

Caracterización de las aguas residuales de la empresa procesadora de alimentos PRODAL, Cuba

Teresita de Jesús Romero López
Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH). CUJAE. La Habana
email: teresita@cih.cujae.edu.cu

Patricia Santiso Garbayo
Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH). CUJAE. La Habana

Orestes Arsenio González Díaz
Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH). CUJAE. La Habana
email: orestes@cih.cujae.edu.cu

RESUMEN

Este trabajo se realizó en la empresa procesadora de alimentos PRODAL, ubicada en el municipio de Regla, La Habana, con el objetivo de caracterizar las aguas residuales del proceso productivo que ahí se realiza. Los efluentes contaminados procedentes de la producción son vertidos a la Bahía de La Habana sin tratamiento, provocando un ambiente deteriorado en la rada habanera. Debido a la contaminación de la bahía y a las exigencias normadas por el Ministerio de Ciencias, Tecnologías y Medio Ambiente, se brindan los parámetros esenciales de caracterización que apoyarán la propuesta y adquisición de una planta de tratamiento de residuales líquidos para la industria, y mediante la cual se disminuirán los tenores contaminantes hasta valores permisibles por la norma cubana NC-TS 360:2004.

Palabras clave: alimentos, Bahía de la Habana, caracterización, contaminación, efluentes

Characterization of waste water of PRODAL food industry, Cuba

ABSTRACT

This work was done in PRODAL food industry, located in Regla, Havana, in order to characterize wastewater production process that takes place there. Polluted effluents from the production plants are discharged into the Bay of Havana without treatment, causing an environment deteriorated in the Havana Bay. Due to the increasing pollution of the bay and the requirements regulated by Ministry of Science, Technology and Environment, which is responsible for protecting the health of different aquatic ecosystems, among others, there were presented the essential characterization parameters that will support the proposal and acquisition of sewage treatment plant for the industry, with the aims to decrease contaminants tenors to permissible values presented in Cuban standard NC-TS 360:2004.

Keywords: food, Havana Bay waste, characterization, pollution, effluents

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la revolución industrial, en el mundo se ha manifestado un crecimiento gradual en la creación de industrias y en la mejora de sus tecnologías. En un principio se consideraba que los beneficios que se obtenían eran mayores que los problemas que se ocasionaban. Esta forma de pensar solo cambió cuando la industrialización se hizo tan masiva que los problemas ambientales eran evidentes y sus impactos empezaron a afectar la salud y el medio de convivencia en regiones urbanas. La relación entre el aumento de la industrialización y el incremento consecuente de la contaminación fue muy bien descrita por Berro (2005) como un fenómeno que prevalece no solo en el archipiélago cubano sino, también en muchos países y regiones del mundo.

En Cuba uno de los principales problemas es el relacionado con la contaminación de las aguas de mar; este es el caso de la Bahía de La Habana, la cual presenta un alto nivel de contaminación causada fundamentalmente por las actividades domésticas e industriales de más de 88 entidades que tributan sus desechos de forma directa o indirecta sin un adecuado tratamiento previo. Chabalina y Beltrán (1999) hace más de 15 años, comenzaron los estudios de caracterización de la Bahía de la Habana y detectaron las fuentes directas e indirectas que tributan a la misma, así como las concentraciones de los principales contaminantes que causan su deterioro; de ahí que se trazaran objetivos y acciones que mejoraran aspectos como el propio paisaje costero inmediato y mediato, el nivel de oxígeno en las aguas y la presencia de residuales industriales, resultando una de estas instalaciones la empresa procesadora de alimentos PRODAL perteneciente al Ministerio de Industria Alimentaria (MINAL), ubicada en el ribereño municipio de Regla.

La entidad tiene implantado un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) como medida pertinente para minimizar los impactos negativos de los vertimientos, según lo señala Díaz (2012), aunque aún no se ha dado respuesta a todos los problemas existentes, por lo que en la empresa se ha llevado a cabo un plan de monitoreo a las aguas contaminadas que se encuentran fuera de las instalaciones de producción, como medida regulatoria y de control del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), basándose en una serie de parámetros existentes en la norma NC-TS: 360: 2004. Los resultados obtenidos demuestran que PRODAL hoy, se clasifica como una fuente contaminante según lo reglamentado en la norma antes mencionada y debido a la proyección futura de dos nuevas plantas de producción, se ha determinado como máxima prioridad actual la implantación de un sistema de tratamiento que corresponda con las características físico-químicas del residual y el caudal del efluente, lo que fortalecerá aún más el hecho de que la empresa se haya clasificado en perfeccionamiento y que continúe con la imagen que la ha caracterizado durante más de 50 años de trabajo en la producción de alimentos (PRODAL, 2012).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características generales de la empresa procesadora de alimentos PRODAL

La investigación de este proyecto se llevó a cabo en 2013, en la empresa procesadora de alimentos PRODAL, ubicada en una zona residencial del Municipio de Regla, La Habana, Cuba (figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa procesadora de alimentos PRODAL

Las actividades económicas fundamentales que se llevan a cabo son la producción y comercialización de alimentos y cuenta con tres plantas de producción (conformados, embutidos y procesos varios) donde se elaboran 42 productos (Corral y col., 2012).

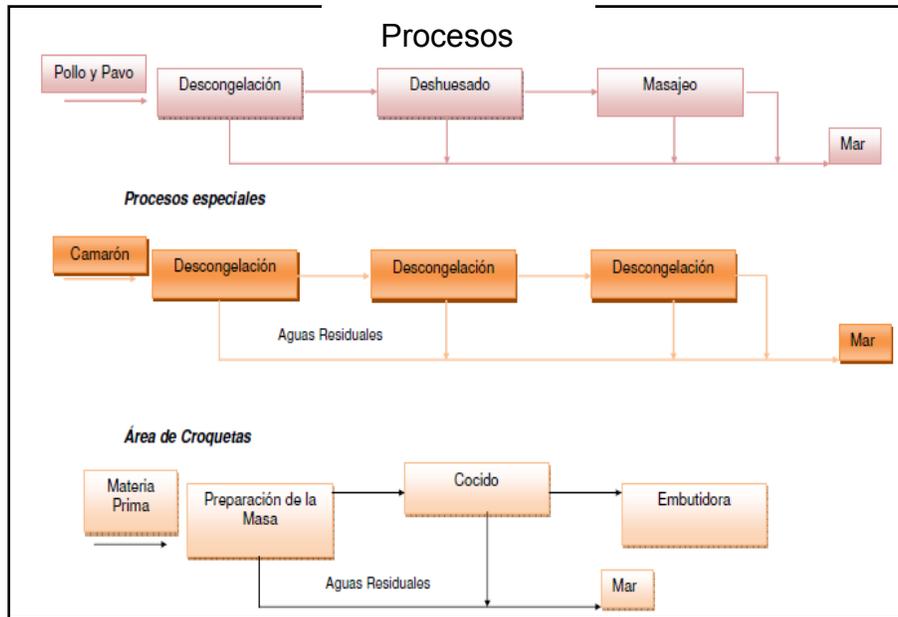
La empresa posee dos suministros de agua y dos cisternas de almacenamiento, estimándose el índice de consumo como $12 \text{ m}^3/\text{t}$ de producción; $25 \text{ m}^3/\text{día}$ en las torres de enfriamiento del sistema de refrigeración y $7,2 \text{ m}^3/\text{día}$ en la producción de hielo.

Caracterización general de las producciones en la empresa procesadora de alimentos PRODAL

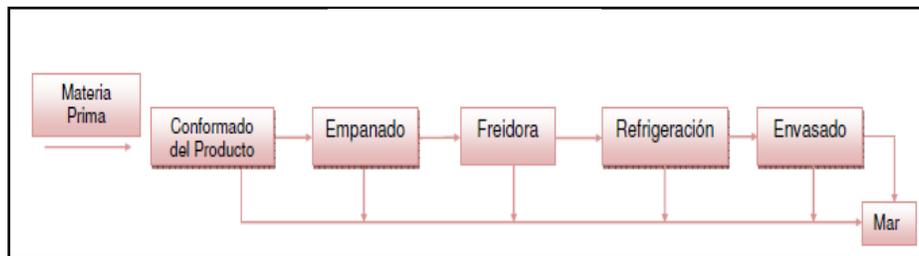
El proceso productivo de la empresa consiste en la elaboración de productos alimenticios a partir de carne de aves y pescados, empleándose como materias primas el camarón, masa deshuesada mecánicamente (MDM) de pollo y pavo, picadillo Bander, pescados (tenca), queso, cuartos traseros y muslos de pollo. Utiliza como insumos fundamentales los aceites comestibles, harina de trigo, pan molido y condimentos. Cuenta con un variado equipamiento tecnológico (90% tecnología holandesa) instalado en las tres plantas que actualmente están en producción (Corral y col, 2012).

Diagramas de flujo de producción

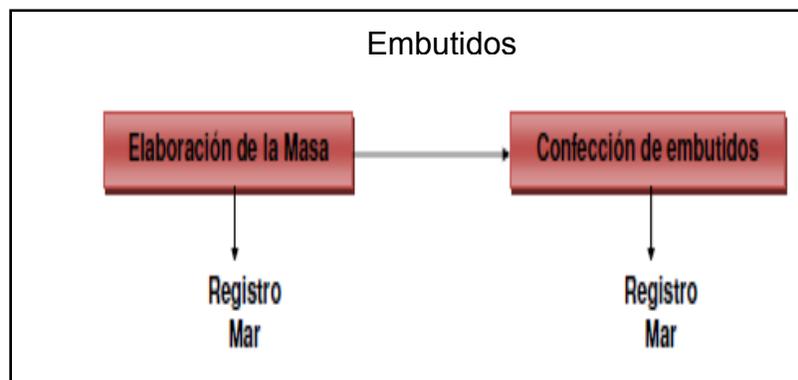
En los siguientes esquemas (figuras 2a, b, c) se muestran los procesos que se realizan en cada una de las plantas y la forma de colección de los residuales hasta el punto final de vertimiento.



a- Planta de procesos varios



b- Planta de conformados



c- Planta de embutidos

Figura 2. Diagramas de flujo de producción en las diferentes plantas de la empresa procesadora de alimentos PRODAL. (Corral y col., 2012)

Ubicación y descripción de los puntos de vertimientos

Los principales puntos de vertido de las aguas residuales pertenecen a las tres plantas de producción antes descritas, las cuales generan grandes volúmenes de agua que van a parar directamente a la bahía sin tratamiento previo durante 16 horas de forma continua, y en algunos casos durante 24 horas.

Cada planta evacua los desechos de forma diferente y estos varían sus características en dependencia de las producciones que se realizan en cada una de ellas.

Planta de procesos varios: cuenta con un canal de vertido abierto exterior a las instalaciones donde tributan todos los desechos de esta producción. Las aguas residuales tienen un olor putrefacto y color turbio grisáceo con presencia de sedimentos. El caudal de los efluentes no es muy variable, aunque que se presentan períodos de mayor descarga.

Planta de conformados: aquí dentro tributan varios canales estrechos de vertimiento que se comunican en un punto final para descargar a la bahía, de difícil acceso. Las aguas de los desechos de esta planta tienen un color blanco, con poco olor, abundante cantidad de grasas y restos de la masa de los productos. El caudal de descarga es variable y es mayor en los horarios de limpieza de las instalaciones y del equipamiento (la limpieza no tiene un ciclo regular ni constante).

Planta de embutidos: el vertimiento es a través de registros cerrados dentro de la planta, por lo que su vertimiento es de forma directa a la bahía y solo existe acceso en el exterior de los salones. Las aguas de descarga son de un color oscuro turbio y fuerte olor a desechos alimenticios. El caudal de descarga no es constante durante todo el día.

Aguas residuales domésticas: estas son tratadas en un tanque séptico ubicado en una instalación colindante, y el efluente final es descargado a la bahía.

Tipos y métodos de muestreo de las aguas residuales

Para el análisis de las aguas residuales se conformaron muestras compuestas en los tres puntos principales de vertido, desde el comienzo de la producción hasta la limpieza de las instalaciones, que es la última actividad que se ejecuta. También se revisaron y analizaron los resultados de muestreos realizados por empresas que fueron contratadas por PRODAL en años anteriores (Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos – ENAST y Centro de Ingeniería de Manejo Ambiental de Bahías y Costas - CIMAB). Todos estos análisis se efectuaron utilizando los métodos descritos en el APHA (1996) (tabla 1).

Se calcularon los índices de biodegradabilidad (*IB*) de los residuos líquidos con las concentraciones halladas de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días a 20°C ($DBO_{5, 20^{\circ}}$) (en lo adelante DBO_5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), a partir de la ecuación (1):

$$IB = DQO / DBO_5 \quad (1)$$

y siguiendo lo estipulado en la siguiente escala de valores:

$IB = 1,00-2,50$ ----- Biodegradable

$IB = 2,50-5,00$ ----- Medianamente biodegradable

$IB = 5,00$ ----- Poco biodegradable

Tabla 1. Parámetros y métodos de medición para aguas residuales

Análisis	Métodos de determinación
pH	Método electrométrico. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20 th Edition, 1998.
Demanda química de oxígeno (DQO)	Método de refluo cerrado colorimetría. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20 th Edition, 1998.
Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO_{5, 20°})	Método de los 5 días a 20°C. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20 th Edition, 1998.
Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)	Método macro-kejeldahl. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20 th Edition, 1998.
Fósforo total (PT)	Cloruro estannoso. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20 th Edition, 1998.
Grasas y aceites (G y A)	Método de extracción por soxhlet. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20 th Edition, 1998.

RESULTADOS

Los puntos de vertimiento que presentan problemas según la normativa NC-TS 360: 2004 son aquellos que tienen como disposición final la Bahía de La Habana. Entre estos focos se encuentran actualmente las tres plantas de producción de PRODAL (procesos varios, conformados y embutidos).

Según la normativa aplicada en Cuba para los vertimientos en cuerpos receptores de tipo E, donde clasifica la Bahía de La Habana, todos los residuos que se aporten a esta deben cumplir con una serie de parámetros y valores. Los estudios realizados en las tres plantas de procesos tuvieron la finalidad de verificar la relación existente entre los resultados obtenidos producto de los muestreos a las aguas negras de los diferentes procesos y los obligatorios expuestos en la norma mencionada, teniendo en cuenta que los vertidos de las industrias de conservas de alimentos proceden de las operaciones de limpieza, calentamiento preliminar y pasteurización de las materias primas y limpieza de las maquinarias para la elaboración y la congelación del producto terminado, tal como lo describen Da Cámara y col. (2014).

Estudio físico químico efectuado a los vertimientos de la planta de procesos varios

Las actividades realizadas en esta planta tienen como base una serie de materias primas como carne de pollo y pavo, pescado y camarones. También insumos, harina y pan fundamentalmente.

La calidad del agua de vertimiento en este proceso se ve afectada por la naturaleza de los productos alimenticios que se utilizan en la elaboración de la mercancía final. Estos residuos no se tratan antes de su disposición final a la bahía y se conducen por un canal pluvial no adecuado para la transportación de las aguas (figura 3).

Características físico-químicas de las aguas residuales

Las características físico-químicas de las aguas residuales de la planta de procesos varios se presentan en la tabla 2, a la vez que se grafican los mismos para su mejor comprensión.



Figura 3. Canal de vertimiento de aguas residuales de la planta de procesos varios

Tabla 2. Resultados físico-químicos del agua de desecho procedente de la planta de procesos varios, referidos a los ensayos efectuados en 2013

Análisis	Residual de procesos varios
pH	6,45
DQO (mg/L)	5 737
DBO ₅ (mg/L)	3 200
NTK (mg/L)	92,4
PT (mg/L)	23,3
Grasas y aceites (mg/L)	372

Con estos resultados se determinó el *IB* de los residuos líquidos, obteniéndose el valor de 1,79 enfatizándose así que los residuos líquidos que se aportan a la bahía provenientes de procesos varios son biodegradables.

Estudio físico químico efectuado a los vertimientos de la planta de conformados

En los procesos productivos de esta planta se elaboran conformados, rebozados, empanados, pre-cocidos, pre-fritos y congelados, a partir de masa de pollo, insumos, harina, pan y aceites.

Las aguas residuales que se vierten en esta planta se conducen a través de canaletas distribuidas en todo el salón y la característica que predomina en el mismo es el vertimiento de residual con una elevada concentración de grasa (figura 4). Estos canales cuentan con trampas de sólidos que impiden la salida hacia la bahía de los residuos generados en la producción.



Figura 4. Canal de vertimiento de aguas residuales y trampa de sólidos de la planta de conformados

Características físico-químicas de las aguas residuales

Los resultados arrojados por los estudios efectuados en el laboratorio, facilitaron la información que se presenta en la tabla 3, con su representación gráfica.

Tabla 3. Resultados físico-químicos del agua de desecho procedente de la planta de conformados, referidos a los ensayos efectuados en 2013

Análisis	Residual de conformados
pH	6,82
DQO (mg/L)	29 747
DBO ₅ (mg/L)	16 500
NTK (mg/L)	173,6
PT (mg/L)	26,52
Grasas y aceites (mg/L)	947

El *IB* hallado fue de 1,80 por lo que la materia orgánica que se encuentra en los residuos líquidos es biodegradable.

Estudio físico químico efectuado a los vertimientos de la planta de embutidos

En esta área se elaboran mortadelas, jamonadas, chorizos y perros calientes, utilizándose como materia prima fundamental la masa de pollo y pavo, insumos y aceite.

En el caso de la planta de embutidos los residuos líquidos se conducen por tuberías cerradas con registros dentro de la instalación (figura 5). Estas se colectan a una tubería para verter en un mismo punto final directo a la bahía.



Figura 5. Tuberías de conducción de agua residual con registro de la planta de embutidos y vertimiento directo a la bahía

Características físico-químicas de las aguas residuales

Las características de estas aguas según los mismos parámetros expuestos anteriormente se describen en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados físico-químicos del agua de desecho procedente de la planta de embutidos, referidos a los ensayos efectuados en 2013

Análisis	Residual de embutidos
pH	6,7
DQO (mg/L)	10 783
DBO ₅ (mg/L)	6 000
NTK (mg/L)	114,8
PT (mg/L)	23,1
Grasas y aceites (mg/L)	532

El IB en este caso fue de 1,8 por lo que los residuales se clasifican como biodegradables.

Comparación de resultados obtenidos, según los muestreos realizados por diferentes entidades

Cada dos años la industria tiene la obligación de controlar la calidad de las aguas mediante estudios físico-químicos, con el apoyo de diferentes laboratorios especializados y acreditados a tales efectos.

Los resultados más significativos obtenidos de estos monitoreos, así como los arrojados en la caracterización actual, fueron graficadas indistintamente (figura 6), contemplándose los parámetros *DBO₅*, *DQO*, NT, PT, grasas y aceites para los años 2010 y 2013 respectivamente.

Las diferencias que se observan entre las concentraciones halladas en los distintos muestreos pudieran estar dadas por el horario y la forma en que fueron tomadas las muestras (simples o compuestas) o por la materia prima elaborada, demostrándose que no existe un registro homogéneo de las características del agua que se utiliza en cada planta, lo que imposibilita llevar a cabo una comparación representativa de las concentraciones de los tenores citados, haciendo por tanto, más difícil implementar el sistema de gestión con la información existente (CITMA, 2009).

El método más adecuado en estos casos, debe ser la adquisición de una muestra compuesta cada cierto periodo de tiempo, con alícuotas proporcionales a los flujos, garantizando así una composición más heterogénea del residual a evaluar.

Nótese que la concentración más elevada de *DBO₅* fue de 17 000 mg/L y correspondió a la planta de conformados, presentando la *DQO* un patrón similar, aunque con concentraciones de 30 000 mg/L para la misma planta.

Los *IB* hallados a partir de estas concentraciones fueron de 1,10; 2,11 y 1,79 para la planta de procesos varios; de 2,03 y 1,8 para la planta de conformados y de 1,86; 3,13 y 1,80 para embutidos, lo que demuestra el carácter biodegradable de estas aguas y la posibilidad de ser tratadas con un sistema biológico de depuración.

Diferencias similares se reportaron al hacer el análisis de los indicadores NT, PT y grasas y aceites. Tanto las concentraciones de NT (174 mg/L) como de grasas y aceites (947 mg/L) fueron más elevadas en la planta de conformados, no así el PT, que reportó valores máximos de 59 mg/L en la planta de procesos varios.

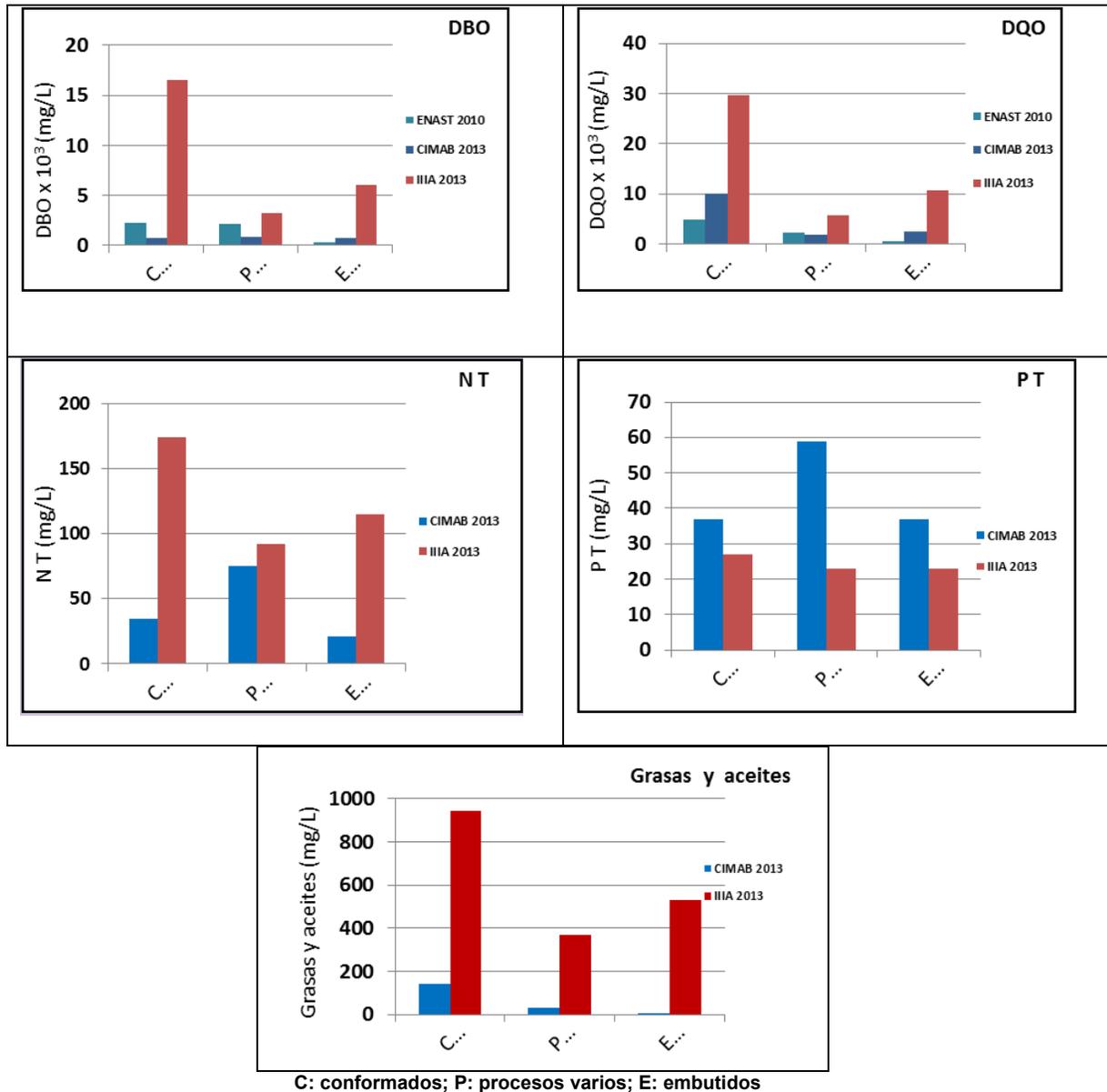


Figura 6. Valores promedios de análisis químicos realizados a las aguas residuales en las tres plantas de PRODAL

Resultados relativos a la carga orgánica

Al tener las descargas de los tres salones valores diferentes, se precisa de un balance de masa para poder calcular el valor promedio de DBO_5 ; de ahí que se usaran los indicadores que se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados del balance de masa realizado con los valores de las tres plantas de PRODAL

Planta	DBO_5 (mg/L)	Q (L/s)
Procesos varios	3 200	4,84
Conformados	16 500	0,26
Embutidos	6 000	0,08

Utilizando la fórmula (2) se determinó el valor promedio de la DBO_5 que fue de 4000 mg/L aproximadamente, concentración que se propondrá para la gestión de la planta de tratamiento que prevé instalarse en PRODAL.

$$DBO_5 = \frac{\sum_1^n DBO_{5_n} * Q_n}{\sum_1^n Q_N} \quad (2)$$

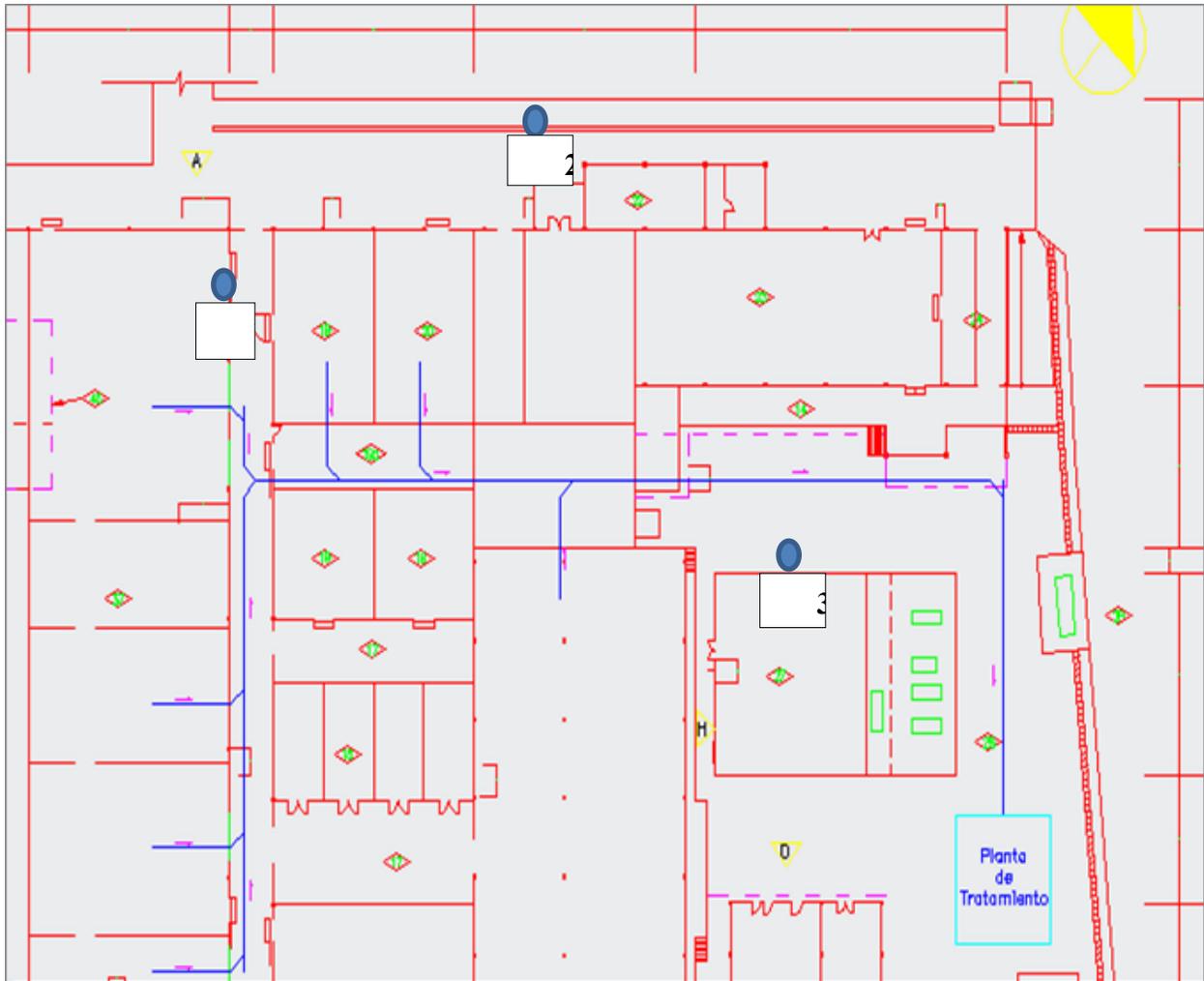
donde: DBO_5 : demanda bioquímica de oxígeno, Q : caudal.

Propuestas para un trazado de redes sanitarias

Teniendo en cuenta que los sistemas de drenaje para las aguas residuales existentes en la industria no cumplen con las características normativas que estas deben tener, se propone un trazado de redes sanitarias que conduzcan los vertidos desde varios puntos de salida hasta la planta de tratamiento, que sería la disposición final de estas aguas (figura 7).

Hay que tener en cuenta que para la elaboración de un proyecto de alcantarillado serían necesarios datos tales como: población de diseño, el levantamiento topográfico de toda el área que abarcará el sistema, el caudal de salida de las aguas de vertimiento y la composición de las mismas; además la investigación geológica de las zonas por donde pasarán los conductos que deben ser cerrados y de materiales que resistan la agresividad de las aguas que pasarán por ellos.

Por otro lado, se deberá prever el desarrollo que tendrá la zona en cuestión en lo relativo a nuevas industrias, comercios, etc. (Diseño alcantarillado, 2009).



— Red sanitaria

● Puntos de vertimiento actual: 1- conformados 2- embutidos 3- procesos varios

Figura 7. Propuesta para el trazado de redes sanitarias en PRODAL

CONCLUSIONES

- Las aguas residuales de PRODAL se clasifican como biodegradables, de ahí que sean susceptible de ser tratadas con sistemas biológicos.
- Los análisis fisico-químicos realizados en las aguas residuales que fluyen en el exterior de los salones de producción son más elevados que los límites expuestos en la norma NC-TS 360: 2004 para ser vertidos a la Bahía de la Habana.
- En PRODAL no se cuenta con una debida red exterior que evacue los residuales hasta un sistema de tratamiento único.

RECOMENDACIONES

- Tomar en consideración los valores de caracterización aquí expuestos, para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales que debe ser implementada en PRODAL.
- Realizar levantamientos, mantenimientos y reparaciones en las redes existentes en la empresa procesadora de alimentos PRODAL.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto de Investigaciones de la Industria Alimentaria (IIIA) por la realización de las muestras de laboratorio, correspondientes al año 2013, así como al personal técnico, administrativo y de dirección de PRODAL por el apoyo brindado en todos los sentidos.

REFERENCIAS

- APHA** (1998). "Standard Methods for the examination of water and wastewater", Ed. Interamericana S. A., Nueva York.
- Berro, T.** (2005). "Medio Ambiente y Desarrollo", Agencia de Medio Ambiente, Informe Técnico, Cuba.
- Chabalina, L. y J. Beltrán** (1999). "Contaminación marina en bahías y zonas costeras de Cuba y del Gran Caribe", Memorias Congreso Bahía Habana, Vol 1, La Habana, Cuba: 25-32
- CITMA** (2009). "Sistema de Gestión Ambiental Empresarial", Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Agencia de Medio Ambiente, Documentos CIGEA, Cuba.
- Corral, A., M. Yera, S. Arron, C. Carmenate, R. Hernández, I. Danay y I. Noy** (2012). "Empresa Productora de Alimentos Argelio Reyes Aguilar PRODAL". Diagnóstico Ambiental. Ciudad de la Habana, Cuba.
- Da Cámara, L., M. Hernández y L. Paz** (2014). "Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias". Miniproyecto de Ingeniería Química, extraído de <http://es.scribd.com/doc/53385658/manual-de-diseno-para-plantas-de-tratamiento-de-aguas> en abril 2014.
- Díaz, C.** (2012). "Propuesta para la implementación de un sistema de "Producciones más limpias" en la industria láctea cubana", Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones Hidráulicas, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana.
- Diseño alcantarillado** (2009). "Parámetros y criterios de diseño para el cálculo de alcantarillados. Versión 5". Diseño de alcantarillado, extraído de: <http://es.scribd.com/doc/24569285/Diseno-Alcantarillado> en junio 2014
- NC-TS: 360: 2004** (2004). "Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones", Oficina Nacional de Normalización, Cuba.
- PRODAL** (2012). "Estudio de pre-factibilidad de Planta de Conformados", IT: PRODAL 12_1, La Habana, Cuba, Diciembre.