



## TÍTULO

**USO DEL EXTRACTO DE FIQUE (FURCRAEA SP.) COMO  
COADYUVANTE DE COAGULACIÓN EN EL TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES Y COMO  
DISRUPTOR DEL PROCESO DE NITRIFICACIÓN PARA LA  
RECUPERACIÓN DE CUERPOS DE AGUA  
HIPEREUTROFIZADOS**

## AUTOR

**William Antonio Lozano Rivas**

**Esta edición electrónica ha sido realizada en 2015**

Directores	Dr. José Miguel Rodríguez Maroto (Universidad de Málaga) Dr. César Gómez Lahoz (Universidad de Málaga)
Tutor	Dr. Edwin Humberto González Rojas (Universidad Antonio Nariño)
Instituciones	Universidad Internacional de Andalucía ; Universidad de Huelva
Programa de Doctorado	Programa Interuniversitario de Doctorado en Biotecnología
ISBN	978-84-7993-845-1
©	William Antonio Lozano Rivas
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha de lectura	25/07/2014



## Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas

### Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

### Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciadador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
  - **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
  - **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
- 
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
  - *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
  - *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*



## **TÍTULO**

**USO DEL EXTRACTO DE FIQUE (*Furcraea sp.*) COMO COADYUVANTE DE  
COAGULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
INDUSTRIALES Y COMO DISRUPTOR DEL PROCESO DE NITRIFICACIÓN  
PARA LA RECUPERACIÓN DE CUERPOS DE AGUA  
HIPEREUTROFIZADOS.**

## **AUTOR**

**William Antonio Lozano Rivas**



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA**

**Sede Iberoamericana de La Rábida**

Programa Interuniversitario de Doctorado en Biotecnología

2007-2009

**USO DEL EXTRACTO DE FIQUE (*Furcraea sp.*) COMO  
COADYUVANTE DE COAGULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES Y COMO DISRUPTOR DEL  
PROCESO DE NITRIFICACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE  
CUERPOS DE AGUA HIPEREUTROFIZADOS.**

Tesis Doctoral elaborada por:

**WILLIAM ANTONIO LOZANO RIVAS**

Directores:

**Dr. JOSE MIGUEL RODRÍGUEZ MAROTO**

**Dr. CÉSAR GÓMEZ LAHOZ**

Tutor:

**Dr. EDWIN HUMBERTO GONZÁLEZ ROJAS**

La Rábida, España

2011

## AGRADECIMIENTO

Al Señor Jesús, quien da a todos, vida y aliento y todas las cosas.

El doctorando agradece a la Diputación de Huelva y a la Universidad Internacional de Andalucía, por la beca otorgada y la grata y enriquecedora estancia en su campus de La Rábida.

A los profesores de la Universidad de Málaga por el ingente conocimiento compartido con cariño y generosidad.

Al Doctor José Miguel Rodríguez Maroto y al Doctor César Gómez Lahoz, directores de la Fase de Investigación y de la elaboración de la Tesis Doctoral, por su dedicación, deferencia, cariño y gran conocimiento... son un ejemplo del ser y el quehacer de un Doctor. Así también, al tutor, Doctor Edwin González, por el apoyo brindado y la diligencia para atender las inquietudes.

A la Universidad Antonio Nariño de Bogotá D.C., Colombia, la cual a través de la Dirección Nacional de Investigaciones y al Programa de Formación de Alto Nivel (PFAN), brindaron al doctorando, el apoyo económico y el tiempo para llevar a cabo esta investigación.

A todos los compañeros de estudio, al biólogo Abraham Fuya, al Ingeniero Diego Escobar por su colaboración en laboratorio, a los profesores de la Universidad de Córdoba, a todos ¡gracias!

## RESÚMEN

El presente documento, el cual se constituye en la Tesis Doctoral del que suscribe, hace parte de la línea de investigación en Biotecnología, Métodos y Procesos No Convencionales en Ingeniería, del Grupo de Investigación GRESIA, de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Antonio Nariño de Bogotá D.C., Colombia.

El doctorando, actualmente y desde hace casi cuatro años, es catedrático e investigador de dicha facultad y recibió apoyo económico para efectuar sus estudios en el Doctorado Interuniversitario en Biotecnología de la Universidad Internacional de Andalucía, en asocio con la Universidad de Málaga y la Universidad de Córdoba en España.

El trabajo se centra en el hallazgo de aplicaciones alternativas, de tipo ambiental, para el zumo extraído de la hoja de fique (*Furcraea sp.*), como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales y como disruptor del proceso de nitrificación con fines de recuperación de cuerpos de agua hipereutrofizados.

El fique es una planta fibrosa perteneciente a la familia *Agavaceae*, que crece en América Tropical, incluyendo la región andina de Colombia, representando casi el 1% del área total de cultivos permanentes en este país. Durante siglos, el fique fue empleado como fibra, llamada en Colombia “cabuya” con la que se fabricaron empaques de productos agrícolas (papa y café, principalmente) y artesanías que incluyen carteras, zapatos, cinturones, etc. Desafortunadamente, en la actualidad, el fique resulta poco rentable desde la aparición de fibras plásticas, las cuales han desplazado su uso; adicional a ello, cabe resaltar que las fibras sólo representan el 4% del peso de las hojas del fique y que el 96% restante (que corresponde en mayor proporción al zumo) es desechado como un residuo, generando graves impactos sobre el suelo y sobre los ecosistemas hídricos, en la medida en que las sustancias que componen este zumo, son altamente tóxicas para peces y otros organismos acuáticos.

Dado que el cultivo del fique, a pesar de los antecedentes presentados, es aún el único medio de subsistencia para cerca de doce mil (12.000) familias en Colombia, las cuales viven por debajo de la línea de miseria, este país se viene investigando acerca del aprovechamiento integral de la planta. Esta investigación pretende apoyar la búsqueda de usos alternativos para el zumo del fique, que impulse la cadena agroproductiva de esta planta, en beneficio de quienes dependen de su cultivo y colaborando, además, en la prevención del desperdicio de grandes cantidades de materia prima (representada en el zumo de la hoja) de alta toxicidad e ingente demanda de oxígeno para su degradación.

Las saponinas, principal agente activo en el zumo de esta planta, son glucósidos anfifílicos que actúan como agentes surfactantes y tensoactivos. En el presente trabajo, se hace uso de estas propiedades con el fin de remover contaminantes hídricos mediante la actuación de los grupos hidrófilo e hidrófobo, los cuales estaría en la capacidad de formar micelas que encapsulen estos compuestos. Adicionalmente, se ha comprobado que las saponinas pueden ser usadas como agente secuestrante de compuestos amoniacaes en el interior del tracto intestinal de los animales. Esta característica fue evaluada para determinar su capacidad de disrupción de la nitrificación, evitando la conversión nitrogenácea del amonio en nitratos, en los ecosistemas acuáticos de tipo léntico.

En el laboratorio de Biotecnología Ambiental de la Universidad Antonio Nariño, en Bogotá D.C., Colombia, creado y dotado a partir de este trabajo, se efectuó la investigación entre los meses de noviembre de 2009 y diciembre de 2010. La investigación se dividió en tres (3) fases: (a) una fase preliminar en donde se evaluaron alternativas de extracción del zumo de la hoja del fique y se hizo la caracterización fisicoquímica de su zumo crudo y fermentado. (b) una fase consistente en evaluar el potencial de uso de las sustancias extraídas del zumo de las hojas de fique como coadyuvante de coagulación para el mejoramiento del tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales industriales, y (c) una última fase que evaluó el potencial de uso de las sustancias extraídas en el zumo de las hojas de fique como disruptor de la nitrificación para la recuperación de cuerpos de agua hipereutrofizados.

En la primera fase se evaluaron varios métodos de extracción, evaluando los rendimientos obtenidos del volumen extraído, respecto de la masa inicial de la hoja. Así mismo, se caracterizaron algunos parámetros fisicoquímicos del zumo extraído, tanto

crudo como fermentado. Esta fermentación se usó para separar del zumo del fique extraído, las geninas (mono y di-glicósidos) en el decantado, y el agua con ácidos grasos en el sobrenadante.

Para la segunda fase se efectuaron pruebas de tratabilidad (coagulación-floculación-sedimentación) de cuatro (4) tipos de agua residual industrial (pastelería, industria cárnica, lixiviados y tintorería), comparando los resultados fisicoquímicos del agua tratada, usando sólo el coagulante y la mezcla de coagulante y zumo de fique fermentado como coadyuvante.

En la tercera fase, se hizo una propuesta de agua residual sintética (ARS) con la que se trabajaron los ensayos de interrupción de la nitrificación, semejando una solución acuosa rica en nutrientes, y se evaluaron las concentraciones finales de formas oxidadas de nitrógeno (nitritos y nitratos) en las pruebas. Estos ensayos fueron realizados en seis reactores SBR de fangos activos de 1 litro de capacidad. Para ello, se estableció un periodo de adaptación de la biomasa inoculada (lodos aerobios del humedal Tibanica, uno de los 13 humedales de la ciudad de Bogotá D.C.) y se estableció el tiempo conversión nitrogenácea con el que se determinó el tiempo de cada una de las pruebas.

Los resultados obtenidos mostraron que, a nivel de laboratorio, una combinación del licuado y molido de la hoja de fique, permite obtener los rendimientos más altos de extracción del zumo; también, que la fermentación del zumo de fique reduce en más de un 80%, los valores de demanda química de oxígeno (DQO) y consecuentemente, de su poder contaminante. De las pruebas de uso del zumo de fique como coadyuvante, se encontró que éste tiene capacidad de eliminación de sustancias contaminantes presentes en las aguas residuales industriales y que presenta mayor efectividad cuando reacciona con aguas que presentan altos contenidos de materia orgánica como las aguas de pastelería, las de industria cárnica y lixiviados. No se encontraron efectos del zumo de fique como secuestrante de compuestos amoniacales que permitieran reducciones significativas de formación de nitritos y nitratos, bajo las condiciones evaluadas.

## ABSTRACT

This document, which is the Doctoral Thesis of the undersigned, is part of the research line in Biotechnology, Methods and Non-conventional engineering Processes of the Research Group called GRESIA, of the Environmental Engineering Faculty at the Antonio Nariño University in Bogota D.C., Colombia.

The PhD student, now and for nearly four years, has been a professor and researcher of this faculty at the Antonio Nariño University. He has received the financial support to carry out his doctoral studies in Biotechnology at the International University of Andalusia, in partnership with the University of Malaga and University of Cordoba in Spain.

The work focuses on finding environmental alternative's uses for the extracted juice from sisal leaf (*Furcraea sp.*) as an adjuvant of coagulation in the treatment of industrial wastewater and as disruptor for nitrification process which aims to recover hypereutrophic waters systems.

The sisal is a fibrous plant belonging to the family Agavaceae; it grows in Tropical America, including the Andean region of Colombia, representing almost 1% of the total area of permanent crops in this country. For centuries, the sisal fiber, called "Cabuya" in Colombia, was employed for the packing of agricultural products (like potatoes and coffee, mainly) and for crafting; including handbags, shoes, belts. Unfortunately, at present, sisal is not profitable since the advent of plastic fibers, which have replaced their use; in addition to this, it should be noted that the fibers represent only 4% by weight of sisal leaves and the 96 % remaining (which corresponds to a greater proportion of juice) is discarded as a waste, causing serious impacts on soil and water ecosystems, due the substances that make up the juice are highly toxic to fish and other aquatic organisms.

Because the cultivation of sisal, despite the facts presented, it is still the only means of subsistence for about twelve thousand (12.000) families in Colombia, who live below the poverty line, this country has been researching the comprehensive use of the plant. This research aims to support the search for alternative uses of sisal juice, to boost the agricultural production chain of this plant, the benefit for those who depend on it and also for preventing the waste of large quantities of highly toxic raw material (represented in the juice of the leaf) which has enormous oxygen demand for its degradation.

The saponins, the principal active agent in the juice of this plant, are glycosides that act as amphiphilic surfactants. In this thesis, this characteristic was used in order to remove contaminants from water by the action of hydrophilic and hydrophobic groups which would have the ability to form micelles that encapsulate these compounds. Additionally, it has been shown that saponins can be used as sequestering agent for ammonium compounds inside the intestinal tract of animals. This feature was evaluated measuring the ability of disruption of nitrification by preventing the conversion of ammonium to nitrate in aquatic lentic ecosystems.

At the Environmental Biotechnology Laboratory of the Universidad Antonio Narino in Bogota, Colombia, which was created and provided from this work, this research was conducted between the months of November 2009 and December 2010. The research was divided into three (3) phases: (a) a preliminary phase where extraction alternatives of juice from the leaf of sisal were evaluated and the physicochemical characterization of crude and fermented juice was determined. (b) a phase of evaluating the potential use of the substances extracted from the juice of the leaves of sisal as an adjuvant of coagulation to improve the physicochemical treatment of industrial wastewater, and (c) a final phase which evaluated the potential use of substances in the juice extracted from the leaves of sisal as disruptor of nitrification for the recovery of hypereutrophic water bodies.

In the first phase, several methods for juice extraction were evaluated based on the volume extracted for the initial mass of the leaf. Also, some physicochemical parameters of the juice, both raw and fermented, were characterized. This fermentation was used to separate the genin (mono and di-glycosides) in the decanted zone and the fatty acids and water in the supernatant.

For the second phase, treatability tests were conducted (coagulation-flocculation-sedimentation) for four (4) types of industrial wastewater (pastry, meat industry, landfill leachate and textile industry), comparing the physicochemical results of treated water, using just coagulant and a mixture of coagulant plus fermented juice of sisal as an adjuvant of coagulation.

In the third phase, a synthetic wastewater (SWW) formula was proposed. This water was used in the tests of disruption of nitrification and were estimated the final concentrations of oxidized forms of nitrogen (nitrite and nitrates). These tests were conducted in six SBR activated sludge reactors with 1 liter of capacity. For this purpose, a period of adaptation of inoculated biomass (from aerobic sludge of Tibanica wetland, one of the 13 wetlands in the city of Bogotá D.C.) was established, also the oxidation time for each test.

The results obtained showed that, at laboratory level, a combination of shredded (in a blender) and milled sisal leaf, produces the highest amounts of juice. Also, the fermentation of sisal juice can reduce, by more than 80%, the values of chemical oxygen demand (COD) and consequently, his toxicity. From the evidence of use of sisal juice as an adjuvant of coagulation, we found that it is capable of removing pollutants present in industrial wastewater and presents more effectiveness when it reacts with water, which has high organic matter content, like pastry wastewater, meat industry wastewater and landfill leachate. There is no effect of sisal juice as a sequestering agent of ammonium compounds; there was a not significant reduction in the formation of nitrite and nitrate under the evaluated conditions.

## ÍNDICE GENERAL

RESÚMEN .....	4
ABSTRACT .....	7
1. INTRODUCCIÓN .....	17
1.1 El fique, usos y propiedades .....	17
1.2 Planteamiento del problema y justificación .....	26
1.3 Marco teórico y estado del arte .....	32
2. PREGUNTAS E HIPÓTESIS DE TRABAJO .....	39
3. OBJETIVOS .....	40
3.1 Objetivo General .....	40
3.2 Objetivos Específicos .....	40
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	42
4.1 Enfoque y Diseño de la Fase 1 - Extracción, caracterización y fermentación del zumo de fique.....	42
4.2 Enfoque y Diseño de la Fase 2 - Uso del fique ( <i>Furcraea sp.</i> ) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales .....	43
4.3 Enfoque y Diseño de la Fase 3 - Uso del fique ( <i>Furcraea sp.</i> ) como disruptor del proceso de nitrificación, encaminado a la recuperación de cuerpos de agua hipereutrofizados .....	44
4.3 Contexto y participantes .....	46
4.4 Variables e instrumentos de medición .....	47
5. FASE 1 - PRELIMINAR - EXTRACCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y FERMENTACIÓN DEL ZUMO DE FIQUE .....	49
5.1 Extracción y Caracterización del zumo de la hoja de fique.....	49
5.1.1 Extracción.....	49
5.1.2 Caracterización.....	50
5.2 Fermentación del zumo de la hoja de fique .....	53
5.3 Análisis de datos .....	54

6. FASE 2 - EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE USO DE LAS SUSTANCIAS EXTRAÍDAS DE LA PULPA DE LAS HOJAS DEL FIQUE ( <i>Furcraea sp.</i> ) COMO COADYUVANTE DE COAGULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES. ....	56
6.1 Tipos de Aguas Residuales Industriales seleccionadas .....	56
6.2 Determinación de la dosis óptima de coagulante químico .....	57
6.3 Determinación de la dosis óptima de zumo de fique .....	60
6.4 Estudio comparativo del efecto del coagulante químico solo vs mezcla de coagulante químico con coadyuvante (zumo de fique).....	61
6.5 Análisis de datos .....	61
7. FASE 3 - EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE USO DE LAS SUSTANCIAS EXTRAÍDAS DE LA PULPA DE LAS HOJAS DEL FIQUE ( <i>Furcraea sp.</i> ) COMO DISRUPTOR DEL PROCESO DE NITRIFICACIÓN, ENCAMINADO A LA RECUPERACIÓN DE CUERPOS DE AGUA HIPEREUTROFIZADOS .....	62
7.1 Tipo de agua empleada para los ensayos .....	62
7.1.1 Constituyentes del Agua Residual Sintética (ARS) .....	65
7.1.2 Preparación del Agua Residual Sintética (ARS).....	66
7.1.3 Características del Agua Residual Sintética (ARS) empleada .....	67
7.2 Adaptación de la biomasa en los reactores SBR para ensayos de disrupción de la nitrificación .....	68
7.3 Estimación del tiempo medio de aparición de formas oxidadas de nitrógeno por nitrificación .....	70
7.4 Operación de los reactores SBR para las pruebas de disrupción de la nitrificación .....	70
8. RESULTADOS .....	72
8.1 Resultados de la Fase 1 - Preliminar - Extracción, caracterización y fermentación del zumo de fique.....	72
8.1.1 Extracción del zumo de la hoja de fique .....	72
8.1.2 Caracterización de pH y DQO para zumo de fique crudo y fermentado decantado.....	75
8.1.3 Fermentación del zumo de la hoja de fique.....	77
8.1.4 Caracterización del pH, DQO y conductividad (leída como TDS) de las fases sobrenadante y decantado del zumo de fique fermentado.....	77
8.2 Resultados de la Fase 2 - Evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas de la pulpa de las hojas del fique ( <i>Furcraea sp.</i> ) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales .....	79
8.2.1 Aguas Residuales de Pastelería y Repostería. Pruebas de Tratabilidad .....	79

8.2.2 Lixiviados de Relleno Sanitario. Pruebas de Tratabilidad .....	82
8.2.3 Aguas Residuales de Tintorería. Pruebas de Tratabilidad.....	85
8.2.4 Aguas Residuales de Industria de Cárnicos. Pruebas de Tratabilidad .....	87
8.3 Resultados de la Fase 3 - Evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas de la pulpa de las hojas del fique ( <i>Furcraea sp.</i> ) como disruptor del proceso de nitrificación, encaminado a la recuperación de cuerpos de agua hipereutrofizados .....	91
8.3.1 Comportamiento temporal de la conversión del nitrógeno por nitrificación .	91
8.3.2 Resultados de las pruebas de disrupción de la nitrificación.....	92
9. DISCUSIÓN.....	96
9.1 Discusión de la Fase 1 - Preliminar - Extracción, caracterización y fermentación del zumo de fique.....	96
9.1.1 Extracción y caracterización del zumo del fique .....	96
9.2 Discusión de la Fase 2 - Evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas de la pulpa de las hojas del fique ( <i>Furcraea sp.</i> ) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales.....	101
9.2.1 Efecto del decantado del zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación en aguas residuales de industrias de pastelería y repostería .....	101
9.2.2 Efecto del decantado de zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación en lixiviados de rellenos sanitarios .....	103
9.2.3 Efecto del decantado de zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación en aguas residuales de industrias de tintorería.....	105
9.2.4 Efecto del decantado de zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación en aguas residuales de industrias cárnicas .....	107
9.3 Discusión de la Fase 3 - Evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas de la pulpa de las hojas del fique ( <i>Furcraea sp.</i> ) como disruptor del proceso de nitrificación, encaminado a la recuperación de cuerpos de agua hipereutrofizados .....	109
9.3.1 Comportamiento temporal de la aparición de formas oxidadas de nitrógeno, por nitrificación en un reactor SBR.....	109
9.3.2 Efecto del decantado de zumo fermentado de fique sobre diferentes parámetros, para dosis entre 1 y 5 ppm.....	111
9.3.3 Efecto del decantado de zumo fermentado de fique sobre diferentes parámetros, para dosis entre 10 y 50 ppm.....	113
9.3.4 Efecto del decantado de zumo fermentado de fique sobre diferentes parámetros, para dosis entre 100 y 500 ppm.....	114
9.3.5 Efecto del decantado de zumo fermentado de fique sobre diferentes parámetros, para dosis entre 1000 y 5000 ppm.....	117

10. CONCLUSIONES.....	121
10.1 Conclusiones de la Fase 1 -Preliminar- Extracción, caracterización y fermentación del zumo de fique.....	121
10.2 Conclusiones de la Fase 2 - Evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas de la pulpa de las hojas del fique ( <i>Furcraea sp.</i> ) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales.....	122
10.3 Conclusiones de la Fase 3 - Evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas de la pulpa de las hojas del fique ( <i>Furcraea sp.</i> ) como disruptor del proceso de nitrificación, encaminado a la recuperación de cuerpos de agua hipereutrofizados.....	123
11. BIBLIOGRAFÍA.....	124
ANEXO 1. Análisis Estadístico de los diferentes métodos de extracción del zumo de la hoja del fique.....	130
ANEXO 2. Análisis Estadístico para caracterización del pH del zumo de fique.....	133
ANEXO 3. Análisis Estadístico para caracterización del DQO del zumo de fique.....	136
ANEXO 4. Análisis Estadístico para caracterización de los TDS del zumo de fique.....	138
ANEXO 5. Resultados y Análisis Estadístico A.R. Pastelería.....	140
ANEXO 6. Resultados y Análisis Estadístico Lixiviados.....	145
ANEXO 7. Resultados y Análisis Estadístico A.R. Tintorería.....	150
ANEXO 8. Resultados y Análisis Estadístico A.R. Industria Cárnica.....	155
ANEXO 9. Resultados y Análisis Estadístico para las pruebas de disrupción de la nitrificación con dosis entre 1 y 5 ppm.....	160
ANEXO 10. Resultados y Análisis Estadístico para las pruebas de disrupción de la nitrificación con dosis entre 10 y 50 ppm.....	165
ANEXO 11. Resultados y Análisis Estadístico para las pruebas de disrupción de la nitrificación con dosis entre 100 y 500 ppm.....	171
ANEXO 12. Resultados y Análisis Estadístico para las pruebas de disrupción de la nitrificación con dosis entre 1000 y 5000 ppm.....	177

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables de investigación e Instrumentos de medición. ....	47
Tabla 2. Criterio de selección del tipo de coagulante según pH de la muestra. ....	57
Tabla 3. Velocidades de mezcla y tiempos para cada fase de la prueba de tratabilidad. ....	58
Tabla 4. Compuestos orgánicos presentes en aguas residuales domésticas en valores porcentuales (Torres <i>et al.</i> , 1996. Modificada por el autor). ....	63
Tabla 5. Composición del sustrato sintético propuesto por Torres <i>et al.</i> (1996) para preparar agua residual sintética. ....	64
Tabla 6. Composición del sustrato sintético propuesto por la U. de Valencia (2000) para preparar agua residual sintética. ....	65
Tabla 7. Composición del sustrato sintético propuesto por la Norma alemana DIN 38412 para preparar agua residual sintética. ....	65
Tabla 8. Composición del Agua Residual Sintética empleada. ....	66
Tabla 9. Características del agua residual sintética. ....	67
Tabla 10. Resultados iniciales de extracción del zumo de la hoja de fique por el Método 2. ....	73
Tabla 11. Resultados finales de extracción del zumo de la hoja de fique por el Método 2. ....	73
Tabla 12. Resultados finales de extracción del zumo de la hoja de fique por el Método 3. ....	74
Tabla 13. Rendimiento de extracción de zumo de fique para varias pruebas. ....	75
Tabla 14. pH del zumo de fique crudo para varias muestras. ....	75
Tabla 15. pH del zumo de fique fermentado decantado para varias muestras. ....	76
Tabla 16. DQO zumo crudo vs. zumo fermentado decantado para varias muestras. ....	76
Tabla 17. Rendimiento porcentual de la fermentación del zumo de fique crudo. ....	77
Tabla 18. pH del decantado vs. del sobrenadante del zumo de fique fermentado. ....	77
Tabla 19. DQO del decantado vs. del sobrenadante del zumo de fique fermentado. ....	78
Tabla 20. TDS del zumo del fique crudo vs. zumo del fique fermentado decantado y fermentado sobrenadante. ....	78
Tabla 21. Características fisicoquímicas del agua residual bruta de la industria de pastelería y repostería. ....	79
Tabla 22. Resultados de coagulación química para diferentes dosis de cloruro férrico en agua residual bruta de la industria de pastelería y repostería. ....	79

Tabla 23. Resultados del coadyuvante de coagulación en agua residual bruta de la industria de pastelería y repostería. ....	80
Tabla 24. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en agua residual bruta de la industria de pastelería y repostería. Primera serie. ....	81
Tabla 25. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en agua residual bruta de la industria de pastelería y repostería. Segunda serie. ....	81
Tabla 26. Características fisicoquímicas de los lixiviados del relleno sanitario. ....	82
Tabla 27. Resultados de coagulación química para diferentes dosis de cloruro férrico en lixiviados del relleno sanitario. ....	82
Tabla 28. Resultados del coadyuvante de coagulación en lixiviados del relleno sanitario. ....	83
Tabla 29. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en lixiviados del relleno sanitario. Primera serie. ....	84
Tabla 30. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en lixiviados del relleno sanitario. Segunda serie. ....	84
Tabla 31. Características fisicoquímicas del agua residual bruta de tintorería. ....	85
Tabla 32. Resultados de coagulación química para diferentes dosis de sulfato de aluminio en agua residual bruta de tintorería. ....	85
Tabla 33. Resultados del coadyuvante de coagulación en agua residual bruta de tintorería. ....	86
Tabla 34. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en agua residual bruta de tintorería. Primera serie. ....	86
Tabla 35. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en agua residual bruta de tintorería. Segunda serie. ....	87
Tabla 36. Características fisicoquímicas del agua residual bruta de la industria de cárnicos. ....	87
Tabla 37. Resultados de coagulación química para diferentes dosis de sulfato de aluminio en agua residual bruta de la industria de cárnicos. ....	88
Tabla 38. Resultados del coadyuvante de coagulación en agua residual bruta de la industria de cárnicos. ....	89
Tabla 39. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en agua residual bruta de la industria de cárnicos. Primera serie. ....	90
Tabla 40. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en agua residual bruta de la industria de cárnicos. Segunda serie. ....	90
Tabla 41. Análisis temporal de la conversión del nitrógeno amoniacal por nitrificación. ....	91
Tabla 42. Resultados de las pruebas de interrupción de nitrificación para dosis de zumo de fique entre 1 y 5 ppm. ....	92
Tabla 43. Resultados de las pruebas de interrupción de nitrificación para dosis de zumo de fique entre 10 y 50 ppm. ....	93
Tabla 44. Resultados de las pruebas de interrupción de nitrificación para dosis de zumo de fique entre 100 y 500 ppm. ....	94

Tabla 45. Resultados de las pruebas de disrupción de nitrificación para dosis de zumo de fique entre 1000 y 5000 ppm. ....	95
Tabla 46. Valores medios de los resultados de tratamiento con coagulante ( $\text{FeCl}_3$ ) y con coagulante y coadyuvante para aguas residuales de industria de pastelería y repostería. ....	140
Tabla 47. Valores medios de los resultados de tratamiento con coagulante ( $\text{FeCl}_3$ ) y con coagulante y coadyuvante para lixiviados. ....	145
Tabla 48. Valores medios de los resultados de tratamiento con coagulante ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) y con coagulante y coadyuvante para en aguas residuales de industrias de tintorería. ....	150
Tabla 49. Valores medios de los resultados de tratamiento con coagulante ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) y con coagulante y coadyuvante para en aguas residuales de industrias de cárnicos. ....	155

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se presenta, a manera de Tesis Doctoral, la actividad investigativa realizada por el alumno que suscribe, en el programa Interuniversitario de Doctorado en Biotecnología. El programa es coordinado por la Universidad Internacional de Andalucía, en asocio con la Universidad de Málaga y la Universidad de Córdoba, bajo la dirección de los Doctores Victoriano Valpuesta Fernández y José Becerra Ratia.

La presente memoria es el resultado de cuatro (4) años de trabajo comprendidos entre 2007 y 2011, durante los cuales se han completado los periodos de docencia, investigación y la elaboración de Tesis Doctoral. Esta memoria ha sido elaborada para dar cumplimiento a los requisitos establecidos por el Real Decreto 778/1998, de 30 de abril, por el que se regula el tercer ciclo de estudios universitarios, la obtención y expedición del título de Doctor y otros estudios de postgrado y por el Reglamento de Estudios Oficiales de Postgrado de la Universidad Internacional de Andalucía (Aprobado por Acuerdo de Junta de Gobierno del 17 de octubre de 2007).

### 1.1 El fique, usos y propiedades

El fique es una planta fibrosa que crece en varias regiones de América tropical, perteneciente a la familia *Agavaceae*, siendo los géneros *Agave* y *Furcraea* los más representativos de esta familia. Aunque se presenta, específicamente, en las regiones

andinas de Colombia y Venezuela, se encuentra de forma natural desde el sur de México hasta Brasil (Casierra-Posada, Pérez, & Portilla, 2006). En Colombia, se denomina fique a las plantas pertenecientes al género *Furcraea* que comprende, aproximadamente, unas 20 especies que crecen de manera espontánea por todo el país y se cultiva en las zonas andinas tropicales (Martínez & Pacheco, 2006).

En Colombia, el cultivo del fique participó con un 0,07% en la valoración total de la producción agrícola en 2004. El área cultivada varió entre 15388 a 19813 ha entre 1994 y 2009 (FINAGRO, 2011). Para el 2008, se estimó que de las 20893 hectáreas sembradas, el 31,6% se cultivaron en el Cauca, 34,9% en Nariño y 18,2% en Santander (CADEFIQUE, 2008). El área de cultivo de fique en Colombia representa el 0,83% del área total de cultivos permanentes y el 0,46% del área sembrada en Colombia (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] y Observatorio Agrocadenas Colombia, 2006).



Foto 1. Fique – Borde de Oro (*Furcraea castilla*). Fuente: <http://concursos.colombiaaprende.edu.co>

Por ser un cultivo de carácter permanente y tropical, el fique sólo prevalece en lugares donde predominen las condiciones del trópico durante todo el año. Gracias a que sus raíces se extienden, le es fácil conseguir agua y almacenarla en sus hojas, y sus tallos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] y Observatorio Agrocadenas Colombia, 2006). En este sentido, las condiciones climáticas óptimas para su plantación

comercial son: temperatura entre los 19 y 23 grados centígrados, altura entre 1300 y 1900 metros sobre el nivel del mar (msnm); humedad relativa entre el 50 y 70%; precipitación de 1000 a 1600 mm anuales y una luminosidad promedio de 5 a 6 horas diarias (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT] y Cadena Productiva Nacional del Fique [CADEFIQUE], 2006). Es importante mencionar que se trata de una planta rústica adaptable a diferentes suelos, al crecer en terrenos semidesérticos se ha ganado la reputación de esterilizar el suelo, cuando en realidad ocurre todo lo contrario puesto que es una planta rehabilitadora, su sistema radicular es rico en nitrógeno. No obstante, para ser un cultivo rentable, debería sembrarse en suelos sillico arcillosos y afines, de textura mediana, de buena porosidad, que facilite su oxigenación, buen drenaje, tanto externo como interno, con un pH que va de 5,5 a 7,0 (Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Fomento Económico y Comité Cadena Productiva del Fique, 2000).

El fique ha sido empleado desde hace varios siglos como fuente de fibra, conocida como “*cabuya*” para la fabricación de empaques, lo que ha mantenido un cultivo permanente en Colombia. Actualmente, la cabuya se emplea como empaque de productos agrícolas como papa (patata) y café, y también para la fabricación de artesanías; no obstante, en los últimos años se le reconoce, además, como un producto vegetal con alto potencial en la generación de beneficios ambientales, empleo e importantes ingresos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT] y Cadena Productiva Nacional del Fique [CADEFIQUE], 2006).

A pesar del, relativamente, amplio uso de la cabuya, su cultivo ha venido disminuyendo por la poca rentabilidad que genera, lo que ha conducido al abandono y la erradicación paulatina de las plantaciones de fique en Colombia (Martínez & Pacheco, 2006). Sólo el 4% de la hoja es aprovechable para la fabricación de cabuya, el 96% restante que corresponde, en su mayor parte, al zumo de la hoja, no es empleado.



Foto 2. Artesanías hechas con fibras de fique (cabuya). Fuente: Artesanías Waka  
(<http://artesaniaswaka.blogspot.com>)

Por esta razón, y considerando que el cultivo del fique es el único medio de subsistencia de numerosas familias campesinas en Colombia, surge la necesidad de encontrar mayores y mejores aplicaciones para los zumos extraídos de la hoja fique. Varias investigaciones recientes han generado expectativas para el aprovechamiento integral de esta planta. En su zumo se han encontrado, entre otros compuestos, precursores de productos hormonales, corticoides, ácidos grasos, azúcares, sulfatos y sustancias con actividad biopesticida (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT], Sociedad de Agricultores de Colombia [SAC] y Federación Nacional de Cultivadores de Fique [Fedefique], 2002).

Las perspectivas de la propuesta de investigación, que se plantea a partir de varias consideraciones del Ingeniero William A. Lozano-Rivas, apoyadas en observaciones empíricas y en algunas aplicaciones comerciales del zumo de plantas similares de la familia Agavácea, es la de emplear el zumo resultante del desfibrado del fique como sustancia para optimizar los procesos de tratamiento de las aguas residuales municipales e industriales, como sustancia para el control de olores y como ayuda en la recuperación de cuerpos de agua degradados por procesos de eutrofización.

Las *saponinas* presentes en el zumo del fique, son glucósidos anfifílicos que se encuentran naturalmente en diversos vegetales y con diferentes estructuras químicas, las cuales tienen la capacidad de producir espumas. Estos compuestos están conformados por dos porciones: gluconas y agluconas. Las gluconas son azúcares, en su mayoría hexosas, pentosas y ácidos urónicos, mientras que las agluconas son conocidas como *sapogeninas* y corresponden a la porción no sacárida (azucarada) de la *saponina*. Las *sapogeninas* son del tipo triterpenoide (C<sub>30</sub>H<sub>48</sub>) o esteroide (C<sub>27</sub>). De manera simple, las *saponinas* pueden definirse como:

Saponinas = Azúcares (gluconas) + sapogeninas (agluconas)

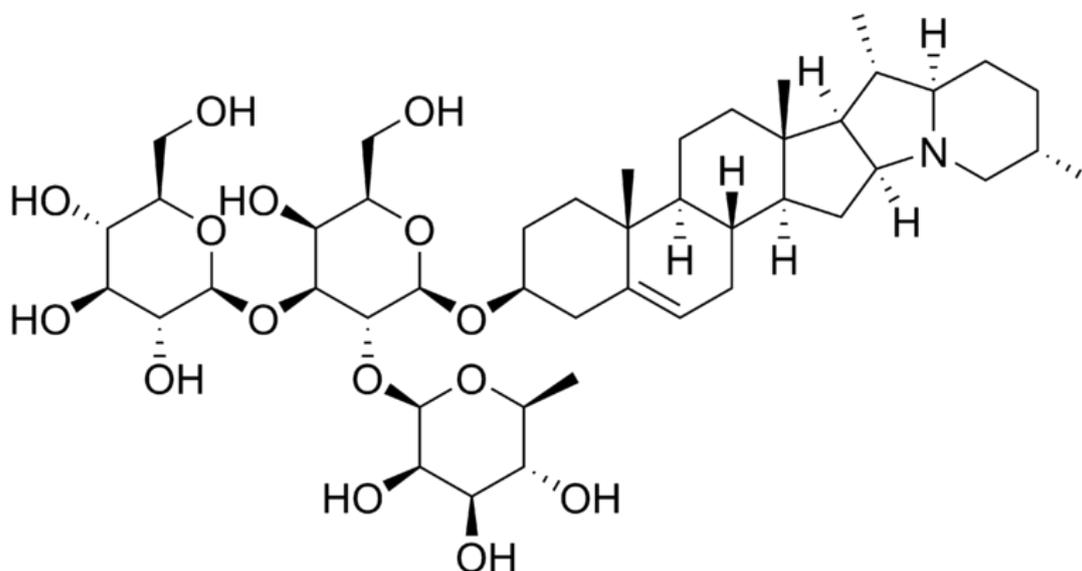


Ilustración 1. Estructura de una saponina (solanina). Tomada de:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Solanine\\_chemical\\_structure.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Solanine_chemical_structure.png) Autor: Cacycle

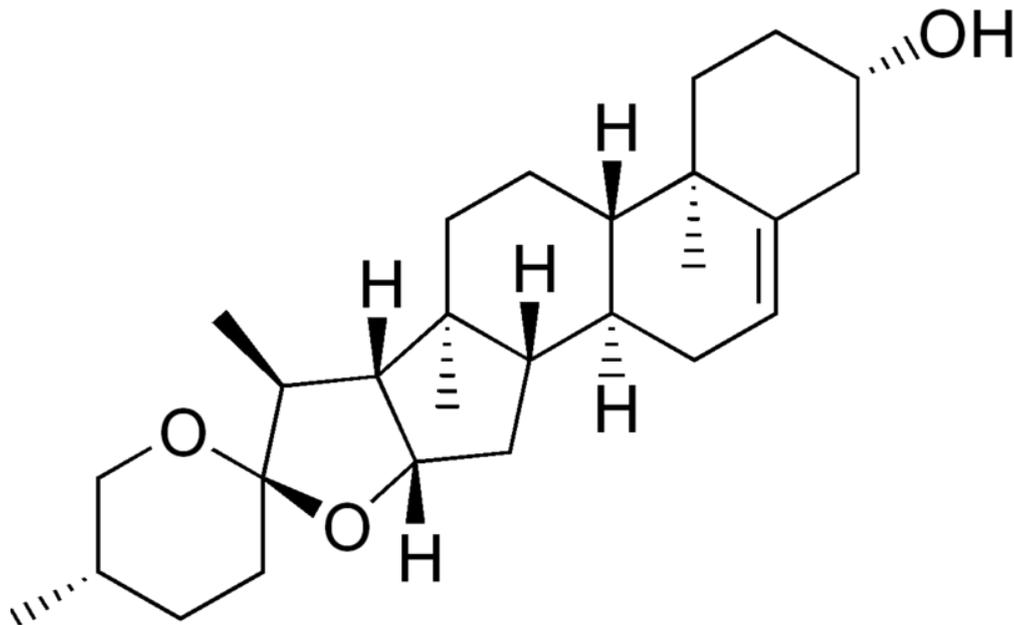


Ilustración 2. Estructura química de una saponina (yamogenina). Tomada de <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Yamogenin.png> Autor: Edgar181

Las *saponinas* tienen propiedades bien conocidas; una de ellas es la de actuar como agente espumante (surfactante) que, disuelto en el agua, tiene la capacidad de reducir su tensión superficial y de actuar como disgregante de las grasas y aceites. Incluso, en la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín (UPBM), en el año 1999 se desarrollaron investigaciones con las que se consiguió fabricar un agente tensoactivo biodegradable (Duque J. & González T., 1999).

El principio activo de las sustancias surfactantes y tensoactivas, podrían ser de utilidad en la remoción de contaminantes hídricos en la medida en que permiten la formación de micelas que encapsulan compuestos, gracias a la actuación de los grupos hidrófilo e hidrófobo. Adicionalmente, se reporta que las saponinas pueden tener afinidad con las proteínas para la formación de complejos susceptibles de ser retirados por sedimentación (Valle Vega & Lucas Florentino, 2000).

Las *saponinas* además han demostrado funcionar bien como agente secuestrante de sustancias amoniacales en el interior del tracto intestinal de los animales (Rowland, Plyler, & Bradley, 1986); (Bastien, 1988) y en la reducción de olores causados por formación de ácido sulfhídrico (Vandergriff, 1995). Esta propiedad es aprovechada en varias granjas de México para disminuir la corrosión de piezas metálicas que ocasionan

las heces de las aves. De igual manera, estas sustancias ofrecidas en pequeñas cantidades en la alimentación del ganado, han provocado un incremento en la producción de leche y en la capacidad de reproducción, gracias a la reducción de amonio que hacen las saponinas en su sangre (Wilson, Overton, & Clark, 1998).

Estas evidencias conducen a considerar la capacidad de las saponinas para reducir la liberación de olor en sistemas anaerobios de tratamiento de aguas residuales (o residuos sólidos orgánicos putrescibles), el cual es uno de los principales problemas de este tipo de reactores (generalmente, cuando no están bien diseñados o no son bien operados), hasta el punto de restringir su uso. A pesar de los elevados rendimientos que caracterizan los reactores anaerobios los molestos olores, que pueden producir estas unidades de tratamiento, son la principal razón para determinar la inconveniencia de su instalación. Si las sustancias presentes en el zumo del fique tuvieran aplicación en la eliminación de olores generados por las instalaciones anaerobias de tratamiento de las aguas servidas y biodigestores de sólidos, se daría un paso adelante en la reducción de las cargas contaminantes de ciudades e industrias en todo el mundo, incentivando la construcción de nuevas estaciones de tratamiento, protegiendo así el recurso hídrico e incentivando el crecimiento de la industria del fique del país.



Foto 3. Calzado hecho con fibras de fique (cabuya). Fuente: Artesanías Waka (<http://artesaniaswaka.blogspot.com>)

Conocida la capacidad de las saponinas extraídas del fique para “secuestrar” los compuestos amoniacales (Rowland, Plyler, & Bradley, 1986), puede inferirse que aplicando cantidades controladas a un cuerpo de agua en estado de eutrofización, muy probablemente, el proceso de nitrificación se bloquearía por desaparición de la materia prima (amonio) de la conversión nitrogenácea, eliminando así la fuente de alimento (nitrato) de las especies vegetales indeseables, las cuales irían disminuyendo paulatinamente, promoviendo la recuperación del cuerpo de agua por involución del proceso de eutrofización.

Otro de los aspectos a investigar en relación con la mejora de los procesos de depuración de las aguas residuales, hace referencia a la capacidad biocida de los zumos del fique. En el ámbito del tratamiento de las aguas residuales, una correcta separación en el decantador secundario de la biomasa activa del agua tratada es crucial en la obtención de un efluente de buena calidad, puesto que los sólidos suspendidos representan del 50% al 80% de la demanda biológica de oxígeno en el agua vertida al medio receptor. Para que la separación sea efectiva, es necesario que los microorganismos se agreguen en flóculos compactos. En este proceso, los microorganismos filamentosos funcionan como una red a la que quedan fijados los microorganismos floculantes, formando flóculos mayores que decantan más fácilmente. Sin embargo, si la presencia de microorganismos filamentosos es excesiva, se forma una malla que impide una correcta separación de las fases sólida y líquida, lo que da lugar al proceso conocido como bulking filamentoso (Richard, 1991).



Foto 4. Fique – Uña de Águila (*Furcraea macrophylla*). Fuente: [www.finagro.com.co](http://www.finagro.com.co)

El desarrollo de sistemas con eliminación de nutrientes ha aumentado la incidencia del bulking filamentoso respecto a los sistemas de eliminación de materia orgánica a partir de los años 50, en los que este problema se producía básicamente en plantas de tratamiento de agua industrial (Casey, Ekama, Wentzel, & Marais, 1995). La causa de este aumento son las condiciones de operación necesarias para que se produzca la eliminación de nitrógeno y fósforo, que promueven asimismo la formación de microorganismos filamentosos. Una de las causas más frecuentes es la presencia de sulfuros, aunque existen variadas condiciones que facilitan la aparición del bulking (Eikelboom, Andreadakis, & Andreasen, 1998).

Hoy en día el bulking filamentoso es uno de los mayores problemas a los que tienen que hacer frente las plantas de tratamiento biológico de aguas residuales, encontrándose casos en todos los procesos, desde cortos a largos Tiempos de Retención de Lodos (TRL o SRT, por sus siglas en inglés: *Sludge Retention Time*), con reactores de flujo-pistón o mezcla completa, con o sin eliminación de nutrientes. Los principales efectos de la proliferación de microorganismos filamentosos son una menor compactación del fango y la aparición de espumas (Casey, Ekama, Wentzel, & Marais, 1995).

El poder biocida de los zumos extraídos de la hoja del fique (Gómez H., 2001); (Acevedo M. & Serna G., 2004) podría inhibir la proliferación de los microorganismos

filamentosos, poniendo fin a uno de los problemas más complejos y costosos de los sistemas de tratamiento aerobio de aguas residuales en el mundo.

De esta forma, las múltiples aplicaciones del zumo del fique en el tratamiento de aguas residuales y la recuperación de cuerpos de agua, abren alentadoras posibilidades de mercados alternativos e innovadores, no sólo en el ámbito local sino con atractivas posibilidades de proyección hacia los mercados mundiales.

La investigación se efectúa a nivel de laboratorio empleando controles y experimentos. Se trabaja con los zumos resultantes del desfibrado de las hojas del fique (*Furcraea sp.*), de donde se obtienen los extractos necesarios para efectuar los ensayos correspondientes.

## 1.2 Planteamiento del problema y justificación

En Colombia las fibras del fique son ampliamente usadas en la fabricación de hamacas, redes, cuerdas, alpargatas, costales y productos similares para el mercado artesanal. No obstante, estas aplicaciones de las fibras del fique suponen el aprovechamiento de sólo el 4% de este vegetal; el 96% restante es subutilizado y frecuentemente desechado. Esta fracción no utilizada corresponde, en menor parte (aproximadamente 25%), a los biosólidos o bagazo generado del proceso de extracción de la fibra y que se dispone frecuentemente sobre los suelos sin control alguno, generando malos olores y atracción de vectores. El 70% faltante, corresponde a los zumos contenidos en sus hojas y que es obtenido por prensado de la hoja del fique en el proceso de extracción de sus fibras. No obstante, sólo el 40% del zumo es extraíble por prensado (Arroyave & Velásquez, 2001).

El zumo es una suspensión de características variables que son dependientes de la edad de la planta, la estación del año y las características del suelo. Presenta un color verde ocre y es de olor fuerte. La densidad media es cercana a los 1,02 kg/L, con un pH variable entre 4 y 5. Aunque no se tiene certeza cuantitativa de sus constituyentes, de forma cualitativa está conformado por: agua (85%), celulosa (6% D-glucosa), materia

orgánica y amorfa (8% constituida por sacarosa, proteínas, nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, saponinas y sapogeninas) y minerales (1%) (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT] y Cadena Productiva Nacional del Fique [CADEFIQUE], 2006).



Foto 5. Desfibrado de las hojas del fique. Valle de Tenza, Boyacá, Colombia. Autor: Alejandro Araque Mendoza

Varias investigaciones recientes están encaminadas al aprovechamiento integral de las hojas del fique; en su zumo se encuentran, entre otras sustancias, precursores hormonales, corticoides, sulfatos y compuestos de actividad biopesticida (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT], Sociedad de Agricultores de Colombia [SAC] y Federación Nacional de Cultivadores de Fique [Fedefique], 2002).



Foto 6. Carteras elaboradas con fibras de fique. Fuente: <http://ocafique.blogspot.com>

Los zumos crudos desechados de la hoja del fique, en razón a sus características fisicoquímicas, con altos contenidos de azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa), así como proteínas sapogénicas (Tigogenina y Hecogenina, entre otras), esteroides y minerales, son extremadamente tóxicos para los peces y organismos acuáticos (Martínez & Caicedo, 2002). Adicional a lo anterior, otras investigaciones han estimado que la DQO de aguas contaminadas con los zumos del fique crudo es de unos 1083 mg/L, con una relación DQO/DBO cercana a 3.0, lo que lo constituye en una sustancia contaminante y de impactos negativos considerables sobre las fuentes hídricas (Ecofibras Ltda.; Fondo para la Acción Ambiental [FPAA] & Corporación Autónoma Regional de Santander [CAS], 2004).

En un bioensayo con peces se halló que la concentración letal media  $CL_{50}$  (96 horas) de los zumos del fique crudo es de 1 mg/L (miligramo por litro) o de 1 ppm (parte por millón) en alevinos de trucha arcoiris de una pulgada, es decir, que 1 ppm es la concentración necesaria para matar la mitad de la población de peces estudiada e igualmente se halló que 3 ppm es la concentración crítica muriendo el total de peces expuestos para cada especie (Martínez & Caicedo, 2002).

En la actualidad se ha alcanzado un notable incremento en el conocimiento de este tipo de compuestos, porque aparte de que manifiestan ciertas propiedades tóxicas, también

se les ha asignado cualidades tecnológicas y medicinales (Birk & Peri, 1980); (Oakenfull, 1981). La actividad hemolítica es contrarrestada por el plasma sanguíneo o bien por el colesterol, dejando en duda si son realmente tóxicos in vivo, ya que hay varias evidencias de que al ser ingeridas por vía oral no presentan problemas, dejando su poder hemolítico a estudios in vitro (Committee on Food Protection, 1966). Hasta el momento está en discusión e incluso hay contradicciones al respecto, lo que sí ha sido demostrado es que la presencia de estos glucósidos en las plantas que los contienen, le confiere de cierta protección hacia el ataque de microorganismo e incluso de insectos (Oleszek, y otros, 1990).

Es de tomar en consideración los efectos fisiológicos asociados a las saponinas, la disminución del nivel de colesterol en sangre. Hasta el momento la mejor explicación al respecto, indica que las saponinas en la dieta, inducen la absorción de los ácidos biliares sobre la fibra dietética; con lo cual se incrementa la excreción de estos y por consiguiente se disminuye el nivel de colesterol (Oakenfull, 1981). Aparentemente pueden formar complejos con proteínas y esteroides. Algunas saponinas tienen cierto atractivo para ser usadas en bebidas carbonatadas, extinguidores de fuego y cerveza. Por otro lado, también se han usado en fotografía para formar emulsiones. A partir de las saponinas de *Dioscorea ssp.*, se pueden sintetizar hormonas como la progesterona (Ruiz, Price, Fenwick, Arthur, & Petterson, 1993).

No obstante, algunas de las sustancias halladas en los zumos del fique son muy apetecidas por su gran valor comercial para su uso en la industria farmacéutica; así es como las saponinas, son empleadas para la fabricación de hormonas esteroidales sintéticas, como anticonceptivos y corticoides. Un gramo de hecogenina en el mercado internacional puede cotizarse entre USD 6 y USD 124, dependiendo de su calidad; de otro lado la tigogenina usada en la restauración de las células de riñón y cerebro, puede alcanzar un precio de USD 200. Es importante resaltar que en el mundo la demanda insatisfecha de hecogenina asciende a las 5000 ton/año (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2005).

De igual manera, otras aplicaciones son posibles para el zumo extraído de sus hojas, como es el caso de su uso empírico con fines medicinales, en razón a sus efectos desinflamatorios; también para el control de ácaros en los equinos y como blanqueador de ropas. Este mismo zumo del fique es fermentado durante tres días para ser

posteriormente usado -de manera intuitiva y apoyada sólo en las observaciones de los trabajadores del agro- como caldo biofertilizante para los cultivos. Es así como en los últimos años, el zumo del fique se ha estado investigando por prestigiosas instituciones colombianas con el fin de fortalecer y tecnificar este tipo de aplicaciones agropecuarias (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT] y Cadena Productiva Nacional del Fique [CADEFIQUE], 2006).



Foto 7. Zumo de fique, resultante del desfibrado, que es desechado en el suelo. Fuente: Alejandro Araque Mendoza

Además de utilizar el fique como fibra textil, los indígenas lo aprovechaban como medicamento humano y veterinario, y aun como alimento, con el zumo del tronco preparaban bebidas y comían los bulbillos tiernos. A finales de 1970, el sector fiquero atravesó por una grave crisis que llevó a desertar a muchos productores de la industria, de la artesanía y de la agricultura fiquera. Su origen obedeció a una superproducción de fibra y a los cambios de los sistemas de empaque para almacenamiento y transporte en el mundo: La Invención de la fibra textil sintética polipropileno, con la que se empezaron a fabricar costales para productos transportados a través de contenedores (Mojica P. & Paredes V., 2004).

De esta situación se puede colegir la necesidad urgente de hallar nuevas e innovadoras aplicaciones para los valiosos zumos del fique, con el fin de fortalecer su cadena

productiva y ampliar los mercados en beneficio de los trabajadores fiqueros. Hallando usos alternativos adicionales, se evitará el desperdicio de grandes cantidades de materia prima (representada en el zumo de la hoja) que, como se documenta, aún es considerada por muchos fiqueros, como un residuo sin valor y que además tiene graves efectos sobre los ecosistemas acuáticos por su alta demanda de oxígeno.

En México, el extracto de la *Yucca schidigera* (una planta de características similares) ha demostrado su efectividad como suplemento dietético en animales, incrementando la ganancia de peso en cerdos y pollos, y reduciendo malos olores en las excretas de estos animales, dada su capacidad de secuestrar el sulfuro de hidrógeno y otros compuestos nitrogenados (Agroindustrias El Álamo [AGROIN]).

Dado que el zumo de fique crudo es casi siempre desechado como residuo con características contaminantes y que, adicionalmente, el cultivo de la planta es el único medio de subsistencia de cerca de 13000 familias campesinas en Colombia y genera más de 60000 empleos directos (CADEFIQUE, 2008), surge la necesidad de encontrar mayores y mejores aplicaciones para éste, ya que constituye el mayor porcentaje en peso de la hoja.

Las sapogeninas presentes en el zumo del fique, entre sus propiedades, actúan como agentes surfactantes biodegradables que, disueltos en el agua, reducen su tensión superficial y actúan como disgregantes de grasas y aceites (Duque J. & González T., 1999).

En la presente investigación, con el fin de incrementar las posibilidades de aprovechamiento de la planta, se ponen a prueba las características anfílicas del zumo del fique, para ser aprovechadas como potenciales coadyuvantes de coagulación química en la remoción de contaminantes hídricos presentes en las aguas residuales industriales; de igual manera, se evalúa la capacidad de estos zumos del fique para secuestrar compuestos amoniacales, que usados no el tracto intestinal sino en cuerpos de agua degradados por procesos de hipereutrofización, podrían facilitar su recuperación promoviendo la disrupción del proceso de nitrificación.

### 1.3 Marco teórico y estado del arte

El siguiente texto, que sirve como marco de referencia, está tomado textualmente de “GUÍA AMBIENTAL DEL SUBSECTOR FIQUERO” Segunda Edición. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT] y la Cadena Productiva Nacional del Fique (CADEFIQUE), 2006.

*El jugo de fique además de ser un residuo en la producción de fibras naturales, es una sustancia que se caracteriza por tener propiedades tensoactivas, plaguicidas, y por poseer esteroides naturales entre los que se han encontrado saponinas y fitoesteroles (Gómez Echeverri & Vanegas Gómez, 2001).*

#### **Uso como Plaguicida (Insecticida, Fungicida o Herbicida).**

*Los estudios in vitro del extracto de fique realizados para determinar la acción biocida de esta sustancia sobre las estructuras micelial y conidial de los hongos fitopatógenos *Colletotrichum gloeosporoides* y *Sclerotinia sclerotiorum*, causantes de las enfermedades conocidas como "Pudrición Algodonosa del Lulo" (*Solanum quitoense*) y "Antracnosis del Tomate de Árbol" (*Solanum betacea*) demuestran que esta sustancia inhibe el desarrollo micelial de *C. gloeosporoides* cuando la concentración del extracto de fique en medio de cultivo PDA es superior al 5% y afecta la germinación conidial cuando la concentración del extracto es superior al 1%. Con respecto, al efecto sobre *S. sclerotiorum*, concentraciones de extracto de fique superiores al 4% inhibieron el desarrollo micelial del hongo en el medio de cultivo PDA (Gómez H., 2001). Los anteriores resultados permiten concluir que el extracto de fique posee una acción biocida para el desarrollo de los hongos fitopatógenos *Colletotrichum gloeosporoides* y *Sclerotinia sclerotiorum*.*

*Las Facultades de Ingeniería Química e Ingeniería Agroindustrial de la UPBM, realizaron una optimización de la obtención del extracto vegetal (material orgánico)*

del fique y además observaciones del efecto biocida sobre los hongos *Trichoderma*<sup>1</sup> spp. y *Fusarium*<sup>2</sup> spp. (Acevedo M. & Serna G., 2004).

En la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, se hizo una evaluación y determinación de la eficacia de las propiedades insecticidas del jugo de fique, a nivel de laboratorio y bajo invernadero, como controlador de cuatro plagas (*Frankliniella occidentales* Pergande, *Trialeurodes vaporariorum* Weswood, *Liriomyza trifolii* Burgess y *Myzus persicae* Sulzer) reportadas en cultivos de flores (Arias N. & Cano L., 1996). Así mismo, se determinó la actividad disuasora o repelente sobre *Liriomyza trifolii* y *Trialeurodes vaporariorum*. El jugo de fique en las dos concentraciones evaluadas, mostró efectos significativos sobre todos los insectos utilizados en el ensayo de toxicidad en laboratorio. Además, se pudo demostrar que no se presenta atracción o disuasión, del jugo del fique hacia los adultos de mosca blanca y minador, pero si se constató, que hubo un efecto de disuasión a la oviposición en ambas especies, siendo mayor el efecto para el fique al 7%, seguido del fique al 3,5%. En campo, a medida que pasaron las semanas, los investigadores observaron que se fue marcando la misma tendencia arrojada en los ensayos de toxicidad en laboratorio para todos los insectos excepto, para la mosca blanca. Encontraron que posiblemente el fique al 7% tenga efectos antialimentarios y efectos sobre los estados inmaduros del minador (Arias N. & Cano L., 1996).

### **Sapogeninas: Hecogeninas y Tigogeninas.**

---

<sup>1</sup> Altamente distribuido en el suelo, material vegetal y madera. Puede llegar a ser considerado como un contaminante y causar infecciones en presencia de factores que lo predispongan. Es usado en el sector agropecuario y de alimentos, gracias a su facilidad para colonizar las raíces de las plantas y del mecanismo para atacar y parasitar a otros hongos, actuando como un biocontrolador. Posee resistencia innata a la mayoría de los agroquímicos, incluyendo a los fungicidas. Sin embargo, el nivel de resistencia difiere entre cepas. Algunas líneas han sido seleccionadas o modificadas para ser resistentes a agroquímicos específicos. La mayoría de productores de cepas de *Trichoderma*, destinadas al control biológico, poseen información relacionada con la susceptibilidad o resistencia a un amplio intervalo de agroquímicos (adaptado de Acevedo & Serna, 2004, citado por Peñaloza, et. al, 2005).

<sup>2</sup> Es un hongo filamentoso ampliamente distribuido en las plantas y en el suelo, se encuentra asociado a la microflora de productos como arroz, frijol, y otros cultivos. La mayoría de las especies se encuentran en climas tropicales y subtropicales, en algunos casos se pueden presentar en climas fríos. Es uno de los patógenos más comunes en las plantas; pero también tiene un efecto negativo en los humanos, causándole infecciones superficiales y sistémicas. Las infecciones causadas por el *Fusarium* son difíciles de tratar y frecuentemente las formas invasivas son fatales. Es muy resistente a las drogas (*F. solani* es el mayor exponente de resistencia). Las especies del *Fusarium* se encuentran dentro de los productores de micotoxinas más importantes del sector agroalimentario, estas son producidas por toxinas que se desarrollan en los productos agrícolas. A nivel económico las consecuencias por estas micotoxinas se manifiestan en pérdidas de alimentos, reducción de la productividad de los animales, pérdidas de ingresos en divisas, aumento del costo de la inspección y los análisis, compensación por reclamaciones y medidas de control (adaptado de Acevedo & Serna, 2004, citado por Peñaloza, et. al, 2005).

*Estas son sustancias esteroideas, sexuales y corticoides, que se usan como anticonceptivos y se consideran productos de transformación, de síntesis parcial, cuya materia prima es de origen vegetal. En la Facultad de Ingeniería Química de la UPBM (Muñoz Ramírez, Lara Torres, García Orozco, & Bustamante Sánchez, 1988), se obtuvo un método mejorado para producir saponinas esteroideas como la hecogenina, a partir de hojas de la planta de fique (alta cantidad de nutrientes separables de las saponinas como alcohol (etanol) por fermentación del azúcar, fertilizantes orgánicos a partir del Nitrógeno, Potasio, Calcio y otros elementos, pulpa de papel a través de la celulosa y farmacéuticos por medio de los esteroides, entre otros). En el proceso del desfibrado del fique son retiradas las fibras, quedando como subproducto fibras cortas y cutícula impregnadas en el jugo de la planta. Este material es prensado para liberar el jugo, siendo éste el constituyente de la materia prima para el aislamiento de la hecogenina (Gómez Echeverri & Vanegas Gómez, 2001).*

*El jugo del fique obtenido en la prensa se pasa por coladores, para retirar la cutícula y los fragmentos de fibra. El contenido de hecogenina en el jugo es bajo (apenas 0,7%). Por este motivo, la primera etapa del proceso consiste en dejar fermentar el jugo, lo que ocurre espontáneamente, para ello el jugo es trasladado a toneles de fermentación. El proceso fermentativo dura aproximadamente siete días, pudiendo ser reducido si las condiciones climáticas son favorables. Deben evitarse las fermentaciones secundarias, pues disminuyen el contenido de las saponinas. La fermentación causa la precipitación de las geninas, principalmente en la forma de mono y di- glicósidos. El precipitado de las geninas hidrolizadas parcialmente se deposita en el fondo del recipiente constituyendo éste procedimiento una manera natural de concentrar el material que contiene las saponinas. Este depósito representa cerca de 1/7 del volumen original del jugo y contiene cerca del 80 % de las saponinas originalmente presentes. El 20% restante está en el sobrenadante, que es desechado. La diferencia de coloración entre las dos capas (superior- amarilla verdosa y la inferior - verde oscuro) permite eliminar o disponer el sobrenadante sin riesgo de perder las saponinas (Gómez Echeverri & Vanegas Gómez, 2001). Cabe mencionar que el jugo del fique ejerce efecto corrosivo, por este motivo los recipientes de fermentación deben ser revestidos internamente por materiales como resinas tipo epoxi. A la capa inferior que contiene las saponinas en suspensión se le adiciona formol para impedir el desarrollo de fermentaciones secundarias. La suspensión de saponinas parcialmente*

*hidrolizadas presenta un aspecto coloidal y no puede ser filtrada, debido a que las partículas coloidales impiden su filtración, por lo cual, la hidrólisis química debe ser realizada en suspensión. Para esta hidrólisis se utiliza ácido sulfúrico concentrado, y si se realizara con el volumen total resultante de la suspensión no sería rentable (Gómez Echeverri & Vanegas Gómez, 2001).*

*La hidrólisis de la suspensión se lleva a cabo en dos etapas: en la primera etapa, se le adiciona a la suspensión ácido sulfúrico diluido, resultante de la segunda hidrólisis de la etapa anterior y se calienta a reflujo durante 4 horas. Al final de este período, la mezcla es trasladada a recipientes de decantación y se deja en reposo durante 12 horas. Se pueden observar dos capas en la decantación, la capa inferior que contiene sapogeninas parcialmente hidrolizadas en suspensión y la segunda capa que contiene ácido bastante diluido, siendo ésta desechada. A la capa inferior se le adiciona ácido sulfúrico concentrado de tal manera que se convierte en una mezcla 3N, y se somete a reflujo durante 4 horas. Al final de este período, la hidrólisis de las sapogeninas es completa y el material puede ser filtrado. El filtrado, constituido por ácido diluido, es aprovechado para hacer la primera hidrólisis del lote siguiente. La torta se lava con agua, posteriormente con una solución de bicarbonato de sodio y nuevamente con agua. Esta torta neutra se seca en estufas (Sharapin & Machado, 2000).*

*La extracción de la torta puede ser hecha con metanol, el cual a pesar de no ser el solvente ideal para las sapogeninas, presenta la facilidad de cristalizarlas de sus soluciones. El metanol extrae de la torta diversas impurezas coloreadas, que deben ser retiradas, utilizando hidróxido de calcio y diatomita. El uso de estos reactivos permite la obtención de extractos limpios de fácil filtración, lo que significa una reducción en el costo del proceso (Patente brasileña depositada: Mors & Sharapin, s.f., citado por Sharapin & Machado, 2000). La hecogenina obtenida de esta forma tiene un grado de pureza suficiente para ser empleada directamente en el proceso de síntesis, evitando la etapa de recristalización (Sharapin & Machado, 2000).*

### **La Industrialización de los Jugos de Figue en Colombia para Hecogenina y Tigogenina.**

*La Asociación de Municipios de la Cordillera Occidental (ASOCORO), ubicados al norte del departamento de Nariño, en reunión de seguimiento a los compromisos del paro campesino del año de 1997, en el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el 11 de febrero de 1998, manifestaron a CORPOICA que el problema más serio en esa región dentro del sector agropecuario era la quiebra periódica de los productores de fique, debido a que con la aparición de las fibras sintéticas, cuyo costo es mucho más bajo que la de fique (la cabuya), el mercado se ha vuelto incierto y los precios oscilan. De la hoja del fique la cabuya corresponde al 4 %, el 96% restante es un desecho, y como ya se expresó en este documento, ocasiona contaminación de las aguas superficiales por su contenido de saponinas, las cuales matan de forma indiscriminada peces pequeños y grandes. Esta contaminación proviene del lavado de la fibra en ríos y quebradas y de que el desecho se arroja sobre los terrenos empinados, que rodean las quebradas, durante la extracción de la cabuya. Sin embargo, estas saponinas al hidrolizarse producen sapogeninas y azúcares. Las primeras son precursoras de hormonas y corticoides; entre las que se encuentran la hecogenina que es uno de los productos químicos que se usa como precursor de hormonas, como las pastillas anticonceptivas y tiene un alto valor comercial en la industria farmacéutica.*

*Por lo cual, la respuesta a la solicitud de ASOCORO fue evaluar la posibilidad de montar una planta de producción de hecogenina que use los jugos contaminantes como materia prima. Para lo anterior la UMATA del municipio de El Tambo y CORPOICA escribieron y gestionaron un proyecto. Como no se quería crear falsas expectativas este se planteó como un proceso gradual por fases en el que solo se pasaría de una fase a la otra si el resultado era positivo. En el departamento de Nariño, 15 de los municipios tienen una trayectoria como productores de fique; entre los cuales, El Tambo es el principal productor de fique: aporta el 14,4% de la producción departamental y tiene 1071 hectáreas sembradas y distribuidas en 29 veredas y en el año 2000, cuando se inició el proyecto, vendió 858 toneladas de fibra.*

### **Ácidos grasos**

*Durante el proceso de extracción de las sapogeninas crudas con heptano se obtienen como residuos ácidos grasos. El desarrollo tecnológico de jugo del fique se ha adelantado bajo el principio de cero residuos, para lo cual es muy importante*

*determinar la posible utilización de cada uno de sus productos, por lo anterior se realizó una investigación cuyo objetivo fue aislar e identificar los componentes de las grasas presentes en el extracto heptánico del hidrolizado del jugo de fique de las variedades negra común y uña de águila, cultivadas en el municipio de El Tambo - Nariño (Segura de Correa, Toro Suárez, & Barbosa, Ácidos grasos presentes en el extracto heptánico del jugo de fique (*Furcraea macrophylla*), variedades Uña de Águila y Negra Común, 2004). Para conocer la composición química de las grasas, se prepararon los extractos, se purificaron, se derivaron a sus correspondientes esteres metílicos y se analizaron por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-EM). En este proceso se encontraron en total 19 ácidos grasos, entre saturados, mono, di y tri insaturados, estando en mayor proporción los saturados y entre estos el mayor componente fue el ácido palmítico. En las dos variedades se encontraron exactamente los mismos ácidos grasos. Para determinar la posición de los dobles y triples enlaces, en los ácidos grasos insaturados, se prepararon los derivados n-acilpirrolididos los cuales se analizaron también por GC-EM. Dentro de los ácidos grasos estudiados se encontró que seis de estos son de cadena impar, algo no muy común en el reino vegetal.*

*Después de la hidrólisis del jugo de fique se obtiene un filtrado en el cual se encuentran disueltos carbohidratos mezclados con sulfato de sodio. Uno de los objetivos dentro del convenio establecido entre CORPOICA y la Universidad Nacional de Colombia (Carta de Entendimiento # 3) fue aislar e identificar dichos carbohidratos en las variedades de fique negra común y uña de águila, cultivadas en el municipio de El Tambo (Nariño), con el propósito de encontrar posibles usos a este residuo del proceso (Segura de Correa, Toro Suárez, & Barbosa, Azúcares constituyentes del hidrolizado del jugo de fique (*Furcraea macrophylla*), variedades Uña de Águila y Negra Común, 2004).*

*Los azúcares, provenientes de melaza que se obtiene como subproducto de la elaboración de las sapogeninas del jugo de fique, han sido objeto de estudio para la producción de alcoholes (CORPOICA, 2005) que arrojan resultados preliminares indicando que se puede producir alcohol cuando se trabaja a una temperatura de 30 °C y un pH de 5,6, siendo estas dos variables las que más inciden en el rendimiento de la producción del etanol. La duración de la fermentación es de dos días. Para lograr este objetivo, a las muestras de jugo de estas dos variedades se las hidrolizó con ácido sulfúrico y se las neutralizó con carbonato de bario. Para determinar de forma*

*preliminar la presencia de carbohidratos, a esta preparación se le realizaron los siguientes ensayos: Formación de Bases de Shiff, Prueba de Molish y Prueba de Benedict. Los ensayos arrojaron resultados positivos, infiriendo la presencia de azúcares en la muestras de las dos variedades.*

*Posteriormente las muestras se analizaron por Cromatografía en Placa Delgada (CCD) comparando con patrones de carbohidratos. Se concluyó que los factores de movilidad (Rf) de las muestras resultaron muy parecidos a los de patrones, confirmando su presencia. Finalmente, se realizó la separación de los azúcares presentes en las muestras de las 2 variedades por cromatografía líquida de alta eficiencia (CLAE). Se utilizaron las columnas, Sugar Pak y Aminex HPX-87H y se buscaron las mejores condiciones de separación. Además se analizó una muestra de carbohidratos proveniente de la Planta Piloto, ubicada en el municipio de El Tambo Nariño, utilizando la columna Hyperex. Posteriormente, se compararon los resultados obtenidos en estas columnas y se concluyó que en las 2 variedades hay glucosa, fructosa, galactosa y/o xilosa, manitol y posible ramnosa. También, se detectó la presencia de otros carbohidratos y/o polialcoholes que no fueron identificados ya que las señales presentadas no coincidían con ninguno de los patrones de comparación.*

### **Producción de un agente tensoactivo biodegradable.**

*En la Facultad de Ingeniería Química de la UPBM en el año 1999 se desarrollaron procedimientos y/o procesos para la obtención de agentes tensoactivos biodegradables y el desarrollo de una planta piloto experimental de esta propuesta. El estudio constituyó la directriz hacia el agente tensoactivo y se propuso alternativas de producción, alternativas de estabilidad y refinación para productos y/o subproductos y por último, se anexó un ensayo de laboratorio de un proceso correspondiente a la fase global que permitiera visualizar el proceso de extracción de jabones (Duque J. & González T., 1999).*

## 2. PREGUNTAS E HIPÓTESIS DE TRABAJO

Se plantean las siguientes dos hipótesis de trabajo:

- a) Las características tensoactivas de los compuestos contenidos en la pulpa de las hojas del fique tienen capacidad de aislar en micelas algunos compuestos contaminantes de los efluentes industriales, actuando como facilitador para su remoción a través de procesos de coagulación-floculación y su posterior sedimentación.
- b) Las características de los compuestos contenidos en la pulpa de las hojas del fique actúan como secuestradores de compuestos amoniacales, impidiendo el desarrollo de los procesos de nitrificación y eliminando así, la posibilidad de aprovechamiento de los nitratos para la biomasa vegetal acuática indeseable, lo que permitiría acelerar la recuperación de los cuerpos de agua hipereutrofizados.

### 3. OBJETIVOS

Dada la necesidad de hallar nuevas aplicaciones para el zumo de la hoja del fique (*Furcraea sp.*), que representa la mayor parte de su peso, y de cuyo cultivo dependen cerca de trece mil (13.000) familias en Colombia, que viven por debajo de la línea de miseria, el tema de la investigación y la Tesis Doctoral se fundamenta en hallar usos ambientales del zumo extraído de la hoja de esta planta, de forma que se impulse su cultivo y valorización en el país, en beneficio del sector y de los campesinos fiqueros.

#### 3.1 Objetivo General

Evaluar el potencial de uso de las sustancias extraídas de la pulpa de las hojas del fique (*Furcraea sp.*) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales de algunas industrias de Bogotá D.C. y como disruptor del proceso de nitrificación, encaminado a la recuperación de cuerpos de agua hipereutrofizados.

#### 3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los rendimientos medios de extracción de diferentes métodos para la extracción del zumo de las hojas de fique, a nivel de laboratorio.

- Establecer las características fisicoquímicas básicas del zumo extraído de las hojas del fique, tales como densidad, pH, conductividad y DQO.
- Establecer la efectividad de la pulpa extraída de las hojas de fique como coadyuvante de coagulación para la remoción de algunos compuestos contaminantes, expresados como DQO, en efluentes industriales.
- Determinar el potencial de la pulpa extraída de las hojas de fique en la captura de compuestos amoniacales presentes en los cuerpos de agua, evaluando su interferencia en los procesos de nitrificación.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para dar respuesta a las hipótesis planteadas en el Capítulo 2, el trabajo investigativo se dividió en tres (3) fases, así:

- a) **Fase 1 - Preliminar:** Extracción, caracterización y fermentación del zumo de fique para la evaluación de las aplicaciones planteadas en las Fases 2 y 3.
- b) **Fase 2:** Evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas en la pulpa de las hojas del fique (*Furcraea sp.*) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales.
- c) **Fase 3:** Evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas en la pulpa de las hojas del fique (*Furcraea sp.*) como disruptor del proceso de nitrificación, encaminado a la recuperación de cuerpos de agua hipereutrofizados.

### 4.1 Enfoque y Diseño de la Fase 1 - Extracción, caracterización y fermentación del zumo de fique

En esta fase se extrajeron hojas de la planta de fique (*Furcraea sp.*) de la variedad “uña de águila”, seleccionadas según su tamaño y la edad de la planta. Se evaluaron varios métodos de extracción del zumo de la hoja del fique, evaluando los rendimientos obtenidos en cada caso. Tomando seis (6) muestras, se hizo la caracterización de algunas características fisicoquímicas del zumo extraído, antes de y después del proceso

de fermentación, el cual permite separar en fases las geninas (mono y di-glicósidos) y el agua con ácidos grasos (pH, DQO y TDS).

#### 4.2 Enfoque y Diseño de la Fase 2 - Uso del fique (*Furcraea sp.*) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales

La hipótesis de investigación está referida a la posibilidad de aislar en micelas, compuestos contaminantes presentes en las aguas residuales industriales haciendo uso de las propiedades anfifílicas y tensoactivas de los compuestos contenidos en el zumo de las hojas de fique, actuando como coadyuvante de coagulación que facilite la posterior remoción de estos contaminantes a través de procesos de decantación.



Foto 8. Equipo de Prueba de Jarras (Jar-Test). Pruebas de tratabilidad para el uso del zumo del fique como coadyuvante de coagulación

En el laboratorio, se efectuaron pruebas de tratabilidad con muestras de agua residual bruta de 4 efluentes industriales, evaluando mediante el cambio de los parámetros de control, la capacidad del decantado del zumo fermentado de la hoja del fique para actuar como agente coadyuvante de la coagulación química, con el propósito de decantar los

sólidos presentes en las aguas industriales. Se llevaron a cabo 24 ensayos para cada tipo de agua, distribuidos en 4 series de 6 ensayos cada una. Se evaluaron comparativamente los resultados fisicoquímicos antes y después de cada prueba, dando especial relevancia a los parámetros de color y turbiedad; se determinaron las dosis óptimas de coagulante químico y, posteriormente, se contrastaron los resultados con adiciones de concentraciones variables del decantado de zumo de fique fermentado como coadyuvante.

### **4.3 Enfoque y Diseño de la Fase 3 - Uso del fique (*Furcraea sp.*) como disruptor del proceso de nitrificación, encaminado a la recuperación de cuerpos de agua hipereutrofizados**

La hipótesis de investigación está referida a la posibilidad de secuestrar los compuestos amoniacales presentes en agua de manera que se interrumpa el proceso de nitrificación por bloqueo de la materia prima (amonio) de la conversión nitrogenácea, eliminando así la transformación de éstos compuestos en nitratos, los cuales son alimento directo de las especies vegetales indeseables. De esta manera, la biomasa vegetal iría disminuyendo paulatinamente, promoviendo la recuperación del cuerpo de agua, derivada de la involución del proceso de eutrofización.



Foto 9. Celdas de reactores SBR<sup>3</sup> adaptados. Pruebas de capacidad del zumo del fique como agente secuestrante de compuestos amoniacales para la disrupción del proceso de nitrificación

En el laboratorio se prepararon soluciones idénticas de agua residual sintética (ARS), con un inóculo de lodos aerobios, proveniente del fondo (cercano a la orilla) del humedal Tibanica, en la ciudad de Bogotá, el cual muestra niveles importantes de eutrofización. Cada una de las seis (6) celdas de ensayo -que se hicieron funcionar a manera de reactores SBR de fangos activos-, fue alimentada con la solución de agua inoculada con el lodo y se suministró aire, con tres (3) sopladores de pecera “Power Life P-500” de dos salidas cada uno. Cada celda de fangos activos, tuvo un tiempo inicial de adaptación de la biomasa, durante el cual, se hicieron alimentaciones sucesivas de nutrientes provenientes de adiciones de agua residual sintética (ARS) con el fin de mantener un nivel de alimento que permitiera la supervivencia de la biomasa. Se estimó el tiempo medio de conversión del nitrógeno amoniacal en nitratos para determinar el periodo de aireación necesario en cada prueba.

Luego de estabilizar la biomasa a las condiciones de trabajo y establecer el tiempo de nitrificación, se llevaron a cabo cuatro (4) series, con tres (3) repeticiones, de seis (6) ensayos cada una, empleando tres (3) de estas celdas como blanco y las otras tres (3) como experimento, con adiciones de concentración variable de zumo de fique

---

<sup>3</sup> Del inglés: Secuencial Batch Reactor. En español, son conocidos como Reactores de Flujo Secuenciado, Reactores por Bache o Reactores por Cochada.

fermentado para evaluar su actuación como secuestrante de compuestos amoniacaes, mediante la determinación de variables fisicoquímicas después de cada ciclo de trabajo, tales como: Nitritos, Nitratos, Oxígeno Disuelto, pH y Temperatura.

#### 4.4 Contexto y participantes

Las pruebas se efectuaron en el Laboratorio de Biotecnología Ambiental, de la Universidad Antonio Nariño, Sede Circunvalar, en Bogotá D.C., Colombia, el cual fue creado y dotado a raíz de la presente investigación. La investigación fue ejecutada entre los meses de noviembre de 2009 y diciembre de 2010 por el Ingeniero Sanitario y Ambiental, William Antonio Lozano Rivas, candidato a Doctor en Biotecnología por la Universidad Internacional de Andalucía, en España.



Foto 10. Vista hacia la ciudad de Bogotá D.C. desde la Sede Circunvalar de la Universidad Antonio Nariño, Colombia

## 4.5 Variables e instrumentos de medición

Las variables de control y los instrumentos de medición se encuentran relacionados en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables de investigación e Instrumentos de medición.

Variable y unidades	Instrumento de Medición	Precisión
Temperatura (°C)	pH-meter Hanna HI2210	+/- 0,5 °C
pH (unidades de pH)	pH-meter Hanna HI2210	+/- 0,01 unidades
Oxígeno Disuelto (mg/L)	DO-meter Hanna HI9142	+/- 1,5
Sólidos Totales (mg/L)	Balanza Analítica BOECO BBL32	<+/- 0,0001g
Sólidos Disueltos Totales (TDS – ppm)*	Hanna Watercheck 1	+/- 0,5 ppm
Turbiedad (UNT)	Turbidímetro Hanna HI93703	+/- 0,5 UNT
Color (UPC)	Colorímetro Hanna HI93727	+/- 10 UPC
DQO (mg/L)	Fotómetro Hanna HI83099 (Método EPA 410.4 –Adaptado)	+/- 22 mg/L
NO <sub>2</sub> (mg/L)	Fotómetro Hanna HI83099 (Método Diazotización EPA 354.1 – Adaptado)	+/- 0,02 mg/L (+/- 4% de lectura)
NO <sub>3</sub> (mg/L)	Fotómetro Hanna HI83099 (Método de reducción por cadmio – Adaptado)	+/- 0,5 mg/L (+/- 10% de lectura)

\*0,5 ppm = 1  $\mu$ S/cm = 1 mg/L de CaCO<sub>3</sub>

Se emplea una incubadora de convección natural marca BINDER, modelo BD53UL, para la fermentación controlada del zumo de fique.

Para la medición de densidades se usó un picnómetro marca BRIXCO de 10 mL y una balanza analítica marca BOECO, modelo BBL 32, con una precisión de 0,1 mg.

Las pruebas de floculación se practicaron en un Jar-Tester marca E&Q, modelo F6-300, de seis (6) puestos y control digital de velocidad.

Las pruebas de secuestro de compuestos amoniacales para disrupción del proceso de nitrificación, se llevaron a cabo en un módulo de reactores SBR, de fangos activos, de seis (6) celdas, con capacidad de 1 litro por celda, elaborado en acrílico transparente.

Se usaron sopladores de pecera de marca Power Life, modelo P-500, de dos boquillas de salida para la alimentación de aire en los reactores SBR empleados para las pruebas de secuestro de compuestos amoniacales para la disrupción del proceso de nitrificación. Cada boquilla tiene una capacidad máxima de suministro de 250 L de aire por hora.

Los sólidos totales del Agua Residual Sintética empelada para alimentación de los reactores SBR para la prueba de secuestro de compuestos amoniacales para la disrupción del proceso de nitrificación, fueron determinados siguiendo el método de determinación de Residuo Total, propuesto por la norma española UNE 77030 de Calidad del Agua (AENOR).



Foto 11. Laboratorio de Biotecnología Ambiental de la Universidad Antonio Nariño. Bogotá D.C., Colombia

## 5. FASE 1 - PRELIMINAR - EXTRACCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y FERMENTACIÓN DEL ZUMO DE FIQUE

### 5.1 Extracción y Caracterización del zumo de la hoja de fique

#### 5.1.1 Extracción

Dado que la literatura no reporta eficiencias y rendimientos obtenidos por los diversos métodos de extracción de los zumos a nivel de laboratorio, se evaluaron cuatro (4) métodos de extracción.

Entre los meses de octubre y diciembre de 2009, se llevaron a cabo 13 ensayos de extracción con cuatro (4) métodos diferentes: cuatro ensayos por método, exceptuando el Método 1 para el cual sólo se efectuó un ensayo.

Para el licuado de la hoja fue empleada una licuadora doméstica, marca SAMURAI serie Vitalité, de 350 watt y 4 velocidades con vaso plástico; para el molido de las hojas se usó un molino de granos CORONA fabricado en hierro fundido y pulido.

Los métodos empleados, fueron los siguientes:

**MÉTODO 1 - Extracción directa por licuado.** Los trozos de las hojas de fique fueron pesados en la balanza analítica y se alimentaron a una licuadora doméstica; los trozos se licuaron durante 1 minuto a velocidad gradualmente creciente con incrementos de revoluciones cada 15 segundos hasta abarcar los 4 niveles de de velocidad del motor.

**MÉTODO 2 - Extracción por licuado en matriz acuosa.** Se repite el mismo procedimiento del MÉTODO 1, alimentando la licuadora, pero se agrega un volumen de agua destilada en la misma proporción de relación peso de la penca y volumen de matriz acuosa (1g:1mL). Posteriormente, se agregó el 10% del volumen de agua adicionado

inicialmente, con el fin de remover el bagazo adherido a las paredes del vaso de licuado. Una vez licuada, la solución preparada se coló haciéndola pasar por un cedazo plástico esterilizado en autoclave, de 1 mm de tamaño de poro y, posteriormente, se filtró a través de 8 capas de gasa quirúrgica, ordenadas de forma aleatoria; esto permitió separar el bagazo del zumo.

Con la densidad relativa media del zumo de fique, respecto de la del agua, se estimaron los volúmenes de zumo de fique extraído a partir del peso teórico calculado en cada prueba. Usando los valores de volumen de agua destilada usados y el peso de las hojas de fique licuadas, se estableció el rendimiento de extracción.

**MÉTODO 3 - Extracción directa por molido.** Usando un molino manual de granos CORONA (compuesto de dos discos de triturado y una manivela de que hace girar un tornillo sinfín que arrastra el material crudo hacia los discos), se alimenta la boca del molino con pedazos de penca de 4 cm de lado, sin corteza. Una vez molida la penca, el zumo obtenido se coló en un cedazo plástico de 1 mm de tamaño de poro esterilizado en autoclave y, posteriormente, fue filtrado a través de 8 capas de gasa quirúrgica, organizadas de forma aleatoria. Con el peso de penca de fique alimentada y el volumen del zumo extraído, se estableció el rendimiento de extracción.

**MÉTODO 4 - Extracción por licuado y posterior molido.** Se repitió la misma operación del MÉTODO 1. Una vez obtenido el bagazo de la hoja sin corteza por licuado, este es alimentado en un molino de granos CORONA para extraer el zumo.

### 5.1.2 Caracterización

De hojas de plantas de fique del género *Furcraea sp.*, de la variedad “uña de águila”, de entre 10 y 15 años, con hojas de 2,5 m de longitud, se extrajo el zumo de fique por licuado y posterior molido (Método 4, numeral 5.1.1) cuyo procedimiento se detalla a continuación.

Desinfectada la superficie de la hoja con una solución de hipoclorito de sodio al 1%, lavada con agua destilada estéril y secada con papel toalla, se cortaron con un cuchillo trozos de la base, de aproximadamente 4 cm de tamaño y se retiró su corteza, que es la

parte menos hidratada. Se licuaron los trozos, en seco, empleando una licuadora doméstica y el bagazo que se obtuvo se llevó a un molino manual de granos, compuesto de dos discos de triturado y una manivela unida a un tornillo sinfín que arrastra el material hacia dichos discos. Una vez molido el bagazo del licuado de la hoja, el zumo obtenido se hizo pasar por un cedazo plástico de 1 mm de diámetro de poro y, posteriormente, fue purificado por filtración en ocho (8) capas de gasa quirúrgica con fibras ordenadas aleatoriamente. Todo el material empleado en el procedimiento de extracción, fue esterilizado en autoclave.



Foto 12. Trozos de hoja de fique

Se caracterizaron seis (6) muestras de zumo de fique, comparando sus valores de pH crudo y luego de exponerlas a un proceso de fermentación natural. Se midió su densidad y tres (3) de estas muestras se tomaron para evaluar la DQO, antes y después del proceso fermentativo.



Foto 13. Molido del bagazo producto del licuado de la hoja de figue



Foto 14. Filtración del jugo extraído por licuado y molido, en ocho (8) capas de gasa quirúrgica

## 5.2 Fermentación del zumo de la hoja de fique

Con el propósito de concentrar las sustancias químicas presentes en el zumo extraído de las hojas del fique, incluyendo las sapogeninas, el zumo fue fermentado en un embudo de separación a temperatura controlada de 20 °C, durante cinco (5) días, en incubadora de convección natural. Esta fermentación causa la precipitación de las geninas en forma de mono y di-glicósidos, depositándose en el fondo del embudo. Pasados los días, se presentó la separación de fases en la cual, según bibliografía, el decantado de color marrón verdoso oscuro contiene la mayor concentración de sapogeninas (cerca del 80% del total de ellas), como principal ingrediente activo. El sobrenadante clarificado (amarillo verdoso claro) es en su mayoría agua y ácidos grasos, que fueron desechados. La diferencia de coloración entre las dos capas (sobrenadante y decantada), permitió separar con facilidad las dos fases. El decantado extraído que fue usado como coadyuvante de coagulación, se refrigeró a 3 +/- 1 °C para evitar fermentaciones secundarias que reducen el contenido de las sapogeninas (Gómez Echeverri & Vanegas Gómez, 2001).

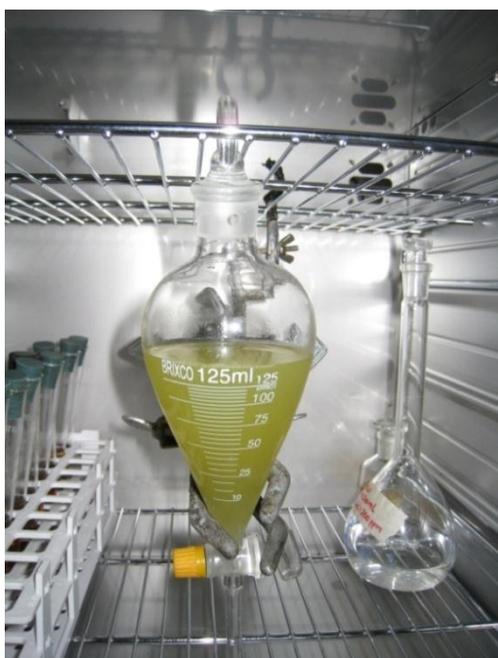


Foto 15. Fermentación del zumo de fique extraído en un embudo de separación



Foto 16. Zumo de fique fermentado. El decantado (marrón verdoso oscuro) tiene las geninas decantadas en forma de mono y di-glicósidos; el sobrenadante (amarillo verdoso claro) es en su mayoría agua y ácidos grasos

Se tomaron seis (6) muestras que permitieron comparar el pH de las dos fases formadas durante la fermentación del zumo del fique: decantado y sobrenadante, así mismo, se hizo para la DQO y los sólidos disueltos totales (TDS).

### 5.3 Análisis de datos

Los rendimientos de extracción para los métodos probados, fueron analizados aplicando pruebas t-test ( $\alpha = 0,05$ ) y con Test de Mann-Whitney para las series de distribución no normal según el Test de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov ( $P < 0,05$ ).

Los resultados de las características fisicoquímicas del zumo del fique se analizaron aplicando pruebas t-test ( $\alpha=0,05$ ) y con Test de Mann-Whitney para las series de distribución no normal según el Test de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov ( $P<0,05$ ), para los casos en que se analizaron dos (2) series de datos. Para más de dos series de datos se empleó ANOVA ( $\alpha=0,05$ ) y para las pruebas que mostraron diferencias

significativas entre las series, se empleó el Método de Holm-Sidak con un nivel de significancia de 0,05.

En todas las pruebas se usó el programa SigmaStat versión 3.5 (Systat Software, Inc.).

## **6. FASE 2 - EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE USO DE LAS SUSTANCIAS EXTRAÍDAS DE LA PULPA DE LAS HOJAS DEL FIQUE (*Furcraea sp.*) COMO COADYUVANTE DE COAGULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.**

A continuación se exponen los procedimientos efectuados para la evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas de la pulpa de las hojas del fique (*Furcraea sp.*) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales en la ciudad de Bogotá D.C.

### **6.1 Tipos de Aguas Residuales Industriales seleccionadas**

Las muestras de agua residual bruta que fueron evaluadas en las pruebas de tratabilidad con adición del decantado de zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación, son:

- Industria de Alimentos – Pastelería y Repostería
- Lixiviados de Relleno Sanitario
- Industria Textil – Tintorería
- Industria de Alimentos – Productos Cárnicos y Embutidos

Las industrias que amablemente permitieron tomar muestras de sus efluentes, solicitaron verbalmente la no inclusión de sus nombres y fotografías. Esta petición

obedece al deseo de evitar confrontaciones con las autoridades ambientales y organismos encargados del control ambiental en la ciudad de Bogotá D.C.

## 6.2 Determinación de la dosis óptima de coagulante químico

En tratamiento fisicoquímico de aguas, el pH influye sobre la eficiencia de coagulación dependiendo del tipo de sustancia química empleada. Por ejemplo, la zona de pH de coagulación óptima para el uso de sulfato de aluminio como coagulante es muy estrecha y varía entre las 6 y 8 unidades; los valores de pH por fuera de este rango presentan rendimientos bajos frente a otro tipo de coagulantes químicos. El cloruro férrico suele ser muy usado para eliminar la materia orgánica recalcitrante y tiene un pH óptimo de actuación entre 4 y 11 unidades, que es más amplio que el de las sales de aluminio; no obstante, su aplicación incrementa el color de las aguas tratadas (Kirchmer, 1977); (Pérez Carrión, Cánepa de Vargas, & Richter, 1984); (IMAES, Grupo de Ingeniería Química y Medioambiental).

En razón a estas consideraciones, se prefirió como coagulante -en esta investigación- el sulfato de aluminio si el agua residual presenta un pH entre el rango óptimo de actuación y, en caso que el pH estuviera fuera del rango, se empleó como coagulante el cloruro férrico, tal como se expone en la Tabla 2.

Tabla 2. Criterio de selección del tipo de coagulante según pH de la muestra.

Unidades de pH de la muestra de agua residual	Coagulante empleado
6 – 8	Sulfato de Aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ )*
<6 y >8	Cloruro Férrico Hexahidratado ( $FeCl_3$ )**

\* $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ . M=666,42. Marca Panreac PRS 141101.1211

\*\* $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ . M=270,32. Marca Scharlau HI0336

Las soluciones de coagulante fueron preparadas al 1% para aplicaciones de dosis inferiores a 200 mg/L y al 10% para aplicaciones de dosis superiores, en matraces aforados de 250 mL y en matriz de agua destilada.

Como valores de partida, se determinó pH (unidades), temperatura (°C), turbiedad (UNT), color (UPC) y TDS (ppm) de cada muestra de agua residual bruta. En cada serie se usaron 500 mL de muestra de agua residual en 6 matraces de 1 L de capacidad y se efectuaron los ensayos de tratabilidad en el equipo de prueba (Jar-Tester), empleando las velocidades de mezcla y tiempos para cada una de las fases señaladas en la Tabla 3.

Tabla 3. Velocidades de mezcla y tiempos para cada fase de la prueba de tratabilidad.

Fase	Velocidad de Mezcla (RPM)	Tiempo (min)
Mezcla Rápida	300	1
Mezcla Lenta	60	20
Sedimentación	0	30

Se aplicaron durante la mezcla rápida diferentes dosis del coagulante seleccionado, según el pH de la muestra. Las dosis se asignaron según los resultados obtenidos de ensayos preliminares para las aguas residuales de las industrias de Alimentos (Pastelería y Cárnicos) y según referencias bibliográficas para los Lixiviados (Tatsi, Zouboulis, Matis, & Samaras, 2003) y las aguas residuales de Tintorería (Crespi & Huertas, 1987).



Foto 17. Pruebas de tratabilidad con aguas residuales de pastelería y repostería. Fase de sedimentación

Finalizada la prueba de tratabilidad, se tomó una muestra del sobrenadante clarificado de cada vaso y se leyó, para cada una de ellas, pH (unidades), temperatura (°C), turbiedad (UNT), color (UPC) y TDS (ppm). Se determinó la dosis óptima de

coagulante valorando los resultados obtenidos, dando mayor peso a los valores de color y turbiedad, cuidando de no incrementar los TDS con dosis superiores; el pH y la temperatura se tomaron como variables de control pero no como criterio de selección de las dosis.

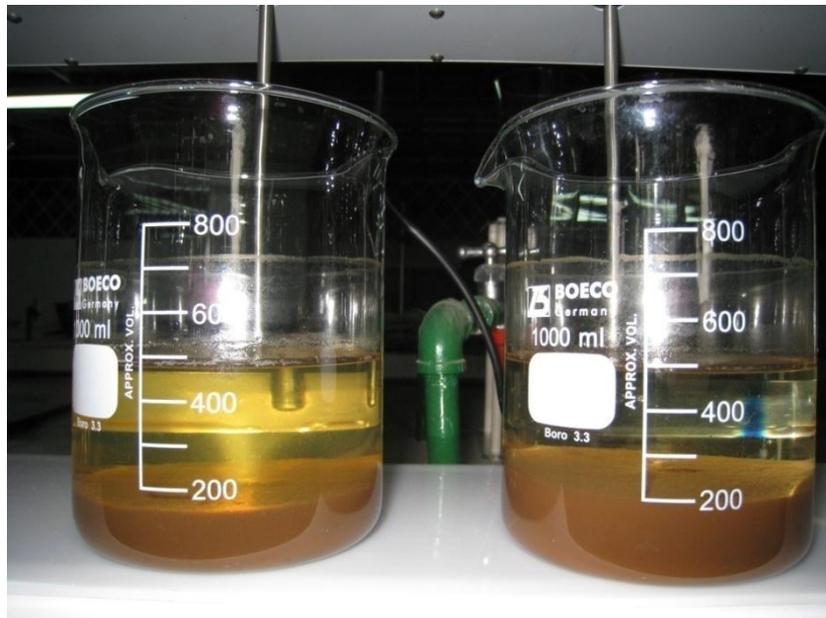


Foto 18. Resultados de pruebas de tratabilidad para lixiviados de relleno sanitario con diferentes dosis de coagulante químico

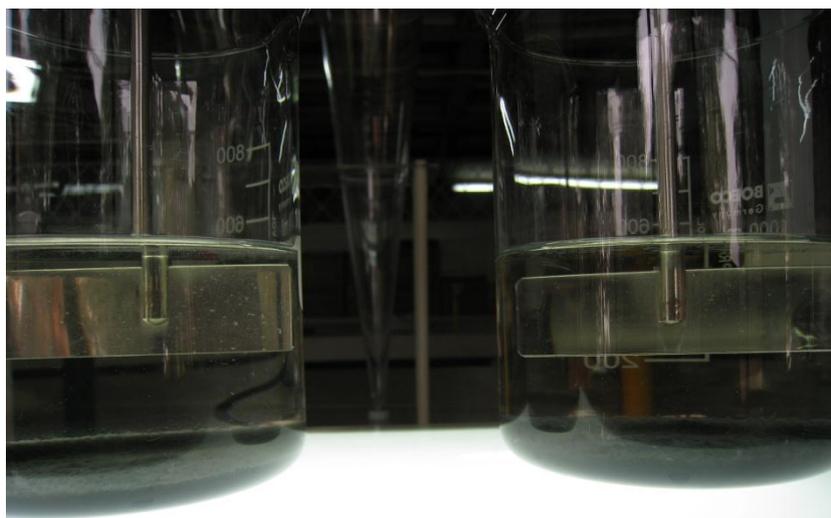


Foto 19 Resultados de pruebas de tratabilidad para aguas residuales de tintorería con dosis de coagulante químico y decantado de zumo de fique fermentado como coadyuvante



Foto 20. Aguas residuales de industria de productos cárnicos y embutidos en fase de sedimentación, durante la prueba de tratabilidad

### 6.3 Determinación de la dosis óptima de zumo de fique

Elegida la dosis óptima de coagulante químico, se realizó una nueva serie con muestras de agua bruta y se repitió el procedimiento descrito, agregando la dosis óptima del coagulante químico en todos los vasos y, como coadyuvante de coagulación, diferentes dosis de zumo de fique (decantado del fermentado). Las dosis de coadyuvante fueron seleccionadas mediante ensayos preliminares, previendo aplicaciones de entre 0,5% y 20% de la dosis usada de coagulante.

Las soluciones de coadyuvante de coagulación (decantado del zumo de fique fermentado) se prepararon al 1% para dosis inferiores a 200 mg/L y al 10% para dosis superiores, en matraces aforados de 250 mL y en matriz de agua destilada.

Finalizada la prueba de tratabilidad, se tomó una muestra del sobrenadante clarificado de cada vaso y se leyó, para cada una de ellas, pH (unidades), temperatura (°C), turbiedad (UNT), color (UPC) y TDS (ppm). Se determinó la dosis óptima de zumo de fique (decantado fermentado) como coadyuvante, valorando con mayor peso los

resultados obtenidos de color y turbiedad, cuidando que una mayor dosis no representaran un incremento excesivo de los TDS.

#### **6.4 Estudio comparativo del efecto del coagulante químico solo vs mezcla de coagulante químico con coadyuvante (zumo de fique)**

Para evaluar comparativamente el comportamiento del coagulante vs. la mezcla de coagulante con zumo de fique (decantado fermentado) como coadyuvante, se preparó una tercera y cuarta serie con muestras de agua residual bruta, repitiendo el procedimiento y empleando la dosis óptima de coagulante obtenida, en tres vasos y una mezcla de las dosis óptimas de coagulante y zumo de fique, en los tres restantes. Finalizada la prueba de tratabilidad, se determinó pH, temperatura, color, turbiedad, TDS y DQO en cada vaso, para determinar la reducción de la carga contaminante conseguida con el tratamiento aplicado.

#### **6.5 Análisis de datos**

Los resultados obtenidos se analizaron aplicando pruebas t-test ( $\alpha=0,05$ ) y con Test de Mann-Whitney para las series de distribución no normal según el Test de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov ( $P<0,05$ ), empleando el programa SigmaStat versión 3.5 (Systat Software, Inc.).

## **7. FASE 3 - EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE USO DE LAS SUSTANCIAS EXTRAÍDAS DE LA PULPA DE LAS HOJAS DEL FIQUE (*Furcraea sp.*) COMO DISRUPTOR DEL PROCESO DE NITRIFICACIÓN, ENCAMINADO A LA RECUPERACIÓN DE CUERPOS DE AGUA HIPEREUTROFIZADOS**

A continuación se exponen los procedimientos efectuados para la evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas de la pulpa de las hojas del fique (*Furcraea sp.*) como como disruptor del proceso de nitrificación, encaminado a la recuperación de cuerpos de agua hipereutrofizados.

### **7.1 Tipo de agua empleada para los ensayos**

Con el fin de asegurar la estabilidad en la concentración de los constituyentes de las aguas que serían empleadas en las pruebas de secuestro de compuestos amoniacales y para no poner en peligro biológico al investigador, durante la manipulación de dichas aguas durante las pruebas, se optó por emplear Agua Residual Sintética (ARS) de composición similar a la del Agua Residual Doméstica (ARD).

Las aguas residuales domésticas (ARD) se componen de diversos constituyentes de tipo físico, químico y biológico que se encuentran en suspensión o en disolución y que son de tipo orgánico e inorgánico. Casi la totalidad de la materia orgánica, contenida en ellas, está constituida por residuos de alimentos, excretas, materia vegetal, sales minerales y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos (Torres *et al.*, 1996).

Se estima que la fracción orgánica es el principal constituyente de las ARD y que corresponde hasta el 70% de la materia sólida presente (Tebbutt, 1977; Jordão y Pessoa, 1975) y el 30% restante es fracción inorgánica. En la Tabla 4 se aprecia la composición de las ARD según varios autores.

Tabla 4. Compuestos orgánicos presentes en aguas residuales domésticas en valores porcentuales (Torres *et al.*, 1996. Modificada por el autor).

<b>Compuesto Orgánico</b>	<b>Scotti (1968)</b>	<b>Tebbutt (1977)</b>	<b>Metcalf &amp; Eddy (1995)</b>
<b>Proteínas</b>	40	65	40-60
<b>Carbohidratos</b>	50	25	25-50
<b>Lípidos</b>	10	10	10

Entre las proteínas comúnmente presentes están las albúminas, globulinas y enzimas resultantes de la misma actividad bacteriana. Los carbohidratos están representados por glucosa, sacarosa, almidón y celulosa, entre otros, y las grasas animales y los aceites provienen de restos de carnes, uso de aceites y otros productos análogos (Metcalf & Eddy, 1995).

El estudio de tratamientos de depuración de aguas residuales domésticas (ARD) en reactores prototipo y a nivel de laboratorio, es difícil debido a varias razones entre las que se cuentan: a) dificultad de transporte de grandes muestras para ser llevadas al laboratorio para alimentar los reactores; b) demanda importante de tiempo para trasladarse a tomar permanentemente muestras para alimentar dichos reactores; c) variabilidad en las características fisicoquímicas y bacteriológicas de las ARD crudas; d) peligrosidad en la manipulación del ARD por la presencia de microorganismos patógenos.

Aunque algunos sustratos sintéticos para preparar ARD han sido propuestos, éstos presentan, relativamente, un alto nivel de dificultad en su preparación y, además, exceso de constituyentes.

En razón a las dificultades anteriormente expuestas, surge la necesidad de proponer un sustrato sintético de preparación sencilla y con ingredientes comunes de fácil consecución, para la composición de un Agua Residual Sintética (ARS), que presente características similares a las del ARD, pero con una carga nula de organismos patógenos.

Torres et al. (1996) considerando las recomendaciones de Vazoller (1988) y de Touzel y Albagnac (1983), propusieron el sustrato sintético que se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Composición del sustrato sintético propuesto por Torres *et al.* (1996) para preparar agua residual sintética.

Componente	Cantidad
<b>FRACCIÓN ORGÁNICA</b>	
Extracto de carne (peptona)	50%
Sacarosa	24%
Almidón	8%
Celulosa	8%
Aceite de soya	10%
<b>MACRONUTRIENTES</b>	
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	28,8 mg/L
NaCl	250 mg/L
MgCl <sub>2</sub> -6H <sub>2</sub> O	7 mg/L
CaCl <sub>2</sub> -2H <sub>2</sub> O	4,5 mg/L
FeSO <sub>4</sub> -7H <sub>2</sub> O	200 mg/L
CaCO <sub>3</sub>	120 mg/L
Na <sub>2</sub> S	30 mg/L
<b>MICRONUTRIENTES</b>	
Ácido Nitritotriacético	12,8 mg/L
FeCl <sub>3</sub> -6H <sub>2</sub> O	1,35 mg/L
MnCl <sub>2</sub> -4H <sub>2</sub> O	0,1 mg/L
CoCl-6H <sub>2</sub> O	0,024 mg/L
CaCl-2H <sub>2</sub> O	0,1 mg/L
ZnCl anhidro	0,1 mg/L
CuCl-2H <sub>2</sub> O	0,025 mg/L
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,01 mg/L
Molibdato de sodio hidratado	0,024 mg/L
Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub> -5H <sub>2</sub> O	0,026 mg/L
NiCl <sub>2</sub> -6H <sub>2</sub> O	0,12 mg/L

Otros sustratos más simples han sido propuestos por el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Valencia, España (2000) que se muestra en la Tabla 6 y por la Norma Alemana DIN 38412, mostrado en la Tabla 7.

Tabla 6. Composición del sustrato sintético propuesto por la U. de Valencia (2000) para preparar agua residual sintética.

<b>Componente</b>	<b>Cantidad (mg/L)</b>
Gelatina	34
Almidón	171
Leche en polvo	102
Jabón de tocador	3
MgSO <sub>4</sub> -7H <sub>2</sub> O	3
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	44,5
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	74,2
NaHCO <sub>3</sub>	150

Tabla 7. Composición del sustrato sintético propuesto por la Norma alemana DIN 38412 para preparar agua residual sintética.

<b>Componente</b>	<b>Cantidad (mg/L)</b>
Peptona	160
Extracto de carne	110
Úrea	30
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	28
MgSO <sub>4</sub> -7H <sub>2</sub> O	2
CaCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O	4
NaCl	7

### 7.1.1 Constituyentes del Agua Residual Sintética (ARS)

A partir de los datos recopilados por la literatura especializada referentes a las características de las ARD (proteínas, carbohidratos y lípidos), se propuso la composición del sustrato sintético que se presenta en la Tabla 8. Este sustrato se

compuso de elementos orgánicos e inorgánicos, procurando obtener parámetros fisicoquímicos similares a los del ARD.

Tabla 8. Composición del Agua Residual Sintética empleada.

Compuesto	Cantidad (mg/L)	Observaciones
<b>Leche en Polvo</b>	100	La descremada es más rica en sales minerales, pero tiene menos contenido de grasa. Si no tiene azúcar, evaluar la necesidad de agregar glucosa.
<b>Gelatina Sin Sabor</b>	35	Si además es sin azúcar, evaluar la necesidad de agregar glucosa a la mezcla.
<b>Almidón</b>	170	Se puede usar Fécula de Maíz, comercialmente conocida en Colombia como “maicena”.
<b>Sal común</b>	7	NaCl
<b>Azúcar</b>	28	Glucosa (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )
<b>Úrea</b>	3	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>
<b>Fosfato Bicálcico</b>	40	CaHPO <sub>4</sub> – 2H <sub>2</sub> O
<b>Sulfato de Magnesio</b>	2,5	Conocida comercialmente como Sal de EPSON.
<b>Inóculo de microorganismos</b>	10 a 15 g SSV/L ó 70 mL/L	Su origen dependerá de los objetivos del ensayo.

### 7.1.2 Preparación del Agua Residual Sintética (ARS)

Se llevaron a cabo los siguientes pasos para la preparación del ARS:

1. Se prepararon soluciones altamente concentradas de cada uno de los constituyentes seleccionados en 1 L de agua de la red de abastecimiento.
2. Los constituyentes de difícil dilución (como la fécula y la leche en polvo) fueron agitados en agua a 300 RPM durante 3 minutos para evitar la formación de grumos.
3. Se mezclaron las soluciones de cada constituyente empelando alícuotas establecidas a partir de la DQO, de manera que la DQO de la composición resultante se asemejara a la de la ARD

4. Las soluciones concentradas pueden permanecer refrigeradas por espacio no mayor de un mes, tiempo después del cual se presenta degradación de los constituyentes.
5. Se verificaron los valores de pH.
6. El sustrato sintético compuesto se dejaba 24 horas a temperatura ambiente para permitir la formación de Ácidos Grasos Volátiles (AGV) que se encuentran comúnmente en ARD.

### 7.1.3 Características del Agua Residual Sintética (ARS) empleada

Se tomaron muestras de tres (3) preparaciones de ARS para analizar sus características y determinar valores promedio de cada uno de los parámetros analizados, cuyos resultados se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Características del agua residual sintética.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>Valor – Muestra 1 (mg/L)</b>	<b>Valor – Muestra 2 (mg/L)</b>	<b>Valor – Muestra 3 (mg/L)</b>	<b>Valores Medios (mg/L)</b>
<b>DQO</b>	386	361	375	<b>374</b>
<b>Sólidos Disueltos</b>	40	40	40	<b>40,0</b>
<b>Totales</b>				
<b>pH</b>	7,11	7,24	7,20	<b>7,20</b>
<b>Nitritos (NO<sub>2</sub>)</b>	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>
<b>Nitratos (NO<sub>3</sub>)</b>	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>
<b>Fósforo Libre (P)</b>	4,0	6,5	5,4	<b>5,3</b>
<b>Fosfatos (PO<sub>4</sub>)</b>	14,3	19,8	16,5	<b>16,9</b>
<b>Pentóxido de</b>	9,2	14,8	11,4	<b>11,8</b>
<b>Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>				

## 7.2 Adaptación de la biomasa en los reactores SBR para ensayos de interrupción de la nitrificación

En laboratorio se preparó ARS que fue vertida en cada una de las seis (6) celdas de reactores SBR de fangos activos, hasta alcanzar un volumen de 1 litro. Se agregó un inóculo de lodo aerobio (70 mL/L), base húmeda, proveniente del fondo (cercano a la orilla) del humedal Tibanica, ecosistema ubicado en el suroccidente de la capital colombiana, al occidente de la Autopista Sur, entre la Localidad de Bosa y el Municipio de Soacha, el cual muestra niveles importantes de eutrofización.



Foto 21. Vista aérea del Humedal Tibanica (encerrado en la circunferencia de color rojo). En la parte baja se aprecia la Autopista Sur y en la parte alta, el Río Tunjuelo. Tomada de Google Earth.



Foto 22. Humedal Tibanica en Bogotá D.C.

Se suministró 250 L de aire por hora a cada celda, mediante tres (3) sopladores de pecera modelo P-500 de la marca “Power Life”, los cuales cuentan con dos boquillas cada uno (una boquilla para alimentar cada celda).

Cada celda tuvo un tiempo de adaptación de 20 días, tiempo en el cual se hacían adiciones diarias (cada 24 horas) de 100 mL de ARS concentrada 10 veces, la cual permitía mantener un nivel de alimento que facilitaba la supervivencia de la biomasa.

### **7.3 Estimación del tiempo medio de aparición de formas oxidadas de nitrógeno por nitrificación**

Una vez la biomasa fue estabilizada a las condiciones de trabajo, se estimó el tiempo de aparición de formas oxidadas de nitrógeno, determinando la concentración de nitritos y nitratos a intervalos de tiempo de 0,5, 1, 2, 24 y 48 horas, para las condiciones dadas:

- Caudal de aire: 250 L/h
- Alimento representado en la DQO del ARS: 374 mg/L

Este tiempo permitió estimar la velocidad neta de aparición de formas oxidadas de nitrógeno, con lo cual se estableció la duración de la aireación, en cada prueba, en 1 hora; tiempo en que se presenta la mayor concentración de nitratos.

### **7.4 Operación de los reactores SBR para las pruebas de interrupción de la nitrificación**

Una vez que la biomasa fue estabilizada y se estimó el tiempo de nitrificación, los seis (6) reactores SBR de fangos activos se operaron, cada uno, de la siguiente forma:

1. Llenado
2. Aireación: 1 hora
3. Sedimentación: 30 min
4. Vaciado

Cada serie contó con seis ensayos de tres (3) blancos o controles y tres (3) experimentos, en los que se hicieron adiciones distintas de zumo de fique fermentado.

En cada vaciado se conservó la biomasa generada, la cual se inoculaba en nueva ARS y se repetía la prueba nuevamente.

Se efectuaron cuatro (4) series idénticas con tres (3) repeticiones y, de manera intercalada, las seis (6) celdas de ensayo se distribuyeron como se muestra en la Ilustración 3.

<b>Blanco 1</b>	<b>Experimento 1</b>	<b>Blanco 2</b>	<b>Experimento 2</b>	<b>Blanco 3</b>	<b>Experimento 3</b>
-----------------	--------------------------	-----------------	--------------------------	-----------------	--------------------------

Ilustración 3. Distribución de las celdas SBR en el reactor

Para los cada uno de los experimentos, se adicionaron concentraciones variables de zumo de fique fermentado, de la siguiente forma:

- Serie 1 (x 3 veces): 1, 2 y 5 ppm
- Serie 2 (x 3 veces): 10, 20 y 50 ppm
- Serie 3 (x 3 veces): 100, 200 y 500 ppm
- Serie 4 (x 3 veces): 1000, 2000 y 5000 ppm

Se analizó para cada una de las pruebas pH, T°, Oxígeno Disuelto, Nitritos y Nitratos, después de cada ciclo de operación.

Adicionalmente, se determinó la DQO al final de cada prueba para verificar que el zumo de fique fermentado no interfiriera el desempeño de la biomasa presente.

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Resultados de la Fase 1 - Preliminar - Extracción, caracterización y fermentación del zumo de fique

#### 8.1.1 Extracción del zumo de la hoja de fique

Los resultados obtenidos por los diferentes métodos de extracción, se exponen a continuación:

**MÉTODO 1 - Extracción directa por licuado.** En este ensayo se licuaron 96,33 g de hoja de fique sin corteza, ya que cantidades superiores a los 160 g sobrecargan la licuadora afectando su funcionamiento. Con este método de extracción, la hoja de fique se desintegra obteniéndose un bagazo pastoso pero no se obtiene su zumo.

**MÉTODO 2 - Extracción por licuado en matriz acuosa.** En la Tabla 10 se muestran los resultados del peso del bagazo y del peso teórico del zumo extraídos por el MÉTODO 2, así como sus valores porcentuales respecto del peso de la penca con que fue alimentada la licuadora.

Tabla 10. Resultados iniciales de extracción del zumo de la hoja de fique por el Método 2.

Nº Prueba	Peso de la penca (g)	Volumen de agua destilada añadida (mL)	Peso del zumo extraído (g)	% en peso del zumo extraído
1	189,01	208	51,19	27,08
2	123,15	135	34,86	28,31
3	111,09	122	29,92	26,93
4	90,71	100	24,80	27,34
<b>Valores Promedio</b>			<b>72,59</b>	<b>27,42</b>

En la Tabla 11 se muestran los resultados finales del proceso de extracción por el MÉTODO 2, incluyendo el rendimiento de extracción por este método.

Tabla 11. Resultados finales de extracción del zumo de la hoja de fique por el Método 2.

Nº Prueba	Peso de la Penca sin corteza (g)	Peso teórico del zumo extraído (g)	Volumen del zumo extraído filtrado (mL)*	Rendimiento de Extracción (mL de zumo/g de penca)
1	189,01	51,19	50,19	0,265
2	123,15	34,86	34,18	0,277
3	111,09	29,92	29,33	0,264
4	90,71	24,80	24,31	0,268
<b>Media de Rendimiento de Extracción por licuado en matriz acuosa</b>				<b>0,269</b>

\*Calculado a partir de la densidad del zumo de la penca (fique) = 1,019 g/mL a una temperatura media de 18,1 °C

**MÉTODO 3 - Extracción directa por molido.** En la Tabla 12 se exponen los resultados de extracción por el MÉTODO 3, incluyendo el rendimiento de extracción.

Tabla 12. Resultados finales de extracción del zumo de la hoja de fique por el Método 3.

<b>Nº Prueba</b>	<b>Peso de la penca sin Corteza (g)</b>	<b>Volumen de zumo extraído filtrado (mL)</b>	<b>Rendimiento de Extracción (mL de zumo/g de penca)</b>
1	141,95	20	0,141
2	154,23	22	0,143
3	147,82	21	0,142
4	144,17	20	0,139
<b>Media de Rendimiento de Extracción directa por molido</b>			<b>0,141</b>

**MÉTODO 4 - Extracción por licuado y posterior molido.** En la Tabla 13 se muestran los resultados de extracción por el MÉTODO 4, incluyendo el rendimiento de extracción. Dado que este método mostró buenos resultados, no se hicieron cuatro (4) ensayos sino doce (12), para determinar un mejor promedio de rendimiento y determinar así las características fisicoquímicas del zumo del fique.

Tabla 13. Rendimiento de extracción de zumo de fique para varias pruebas.

Nº Prueba	Peso de Penca sin Corteza (g)	Volumen de zumo extraído filtrado (mL)	Rendimiento de Extracción (mL de zumo/g de penca)
1	89,10	25	0,281
2	94,12	31	0,329
3	105,33	39	0,370
4	95,64	32	0,334
5	93,21	30	0,281
6	105,11	35	0,329
7	89,45	30	0,370
8	101,03	33	0,327
9	97,46	30	0,308
10	88,18	27	0,306
11	90,23	28	0,310
12	101,87	33	0,324
<b>Media de Rendimiento de Extracción por Licuado y posterior Molido</b>			<b>0,322</b>

### 8.1.2 Caracterización de pH y DQO para zumo de fique crudo y fermentado decantado

Tabla 14. pH del zumo de fique crudo para varias muestras.

Nº Muestra	Temperatura (°C)	pH
1	18,5	4,89
2	18,4	4,20
3	18,4	4,87
4	18,5	4,34
5	18,6	4,55
6	18,5	4,78
<b>pH Medio del zumo de fique crudo</b>		<b>4,61</b>

Tabla 15. pH del zumo de fique fermentado decantado para varias muestras.

<b>Nº Muestra</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>
1	18,6	5,00
2	18,5	4,98
3	18,6	4,77
4	18,6	4,99
5	18,4	4,97
6	18,5	4,72
<b>pH Medio del zumo de fique fermentado decantado</b>		<b>4,91</b>

Tabla 16. DQO zumo crudo vs. zumo fermentado decantado para varias muestras.

<b>Nº Muestra</b>	<b>DQO Zumo de fique crudo (mg/L)</b>	<b>DQO Zumo de fique fermentado decantado (mg/L)</b>	<b>Reducción (%)</b>
1	87600	16200	81,51
2	76600	14600	80,94
3	82100	15300	81,36
<b>Reducción porcentual media DQO zumo crudo vs. DQO zumo fermentado decantado</b>			<b>81,27</b>

### 8.1.3 Fermentación del zumo de la hoja de fique

Tabla 17. Rendimiento porcentual de la fermentación del zumo de fique crudo.

Nº Muestra	Volumen de zumo de fique crudo (mL)	Volumen de decantado extraído luego de fermentación (mL)	Rendimiento porcentual de obtención de decantado fermentado
1	115	10	8,7
2	112	11	9,8
3	112	11	9,8
<b>% de rendimiento medio de volumen de fermento decantado extraído por volumen de zumo crudo</b>			<b>9,4</b>

### 8.1.4 Caracterización del pH, DQO y conductividad (leída como TDS) de las fases sobrenadante y decantado del zumo de fique fermentado

Tabla 18. pH del decantado vs. del sobrenadante del zumo de fique fermentado.

Nº Muestra	Temperatura (°C)	pH	
		Zumo de Fique Fermentado Decantado	Zumo de Fique Fermentado Sobrenadante
1	18,6	5,00	4,78
2	18,5	4,98	4,84
3	18,6	4,77	4,89
4	18,6	4,99	4,82
5	18,4	4,97	4,85
6	18,5	4,72	4,81
<b>pH medio de las fases formadas en la fermentación del zumo de fique</b>		<b>4,91</b>	<b>4,83</b>

Tabla 19. DQO del decantado vs. del sobrenadante del zumo de fique fermentado.

Nº Muestra	DQO	
	Zumo de Fique Fermentado Decantado (mg/L)	Zumo de Fique Fermentado Sobrenadante (mg/L)
1	16200	15300
2	14600	14800
3	15300	15900
<b>DQO medio de las fases formadas en la fermentación del zumo de fique</b>	<b>15367</b>	<b>15333</b>

Tabla 20. TDS del zumo del fique crudo vs. zumo del fique fermentado decantado y fermentado sobrenadante.

Nº Muestra	TDS	TDS	TDS
	Zumo de Fique Crudo (ppm)	Zumo de Fique Fermentado Decantado (ppm)	Zumo de Fique Fermentado Sobrenadante (ppm)
1	1840	1480	1610
2	1950	1510	1540
3	1910	1470	1580
<b>TDS medio del zumo de fique</b>	<b>1900</b>	<b>1487</b>	<b>1577</b>

## 8.2 Resultados de la Fase 2 - Evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas de la pulpa de las hojas del fique (*Furcraea sp.*) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales

### 8.2.1 Aguas Residuales de Pastelería y Repostería. Pruebas de Tratabilidad

Tabla 21. Características fisicoquímicas del agua residual bruta de la industria de pastelería y repostería.

Parámetro	Resultado
pH (unidades)	4,62
T° (°C)	14,7
Color (UPC)	2200*
Turbiedad (UNT)	148
TDS (ppm)	100
DQO (mg/L)	775

\*Valor determinado mediante dilución 1 a 5.

Tabla 22. Resultados de coagulación química para diferentes dosis de cloruro férrico en agua residual bruta de la industria de pastelería y repostería.

Vaso	Dosis de FeCl <sub>3</sub> (ppm)	pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	TDS (ppm)
1	5	4,66	17,1	1400*	163	100
2	10	4,62	17,3	900*	115	100
3	20	4,51	18,0	180	13,36	110
4	40	4,41	17,8	450	30,74	120
5	80	4,13	17,6	700*	48,6	140
6	120	3,82	18,2	1000*	54,0	150
<b>Dosis</b>						
<b>óptima</b>		<b>20</b>				
<b>(ppm)</b>						

\*Valor determinado mediante dilución 3 a 10.

Esta dosis óptima de cloruro férrico fue seleccionada, considerando que proporciona los valores más bajos, tanto de color como de turbiedad.

Tabla 23. Resultados del coadyuvante de coagulación en agua residual bruta de la industria de pastelería y repostería.

<b>Vaso</b>	<b>Dosis de FeCl<sub>3</sub> (ppm)</b>	<b>Dosis de zumo de fique (ppm)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Color (UPC)</b>	<b>Turbiedad (UNT)</b>	<b>TDS (ppm)</b>
1	20	1	4,57	18,7	160	15,1	100
2	20	2	4,57	18,7	150	9,84	100
3	20	5	4,60	19,2	120	8,97	100
4	20	10	4,58	18,9	170	10,86	100
5	20	20	4,61	18,5	120	9,73	100
6	20	40	4,57	18,7	110	9,21	100
<b>Dosis óptima (ppm)</b>	<b>20</b>	<b>5</b>					

Esta dosis óptima de zumo de fique como coadyuvante, fue seleccionada considerando los valores más bajos de color y turbiedad, resultantes, así como menor gasto de insumo el cual representaría menor costo.

Tabla 24. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en agua residual bruta de la industria de pastelería y repostería. Primera serie.

Vaso	Dosis		pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	TDS (ppm)	DQO (mg/L)
	Dosis de FeCl <sub>3</sub> (ppm)	de zumo de fique (ppm)						
1	20	-	4,56	16,4	130	10,13	90	437
2	20	-	4,55	16,5	130	10,29	90	425
3	20	-	4,55	16,8	120	9,07	100	432
4	20	5	4,56	16,3	110	7,65	100	376
5	20	5	4,54	16,5	100	7,04	90	393
6	20	5	4,54	16,4	110	7,11	100	379

Tabla 25. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en agua residual bruta de la industria de pastelería y repostería. Segunda serie.

Vaso	Dosis		pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	TDS (ppm)	DQO (mg/L)
	Dosis de FeCl <sub>3</sub> (ppm)	de zumo de fique (ppm)						
1	20	-	4,54	16,6	130	10,09	100	422
2	20	-	4,56	16,4	130	9,52	90	417
3	20	-	4,55	16,6	130	10,19	100	432
4	20	5	4,54	16,4	110	7,05	100	380
5	20	5	4,55	16,6	110	7,12	90	383
6	20	5	4,54	16,6	100	7,01	90	374

## 8.2.2 Lixiviados de Relleno Sanitario. Pruebas de Tratabilidad

Tabla 26. Características fisicoquímicas de los lixiviados del relleno sanitario.

Parámetro	Resultado
pH (unidades)	8,57
T° (°C)	14,0
Color (UPC)	3000*
Turbiedad (UNT)	96
TDS (ppm)	3900**
DQO (mg/L)	1803***

\*Valor determinado mediante dilución 1,5 a 10.

\*\*Valor determinado mediante dilución 1 a 5.

\*\*\*Valor determinado mediante dilución 7 a 10.

Tabla 27. Resultados de coagulación química para diferentes dosis de cloruro férrico en lixiviados del relleno sanitario.

Vaso	Dosis de FeCl <sub>3</sub> (ppm)	pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	TDS (ppm)**
1	200	8,39	16,0	2900*	93	4250
2	500	8,00	16,2	2700*	93	4200
3	1000	7,53	16,3	4000*	118	3800
4	2000	7,06	16,0	2600*	91	3950
5	3000	6,74	16,0	60	1,36	5300
6	4000	6,20	16,0	50	0,85	5200
<b>Dosis óptima (ppm)</b>						
	<b>3000</b>					

\*Valor determinado mediante dilución 1 a 10.

\*\*Valor determinado mediante dilución 3 a 10.

Esta dosis óptima de coagulante, fue seleccionada considerando los valores más bajos de color y turbiedad, resultantes, así como menor gasto de insumo el cual representaría menor costo. Nótese que con un valor de 4000 mg/L se logran valores inferiores de

color y turbiedad, pero las diferencias sólo son sensiblemente menores comparadas con los resultados para la dosis elegida de 3000 mg/L y, en cambio, sí representan una adición de 33% más de coagulante y un incremento proporcional en costos.

Tabla 28. Resultados del coadyuvante de coagulación en lixiviados del relleno sanitario.

<b>Vaso</b>	<b>Dosis de FeCl<sub>3</sub> (ppm)</b>	<b>Dosis de zumo de fique (ppm)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Color (UPC)</b>	<b>Turbiedad (UNT)</b>	<b>TDS (ppm)*</b>
1	3000	1	6,42	16,2	70	1,32	5000
2	3000	2	6,47	16,5	70	1,23	5600
3	3000	5	6,44	16,7	70	1,21	5500
4	3000	10	6,37	16,0	60	1,20	5600
5	3000	20	6,39	15,8	60	1,18	5400
6	3000	40	6,30	15,8	50	0,84	5700
<b>Dosis</b>							
<b>óptima</b>	<b>3000</b>	<b>40</b>					
<b>(ppm)</b>							

\*Valor determinado mediante dilución 3 a 10.

Esta dosis óptima de zumo de fique como coadyuvante, fue seleccionada considerando los valores más bajos de color y turbiedad, resultantes. Debe también evitarse un incremento excesivo de TDS para dosis mayores, ya que podrían relacionarse con valores superiores de DQO en el efluente.

Tabla 29. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en lixiviados del relleno sanitario. Primera serie.

Vaso	Dosis		pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	TDS (ppm)*	DQO (mg/L)
	Dosis de FeCl <sub>3</sub> (ppm)	Dosis de zumo de fique (ppm)						
1	3000	-	6,50	15,9	70	1,10	5400	765
2	3000	-	6,44	15,8	80	1,08	5500	751
3	3000	-	6,48	15,8	70	1,05	5800	758
4	3000	40	6,53	15,7	70	0,94	5400	696
5	3000	40	6,45	16,0	70	0,91	5600	690
6	3000	40	6,45	15,8	70	0,91	5400	697

\*Valor determinado mediante dilución 3 a 10.

Tabla 30. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en lixiviados del relleno sanitario. Segunda serie.

Vaso	Dosis		pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	TDS (ppm)*	DQO (mg/L)
	Dosis de FeCl <sub>3</sub> (ppm)	Dosis de zumo de fique (ppm)						
1	3000	-	6,43	16,2	70	1,15	5400	789
2	3000	-	6,45	16,2	70	1,20	5700	772
3	3000	-	6,49	16,3	70	1,14	5500	785
4	3000	40	6,47	16,1	70	0,98	5300	706
5	3000	40	6,54	16,1	70	0,98	5500	696
6	3000	40	6,46	16,3	70	0,96	5400	704

\*Valor determinado mediante dilución 3 a 10.

### 8.2.3 Aguas Residuales de Tintorería. Pruebas de Tratabilidad

Tabla 31. Características fisicoquímicas del agua residual bruta de tintorería.

Parámetro	Resultado
pH (unidades)	7,03
T° (°C)	17,6
Color (UPC)	740*
Turbiedad (UNT)	31,93
TDS (ppm)	510
DQO (mg/L)	1910**

\*Valor determinado mediante dilución 6 a 10.

\*\*Valor determinado mediante dilución 7 a 10.

Tabla 32. Resultados de coagulación química para diferentes dosis de sulfato de aluminio en agua residual bruta de tintorería.

Vaso	Dosis de $Al_2(SO_4)_3$ (ppm)	pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	TDS (ppm)
1	100	6,33	18,2	100	6,64	560
2	300	4,65	18,1	100	6,79	580
3	600	4,39	18,1	90	6,55	660
4	800	4,33	18,2	90	5,80	690
5	1000	4,30	18,0	90	5,86	730
6	2000	4,15	18,2	80	2,30	900
<b>Dosis</b>						
<b>óptima</b>	<b>2000</b>					
<b>(ppm)</b>						

Esta dosis óptima de zumo de coagulante, fue seleccionada considerando valores bajos de color y turbiedad, resultantes. Debe también evitarse un incremento excesivo de TDS para dosis mayores, ya que podrían relacionarse con valores superiores de DQO en el efluente.

Tabla 33. Resultados del coadyuvante de coagulación en agua residual bruta de tintorería.

Vaso	Dosis de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (ppm)	Dosis de zumo de fique (ppm)	pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	TDS (ppm)
1	2000	10	4,16	18,5	120	2,71	810
2	2000	20	4,13	18,7	110	2,39	780
3	2000	50	4,10	19,0	130	2,53	800
4	2000	100	4,14	19,0	100	2,59	820
5	2000	200	4,17	18,4	100	2,30	800
6	2000	400	4,18	18,6	110	2,68	780
<b>Dosis óptima (ppm)</b>	<b>2000</b>	<b>20</b>					

Esta dosis óptima de zumo de fique como coadyuvante, fue seleccionada considerando valores bajos de color y turbiedad, resultantes.

Tabla 34. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en agua residual bruta de tintorería. Primera serie.

Vaso	Dosis de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (ppm)	Dosis de zumo de fique (ppm)	pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	TDS (ppm)	DQO (mg/L)
1	2000	-	4,20	17,9	80	1,79	760	76
2	2000	-	4,19	18,4	80	1,69	750	78
3	2000	-	4,16	18,9	80	1,59	750	79
4	2000	20	4,17	18,4	50	1,51	740	79
5	2000	20	4,19	18,3	70	1,65	740	75

6	2000	20	4,19	18,3	70	1,53	750	77
---	------	----	------	------	----	------	-----	----

Tabla 35. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en agua residual bruta de tintorería. Segunda serie.

Vaso	Dosis de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (ppm)	Dosis de zumo de fique (ppm)	pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	TDS (ppm)	DQO (mg/L)
1	2000	-	4,18	17,8	90	1,90	750	78
2	2000	-	4,18	18,3	80	1,95	760	78
3	2000	-	4,20	18,1	80	1,88	750	81
4	2000	20	4,18	18,3	60	1,67	750	74
5	2000	20	4,19	18,1	70	1,47	750	76
6	2000	20	4,19	18,1	70	1,48	740	77

#### 8.2.4 Aguas Residuales de Industria de Cárnicos. Pruebas de Tratabilidad

Tabla 36. Características fisicoquímicas del agua residual bruta de la industria de cárnicos.

Parámetro	Resultado
pH (unidades)	6,06
T° (°C)	13,4
Color (UPC)	5000*
Turbiedad (UNT)	2,86
TDS (ppm)	1000
DQO (mg/L)	11070**

\*Valor determinado mediante dilución 1 a 20.

\*\*Valor determinado mediante dilución 1 a 10.

Tabla 37. Resultados de coagulación química para diferentes dosis de sulfato de aluminio en agua residual bruta de la industria de cárnicos.

<b>Vaso</b>	<b>Dosis de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (ppm)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Color (UPC)*</b>	<b>Turbiedad (UNT)</b>	<b>TDS (ppm)</b>
1	50	6,03	16,6	3400	219	960
2	100	5,93	16,9	3800	232	980
3	200	5,69	16,9	3600	210	1010
4	500	5,07	16,4	2400	93	990
5	1000	4,56	16,9	1700	52	1000
6	2000	4,05	16,0	1700	75	1080
<b>Dosis</b>						
<b>óptima</b>	<b>1000</b>					
<b>(ppm)</b>						

\*Valor determinado mediante dilución 1 a 10.

Esta dosis óptima de coagulante, fue seleccionada considerando los valores más bajos de color y turbiedad, resultantes.

Tabla 38. Resultados del coadyuvante de coagulación en agua residual bruta de la industria de cárnicos.

<b>Vaso</b>	<b>Dosis de <math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math> (ppm)</b>	<b>Dosis de zumo de fique (ppm)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Color (UPC)*</b>	<b>Turbiedad (UNT)</b>	<b>TDS (ppm)</b>
1	1000	20	4,60	18,5	1150	41,36	1140
2	1000	50	4,59	18,5	1150	43,73	1160
3	1000	100	4,61	19,5	1200	47,17	1160
4	1000	200	4,62	19,6	1100	46,36	1150
5	1000	400	4,60	19,1	1000	35,42	1130
6	1000	800	4,61	18,6	1150	54	1080
<b>Dosis</b>							
<b>óptima</b>	<b>1000</b>	<b>400</b>					
<b>(ppm)</b>							

\*Valor determinado mediante dilución 4 a 10.

Esta dosis óptima de zumo de fique como coadyuvante, fue seleccionada considerando los valores más bajos de color y turbiedad, resultantes.

Tabla 39. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en agua residual bruta de la industria de cárnicos. Primera serie.

Vaso	Dosis de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (ppm)	Dosis de zumo de fique (ppm)	pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)*	Turbiedad (UNT)	TDS (ppm)	DQO (mg/L)**
1	1000	-	4,64	16,6	1172	62	1230	6560
2	1000	-	4,60	16,5	1160	64	1250	6600
3	1000	-	4,60	16,9	1168	60	1250	6660
4	1000	400	4,61	16,8	976	53	1220	6260
5	1000	400	4,61	16,4	976	54	1230	6340
6	1000	400	4,59	16,6	976	50	1230	6300

\*Valor determinado mediante dilución 4 a 10.

\*\*Valor determinado mediante dilución 2 a 10.

Tabla 40. Resultados de coagulación química Vs. adición de coadyuvante en agua residual bruta de la industria de cárnicos. Segunda serie.

Vaso	Dosis de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (ppm)	Dosis de zumo de fique (ppm)	pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)*	Turbiedad (UNT)	TDS (ppm)	DQO (mg/L)**
1	1000	-	4,66	16,4	1170	64	1240	6700
2	1000	-	4,62	16,5	1168	63	1240	6680
3	1000	-	4,63	16,5	1170	63	1250	6670
4	1000	400	4,60	16,6	972	52	1220	6315
5	1000	400	4,61	16,6	972	51	1230	6300
6	1000	400	4,60	16,4	976	51	1220	6310

\*Valor determinado mediante dilución 4 a 10.

\*\*Valor determinado mediante dilución 1 a 20.

### 8.3 Resultados de la Fase 3 - Evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas de la pulpa de las hojas del fique (*Furcraea sp.*) como disruptor del proceso de nitrificación, encaminado a la recuperación de cuerpos de agua hipereutrofizados

#### 8.3.1 Comportamiento temporal de la conversión del nitrógeno por nitrificación

Tabla 41. Análisis temporal de la conversión del nitrógeno amoniacal por nitrificación.

Tiempo (h)	Nitritos (mg/L NO <sub>2</sub> )	Promedio de Nitritos (mg/L NO <sub>2</sub> )	Nitratos (mg/L NO <sub>3</sub> )	Promedio de Nitratos (mg/L NO <sub>3</sub> )
0,5	0,02	0,01	11,8	12,1
	0,00		11,9	
	0,01		12,0	
	0,00		12,5	
1	0,00	0,01	29,5	29,3
	0,00		28,1	
	0,00		29,3	
	0,02		30,4	
2	0,00	0,03	20,2	19,5
	0,07		18,6	
	0,05		19,4	
	0,00		19,6	
24	0,03	0,02	4,9	4,2
	0,00		4,2	
	0,00		3,7	
	0,06		4,1	
48	0,00	0,00	4,4	3,9
	0,00		3,8	
	0,00		2,7	
	0,00		4,8	

### 8.3.2 Resultados de las pruebas de interrupción de la nitrificación

Tabla 42. Resultados de las pruebas de interrupción de nitrificación para dosis de zumo de fique entre 1 y 5 ppm.

<b>Dosis de Zumos de fique (ppm)</b>	<b>Nº Réplica</b>	<b>Nitritos (mg/L)</b>	<b>Nitratos (mg/L)</b>	<b>O.D. (mg/L)</b>	<b>pH</b>	<b>Tº (ºC)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>
1 ppm	1	0,0	9,3	7,7	8,0	13,5	37
	2	0,0	8,8	7,6	8,1	13,4	31
	3	0,1	9,0	8,0	8,0	13,4	35
2 ppm	1	0,1	3,2	8,1	8,1	13,4	33
	2	0,0	8,5	8,0	7,9	13,5	32
	3	0,0	8,7	7,8	7,9	13,5	36
5 ppm	1	0,1	9,0	7,9	7,9	13,5	35
	2	0,1	8,7	7,9	8,0	13,4	33
	3	0,0	8,9	7,7	8,0	13,4	34
Blanco	1	0,1	8,5	7,9	8	13,7	34
	2	0,08	9,3	8,2	8	13,4	31
	3	0,1	9	7,6	8,1	13,4	36

Tabla 43. Resultados de las pruebas de interrupción de nitrificación para dosis de zumo de fide entre 10 y 50 ppm.

<b>Dosis de</b>							
<b>Zumo de fide (ppm)</b>	<b>N° Réplica</b>	<b>Nitritos (mg/L)</b>	<b>Nitratos (mg/L)</b>	<b>O.D. (mg/L)</b>	<b>pH</b>	<b>T° (°C)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>
10 ppm	1	0,00	9,1	7,9	8,0	13,1	31
	2	0,01	9,2	7,8	8,0	13,3	30
	3	0,00	8,9	7,8	8,0	13,3	28
20 ppm	1	0,00	8,8	8,0	7,9	13,1	27
	2	0,00	8,9	8,2	7,9	13,4	29
	3	0,00	9,0	8,1	8,0	13,2	31
50 ppm	1	0,00	9,0	7,5	8,0	13,4	30
	2	0,01	9,2	7,8	8,1	13,3	30
	3	0,00	9,0	7,7	8,0	13,3	28
Blanco	1	0,00	9,2	7,7	8,0	13,3	31
	2	0,01	9,5	8,1	8,1	13,4	35
	3	0,01	8,8	7,9	8,0	13,4	26

Tabla 44. Resultados de las pruebas de interrupción de nitrificación para dosis de zumo de fide entre 100 y 500 ppm.

<b>Dosis de</b>							
<b>Zumo de fide (ppm)</b>	<b>N° Réplica</b>	<b>Nitritos (mg/L)</b>	<b>Nitratos (mg/L)</b>	<b>O.D. (mg/L)</b>	<b>pH</b>	<b>T° (°C)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>
100 ppm	1	0,03	20,2	8,0	7,49	13,8	31
	2	0,06	28,3	7,9	7,78	13,5	29
	3	0,04	29,1	7,8	7,88	13,5	27
200 ppm	1	0,07	31,1	7,6	7,81	13,7	66
	2	0,09	73,1	7,8	8,01	13,5	69
	3	0,02	27,3	8,0	7,78	13,4	60
500 ppm	1	0,00	23,3	7,7	8,02	13,6	56
	2	0,00	36,9	7,9	8,07	13,5	50
	3	0,00	22,7	7,9	7,86	14,1	52
Blanco	1	0,00	8,1	7,6	8,04	13,5	39
	2	0,04	10,6	8,0	8,07	13,5	28
	3	0,00	8,5	7,9	8,03	13,5	33

Tabla 45. Resultados de las pruebas de interrupción de nitrificación para dosis de zumo de fide entre 1000 y 5000 ppm.

<b>Dosis de</b>							
<b>Zumo de fide (ppm)</b>	<b>N° Réplica</b>	<b>Nitritos (mg/L)</b>	<b>Nitratos (mg/L)</b>	<b>O.D. (mg/L)</b>	<b>pH</b>	<b>T° (°C)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>
1000 ppm	1	0,00	15,0	8,0	8,1	13,5	46
	2	0,01	14,5	7,8	8,2	13,7	40
	3	0,01	13,9	7,8	8,0	13,6	48
2000 ppm	1	0,05	14,7	7,2	8,0	13,3	72
	2	0,05	14,5	7,5	8,2	13,0	80
	3	0,03	14,4	7,4	8,0	13,1	77
5000 ppm	1	0,03	12,2	4,8	7,32	13,4	88
	2	0,05	10,3	5,5	7,37	13,1	92
	3	0,02	11,7	5,2	7,51	13,2	98
Blanco	1	0,12	17,3	8,2	8,8	13,3	37
	2	0,07	17,0	8,2	8,8	13,2	27
	3	0,10	17,7	8,1	8,6	13,0	38

## **9. DISCUSIÓN**

### **9.1 Discusión de la Fase 1 - Preliminar - Extracción, caracterización y fermentación del zumo de fique**

#### **9.1.1 Extracción y caracterización del zumo del fique**

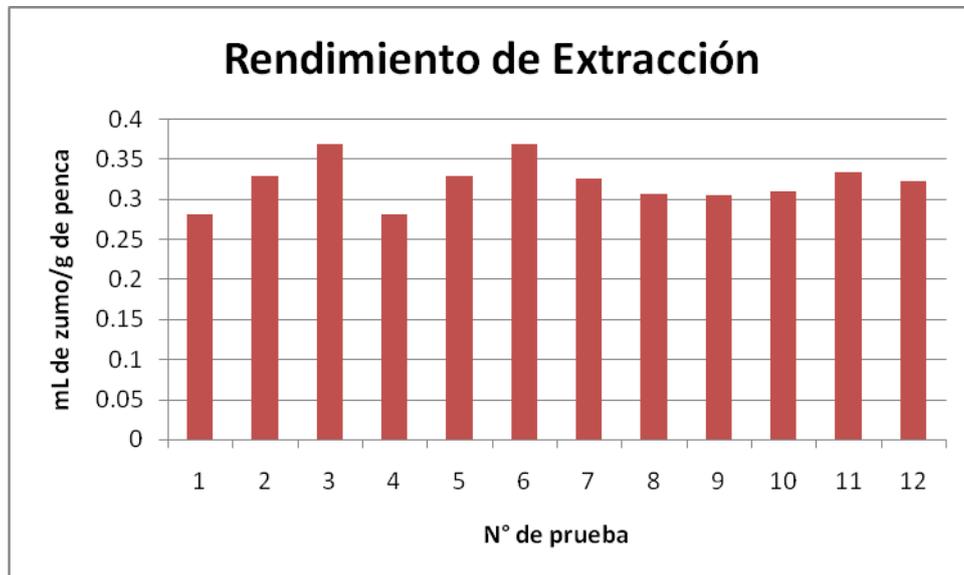
A raíz del resultado obtenido por el MÉTODO 1 (extracción directa por licuado), se decidió agregar agua de dilución que dio lugar al MÉTODO 2 de extracción por licuado en matriz acuosa.

El MÉTODO 2 (extracción por licuado en matriz acuosa) presenta inconvenientes referidos a que el propósito de la investigación era la de trabajar con zumo de fique puro, dada la necesidad de asegurar la facilidad de su transporte y manipulación y, especialmente, porque, eventualmente, necesitaría ser fermentado. Por esta razón, se optó por buscar un mecanismo que permitiera la extracción del zumo de fique sin necesidad de añadir volúmenes de agua destilada como matriz de la dilución acuosa.

Aunque el MÉTODO 3 (extracción directa por molido) dio buenos resultados; no obstante, la extracción del zumo se hizo difícil a causa de las saponinas y sapogeninas presentes en las hojas del fique, las cuales convierten los trozos cortados en piezas de comportamiento resbaloso, que complica su manipulación y promueven superficies resbaladizas que impiden el funcionamiento correcto del tornillo sinfín del molino.

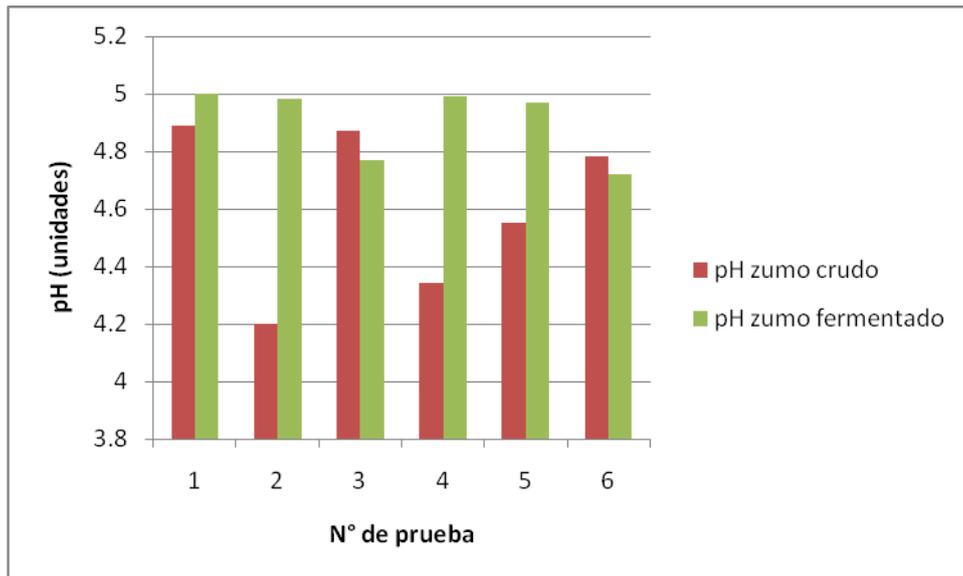
El MÉTODO 4 (licuado y posterior molido de la hoja del fique) resultó ser no sólo el más sencillo y eficaz para extraer el zumo del fique, sino que también arrojó los mejores resultados de rendimiento. Por esta razón, se adoptó como el procedimiento de extracción para la investigación.

Mediante el licuado y el molido de la hoja del fique, se obtuvo un rendimiento medio de extracción de 0,322 mL de zumo/g de hoja (Gráfica 1), con una densidad relativa, respecto del agua, de 1,019 g/mL a una temperatura media de 18,1 °C.



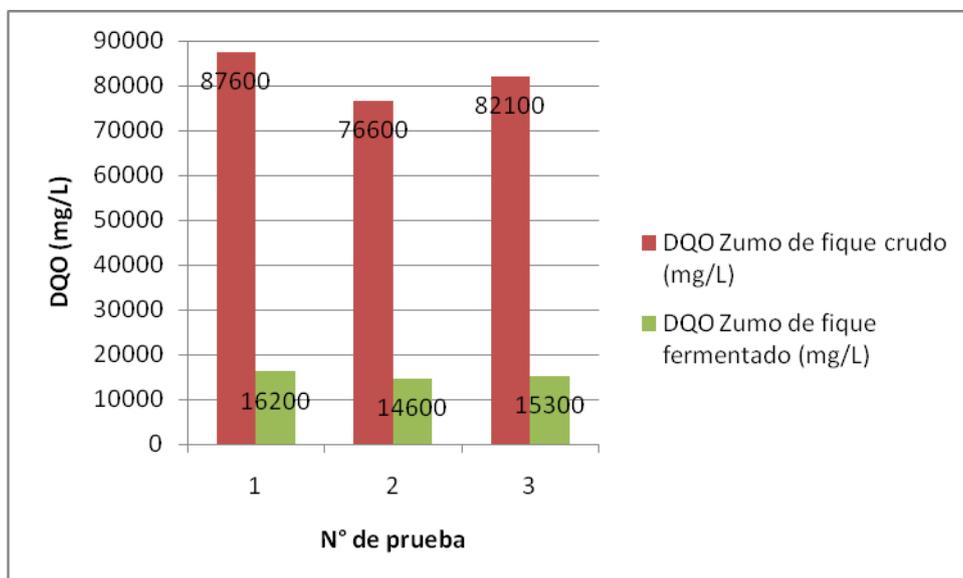
Gráfica 1. Rendimientos de extracción del zumo de fique empleando licuado y molido de la hoja

El pH oscila entre las 4 y las 5 unidades, con valores mayores para el zumo fermentado. El proceso de fermentación muestra una diferencia significativa ( $P < 0,050$ ) en el aumento del valor del pH cerca de 0,85 unidades, que significa una disminución de su poder corrosivo.



Gráfica 2. Comparación entre el pH del zumo de fique crudo y del mismo zumo fermentado

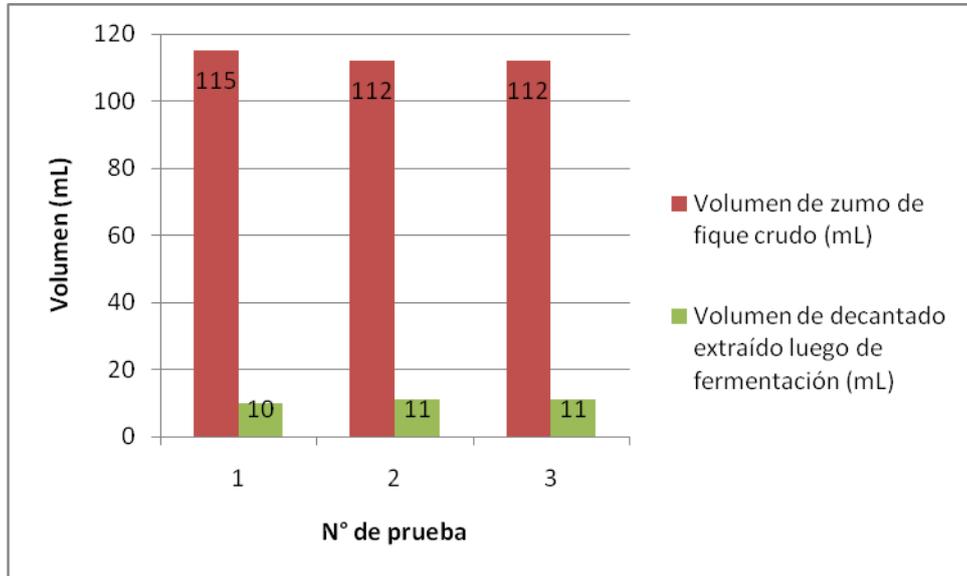
Se presenta una reducción media, estadísticamente significativa ( $P < 0,050$ ) del 81,3% en la DQO del zumo fermentado decantado respecto del zumo crudo, lo que implica una disminución considerable de su poder contaminante.



Gráfica 3. Comparación entre la DQO del zumo de fique crudo y del mismo zumo fermentado

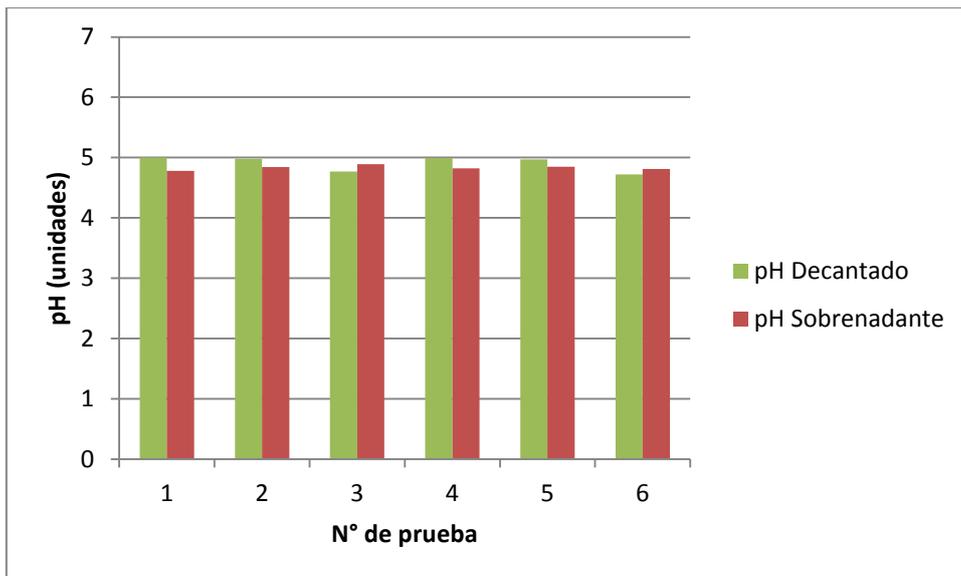
De las tres muestras analizadas para medir el rendimiento porcentual de la fermentación de fique crudo, se obtuvo 9,4% de decantado extraído luego de la fermentación, en

donde se hallan concentradas las geninas (sustancias químicas activas) del zumo del fique.

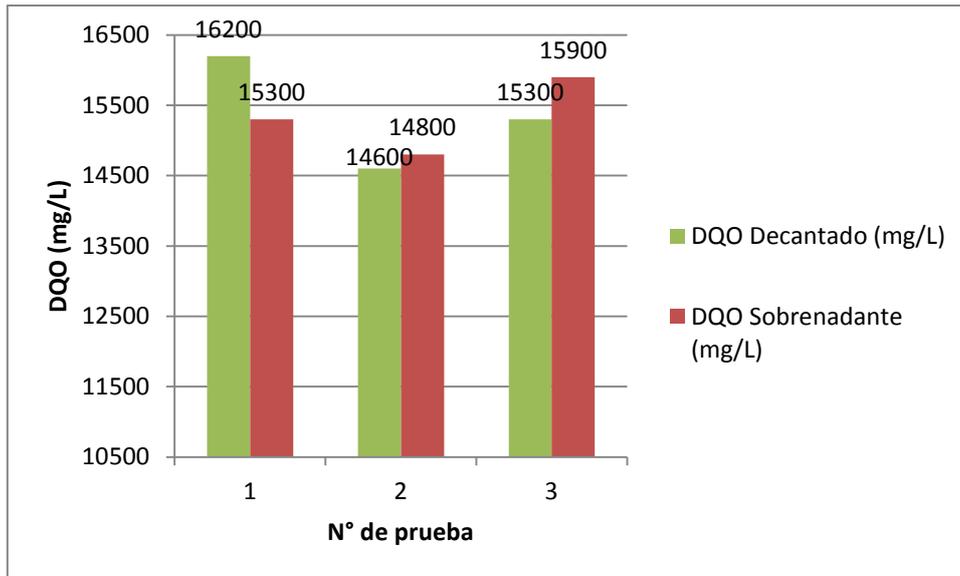


Gráfica 4. Volumen de decantado extraído (con las geninas concentradas) de cada muestra de zumo de fique luego de ser fermentada

Durante el proceso de fermentación se presentan dos fases: un decantado y un sobrenadante cuyos pH y DQO no muestran diferencias estadísticamente significativas entre sí ( $P > 0,050$ ).

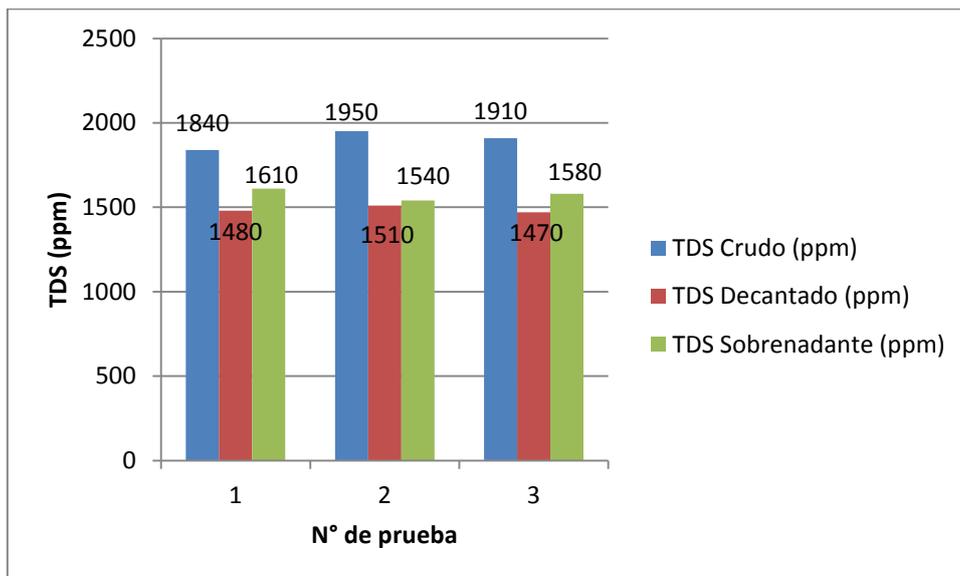


Gráfica 5. pH del zumo de fique fermentado. Decantado vs. Sobrenadante



Gráfica 6. DQO del zumo de fique fermentado. Decantado vs. Sobrenadante

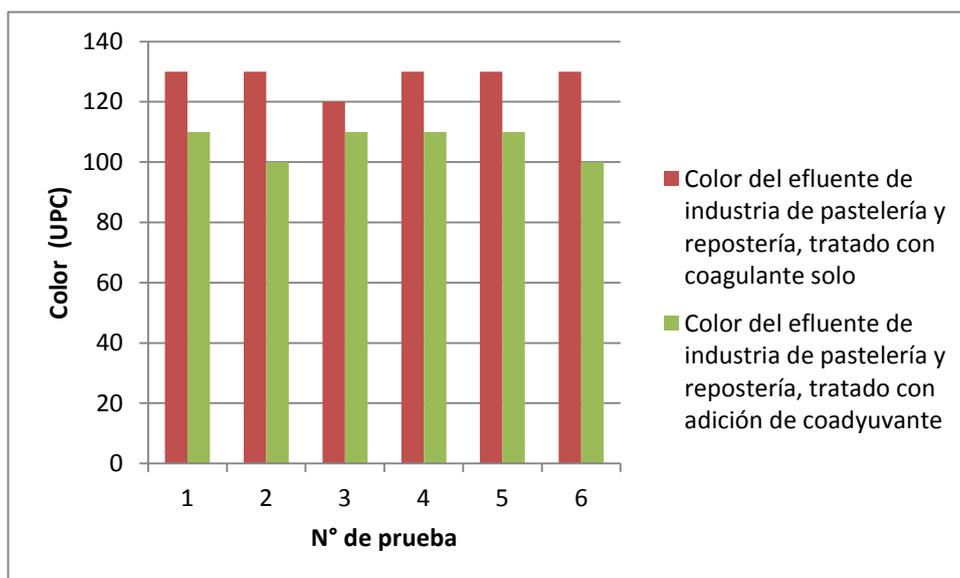
Para los Sólidos Disueltos Totales (TDS), se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre la concentración en partes por millón (ppm) del zumo crudo y del fermentado decantado ( $P < 0,050$ ) con una media de 21,7 %, siendo menor la concentración de sólidos disueltos en el fermentado decantado. Así mismo, entre el fermentado decantado y el sobrenadante, la diferencia porcentual es de 5,7%, siendo menor la concentración de sólidos disueltos en el fermentado decantado.



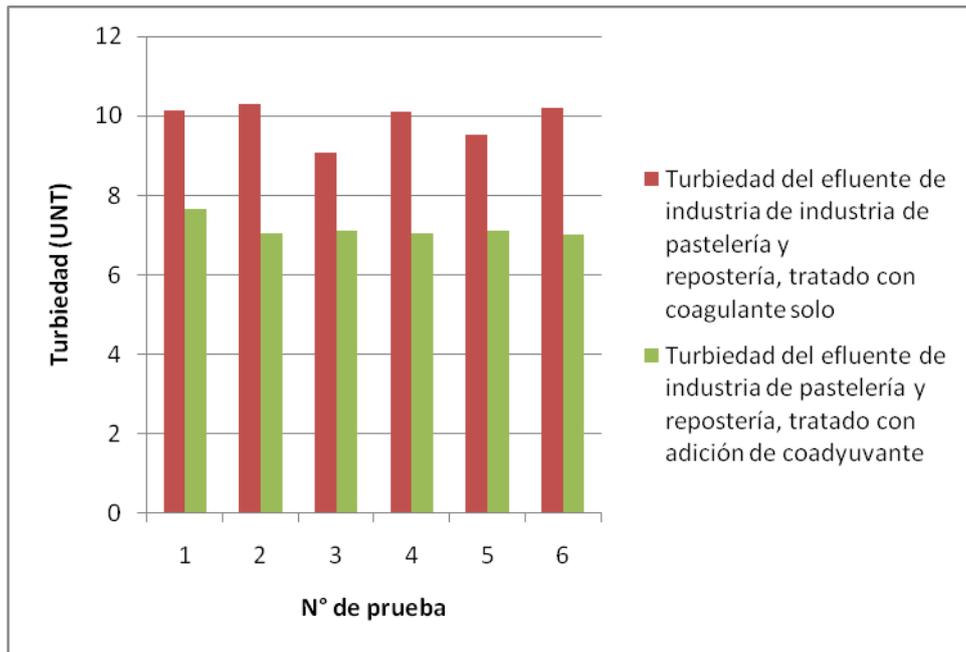
## 9.2 Discusión de la Fase 2 - Evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas de la pulpa de las hojas del fique (*Furcraea sp.*) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales

### 9.2.1 Efecto del decantado del zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación en aguas residuales de industrias de pastelería y repostería

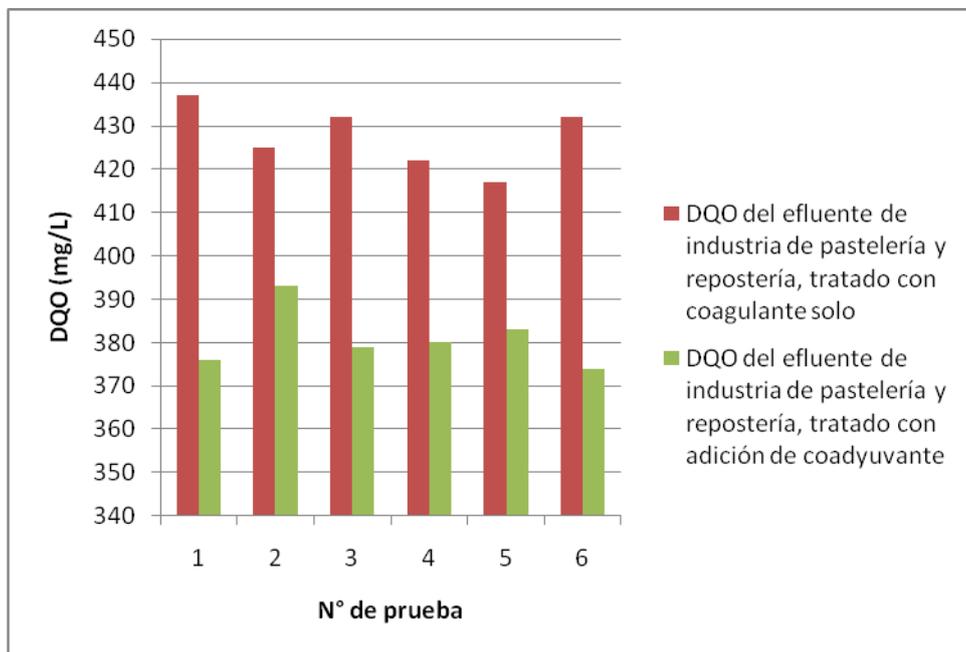
El uso del decantado del zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación en aguas residuales de industrias de pastelería, permite una remoción media, estadísticamente significativa ( $P < 0,050$ ), de 17% en los valores de color, 28% en los valores de turbiedad y 11% en los de DQO, estimados sobre los valores conseguidos por el coagulante solo.



Gráfica 7. Color del efluente tratado de aguas residuales de industria de pastelería y repostería, empleando coagulante solo y con adición de zumo de fique como coadyuvante



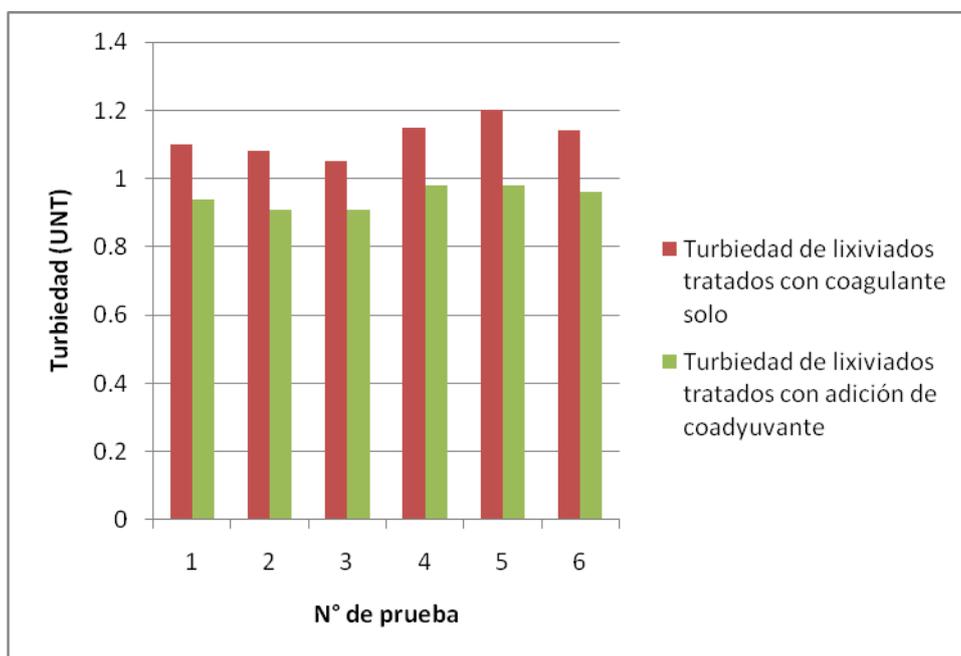
Gráfica 8. Color del efluente tratado de aguas residuales de industria de pastelería y repostería, empleando coagulante solo y con adición de zumo de fique como coadyuvante



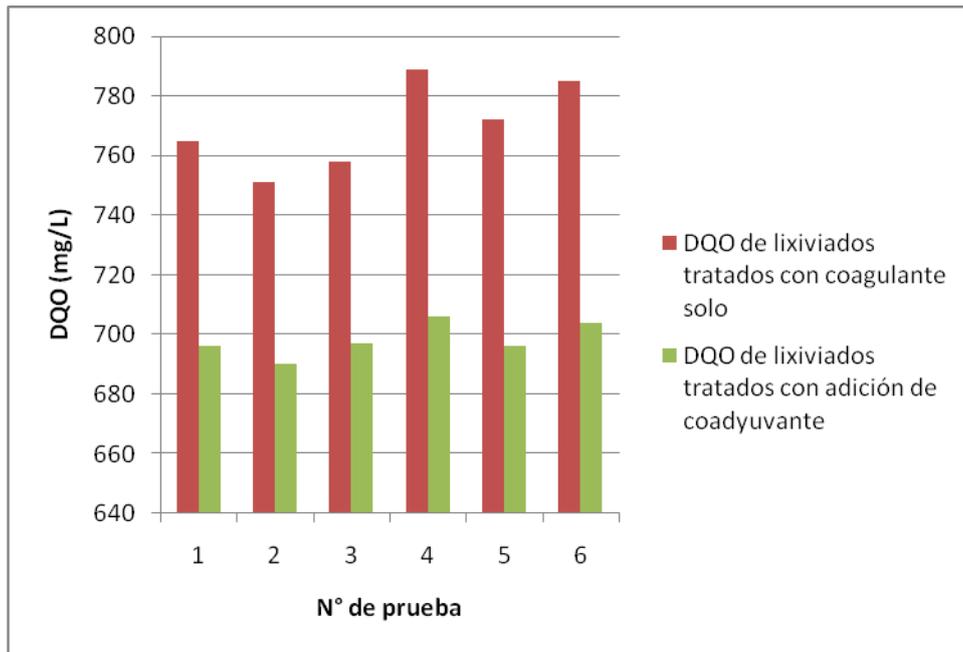
Gráfica 9. DQO del efluente tratado de aguas residuales de industria de pastelería y repostería, empleando coagulante solo y con adición de zumo de fique como coadyuvante

### 9.2.2 Efecto del decantado de zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación en lixiviados de rellenos sanitarios

El uso del decantado del zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación en lixiviados de rellenos sanitarios, permite una remoción media, estadísticamente significativa ( $P < 0,050$ ), de 15% en los valores de turbiedad y 9% de DQO, estimados sobre los valores conseguidos por el coagulante solo.

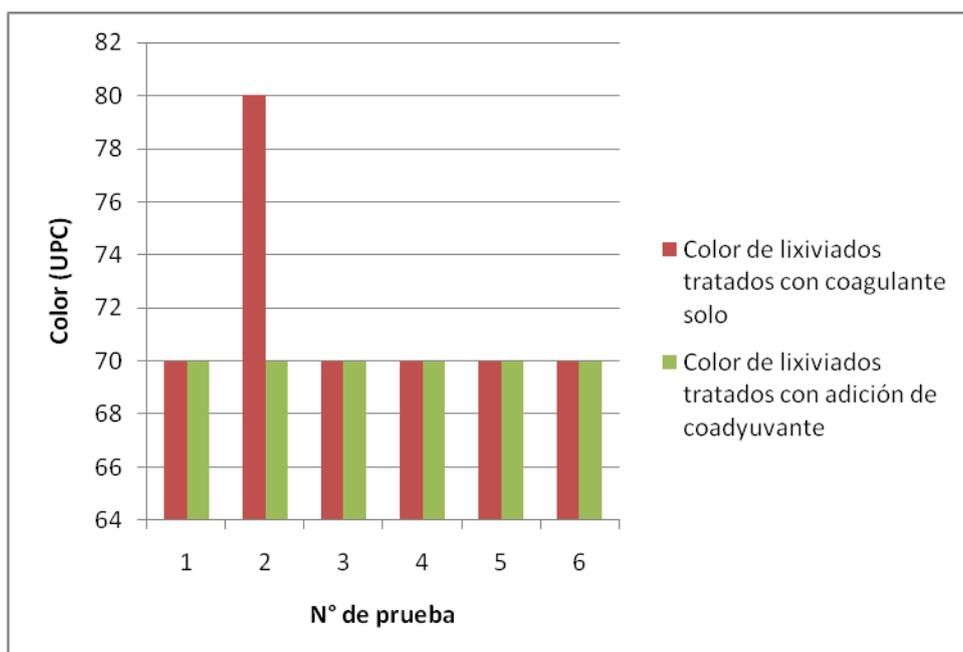


Gráfica 10. Turbiedad de lixiviados tratados, empleando coagulante solo y con adición de zumo de fique como coadyuvante



Gráfica 11. DQO de lixiviados tratados, empleando coagulante solo y con adición de zumo de fique como coadyuvante

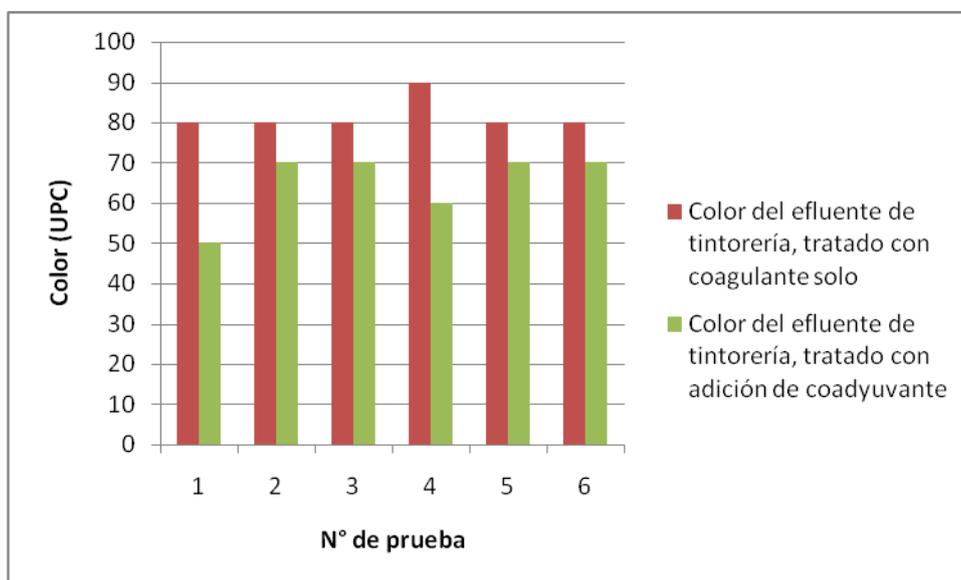
No se aprecian diferencias significativas en los valores de color usando el decantado de zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación en lixiviados de rellenos sanitarios.



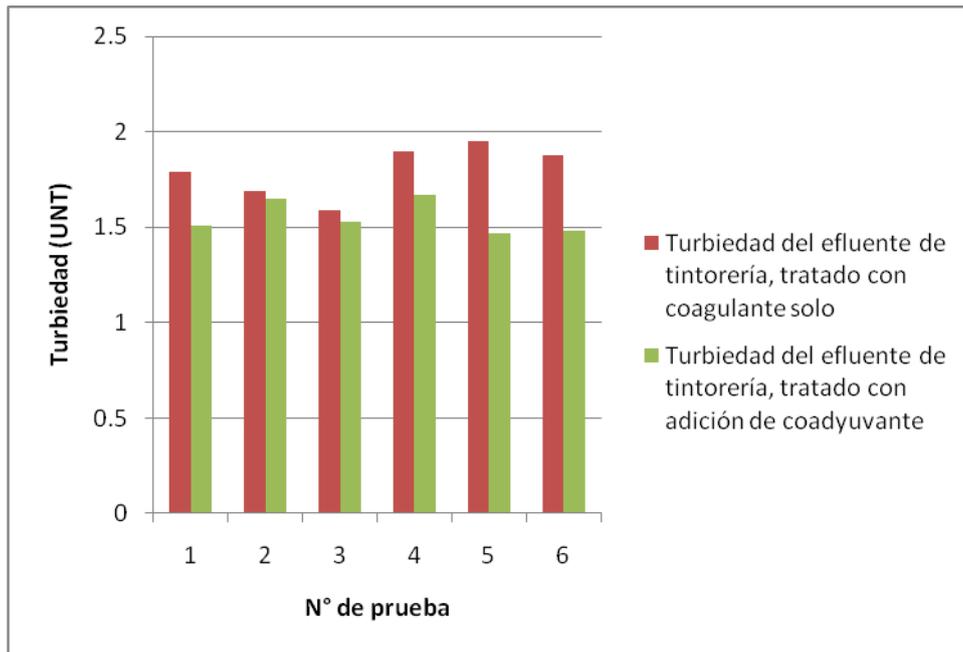
Gráfica 12. Color de lixiviados tratados, empleando coagulante solo y con adición de zumo de fique como coadyuvante

### 9.2.3 Efecto del decantado de zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación en aguas residuales de industrias de tintorería

El uso del decantado del zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación en aguas residuales de tintorería, permite una remoción media, estadísticamente significativa ( $P < 0,050$ ), de 20% en los valores de color y 14% en los valores de turbiedad, estimados sobre los valores conseguidos por el coagulante solo.

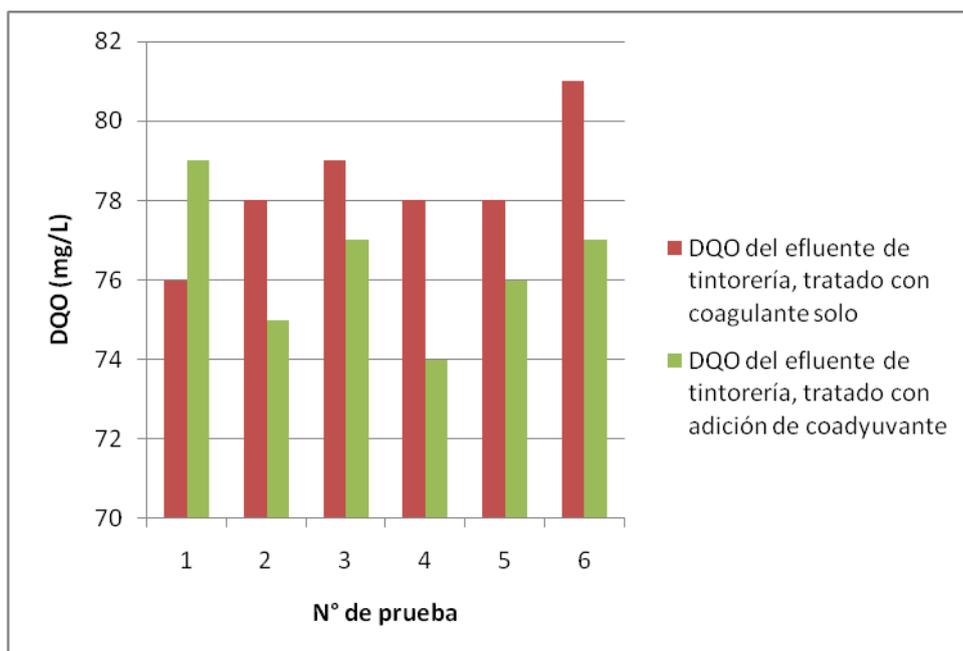


Gráfica 13. Color del efluente tratado de aguas residuales de tintorería, empleando coagulante solo y con adición de zumo de fique como coadyuvante



Gráfica 14. Turbiedad del efluente tratado de aguas residuales de tintorería, empleando coagulante solo y con adición de zumo de fique como coadyuvante

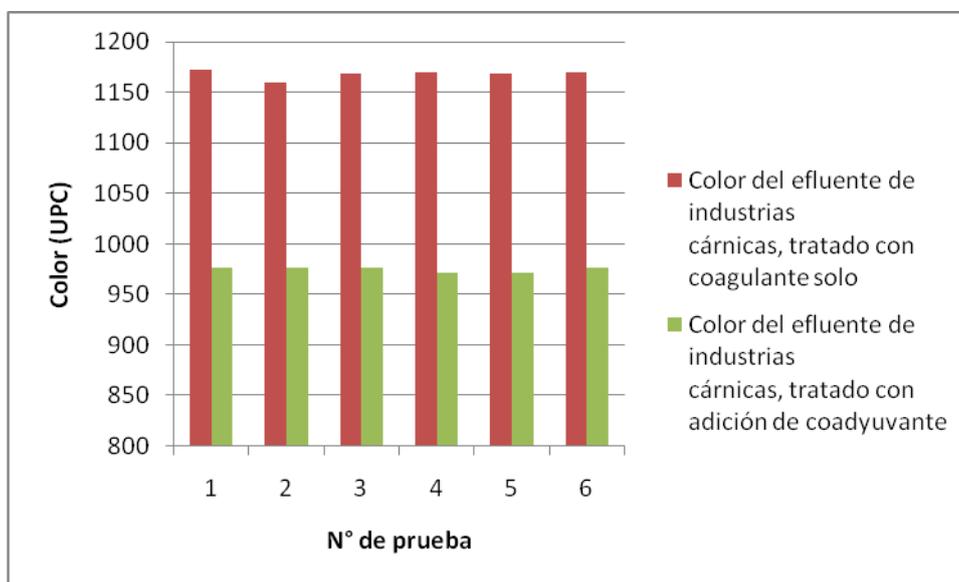
No se aprecian diferencias significativas en los valores de DQO usando el decantado del zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación en aguas residuales de tintorería.



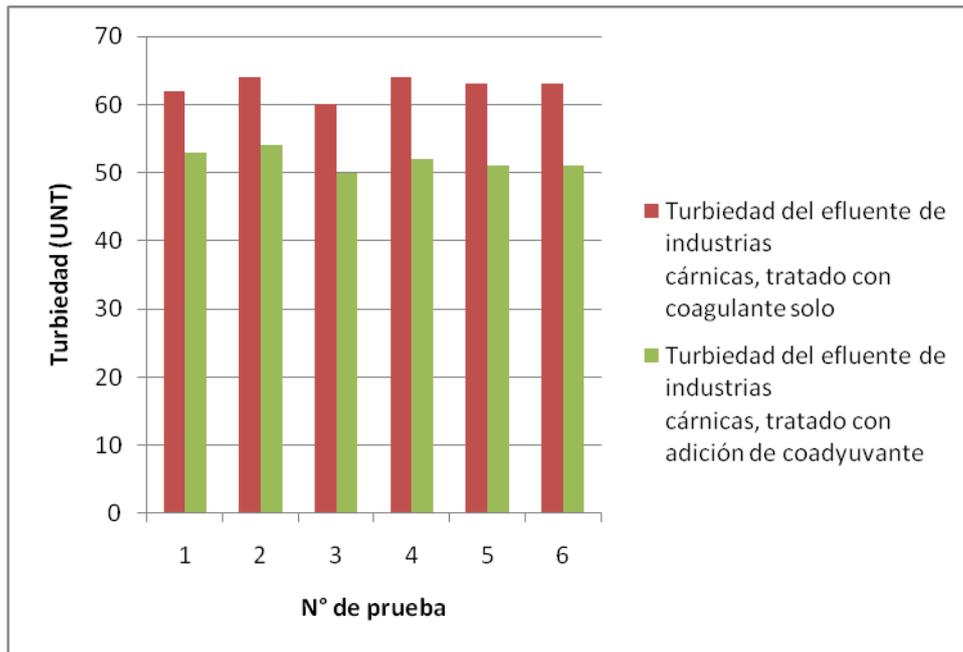
Gráfica 15. DQO del efluente tratado de aguas residuales de tintorería, empleando coagulante solo y con adición de zumo de fique como coadyuvante

### 9.2.4 Efecto del decantado de zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación en aguas residuales de industrias cárnicas

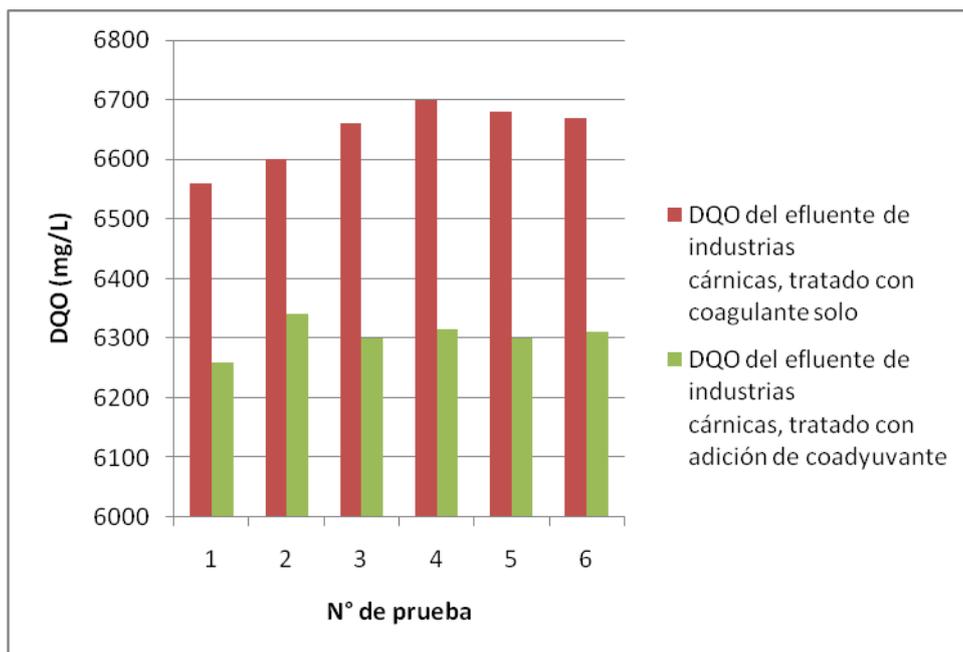
El uso del decantado del zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación en aguas residuales de industrias cárnicas, permite una remoción media, estadísticamente significativa ( $P < 0,050$ ), de 17% en los valores de color, 17% en los valores de turbiedad y 5% de DQO, estimados sobre los valores conseguidos por el coagulante solo.



Gráfica 16. Color del efluente tratado de aguas residuales de industrias cárnicas, empleando coagulante solo y con adición de zumo de fique como coadyuvante



Gráfica 17. Turbiedad del efluente tratado de aguas residuales de industrias cárnicas, empleando coagulante solo y con adición de zumo de fique como coadyuvante



Gráfica 18. DQO del efluente tratado de aguas residuales de industrias cárnicas, empleando coagulante solo y con adición de zumo de fique como coadyuvante

No se aprecian diferencias significativas en la variación de los sólidos disueltos totales (TDS) con la adición del decantado de zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación, en ninguna de las muestras finales de aguas residuales analizadas. Aunque

es de esperarse una disminución adicional de TDS por la aplicación de zumo de fique como coadyuvante en la eliminación sustancias contaminantes de tipo iónico, la alta conductividad del zumo extraído de las hojas de fique estabiliza nuevamente los valores obtenidos a unos similares a los del uso de coagulante solo.

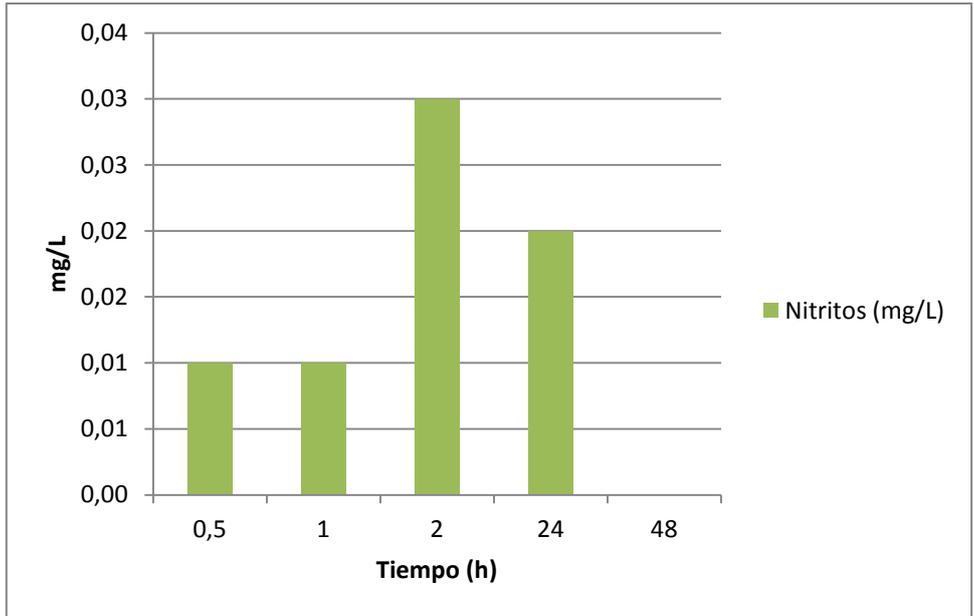
### **9.3 Discusión de la Fase 3 - Evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas de la pulpa de las hojas del fique (*Furcraea sp.*) como disruptor del proceso de nitrificación, encaminado a la recuperación de cuerpos de agua hipereutrofizados**

#### **9.3.1 Comportamiento temporal de la aparición de formas oxidadas de nitrógeno, por nitrificación en un reactor SBR**

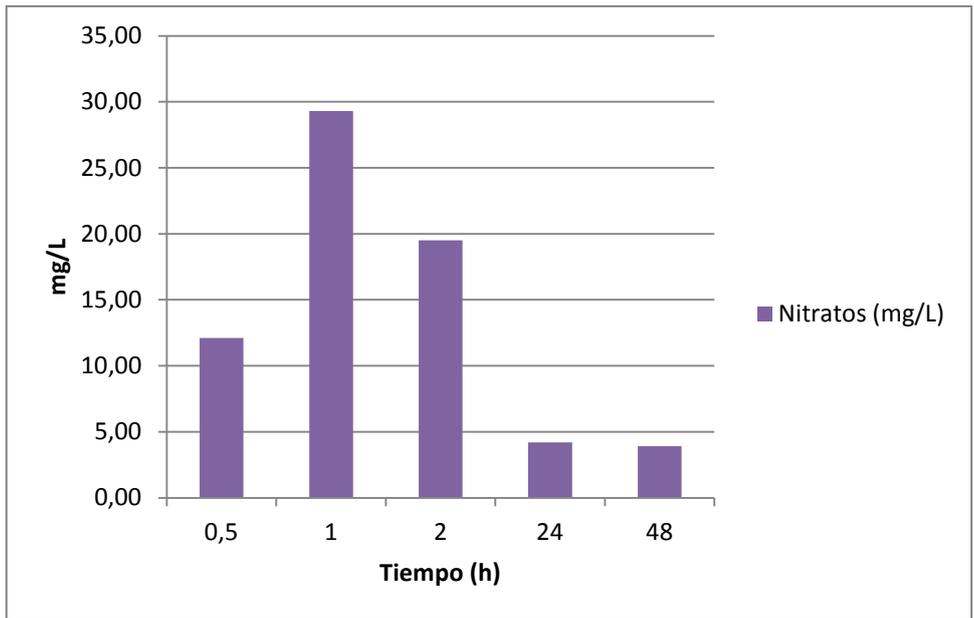
Estequiométricamente, la cantidad de úrea aplicada para la preparación del Agua Residual Sintética (ARS), aporta 16,7 mg/L de nitrógeno amoniacal. No obstante, otros compuestos con los que se prepara el ARS, incluyendo el lodo adicionado, también hacen un aporte significativo de esta forma de nitrógeno.

Los resultados obtenidos muestran que la aparición de formas oxidadas de nitrógeno (nitritos y nitratos), obtenida en el laboratorio en los reactores SBR por nitrificación, se da en un tiempo muy corto, alcanzando los valores más altos en un tiempo cercano a 1 hora. Tiempo después del cual, se empiezan a consumir los nitratos en síntesis celular, en el proceso conocido como reducción asimilatoria de los nitratos.

Por esta razón, el tiempo seleccionado para aireación en el reactor SBR, con el fin de determinar efecto de disruptión del proceso de nitrificación, fue de 1 hora.



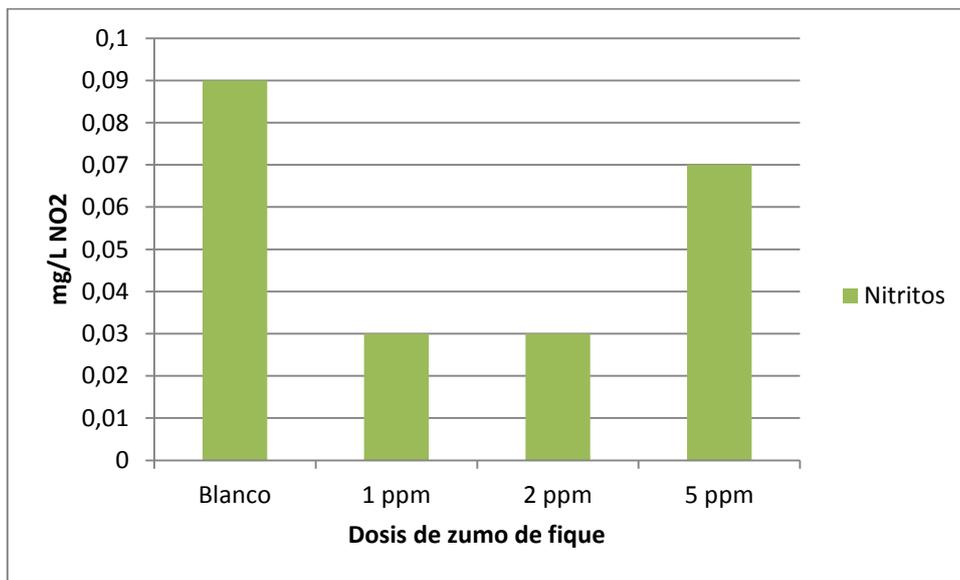
Gráfica 19. Formación de nitritos ( $\text{NO}_2$ ) por nitrificación



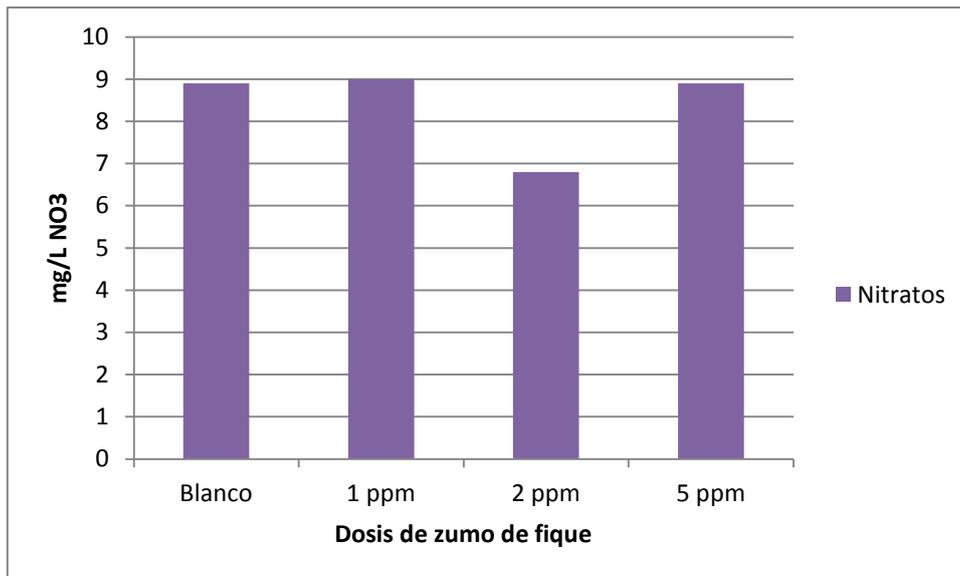
Gráfica 20. Formación de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) por nitrificación

### 9.3.2 Efecto del decantado de zumo fermentado de fique sobre diferentes parámetros, para dosis entre 1 y 5 ppm

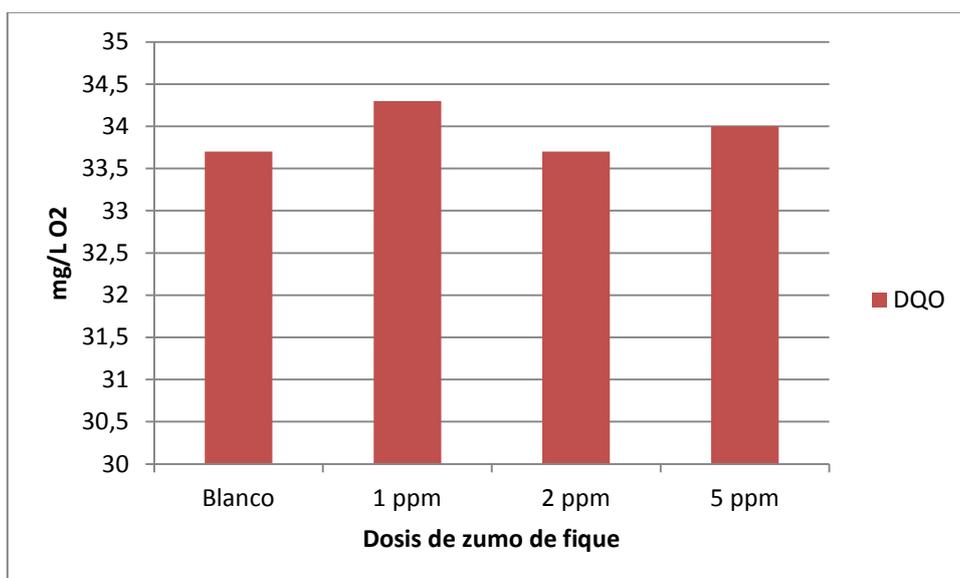
Luego de someter las muestras a 1 hora de aireación y 30 minutos de sedimentación en los reactores SBR de fangos activos, se obtuvo que no se presentan diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,050$ ) para nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y DQO remanentes, con aplicaciones de dosis entre 1 y 5 ppm de zumo decantado y fermentado de fique.



Gráfica 21. Comportamiento de los valores medios de nitritos con aplicaciones de dosis de zumo de fique entre 1 y 5 ppm.



Gráfica 22. Comportamiento de los valores medios de nitratos con aplicaciones de dosis de zumo de fique entre 1 y 5 ppm.



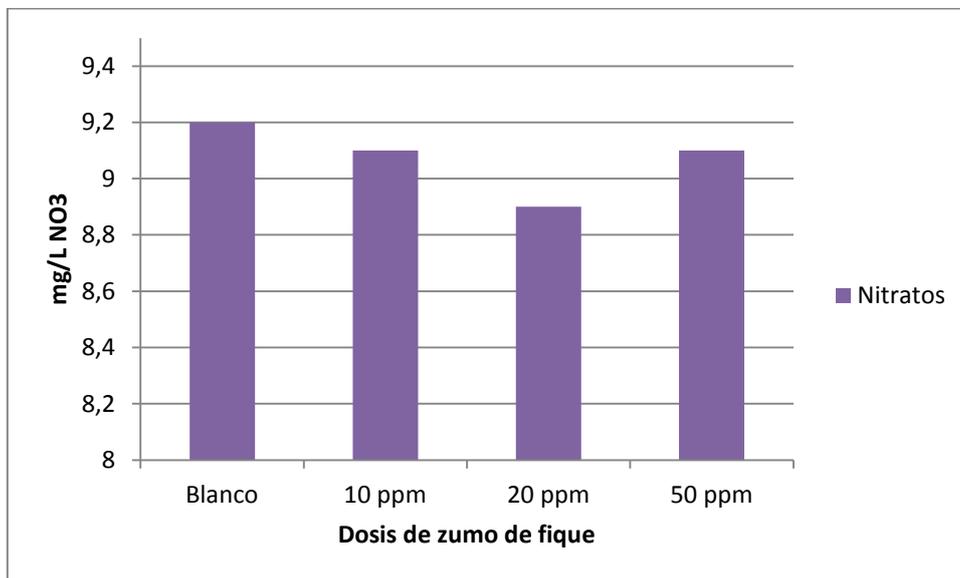
Gráfica 23. Comportamiento de los valores medios de DQO con aplicaciones de dosis de zumo de fique entre 1 y 5 ppm.

Durante las pruebas, tampoco se presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,050$ ) en los valores de pH y oxígeno disuelto.

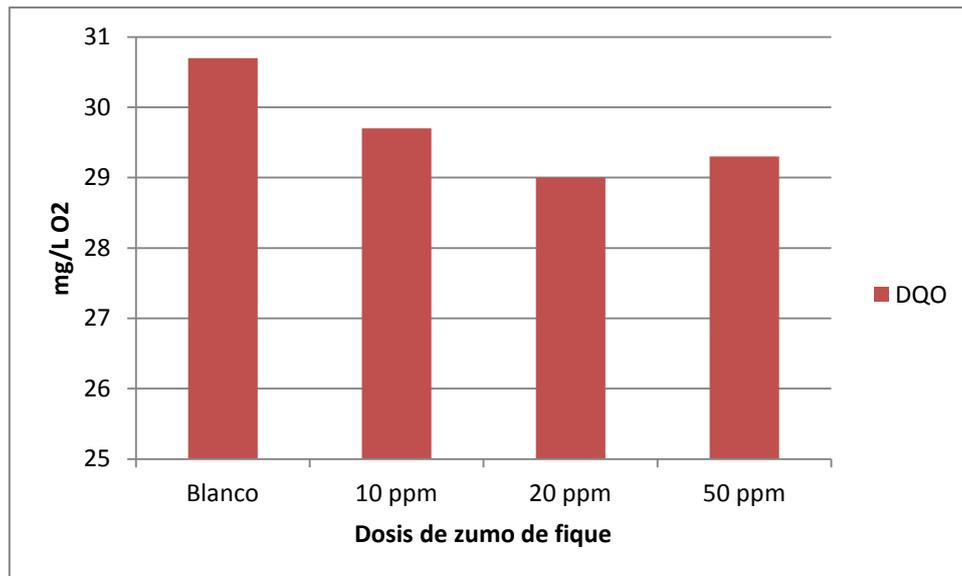
### 9.3.3 Efecto del decantado de zumo fermentado de fique sobre diferentes parámetros, para dosis entre 10 y 50 ppm

Luego de someter las muestras a 1 hora de aireación y 30 minutos de sedimentación en los reactores SBR de fangos activos, se obtuvo que no se presentan diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,050$ ) para nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y DQO remanentes, con aplicaciones de dosis entre 10 y 50 ppm de zumo decantado y fermentado de fique.

Para nitritos, las medias de todos los valores, incluyendo el blanco, fueron de 0,0 mg/L.



Gráfica 24. Comportamiento de los valores medios de nitratos con aplicaciones de dosis de zumo de fique entre 10 y 50 ppm.

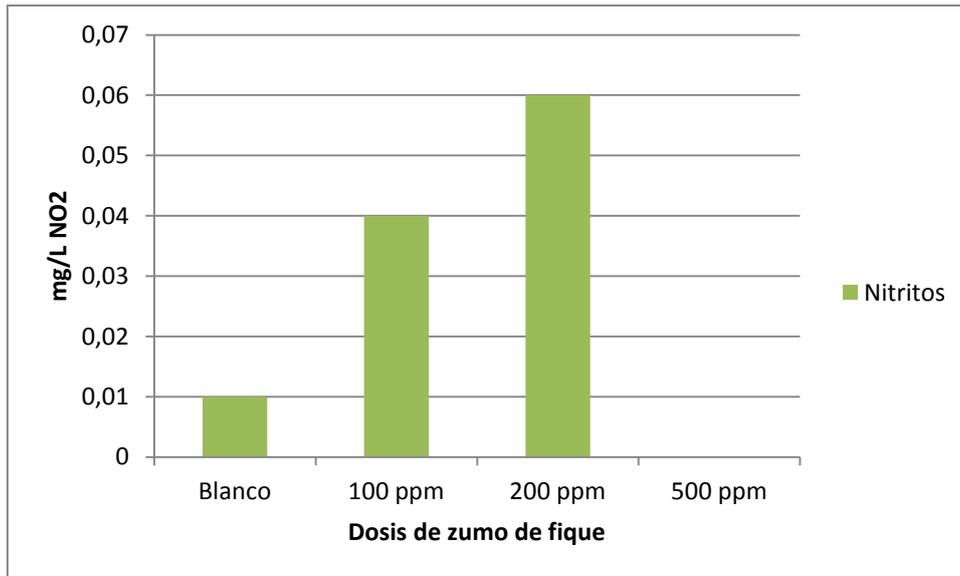


Gráfica 25. Comportamiento de los valores medios de DQO con aplicaciones de dosis de zumo de fique entre 10 y 50 ppm.

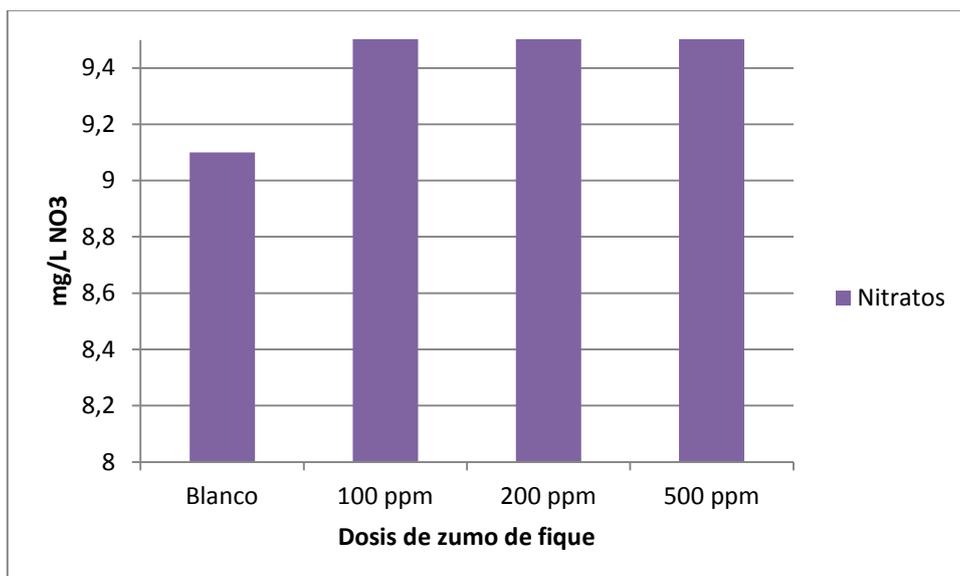
Durante las pruebas, tampoco se presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,050$ ) en los valores de pH y oxígeno disuelto.

#### 9.3.4 Efecto del decantado de zumo fermentado de fique sobre diferentes parámetros, para dosis entre 100 y 500 ppm

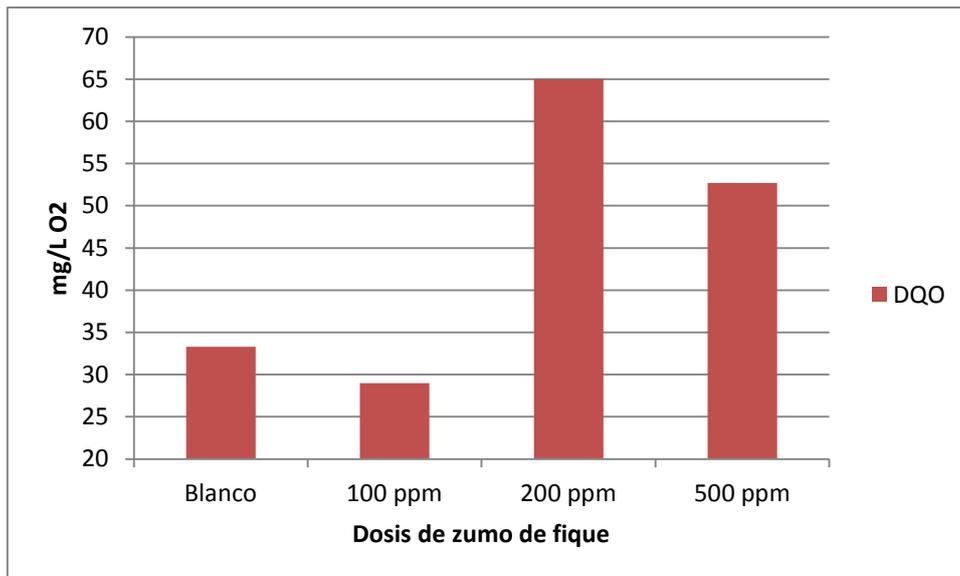
Luego de someter las muestras a 1 hora de aireación y 30 minutos de sedimentación en los reactores SBR de fangos activos, se obtuvo que No se presentan diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,050$ ) para nitritos ( $\text{NO}_2$ ) ni para nitratos ( $\text{NO}_3$ ) remanentes con aplicaciones de dosis entre 100 y 500 ppm de zumo decantado y fermentado de fique. Para el caso de la DQO, se presentan ligeras diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,001$ ) para dosis de 200 y 500 ppm de zumo de fique.



Gráfica 26. Comportamiento de los valores medios de nitritos con aplicaciones de dosis de zumo de fique entre 100 y 500 ppm.



Gráfica 27. Comportamiento de los valores medios de nitratos con aplicaciones de dosis de zumo de fique entre 100 y 500 ppm.



Gráfica 28. Comportamiento de los valores medios de DQO con aplicaciones de dosis de zumo de fique entre 100 y 500 ppm.

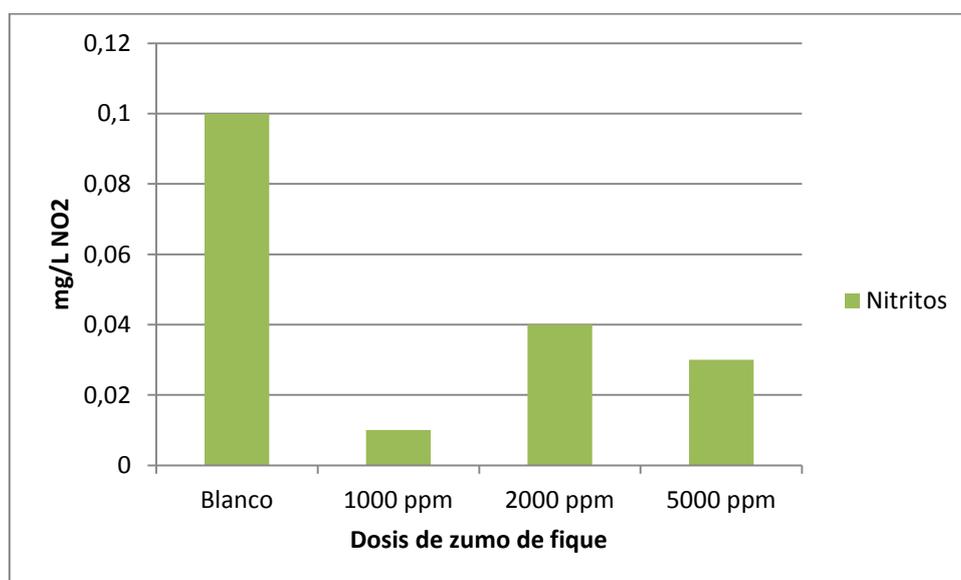
Una dosis de 200 ppm de zumo de fique genera un incremento medio de la DQO de la muestra, superior al 95% respecto de los resultados medios obtenidos en los blancos. Igualmente, una dosis de 500 ppm de zumo de fique, reportó incrementos medios superiores al 81%, respecto de la DQO de los blancos. Estas diferencias pueden ser explicadas por el alto valor de DQO del zumo de fique ( $\approx 15367$  mg/L), que a dosis agregadas por encima de las 200 ppm, generan una demanda adicional de oxígeno en el proceso.

No se presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,050$ ) en los valores de pH y oxígeno disuelto.

Los valores más elevados para los parámetros de nitritos y nitratos en los ensayos con zumo de fique añadido, respecto de los valores obtenidos en el blanco, podrían obedecer a formas oxidadas de nitrógeno presentes en el zumo de fique.

### 9.3.5 Efecto del decantado de zumo fermentado de fique sobre diferentes parámetros, para dosis entre 1000 y 5000 ppm

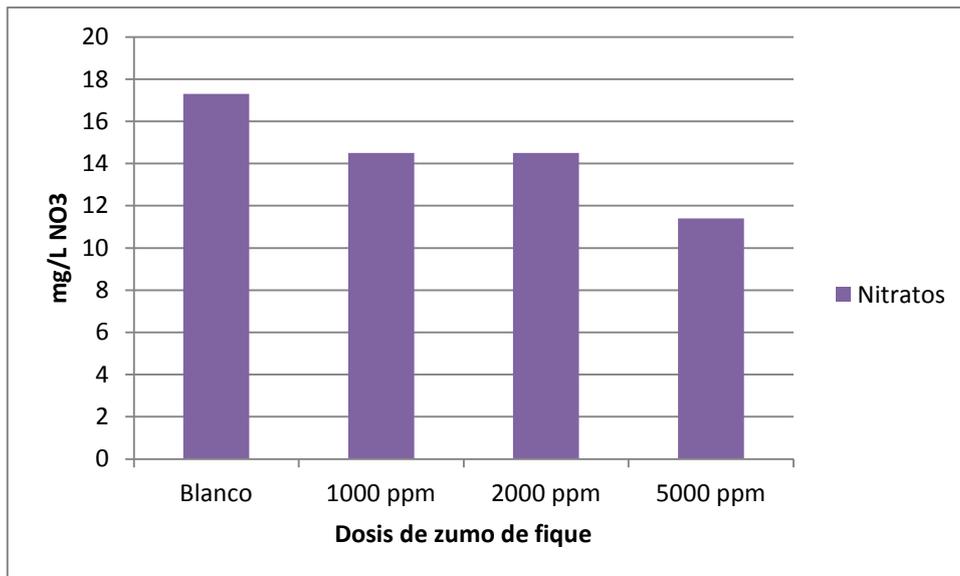
Luego de someter las muestras a 1 hora de aireación y 30 minutos de sedimentación en los reactores SBR de fangos activos, se presentan diferencias estadísticamente significativas ( $P=0,010$ ) para nitritos ( $\text{NO}_2$ ) en todas las dosis; también se presenta diferencia ( $P=0,016$ ) para nitratos ( $\text{NO}_3$ ) con todas las dosis (5000 ppm) y diferencias en DQO ( $P<0,001$ ) para todas las dosis.



Gráfica 29. Comportamiento de los valores medios de nitritos con aplicaciones de dosis de zumo de fique entre 1000 y 5000 ppm.

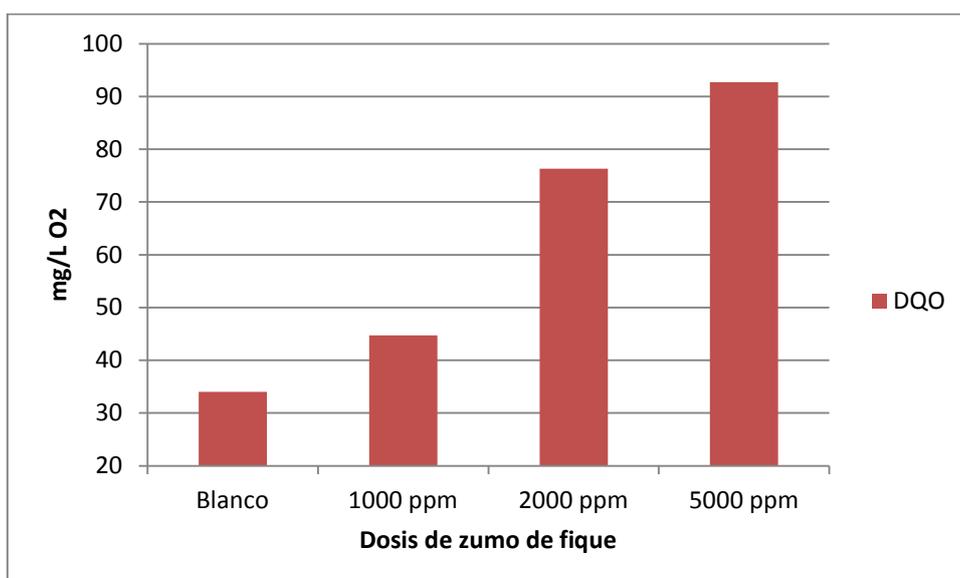
A pesar de la existencia de diferencias estadísticamente significativas, reportadas por el análisis de Análisis de Varianza de una vía en el software SigmaStat 3.5, variaciones tan pequeñas de concentración no tienen validez dentro del análisis de interrupción de la nitrificación por secuestro de compuestos amoniacales. El hecho de que haya una diferencia estadísticamente significativa, no implica *-per sé-* que dicha diferencia tenga significado.

No obstante, porcentualmente, se presentan reducciones en la concentración de nitratos del 90%, 60% y 70% para dosis de 1000, 2000 y 5000 ppm, respectivamente, respecto del blanco.



Gráfica 30. Comportamiento de los valores medios de nitratos con aplicaciones de dosis de zumo de fique entre 1000 y 5000 ppm.

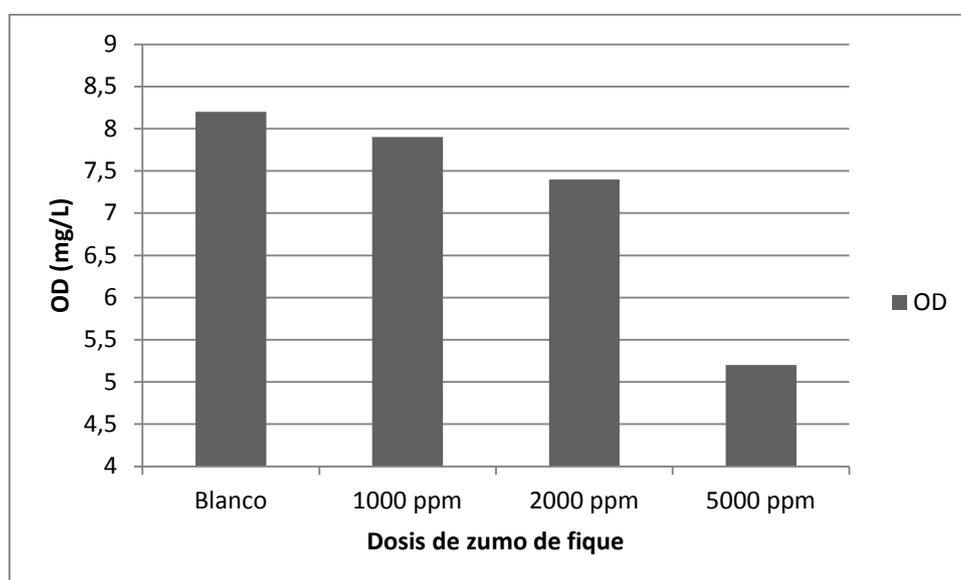
Se presentan diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,001$ ) para las concentraciones de nitratos, en todas las dosis. Se reportan reducciones porcentuales del 16,2% de nitratos, con dosis de 1000 y 2000 ppm de zumo de fique y de 34,1% para dosis de 5000 ppm. Ello sugiere una diferencia notable en el resultado de nitrificación de los compuestos amoniacales.



Gráfica 31. Comportamiento de los valores medios de DQO con aplicaciones de dosis de zumo de fique entre 1000 y 5000 ppm.

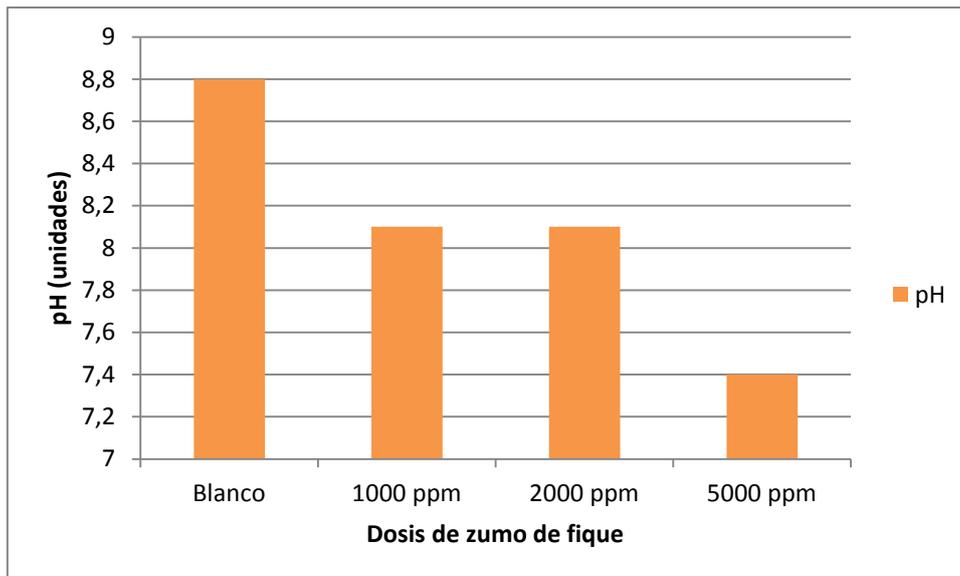
Una dosis de 1000 ppm de zumo de fique genera un incremento medio de la DQO de la muestra, superior al 31,5% respecto de los resultados medios obtenidos en los blancos. Igualmente, una dosis de 2000 ppm y 5000 ppm de zumo de fique, reportaron incrementos medios superiores al 124% y 172%, respectivamente, comparadas con la DQO medida en los blancos. Estas notables diferencias son debidas al alto valor de DQO del zumo de fique ( $\approx 15367$  mg/L), que a altas dosis agregadas generan una evidente demanda adicional de oxígeno en el proceso.

Este efecto puede ser soportado en las diferencias de oxígeno disuelto final de las muestras, como se aprecia en la Gráfica 32.



Gráfica 32. Comportamiento de los valores medios de Oxígeno Disuelto (OD) con aplicaciones de dosis de zumo de fique entre 1000 y 5000 ppm.

El efecto de las dosis elevadas se percibe también en la disminución de los valores de pH, como se aprecia en la Gráfica 33.



Gráfica 33. Comportamiento de los valores medios de pH con aplicaciones de dosis de zumo de fique entre 1000 y 5000 ppm.

Esta disminución en los valores de pH, son explicados por la naturaleza ácida del zumo fermentado y decantado de fique (pH≈4,91) que a grandes dosis, provoca un abatimiento del valor del potencial de hidrógeno.

La disminución notable de los valores de nitratos hasta de 34,1% para dosis de 5000 ppm, acompañadas de aumentos en la DQO y disminuciones del oxígeno disuelto final, sugerirían la hipótesis de que menores valores de nitratos no se presentan por secuestro de compuestos amoniacales sino que obedecen a la reducción en la disponibilidad de oxígeno disuelto para el proceso de nitrificación, el cual es demandado por la alta carga orgánica del zumo de fique.

## 10. CONCLUSIONES

### 10.1 Conclusiones de la Fase 1 -Preliminar- Extracción, caracterización y fermentación del zumo de fique

- 1) El mejor método de extracción del zumo de la hoja del fique (*Furcraea sp.*) a escala de laboratorio resultó ser el derivado de una combinación, de licuado de la hoja y posterior molido en seco. Con este método se obtienen rendimientos de extracción promedio de 0,322 mL de zumo de fique por gramo de hoja, lo que representa una mejora estadísticamente significativa ( $P < 0,050$ ) del 57,1% en el rendimiento de extracción respecto de la extracción directa por molido y del 18,2% respecto del método de extracción por licuado en matriz acuosa.
- 2) Permitir un proceso de fermentación del zumo extraído de la hoja de fique, reduce en más de un 80% su demanda química de oxígeno, lo que supone una reducción notable de su poder contaminante.
- 3) Entre tanto se masifiquen los usos alternativos del zumo extraído de la hoja de fique, éste no debería verterse de forma directa sobre el suelo o sobre el agua. Siempre será recomendable permitir que se efectúe un proceso de fermentación que asegure la disminución de su poder contaminante.

## 10.2 Conclusiones de la Fase 2 - Evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas de la pulpa de las hojas del fique (*Furcraea sp.*) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales

- 1) Las sustancias químicas (geninas) presentes en el decantado del zumo fermentado de fique tienen capacidad de ser usadas como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales, en la medida en que permiten la formación de micelas que encapsulan compuestos, gracias a la actuación de los grupos hidrófilo e hidrófobo. No obstante, se requieren mayores estudios a nivel molecular para evidenciar, con claridad, los mecanismos de actuación de estas sustancias.
- 2) Los resultados de eliminación de DQO obtenidos mediante el uso del decantado del zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación, muestra mayor afinidad de estas sustancias por aguas residuales con altos contenidos orgánicos (Pastelería, Cárnicos y Lixiviados) que por aguas residuales químicas (Tintorería).
- 3) No se evidencian cambios significativos en el pH con la adición del decantado de zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación frente a los pH obtenidos con coagulante solo, para ninguna de las muestras finales analizadas, lo que podría sugerir que la mejora obtenida mediante el uso del fique como coadyuvante, no tiene relación con un cambio en el potencial de hidrógeno motivado por esta sustancia.
- 4) Los valores relativamente altos de DQO del decantado fermentado del zumo de fique, llevan a concluir la necesidad de elegir acertadamente la dosis óptima de esta sustancia para ser empleada como coadyuvante, en la medida en que dosis superiores a las requeridas podrían ocasionar incrementos en DQO, luego de aplicar el tratamiento.

### **10.3 Conclusiones de la Fase 3 - Evaluación del potencial de uso de las sustancias extraídas de la pulpa de las hojas del fique (*Furcraea sp.*) como disruptor del proceso de nitrificación, encaminado a la recuperación de cuerpos de agua hipereutrofizados**

- 1) Los resultados sugieren que el zumo fermentado y decantado del fique, no tiene capacidad de secuestrar compuestos amoniacales, al menos, de forma efectiva.
  
- 2) Los resultados no muestran ningún efecto de interrupción del proceso de nitrificación por secuestro de compuestos amoniacales, pero sugieren que las reducciones de nitratos, al final de cada prueba para dosis aplicadas de 1000 a 5000 ppm de zumo de fique, podrían obedecer a la alta demanda de oxígeno que requiere la descomposición del zumo de fique, cuya DQO es cercana a 15367 mg/L y que compite con el uso de oxígeno en la transformación oxidativa de los compuestos amoniacales en la nitrificación.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo M., J. F., & Serna G., E. Y. (2004). *Optimización del proceso de extracción de material orgánico procedente de fique (Furcraea sp.) y observación del efecto biofungicida*. Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Facultad de Ingeniería Química e Ingeniería Agroindustrial, Medellín.
2. Agroindustrias El Álamo [AGROIN]. (s.f.). *AGROIN*. Recuperado el 05 de 07 de 2008, de Función del extracto de Yucca schidigera: [www.yucca.com.mx/boletin.html](http://www.yucca.com.mx/boletin.html)
3. Arias N., G. J., & Cano L., D. M. (1996). *Evaluación de propiedades insecticidas del jugo del fique*. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
4. Arroyave, P. C., & Velásquez, d. E. (2001). *Aprovechamiento integral de Furcraea macrophylla Backer*. Medellín, Colombia: Universidad EAFIT.
5. *Artesanías Waka*. (8 de Julio de 2010). Recuperado el 1 de Octubre de 2010, de <http://artesaniaswaka.blogspot.com>
6. Bastien, R. W. (1988). Reducing ammonia levels with Yucca extract. *Canada Poultryman* .
7. Birk, Y., & Peri, I. (1980). Saponins. En Liener, *Toxic constituents of foodstuffs* (1a Ed ed., págs. 161-182). New York: Academic Press.
8. CADEFIQUE. (2008). *Cadena Agroindustrial del Fique. Informe 2008*. Bogotá D.C.

9. Casey, T. C., Ekama, G. A., Wentzel, M. C., & Marais, G. R. (1995). Filamentous organism blinking in nutrient removal activated sludge systems. Paper 1: "A historical overview of causes and control". *Water SA*, 21 (3), 231-238.
10. Casierra-Posada, F., Pérez, W. A., & Portilla, F. (2006). Relaciones Hídricas y distribución de materia seca en especies de fique (*Furcraea* sp. Vent.) cultivadas bajo estrés por NaCl. *Agronomía Colombiana*, 24 (2), 280-289.
11. *Colombia Aprende*. (2010). Recuperado el 01 de octubre de 2010, de <http://concursos.colombiaaprende.edu.co>
12. Committee on Food Protection. (1966). *Toxicans naturally occurring in foods*. Washington D.C.: National Academy of Science.
13. CORPOICA. (2005). *Problemática del subsector fiquero: presentación de Toro S., I. al Consejo nacional de CADEFIQUE*.
14. Crespi, M., & Huertas, J. A. (1987). Industria Textil: ¿Depuración Biológica o Fisicoquímica? *Bol. INTEXTAR* (92), 75-90.
15. Departamento de Ingeniería Química (2000). Guía de laboratorio de aguas residuales. Universidad de Valencia, España
16. Duque J., J. A., & González T., L. P. (1999). *Propuesta tecnológica para la producción de un agente tensoactivo biodegradable a partir del jugo del Fique como desecho del proceso de desfibrado*. Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín; Facultad de Ingeniería Química, Medellín.
17. Ecofibras Ltda.; Fondo para la Acción Ambiental [FPAA] & Corporación Autónoma Regional de Santander [CAS]. (2004). *Proceso de Descontaminación de Lavado de Fibras Naturales y Aguas Residuales en la Zona de Carga Hídrica del Río Mogoticos, Fuente Abastecedora del Acueducto de San Gil*. Bucaramanga, Colombia.
18. Eikelboom, D. H., Andreadakis, A., & Andreasen, K. (1998). Survey of filamentous populations in nutrient removal plants in four European countries. *Wat. Sci. Tech*, 37 (4-5), 281-289.

19. FINAGRO. (13 de Noviembre de 2011). Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario. Recuperado el 13 de Noviembre de 2011, de [http://www.finagro.com.co/html/i\\_portals/index.php?p\\_origin=internal&p\\_name=content&p\\_id=MI-253&p\\_options=#COLOMBIA](http://www.finagro.com.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-253&p_options=#COLOMBIA)
20. Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (s.f.). *FINAGRO*. Recuperado el 1 de Octubre de 2010, de [www.finagro.com.co](http://www.finagro.com.co)
21. Gómez Echeverri, M. M., & Vanegas Gómez, E. L. (2001). *Evaluación de la producción de esteroides a partir del jugo de fique con Cunninghamella spp.* Facultad de Ingeniería. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
22. Gómez H., J. E. (2001). *Evaluación del extracto de fique en el desarrollo in-vitro de Colletotrichum gloeosporoides (Penz) Penz & Sacc. y Sclerotinia sclerotiorum (Lib.) de Bary.* Cauca, Colombia. Popayan: CORPOICA.
23. IMAES, Grupo de Ingeniería Química y Medioambiental. (s.f.). *Tema 5. Coagulación-Floculación*. Recuperado el 5 de septiembre de 2010, de Grupo de Ingeniería Química - Universidad Castilla-La Mancha: [http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis\\_procesos/tema5.pdf](http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf)
24. Jordao, E. y Pessoa, C. (1975). Tratamiento de esgotos domésticos. Concepções clássicas de tratamento de esgotos, 1, BNH/ABES/CETESB, 544 p.
25. Kirchmer, C. J. (1977). *Aspectos químicos y físicos de la coagulación del agua*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS.
26. Martínez, A. M., & Caicedo, T. X. (2002). *Bioensayo de toxicidad de los jugos de fique en peces, en el municipio de Tambo (Nariño)* (Vol. Tesis de postgrado en la Especialización de Salud Ambiental). Bogotá D.C., Universidad del Bosque, Colombia.
27. Martínez, M. A., & Pacheco, J. C. (2006). Protocolo para la micropropagación de *Furcraea macrophylla baker*. *Agronomía Colombiana*, 24 (2).
28. Metcalf & Eddy (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª ed. Madrid: McGrawHill. Vol. 1. 505 p.

29. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2005). *Anuario Estadístico*.
30. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] y Observatorio Agroclimas Colombia. (2006). *La Cadena del Fique en Colombia, Una mirada global de su estructura y dinámica -1991 a 2005-*. Documento de Trabajo 123. Bogotá D.C.
31. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT], Sociedad de Agricultores de Colombia [SAC] y Federación Nacional de Cultivadores de Fique [Fedefique]. (2002). *Guía ambiental para el subsector fiquero*. Bogotá D.C., Colombia.
32. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT] y Cadena Productiva Nacional del Fique [CADEFIQUE]. (2006). *Guía ambiental del subsector fiquero* (Segunda ed.). Bogotá D.C., Colombia.
33. Mojica P., A., & Paredes V., J. (2004). *El cultivo del fique en el Departamento de Santander*. Bucaramanga, Colombia: Centro regional de Estudios Económicos de Bucaramanga. Banco de la República.
34. Muñoz Ramírez, L. A., Lara Torres, O. M., García Orozco, L. F., & Bustamante Sánchez, H. A. (1988). *Producción de cortisona a partir del jugo de fique*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Química.
35. Oakenfull, D. (1981). Saponins in food: a review. *Food Chem* , 6, 19-40.
36. *OCAFIQUE*. (s.f.). Recuperado el 1 de Octubre de 2010, de <http://ocafique.blogspot.com>
37. Oleszek, W., Keith, R., Price, K., Colquhoun, I., Jurzysta, M., Ploszynsky, M., y otros. (1990). Isolation and identification of alfalfa (*Medicago sativa* L.) root saponins: their activity in relation to a fungal bioassay. *J. Agric. Food Chem* , 38, 1810-1817.
38. Pérez Carrión, J., Cánepa de Vargas, L., & Richter, C. A. (1984). *Evaluación de plantas de tratamiento de agua*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales - CEPIS.

39. Richard, M. (1991). *Activated sludge microbiology*. Virginia: The Water Pollution Control Federation.
40. Rowland, L. O., Plyler, J. E., & Bradley, J. W. (1986). The effect of *Yucca schidigera* in a commercial swine operation reducing ammonia concentrations. *Annual Poultry Science Association*. Texas: Texas A&M University.
41. Ruiz, R., Price, K., Fenwick, G., Arthur, A., & Petterson, D. (1993). The saponin content and composition of sweet lupin seed. En A. Van der Poel, J. Huissman, & H. Saini, *Recent advances in research in antinutritional factors in legume seeds* (Vol. 70, págs. 147-150). Wageningen: Wageningen Pers. EAAP.
42. SCOTTI S. (1968). *Natureza dinâmica da composição dos esgotos*, Dissertação (Mestrado em Saúde Pública), São Paulo
43. Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Fomento Económico y Comité Cadena Productiva del Fique. (2000). *Cadena Productiva del Fique*. Popayán, Departamento del Cauca, Colombia.
44. Segura de Correa, R., Toro Suárez, I., & Barbosa, E. (2004). *Ácidos grasos presentes en el extracto heptánico del jugo de fique (Furcraea macrophylla), variedades Uña de Águila y Negra Común*. Bogotá D.C.: MADR, CORPOICA y Universidad Nacional de Colombia.
45. Segura de Correa, R., Toro Suárez, I., & Barbosa, E. (2004). *Azúcares constituyentes del hidrolizado del jugo de fique (Furcraea macrophylla), variedades Uña de Águila y Negra Común*. Bogotá D.C.: MADR, CORPOICA y Universidad Nacional de Colombia.
46. Sharapin, N., & Machado, L. (2000). Sapogeninas esteroideas: materia prima para la fabricación de proteínas esteroideas. En C. A. [CYTED], *Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos*. Bogotá D.C.: Ministerio de Educación y Cultura de España.
47. Tatsi, A., Zouboulis, A., Matis, K., & Samaras, P. (2003). Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere* (53), 737-744.

48. Tebbutt, T.H.Y. (1977) Principles of water quality control. 2a. Ed., Oxford.
49. Torres Lozada, Patricia; Foresti, Eugenio y Vazoller, Rosana (1996). Composición y uso de agua residual doméstica en reactores a escala de laboratorio. En: Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 25 - AIDIS. Consolidación para el desarrollo. México, D.F.
50. Touzel, J. P. and Albagnac, G. (1983) Isolation and characterization of *Methanococcus mazei* strain MC3. *Microbiological Letters*, 16, 241 - 245.
51. Valle Vega, P., & Lucas Florentino, B. (2000). *Toxicología de Alimentos*. México D.F.: Instituto Nacional de Salud Pública – Centro Nacional de Salud Ambiental.
52. Vandergriff, B. (1995). *Yucca schidigera*: effects on dairy free stall and lagoon odor. *Cornell Cooperative Extension* .
53. Vazoller, R. F. (1988) Manual técnico do curso Ecologia da digestão anaeróbia. PADCT/CNPq/FINEP, 150 p.
54. Wikipedia, T. F. (s.f.). *Solanine chemical structure*. Recuperado el 1 de Octubre de 2010, de [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Solanine\\_chemical\\_structure.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Solanine_chemical_structure.png)
55. Wikipedia, T. F. (s.f.). *Yamogenin*. Recuperado el 1 de Octubre de 2010, de <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Yamogenin.png>
56. Wilson, R. C., Overton, T. R., & Clark, J. H. (1998). Effects of *Yucca schidigera* extract and soluble protein on performance of cows and concentrations of urea nitrogen in plasma and milk. *J. Dairy Sci* , 81, 1022-1027.

## ANEXO 1. Análisis Estadístico de los diferentes métodos de extracción del zumo de la hoja del fique

Los siguientes resultados han sido reportados por el software de análisis estadístico SigmaStat 3.5. Se anexan sin modificación.

El acrónimo ZP corresponde a Zumo de Fique.

### Comparación entre Métodos de extracción 2 y 3.

**t-test**

miércoles, agosto 18, 2010, 10:50:33 p.m.

**Data source:** Data 1 in Métodos de Extracción

**Normality Test:** Passed (P = 0,297)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,264)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
Licudo en Agua (M2)	4	0	0,269	0,00592	0,00296
Molido (M3)	4	0	0,141	0,00171	0,000854

Difference 0,127

t = 41,331 with 6 degrees of freedom. (P = <0,001)

95 percent confidence interval for difference of means: 0,120 to 0,135

The difference in the mean values of the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference between the input groups ( $P < 0,001$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 1,000

#### Comparación entre Métodos de extracción 3 y 4.

**t-test**

miércoles, agosto 18, 2010, 10:51:15 p.m.

**Data source:** Data 1 in Métodos de Extracción

**Normality Test:** Failed ( $P < 0,050$ )

Test execution ended by user request, Rank Sum Test begun

**Mann-Whitney Rank Sum Test**

miércoles, agosto 18, 2010, 10:51:15 p.m.

**Data source:** Data 1 in Métodos de Extracción

<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
Molido (M3)	4	0	0,141	0,140	0,142
Licuadao-Molido (M4)	4	0	0,332	0,305	0,352

Mann-Whitney U Statistic= 16,000

$T = 10,000$   $n(\text{small}) = 4$   $n(\text{big}) = 4$   $P(\text{est.}) = 0,030$   $P(\text{exact}) = 0,029$

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ( $P = 0,029$ )

Comparación entre Métodos de extracción 2 y 4.

**t-test**

miércoles, agosto 18, 2010, 10:51:58 p.m.

**Data source:** Data 1 in Métodos de Extracción

**Normality Test:** Failed (P < 0,050)

Test execution ended by user request, Rank Sum Test begun

**Mann-Whitney Rank Sum Test**

miércoles, agosto 18, 2010, 10:51:58 p.m.

**Data source:** Data 1 in Métodos de Extracción

<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
Licuada en Agua (M2)	4	0	0,267	0,265	0,273
Licuada-Molido (M4)	4	0	0,332	0,305	0,352

Mann-Whitney U Statistic= 16,000

T = 10,000 n(small)= 4 n(big)= 4 P(est.)= 0,030 P(exact)= 0,029

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = 0,029)

## ANEXO 2. Análisis Estadístico para caracterización del pH del zumo de fique

Los siguientes resultados han sido reportados por el software de análisis estadístico SigmaStat 3.5. Se anexan sin modificación.

El acrónimo ZP corresponde a Zumo de Fique.

pH del zumo de Fique Crudo Vs el Fermentado Decantado.

t-test

jueves, abril 08, 2010, 03:31:57 p.m.

**Data source:** pH Crudo Vs Fermentado

**Normality Test:** Passed (P = 0,213)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,054)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
pH ZP Crudo	6	0	4,605	0,290	0,118
pH ZP Fermentado	6	0	4,905	0,125	0,0512

Difference -0,300

t = -2,329 with 10 degrees of freedom. (P = 0,042)

95 percent confidence interval for difference of means: -0,587 to -0,0130

The difference in the mean values of the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference between the input groups ( $P = 0,042$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 0,469

pH de las fases formadas en la fermentación del zumo de Figue Decantado Vs Sobrenadante.

**t-test**

viernes, enero 07, 2011, 01:10:59 p.m.

**Data source:** Fases pH. Decantado Vs Sobrenadante

**Normality Test:** Passed ( $P = 0,511$ )

**Equal Variance Test:** Passed ( $P = 0,258$ )

<b>Group Name</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Std Dev</b>	<b>SEM</b>
ZP - pH Ferm Decan	6	0	4,905	0,125	0,0512
ZP - pH Ferm Sobrenad	6	0	4,832	0,0376	0,0154

Difference 0,0733

$t = 1,373$  with 10 degrees of freedom. ( $P = 0,200$ )

95 percent confidence interval for difference of means: -0,0457 to 0,192

The difference in the mean values of the two groups is not great enough to reject the possibility that the difference is due to random sampling variability. There is not a statistically significant difference between the input groups ( $P = 0,200$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 0,130

The power of the performed test (0,130) is below the desired power of 0,800.  
Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.

### ANEXO 3. Análisis Estadístico para caracterización del DQO del zumo de fique

Los siguientes resultados han sido reportados por el software de análisis estadístico SigmaStat 3.5. Se anexan sin modificación.

El acrónimo ZP corresponde a Zumo de Fique.

#### DQO del Zumo de Fique Crudo Vs Fermentado Decantado.

**Paired t-test:** jueves, abril 08, 2010, 04:06:27 p.m.

**Data source:** Datos DQO Crudo Vs Fermentado

**Normality Test:** Passed (P = 0,653)

Treatment Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
DQO ZP Crudo	3	0	82100,000	5500,000	3175,426
DQO ZP Fermentado	3	0	15366,667	802,081	463,081
Difference	3	0	66733,333	4700,355	2713,751

t = 24,591 with 2 degrees of freedom. (P = 0,002)

95 percent confidence interval for difference of means: 55057,005 to 78409,661

The change that occurred with the treatment is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant change (P = 0,002)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

DQO de las fases del Zumo del Figue en la Fermentación – Decantado Vs

Sobrenadante.

**t-test**

viernes, enero 07, 2011, 01:56:42 p.m.

**Data source:** Datos DQO Decantado vs Sobrenadante

**Normality Test:** Passed (P = 0,616)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,155)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
ZP - DQO Ferm Dec	3	0	15366,667	802,081	463,081
ZP - DQO Ferm Sobren	3	0	15333,333	550,757	317,980

Difference 33,333

t = 0,0593 with 4 degrees of freedom. (P = 0,956)

95 percent confidence interval for difference of means: -1526,316 to 1592,983

The difference in the mean values of the two groups is not great enough to reject the possibility that the difference is due to random sampling variability. There is not a statistically significant difference between the input groups (P = 0,956).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,050

The power of the performed test (0,050) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.

## ANEXO 4. Análisis Estadístico para caracterización de los TDS del zumo de fique

Los siguientes resultados han sido reportados por el software de análisis estadístico SigmaStat 3.5. Se anexan sin modificación.

El acrónimo ZP corresponde a Zumo de Fique.

**One Way Analysis of Variance** viernes, enero 07, 2011, 02:24:21 p.m.

**Data source:** TDS ZP Crudo vs. Fermentados Decantado y Sobrenadante

**Normality Test:** Passed (P = 0,812)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,218)

<b>Group Name</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Std Dev</b>	<b>SEM</b>
ZP - TDS Crudo	3	0	1900,000	55,678	32,146
ZP - TDS Ferm Dec	3	0	1486,667	20,817	12,019
ZP - TDS Ferm Sobre	3	0	1576,667	35,119	20,276

<b>Source of Variation</b>	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Between Groups	2	283488,889	141744,444	89,210	<0,001
Residual	6	9533,333	1588,889		
Total	8	293022,222			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001).

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Holm-Sidak method):

Overall significance level = 0,05

Comparisons for factor:

<b>Comparison</b>	<b>Diff of Means</b>	<b>t</b>	<b>Unadjusted P</b>	<b>Critical Level</b>
ZP - TDS Cru vs. ZP - TDS Fer	413,333	12,700	0,0000146	0,017
ZP - TDS Cru vs. ZP - TDS Fer	323,333	9,935	0,0000601	0,025
ZP - TDS Fer vs. ZP - TDS Fer	90,000	2,765	0,0326	0,050

**Comparison Significant?**

ZP - TDS Cru vs. ZP - TDS Fer	Yes
ZP - TDS Cru vs. ZP - TDS Fer	Yes
ZP - TDS Fer vs. ZP - TDS Fer	Yes

## ANEXO 5. Resultados y Análisis Estadístico A.R. Pastelería

Tabla 46. Valores medios de los resultados de tratamiento con coagulante ( $\text{FeCl}_3$ ) y con coagulante y coadyuvante para aguas residuales de industria de pastelería y repostería.

Parámetro	Tratamiento con Coagulante	Tratamiento con Coagulante y Coadyuvante	Diferencia Porcentual
Color (UPC)	128	107	17 %
Turbiedad (UNT)	9,9	7,2	28 %
DQO	428	381	11

A continuación se presentan los resultados del Análisis Estadístico con SigmaStat 3.5., para los ensayos de decantado de zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación, en aguas residuales de industria de pastelería y repostería. Se anexa el reporte del software sin modificación.

El acrónimo ZP corresponde a Zumo de Fique.

Para Color.

t-test

sábado, julio 10, 2010, 01:31:38 p.m.

**Data source:** Jarras Pastelería

**Normality Test:** Failed ( $P < 0,050$ )

Test execution ended by user request, Rank Sum Test begun

**Mann-Whitney Rank Sum Test**

sábado, julio 10, 2010, 01:31:38 p.m.

**Data source:** Jarras Pastelería

<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
UPC-FeCl3	6	0	130,000	130,000	130,000
UPC-FeCl3-ZP	6	0	110,000	100,000	110,000

Mann-Whitney U Statistic= 0,000

T = 57,000 n(small)= 6 n(big)= 6 P(est.)= 0,003 P(exact)= 0,002

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = 0,002)

Para Turbiedad.**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 02:15:58 p.m.

**Data source:** Jarras Pastelería**Normality Test:** Passed (P = 0,354)**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,337)

<b>Group Name</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Std Dev</b>	<b>SEM</b>
UNT-FeCl3	6	0	9,882	0,481	0,196
UNT-FeCl3-ZP	6	0	7,163	0,242	0,0988

Difference 2,718

t = 12,366 with 10 degrees of freedom. (P = &lt;0,001)

95 percent confidence interval for difference of means: 2,229 to 3,208

The difference in the mean values of the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference between the input groups ( $P = <0,001$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 1,000

Para DQO.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 02:22:14 p.m.

**Data source:** Jarras Pastelería

**Normality Test:** Passed ( $P = 0,722$ )

**Equal Variance Test:** Passed ( $P = 0,501$ )

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
DQO-FeCl3	6	0	427,500	7,450	3,041
DQO-FeCl3-ZP	6	0	380,833	6,735	2,750

Difference 46,667

$t = 11,382$  with 10 degrees of freedom. ( $P = <0,001$ )

95 percent confidence interval for difference of means: 37,531 to 55,802

The difference in the mean values of the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference between the input groups ( $P = <0,001$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 1,000

Para TDS.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 02:24:55 p.m.

**Data source:** Jarras Pastelería

**Normality Test:** Failed ( $P < 0,050$ )

Test execution ended by user request, Rank Sum Test begun

**Mann-Whitney Rank Sum Test**

sábado, julio 10, 2010, 02:24:55 p.m.

**Data source:** Jarras Pastelería

<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
TDS-FeCl3	6	0	90,000	90,000	100,000
TDS-FeCl3-ZP6		0	95,000	90,000	100,000

Mann-Whitney U Statistic= 21,000

$T = 36,000$   $n(\text{small}) = 6$   $n(\text{big}) = 6$   $P(\text{est.}) = 0,640$   $P(\text{exact}) = 0,699$

The difference in the median values between the two groups is not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference ( $P = 0,699$ )

Para pH.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 02:21:06 p.m.

**Data source:** Jarras Pastelería

**Normality Test:** Failed ( $P < 0,050$ )

Test execution ended by user request, Rank Sum Test begun

**Mann-Whitney Rank Sum Test**

sábado, julio 10, 2010, 02:21:06 p.m.

**Data source:** Jarras Pastelería

<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
pH-FeCl3	6	0	4,550	4,550	4,560
pH-FeCl3-ZP	6	0	4,540	4,540	4,550

Mann-Whitney U Statistic= 9,500

$T = 47,500$   $n(\text{small}) = 6$   $n(\text{big}) = 6$   $P(\text{est.}) = 0,172$   $P(\text{exact}) = 0,180$

The difference in the median values between the two groups is not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference ( $P = 0,180$ )

## ANEXO 6. Resultados y Análisis Estadístico Lixiviados

Tabla 47. Valores medios de los resultados de tratamiento con coagulante ( $\text{FeCl}_3$ ) y con coagulante y coadyuvante para lixiviados.

Parámetro	Tratamiento con Coagulante	Tratamiento con Coagulante y Coadyuvante	Diferencia Porcentual
Color (UPC)	72	70	2 %
Turbiedad (UNT)	1,1	0,9	15 %
DQO	770	698	9 %

A continuación se presentan los resultados del Análisis Estadístico para los ensayos de decantado de zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación, en lixiviados de relleno sanitario. Se anexa el reporte del software sin modificación.

El acrónimo ZP corresponde a Zumo de Fique.

Para Color.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 03:13:18 p.m.

**Data source:** Jarras Lixiviado

**Normality Test:** Failed ( $P < 0,050$ )

Test execution ended by user request, Rank Sum Test begun

**Mann-Whitney Rank Sum Test**

sábado, julio 10, 2010, 03:13:18 p.m.

**Data source:** Jarras Lixiviado

<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
UPC-FeCl3	6	0	70,000	70,000	70,000
UPC-FeCl3-ZP	6	0	70,000	70,000	70,000

Mann-Whitney U Statistic= 15,000

T = 42,000 n(small)= 6 n(big)= 6 P(est.)= 0,405 P(exact)= 0,699

The difference in the median values between the two groups is not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0,699)

Para Turbiedad.**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 03:15:25 p.m.

**Data source:** Jarras Lixiviado**Normality Test:** Passed (P = 0,627)**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,192)

<b>Group Name</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Std Dev</b>	<b>SEM</b>
UNT-FeCl3	6	0	1,120	0,0540	0,0221
UNT-FeCl3-ZP	6	0	0,947	0,0320	0,0131

Difference 0,173

t = 6,758 with 10 degrees of freedom. (P = &lt;0,001)

95 percent confidence interval for difference of means: 0,116 to 0,230

The difference in the mean values of the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference between the input groups ( $P < 0,001$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 1,000

Para DQO.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 03:16:30 p.m.

**Data source:** Jarras Lixiviado

**Normality Test:** Passed ( $P = 0,757$ )

**Equal Variance Test:** Failed ( $P < 0,050$ )

Test execution ended by user request, Rank Sum Test begun

**Mann-Whitney Rank Sum Test**

sábado, julio 10, 2010, 03:16:30 p.m.

**Data source:** Jarras Lixiviado

<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
DQO-FeCl3	6	0	768,500	758,000	785,000
DQO-FeCle3-ZP	6	0	696,500	696,000	704,000

Mann-Whitney U Statistic= 0,000

T = 57,000 n(small)= 6 n(big)= 6 P(est.)= 0,005 P(exact)= 0,002

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ( $P = 0,002$ )

Para TDS.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 03:18:21 p.m.

**Data source:** Jarras Lixiviado

**Normality Test:** Failed ( $P < 0,050$ )

Test execution ended by user request, Rank Sum Test begun

**Mann-Whitney Rank Sum Test**

sábado, julio 10, 2010, 03:18:21 p.m.

**Data source:** Jarras Lixiviado

<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
TDS-FeCl3	6	0	5500,000	5400,000	5700,000
TDS-FeCl3-ZP	6	0	5400,000	5400,000	5500,000

Mann-Whitney U Statistic= 10,000

$T = 47,000$   $n(\text{small}) = 6$   $n(\text{big}) = 6$   $P(\text{est.}) = 0,210$   $P(\text{exact}) = 0,240$

The difference in the median values between the two groups is not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference ( $P = 0,240$ )

Para pH.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 03:19:12 p.m.

**Data source:** Jarras Lixiviado

**Normality Test:** Passed (P = 0,078)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,716)

<b>Group Name</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Std Dev</b>	<b>SEM</b>
pH-FeCl3	6	0	6,465	0,0288	0,0118
pH-FeCl3-ZP	6	0	6,483	0,0408	0,0167

Difference -0,0183

t = -0,899 with 10 degrees of freedom. (P = 0,390)

95 percent confidence interval for difference of means: -0,0638 to 0,0271

The difference in the mean values of the two groups is not great enough to reject the possibility that the difference is due to random sampling variability. There is not a statistically significant difference between the input groups (P = 0,390).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,050

The power of the performed test (0,050) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.

## ANEXO 7. Resultados y Análisis Estadístico A.R. Tintorería

Tabla 48. Valores medios de los resultados de tratamiento con coagulante ( $Al_2(SO_4)_3$ ) y con coagulante y coadyuvante para en aguas residuales de industrias de tintorería.

Parámetro	Tratamiento con Coagulante	Tratamiento con Coagulante y Coadyuvante	Diferencia Porcentual
Color (UPC)	82	65	20 %
Turbiedad (UNT)	1,8	1,6	14 %
DQO	78	76	3 %

A continuación se presentan los resultados del Análisis Estadístico para los ensayos de decantado de zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación, en aguas residuales de industrias de tintorería. Se anexa el reporte del software sin modificación.

El acrónimo ZP corresponde a Zumo de Fique.

Para Color.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 03:43:01 p.m.

**Data source:** Jarras Tintoreria

**Normality Test:** Passed (P = 0,070)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,401)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
UPC- $Al_2(SO_4)_3$	6	0	81,667	4,082	1,667

UPC-AI2(SO4)3-ZP      6      0      65,000      8,367      3,416

Difference      16,667

t = 4,385 with 10 degrees of freedom. (P = 0,001)

95 percent confidence interval for difference of means: 8,198 to 25,135

The difference in the mean values of the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference between the input groups (P = 0,001).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,977

Para Turbiedad.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 03:44:21 p.m.

**Data source:** Jarras Tintoreria

**Normality Test:**      Passed (P = 0,386)

**Equal Variance Test:**      Passed (P = 0,288)

<b>Group Name</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Std Dev</b>	<b>SEM</b>
UNT-AI2(SO4)3	6	0	1,800	0,138	0,0563
UNT-AI2(SO4)3-ZP	6	0	1,552	0,0868	0,0354

Difference      0,248

t = 3,731 with 10 degrees of freedom. (P = 0,004)

95 percent confidence interval for difference of means: 0,100 to 0,397

The difference in the mean values of the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference between the input groups ( $P = 0,004$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 0,911

Para DQO.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 03:45:59 p.m.

**Data source:** Jarras Tintoreria

**Normality Test:** Passed ( $P = 0,330$ )

**Equal Variance Test:** Passed ( $P = 0,621$ )

<b>Group Name</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Std Dev</b>	<b>SEM</b>
DQO-A12(SO4)3	6	0	78,333	1,633	0,667
DQO-A12(SO4)3-ZP	6	0	76,333	1,751	0,715

Difference 2,000

$t = 2,046$  with 10 degrees of freedom. ( $P = 0,068$ )

95 percent confidence interval for difference of means: -0,178 to 4,178

The difference in the mean values of the two groups is not great enough to reject the possibility that the difference is due to random sampling variability. There is not a statistically significant difference between the input groups ( $P = 0,068$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 0,354

The power of the performed test (0,354) is below the desired power of 0,800.  
 Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.

Para TDS.

**t-test** domingo, julio 11, 2010, 11:45:52 a.m.

**Data source:** Jarras Tintoreria

**Normality Test:** Failed ( $P < 0,050$ )

Test execution ended by user request, Rank Sum Test begun

**Mann-Whitney Rank Sum Test** domingo, julio 11, 2010, 11:45:52 a.m.

**Data source:** Jarras Tintoreria

Group	N	Missing	Median	25%	75%
TDS-A12(SO4)3	6	0	750,000	750,000	760,000
TDS-A12(SO4)3-ZP	6	0	745,000	740,000	750,000

Mann-Whitney U Statistic= 6,000

$T = 51,000$   $n(\text{small}) = 6$   $n(\text{big}) = 6$   $P(\text{est.}) = 0,038$   $P(\text{exact}) = 0,065$

The difference in the median values between the two groups is not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference ( $P = 0,065$ )

Para pH.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 03:48:35 p.m.

**Data source:** Jarras Tintoreria

**Normality Test:** Passed (P = 0,051)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,193)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
pH-Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	6	0	4,185	0,01520,00619	
pH-Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> -ZP	6	0	4,185	0,00837	0,00342

Difference -8,882E-016

t = 0,000 with 10 degrees of freedom. (P = 1,000)

95 percent confidence interval for difference of means: -0,0158 to 0,0158

The difference in the mean values of the two groups is not great enough to reject the possibility that the difference is due to random sampling variability. There is not a statistically significant difference between the input groups (P = 1,000).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,050

The power of the performed test (0,050) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.

## ANEXO 8. Resultados y Análisis Estadístico A.R. Industria Cárnica

Tabla 49. Valores medios de los resultados de tratamiento con coagulante ( $Al_2(SO_4)_3$ ) y con coagulante y coadyuvante para en aguas residuales de industrias de cárnicos.

Parámetro	Tratamiento con Coagulante	Tratamiento con Coagulante y Coadyuvante	Diferencia Porcentual
Color (UPC)	1168	975	17 %
Turbiedad (UNT)	62,7	51,8	17 %
DQO	6645	6304	5 %

A continuación se presentan los resultados del Análisis Estadístico para los ensayos del decantado de zumo fermentado de fique como coadyuvante de coagulación, en aguas residuales de industrias cárnicas.

Para Color.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 04:10:23 p.m.

**Data source:** Jarras Carnicos

**Normality Test:** Failed ( $P < 0,050$ )

Test execution ended by user request, Rank Sum Test begun

**Mann-Whitney Rank Sum Test**

sábado, julio 10, 2010, 04:10:23 p.m.

**Data source:** Jarras Carnicos

Group	N	Missing	Median	25%	75%
UPC-AI2(SO4)3	6	0	1169,000	1168,000	1170,000
UPC-AI2(SO4)3-ZP	6	0	976,000	972,000	976,000

Mann-Whitney U Statistic= 0,000

T = 57,000 n(small)= 6 n(big)= 6 P(est.)= 0,004 P(exact)= 0,002

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = 0,002)

Para Turbiedad.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 04:11:20 p.m.

**Data source:** Jarras Carnicos

**Normality Test:** Passed (P = 0,735)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,771)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
UNT-AI2(SO4)3	6	0	62,667	1,506	0,615
UNT-AI2(SO4)3-ZP	6	0	51,833	1,472	0,601

Difference 10,833

t = 12,603 with 10 degrees of freedom. (P = <0,001)

95 percent confidence interval for difference of means: 8,918 to 12,749

The difference in the mean values of the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference between the input groups ( $P = <0,001$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 1,000

Para DQO.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 04:12:33 p.m.

**Data source:** Jarras Carnicos

**Normality Test:** Passed ( $P = 0,148$ )

**Equal Variance Test:** Passed ( $P = 0,269$ )

<b>Group Name</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Std Dev</b>	<b>SEM</b>
DQO-A12(SO4)3	6	0	6645,000	53,572	21,871
DQO-A12(SO4)3-ZP	6	0	6304,167	26,157	10,678

Difference 340,833

$t = 14,004$  with 10 degrees of freedom. ( $P = <0,001$ )

95 percent confidence interval for difference of means: 286,604 to 395,063

The difference in the mean values of the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference between the input groups ( $P = <0,001$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 1,000

Para TDS.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 04:13:55 p.m.

**Data source:** Jarras Carnicos

**Normality Test:** Failed (P < 0,050)

Test execution ended by user request, Rank Sum Test begun

**Mann-Whitney Rank Sum Test**

sábado, julio 10, 2010, 04:13:55 p.m.

**Data source:** Jarras Carnicos

<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
TDS-A12(SO4)3	6	0	1245,000	1240,000	1250,000
TDS-A12(SO4)3-ZP	6	0	1225,000	1220,000	1230,000

Mann-Whitney U Statistic= 1,500

T = 55,500 n(small)= 6 n(big)= 6 P(est.)= 0,008 P(exact)= 0,004

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = 0,004)

Para pH.

**t-test**

sábado, julio 10, 2010, 04:15:34 p.m.

**Data source:** Jarras Carnicos

**Normality Test:** Passed (P = 0,292)

**Equal Variance Test:** Failed (P < 0,050)

Test execution ended by user request, Rank Sum Test begun

**Mann-Whitney Rank Sum Test**

sábado, julio 10, 2010, 04:15:34 p.m.

**Data source:** Jarras Carnicos

<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
pH-Al2(SO4)3	6	0	4,625	4,600	4,640
pH-Al2(SO4)3-ZP	6	0	4,605	4,600	4,610

Mann-Whitney U Statistic= 8,000

T = 49,000 n(small)= 6 n(big)= 6 P(est.)= 0,119 P(exact)= 0,132

The difference in the median values between the two groups is not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0,132).

## ANEXO 9. Resultados y Análisis Estadístico para las pruebas de interrupción de la nitrificación con dosis entre 1 y 5 ppm.

Los siguientes resultados han sido reportados por el software de análisis estadístico SigmaStat 3.5. Se anexan sin modificación.

### Análisis para Nitratos (NO<sub>2</sub>).

#### One Way Analysis of Variance

domingo, agosto 28, 2011, 11:10:24 a.m.

**Data source:** Dosis 1-5 in Notebook 4

**Normality Test:** Passed (P = 0,404)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 1,000)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
NO2-5	3	0	0,0667	0,0577	0,0333
NO2-2	3	0	0,0333	0,0577	0,0333
NO2-1	3	0	0,0333	0,0577	0,0333
NO2-Blanco	3	0	0,0933	0,0115	0,00667

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	0,00760	0,00253	1,000	0,441
Residual	8	0,0203	0,00253		
Total	11	0,0279			

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0,441).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 0,050

The power of the performed test (0,050) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.

Análisis para Nitritos (NO<sub>3</sub>).

**One Way Analysis of Variance**

domingo, agosto 28, 2011, 11:10:44 a.m.

**Data source:** Dosis 1-5 in Notebook 4

**Normality Test:** Failed ( $P < 0,050$ )

Test execution ended by user request, ANOVA on Ranks begun

**Kruskal-Wallis One Way Analysis of Variance on Ranks**

domingo, agosto 28, 2011, 11:10:44 a.m.

**Data source:** Dosis 1-5 in Notebook 4

<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
NO3-5	3	0	8,900	8,750	8,975
NO3-2	3	0	8,500	4,525	8,650
NO3-1	3	0	9,000	8,850	9,225
NO3-Blanco	3	0	9,000	8,625	9,225

$H = 5,112$  with 3 degrees of freedom. ( $P = 0,164$ )

The differences in the median values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference ( $P = 0,164$ )

Análisis para Oxígeno Disuelto (O.D.).

**One Way Analysis of Variance** domingo, agosto 28, 2011, 11:11:05 a.m.

**Data source:** Dosis 1-5 in Notebook 4

**Normality Test:** Passed (P = 0,746)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,372)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
OD-5	3	0	7,833	0,115	0,0667
OD-2	3	0	7,967	0,153	0,0882
OD-1	3	0	7,767	0,208	0,120
OD-Blanco	3	0	7,900	0,300	0,173

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	0,0667	0,0222	0,523	0,679
Residual	8	0,340	0,0425		
Total	11	0,407			

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0,679).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,050

The power of the performed test (0,050) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.

Análisis para pH.

**One Way Analysis of Variance** domingo, agosto 28, 2011, 11:11:23 a.m.

**Data source:** Dosis 1-5 in Notebook 4

**Normality Test:** Passed (P = 0,271)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 1,000)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
pH-5	3	0	7,967	0,0577	0,0333
pH-2	3	0	7,967	0,115	0,0667
pH-1	3	0	8,040	0,0529	0,0306
pH-Blanco	3	0	8,033	0,0577	0,0333

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	0,0148	0,00492	0,864	0,498
Residual	8	0,0456	0,00570		
Total	11	0,0604			

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0,498).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,050

The power of the performed test (0,050) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.

Análisis para DQO.

**One Way Analysis of Variance** domingo, agosto 28, 2011, 11:11:38 a.m.

**Data source:** Dosis 1-5 in Notebook 4

**Normality Test:** Passed (P = 0,767)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,391)

<b>Group Name</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Std Dev</b>	<b>SEM</b>
DQO-5	3	0	34,000	1,000	0,577
DQO-2	3	0	33,667	2,082	1,202
DQO-1	3	0	34,333	3,055	1,764
DQO-Blanco	3	0	33,667	2,517	1,453

<b>Source of Variation</b>	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Between Groups	3	0,917	0,306	0,0582	0,980
Residual	8	42,000	5,250		
Total	11	42,917			

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0,980).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,050

The power of the performed test (0,050) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.

## ANEXO 10. Resultados y Análisis Estadístico para las pruebas de interrupción de la nitrificación con dosis entre 10 y 50 ppm.

Los siguientes resultados han sido reportados por el software de análisis estadístico SigmaStat 3.5. Se anexan sin modificación.

### Análisis para Nitritos (NO<sub>2</sub>).

**One Way Analysis of Variance** domingo, agosto 28, 2011, 11:03:15 a.m.

**Data source:** Dosis 10-50 in Notebook 3

**Normality Test:** Passed (P = 0,415)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 1,000)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
NO2-50	3	0	0,00333	0,00577	0,00333
NO2-20	3	0	0,000	0,000	0,000
NO2-10	3	0	0,00333	0,00577	0,00333
NO2-Blanco	3	0	0,00667	0,00577	0,00333

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	0,0000667	0,0000222	0,889	0,487

Residual	8	0,000200	0,0000250
Total	11	0,000267	

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference ( $P = 0,487$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 0,050

The power of the performed test (0,050) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.

#### Análisis para Nitratos (NO<sub>3</sub>).

**One Way Analysis of Variance** domingo, agosto 28, 2011, 11:03:15 a.m.

**Data source:** Dosis 10-50 in Notebook 3

**Normality Test:** Passed ( $P = 0,415$ )

**Equal Variance Test:** Passed ( $P = 1,000$ )

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
NO2-50	3	0	0,00333	0,00577	0,00333
NO2-20	3	0	0,000	0,000	0,000
NO2-10	3	0	0,00333	0,00577	0,00333
NO2-Blanco	3	0	0,00667	0,00577	0,00333

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	0,0000667	0,0000222	0,889	0,487

Residual	8	0,000200	0,0000250
Total	11	0,000267	

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference ( $P = 0,487$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 0,050

The power of the performed test (0,050) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.

Análisis para Oxígeno Disuelto (O.D.).

**One Way Analysis of Variance**

domingo, agosto 28, 2011, 11:04:10 a.m.

**Data source:** Dosis 10-50 in Notebook 3

**Normality Test:** Passed ( $P = 0,533$ )

**Equal Variance Test:** Passed ( $P = 0,192$ )

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
OD-50	3	0	7,667	0,153	0,0882
OD-20	3	0	8,100	0,1000	0,0577
OD-10	3	0	7,833	0,0577	0,0333
OD-Blanco	3	0	7,900	0,200	0,115

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	0,289	0,0964	5,029	0,030
Residual	8	0,153	0,0192		
Total	11	0,443			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ( $P = 0,030$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 0,618

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Holm-Sidak method):

Overall significance level = 0,05

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	t	Unadjusted P	Critical Level	Significant?
OD-20 vs. OD-50	0,433	3,833	0,00499	0,009	Yes
OD-20 vs. OD-10	0,267	2,359	0,0460	0,010	No
OD-Blanco vs. OD-50	0,233	2,064	0,0729	0,013	No
OD-20 vs. OD-Blanco	0,200	1,769	0,115	0,017	No
OD-10 vs. OD-50	0,167	1,474	0,179	0,025	No
OD-Blanco vs. OD-10	0,0667	0,590	0,572	0,050	No

#### Análisis para pH.

**One Way Analysis of Variance** domingo, agosto 28, 2011, 11:04:35 a.m.

**Data source:** Dosis 10-50 in Notebook 3

**Normality Test:** Passed (P = 0,080)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 1,000)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
pH-50	3	0	8,033	0,0577	0,0333
pH-20	3	0	7,933	0,0577	0,0333
pH-10	3	0	8,007	0,0115	0,00667
pH-Blanco	3	0	8,037	0,0551	0,0318

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	0,0208	0,00692	2,815	0,108
Residual	8	0,0197	0,00246		
Total	11	0,0404			

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference ( $P = 0,108$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 0,306

The power of the performed test (0,306) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.

#### Análisis para DQO.

**One Way Analysis of Variance** domingo, agosto 28, 2011, 11:04:54 a.m.

**Data source:** Dosis 10-50 in Notebook 3

**Normality Test:** Passed ( $P = 0,435$ )

**Equal Variance Test:** Failed ( $P < 0,050$ )

Test execution ended by user request, ANOVA on Ranks begun

**Kruskal-Wallis One Way Analysis of Variance on Ranks** domingo, agosto 28, 2011, 11:04:54 a.m.

**Data source:** Dosis 10-50 in Notebook 3

<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
DQO-50	3	0	30,000	28,500	30,000
DQO-20	3	0	29,000	27,500	30,500
DQO-10	3	0	30,000	28,500	30,750
DQO-Blanco	3	0	31,000	27,250	34,000

H = 0,622 with 3 degrees of freedom. (P = 0,891)

The differences in the median values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0,891).

## ANEXO 11. Resultados y Análisis Estadístico para las pruebas de interrupción de la nitrificación con dosis entre 100 y 500 ppm.

Los siguientes resultados han sido reportados por el software de análisis estadístico SigmaStat 3.5. Se anexan sin modificación.

### Análisis para Nitritos (NO<sub>2</sub>).

#### **One Way Analysis of Variance**

domingo, agosto 28, 2011, 10:55:24 a.m.

**Data source:** Dosis 100-500 in Notebook 2

**Normality Test:** Passed(P = 0,228)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,333)

<b>Group Name</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Std Dev</b>	<b>SEM</b>
NO2-500	3	0	0,000	0,000	0,000
NO2-200	3	0	0,0600	0,0361	0,0208
NO2-100	3	0	0,0433	0,0153	0,00882
NO2-Blanco	3	0	0,0133	0,0231	0,0133

<b>Source of Variation</b>	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Between Groups	3	0,00676	0,00225	4,360	0,043
Residual	8	0,00413	0,000517		
Total	11	0,0109			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = 0,043).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 0,534

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Holm-Sidak method):

Overall significance level = 0,05

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	t	Unadjusted P	Critical Level	Significant?
NO2-200 vs. NO2-500	0,0600	3,233	0,0120	0,009	No
NO2-200 vs. NO2-Blanco	0,0467	2,514	0,0361	0,010	No
NO2-100 vs. NO2-500	0,0433	2,335	0,0478	0,013	No
NO2-100 vs. NO2-Blanco	0,0300	1,616	0,145	0,017	No
NO2-200 vs. NO2-100	0,0167	0,898	0,395	0,025	No
NO2-Blanco vs. NO2-500	0,0133	0,718	0,493	0,050	No

Análisis para Nitratos (NO<sub>3</sub>).

**One Way Analysis of Variance** domingo, agosto 28, 2011, 10:55:49 a.m.

**Data source:** Dosis 100-500 in Notebook 2

**Normality Test:** Passed (P = 0,056)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,523)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
NO3-500	3	0	27,633	8,031	4,637
NO3-200	3	0	43,833	25,417	14,674
NO3-100	3	0	25,867	4,924	2,843
NO3-Blanco	3	0	9,067	1,343	0,775

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	1818,033	606,011	3,291	0,079
Residual	8	1473,107	184,138		
Total	11	3291,140			

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference ( $P = 0,079$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 0,379

The power of the performed test (0,379) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.

#### Análisis para Oxígeno Disuelto (O.D.).

**One Way Analysis of Variance** domingo, agosto 28, 2011, 10:56:15 a.m.

**Data source:** Dosis 100-500 in Notebook 2

**Normality Test:** Passed ( $P = 0,435$ )

**Equal Variance Test:** Passed ( $P = 0,465$ )

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
OD-500	3	0	7,833	0,115	0,0667
OD-200	3	0	7,800	0,200	0,115
OD-100	3	0	7,900	0,100	0,0577
OD-Blanco	3	0	7,833	0,208	0,120

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	0,0158	0,00528	0,198	0,895
Residual	8	0,213	0,0267		
Total	11	0,229			

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference ( $P = 0,895$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 0,050

The power of the performed test (0,050) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.

#### Análisis para pH.

**One Way Analysis of Variance** domingo, agosto 28, 2011, 10:56:50 a.m.

**Data source:** Dosis 100-500 in Notebook 2

**Normality Test:** Passed ( $P = 0,796$ )

**Equal Variance Test:** Passed ( $P = 0,460$ )

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
pH-500	3	0	7,983	0,110	0,0633
pH-200	3	0	7,867	0,125	0,0722
pH-100	3	0	7,717	0,203	0,117
pH-Blanco	3	0	8,047	0,0208	0,0120

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	0,189	0,0631	3,653	0,063
Residual	8	0,138	0,0173		
Total	11	0,328			

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0,063).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,434

The power of the performed test (0,434) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.

#### Análisis para DQO.

#### **One Way Analysis of Variance**

domingo, agosto 28, 2011, 10:57:11 a.m.

**Data source:** Dosis 100-500 in Notebook 2

**Normality Test:** Passed (P = 0,835)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,176)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
DQO-500	3	0	52,667	3,055	1,764
DQO-200	3	0	65,000	4,583	2,646
DQO-100	3	0	29,000	2,000	1,155
DQO-Blanco	3	0	33,333	5,508	3,180

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	2552,667	850,889	52,632	<0,001
Residual	8	129,333	16,167		
Total	11	2682,000			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ( $P = <0,001$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 1,000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Holm-Sidak method):

Overall significance level = 0,05

Comparisons for factor:

<b>Comparison</b>	<b>Diff of Means</b>	<b>t</b>	<b>Unadjusted P</b>	<b>Critical Level</b>	<b>Significant?</b>
DQO-200 vs. DQO-100	36,000	10,966	0,00000425	0,009	Yes
DQO-200 vs. DQO-Blanco	31,667	9,646	0,0000111	0,010	Yes
DQO-500 vs. DQO-100	23,667	7,209	0,0000916	0,013	Yes
DQO-500 vs. DQO-Blanco	19,333	5,889	0,000366	0,017	Yes
DQO-200 vs. DQO-500	12,333	3,757	0,00557	0,025	Yes
DQO-Blanco vs. DQO-100	4,333	1,320	0,223	0,050	No

## ANEXO 12. Resultados y Análisis Estadístico para las pruebas de interrupción de la nitrificación con dosis entre 1000 y 5000 ppm.

Los siguientes resultados han sido reportados por el software de análisis estadístico SigmaStat 3.5. Se anexan sin modificación.

### Análisis para Nitritos (NO<sub>2</sub>).

**One Way Analysis of Variance** domingo, agosto 28, 2011, 12:47:49 p.m.

**Data source:** Dosis 1000-5000 in DISRUPCIÓN NITRIFICACIÓN

**Normality Test:** Passed (P = 0,389)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,293)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
NO2-5000	3	0	0,0333	0,0153	0,00882
NO2-2000	3	0	0,0433	0,0115	0,00667
NO2-1000	3	0	0,00667	0,00577	0,00333
NO2-Blanco	3	0	0,0967	0,0252	0,0145

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	0,0128	0,00428	16,559	<0,001
Residual	8	0,00207	0,000258		
Total	11	0,0149			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,997

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Holm-Sidak method):

Overall significance level = 0,05

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	t	Unadjusted P	Critical Level	Significant?
NO2-Blanco vs. NO2-1000	0,0900	6,858	0,000130	0,009	Yes
NO2-Blanco vs. NO2-5000	0,0633	4,826	0,00131	0,010	Yes
NO2-Blanco vs. NO2-2000	0,0533	4,064	0,00361	0,013	Yes
NO2-2000 vs. NO2-1000	0,0367	2,794	0,0234	0,017	No
NO2-5000 vs. NO2-1000	0,0267	2,032	0,0766	0,025	No
NO2-2000 vs. NO2-5000	0,01000	0,762	0,468	0,050	No

Análisis para Nitratos (NO<sub>3</sub>).

**One Way Analysis of Variance**

domingo, agosto 28, 2011, 12:53:01 p.m.

**Data source:** Dosis 1000-5000 in DISRUPCIÓN NITRIFICACIÓN

**Normality Test:** Passed (P = 0,478)

**Equal Variance Test:** Passed (P = 0,228)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
NO3-5000	3	0	11,400	0,985	0,569
NO3-2000	3	0	14,533	0,153	0,0882
NO3-1000	3	0	14,467	0,551	0,318
NO3-Blanco	3	0	17,333	0,351	0,203

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	52,867	17,622	49,640	<0,001
Residual	8	2,840	0,355		
Total	11	55,707			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ( $P = <0,001$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 1,000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Holm-Sidak method):

Overall significance level = 0,05

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	t	Unadjusted P	Critical Level	Significant?
NO3-Blanco vs. NO3-5000	5,933	12,196	0,00000189	0,009	Yes
NO3-2000 vs. NO3-5000	3,133	6,441	0,000200	0,010	Yes
NO3-1000 vs. NO3-5000	3,067	6,304	0,000232	0,013	Yes
NO3-Blanco vs. NO3-1000	2,867	5,893	0,000365	0,017	Yes
NO3-Blanco vs. NO3-2000	2,800	5,756	0,000426	0,025	Yes
NO3-2000 vs. NO3-1000	0,0667	0,137	0,894	0,050	No

### Análisis para Oxígeno Disuelto (O.D.).

#### One Way Analysis of Variance

domingo, agosto 07, 2011, 11:46:55 p.m.

Data source: Data 1 in Notebook 1

Normality Test: Passed ( $P = 0,179$ )

Equal Variance Test: Passed ( $P = 0,106$ )

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
OD-5000	3	0	5,167	0,351	0,203
OD-2000	3	0	7,367	0,153	0,0882
OD-1000	3	0	7,867	0,115	0,0667
OD-Blanco	3	0	8,167	0,0577	0,0333

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	16,583	5,528	135,367	<0,001
Residual	8	0,327	0,0408		
Total	11	16,909			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ( $P = <0,001$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 1,000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Holm-Sidak method):

Overall significance level = 0,05

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	t	Unadjusted P	Critical Level	Significant?
OD-Blanco vs. OD-5000	3,000	18,183	0,0000000860	0,009	Yes
OD-1000 vs. OD-5000	2,700	16,364	0,000000196	0,010	Yes
OD-2000 vs. OD-5000	2,200	13,334	0,000000957	0,013	Yes
OD-Blanco vs. OD-2000	0,800	4,849	0,00127	0,017	Yes
OD-1000 vs. OD-2000	0,500	3,030	0,0163	0,025	Yes
OD-Blanco vs. OD-1000	0,300	1,818	0,107	0,050	No

### Análisis para pH.

#### One Way Analysis of Variance

domingo, agosto 07, 2011, 11:48:43 p.m.

Data source: Data 1 in Notebook 1

Normality Test: Passed ( $P = 0,599$ )

Equal Variance Test: Passed ( $P = 0,909$ )

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
pH-5000	3	0	7,400	0,0985	0,0569
pH-2000	3	0	8,067	0,115	0,0667
pH-1000	3	0	8,087	0,0808	0,0467
pH-Blanco	3	0	8,753	0,133	0,0769

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	2,748	0,916	77,459	<0,001
Residual	8	0,0946	0,0118		
Total	11	2,842			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ( $P = <0,001$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 1,000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Holm-Sidak method):

Overall significance level = 0,05

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	t	Unadjusted P	Critical Level	Significant?
pH-Blanco vs. pH-5000	1,353	15,242	0,000000340	0,009	Yes
pH-Blanco vs. pH-2000	0,687	7,734	0,0000557	0,010	Yes
pH-1000 vs. pH-5000	0,687	7,734	0,0000557	0,013	Yes
pH-Blanco vs. pH-1000	0,667	7,509	0,0000687	0,017	Yes
pH-2000 vs. pH-5000	0,667	7,509	0,0000687	0,025	Yes
pH-1000 vs. pH-2000	0,0200	0,225	0,827	0,050	No

Análisis para DQO.

**One Way Analysis of Variance**

domingo, agosto 07, 2011, 11:50:18 p.m.

**Data source:** Data 1 in Notebook 1

**Normality Test:** Passed ( $P = 0,601$ )

**Equal Variance Test:** Passed ( $P = 0,964$ )

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
DQO-5000	3	0	92,667	5,033	2,906
DQO-2000	3	0	76,333	4,041	2,333
DQO-1000	3	0	44,667	4,163	2,404
DQO-Blanco	3	0	34,000	6,083	3,512

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	3	6690,917	2230,306	92,929	<0,001
Residual	8	192,000	24,000		
Total	11	6882,917			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ( $P = <0,001$ ).

Power of performed test with  $\alpha = 0,050$ : 1,000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Holm-Sidak method):

Overall significance level = 0,05

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	t	Unadjusted P	Critical Level	Significant?
DQO-5000 vs. DQO-Blanco	58,667	14,667	0,000000459	0,009	Yes
DQO-5000 vs. DQO-1000	48,000	12,000	0,00000214	0,010	Yes
DQO-2000 vs. DQO-Blanco	42,333	10,583	0,00000555	0,013	Yes
DQO-2000 vs. DQO-1000	31,667	7,917	0,0000471	0,017	Yes
DQO-5000 vs. DQO-2000	16,333	4,083	0,00352	0,025	Yes
DQO-1000 vs. DQO-Blanco	10,667	2,667	0,0285	0,050	Yes