poder evaluarlo como posible fertilizante.

Capítulo 4

Resultados y discusión

En este capítulo se presentan los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos de los efluentes del procesamiento de papa utilizados como materia prima en los ensayos. Además, se muestran los resultados de los ensayos experimentales con efluentes de papa medidos en función de la producción de gas, y finalmente los análisis físico-químicos de los bioles obtenidos de cada ensayo. Con todos estos datos se determinará la viabilidad del uso de los efluentes de papa como posible fuente de biogás y biol.

4.1 Caracterización de los efluentes de papa

4.1.1 Análisis de cloruros

La tabla 4.1 presenta las cantidades promedio de cloruros de cuatro muestras de efluentes de papa (ver tabla 3.1).

Tabla 4.1: Análisis de cloruros de cuatro muestras de efluentes de papa

Muestra	Cloruros (mg/l (Cl)) ¹
H1	11306
H2	10061
H3	13398
C1	2859
ECA ²	100-700

¹ Método: Determinación volumétrica de Mohr

² Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA). Categoría 3: Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto (Anexo D).

Los efluentes de las pozas de cocción y maceración (H1, H2, H3) tienen valores de cloruros más altos que el efluente del congelado de papa precocida (C1).

Las cantidades de cloruros encontradas en las muestras las descalifican para el riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto, tomando como referencia la categoría 3 del Decreto

Supremo N° 002-2008-MINAM (Anexo D) que establece los límites para los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. En síntesis, los valores de cloruros superan notablemente el valor límite, por ello, estos efluentes se pueden considerar contaminantes para los suelos donde sean vertidos.

Las sales compactan los suelos e impiden que las plantas puedan absorber agua y, por tanto, los nutrientes contenidos en ella, los cuales son vitales para su desarrollo. En especial, el cloro en forma iónica, que se absorbe por las raíces y se acumula en los tejidos de las plantas, resultando muy tóxico¹⁶⁵.

4.1.2 Análisis de metales y minerales

La tabla 4.2 presenta el análisis de metales y de minerales de una muestra de efluentes de cocción de papa, extraída de un centro de deshidratado artesanal (ver tabla 3.1).

De los veintiún elementos de la tabla 4.2 que tienen límites establecidos según los dispositivos legales, once exceden los límites. La mayor parte de los elementos que no están dentro de los límites son metales pesados, los cuales son tóxicos en concentraciones bajas. Este grupo está conformado por: cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio y plomo²¹¹. Asimismo, el semimetal arsénico y el no metal selenio también forman parte de este grupo^{211, 212, 213}.

Estos metales pesados del efluente de cocción de papa exceden notablemente los valores límite, por lo que, su vertido continuo puede contaminar los suelos e imposibilitarlos para la agricultura. Además, son peligrosos porque tienden a bioacumularse, es decir, un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente^{213 214}. Entre los efectos dañinos que generan cantidades tóxicas de metales pesados en algunas plantas, tenemos: la interrupción del normal funcionamiento de las proteínas y enzimas, la ruptura de las membranas celulares, el desplazamiento de elementos esenciales para el metabolismo celular produciendo efectos de deficiencia; y efectos dañinos al ADN, produciendo desperfectos genotóxicos (mutaciones, aberraciones cromosómicas, alteraciones en la síntesis y reparación de ácidos nucleicos y transformaciones celulares)^{168, 214}.

Por otro lado, el sodio excede notablemente el límite del dispositivo legal, su exceso concuerda con lo establecido en el análisis anterior de cloruros (ver punto 4.1.1). A pesar de todo, el efluente de cocción de papa contiene dos de los tres elementos principales para la nutrición de las plantas: potasio en exceso y fósforo en una cantidad significativa que podrían beneficiar a las plantas.

Tabla 4.2: Análisis de metales y minerales de una muestra de efluentes de cocción de pota de un centro de deshidratado artesanal

Parámetros	Muestra H4 (mg/l) ¹	ECA ²
Aluminio	0,32	5
Antimonio	0,35	---
Arsénico	1,192	0,05
Bario	0,007	0,7
Berilio	<0,002	---
Bismuto	0,1	---
Boro	0,15	0,5 - 6
Cadmio	0,202	0,005
Calcio	44,2	200
Cerio	<0,020	---
Cobalto	0,008	0,05
Cobre	1,130	0,2
Cromo	0,175	0,1
Estaño	<0,004	---
Estroncio	0,764	---
Fósforo	487,6	1
Hierro	2,097	1
Litio	<0,002	2,5
Magnesio	7,5	150
Manganeso	0,245	0,2
Mercurio	0,0031	0,001
Molibdeno	0,014	---
Níquel	0,019	0,2
Plata	<0,002	0,05
Plomo	0,108	0,05
Potasio	2538,8	---
Selenio	0,261	0,05
Silicio	5,9	---
Sodio	3515,5	200
Talio	<0,020	---
Titanio	0,871	---
Vanadio	0,041	---
Zinc	1,941	2

¹ Método: ICP. Mediciones realizadas en Inspectorate Services del Perú S.A.C.

² Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA). Categoría 3: Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto (Anexo D).

4.1.3 Análisis físico-químico

La tabla 4.3 presenta el análisis de los parámetros físico-químicos de cuatro muestras de efluentes de pota (ver tabla 3.1).

Tabla 4.3: Análisis físico-químico de cuatro muestras de efluentes de pota

Parámetros	Métodos Estándar	Unidades	H4	H5	C1	C2	ECA ¹	Límite ²
DBO ₅	5210-B.	mg/l (O ₂)	63560	73080	8500	15015	15	60
DQO	5220-B.	mg/l (O ₂)	72358	---	9609	23828	40	350
Fósforo total	4500 P.	mg/l (P)	898	---	382	20,1	---	10
Nitrógeno total	4500-N B.	mg/l (N)	10200	---	2177	5263	---	40
Sólidos totales	2540 B.	mg/l	88576	---	16449	---	---	---
Sólidos suspendidos totales	2540 D.	mg/l	15567	---	259	---	---	80
Potasio	3500-K B.	mg/l (K ⁺)	3194	---	---	---	---	---

¹ Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA). Categoría 3: Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto (Anexo D).

² Normas para la calidad del agua (Venezuela). Capítulo III: Del control de los vertidos líquidos. Sección III: De las descargas a cuerpos de agua. Artículo 10 (Anexo E)

Los efluentes de cocción de pota para harina (H4, H5) tienen valores más altos, en todos los parámetros cuantificados, que el efluente del congelado de pota precocida (C1, C2). Además, todos los parámetros físico-químicos de ambos tipos de efluentes, exceden notablemente los valores límite de los dos dispositivos legales utilizados (las normas peruana y venezolana). Por ello, estos efluentes pueden considerarse como contaminantes.

También, se confirma la presencia de los tres elementos principales de la nutrición mineral de las plantas (macronutrientes): nitrógeno y potasio en exceso, y fósforo en una cantidad significativa.

4.1.4 Análisis microbiológico

La tabla 4.4 presenta el análisis microbiológico de una muestra de efluentes de cocción de pota, extraída de un segundo centro de deshidratado artesanal (ver tabla 3.1).

Tabla 4.4: Análisis microbiológico de una muestra de efluentes de cocción de pota de un segundo centro de deshidratado artesanal

Tipo de Análisis	Método de ensayo	Unidades	Muestra H5	ECA ¹
Recuento de mesófilos totales	AOAC 966.23	ufc/ml	5.75×10^7	---
<i>Escherichia coli</i>	AOAC 991.14	---	Ausencia	100
<i>Salmonella sp.</i>	BAM on line Cap 5	---	Ausencia	Ausencia
Coliformes totales	9221 B. Métodos Estándar	NMP/100 ml	3.5×10^8	5000
Coliformes termotolerantes	9221 E. Métodos Estándar	NMP/100 ml	7×10^7	1000

¹ Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA). Categoría 3: Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto (Anexo D).

Se descarta la presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*, por lo que, el efluente de cocción de descartes de pota para harina no tiene a dos microorganismos de la familia Enterobacteriaceae, que son patógenos para el ser humano¹⁷³. Además, la presencia descartada del primero significa que este efluente no contiene al principal representante de la contaminación de origen fecal³⁸. No obstante, se encuentran coliformes termotolerantes que implican la presencia de otros géneros que pertenecen al grupo de los coliformes fecales como por ejemplo la *Klebsiella* y el *Citrobacter*³⁸, esto es un indicio que estos efluentes pueden ser potencialmente contaminantes en cualquier cuerpo receptor de agua. Además, los termotolerantes representan la mayor parte de los coliformes totales, por lo que, son altos los conjuntos bacterianos de origen fecal.

4.2 Resultados de los ensayos de digestión anaeróbica

4.2.1 Producción acumulada de biogás por reactor

En la tabla 4.5 se presenta la producción total de biogás de cada reactor anaeróbico, en todos los experimentos realizados. Además, se muestran los componentes de cada uno de los biodigestores (ver tabla 3.1).

Tabla 4.5: Producción total de biogás por reactor anaeróbico

Experimento N°	Biodigestor N°	Materia prima	Inóculo	Carga orgánica	Volumen Total (ml)
01	01	Efluente de harina de pota (Muestra H4)	Vísceras de pescado	Hojas secas de plátano	3658
	02			Hojas frescas de plátano	1725
	03			Tallos de plátano	24
	04			Cascarilla de arroz	40
02	05	Efluente de harina de pota (Muestra H4)	---	Hojas frescas de plátano	15940
	06			Hojas secas de plátano	8685
	07	Agua destilada	---	---	8240
	08	Efluente de harina de pota (Muestra H4)	---	---	3050
03	09	Efluente de congelado de pota (Muestra C2)	---	Hojas secas de plátano	500
	10		Levadura fresca		725
	11		Rumen de vacuno		600
	12		---	---	320
	13		Vísceras de pescado	---	360
04	14	Efluente de harina de pota (Muestra H6)	---	Hojas secas de plátano	13360
	15		Levadura fresca		19760
	16		---	---	4190

4.2.1.1 Experimento N° 01: Efluente del proceso de harina de pota con distinta carga orgánica

El gráfico 4.1 muestra las producciones acumuladas diarias de biogás de cada reactor anaeróbico. Este gráfico permite visualizar las semejanzas y diferencias de diversas curvas de producción a lo largo de los 19 días de experimentación.

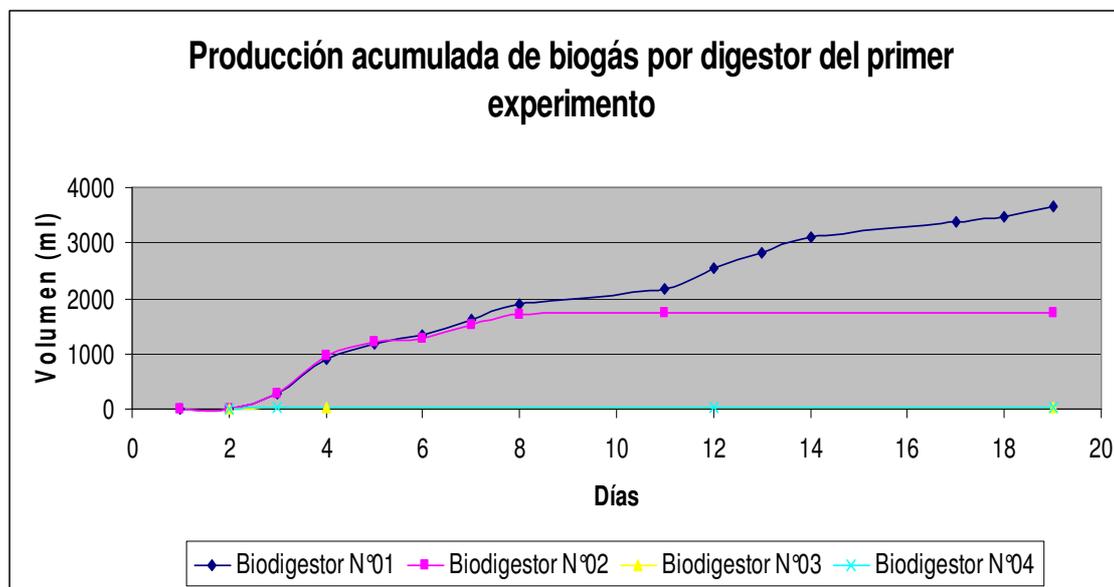


Gráfico 4.1: Producción acumulada de biogás por digestor del primer experimento

Los biodigestores N° 01 y 02 son de tendencias muy semejantes desde el inicio de la experimentación hasta el octavo día. A partir de ese momento hasta el final del ensayo, tuvieron producciones acumuladas de biogás muy distintas. Asimismo, estos biodigestores que corresponden a las cargas orgánicas de hojas secas y frescas de plátano, produjeron mayor cantidad de biogás que los biodigestores N° 03 y 04, en los que se utilizó tallos de plátano y cascarilla de arroz, respectivamente. Entonces, se puede afirmar que los tipos de cargas orgánicas influyeron en la producción final de biogás, ante lo cual se descartó el uso de estos dos últimos para los siguientes ensayos.

La despreciable producción de los biodigestores N° 03 y 04 es probable que haya sido causada por la presencia de cargas orgánicas ricas en taninos^{132, 133}. Estos taninos tienen una función antibacteriana que se basa en su capacidad de astringencia, es decir, precipitan las proteínas (combinándose con ellas), dificultando su absorción. Además, actúan secando la mucosa presente en los tejidos de las plantas, formando un medio desfavorable para la proliferación de agentes microbianos^{131, 134, 135}. En consecuencia, esto dificultaría el crecimiento de la carga microbiana (inóculo) agregada en los biodigestores, así como la posible absorción de nutrientes del efluente de pota (metabolismo bacteriano), por lo que, no existirían las condiciones necesarias para el desarrollo de la digestión anaeróbica ni de la generación de biogás.

Los taninos se acumulan en las raíces, cortezas de plantas y frutos, y también están presentes en las hojas, aunque en menor proporción¹³⁵. Por ello, se obtuvieron diferentes producciones de biogás, según las cargas orgánicas empleadas.

4.2.1.2 Experimento N° 02: Efluente del proceso de harina de pota con hojas de plátano

El gráfico 4.2 muestra las producciones acumuladas diarias de biogás de cada reactor anaeróbico, a lo largo de los 33 días de experimentación. Esta serie de biodigestores, a diferencia de los anteriores (experimento N° 01), produjeron mayor volumen de gas.

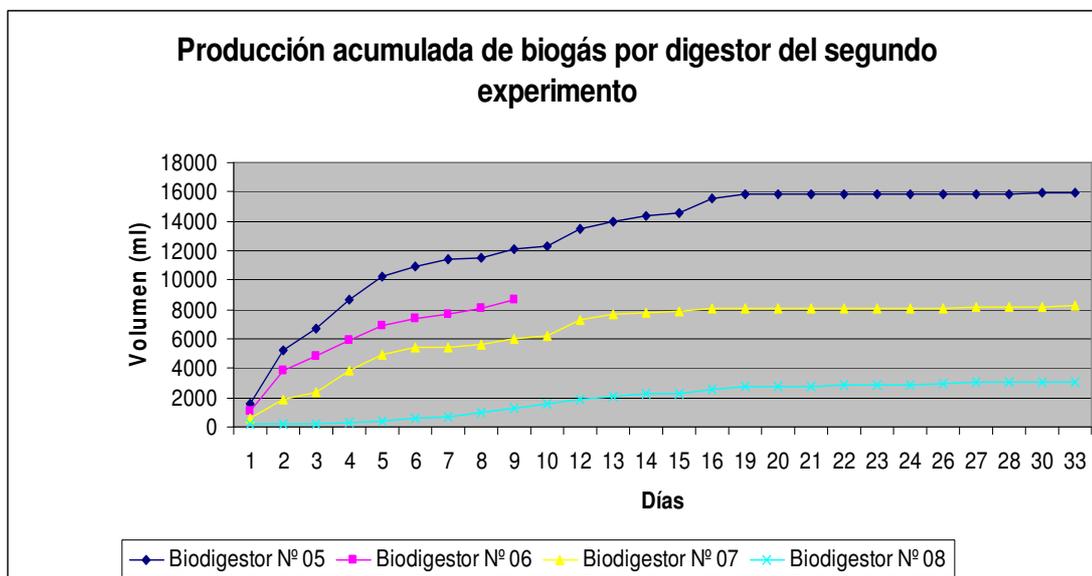


Gráfico 4.2: Producción acumulada de biogás por digestor del segundo experimento

El ensayo muestra que la mayor producción ocurrió en el biodigestor N° 05, el cual alcanzó los 15 litros y podemos atribuir su destacada generación de gas a la utilización de hojas frescas de plátano. El ensayo comparativo con hojas secas de plátano correspondiente al biodigestor N° 06 no se pudo cuantificar hasta el final del experimento, por cuanto se decidió cambiar de recipiente de recepción de gas (cámara de llanta) al noveno día. El nuevo recipiente no permitió establecer una medida de volumen confiable. Sin embargo, debe hacerse notar que la tendencia de producción de gas ya estaba claramente definida, la cual es menor al biodigestor N° 05.

En este ensayo los biodigestores de control fueron el N° 07 y 08, que no tenían carga orgánica adicional ni inóculo. El biodigestor N° 07 produjo 8,6 litros de gas. La producción de este biodigestor, conformado por la fermentación del conjunto: vísceras de pescado y hojas secas de plátano, representa el 50% del máximo volumen de biogás obtenido de una digestión de componentes completos (biodigestor N° 05).

El biodigestor N° 08 produjo sólo 3 litros de gas. Esta producción de gas se debió exclusivamente a la digestión del efluente de harina pota, ya que este biodigestor no tuvo carga orgánica adicional ni inóculo.

A pesar de que el uso de las hojas frescas de plátano en los biodigestores influyó en una mayor producción de biogás, respecto a las hojas secas; se descartó el uso de las primeras para los siguientes experimentos, por su difícil acceso en comparación a las segundas. Es decir, el empleo de las hojas secas de plátano supone un menor peso y costo de transporte, por la menor cantidad de agua que contiene este material.

4.2.1.3 Experimento N° 03: Efluente del proceso de congelado de pota con diversos tipos de inóculos

El gráfico 4.3 muestra las producciones acumuladas diarias de biogás de cada reactor anaeróbico, a lo largo de los 37 días de experimentación. En este ensayo la materia prima utilizada fue el efluente de la precocción de pota de una planta de congelado, cuya carga orgánica es menor que cualquiera de las otras muestras de efluente de pota utilizada (de cocción para harina).

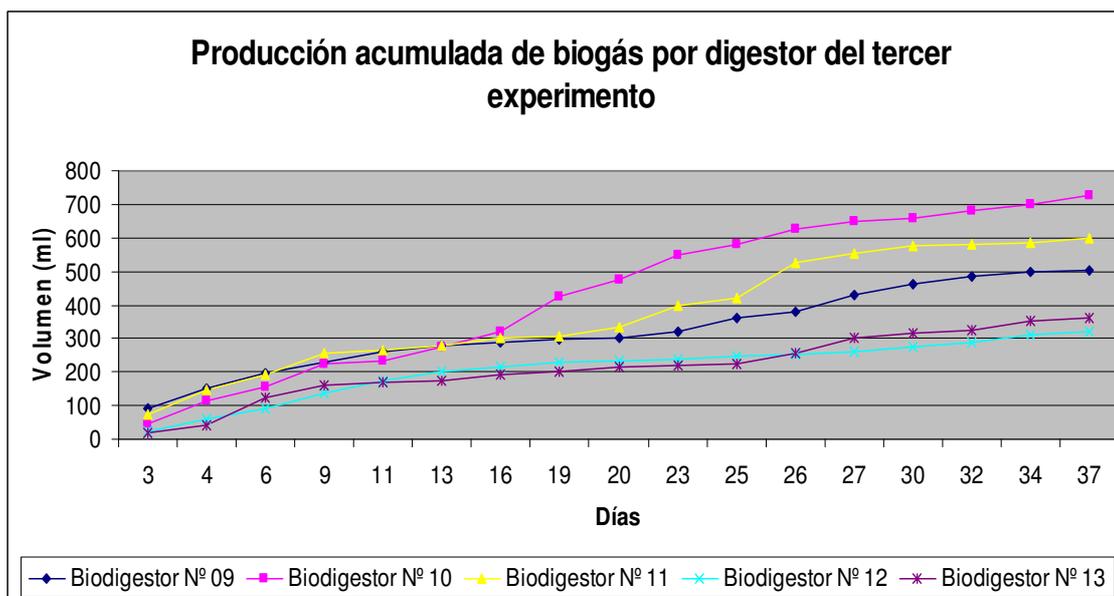


Gráfico 4.3: Producción acumulada de biogás por digestor del tercer experimento

Los biodigestores N° 12 y 13, sin carga orgánica adicional, produjeron menos gas (360 y 320 ml, respectivamente) que los biodigestores N° 09, 10 y 11 con carga orgánica adicional que acumularon 500, 725 y 600 ml, respectivamente.

En este ensayo los biodigestores de control fueron los biodigestores N° 09, 12 y 13. Las producciones de biogás de estos biodigestores representan entre el 45 y el 70% del máximo volumen de biogás obtenido de una digestión de componentes completos (biodigestor N° 10).

Como los cinco biodigestores no superaron el litro de producción de gas, se comprueba que el efluente de congelado de pota aportó poca materia y carga orgánica, en la generación de biogás. Por otra parte, los nuevos tipos de inóculo influyeron en las producciones significativas de biogás (levadura fresca y rumen de vacuno).

Por tanto, por los resultados finales de producción de biogás, se descartó emplear el efluente de congelado de pota y se utilizó nuevamente el efluente de harina, para la ejecución del siguiente experimento.

En este ensayo también se midió el pH de la mezcla interna de los biodigestores (parte líquida). Estas mediciones se realizaron de dos a tres días, con la finalidad de observar cambios significativos en los valores. Para la evaluación de los valores de pH se utilizará

como límites a los valores 6,5 y 7,5, porque son estos valores los que permiten establecer si la digestión anaeróbica se desarrolla de manera óptima¹¹⁶.

En el gráfico 4.4 se muestra los valores de pH de las muestras líquidas del contenido interno de los biodigestores del tercer experimento.

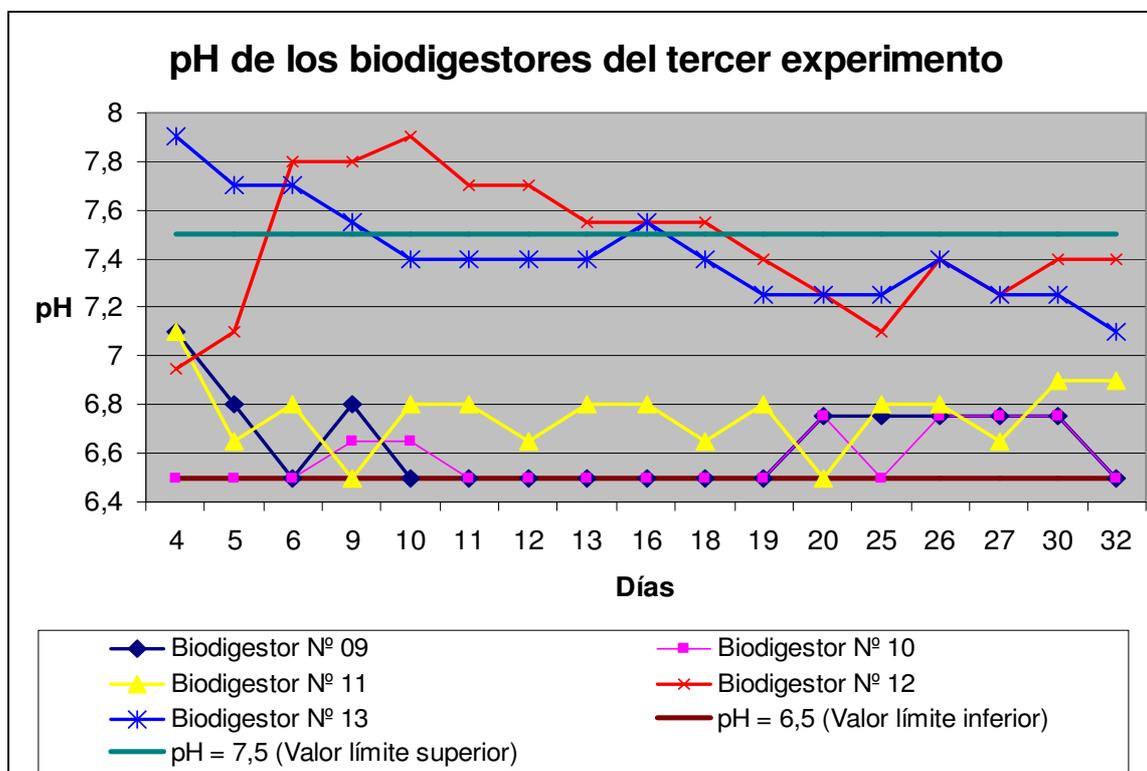


Gráfico 4.4: Curva resumen de pH de los biodigestores del tercer experimento

Los biodigestores N° 09, 10 y 11, aquellos que contenían carga orgánica adicional, mantienen un carácter levemente ácido a lo largo de la experimentación, con valores de pH que oscilan entre 6,5 y 6,9 y próximos al límite inferior.

Los biodigestores que no contenían carga orgánica adicional (N° 12 y 13) tienen un carácter básico a lo largo de la experimentación, con valores de pH que oscilan entre 7,1 y 7,9. Es decir, superan el límite superior hasta el noveno día en el biodigestor N° 13 y desde el sexto al décimo octavo día en el biodigestor N° 12, pero que al parecer no tiene incidencia en la producción de biogás dada la tendencia creciente de las curvas, y que más bien el bajo rendimiento (tal como lo hemos afirmado antes) se debe a la ausencia de la carga orgánica adicional.

Los valores de pH estuvieron definidos por los componentes de los biodigestores y principalmente por el contenido de carga orgánica adicional.

Se midieron los valores de pH hasta el trigésimo segundo día y no hasta el trigésimo séptimo, porque hasta esa primera fecha no se observaron más cambios significativos en los valores de pH de las mezclas líquidas del contenido de los biodigestores.

4.2.1.4 Experimento N° 04: Efluente del proceso de harina de pota con hojas secas de plátano y levadura

El gráfico 4.5 muestra las producciones acumuladas diarias de biogás de cada reactor anaeróbico, a lo largo de los 41 días de experimentación.

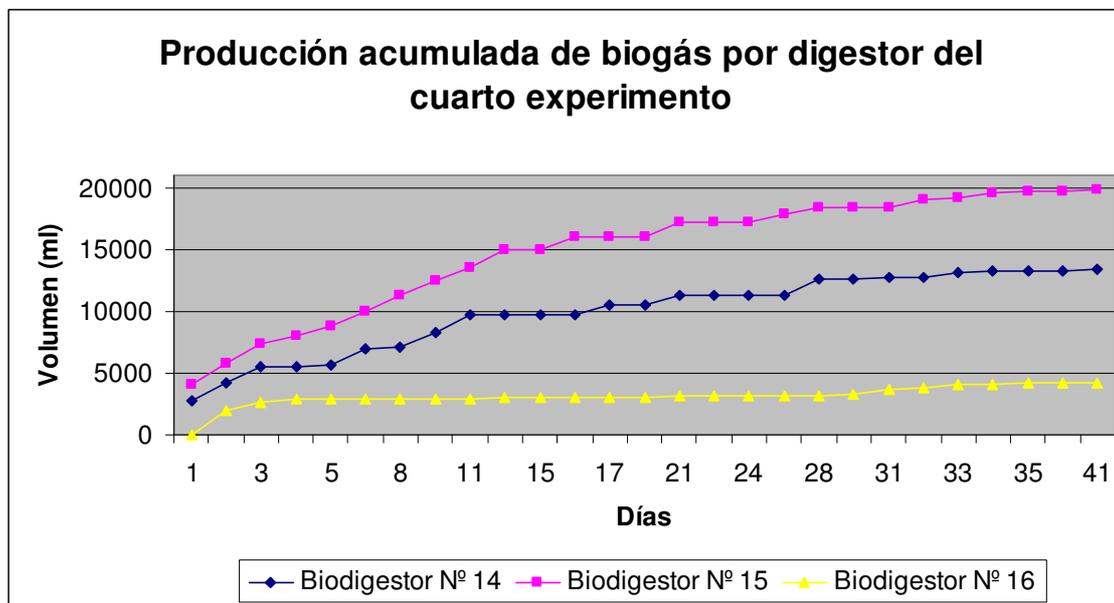


Gráfico 4.5: Producción acumulada de biogás por biodigestor del cuarto experimento

En este ensayo los biodigestores N° 14 y 16 son biodigestores de control. El biodigestor N° 16 sólo contenía efluente de harina de pota, de ello se deriva la baja producción de gas. Mientras, que el biodigestor N° 14 contenía efluente de harina de pota y hojas secas de plátano y produjo un alto volumen de biogás que superó fácilmente al otro biodigestor de control.

Los biodigestores N° 14 y 15 muestran un comportamiento semejante en los tres primeros días. Estos biodigestores produjeron altas cantidades de biogás que en anteriores ensayos, con volúmenes aproximados de 13 y 20 litros, respectivamente. Es evidente el aporte de la levadura al proceso de fermentación, ya que en el biodigestor N° 15 se inoculó con levadura fresca.

Utilizar el efluente de cocción de pota para harina en lugar del efluente de precocción de pota para congelado, produjo resultados más favorables en cuanto a producción de biogás; utilizando los mismos inóculos (levadura) y cargas orgánicas (hojas secas de plátano) que fueron empleados en el anterior experimento, pero en otras proporciones.

4.2.1.5 Influencia de la temperatura en las producciones acumuladas de biogás

Nuestro clima, como cualquier zona vecina a la línea ecuatorial, no tiene estaciones marcadamente diferentes, por tanto, no hay una acentuada diferencia de temperatura entre los ensayos realizados. Sí consideramos importante la relación termodinámica de la

temperatura con la velocidad de la reacción y de la temperatura con la medición aproximada de los gases producidos.

Se ha llevado registro de las temperaturas máximas y mínimas en las que se ejecutaron los ensayos, aunque no podamos sacar ninguna conclusión en relación a ellas puesto que los ensayos realizados no se han ejecutado bajo los mismos parámetros. El presente estudio se realizó con el objeto de poder definir estos parámetros, y aun no se pueden considerar como los óptimos.

En la tabla 4.6 se presentan las temperaturas mínimas y máximas por experimento, de acuerdo al registro de temperaturas que fue proporcionado por la Estación Meteorológica del Radar UDEP (Anexo B).

Tabla 4.6: Temperaturas mínimas y máximas por experimento

Experimento N°	Biodigestores N°	T mínima (°C)	T máxima (°C)
01	01, 02, 03, 04	16,03	29,69
02	05, 06, 07, 08	16,26	29,41
03	09, 10, 11, 12, 13	17,42	31,38
04	14, 15, 16	21,05	34,55

4.2.2 Análisis del producto fermentado orientado a su uso como biol

La composición de cada biol depende del tipo de material que ingresa al digestor, por lo que, se puede afirmar que cada biol es único y con características propias. Además, el biol (sea cual sea su origen) contiene hormonas vegetales o fitohormonas, las cuales son las responsables del crecimiento de las plantas. Por tanto, los bioles experimentales pueden tener probabilidades altas de ser considerados fertilizantes orgánicos y favorecer el desarrollo de las plantas.

El estudio de los bioles experimentales abarca el análisis de sus parámetros físico-químicos, empleando como criterio a los resultados de análisis físico-químicos de bioles encontrados en la bibliografía (de experiencias pasadas). Finalmente, se compararán los parámetros físico-químicos de los bioles experimentales con la composición de un fertilizante foliar comercial, con el objetivo de verificar si cumplen con los requisitos mínimos para su probable función como biofertilizante.

En las tablas 4.7 y 4.8 se presentan los análisis de los parámetros físico-químicos de los bioles obtenidos en todos los experimentos.

Tabla 4.7: Análisis de los parámetros físico-químicos de los bioles obtenidos en los experimentos N° 01 y 02

Parámetros	Experimento N° 01				Experimento N° 02			
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
Humedad ⁽¹⁾ (%)	98,69	97,41	96,99	97,85	99,21	97,24	99,05	96,98
Residuo seco a 60 °C ⁽¹⁾ (%)	1,31	2,58	3,01	2,15	0,79	2,76	0,95	3,02
pH ⁽²⁾	5,93	6,36	6,21	6,55	5,87	6,48	5,65	6,58
Nitrógeno total ⁽³⁾ (%)	0,167	0,395	0,522	0,441	0,128	0,479	0,046	0,815
Nitrógeno amoniacal ⁽³⁾ (%)	0,115	0,339	0,416	0,390	0,096	0,442	0,028	0,619
Fósforo ⁽⁴⁾ (%)	0,0254	0,0420	0,0323	0,0482	0,0068	0,0105	0,0079	0,0155
Potasio ⁽⁵⁾ (%)	0,1862	0,0943	0,0810	0,0636	0,1146	0,4207	0,1622	0,1775
Sodio ⁽⁵⁾ (%)	0,0424	0,0712	0,1142	0,1038	0,0682	0,1850	0,0304	0,3860
Materia orgánica ⁽⁶⁾ (%)	0,57	1,83	1,47	0,96	0,22	1,45	0,56	2,01
Materia orgánica ⁽⁷⁾ (%)	0,57	2,33	1,30	0,96	0,19	0,89	0,31	1,54

Métodos: ⁽¹⁾ Gravimetría. ⁽²⁾ Medida directa. ⁽³⁾ Kjeldahl. ⁽⁴⁾ Colorimetría. ⁽⁵⁾ AAS. ⁽⁶⁾ Calcinación. ⁽⁷⁾ Walkley – Black.

Tabla 4.8: Análisis de los parámetros físico-químicos de los bioles obtenidos en los experimentos N° 03 y 04

Parámetros	Tercer experimento					Cuarto Experimento		
	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16
Humedad ⁽¹⁾ (%)	97,96	97,79	98,05	98,57	99,01	92,85	89,6	82
Residuo seco a 60 °C ⁽¹⁾ (%)	2,03	2,21	1,95	1,43	0,99	7,15	10,4	18
pH ⁽²⁾	6,21	6,04	6,81	7,66	7,56	7,3	7,3	7,6
Nitrógeno total ⁽³⁾ (%)	0,353	0,364	0,345	0,326	0,330	0,8180	0,9644	1,6848
Nitrógeno amoniacal ⁽³⁾⁽⁹⁾ (%)	0,056	0,046	0,082	0,121	0,132	0,6501	0,9217	1,5993
Fósforo ⁽⁴⁾ (%)	0,0232	0,0347	0,0189	0,0417	0,0416	0,0375	0,0594	0,1269
Potasio ⁽⁵⁾ (%)	0,2805	0,2585	0,2709	0,0837	0,0831	0,0838	0,1118	0,1975
Sodio ⁽⁵⁾⁽¹⁰⁾ (%)	0,0777	0,0780	0,0793	0,0781	0,0762	0,0866	0,1076	0,1476
Materia orgánica ⁽⁶⁾ (%)	1,27	1,47	1,22	1,04	0,60	5,59	8,30	14,78
Materia orgánica ⁽⁷⁾ (%)	0,98	0,80	0,77	0,33	0,33	---	---	---
Materia orgánica (DQO) ⁽⁸⁾ (%)	---	---	---	---	---	4,69	6,97	10,01

Experimento N° 03:

Métodos: ⁽¹⁾ Gravimetría. ⁽²⁾ Medida directa. ⁽³⁾ Kjeldahl. ⁽⁴⁾ Colorimetría. ⁽⁵⁾ AAS. ⁽⁶⁾ Calcinación. ⁽⁷⁾ Walkley – Black.

Experimento N° 04:

Métodos de ensayo: ⁽¹⁾ Gravimetría. ⁽²⁾ 4500-H⁺ B. Métodos Estándar. ⁽³⁾ 4500-N. Métodos Estándar (Kjeldahl). ⁽⁴⁾ 4500 P. Métodos Estándar. ⁽⁵⁾ 3500-K B. Métodos Estándar. ⁽⁶⁾ Calcinación. ⁽⁸⁾ 5220-B. Métodos Estándar. ⁽⁹⁾ 4500-NH₃ E. Métodos Estándar. ⁽¹⁰⁾ 3500-Na B. Métodos Estándar.

Al comparar los valores de las tablas 4.7 y 4.8, se comenta lo siguiente:

- Los valores de los bioles del tercer experimento son los más bajos, a excepción de algunos valores de fósforo y potasio. Esto se debe a que en ese experimento se empleó efluente de congelado de pota precocida, el cual tiene una menor carga orgánica y microbiana que el efluente de harina. Además, este efluente proviene de la pre-cocción del congelado de tubo de pota, un proceso menos contaminante que la cocción y deshidratado artesanal de descartes de pota (para harina).
- Los valores de los bioles del cuarto experimento son los más altos, a excepción de los valores de sodio y potasio. Esto se debe a que el efluente de harina de pota utilizado tenía un mayor número de cocciones, por ende, tenía una mayor cantidad de carga orgánica y microbiana. Esto se dedujo del aspecto del efluente, ya que su color fue negro intenso y no el rojizo que tenía el mismo tipo de efluente utilizado en los dos primeros experimentos.
- En general, los bioles a base de efluente de harina de pota tienen los más altos valores en sus distintos parámetros que los bioles del efluente de congelado, a excepción de algunos valores de fósforo. Esto se debe a la mayor cantidad de materia orgánica y de carga microbiana que aporta el primer efluente respecto al segundo.
- Con respecto a los tres elementos principales de la nutrición de las plantas, todos los bioles experimentales tienen significativos valores de nitrógeno y potasio, y bajos valores de fósforo.

Analizando cada parámetro físico-químico de los bioles de las tablas 4.7 y 4.8, se comenta lo siguiente:

- Los valores más significativos de residuo seco se observan en los experimentos N° 01, 02 y 04, es decir, en los bioles a base de efluente de harina de pota; a excepción de los bioles B1, B5 y B7. Estos valores se acentúan más en el experimento N° 04, los cuales superan el 7%. Por ello, estos bioles tienen más posibilidades de tener nutrientes y minerales suficientes para la fertilización de las plantas. Mientras, que los valores más bajos se observan en el experimento N° 03, es decir, en aquellos bioles a base de efluente de congelado.

Por otro lado, es probable que a la temperatura de 60 °C, con la que se determina el residuo seco, no haya permitido un secado total. Por ello, se obtuvieron valores altos en algunos bioles (B8, B14, B15 y B16)²¹⁵.

- La mayoría de bioles se ajustan a los rangos de pH óptimos (ver tabla 2.3); a excepción de B1, B5 y B7, los cuales tienen un carácter ácido y los menores valores de residuo seco. Es probable que por la falta de tiempo, el tipo de efluente o la concentración de taninos haya quedado incompleto el proceso de digestión anaeróbica de los biodigestores de donde proceden esos bioles, es decir, las mezclas de esos biodigestores adquirieron un carácter ácido que causó la inhibición de sus respectivas fermentaciones, sin llegar a la fase productora de metano. Por ello, esos biodigestores produjeron significativos volúmenes de biogás, pero sin una gran concentración de metano.

Esa característica que se produjo en los bioles de los dos primeros experimentos no se repitió en los experimentos N° 03 y 04, porque en ambos ensayos se utilizaron otros tipos de efluentes. Por ello, en el tercer ensayo los bioles con menores valores de residuo seco son aquellos que tienen un carácter básico, comprobándose la influencia del efluente de congelado y de la levadura fresca en el carácter ácido del biol B10 de ese ensayo. Mientras, que en el cuarto ensayo sucedió todo lo contrario, es decir, que se obtuvieron bioles con carácter básico y con altos porcentajes de residuo seco.

Finalmente, al observar los pH de los experimentos N° 01 y 02 respecto al N° 04, se puede confirmar la diferencia de caracteres entre los dos mismos tipos de efluentes empleados.

- Los valores más altos de nitrógeno total se observan en los experimentos N° 01, 02 y 04, es decir, en los bioles a base de efluente de harina de pota; a excepción de los bioles B1, B5 y B7. Estos valores son más notorios en el experimento N° 04, los cuales superan el 0,8%. Mientras, que los valores más bajos se observan en el experimento N° 03, es decir, en aquellos bioles a base de efluente de congelado.

En los experimentos N° 02 y 04, los bioles que provienen de biodigestores que contenían carga orgánica adicional e inóculo tienen menor nitrógeno total que los bioles a base exclusivamente de efluente e inóculo. Mientras, que en el experimento N° 03 ocurrió todo lo contrario. Con ello, se comprueba el poco aporte de nitrógeno total que ofrece el efluente de congelado, respecto al efluente de harina.

También es probable que parte del nitrógeno total de los bioles experimentales se haya quedado contenido en el biosol (parte sólida sobrante de la digestión anaeróbica). Por ello, se observan reducciones de nitrógeno total, respecto a los valores iniciales de los efluentes de harina y congelado de pota.

- En los experimentos N° 01, 02 y 04 se observa que el nitrógeno amoniacal representa la mayor parte del nitrógeno total, comportamiento que ya no se repite en el experimento N° 03. Esto significa que la mayoría del nitrógeno total puede ser absorbida directamente por las plantas (como nitrógeno amoniacal) o ser una fuente de generación de nitratos para su posterior absorción.

Por tanto, se puede afirmar que el efluente de congelado de pota no es una fuente significativa de nitrógeno. Los valores altos de nitrógeno amoniacal altos se aprecian en los bioles del cuarto experimento, cuya materia prima también fue más rica en nitrógeno.

- Los valores más significativos de fósforo se observan en los experimentos N° 01, 03 y 04, los cuales oscilan en un rango entre 0,018 y 0,12%. Los valores más altos se observan en el experimento N° 04; mientras, que los valores más bajos en el experimento N° 02, los cuales no superan el 0,016%.

Por otra parte, los bioles a base exclusivamente de efluente e inóculo tienen mayores porcentajes de fósforo, que los bioles que provienen de biodigestores con aportes adicionales de carga orgánica e inóculo. Se podría decir que no hay mayor transformación del fósforo a otros productos de la digestión anaerobia.

- Los valores más altos de potasio se observan en los tres primeros experimentos (en los bioles a base de hojas secas de plátano: B1, B6, B9, B10 y B11). Los valores de potasio de estos bioles oscilan entre el 0,19 y el 0,42%. Se puede afirmar que las hojas secas de plátano tuvieron mayor incidencia que otras cargas orgánicas vegetales y que los efluentes.

La influencia de las hojas secas de plátano se observa también en el biol del biodigestor B7, que a pesar de no contener efluente alcanza un valor de potasio similar al B8.

- Los valores más altos de sodio se produjeron en los bioles de los experimentos a base de efluente de harina, es decir, en los experimentos N° 01, 02 y 04. Mientras que los menores valores corresponden al tercer experimento, es decir, bioles a base de efluente de congelado.

Cabe recordar que el efluente de congelado de pota tiene menor cantidad de sales que el efluente de harina (ver tabla 4.1, cloruros).

- Los valores de materia orgánica de los bioles de los experimentos N° 01, 02 y 03 son similares, mientras que en el N° 04, los valores son más altos. Estos resultados se podrían atribuir a un efluente más rico en carga orgánica originada por un mayor número de ciclos de cocción de pota. Este efluente (ver tabla 3.1, H6) no fue analizado porque se consiguió en un momento posterior al estudio, y se asumió que al tener una procedencia ya conocida, tendría una composición similar al efluente H4 (que fue utilizado en los dos primeros experimentos).

4.2.2.1 Comparación de los bioles experimentales con los resultados de experiencias encontradas en la bibliografía

En la tabla 4.9 se presentan los parámetros físico-químicos de diversos bioles procedentes de experiencias encontradas en la bibliografía (de experiencias pasadas).

Tabla 4.9: Análisis de los parámetros físico-químicos de bioles de diferente procedencia

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7
Humedad (%)	95,82	95,8	---	98,6	---	94,4	90,1
Residuo seco (%)	4,18	4,2	---	1,4	---	5,6	9,9
pH	7,96	8,1	---	6,7 – 7,9	7,3	---	---
Nitrógeno total (%)	0,263	0,24	0,02	0,09	0,092	1,6	2,7
Nitrógeno amoniacal (%)	0,127	0,108	---	---	---	---	---
Fósforo (%)	0,043	0,101	0,0076	$4,8 \times 10^{-6}$	0,0092	0,2	0,3
Potasio (%)	0,266	0,294	0,42	$2,9 \times 10^{-5}$	0,2298	1,5	2,1
Sodio (%)	0,0404	---	0,21	---	0,0668	---	---
Materia orgánica (%)	---	---	---	---	0,47	38	41,1

Fuente 1: Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso “Fermentación Anaeróbica” para producción de biogás⁹⁸

- Muestra 1: Biol del estiércol de vacuno (Potsch, 2004).
- Muestra 2: Biol de mezcla de sustratos: estiércol de vacunos y restos de comida casera (Zethner, G., 2002).
- Muestra 3: Biol de banano promedio: hojas, tallos y frutos Clark et. Al (2007).
- Muestra 4: Biol de estiércol de vacuno. ITINTEC, 1980.

Fuente 2: Uso de abonos orgánicos en producción de hortalizas¹⁴⁵

- Muestra 5: Análisis de biol. Bioagricultura Casablanca. Pachacamac 1999 (Fuente: Barrios, F. 2000).

Fuente 3: Manual para la producción de plantas aromáticas y medicinales¹⁴⁶

- Muestra 6: BE: Obtenido del estiércol de ganado lechero estabulado, que recibe en promedio una ración diaria de 60% de alfalfa, 30% de maíz ensilado y 10% de alimento concentrado.
- Muestra 7: BEA: Mezcla del mismo estiércol de ganado lechero estabulado, sometido a la misma ración alimenticia, pero al que se le ha añadido alfalfa picada.

En la tabla 4.9 se observan dos grupos muy definidos:

- Bioles de las cinco primeras muestras: Con significativos valores en sus parámetros físico-químicos, por los aportes de estiércol de vacuno, desperdicios y cargas orgánicas vegetales por separado (a excepción de la muestra 2). La muestra 5 no tiene la descripción de su composición exacta, pero tiene valores parecidos a las cuatro primeras muestras.
- Bioles de las muestras 6 y 7: Con altos valores en sus parámetros físico-químicos, por los aportes en conjunto de estiércol de ganado y altas cantidades de cargas orgánicas vegetales.

También se observa que la mayoría de los bioles presentan en común una baja presencia de materia seca (sólidos totales) que van entre 1 y 6%. Respecto a los valores de sus nutrientes, estos varían según los componentes utilizados en la fermentación. Por otra

parte, para el caso de las fermentaciones de efluentes de pota con adición de hojas y tallos de plátano (mayor cantidad de bioles con esos componentes), se puede tomar como referencia más cercana a la muestra 3.

Al comparar los valores de la tabla 4.9 con los parámetros físico-químicos de los bioles obtenidos en los cuatro experimentos de digestión anaeróbica (ver tablas 4.7 y 4.8), se comenta lo siguiente:

- Los valores de la mayoría de los bioles experimentales se asemejan a los parámetros físico-químicos del primer grupo de bioles de experiencias encontradas en la bibliografía (bioles de las cinco primeras muestras).
- Sólo los valores de los bioles experimentales del cuarto ensayo (B14, B15 y B16) se aproximan o son cercanos a los parámetros físico-químicos del segundo grupo de bioles de experiencias pasadas (bioles de las muestras 6 y 7). El resto de bioles experimentales de anteriores ensayos tienen valores muy lejanos.
- Tomando sólo como referencia de comparación a la muestra 3 de la tabla 4.9, por tener componentes parecidos a los utilizados para la obtención de los bioles experimentales, la mayoría de estos últimos tienen valores superiores a los parámetros físico-químicos de aquella muestra 3.
- Algunos valores de los bioles experimentales son parecidos o tienen las mismas tendencias que los parámetros físico-químicos de los bioles de experiencias encontradas en la bibliografía, cuando son comparados bioles con componentes de fermentación semejantes. Ejemplo: valores de potasio de los bioles a base de hojas de plátano: biol B6 de la tabla 4.7 y muestra 3 de la tabla 4.9.
- Sólo algunos bioles experimentales superan los valores de fósforo de las cinco primeras muestras de la tabla 4.9.

Luego de la comparación realizada, se puede afirmar que la mayoría de los bioles experimentales tienen valores superiores o cercanos a los parámetros físico-químicos de los bioles de experiencias encontradas en la bibliografía. Esto permite plantear que los bioles experimentales pueden ser utilizados como fertilizantes orgánicos y que el proceso de digestión anaeróbica se desarrolló de manera normal. Sin embargo, los valores de todos los bioles están en función de los tipos de materiales y las proporciones empleadas para la obtención de estos.

4.2.2.2 Comparación final de los bioles experimentales con abonos foliares comerciales

En la tabla 4.10 se muestran los parámetros físico-químicos de seis abonos foliares líquidos comerciales. Los valores de los cinco primeros fertilizantes corresponden a abonos foliares ya diluidos en agua y fueron calculados a partir de la dosis mínima, la cual es de 200 ml de fertilizante por 100 litros de agua (aplicación vía foliar). Mientras, que los valores del sexto abono foliar pertenece a un fertilizante que se aplica directamente a la planta y que no necesita diluirse en agua.

Tabla 4.10: Parámetros físico-químicos de seis abonos foliares líquidos comerciales

Parámetros	AF1	AF2	AF3	AF4	AF5	AF6
Nitrógeno total (%)	0,022	0,022	0,004	0,048	0,024	0,080
Nitrógeno amoniacal (%)	---	0,012	---	---	---	---
Fósforo (%)	0,018	0,016	0,028	0,016	0,020	0,040
Potasio (%)	0,016	0,012	0,064	0,020	0,040	0,020
pH	7	6,5	7,5	7 – 8	7,5	---

Fuentes:

AF1: Guanafol 11-9-8, solución de abono NPK con micronutrientes²¹⁶.

AF2: Bayfolan, fertilizante foliar líquido²¹⁷.

AF3: Kaofol, abono líquido rico en potasio y fósforo²¹⁸.

AF4: Vital Power Gel 24-8-10+Mg+B (Zoberaminol), fertilizante foliar rico en nitrógeno y compensado con fósforo y potasio²¹⁹.

AF5: Oli-fol, abono líquido concentrado en potasio para fertilización foliar²²⁰.

AF6: Flower, abono foliar líquido bio-activador (bioestimulante)²²¹.

Comparando los valores de la tabla 4.10 con los parámetros físico-químicos de los bioles experimentales (ver tablas 4.7 y 4.8), se aprecia que estos bioles superan los valores de los abonos foliares diluidos, por lo que, los primeros pueden desempeñar la función de fertilizantes orgánicos. Para ello, debe calcularse una dosis exacta para su dilución en agua, de acuerdo al tipo de biol, es decir, según los componentes empleados para su obtención y los valores de sus nutrientes (composición).

El valor más bajo de los tres macronutrientes de los bioles experimentales es el fósforo, por lo que, una dosis inadecuada para la dilución de los bioles puede proporcionar a la planta valores altos de otros macro y micronutrientes, pero un valor muy bajo de fósforo. Ante esa situación, también se debe considerar el requerimiento exacto de nutrientes de las plantas a fertilizar.

Por lo tanto, todos los bioles experimentales son aptos para su función como fertilizante orgánico, pero el biol B8 puede ser descartado por tener el más alto valor en sodio, y esto no es favorable para la nutrición mineral de las plantas.

Conclusiones y recomendaciones

1. Conclusiones

- Los análisis físico-químicos de los efluentes de papa muestran valores altos de materia orgánica, microbiana, de cloruros particularmente de sodio y de varios metales pesados; estos valores hacen que los efluentes no califiquen como agua de riego según la legislación peruana de aguas, por tanto, se convierten en potencialmente contaminantes para los suelos.
- Utilizando los efluentes del procesamiento de papa, fuentes de materia orgánica y de inóculos, se obtuvieron volúmenes significativos de biogás mediante diversos ensayos de digestión anaeróbica. A pesar de ello, la concentración de metano contenido en el gas de la fermentación fue menor que la deseada (55 a 65% es la concentración ideal de metano⁹⁷), cuando se comprobó su propiedad como combustible.
- En ensayos de digestión anaeróbica donde se emplearon sólo los efluentes de papa o con la adición de uno de los dos componentes (carga orgánica vegetal o inóculo), se obtuvieron volúmenes significativos de gas de la fermentación. Sin embargo, fueron menores que aquellas producciones de biodigestores que contenían los componentes completos y tampoco tuvieron la concentración deseada de metano.
- El empleo del efluente de harina de papa produjo volúmenes más altos de biogás, respecto al efluente de congelado de papa precocida, independientemente de los otros materiales utilizados en los digestores. Esto se debe a que el efluente de harina cuadruplica la carga microbiana que tiene el efluente de congelado y triplica la materia orgánica fácilmente oxidable de este último.
- En todos los ensayos de digestión anaeróbica también se obtuvieron importantes volúmenes de biol, diferenciándose cada uno de ellos por los componentes utilizados en cada biodigestor. Estos bioles están enriquecidos con los tres elementos principales de la nutrición mineral de las plantas: significativas cantidades de nitrógeno y potasio; y valores no despreciables de fósforo.
- La digestión anaeróbica permitió obtener un biol con un contenido de sales (porcentaje de sodio) menor que el del efluente de harina de papa inicial. De acuerdo a los resultados de los dos primeros ensayos se aprecian reducciones del

- valor de sodio entre 68 y 88% en el primero, mientras que en el segundo se reduce este parámetro entre un 47 y 81% (ver tablas 4.7 y 4.8).
- El uso de hojas secas de plátano, como carga orgánica adicional en algunos biodigestores, permitió obtener bioles con importantes porcentajes de potasio, respecto al empleo de otras cargas orgánicas vegetales. En promedio, estos bioles a base de hojas secas de plátano presentaron un contenido de potasio que osciló entre 0,19 y 0,42% (ver tablas 4.7 y 4.8).
- En los bioles experimentales a base de efluente de harina de pota, el nitrógeno amoniacal representa la mayor parte del nitrógeno total, lo cual significa que la mayoría del nitrógeno total puede ser absorbida por las plantas o ser una fuente de generación de nitratos para su posterior absorción. Las excepciones son los bioles a base del efluente de congelado, los cuales tienen un porcentaje de nitrógeno amoniacal que no representa la mayor parte del nitrógeno total.
- En general, los parámetros físico-químicos de los bioles del último ensayo (B14, B15 y B16) fueron más altos que los valores de ensayos anteriores. Esto se debe a que se empleó un efluente de harina de pota que tuvo un número alto de cocciones, por lo que, tenía una mayor carga orgánica y microbiana. Las excepciones son los algunos valores de potasio y sodio.
- Los bioles a base de efluente de harina de pota presentaron altos valores de sus parámetros físico-químicos, en comparación a los bioles procedentes de efluente de congelado. Esto se debe a que el efluente de harina tiene mayor cantidad de materia orgánica y de carga microbiana respecto al efluente de congelado, independientemente de los otros componentes utilizados. Las excepciones son los porcentajes significativos de fósforo, en la mayoría de bioles a base del efluente de congelado.
- La mayoría de los bioles experimentales tienen valores cercanos a los parámetros físico-químicos de los bioles de experiencias encontradas en la bibliografía consultada, cuando son comparados con bioles producidos con componentes de fermentación semejantes. Esto quiere decir que los bioles experimentales tienen altas probabilidades de ser utilizados como fertilizante orgánico.
- Todos los bioles experimentales tienen valores superiores que los parámetros físico-químicos de los abonos foliares comerciales diluidos en agua, por lo que, estos bioles obtenidos pueden desempeñar la función de fertilizantes orgánicos. En consecuencia, debe calcularse la dilución en agua de estos bioles experimentales, según los valores de su contenido de nutrientes y los requerimientos minerales del tipo de planta a fertilizar.

2. Recomendaciones

- La recolección de las muestras de efluentes debe realizarse cuando concluya la operación donde se generan. Esto es importante para obtener un efluente con la mayor carga orgánica y bacteriana posible, lo cual permitiría enriquecer los ensayos

experimentales y caracterizar con exactitud los efluentes del procesamiento de pota. Además, es recomendable realizar esta extracción de efluentes el mismo día de la preparación de las cargas de los digestores y de su análisis en el laboratorio.

- Se debe realizar una selección minuciosa de las cargas orgánicas vegetales y de los tipos de inóculos que formarán parte de la carga de los digestores. Esto es importante para evitar interferencias de agentes extraños como: arena, piedras pequeñas, plásticos, etc. Además, es vital que la carga orgánica vegetal sea molida o picada para que su degradación sea más rápida.
- La digestión anaeróbica requiere un control permanente de todos los factores que influyen en este proceso. Se debe tener un buen control de la temperatura interna del biodigestor, valores internos de pH, concentración del nitrógeno amoniacal, concentración de sólidos volátiles, agitación, etc. El estricto seguimiento de estos parámetros es importante para evitar la inhibición del proceso y que se estanque la fase productora de metano, ya que las metanobacterias son sensibles a cambios bruscos de estos factores.
- Para los ensayos experimentales se pueden utilizar otras fuentes de carga orgánica, que no necesariamente deben ser de origen vegetal, como el estiércol de ganado. El estiércol aporta una gran proporción de materia orgánica y de nutrientes, lo cual contribuiría al enriquecimiento de la mezcla inicial de los digestores conformados por efluentes de pota¹⁹⁹. Además, el estiércol contiene grandes cantidades de bacterias anaerobias que aún continúan digiriéndolo, por lo que, incrementaría las colonias de microorganismos en favor de la digestión anaeróbica²⁰⁰. En contraste, las cargas orgánicas vegetales, como las hojas secas de plátano, sólo aportan cantidades significativas de materia orgánica.
- Se puede reutilizar parte del biol producido en los digestores (o el biabono sobrante), para enriquecer posteriores procesos de digestión anaeróbica. Con ello se lograría descomponer la materia orgánica compleja del biol reutilizado, obteniéndose nutrientes asimilables para los microorganismos. En consecuencia, se generaría un biogás con mayor proporción de metano y un biol con una significativa cantidad de nutrientes (digestión anaeróbica múltiple¹¹⁵).

Conforme se van obteniendo importantes volúmenes de biogás y biol, también se puede añadir nuevos materiales a los biodigestores. Esta adición de sustratos y cargas orgánicas enriquecería la mezcla interna de los digestores, con una mayor cantidad de nutrientes (manteniéndose las condiciones anaeróbicas). Con ello se lograría un aumento del poder fertilizante del biol resultante y un biogás con mayor cantidad de metano¹¹⁵.

- Un tratamiento aplicable a los efluentes de pota es el compostaje. Este tratamiento es una descomposición aeróbica de residuos orgánicos, por medio de la reproducción masiva de bacterias aerobias termófilas que están presentes en forma natural y en cualquier lugar. Con ello se obtiene un abono orgánico denominado compost, el cual constituye un grado medio de descomposición de la materia orgánica; mientras que el humus constituye el grado superior de descomposición de la materia orgánica.

Al igual que la digestión anaeróbica, el compostaje óptimo necesita tener una relación de carbono/nitrógeno entre 25/1 y 30/1. Por ello, ante un efluente de pota con bajo valor de C/N, sería necesario agregar ciertos sustratos para mejorar esta relación C/N. Además, el compostaje podría ser utilizado antes o después de una digestión anaeróbica, para mejorar las propiedades del efluente de pota o el biol resultante²⁰¹.

- Los productores de harina de pota industrial refieren que otro tratamiento aplicado a los efluentes de pota consiste en agregarles un líquido fermentado compuesto de agregados bacterianos denominados lactobacilos. Estos microorganismos son aplicados al efluente con la finalidad de eliminar su mal olor durante su descomposición o vertido a cualquier cuerpo receptor²⁰². Los lactobacilos son bacterias microaerófilas o anaerobias²⁰³ que actúan como aceleradores de los procesos fermentativos de la materia orgánica, transformándolo con el tiempo en un abono rico y evitando que se desarrollen los procesos de putrefacción y desintegración de la materia orgánica y, en consecuencia, se logra evitar la emanación de los malos olores provocados por las bacterias putrefactoras²⁰⁴.

Referencias bibliográficas

1. Wikipedia. Pota. En línea Internet. Abril 2009. Accesible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Pota>
2. ICON-INSTITUT GmbH Private Sector (2009). Estudios para el desarrollo de clusters en la actividad pesquera industrial y artesanal de anchoveta y pota. En línea Internet. Abril 2009. Accesible en <http://www.mincetur.gob.pe/Comercio/ueperu/licitacion/pdfs/Informes/114.pdf>
3. Armenta, Aníbal Félix (2006). *Elaboración y evaluación de vida de anaquel de salchichas tipo frankfurter a partir de músculo de calamar gigante (Dosidicus gigas)*. Tesis de título. México: Instituto tecnológico de los Mochis.
4. IMARPE-Paita (2009). Pota, composición química y nutricional. En línea Internet. Abril 2009. Accesible en <http://www.imarpe.pe/paita/especies/invertebrados/pota/pota.htm>
5. Chong, J., Oyarzún, C., Galleguillos, R., Tarifeño, E., Sepúlveda, R. y Ibáñez, C. (2005). *Parámetros biológico-pesquero de la jibia, Dosidicus Gigas, frente a la costa de Chile central (29° S – 40° S) durante 1993 – 1994*. 2° ed. Chile: Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas.
6. Martínez-Aguilar, S., Morales-Bojórquez, E., Díaz-Uribe, J. G., Suárez-Higuera, M. C. y Hernández-Herrera, A. (2004). *La Pesquería del Calamar Gigante (Dosidicus gigas) en el Golfo de California. Recomendaciones de Investigación y Tácticas de Regulación*. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. 77 p.
7. Bazzino, G., Salinas Zapata y C., Markaida, U. (2007). “Variabilidad en la estructura poblacional del calamar gigante (*Dosidicus Gigas*) en Santa Rosalía, región central del golfo de California”. *Ciencias Marinas*, junio, año/vol.33, número 002: 173 – 186.
8. Dr. Icochea Salas, Luis Alfredo. (2006). “La pota y el pescador artesanal”. Federación de Integración y Unificación de los Pescadores Artesanales del Perú. Lima, 14 de septiembre de 2006.

9. Valenzuela Chamorro, Cynthia Lourdes (2006). *Obtención de quitosano de pota (Dosidicus gigas) empleando alta dosis de radiación gamma*. Tesis de título. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
10. PRODUMAR. Productos. En línea Internet. enero 2010. Accesible en <http://www.produmar.com/productos.php>
11. Sistema Electrónico de Adquisiciones y Contrataciones del Estado (SEACE). Informe Técnico. En línea Internet. febrero 2010. Accesible en <http://www.seace.gob.pe/documentos/FichaSubInv/18991230132485radBAFAC.doc>
12. Perú 2021. ¿Qué es un Efluente?. En línea Internet. Julio 2009. Accesible en http://www.peru2021.org/index.php?option=com_content&task=view&id=57&Itemid=25
13. Aguamarket. Efluente. En línea Internet. Julio 2009. Accesible en <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=864&termino=Efluente>
14. Hipertextos del Área de biología. Tratamiento de efluentes. En línea Internet. Julio 2009. Accesible en http://www.biologia.edu.ar/microind/pagina_nueva_1.htm
15. Mejía Garcés, Lorena del Socorro. (2001). *Estudio de efluentes de la industria pesquera desarrollada en la Bahía de Paita*. Tesis de título. Piura: Universidad de Piura.
16. Diccionario Ecológico. -A-. En línea Internet. Agosto 2009. Accesible en http://www.peruecologico.com.pe/glosario_a.htm
17. Glosario.net. Glosario.término, agua de cola. En línea Internet. Agosto 2009. Accesible en <http://ciencia.glosario.net/medio-ambiente-acuatico/agua-de-cola-10233.html>
18. Red alimentaria. La revista, categoría: tecnología. En línea Internet. Septiembre 2009. Accesible en http://americarne.com.ar/revista/notas.php?id_articulo=928&tipo=detalles&titulo=PROCESO%20DE%20AGUAS%20DE%20COLA%20EN%20LA%20INDUSTRIA%20DE%20HARINA%20DE%20PESCADO
19. León Villavicencio, William Ricardo. *Evaluación de los sistemas de tratamiento y disposición final de efluentes de la industria pesquera en la bahía de Paita, Piura – Perú*. Tesis (Magíster en Ingeniería Ambiental). Piura: Universidad Nacional de Piura, 2006. pp 82.
20. Hanna Instruments. Demanda Bioquímica de Oxígeno y la relación con la DQO. En línea Internet. Septiembre 2009. Accesible en <http://www.hannachile.com/noticias-articulos-y-consejos/consejo-del-mes/181-bioqu>
21. Jiménez Forero, María. *Aplicación de un sistema de gestión ambiental en una planta harinera de pescado en la bahía de Paita*. Tesis (Magíster en Ingeniería Ambiental). Piura: Universidad Nacional de Piura, 2002. pp 142.

22. Wikipedia. Demanda biológica de oxígeno. En línea Internet. Septiembre 2009. Accesible en http://es.wikipedia.org/wiki/Demanda_biol%C3%B3gica_de_ox%C3%ADgeno
23. Wikipedia. Demanda química de oxígeno. En línea Internet. Septiembre 2009. Accesible en http://es.wikipedia.org/wiki/Demanda_qu%C3%ADmica_de_ox%C3%ADgeno
24. Ambientun. Demanda de oxígeno y materia orgánica. En línea Internet. Septiembre 2009. Accesible en http://www.ambientum.com/enciclopedia/aguas/2.01.16.16_1r.html
25. Aguamarket. Demanda química de oxígeno. En línea Internet. Septiembre 2009. Accesible en <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=738>
26. Aprueban protocolo de monitoreo de efluentes de la industria pesquera de consumo humano indirecto. Resolución Ministerial N° 721-97-PE. Lima, Perú: Diario Oficial El Peruano; 1997. (Nov. 14, 1997).
27. Aguamarket. Sólido, sólidos totales. En línea Internet. Septiembre 2009. Accesible en <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=2082&termino=S%F3lidos>
28. Catarina. Determinación de sólidos suspendidos totales, volátiles y fijos, Introducción. En línea Internet. Octubre 2009. Accesible en http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/morales_r_pm/apendiceE.pdf
29. Observatorio ambiental de Bogotá. Carga de sólidos suspendidos totales aportados al río Bogotá, descripción. En línea Internet. Octubre 2009. Accesible en <http://oab.ambientebogota.gov.co/index.shtml?s=l&id=138&v=1>
30. Isla, M., Luengo, E. y Pió baño, N. (2008). *Determinación del contenido de Sólidos Suspendidos Totales y de Sólidos Suspendidos Volátiles de un efluente líquido*. Argentina: Universidad Nacional del Litoral. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas.
31. Atenea. Capítulo 19: Mediciones del fósforo, aspectos teóricos. En línea Internet. Octubre 2009. Accesible en http://atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap19.pdf
32. Semarnat. Análisis de aguas – Determinación del fósforo total en aguas naturales, residuales, residuales tratadas – Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-029-1981), Introducción. En línea Internet. Octubre 2009. Accesible en <http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Normas%20Mexicanas%20vigentes/NMX-AA-029-SCFI-2001.pdf>
33. Siss. Aguas residuales – Métodos de análisis – Parte15: Determinación del fósforo total, Principios. En línea Internet. Octubre 2009. Accesible en http://www.siss.cl/articles-5853_NCh231315.pdf

34. Infojardín. Nitrógeno Total. En línea Internet. Octubre 2009. Accesible en <http://www.infojardin.net/glosario/nicotina/nitrogeno-total.htm>
35. Wikipedia. Nitrógeno total Kjeldahl. En línea Internet. Octubre 2009. Accesible en http://es.wikipedia.org/wiki/Nitr%C3%B3geno_total_Kjeldahl
36. Calidad microbiológica. Coliformes totales. En línea Internet. Octubre 2009. Accesible en http://www.calidadmicrobiologica.com/index.php?option=com_content&task=view&id=6&Itemid=19
37. Wikipedia. Coliformes. En línea Internet. Octubre 2009. Accesible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Coliforme>
38. Díaz Delgado, C., Fall, C., Quentin, E., Jiménez Moleón, M., Esteller, A., Garrido Hoyos, S., López Vásquez, C. y García Pulido, D. (2003). *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. 1º ed. México: Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua (RIPDA-CYTED) y Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México (CIRA-UAEM). cap. 20.
39. Wikipedia. pH. En línea Internet. Octubre 2009. Accesible en <http://es.wikipedia.org/wiki/PH>
40. Wikipedia. Categoría: Aceites y grasas. En línea Internet. Octubre 2009. Accesible en http://es.wikipedia.org/wiki/Categor%C3%ADa:Aceites_y_grasas
41. Monografías.com. Grasas, aceites y jabones. En línea Internet. Octubre 2009. Accesible en <http://www.monografias.com/trabajos/grasas/grasas.shtml>
42. Wikipedia. Temperatura. En línea Internet. Octubre 2009. Accesible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura>
43. IPAC. Qué es la temperatura?. En línea Internet. Octubre 2009. Accesible en http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/thermal/temperature_sp_06sep01.html
44. Fuentes Córdova, Telesforo Segundo. *Evaluación ambiental del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante las lagunas de estabilización en la ciudad de Paita*. Tesis (Magíster en Ingeniería Ambiental). Piura: Universidad Nacional de Piura, 2006. pp 202.
45. Wikipedia. Tratamientos de aguas residuales. En línea Internet. Noviembre 2009. Accesible en http://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas_residuales
46. Cátedra, Apuntes. Aguas residuales. En línea Internet. Noviembre 2009. Accesible en http://193.146.36.56/catedra/catedra/apuntes/PDFs/ima_aguas.pdf
47. Campos, J., Carrera, J., Chamy, R., Jeison, D., Oyanedel, V., Poirrier, P., Roca, E., Ruiz, G., Szantó y M., Zúñiga, M. (2003). *Avances en Biotecnología ambiental:*

Tratamientos de residuos sólidos y líquidos. 2º ed. Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

48. Wikipedia. Aguas negras, Etapas del tratamiento del agua residual. En línea Internet. Noviembre 2009. Accesible en http://es.wikipedia.org/wiki/Aguas_residuales
49. Escuela Internacional de Ingeniería del Agua de Andalucía. Pretratamientos. En línea Internet. Noviembre 2009. Accesible en <http://prueba2.aguapedia.org/master/formacion/edar/temario/pretratam/pretratamiento.htm>
50. Miliarium. Desbaste, descripción. En línea Internet. Noviembre 2009. Accesible en <http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Aguas/Desbaste.htm>
51. El rincón del vago. Depuración de aguas residuales urbanas. En línea Internet. Noviembre 2009. Accesible en <http://html.rincondelvago.com/depuracion-de-aguas-residuales-urbanas.html>
52. Dirección Nacional de Servicios Académicos Virtuales. Capítulo 7: Procesos de tratamiento del agua. En línea Internet. Noviembre 2009. Accesible en [http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080004/contenido/Capitulo_8/Pages/Tratamiento_aguas\(a\).htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080004/contenido/Capitulo_8/Pages/Tratamiento_aguas(a).htm)
53. Wikilibros. Ingeniería de aguas residuales: Pretratamiento. En línea Internet. Noviembre 2009. Accesible en http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento
54. Barrenechea, A., Aurazo, M., De Vargas, L. y Maldonado, V. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de filtración rápida, Manual I: Teoría-Tomo I*. 1º ed. Lima: CEPIS/OPS. Cap. 4, 6, 7, 8 y 9.
55. Wikipedia. Sedimentación. En línea Internet. Noviembre 2009. Accesible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Sedimentaci%C3%B3n>
56. Fernández-Alba, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S. y Sanz, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. 2º ed. Madrid: Dirección General de Universidades e Investigación.
57. Pérez Farrás, Luis E (2005). Teoría de la sedimentación, conceptos generales. En línea Internet. Noviembre 2009. Accesible en <http://escuelas.fi.uba.ar/iis/Sedimentacion.pdf>
58. ENOHSA-Ente nacional de obras hídricas de saneamiento. Capítulo 7: Floculación. En línea Internet. Noviembre 2009. Accesible en http://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/images/stories/frbb/materias/ingenieria_sanitaria/ENOHSA%20Floculacion.pdf

59. Wikipedia. Floculación. En línea Internet. Noviembre 2009. Accesible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Floculaci%C3%B3n>
60. Alipso. Fundamentos del proceso de flotación. En línea Internet. Noviembre 2009. Accesible en <http://www.alipso.com/monografias/flotacion/>
61. Monografías. Operación unitaria filtración, definición. En línea Internet. Noviembre 2009. Accesible en <http://www.monografias.com/trabajos55/operacion-filtracion/operacion-filtracion.shtml>
62. Nodal Becerra, Elida (2000). “Procesos biológicos aplicados al tratamiento de agua residual”. Ingeniería hidráulica ambiental 4: 52- 56.
63. Docstbc. Filtros percoladores. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en <http://www.docstoc.com/docs/9472495/FILTROS-PERCOLADORES>
64. Texas A&M System. Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87092/pdf_1528.pdf?sequence=1
65. Monografías. Tratamiento secundario de aguas, filtros percoladores. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en <http://www.monografias.com/trabajos10/tratamie/tratamie.shtml#PERCOLA>
66. Wikipedia. Depuración biológica por fangos activos. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en http://es.wikipedia.org/wiki/Depuraci%C3%B3n_biol%C3%B3gica_por_fangos_activos
67. Biblioteca. Capítulo IV: Lagunas de estabilización. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en <http://www.biblioteca.uson.mx/digital/tesis/docs/19117/Capitulo4.pdf>
68. IRC. Lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales. Diciembre 2009. Accesible en <http://www.es.irc.nl/page/26728>
69. Estructplan online. Lagunas de estabilización, definiciones. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en <http://www.estructplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=742>
70. Cotragua S.L. Biodiscos, especificación técnica biodiscos. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en <http://www.cotragua-sl.es/Equipos/equipos/biodiscos/biodiscos.htm>
71. Ecotec. Presentación de los módulos de membrana bio-cel. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en http://www.ecotec.es/sp/presentacion_BIO_CEL.pdf

72. Yacutec. Biorreactor de membranas (MBR). En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en http://www.yacutec.com/tecnologiasdepuracion/tecnologiasdepuracion_biorreactor-de-membrana.asp
73. Dirección Nacional de medio ambiente (DINAMA). Digestión aerobia. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en http://www.mvotma.gub.uy/dinama/index.php?option=com_glossary&Itemid=120&task=list&glossid=53&letter=All&page=4
74. Depurar Ltda. Digestión aerobia y digestión anaerobia. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en http://www.depurarltda.com/index.php?option=com_content&task=view&id=66&Itemid=13
75. UCLM. Digestión aerobia. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema6.pdf
76. CEPIS. Digestión aeróbica. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan2/05862/05862-15.pdf>
77. Yazmín Lucero Cobos Becerra. Evaluación de la producción de biogás a partir de vinazas en un reactor de lecho expandido. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en <http://documentos.aidis.cl/Trabajos%20Poster/Tema%20IV%20%20Aguas%20Residuales%20Industriales/IV-Cobos-Colombia-1.doc>
78. Aqua. Tratamiento terciario. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en http://www.mps-group.nl/es/aqua/soluciones/tratamiento_terciario/
79. Sagan-gea. Tratamiento 1º, 2º y 3º. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/25agua.html
80. Lenntech. Adsorción con carbón activo. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en <http://www.lenntech.es/adsorcion-carbon-activado.htm>
81. Excel water Technologies, inc. Carbón activado (adsorción). En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en http://www.excelwater.com/spa/b2c/water_tech_10.php
82. Lenntech. ¿Qué es ósmosis inversa?. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en <http://www.lenntech.es/biblioteca/osmosis-inversa/que-es-osmosis-inversa.htm>
83. Potabilización del agua de mar. Ósmosis inversa. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en http://potabilizacion_mar.pe.tripod.com/aguademar/id10.html
84. Inner Healers. Ósmosis inversa. En línea Internet. Diciembre 2009. Accesible en <http://innerhealersblog.lamula.pe/2010/03/04/osmosis-inversa/>

85. Lenntech. Turbidez. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://www.lenntech.es/turbidez.htm>
86. Aznar Jiménez, Antonio. Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de aguas. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
87. Lenntech. Micro y ultrafiltración. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://www.lenntech.es/micro-y-ultra-filtracion.htm>
88. GEA filtration. Osmosis inversa, Nano, ultra y microfiltración. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://www.geafiltration.com/Espanol/tecnologia/filtracion-por-membrana.htm>
89. Panta Rei. La microfiltración. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://www.pantareiwater.com/default.asp?content=3,200,198,0,0,Microfiltrac%F3n,00.html>
90. Acsmedioambiente. Nanofiltración. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://www.acsmedioambiente.com/equipos/nanofiltracion.htm>
91. Aqua purificación systems. Resinas de intercambio iónico. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://www.aquapurificacion.com/resinas-de-intercambio-ionico.htm>
92. Sistemas técnicos de agua. Luz ultravioleta. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://www.tamibar.com/id16.html>
93. Hidritec. Desinfección con ozono. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en http://www.hidritec.com/doc-desinfeccion_ozono.htm
94. Doc stbc. Tratamiento de aguas residuales 2. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://www.docstoc.com/docs/22268017/TRATAMIENTO-DE-AGUAS-RESIDUALES-2>
95. Analiza calidad asesores. Tratamiento de aguas residuales. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://www.analizacalidad.com/aguas.pdf>
96. Álvarez, J., Caneta, L. y Moyano, C. Universidad del Nordeste, Facultad de Ingeniería, Cátedra: Máquinas térmicas II, Biomasa y biogás. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://ing.unne.edu.ar/pub/biomasa.pdf>
97. Orejuela Neira, Mary Ann. *Utilización y evaluación a nivel de laboratorio de los residuos de una planta de harina y conservas de pescado como materia prima en el proceso de digestión anaeróbica*. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Industrial). Piura: Universidad de Piura, 1994. pp 219.

98. Aparcana, S. y Jansen, A. Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso “Fermentación anaeróbica” para producción de biogás. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en http://www.german-profec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf
99. Paz, A. y Cristóbal, Se. Características físico químicas del biogás en los biodigestores que forman parte del proyecto piloto, Biogás. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en www.solucionespracticas.org.pe/td/pdf/Biogas.ppt
100. Ministerio de agricultura y ganadería. Sistemas de producción agropecuaria conservacionista. Biodigestor conservacionista. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/biodigestor1.pdf
101. Wikipedia. Óxido de carbono (IV). En línea Internet. Enero 2010. Accesible en [http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido_de_carbono_\(IV\)](http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido_de_carbono_(IV))
102. Tox Town. Dióxido de carbono. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://toxtown.nlm.nih.gov/espanol/chemicals.php?id=45>
103. Textos científicos. Biogás, composición y características. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas>
104. Martí, Nuria (2006). *Phosphorus precipitation in anaerobic digestion process*. 3º ed. Florida: Boca Raton.
105. Monografías. Biomasa: Alternativa sustentable para la producción de biogás. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://www.monografias.com/trabajos48/biomasa/biomasa.shtml>
106. Instituto de investigaciones porcinas. Una revisión corta de aspectos microbiológicos y funcionales de las plantas de biogás para el tratamiento de residuales, microbiología y bioquímica de la producción de biogás. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpn/rev61/rcppart1.htm>
107. Soluciones prácticas ITDG. Ficha técnica: conceptos de la energía de la biomasa. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://www.itdg.org.pe/fichastecnicas/pdf/FichaTecnica15-Conceptos%20de%20la%20energia%20de%20la%20biomasa.pdf>
108. Wikipedia. Beta oxidación. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en http://es.wikipedia.org/wiki/Beta_oxidaci%C3%B3n
109. Wikipedia. Coenzima M. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en http://es.wikipedia.org/wiki/Coenzima_M

110. Mateo, M., Verástegui, J. y Ascue, J. (1984). *Memorias del primer curso – Seminario Nacional de capacitación en biogás*. 1° ed. Lima: ITINTEC.
111. Rodríguez, J. Tratamiento anaerobio de aguas residuales. En línea Internet. Enero 2010. Accesible en <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>
112. Watervision. H2Bio ®, La digestión es un proceso microbiológico. En línea Internet. Febrero 2010. Accesible en <http://magicmoon.typepad.com/watervision/files/BIOAguas.doc>
113. Sanz, J. Master Microbiología: Tratamiento biológico aguas residuales, 6. Digestión anaerobia I. Bioquímica y microbiología. En línea Internet. Febrero 2010. Accesible en <http://www.cbm.uam.es/jlsanz/docencia/Master/Documentos/Master%20T-6.pdf>
114. Slideshare. Digestión anaerobia. En línea Internet. Febrero 2010. Accesible en <http://www.slideshare.net/guestf5f616/digestion-anaerobia>
115. Guevara, A. (1996). *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales*. 1° ed. Lima: CEPIS.
116. Sanz, J. Master Microbiología: Tratamiento biológico aguas residuales, 6. Digestión anaerobia II. Factores ambientales e inhibición. En línea Internet. Febrero 2010. Accesible en <http://www.cbm.uam.es/jlsanz/docencia/master/Documentos/Master%20T-7.pdf>
117. Poggio, D. (2007). Diseño y construcción de dos digestores anaeróbicos en el altiplano andino peruano. Tesis de título. Barcelona. Universidad Politécnica de Catalunya.
118. Zegers, F. Microbiología, Factores ambientales: Nutrientes. En línea Internet. Febrero 2010. Accesible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/000866/000866a.pdf>
119. Textos científicos. Biogás, Factores que afectan la producción de gas. En línea Internet. Febrero 2010. Accesible en <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>
120. Wikilibros. Ingeniería de aguas residuales, diseño de procesos en digestión anaeróbica. En línea Internet. Febrero 2010. Accesible en http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Dise%C3%B1o_de_procesos_en_digesti%C3%B3n_anaerobia
121. Jackson, M. (1982). *Análisis químico de suelos*. 4° ed. Barcelona: Omega S.A.
122. Infocarne. Digestión en la vaca lechera, los cuatro estómagos. En línea Internet. Febrero 2010. Accesible en http://www.infocarne.com/bovino/digestion_vaca.asp#4.%20LAS%20BACTERIA%20DEL%20RUMEN

123. Euroresidentes. Diccionario de gastronomía, cocina y alimentación, levadura. En línea Internet. Febrero 2010. Accesible en http://www.euroresidentes.com/Alimentos/diccionario_gastronomico/levadura.htm
124. Sólo ciencia. Las vacas, prometedoras como plantas de energía. En línea Internet. Febrero 2010. Accesible en <http://www.solociencia.com/biologia/06020708.htm>
125. De Laval. Fisiología de la vaca. En línea Internet. Febrero 2010. Accesible en http://www.delaval.com.co/Dairy_Knowledge/EfficientFeeding/Basic_Physiology.htm
126. Novedades Científicas. El exceso de nitrógeno en la tierra mata a especies vegetales. En línea Internet. Marzo 2010. Accesible en <http://www.novaciencia.com/2008/02/07/el-exceso-de-nitrogeno-en-la-tierra-mata-a-especies-vegetales/>
127. Colombia sin hambre. Los minerales y la importancia en la agricultura orgánica. En línea Internet. Marzo 2010. Accesible en <http://colombiasinhambre.com/imprimir.php?idb=48>
128. El rincón del vago. Aluminio. En línea Internet. Marzo 2010. Accesible en http://html.rincondelvago.com/aluminio_1.html
129. Minerales del recreo S.A. El manganeso. En línea Internet. Marzo 2010. Accesible en <http://www.asufrar.com.ar/pdf/magnesio.pdf>
130. Bitox.com. Los estudios de CANNA: Carencia de magnesio. En línea Internet. Marzo 2010. Accesible en <http://portal.bitox.com/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=32>
131. Botanical-online. Taninos, características de los taninos. En línea Internet. Marzo 2010. Accesible en <http://www.botanical-online.com/medicinaletaninos.htm>
132. Alimentación sana, en relación con la salud. El plátano o banana. En línea Internet. Abril 2010. Accesible en <http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/Chef/banana.htm>
133. Eroski Consumer. Compota de manzanas y pasas: un remedio casero, Sección: Prácticos y eficaces. En línea Internet. Abril 2010. Accesible en http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/aprender_a_comer_bien/adulto_y_vejez/2005/06/23/143184.php
134. hierbitas. Taninos. En línea Internet. Abril 2010. Accesible en <http://www.hierbitas.com/principiosactivos/Taninos.htm>
135. Eroski Consumer. Efectos beneficiosos de los taninos. En línea Internet. Abril 2010. Accesible en http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/aprender_a_comer_bien/curiosidades/2009/08/17/99215.php

136. Soluciones prácticas ITDG. Planta de biogás. En línea Internet. Abril 2010. Accesible en <http://www.itdg.org.pe/fichastecnicas/pdf/FichaTecnica31-Planta%20de%20biogas.pdf>
137. Preseco. Plantas industriales de biogás. En línea Internet. Abril 2010. Accesible en <http://www.preseco.eu/file.php?fid=63>
138. MT-ENERTERRA. Tecnología del biogás. En línea Internet. Abril 2010. Accesible en http://www.mt-energie.com/downloads/flyer-folder/image_spanien.pdf
139. Agua latinoamérica. Desulfuración biológica: Una alternativa para el tratamiento de emisiones de gases a la atmósfera. En línea Internet. Abril 2010. Accesible en <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/0503%20Nivel%203.pdf>
140. Betzabet Morero a*, Eduardo Gropelli b, Enrique A. Campanella c. Biogás obtenido de la digestión anaeróbica de diferentes residuos orgánicos: revisión de las principales tecnologías de purificación. En línea Internet. Abril 2010. Accesible en <http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A2-026.pdf>
141. Envitec Biogás. Preparación del digestato. En línea Internet. Abril 2010. Accesible en <http://www.envitec-biogas.de/international/construccion-de-instalaciones/preparacion-del-digestato.html>
142. Terra VivaTec S.L. Plantas de biogás. En línea Internet. Abril 2010. Accesible en http://www.terravivatec.com/downloads/INFO_PLANTAS_BIOGAS_ESP.pdf
143. Miliarium.com. Cogeneración. En línea Internet. Abril 2010. Accesible en http://www.miliarium.com/monografias/energia/Eficiencia_Energetica_Renovables/Cogeneracion.htm
144. Inerco. Líneas de mejora en plantas de cogeneración. En línea Internet. Abril 2010. Accesible en http://www.inerco.com/ficheros/comun/articulos/inercoart_082.pdf
145. Siura C., Saray (Departamento de horticultura, Universidad Agraria La Molina). Curso de Agroecología. Uso de abonos orgánicos en producción de hortalizas. En línea Internet. Abril 2010. Accesible en <http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/agronomia/horticultura1/Html/agroecologiaaunte/AGROECOL.%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf>
146. Aronés, Percy. (2007). *Manual para la producción de plantas aromáticas y medicinales*. 1º ed. Ayacucho: Cooperación Técnica Belga – CTB.
147. Fundación Hábitat. Biodigestores: Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. En línea Internet. Mayo 2010. Accesible en <http://imagenes.tupatrocinio.com/img-bbdd/documentos/biodigestores.doc>

148. Cedecap. Biodigestor de polietileno: Construcción y diseño, ventajas del uso de biodigestores. En línea Internet. Mayo 2010. Accesible en http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/8bib_arch.pdf
149. Wikipedia. Biogás, Biodigestor. En línea Internet. Mayo 2010. Accesible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Biog%C3%A1s>
150. Guardado, J. Tecnología del biogás. En línea Internet. Mayo 2010. Accesible en <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia34/HTML/articulo03.htm>
151. Eggeling, Gerhard;... [et al.]. *Instrucciones para la construcción de una planta de biogás*. Bremen: BORDA Biogasteam. 64 pp.
152. Botero Botero, Raúl; Preston, Thomas. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. En línea Internet. Mayo 2010. Accesible en <http://www.utaoundation.org/publications/botero&preston.pdf>
153. Marín Galvín, Rafael. *Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas*. Madrid: Ediciones Días de Santos, S.A., 2003. 291 pp.
154. UNAV. Análisis de aguas potables y residuales. En línea Internet. Mayo 2010. Accesible en <http://www.google.com.pe/url?sa=t&source=web&cd=5&ved=0CCQQFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.unav.es%2Fquimicayedafologia%2Fcsanta%2Fa1%2Faguas.pdf&rct=j&q=residuo+seco&ei=Se0iTL-TLcP98Ab9hInCBQ&usg=AFQjCNFYIkzrPK5pgFx3liMfLhuo-tT2fQ>
155. Wisemann Klein. Acerca de la pureza del agua (TDS, Residuo seco). En línea Internet. Mayo 2010. Accesible en <http://www.herramientas.net/download/aquatester-calidad-agua.pdf>
156. Uhu. Agresividad de un agua. En línea Internet. Mayo 2010. Accesible en http://www.uhu.es/inmaculada_giraldez/protocolos_practicas/agresividad_del_agua.PDF
157. Guillén Miró, M.C.; Mateo Asensio, M.; Navarro Gómez, J. “Análisis de aguas de la vega media del río Segura”. Real Sociedad Española de Química. n.º 2. Barcelona (ESP); Junio 2006, p. 31 – 35.
158. Instituto cristiano de promoción campesina (ICOPROC). Materia orgánica. En línea Internet. Mayo 2010. Accesible en http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/200671991737_Materia%20organica%20y%20lombricultura.pdf
159. Perú ecológico. Materia orgánica del suelo. En línea Internet. Mayo 2010. Accesible en http://www.peruecologico.com.pe/lib_c18_t04.htm

160. Wikipedia. Compuesto Orgánico. En línea Internet, Febrero 2011. Accesible en http://es.wikipedia.org/wiki/Compuesto_org%C3%A1nico
161. Terralia. Origen de la materia orgánica. En línea Internet, Febrero 2011. Accesible en <http://www.terralia.com/revista8/pagina16.htm>
162. Glosario de términos ambientales. Nitrógeno amoniacal. En línea Internet. Mayo 2010. Accesible en http://www.jmarcano.com/glosario/glosario_n.html
163. Mirat fertilizantes. Nutrición vegetal. En línea Internet. Mayo 2010. Accesible en <http://www.mirat.net/fertilizantes/nutricion/macronutrientes/nitrogeno.htm>
164. Soluciones prácticas ITDG. Ficha Técnica 8: Biodigestores. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en <http://www.itdg.org.pe/fichastecnicas/pdf/FichaTecnica8-Biodigestores.pdf>
165. Botanical. La sal en las plantas. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en <http://www.botanical-online.com/florcuidarplantassal.htm>
166. Wikipedia. Nutrición vegetal. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en http://es.wikipedia.org/wiki/Nutrici%C3%B3n_vegetal
167. Agroestrategias consultores. Nutrición mineral de las plantas. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en <http://www.agroestrategias.com/pdf/Nutricion%20-%20Nutricion%20Mineral%20de%20las%20Plantas.pdf>
168. LibroBotánicaOnLine. Nutrición mineral de las plantas. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/#arriba>
169. Universidad Autónoma de Madrid. Macronutrientes. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en <http://www.uam.es/docencia/museovir/web/Museovirtual/fundamentos/nutricion%20mineral/macronutrientes.htm>
170. Universidad Autónoma de Madrid. Micronutrientes. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en <http://www.uam.es/docencia/museovir/web/Museovirtual/fundamentos/nutricion%20mineral/micronutrientes.htm>
171. Agronegocios Perú. Fertilidad de los suelos. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en <http://www.agronegociosperu.org/downloads/FERTILIDAD%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf>
172. Web del profesor. Nutrición mineral. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en <http://webdelprofesor.ula.ve/forestal/rjaimez/DOCENCIA/Ecofisiologia/nutmineral.pdf>

173. Wikipedia. *Enterobacteriaceae*, Géneros. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Enterobacteriaceae>
174. Jardinería digital. Cultivo hidropónico. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en <http://www.jardineriadigital.com/capacitacion/cultivo-hidroponico.php>
175. Wikipedia. Clorosis. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Clorosis>
176. Wikipedia. Necrosis. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Necrosis>
177. Wikipedia. Vía de 4 carbonos. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en http://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%ADa_de_4_carbonos
178. Biología.com. Fotosíntesis CAM. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en <http://www.biologia.org/?pid=5000&page=0&id=32>
179. Biocanna. NPK. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en http://www.biocanna.info/site/about_npk.php?langmanual=es
180. SEAPAL. ¿Cómo funciona una planta de tratamiento?. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en <http://www.sepal.gob.mx/funcionatratamiento.htm>
181. CAPAC. Sedimentación primaria. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en http://www.capac.org/web/Portals/0/biblioteca_virtual/doc003/CAPITULO11.pdf
182. CEPIS. Sedimentación. En línea Internet. Junio 2010. Accesible en <http://www.cepis.org.pe/bvsacd/scan/020867/020867-15.pdf>
183. Soluciones ambientales. En línea Internet. Julio 2010. Accesible en http://www.enziclean.com/articulos/lagunas_de_oxidacion_o_estabilizacion.html
184. Perú Pesquero. ¿Pozas de decantación limpieza al Mar o contaminación?. En línea Internet. Julio 2010. Accesible en <http://www.perupesquero.com/noticias.php?id=142>
185. Wikipedia. Decantación. En línea Internet. Julio 2010. Accesible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Decantaci%C3%B3n>
186. Catarina. Capítulo 5: Tren de potabilización. En línea Internet. Julio 2010. Accesible en http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/deschamps_g_e/capitulo5.pdf
187. Minambiente – Colombia. Manejo de residuos líquidos. En línea Internet. Julio 2010. Accesible en http://www.minambiente.gov.co/documentos/GUIA_~1F.DOC

188. Solomantenimiento. Mantenimiento de pozos sépticos. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en http://www.solomantenimiento.com/m_pozos_septicos.htm
189. Tezén Villegas, Pedro T. *Sistema de tratamiento del agua de bombeo de la descarga de pescado y sanguaza en la empresa pesquera Conservera Garrido S.A.* Tesis (Licenciatura en Ingeniería Pesquera). Piura: Universidad Nacional de Piura, 1998.
190. NOVARSA. Sistema de flotación por aire inducido. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en <http://www.novarsa.com/esp/productos.php?id=3>
191. Ecopreneur. Unidad de flotación por aire disuelto (DAF). En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en <http://www.ecopreneur.com.ar/es/unidad-de-flotacion-por-aire-disuelto.php>
192. Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. Clarificación de agua por flotación con aire disuelto – Aplicaciones desarrolladas en Uruguay y Brasil. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexico/02273e20.pdf>
193. Legal Office Faolex. Guía para la actualización del Plan de Manejo Ambiental para que los Titulares de los Establecimientos Industriales Pesquero alcancen el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) aprobados por Decreto Supremo N° 010-2008-PRODUCE. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en <http://faolex.fao.org/docs/pdf/per90180anx.pdf>
194. Alva Rondón, José Luis. (2009). *Calidad de recepción de materia prima y aumento de eficiencia en recuperación de aceite a partir del agua de bombeo en una planta pesquera.* Tesis de título. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
195. Flottweg. El Tricanter Flottweg para la separación de tres fases. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en <http://www.flottweg.de/spain/productos/tricanter/tricanter.html>
196. Scribd. Pesquera Diamante S.A. Procesos Industriales I. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en <http://www.scribd.com/doc/17546605/04-Pesqueria-Diamante-1>
197. Centurión, I., Ganoza, E., Torres, M. (2007). *Propuesta de mejora en el control de efluentes de una planta pesquera.* Tesis (Magíster en Operaciones y Logística) de título. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
198. Navarro Zamorano, Salvador. El Yogur. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en <http://www.revistaalcorac.es/tsfc2007/MNNOVIEMBRE1.htm>
199. Revista Agromensajes de la Facultad. Los estiércoles y su uso como enmiendas orgánicas. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/16/7AM16.htm>

200. Martí Herrero, Jaime. Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares, Digestión Anaerobia. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/10bib_arch.pdf
201. Wikipedia. Compost. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Compost>
202. Bokashi: Precompostaje. Lactobacilos: Cómo producirlos (Costa Rica), Bacterias benéficas: Lactobacillus. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en <http://bocashi.wordpress.com/2010/09/14/lactobacilos-bacterias-beneficas-costa-rica/>
203. Monografías. Lactobacilos, Lactobacilos. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en <http://www.monografias.com/trabajos15/lactobacilos/lactobacilos.shtml>
204. Laboratorios Dr. Obregón. Microorganismos Descomponedores, Modo de acción, aplicación. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en <http://doctor-obregon.com/Descomponedores.aspx>
205. Visionlearning. El ciclo del nitrógeno. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=98&l=s
206. IMPEXCO PERÚ LTDA. IMPEXCO PERÚ LTDA – Harina de pota, Características Físico-químicas. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en <http://www.impexco.com/harina2.html>
207. MEJUTO. Túnel IQF. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en http://www.mejuto.es/index.php?option=com_content&view=article&id=164&Itemid=182&lang=es
208. IBT S.A.C. Procesos, Elaboración de un diagrama de flujo. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en http://www.ibtsac.com/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=49
209. HAYDUK. Harina de pescado, Procesos en planta de harina. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en http://www.hayduk.com.pe/harina_proce.htm
210. issuu. Industria de la pota. En línea Internet. Agosto 2010. Accesible en http://issuu.com/rooneyuni/docs/industria_de_la_pota
211. Lenntech. Metales pesados, Introducción. En línea Internet, Septiembre 2010. Accesible en <http://www.lenntech.es/metales-pesados.htm>
212. Wikipedia. Metal pesado. En línea Internet, Septiembre 2010. Accesible en http://es.wikipedia.org/wiki/Metal_pesado

213. Rebelión. Metales pesados, ambiente y salud. En línea Internet, Septiembre 2010. Accesible en <http://www.rebellion.org/noticia.php?id=8290>
214. Revista Ecosistemas. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas, toxicidad de los metales pesados. En línea Internet, Septiembre 2010. Accesible en <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/488.pdf>
215. Angelfire. Reconocimiento de Proteínas, coagulación de proteínas. En línea Internet, Octubre 2010. Accesible en <http://www.angelfire.com/scifi/anarkimia/Reconocimiento%20de%20Protenas.htm>
216. Arvensis Agro, S.A. Guanafol 11-9-8, Solución de abono NPK con micronutrientes. En línea Internet, Noviembre 2010. Accesible en <http://www.arvensis.com/preprod/uploaded/files/Guanafol%2011-9-8.pdf>
217. Bayer CropScience Chile. Bayfolan, fertilizante foliar líquido. En línea Internet, Noviembre 2010. Accesible en http://www.bayercropscience.cl/upfiles/folletos/a_bayfolan.pdf
218. Nutrientes foliares S.A. Kaofol. En línea Internet, Noviembre 2010. Accesible en <http://www.nufol.es/producto/6/kaofol>
219. Zoberbac S.L. Vital Power Gel 24-8-10+Mg+B (Zoberaminol). En línea Internet, Noviembre 2010. Accesible en http://www.zoberbac.com/fichas_productos/VP_Gel24-8-10_ft_es.pdf
220. Nutrientes foliares S.A. Oli-fol. En línea Internet, Noviembre 2010. Accesible en <http://www.nufol.es/producto/4/oli-fol>
221. Garden Center Ejea. Flower, Abono foliar 750 ml. En línea Internet, Noviembre 2010. Accesible en <http://www.gardencenterejea.com/producto.php/plantas/fitosanitarios/abonos/abono-foliar-750-ml/397>
222. Eroski Consumer. Junio: Un molusco llamado pota, Los moluscos y el colesterol. En línea Internet, Noviembre 2010. Accesible en http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/en_la_cocina/alimentos_de_temporada/2007/06/25/164055.php

ANEXOS

Anexo A

A.1 El reglamento oficial para la disposición y procesamiento artesanal de descartes de pota:

REGLAMENTO PARA LA DISPOSICIÓN Y PROCESAMIENTO ARTESANAL DE
LOS DESCARTES, RECORTES Y RESTOS DE CALAMAR GIGANTE GENERADOS
POR LAS ACTIVIDADES DE SEMIPROCESO EN DESEMBARCADEROS
PESQUEROS ARTESANALES Y DE LA INDUSTRIA DE CONGELADO

TITULO I

ASPECTOS GENERALES

CAPITULO I

OBJETIVO, FINALIDAD Y ALCANCE

Artículo 1º: Son objetivos del presente Reglamento:

- Uniformizar las operaciones del procesamiento de secado artesanal del recurso pota, estableciendo parámetros que se enmarquen en los términos y condiciones señaladas en las normas que le son aplicables.
- Eliminar el uso de leña en la cocción de la materia prima, contribuyendo a la preservación de los bosques secos de la región.
- Promover el desarrollo de una actividad legalmente constituida, con establecimientos productivos debidamente implementados, equipados para obtener un producto de calidad que cumpla con las exigencias sanitarias, ambientales y de los mercados de destino.
- Fomentar la inversión privada, en el aprovechamiento de recortes, descartes y restos de pota provenientes de otras actividades productivas, bajo la forma de productos artesanales deshidratados de pota.

Artículo 2º: La finalidad del presente Reglamento, es precisar las pautas de trabajo, para el desarrollo de la actividad de procesamiento artesanal de deshidratado de pota, de manera que sus distintas fases cumplan con las exigencias para obtener un producto de calidad que se desarrolle en armonía con el medio ambiente y generen empleo.

Artículo 3º: El alcance, es de aplicación para todos los agentes que participan en el desarrollo de la actividad de deshidratado artesanal, desde la etapa de acopio de los recortes, descartes y restos, hasta su comercialización final.

TITULO II

DE LAS AUTORIDADES COMPETENTES Y/O AGENTES PARTICIPANTES

CAPITULO I

DE LA DIRECCIÓN REGIONAL DE LA PRODUCCIÓN PIURA

Artículo 4º: La Dirección Regional de la Producción-Piura, tiene dentro de sus funciones:

- a) Evaluar y proponer a la Alta Dirección del Ministerio de la Producción y del Gobierno Regional Piura, alternativas de política para el desarrollo de los Sectores de Pesca e Industria en la Región, en concordancia con la política general de Gobierno y los Planes de desarrollo sectoriales regionales.
- b) Formular, coordinar, dirigir, ejecutar, regular, supervisar y evaluar la política de promoción sectorial en el ámbito de su competencia de acuerdo con las normas y directivas que emita la Alta Dirección del Ministerio de la Producción y del Gobierno Regional Piura.
- c) Establecer el marco normativo para el desarrollo de las actividades productivas, materia de su competencia dentro del marco de la promoción de inversiones y la economía social de mercado; fiscalizando y supervisando el cumplimiento de la normatividad emitida, vigente sobre la materia.
- d) Proponer políticas y normas de protección del medio ambiente y recursos naturales a nivel regional, supervisando, monitoreando y controlando su explotación y desarrollo sostenible.

Como tal, tiene la responsabilidad de lograr que este tipo de procesamiento de deshidratado artesanal de papa, se desarrolle cumpliendo con las regulaciones establecidas y se evite el procesamiento informal, ilegal, utilizando métodos y procedimientos, vedados por Ley.

CAPITULO II

DE LOS DEMÁS SECTORES GUBERNAMENTALES

Artículo 5º: Tienen competencia en el quehacer de las actividades relacionadas con el procesamiento artesanal del secado de papa:

Municipalidades: Responsables de otorgar los Certificados de Compatibilidad de Uso de los terrenos donde se ubican los establecimientos de procesamiento artesanal, así como la de promover en concordancia con los estamentos competentes, la conformación de micro y pequeña empresa de procesadores artesanales.

Gerencia Regional de Medio Ambiente.- Órgano del Gobierno Regional Piura, encargado de dirigir, proponer, formular, ejecutar, controlar y administrar los planes y políticas de la Región en temas de Medio Ambiente y actuar como agente coordinador, articulando e integrando el quehacer de los responsables involucrados en esta materia.

Instituto Tecnológico Pesquero (SANIPES): Responsable de las funciones de vigilancia, inspección y control sanitario de las actividades pesqueras, en su condición de autoridad sanitaria del país.

Certificadoras de Calidad: Establecimientos autorizados para emitir las certificaciones pertinentes, especificando las características y condiciones de calidad del producto sometido a consideración.

Universidades: Brindan asesoramiento, capacitación e investigación pertinente para que las actividades productivas se realicen utilizando métodos y tecnologías apropiadas

Fiscalía Provincial: Fiscaliza el cumplimiento de la ley y normas en salvaguarda de los intereses del estado y de la población. Garantiza el respeto de los derechos de los intervenidos y avala la determinación que la autoridad sectorial adopte en el momento de la intervención, para la posterior evaluación y toma de decisiones de acuerdo a la normatividad vigente.

Policía Nacional del Perú. Autoridad que brinda seguridad al sector Producción en la ejecución de operativos de las actividades de vigilancia y control. La Policía de Control de Carreteras y otras dependencias policiales verifican si la materia prima (recortes, descartes y restos) o el producto terminado se trasladan con el respectivo Certificado de Procedencia. En caso de intervención, el producto es puesto a disposición de la Dirección Regional de la Producción, con el respectivo parte policial.

CAPITULO III

DE LOS AGENTES PARTICIPANTES

Artículo 6°: Se considera como tales, a todos aquellos que participen en las diferentes etapas de la actividad productiva pesquera, Se rigen por sus propias leyes, pudiendo señalarse en cuanto a su relación con la actividad de procesamiento artesanal de deshidratado de pota, a:

- a. **Los Acopiadores** de materia prima, que con la debida legalidad o autorización adquieren los recortes, descartes y restos de pota en los Desembarcaderos Pesqueros Artesanales y plantas industriales de congelado.
- b. **Los Titulares de las Licencias de Operación** dedicados a la producción artesanal de deshidratado de pota.
- c. **Los Comercializadores** que con respeto a las sujeciones de ley adquieren y venden su producto a terceros tanto en el mercado nacional como internacional.

- d. **Los Centros de destino final** o plantas artesanales.

TITULO III

DE LA ACTIVIDAD DE PROCESAMIENTO ARTESANAL DE DESHIDRATADO DE POTA

CAPITULO I

DEL RECURSO POTA DESTINADO AL PROCESAMIENTO ARTESANAL

Artículo 7º: Es la materia prima constituida por recortes, descartes y restos aptos, provenientes del proceso industrial de congelado o de Infraestructuras pesqueras privadas o públicas donde se realiza las actividades de procesamiento primario (semi proceso), que se destinan para su deshidratado artesanal. El aprovechamiento de este excedente para el destino descrito, contribuye a mejorar la disposición final de los mismos, generando una actividad económica productiva en armonía con el medio ambiente.

Artículo 8º: El transporte desde el punto de acopio, hasta las plantas de procesamiento artesanal autorizadas y su movilización, requiere del uso de un Certificado de Procedencia otorgado por la Dirección Regional de la Producción y/o Oficinas Zonales de la Producción Anexo 1 - aplicable con el propósito de asegurar que el destino del mismo, sea una planta artesanal que cuenta con Licencia de Operación y no los Agentes informales que utilizando métodos vedados para su aprovechamiento, distorsionan totalmente el carácter y sentido de este quehacer productivo.

Artículo 9º: Con el fin de mantener la calidad y evitar el deterioro de los recortes, descartes y restos de pota (subproductos), deberá utilizarse vehículos isotérmicos, cajas o dinos con hielo, debidamente estibados, evitando el deterioro y contaminación de las vías y zonas urbanas con los efluentes y sanguaza presentes durante el trayecto, estando prohibido por consiguiente el traslado en volquetes y camiones.

CAPITULO II

DE LAS PLANTAS DE PROCESAMIENTO

Artículo 10º: Las plantas de procesamiento industrial, debidamente autorizadas ejercen actividades productivas, cumpliendo las normas de sanidad, higiene, seguridad alimentaría, calidad y preservación del medio ambiente, con sujeción a las normas legales y reglamentos pertinentes. Estas de no contar con sistemas propios de tratamientos de residuos y cumpliendo con los procedimientos establecidos, proporcionaran **sólo a plantas artesanales autorizadas de deshidratado de pota**, los recortes, descartes y restos resultantes de su actividad industrial en el rubro congelado (fresco o precocido).

Artículo 11º: Las plantas de procesamiento artesanal difieren del industrial porque sus operaciones son discontinuas y deben ser ubicadas en lugares habilitados por la autoridad municipal y en terrenos comunales donde las municipalidades no son competentes. Deben

contar con abastecimiento de agua y estar libres de riesgo de inundaciones o exposición de un deficiente drenaje de efluentes.

Artículo 12º: Para la instalación y la licencia de operación de un establecimiento pesquero artesanal, se requiere del Certificado de Verificación de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), otorgado por la Dirección Regional de la Producción, además de un cronograma de inversiones de implementación y equipamiento.

Artículo 13º: Las plantas dedicadas al procesamiento artesanal que utilicen los subproductos procedentes de los Desembarcaderos Pesqueros Artesanales y Plantas Industriales, deberán contar con Licencia de Operación vigente, conforme al requerimiento del Texto Único de Procedimientos Administrativos (TUPA) de la Dirección Regional de la Producción (Procedimiento N° 09) y emplearán instalaciones técnicas simples y operaciones discontinuas para la obtención de productos elaborados preservados en condiciones aptas de sanidad y calidad sin alterar las condiciones del medio ambiente y salud humana.

Artículo 14º: Las plantas de procesamiento artesanal de deshidratado de papa, para obtener Licencia de Operación, deben tener como mínimo:

- Cerco perimétrico que garantice seguridad y protección del establecimiento.
- Área de recepción de materia prima
- Sala de cocción empleando gas y/o carbón de piedra
- Área de deshidratado o secado de papa.
- Pasteurización
 - Área de molienda y envasado
 - Área de almacenamiento de producto terminado
 - Sistema de evacuación y tratamiento de efluentes
 - Servicios higiénicos y vestuarios.

Artículo 15º: La capacidad operativa de las plantas de procesamiento pesquero artesanal, así como sus equipos tendrán las siguientes características:

- Capacidad de planta: Máximo de 50 TM/turno/día de materia prima.
- Cocinador estático y/o rotatorio: 5 TM/hora de materia prima, utilizando gas y/o carbón mineral como combustible.
- Prensa mecánica: 3 TM/hora.
- Secado natural artesanal suspendido y/o losa de concreto.
- Molino de martillo.
- Pasteurizador estático artesanal con aire caliente.
- Otros que califique según opinión técnica de la DIREPRO.

Artículo 16º: Las empresas pesqueras artesanales o procesadores que no cuenten con la implementación para la operación adecuada, comprobada al momento de la inspección para el otorgamiento de la Constancia Ambiental de Verificación de Implementación, como paso previo al otorgamiento de la Licencia de Operación, presentarán una carta de compromiso para la culminación de la implementación y equipamiento de la planta.

Artículo 17º: De acuerdo a lo establecido por el Sistema Nacional de Estadística, los procesadores y/o las empresas procesadoras, deben alcanzar el Informe Mensual de sus actividades, conforme a los Formatos existentes (materia prima y producción). Este servirá además como Declaración de Operatividad, para los efectos de renovación de su licencia, si fuese el caso.

CAPITULO III

DEL PRODUCTO

Artículo 18º: El producto autorizado a obtenerse, es pota deshidratada en diversas formas de presentación, recibiendo la denominación según corresponda:

- Pota deshidratada en tabletas.
- Pota deshidratada en hilachas.
- Pota deshidratada en trozos.
- Pota deshidratada martajada.
- Pota deshidratada triturada.
- Pota deshidratada granulada

Artículo 19º: Las características técnicas que identifican al producto son:

- Humedad máxima 12%.
- Contenido de proteínas: igual o mayor de 66%.
- TVN máximo 500 mg/ 100 g.
- Ausencia de salmonella, en 25 g.
- Arena máximo 2%
- Cloruro máximo 5%
- Tamaño de partícula mayor o igual a 2.00 mm y el tamiz deberá retener como máximo el 10% de la muestra.

Artículo 20º: El producto debe cumplir con las normas sanitarias, de higiene y calidad aplicables en el sector, debiendo los titulares de la Licencia de operación tramitar el Certificado de Procedencia de “Productos Artesanales de Deshidratado de Pota” (Anexo 2), ante la DIREPRO y/o OZOPRO, para su traslado y comercialización, facilitando la verificación del buen uso dado a los recortes, descartes restos recepcionados en su establecimiento, así como de la obtención de un producto conforme con las normas y para su exportación ante SANIPES – ITP.

TITULO IV
DE LA FISCALIZACIÓN Y CONTROL

CAPITULO I
DE LAS PROHIBICIONES Y SANCIONES

Artículo 21°: Las acciones que se detallan en el presente artículo son consideradas infracciones y como tales materia pasible de sanción, por cuanto su incumplimiento atenta contra la salubridad, higiene, medio ambiente y la observancia de las normas y reglamentos que rigen su desenvolvimiento (Revisar Reglamento).

Artículo 22°: El importe de las multas impuestas serán depositadas en la Cuenta Corriente del Gobierno Regional Piura.

CAPITULO II
DE LOS ESTAMENTOS RESPONSABLES DEL SEGUIMIENTO, CONTROL Y
SANCIÓN

Artículo 23°: Las Direcciones de Seguimiento, Control y Vigilancia, Extracción y Procesamiento Pesquero, Medio Ambiente y las Oficinas Zonales de la Dirección Regional de la Producción Piura, según su ámbito de jurisdicción, son los encargados de realizar permanentemente las evaluaciones, supervisiones, seguimiento y control que competen a las actividades de procesamiento artesanal, del deshidratado de papa, quienes de acuerdo a las normas, elevarán los Informes de supervisión e Inspección y/o Reporte de Ocurrencia. Trimestralmente deberán elaborar un Informe consolidado de lo actuado en tal periodo de tiempo.

Artículo 24°: Según la naturaleza de la acción, los Órganos antes indicados, solicitarán el apoyo a las autoridades policiales y/o Fiscal Provincial - para en salvaguarda de los derechos de los intervenidos y seguridad personal de los intervinientes, realizar el operativo previsto y/o necesario.

Artículo 25°: La Comisión Regional de Sanciones de la DIREPRO, es el ente encargado de analizar los expedientes existentes y aplicar las acciones sancionadoras contempladas en las normas. Los recursos impugnativos de reconsideración se tramitan ante la misma Comisión y el recurso de apelación, o de revisión – de ser el caso – cumpliendo con el conducto regular, ante el Gobierno Regional.

TITULO V

DE LAS DISPOSICIONES TRANSITORIAS Y FINALES

CAPITULO I

DISPOSICIONES TRANSITORIAS

Artículo 26°: La Dirección de Extracción y Procesamiento Pesquero, Medio Ambiente y la Dirección de Seguimiento y Control, quedan autorizadas para efectuar inspección y evaluación de la real situación de las plantas que cuenten con Licencia de Operación. Aquellas que con una antigüedad no menor a 6 meses, no hayan realizado inversiones significativas en infraestructura y equipamiento verificable, así como no hayan solicitado en dicho lapso de tiempo, Certificado de Procedencia para productos artesanales deshidratados de papa, perderán automáticamente la licencia otorgada.

Artículo 27°: Las Empresas artesanales y/o procesadores que a la vigencia del presente Reglamento estén operando y no cuenten con la correspondiente Licencia de Operación, están obligadas a presentar un Plan de Inversiones y el compromiso de contar en el plazo máximo de 4 meses, con su implementación y equipamiento señalado en los Artículos 14° y 15°, caso contrario tras la verificación correspondiente se caducaran los derechos otorgados.

Artículo 28°: Las empresas artesanales y/o procesadores artesanales que no hayan formalizado su situación ante la DIREPRO, previa notificación tienen 30 días para iniciar su proceso de regularización, estando obligado la DEPP y las OZOPROS involucradas, en brindarles la asistencia y asesoría correspondiente.

CAPITULO II

DISPOSICIÓN FINAL

Artículo 29°: El Reglamento para Disposición y Procesamiento Artesanal de los recortes, descartes y restos de calamar gigante procedentes de las actividades de semi - proceso en desembarcaderos pesqueros artesanales y de la industria del congelado, podrá ser modificado por la Dirección de la Producción de Piura, a través de la emisión de la correspondiente Resolución Directoral pertinente.

A.2 Los artículos de la modificación del reglamento oficial para la disposición y procesamiento artesanal de descartes de pota:

SE RESUELVE:

ARTICULO 1°: Modificación de los Artículos 6° , 12°, 14°, 15°, 17°, 18,21° y 26° del Reglamento para la Disposición y Procesamiento Artesanal de los Descartes, Recortes y Restos de Calamar Gigante, generados por las actividades de Semi Proceso en Desembarcaderos Pesqueros Artesanales y de la Industria de Congelado, aprobado por Resolución Directoral N° 151-2007-GOB.REG.PIURA/DIREPRO-DR en los siguientes términos:

Artículo 6°: De los Agentes Participantes

Se considera como tal a los Titulares de las Licencias de Operación dedicados a la producción artesanal de deshidratado de pota.

Artículo 12°: De las Plantas de Procesamiento

Para la Instalación de un Establecimiento Pesquero Artesanal, se requiere de la Certificación de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Asimismo la obtención de la Licencia de Operación, deberá contar con la Verificación y la emisión de la Constancia Ambiental, otorgada por la Dirección Regional de la Producción –Piura.

Artículo 14°: Para la obtención de la Licencia de Operación de la Planta de Procesamiento Artesanal de Deshidratado de Pota, deberá contar con la Infraestructura y equipos que brinden las condiciones sanitarias siguientes:

- Cerco perimétrico que garantice seguridad y protección del establecimiento.
- Pozas de recepción de la materia prima, de material noble revestido y debidamente techada.
- Sala de cocción, empleando gas, bunker N° 6 o residual 500
- Área de deshidratado y secado de pota, implementada con sistema suspendido y/o losa de concreto.
- Área de molienda y ensaque, separados.
- Área de almacenamiento de producto terminado, sobre parihuelas.
- Sistema de evacuación y tratamiento de efluentes.
- Contar con un sistema de abastecimiento de agua tratada. Utilizar recipientes con agua limpia desinfectada.
- El establecimiento deberá contar con servicios higiénicos y vestuarios
- Otros equipos que califiquen según opinión técnica de la Dirección Regional de la Producción

Artículo 15°: La Capacidad Operativa de las Plantas de Procesamiento Pesquero Artesanal, será de 50 TM/ materia prima día.

Artículo 17°: De acuerdo a lo establecido por el Sistema Nacional de Estadística, los procesadores y/o empresas procesadoras, deben alcanzar el informe mensual de sus

actividades, conforme a los formatos existentes (materia prima y producción). El incumplimiento del mismo será motivo de caducidad de la Licencia de Operación.

Artículo 18°: Del Producto

El producto autorizado a obtenerse, es pota deshidratada en diversas formas de presentación, recibiendo la denominación según corresponda:

- Pota deshidratada en tabletas
- Pota deshidratada en hilachas
- Pota deshidratada en trozos
- Pota deshidratada martajada
- Pota deshidratada triturada
- Pota deshidratada granulada

Por su naturaleza y características técnicas y con fines de garantizar la calidad y/o sanidad, el producto deberá ser certificado por instituciones competentes.

Artículo 21°: De las Prohibiciones y Sanciones

Las acciones que se detallan en el presente artículo son consideradas infracciones y como tales materia pasible de sanción, por cuanto su incumplimiento atenta contra la salubridad, higiene, medio ambiente y la observancia de las normas y reglamentos que rigen su desenvolvimiento (Revisar modificación del reglamento).

Artículo 26°: De las Disposiciones Transitorias

Las Plantas Artesanales con Licencia de Operación Artesanal vigentes, deberán adecuarse a las modificaciones del presente Reglamento.

ARTÍCULO 2°: Deróguense los artículos 16°, 27°, y 28° del Reglamento para la Disposición y Procesamiento Artesanal de los Descartes, Recortes y Restos de Calamar Gigante, aprobado por Resolución Directoral N° 151-2007-GOB.REG.PIURA/DIREPRO-DR.

ARTÍCULO 3°: Transcríbase la presente Resolución Directoral a la Secretaria General del Ministerio de la Producción, a la Dirección General de Extracción y Procesamiento Pesquero, a la Dirección General de Asuntos Ambientales del Vice Ministerio de Pesquería, del Sector Producción y al Gobierno Regional-Piura.

Anexo B

Tablas de las temperaturas mínimas, máximas y promedio de los días correspondientes a los cuatro experimentos de digestión anaeróbica

Estos datos fueron proporcionados por la Estación Meteorológica del Radar UDEP. Algunas temperaturas promedio no figuran en estas tablas, porque no se contaba con el registro horario completo.

B.1 Tablas de las temperaturas mínimas, máximas y promedio de los 19 días del primer experimento de digestión anaeróbica, el cual abarca desde el 25/07/09 hasta el 12/08/09.

Temperatura	25/07/09	26/07/09	27/07/09	28/07/09	29/07/09	30/07/09	31/07/09
Mínima (°C)	18,52	18,41	18,66	17,99	17,10	17,74	17,42
Máxima (°C)	25,85	26,13	26,10	24,88	25,96	24,04	24,00
Promedio (°C)	20,76	20,90	21,09	20,32	20,15	20,15	---

Temperatura	01/08/09	02/08/09	03/08/09	04/08/09	05/08/09	06/08/09	07/08/09
Mínima (°C)	17,44	17,44	16,03	18,36	17,90	17,36	17,17
Máxima (°C)	25,43	22,60	27,79	28,36	22,35	24,29	29,69
Promedio (°C)	20,34	19,69	21,19	21,90	19,75	20,11	22,28

Temperatura	08/08/09	09/08/09	10/08/09	11/08/09	12/08/09
Mínima (°C)	17,70	18,50	17,66	16,77	18,30
Máxima (°C)	29,13	25,25	26,00	28,02	25,63
Promedio (°C)	21,46	20,36	20,21	20,85	---

B.2 Tablas de las temperaturas mínimas, máximas y promedio de los 33 días del segundo experimento de digestión anaeróbica, el cual abarca desde el 27/08/09 hasta el 28/09/09.

Temperatura	27/08/09	28/08/09	29/08/09	30/08/09	31/08/09	04/09/09	05/09/09
Mínima (°C)	17,78	16,26	17,37	18,49	18,78	17,76	17,82
Máxima (°C)	27,31	28,15	26,03	27,21	25,94	27,16	26,46
Promedio (°C)	20,51	21,07	20,49	21,27	---	20,67	20,94

Temperatura	08/09/09	09/09/09	10/09/09	11/09/09	12/09/09	13/09/09	14/09/09
Mínima (°C)	18,33	18,63	17,99	18,16	18,17	18,62	17,92
Máxima (°C)	26,69	25,75	24,69	28,04	27,90	27,42	27,12
Promedio (°C)	20,98	20,55	20,81	21,50	21,32	21,37	20,96

Temperatura	15/09/09	16/09/09	17/09/09	18/09/09	21/09/09	22/09/09	23/09/09
Mínima (°C)	17,36	18,15	17,76	17,78	18,74	17,64	17,91
Máxima (°C)	26,48	27,83	27,25	27,23	29,41	28,63	28,95
Promedio (°C)	20,33	20,87	20,54	20,75	---	21,45	21,20

Temperatura	24/09/09	25/09/09	26/09/09	27/09/09	28/09/09
Mínima (°C)	17,47	18,01	17,95	18,22	17,22
Máxima (°C)	29,06	28,63	29,08	27,98	26,86
Promedio (°C)	21,49	21,59	21,55	21,18	---

B.3 Tablas de las temperaturas mínimas, máximas y promedio de los 37 días del tercer experimento de digestión anaeróbica, el cual abarca desde el 08/11/09 hasta el 14/12/09.

Temperatura	08/11/09	09/11/09	10/11/09	12/11/09	13/11/09	14/11/09	15/11/09
Mínima (°C)	17,42	18,23	17,71	19,09	19,22	18,14	17,93
Máxima (°C)	28,57	27,18	25,12	25,60	28,68	28,23	27,40
Promedio (°C)	20,70	21,10	---	---	22,33	---	21,51

Temperatura	16/11/09	17/11/09	18/11/09	19/11/09	20/11/09	21/11/09	22/11/09
Mínima (°C)	17,80	18,88	18,63	18,56	18,38	18,31	18,88
Máxima (°C)	29,52	29,23	28,38	30,50	29,38	28,43	30,43
Promedio (°C)	22,46	22,15	21,68	22,97	22,95	22,09	23,02

Temperatura	23/11/09	24/11/09	25/11/09	26/11/09	27/11/09	28/11/09	29/11/09
Mínima (°C)	19,47	19,23	20,06	19,87	20,23	20,08	20,03
Máxima (°C)	27,01	28,94	30,14	31,38	29,78	29,75	27,52
Promedio (°C)	21,83	22,66	23,72	23,84	23,46	23,28	22,77

Temperatura	30/11/09	01/12/09	02/12/09	11/12/09	12/12/09	13/12/09	14/12/09
Mínima (°C)	20,01	20,10	19,62	20,17	20,09	19,49	19,42
Máxima (°C)	30,75	29,02	30,56	29,59	28,60	29,64	30,59
Promedio (°C)	23,69	23,79	23,60	---	----	23,09	23,91

B.4 Tablas de las temperaturas mínimas, máximas y promedio de los 41 días del cuarto experimento de digestión anaeróbica, el cual abarca desde el 23/02/10 hasta el 05/04/10.

Temperatura	23/02/10	24/02/10	25/02/10	26/02/10	27/02/10	28/02/10	01/03/10
Mínima (°C)	24,30	24,40	23,80	22,85	22,45	22,30	24,05
Máxima (°C)	32,70	34,00	32,55	34,00	34,30	33,55	30,50
Promedio (°C)	27,36	27,97	27,01	27,43	27,28	26,87	26,47

Temperatura	02/03/10	03/03/10	04/03/10	05/03/10	06/03/10	07/03/10	08/03/10
Mínima (°C)	23,60	22,85	22,40	22,10	21,85	22,15	21,75
Máxima (°C)	32,20	34,40	33,10	32,95	32,05	34,30	32,90
Promedio (°C)	26,80	26,97	26,38	26,19	26,06	26,61	26,75

Temperatura	09/03/10	10/03/10	11/03/10	12/03/10	13/03/10	14/03/10	15/03/10
Mínima (°C)	23,75	22,50	21,70	21,80	21,40	21,75	22,40
Máxima (°C)	30,85	33,00	33,30	33,90	27,50	34,30	32,25
Promedio (°C)	27,02	26,70	26,93	27,07	24,00	26,68	26,29

Temperatura	16/03/10	17/03/10	18/03/10	19/03/10	20/03/10	21/03/10	22/03/10
Mínima (°C)	22,00	22,90	23,30	22,80	22,20	23,35	22,90
Máxima (°C)	32,50	32,40	33,05	32,80	33,50	33,65	33,40
Promedio (°C)	26,32	26,44	26,89	27,22	27,09	27,65	27,51

Temperatura	23/03/10	24/03/10	25/03/10	26/03/10	27/03/10	28/03/10	29/03/10
Mínima (°C)	22,85	22,75	23,10	24,15	23,10	22,50	21,85
Máxima (°C)	34,55	34,05	34,00	33,25	34,50	32,70	32,80
Promedio (°C)	27,54	27,65	27,59	27,66	27,16	26,84	26,52

Temperatura	30/03/10	31/03/10	01/04/10	02/04/10	03/04/10	04/04/10	05/04/10
Mínima (°C)	21,95	22,35	21,95	21,40	22,75	22,85	21,05
Máxima (°C)	34,10	32,45	31,55	32,80	31,25	31,55	27,90
Promedio (°C)	26,96	26,23	25,35	26,46	26,58	26,66	24,39

Anexo C

Registro fotográfico de los ensayos de digestión anaeróbica

C.1 Registro fotográfico del primer experimento:



Foto c1.1: Instalación de los biodigestores. Se observa que las mangueras de los reactores están insertadas en las probetas para la recolección del biogás generado.



Foto c1.2: Los soportes universales y abrazaderas sostienen las probetas llenas de agua. Durante el experimento ocurre el desplazamiento del contenido de agua debido a la generación del biogás.



Foto c1.3: Se observa el volumen de biogás en las probetas.

C.2 Registro fotográfico del segundo experimento:



Foto c2.1: Instalación de los biodigestores. Se observa que las mangueras de los reactores están insertadas en las probetas y están sujetas externamente con ligas.



Foto c2.2: Biogás recogido en las probetas. Se observa el volumen de biogás producido en cada biodigestor.



Foto c2.3: Armazón principal para sostener las probetas.

C.3 Registro fotográfico del tercer experimento:



Foto c3.1: Instalación de los biodigestores. Se observa que las pelotas de playa reemplazan a las probetas.



Foto c3.2: Las pelotas de playa reciben temporalmente el biogás generado, a través de mangueras.



Foto c3.3: Las válvulas instaladas en cada biodigestor, permiten la toma de muestras del contenido de los reactores para medir su pH.

Anexo D

El Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM: Aprueba los Estándares Nacionales de
Calidad Ambiental para Agua

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1	Sub Categoría 2	Sub Categoría 3
		Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Otras Actividades (C3)
Mercurio total	mg/L	0,0094	0,0001	0,0001
Níquel total	mg/L	0,0082	0,1	0,1
Nitratos (N-NO3)	mg/L	**	0,07 - 0,26	0,3
Plomo total	mg/L	0,0081	0,0081	0,0081
Silicatos (Si-Si O3)	mg/L	**	0,14 - 0,70	**
Zinc total	mg/L	0,081	0,081	0,081
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos de petróleo totales (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	* ≤14 (área aprobada)	≤30	1000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	* ≤88 (área restringida)		

NMP/ 100 mL Número más probable en 100 mL

* **Área Aprobada** : Áreas de dónde se extraen ó cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana ó animal, de organismos patógenos ó cualquier sustancia deletérea ó venenosa y potencialmente peligrosa.

** **Área Restringida**: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano luego de ser depurados

*** Se entenderá que para este uso, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente lo determine

**** La temperatura corresponde al promedio mensual multianual del área evaluada.

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Fisicoquímicos		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO3-N)	mg/L	10
Nitritos (NO2-N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	> =4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
Inorgánicos		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
Orgánicos		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
Plaguicidas		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004



PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Endosulfán	ug/L	0,02
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloropoxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paratión	ug/L	7,5

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES.			
PARÁMETROS	Unidad	Vegetales Tallo Bajo	Vegetales Tallo Alto
		Valor	Valor
Biológicos			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000(3)
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000	5 000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helmintos	huevos/litro	<1	<1(1)
<i>Salmonella</i> sp.		Ausente	Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente	Ausente
PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES			
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR	
Fisicoquímicos			
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	<=5000	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<=15	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40	
Fluoruro	mg/L	2	
Nitratos-(NO3-N)	mg/L	50	
Nitritos (NO2-N)	mg/L	1	
Oxígeno Disuelto	mg/L	> 5	
pH	Unidades de pH	6,5 – 8,4	
Sulfatos	mg/L	500	
Sulfuros	mg/L	0,05	
Inorgánicos			
Aluminio	mg/L	5	
Arsénico	mg/L	0,1	
Berilio	mg/L	0,1	
Boro	mg/L	5	
Cadmio	mg/L	0,01	
Cianuro WAD	mg/L	0,1	
Cobalto	mg/L	1	
Cobre	mg/L	0,5	
Cromo (6+)	mg/L	1	
Hierro	mg/L	1	
Litio	mg/L	2,5	
Magnesio	mg/L	150	
Manganeso	mg/L	0,2	
Mercurio	mg/L	0,001	
Niquel	mg/L	0,2	
Plata	mg/L	0,05	
Plomo	mg/L	0,05	
Selenio	mg/L	0,05	
Zinc	mg/L	24	
Orgánicos			
Aceites y Grasas	mg/L	1	
Fenoles	mg/L	0,001	
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1	
Plaguicidas			
Aldicarb	ug/L	1	
Aldrín (CAS 309-00-2)	ug/L	0,03	
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3	
DDT	ug/L	1	
Dieldrín (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7	
Endosulfán	ug/L	0,02	



Endrin	ug/L	0,004
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloripóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paratión	ug/L	7,5
Biológicos		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000
Enterococos	NMP/100mL	20
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100
Huevos de Helmintos	huevos/litro	<1
<i>Salmonella</i> sp.	Ausente	
<i>Vibrio cholerae</i>	Ausente	

NOTA :

NMP/100: Número más probable en 100 mL

Vegetales de Tallo alto: Son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tienen una buena longitud de tallo. las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros). Ejemplo; Forestales, árboles frutales, etc.

Vegetales de Tallo bajo: Son plantas cultivables o no, frecuentemente porte herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo (10 a 50 cm). Ejemplo: Hortalizas y verdura de tallo corto, como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y arveja, etc.

Animales mayores: Entiéndase como animales mayores a vacunos, ovinos, porcinos, camélidos y equinos, etc.

Animales menores: Entiéndase como animales menores a caprinos, cuyes, aves y conejos

SAAM: Sustancias activas de azul de metileno

CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO

PARÁMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RÍOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0,02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius					delta 3 °C
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	unidad	6,5-8,5	6,5-8,5		6,8-8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤25	≤25 - 100	≤25 - 400	≤25-100	30,00
INORGÁNICOS						
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	-----
Cadmio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022	0,022	0,022	-----
Clorofila A	mg/L	10	-----	-----	-----	-----
Cobre	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fenoles	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	
Fosfatos Total	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031 - 0,093
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales	Ausente				Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,0001
Nitratos (N-NO3)	mg/L	5	10	10	10	0,07 - 0,28
INORGÁNICOS						
Nitrógeno Total	mg/L	1,6	1,6		-----	-----
Níquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,002	0,0082
Plomo	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0081	0,0081
Silicatos	mg/L	-----	-----	-----	-----	0,14-0,7
Sulfuro de Hidrógeno (H2S indisoluble)	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,081
MICROBIOLÓGICOS						
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100mL)	1 000	2 000		1 000	≤30
Coliformes Totales	(NMP/100mL)	2 000	3 000		2 000	

NOTA : Aquellos parámetros que no tienen valor asignado se debe reportar cuando se dispone de análisis

Dureza: Medir "dureza" del agua muestreada para contribuir en la interpretación de los datos (método/técnica recomendada: APHA-AWWA-WPCF 2340C)

Nitrógeno total: Equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (Nitrógeno orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito (NO)

Amonio: Como NH3 no ionizado

NMP/100 mL: Número más probable de 100 mL

Ausente: No deben estar presentes a concentraciones que sean detectables por olor, que afecten a los organismos acuáticos comestibles, que puedan formar depósitos de sedimentos en las orillas o en el fondo, que puedan ser detectados como películas visibles en la superficie o que sean nocivos a los organismos acuáticos presentes.

Anexo E

Normas oficiales para la calidad del agua de Venezuela: Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos
11 octubre 1995

CAPÍTULO II

De la clasificación de las aguas

Artículo 3º: Las aguas se clasifican en:

Tipo 1: Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.

Las aguas del tipo I se desagregan en los siguientes sub-tipos:

Sub-Tipo 1A:	Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.
Sub-Tipo 1B:	Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
Sub-Tipo 1C:	Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.

Tipo 2: Aguas destinadas a usos agropecuarios.

Las aguas del Tipo 2 se desagregan en los siguientes sub-tipos:

Sub Tipo 2A:	Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.
Sub Tipo 2B:	Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario.

Tipo 3: Aguas marinas o de medios costeros destinadas a la cría y explotación de moluscos consumidos en crudo.

Tipo 4: Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de sub-sistencia.

Las aguas del Tipo 4 se desagregan en los siguientes subtipos:

Sub Tipo 4A:	Aguas para el contacto humano total.
Sub Tipo 4B:	Aguas para el contacto humano parcial.

Tipo 5: Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable.

Tipo 6: Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.

Tipo 7: Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de poluentes sin que se produzca interferencia con el medio ambiente adyacente.

Artículo 4°. A los efectos de esta Norma, se establecen los siguientes criterios para la clasificación de las aguas, así como los niveles de calidad exigibles de acuerdo con los usos a que se destinen:

1. Las aguas del Sub-Tipo IA son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (O.D)	Mayor de 4,0 mg/l. (*)
pH	Mínimo 6,0 y máximo 8,5
Color real	Menor de 50, U Pt-Co.
Turbiedad	Menor de 25, UNT.
Fluoruros	Menor de 1,7 mg/l.
Organismos coliformes totales	promedio mensual menor a 2000 NMP por cada 100 ml.

2. Las aguas del Sub-Tipo 1B son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (O.D.)	Mayor 4,0 mg/l. (*)
pH	Mínimo 6,0 y máximo 8,5.
Color real	Menor de 150, U Pt-Co.
Turbiedad	Menor de 250, UNT.
Fluoruros	Menor de 1,7 mg/l.
Organismos coliformes totales	promedio mensual menor a 10000 NMP por cada 100 ml.

3. Las aguas de los Sub-Tipos 1A y 1B no deberán exceder, además, los siguientes límites:

* Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 50%.

Elementos compuestos	Límites
Aceites minerales	0,3 mg/l
Aluminio	0,2 mg/l
Arsénico total	0,05 mg/l
Bario total	1,0 mg/l
Cadmio total	0,01 mg/l
Cianuro total	0,1 mg/l
Cloruros	600 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Cromo total	0,05 mg/l
Detergentes	1,0 mg/l
Dispersantes	1,0 mg/l
Dureza, expresada como CaCO ₃	500 mg/l
Extracto de carbono al cloroformo	0,15 mg/l
Fenoles	0,002 mg/l
Hierro total	1,0 mg/l
Manganeso total	0,1 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Nitritos + Nitratos (N)	10,0 mg/l
Plata total	0,05 mg/l
Plomo total	0,05 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Sodio	200 mg/l
Sólidos disueltos totales	1500 mg/l
Sulfatos	400 mg/l
Zinc	5,0 mg/l

Biocidas	Límites
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/l
Organoclorados	0,2 mg/l

- Las aguas del Sub-Tipo 1C son aquellas en las cuales el pH debe estar comprendido entre 3,8 y 10,5.
- Las aguas del Sub-Tipo 2A son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Organismos coliformes totales	promedio mensual menor a 1000 NMP por cada 100 ml.
Organismos coliformes fecales	menor a 100 NMP por cada 100 ml.

6. Las aguas del Sub-Tipos 2B son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Organismos coliformes totales	promedio mensual menor a 5000 NMP por cada 100 ml.
Organismos coliformes fecales	menor a 1000 NMP por cada 100 ml.

7. Las aguas de los Sub-Tipos 2A y 2B no deberán exceder, además, los siguientes límites:

Elementos compuestos	Límites
Aluminio	1,0 mg/l
Arsénico	0,05 mg/l
Bario	1,0 mg/l
Boro	0,75 mg/l
Cadmio	0,005 mg/l
Cianuro	0,2 mg/l
Cobre	0,20 mg/l
Cromo Total	0,05 mg/l
Hierro Total	1,0 mg/l
Litio	5,0 mg/l
Manganeso Total	0,5 mg/l
Mercurio	0,01 mg/l
Molibdeno	0,005 mg/l
Níquel	0,5 mg/l
Plata	0,05 mg/l
Plomo	0,05 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Sólidos disueltos totales	3000 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Vanadio	10,0 mg/l
Zinc	5,0 mg/l

Biocidas	Límites
Organofosforados y carbamatos	0,1 mg/l
Organoclorados	0,2 mg/l

8. Las aguas del Tipo 3 son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (O.D)	Mayor de 5,0 mg/l. (*)
pH	Mínimo 6,5 y máximo 8,5.
Aceites minerales	0,3 mg/l
Detergentes no biodegradables	Menor de 1 mg/l.
Detergentes biodegradables	Menor de 0,2 mg/l.
Residuos de petróleo, sólidos sedimentables y flotantes	Ausentes
Metales y otras sustancias tóxicas	No detectable (***)
Fenoles y sus derivados	0,002 mg/l.

Biocidas	Límite o rango máximo
Organofosforados y carbamatos	0,1 mg/l
Organoclorados	0,2 mg/l

Biocidas	Límite o rango máximo
Organismos coliformes totales (**)	a) promedio mensual menor a 70 NMP por cada 100 ml. b) el 10% de las muestras puede exceder de 200 NMP por cada 100 ml.

* Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 60%.

** Las muestras deben ser representativas de la calidad del cuerpo de agua a ser aprovechado. De existir fuentes de contaminación las muestras deberán ser tomadas en las zonas afectadas. En ambos casos se muestreará bajo las condiciones hidrográficas más desfavorables, a juicio del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

*** Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

9. Las aguas del Sub-Tipo 4A son aquellas cuyas características corresponden con límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Organismos coliformes totales	a) Menor a 1000 NMP por cada 100 ml en el 90% de una serie de muestras consecutivas. b) Menor a 5000 NMP en el 10% restante.
Organismos coliformes fecales	a) Menor a 200 NMP por cada 100 ml en el 90% de una serie de muestras consecutivas. b) Menor a 400-NMP en el 10% restante.
Moluscos infectados con <i>S. mansoni</i>	Ausentes.

10. Las aguas del Sub-Tipo 4B son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Organismos coliformes totales	a) menor a 5000 NMP por cada 100 ml en el 80% de una serie de muestras consecutivas. b) menor a 10000 NMP en el 20% restante.
Organismos coliformes fecales	Menor a 1000 NMP por cada 100 ml en la totalidad de las muestras.
Moluscos infectados con <i>S. mansoni</i>	Ausentes.

11. Las aguas del Tipo 4 deberán cumplir, además, con las siguientes condiciones:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (OD)	Mayor 5,0 mg/l (*)
pH	Mínimo 6,5 y máximo 8,5.
Aceites minerales	0,3 mg/l.
Detergentes	Menor de 1 mg/l.
Sólidos disueltos	Desviación menor de 33% de la condición natural
Residuos de petróleo, sólidos sedimentables y flotantes	Ausentes
Metales y otras sustancias tóxicas	No detectable
Fenoles y sus derivados	0,002 mg/l

Biocidas	Límite o rango máximo
Organofosforados y carbamatos	0,1 mg/l
Organoclorados	0,2 mg/l

12. Las aguas del tipo 5 son aquellas cuyas características corresponden a los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Fenoles	Menor de 0,002 mg/l.
Aceites y espumas	Ausente
Sustancias que originen sedimentación de sólidos y formación de lodos	Ausente.

* Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 60%.

13. Las aguas del tipo 6 son aquellas cuyas características corresponden a los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (OD)	mayor de 4 mg/l.
Sólidos flotantes y sedimentables o depósitos de lodo.	Concentraciones que no interfieran la navegación o la generación de energía.

14. Las aguas del Tipo 7 son aquellas cuyas características correspondan a los límites siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (OD)	mayor de 3 mg/l.

CAPÍTULO III **Del control de los vertidos líquidos**

SECCIÓN II **De las descargas a cuerpos de agua**

Artículo 10: A los efectos de este Decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses:

Parámetros físico-químicos	Límites máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales.	20 mg/l
Aldehidos	2,0 mg/l
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	5,0 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Boro	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cloruros	1000 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Color real	500 Unidades de Pt-Co.
Cromo Total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l

Parámetros físico-químicos	Límites máximos o rangos
Dispersantes	2,0 mg/l
Espuma	Ausente
Estaño	5,0 mg/l
Fenoles	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo)	10 mg/l
Hierro total	10 mg/l
Manganeso total	2,0 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
Nitritos + Nitratos (expresado como nitrógeno)	10 mg/l
pH	6
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sólidos sedimentables	1,0 ml/l
Sulfatos	1000 mg/l
Sulfitos	2,0 mg/l
Sulfuros	0,5 mg/l
Zinc	5,0 mg/l

Biocidas	Límites máximos o rangos
Organofosforados y Carbamatos	0,25 mg/L
Organoclorados	0,05 mg/L

Parámetros biológicos

Número más probable de organismos coliformes totales no mayor de 1.000 por cada 100 mL, en el 90% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 mL.

Parágrafo primero: En ríos la variación de la temperatura media de una sección fluvial en la zona de mezcla, comparada con otras aguas arriba de la descarga del vertido líquido, no superará los 3°C. En lagos y embalses la diferencia de temperatura del vertido con respecto al cuerpo de agua receptor no superará los 3°C.

SECCIÓN III
De las descargas al medio marino-costero

Artículo 12: Las descargas al medio marino costero sólo podrán efectuarse en zonas donde se produzca mezcla rápida del vertido con el cuerpo receptor y cumplirán con los rangos y límites máximos establecidos en la siguiente lista:

Parámetros físico-químicos	Límites máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales	20 mg/l
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Color	500 Unidades de Pt/Co

Parámetros físico-químicos	Límites máximos o rangos
Cromo total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l
Dispersantes	2,0 mg/l
Fenoles	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo)	10 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Níquel total	2,0 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
pH	6 - 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,2 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sulfuros	2,0 mg/l
Zinc	10 mg/l

Biocidas	Límites máximos o rangos
Organofosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Organoclorados	0,05 mg/l

Parámetros biológicos

Número más probable de organismos coliformes totales no mayor de 1.000 por cada 100 mL en el 90% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 mL.

Parágrafo único: Se prohíbe la descarga al medio marino-costero de efluentes líquidos con temperatura diferente a la del cuerpo receptor. El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables definirá, previa justificación y conforme a las evaluaciones de las propuestas y de los estudios técnicos que presenten los administrados, las zonas de mezcla térmica, en las cuales se podrá permitir la descarga de efluentes con temperatura diferente a la del cuerpo receptor. La variación de temperatura media del cuerpo marino-costero en la zona de mezcla, comparada con la temperatura media del cuerpo receptor no debe ser mayor de 3°C.

SECCION V

De la descarga a redes cloacales

Artículo 15: Los parámetros de calidad de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales no deberán ser mayores de los rangos y límites permisibles establecidos en la siguiente lista:

Parámetros físico-químicos	Límites máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales	150 mg/l
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Cromo total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	350 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	900 mg/l
Detergentes	8,0 mg/l
Dispersantes	8,0 mg/l
Fenoles	0,5 mg/l

Parámetros físico-químicos	Límites máximos o rangos
Fósforo total (expresado como fósforo)	10 mg/l
Hierro total	25 mg/l
Manganeso total	10 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Níquel total	2,0 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
pH	6 - 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,2 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	400 mg/l
Sólidos totales	1600 mg/l
Sulfatos	400 mg/l
Sulfuros	2,0 mg/l
Temperatura	40°C
Vanadio	5,0 mg/l
Zinc	10 mg/l

Biocidas	Límites máximos o rangos
Organofosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Organoclorados	0,05 mg/l