



**Director del Comité Editorial**

**Dr. Humberto Rodríguez**

Dirección de Investigación

Universidad Tecnológica de Panamá

**Comité Editorial**

**Dr. Humberto Álvarez**

Director Encargado

Centro de Investigaciones e Innovación Eléctrica, Mecánica  
y de la Industria (CINEMI)

Universidad Tecnológica de Panamá

**Dr. Wedleys Tejedor**

Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales

Universidad Tecnológica de Panamá

**Dr. César Peña**

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Grupo de Investigación de Automatización y Control

Universidad de Pamplona (Colombia)

**Dr. Rafael Gamero**

Facultad de Ingeniería

Programa de Investigación en Ingeniería de Procesos y Ambiental

Universidad Nacional de Ingeniería (Nicaragua)

**Dr. Jaime Estrella**

Dirección de Investigación y Desarrollo (I+D)

Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología

**Ing. Eli Faskha**

Miembro del Consejo Nacional de la Empresa Privada (CoNEP)

y de la Junta Directiva de la Cámara Panameña de Tecnología

y Comunicaciones

**Suplentes**

**Dr. Carlos Medina**

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Universidad Tecnológica de Panamá

**Dr. Ramfis Miguelena**

Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales

Universidad Tecnológica de Panamá

**Lic. José Javier Rivera**

Miembro de Consejo Nacional de la Empresa Privada (CoNEP)



**Ing. Libia Batista**

Directora

**Licda. Sandra Siebert**

**Sr. Armando Pinillo**

Mercadeo y Ventas

Diseño gráfico y diagramación:

**Editorial Universitaria**

Idea y diseño original de la portada:

**Licdo. Rafael Saturno**

Corrección de estilo

**Licda. Liseth Lezcano**

**Licda. Edith Espino**

Coordinación y logística:

**Ing. Eduardo Caballero**

Dirección de Investigación, UTP.

Escribir en I+D Tecnológico:

<http://utp.ac.pa/publicaciones-digitales-de-la-revista-de-id-tecnologico>

Plataforma para la Recepción de Artículos

<http://www.redinvestigadores.utp.ac.pa/revistaID/openconf/openconf.php>

© Derechos reservados, UTP, 2013.

Impreso en Panamá

Imprenta de la Universidad Tecnológica de Panamá

Tiraje: 300 ejemplares.

## Contenido

5

**Observación por Pares Basada en Mapas Conceptuales: Una Estrategia para Fomentar el “Scholarship of Teaching and Learning” en la Universidad Tecnológica de Panamá**

Norma L. Miller | Ian M. Kinchin

14

**Nivel de contaminación y distribución espacial de metales pesados en sedimentos superficiales de Bahía Damas, Isla Coiba**

Diana Araúz | Ana Luisa García  
Félix Rodríguez | Manuel F. Zarate

24

**Development of a Meat Tenderizer Based on Papaya Peel**

Mir N. Islam | Eunice M. Molinar-Toribio

30

**Sistema de Control con Lógica Difusa y Diseño de Plataforma Autónoma con Ruedas Mecanum a Partir de su Arquitectura**

Víctor Costella Batista | Humberto Rodríguez

39

**Efecto de las Microondas Sobre la Lactoferrina en Fórmulas Infantiles**

Indira Franco | Eduardo Castillo | María Dolores Pérez  
Miguel Calvo | Lourdes Sánchez | Humberto Rodríguez

48

**Simulación de un Sistema de Acondicionamiento de Aire por Absorción con Asistencia Solar en Panamá Utilizando TRNSYS**

Esteban Quintana | Rhona Díaz

Revista indexada en:

**latindex**

[www.latindex.unam.mx](http://www.latindex.unam.mx)



Universidad Tecnológica de Panamá

AUTORIDADES

Dr. Oscar M. Ramírez R.  
Rector

Dr. Omar O. Aizpurúa P.  
Vicerrector Académico

Dr. Gilberto A. Chang C.  
Vicerrector de Investigación, Postgrado y Extensión

Ing. Esmeralda Hernández P.  
Vicerrectora Administrativa

Ing. Luis A. Barahona G.  
Secretario General

Ing. Rubén D. Espitia P.  
Coordinador General de los Centros Regionales

# *P*resentación

DR. OSCAR M. RAMÍREZ R.

Rector

Universidad Tecnológica de Panamá



# Observación por Pares Basada en Mapas Conceptuales: Una Estrategia para Fomentar el “Scholarship of Teaching and Learning” en la Universidad Tecnológica de Panamá

---

**Norma L. Miller**

Universidad Tecnológica de Panamá

[norma.miller@utp.ac.pa](mailto:norma.miller@utp.ac.pa)

**Ian M. Kinchin**

University of Surrey, Reino Unido

[i.kinchin@surrey.ac.uk](mailto:i.kinchin@surrey.ac.uk)

**Resumen**— El movimiento denominado Scholarship of Teaching and Learning nace para superar el debate entre enseñanza e investigación, y avanzar hacia una concepción más amplia del trabajo académico. Esto supone hacer del quehacer docente una actividad más parecida a la investigación científica en aspectos como el escrutinio por pares y el reconocimiento institucional que recibe. En este contexto, la observación por pares – una práctica en la que un docente observa a un colega mientras enseña con el fin de ofrecerle retroalimentación útil – constituye una vía de desarrollo profesional y de mejoramiento de la efectividad docente cónsena con las premisas de dicho movimiento. El presente artículo informa sobre un proyecto de observación por pares realizado con docentes voluntarios de la Universidad Tecnológica de Panamá. El proceso de observación se apoyó en el uso de mapas conceptuales para aumentar la visibilidad y facilitar la discusión de ideas complejas, y para poner de manifiesto la divergencia que suele existir entre las estructuras de conocimiento en forma de red que poseen internamente los docentes y las estructuras lineales que usualmente exteriorizan durante sus clases.

Los resultados revelan una mayor sensibilización de todos los participantes respecto a la naturaleza de la enseñanza y el aprendizaje, y una respuesta muy positiva hacia el proceso de observación mismo. De este modo, el proyecto ha contribuido a fomentar un clima de mayor reflexión y autocrítica por parte de los participantes, y a abrir espacios de discusión y debate productivo sobre el quehacer docente en la institución.

**Palabras claves**— Desarrollo profesional, educación universitaria, estructuras de conocimiento, mapas conceptuales, mejoramiento de la calidad de la enseñanza, observación por pares, Scholarship of Teaching and Learning.

**Abstract** — The Scholarship of Teaching and Learning movement came about in order to move beyond the debate between teaching and research, towards a broader conception of academic work. This necessitates that teaching become an activity more akin to research in regard to aspects such as peer scrutiny and institutional recognition. In this context, peer observation – a practice in which a faculty member observes a

*colleague teaching with the purpose of offering useful feedback – constitutes a path to professional development and improvement of teaching efficacy consistent with the Scholarship of Teaching and Learning premises. The present article reports on a peer observation project carried out with volunteer teachers at the Universidad Tecnológica de Panamá. The observation process was supported by the use of concept maps as a means to increase the visibility and facilitate the discussion of complex ideas, as well as to expose the divergence that tends to exist between the net-like knowledge structures teacher possess internally and the linear structures they usually reveal outwardly during their classes. Results indicate an increased sensibility by all participants about the nature of teaching and learning, as well as a very positive response towards the observation process itself. In this way, the project has contributed to foster greater critical self-reflection among participants, and to create opportunities for productive discussion and debate concerning teaching at the institution.*

**Keywords**– Professional development, higher education, concept maps, improvement of quality of teaching, knowledge structures, peer observation, Scholarship of Teaching and Learning.

*Tipo de Artículo:* original

*Fecha de Recepción:* 3 de mayo 2013

*Fecha de Aceptación:* 11 de octubre de 2013

---

## 1. Introducción

A lo largo del año académico 2010, mientras la Universidad Tecnológica de Panamá se abocaba de lleno a un proceso de autoevaluación institucional con miras a la acreditación, el campus central de la UTP fue escenario de una experiencia singular: un pequeño grupo de docentes, de diversas facultades, participaron en un proyecto de “observación por pares” en el que, organizados en parejas, se observaron mutuamente dar clases. Ejercicios de este tipo, cada vez más comunes en otras latitudes, buscan inducir una actitud de reflexión y autocrítica, y abrir espacios de discusión y debate productivo sobre el quehacer docente en la institución.

El propósito de este artículo es compartir con la comunidad académica de la UTP, y más allá, en qué consistió la experiencia, los principios pedagógicos que la guiaron, y el impacto que tuvo en los docentes participantes.

### 1.1. Antecedentes: Revaloración de la Labor Docente

Hace dos décadas, Ernest L. Boyer, entonces presidente de la Fundación Carnegie para el Avance del Aprendizaje, dio voz a una creciente preocupación en las universidades estadounidenses en torno al poco reconocimiento que recibían los académicos por su labor docente en comparación con su trabajo de investigación. Estas ideas, expresadas en su libro “Scholarship reconsidered” [1], constituyeron el impulso inicial de un importante movimiento de revaloración de la docencia conocido como *Scholarship of Teaching and Learning*<sup>1</sup> (SoTL por sus siglas en inglés).

En la concepción de Boyer, esto suponía hacer de la docencia una actividad más parecida a la investigación académica en dos sentidos: primero, en el nivel de reconocimiento que las universidades deben otorgar a la enseñanza; y segundo, en la evaluación rigurosa a la que la docencia debe ser sometida [1].

Los planteamientos de Boyer se dieron en un contexto en el que la investigación académica básica se había vuelto sinónimo de erudición, quedando la docencia relegada a un quehacer secundario, carente de reconocimiento en el ámbito universitario. En las palabras del propio Boyer, “la enseñanza a menudo se considera una función rutinaria, un añadido, algo que casi cualquiera puede hacer” [1].

Ciertamente, este no sería el caso en la Universidad Tecnológica de Panamá. La UTP, al igual que muchas otras universidades de Latinoamérica, no se caracteriza por un profesorado dedicado, en mayor medida, a la investigación. Aproximadamente el 5% de los docentes de la UTP poseen un doctorado,<sup>2</sup> y otro 5%, no necesariamente los mismos, se dedican activamente a la investigación [2]. En nuestra casa de estudios la principal actividad del docente es la enseñanza. Aun así, no es común advertir en los docentes una actitud reflexiva y autocrítica hacia su propia práctica docente, o incluso un compromiso real con su crecimiento y desarrollo profesional. Así pues, aunque las razones pueden ser diferentes, la necesidad de hacer de la enseñanza un emprendimiento de mayor erudición y más valorado institucionalmente es tan real en la UTP como en aquellos entornos que inspiraron originalmente el movimiento SoTL.

---

<sup>1</sup>No hemos encontrado una traducción adecuada de esta frase, por lo que optamos por mantener el original en inglés.

<sup>2</sup> Esta cifra ha estado aumentando de manera importante en los últimos años.

## 1.2. Principios Pedagógicos de la Observación por Pares

De acuerdo con Kinchin *et al.* [3], a nivel operativo una de las metas fundamentales del movimiento SoTL es “hacer más visible aquello que los docentes hacen para que ocurra el aprendizaje en los estudiantes.” Haciendo uso de los mapas conceptuales [4], Kinchin *et al.* [3] han arribado a una descripción de la naturaleza de las estructuras de conocimiento intercambiadas durante la interacción docente-estudiante, lo que a su vez ha permitido entender mejor la brecha entre el conocimiento del docente y el aprendizaje del alumno, y proponer maneras concretas de cerrarla.

Las exploraciones de Kinchin *et al.* [3] también han revelado condiciones bajo las cuales la brecha se convierte en un círculo vicioso en el que docentes y estudiantes son cómplices en evitar un discurso serio y profundo sobre la disciplina en torno a la cual interactúan. Un resultado de este tipo de interacción puede ser el “no-aprendizaje”, una situación en la que no hay cambios evidentes en la estructura cognitiva del alumno [5]. Romper estos ciclos de no-aprendizaje requiere no solo de visualizar cómo falla el proceso de enseñanza, sino concebir estrategias de enseñanza alternativas, más conducentes a un proceso de construcción colaborativa de significados [3]. En este sentido, la observación por pares, a la vez que contribuye al análisis de la interacción docente-estudiante, provee una fuente de concepciones alternativas. Kinchin [6] describe la observación por pares como “un proceso de observación intencional en el que un profesor universitario asiste a una clase de un colega con la intención de ofrecerle retroalimentación en calidad de un amigo crítico”.

En años recientes, el Reino Unido ha comenzado a desarrollar programas de observación por pares, siguiendo el ejemplo de universidades estadounidenses y australianas [7]. No obstante, la observación del trabajo docente en el aula por pares todavía no es algo común en el mundo de la educación superior.

En Panamá los educadores profesionales, particularmente a nivel terciario, casi nunca comparten de manera franca, en grupos de discusión, su práctica y experiencia docente; mucho menos abren las puertas de sus aulas a colegas para ser observados por estos. Con este proyecto se buscaba hacer ambas cosas, y contribuir con ello a fomentar en nuestra universidad un ambiente

más receptivo al diálogo constructivo entre colegas sobre su actividad docente.

## 1.3. Rol de los Mapas Conceptuales en la Observación por Pares

La observación por pares por lo regular se enmarca dentro de programas de desarrollo profesional docente. La literatura sobre el tema destaca la importancia de que la observación tenga un foco, algo concreto hacia qué dirigir la atención del observador [8]. En el presente estudio, nuestro interés se centró en sensibilizar a los participantes acerca de las convergencias y divergencias que pudieran existir entre su concepción de la docencia y su puesta en práctica.

Como experto en determinada materia, el docente mantiene en su mente complejas redes de entendimiento; sin embargo, al exponer un tema en clase, lo que suele explicitar son cadenas de práctica, omitiendo el conocimiento tácito que le permite articular e integrar estas cadenas con otros conocimientos relevantes dentro de su estructura cognitiva [9]. Esta brecha entre el conocimiento conceptual - las estructuras de conocimiento – que posee un docente y el conocimiento procedimental que expresa al dictar sus clases ha sido revelada por Kinchin y Hay [10] mediante el uso de mapas conceptuales.

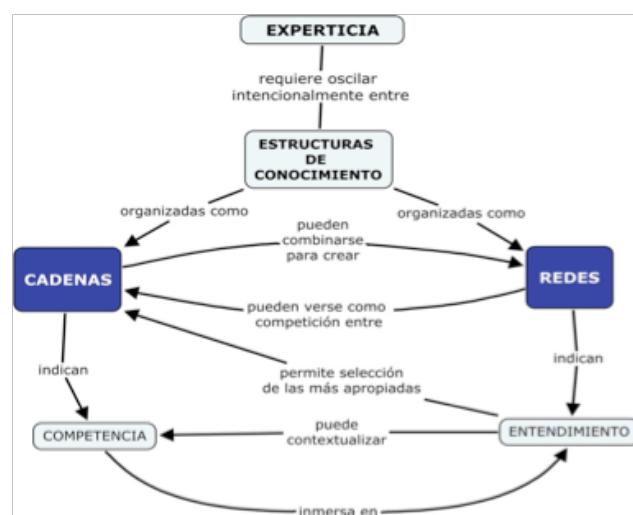


Figura 1. Mapa conceptual de relación entre cadenas de competencias y redes de entendimiento (redibujado y traducido de [9]).

Para subsanar la brecha entre la teoría y la práctica, estos autores proponen un modelo de docencia basado en *experticia*, lo cual requiere que el docente sea capaz de conectar las cadenas de práctica que denotan competencia, con las redes de entendimiento subyacentes que soportan el desarrollo académico del estudiante (ver figura 1).

Si bien la separación entre cadenas de práctica y redes de entendimiento puede observarse a través de las distintas disciplinas académicas, se piensa que es en ramas profesionales, como la medicina y la ingeniería, donde la separación es más pronunciada, justamente como consecuencia del énfasis que en ellas se hace sobre el dominio de procedimientos a expensas del entendimiento que los sustenta [11]. En el caso específico de la ingeniería, por ejemplo, Ellis *et al.* [12] mantienen que “demasiado a menudo la educación en ingeniería se ha organizado en torno a la enseñanza y aprendizaje de procedimientos a aplicarse en la resolución de clases particulares de problemas. La pedagogía puesta en práctica en [la ingeniería]... apuesta por que los estudiantes eventualmente obtendrán una visión amplia y podrán integrar y aplicar todos los procedimientos. La realidad, sin embargo, es que con demasiada frecuencia los estudiantes no logran transferir su conocimiento. Esto se vuelve evidente cuando son incapaces de resolver problemas tan solo un poco diferentes de aquellos usados para su instrucción y práctica.”<sup>3</sup>

Es importante notar que con esto no pretendemos afirmar que los mapas conceptuales constituyan una panacea para todos los problemas relacionados con la conceptualización del conocimiento en el ámbito educativo. Lo que planteamos es que con la fórmula de observación por pares usando los mapas conceptuales para explicitar la concepción que poseen los docentes acerca de una docencia “ideal” en su disciplina, se han obtenido resultados positivos en el sentido de que los docentes se han mostrado receptivos e, inclusive entusiastas, hacia el proceso. Para muchos la experiencia ha servido como trampolín para continuar explorando diversos aspectos de su labor docente, haciendo uso de una gama de estrategias más allá de los mapas conceptuales. En este sentido, los mapas conceptuales actúan como un disparador para que los profesores empiecen a re-evaluar lo que hacen.

---

<sup>3</sup>Traducción por N. Miller.

Una vez que comienzan a construir un diálogo sobre su docencia y a examinar estructuras de conocimiento, algunos optan por utilizar otras herramientas por medio de las cuales expresarse.

Los mapas conceptuales constituyen, pues, un buen punto de partida. Tienen la virtud, por un lado, de hacer de la observación por pares algo menos personal, ya que permiten que el observador y el observado se enfoquen en las actividades clave de la enseñanza de una manera no amenazante y utilizando un lenguaje que no depende de la disciplina (es decir, un historiador podría observar a un físico, o viceversa, y tendrían en el mapa un marco de referencia común independiente de su entendimiento del contenido). Por otro lado, hacen de la observación algo más personal al permitir a los participantes expresar de manera individual e idiosincrática los valores y creencias que subyacen a su docencia.

Implícito en el uso de los mapas conceptuales hay un avance hacia un aula más constructivista, como resultado de utilizar una herramienta constructivista. Al respecto cabe apuntar que los mapas conceptuales han sido descritos como un *theory-embedded tool* [13], esto es, un herramienta en la que está inmersa la teoría que la anima – el constructivismo – donde el entendimiento se concibe como complejas redes de ideas interconectadas, en vez de informaciones simples y aisladas una de otra.

Finalmente, consideramos que la perspectiva de estructuras de conocimiento que proveen los mapas conceptuales, es también compatible con la comunicación entre docentes y estudiantes, de manera tal que se esperaría que los logros en la enseñanza por parte del docente pueden traducirse directamente en logros en el aprendizaje por parte de los estudiantes: en la medida que el docente revela las redes que interconectan sus conocimientos sobre determinado tema, facilita que sus estudiantes reconstruyan e integren correctamente la información en sus propias estructuras de conocimiento. Es así como pensamos que este tipo de estrategias mejoraría la calidad del aprendizaje de los estudiantes.

#### 1.4. Modelo de Interacción Docente-Estudiante

La transformación entre redes y cadenas descrita en párrafos anteriores se consideró en el marco de un modelo de interacción docente-estudiante denominado *doble ciclo de Kolb* [14]. Ésta es una modificación del ciclo experiencial de aprendizaje de Kolb [15], según el cual toda experiencia de aprendizaje puede concebirse

como un patrón cílico compuesto de cuatro etapas: la experiencia concreta, la reflexión, la conceptualización, y la acción. En el modelo del doble ciclo, dos ciclos interconectados, uno para el docente y otro para el estudiante, constituyen el escenario en el que tienen lugar las transformaciones de las morfologías de conocimiento (figura 2). A lo largo de un ciclo las estructuras cognitivas de uno y otro oscilan de redes jerárquicas de comprensión (el saber por qué) a cadenas lineales de práctica (el saber cómo) y viceversa.

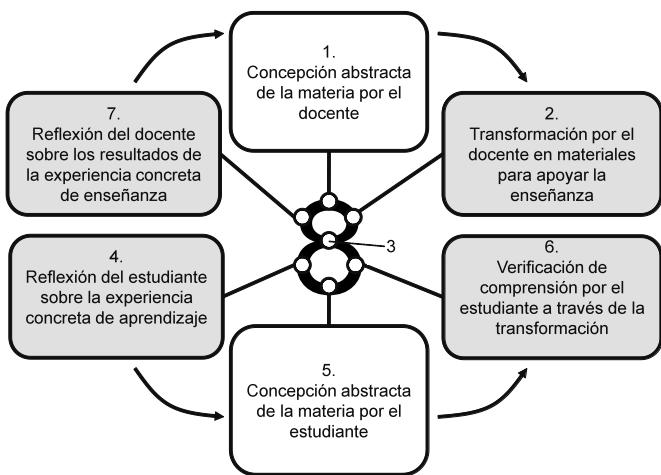


Figura 2. Transformación de morfologías de conocimiento en el doble ciclo de Kolb. El punto donde se entrelazan los dos ciclos (número 3 en la figura) representa el aula de clases, el espacio público en que se da la interacción docente-estudiante (redibujado y traducido de [14]).

## 2. La Experiencia

Como ya hemos dicho, en este proyecto nos interesaba examinar el efecto del proceso de observación por pares sobre la actitud de los docentes participantes hacia su propia labor de enseñanza. El programa contó con la participación de 9 docentes voluntarios<sup>4</sup>, pertenecientes a cuatro facultades diferentes del campus central de la UTP. Previo a iniciar las observaciones, los participantes tuvieron una capacitación en la que se familiarizaron con los mapas conceptuales y su elaboración, y conocieron aspectos teóricos de la observación por

pares y del modelo de interacción docente-estudiante, en particular, el doble ciclo de Kolb y la transformación de estructuras jerárquicas a lineales y de vuelta nuevamente a jerárquicas, lo cual, según Novak y Symington [16], constituye el problema educativo fundamental.

Al final del período de capacitación, cada cual elaboró un mapa conceptual que describía su concepción personal de “la enseñanza ideal de su disciplina”. Al momento de elaborarlo, los participantes no sabían que este mapa conceptual serviría de rúbrica de observación al par observador; de esta manera, los criterios de observación no fueron impuestos ni por los investigadores, ni por el par observador, sino que el propio docente observado fue quien definió las pautas para su observación.

Para las observaciones se conformaron parejas de docentes de disciplinas mixtas, ya que experiencias anteriores de los investigadores sugieren que la discusión post-observación resulta más fructífera entre colegas de distintas disciplinas: por un lado, el debate tiende a enfocarse sobre las estructuras de conocimiento intercambiadas durante la clase observada, en vez de desviarse hacia discusiones sobre el contenido; y por otro, las diferencias en la práctica docente entre las disciplinas ayudan al docente observado a verse a sí mismo a través de una nueva lente [11], que es precisamente lo que se busca en un ejercicio como éste.

Las observaciones realizadas por los pares proveyeron un balance práctico para ayudar a los participantes a contextualizar la teoría. Cada par realizó 3 rondas de observaciones mutuas entre los meses de junio y noviembre del 2010; la primera ronda de observaciones fue filmada. En los días subsiguientes a cada observación, los pares se reunieron para discutir sus observaciones, específicamente las coincidencias y divergencias entre lo “esperado”, en base a lo expresado en el mapa de enseñanza ideal de cada uno, y lo observado en el aula.

Concluida la etapa de observación, los investigadores se reunieron con cada par de participantes en una sesión final de retroalimentación<sup>5</sup>. Basándose en las filmaciones y en los informes de observación entregados por las parejas, en estas reuniones se les plantearon una serie de preguntas con el objeto de llevarles a reflexionar sobre aspectos particulares del proceso.

<sup>4</sup> Un participante se tuvo que retirar a medio camino y fue sustituido por otro; de modo que en todo momento hubo cuatro pares de docentes.

<sup>5</sup> Los investigadores no participaron de las sesiones de observación ni de las discusiones post-observación, aunque sí tuvieron acceso a las filmaciones.

### 3. Impacto de la Observación por Pares

#### 3.1. Reportes de los Participantes

En los cuestionarios y reportes que llenaron los participantes quedaron consignadas sus reacciones a cada una de las etapas del proceso. En esta sección transcribimos algunos de los comentarios más reveladores e ilustrativos del impacto que tuvo en ellos la observación por pares.

Primeramente, a pesar de que prácticamente todos los participantes, al ser voluntarios, tenían una actitud receptiva hacia este tipo de intervención, la expectativa de ser observados por un colega (aunque no fuera de su misma área) y filmados les generaba cierto nivel de desasosiego, como lo evidencian los siguientes comentarios:

*“Al comienzo [sentí] temor; después de la primera sesión pude ver la observación de mi par como que me podía proporcionar alguna ayuda, y no como que me iban a criticar”.*

*“La primera vez estaba muy nerviosa, muy estresada. Pero conversando y riendo después de nuestra primera reunión [post-observación], el nivel de estrés bajó considerablemente, y las dos vimos que nos podíamos ayudar mutuamente”.*

No obstante, una vez superado el temor inicial, muy natural, los participantes se abrieron al proceso y, sin excepción, encontraron que el mismo era interesante y provechoso para su desarrollo profesional:

*“Al principio...estaba la preocupación de hacerlo bien; después de la adaptación, en general a mí me gustó que viniera otro docente a observarme y yo igual para comparar”.*

*“Encontré muy interesante el poderme observar a mí mismo, gracias a la videograbación, y poder determinar si la concepción de la enseñanza que digo tener es la que realmente pongo en práctica”.*

Por otra parte, el uso de mapas conceptuales como medio para expresar su concepción de una docencia ideal, supuso para los docentes un reto y a la vez un importante ejercicio de reflexión. Algunos de ellos expresaron abiertamente las dificultades que tuvieron:

*“Al inicio del proceso... me costó conceptualizar cómo era mi enseñanza... Había muchas cosas que hacía [en clase] que ni siquiera había incluido en mi mapa conceptual.”*

*“Este proceso ha sido muy enriquecedor para mí e inclusive para mis alumnos... de hecho les compartí mi*

*mapa conceptual [para] que me ayudaran a completarlo... [Esto] les explicó mucho del porqué de algunas de mis estrategias...”*

De igual forma, consideraron valiosa la oportunidad de ver en práctica técnicas y estrategias utilizadas por sus colegas y que en un momento dado podrían serles de utilidad, como lo explican estos participantes:

*“[Mi par], utiliza herramientas y estrategias que me pueden servir a mí también,... como escribir en el tablero sobre una proyección; y preguntar frecuentemente para verificar que todos están enfocados y siguiendo la clase.”*

*“Nunca había visto el método de indagación puesto en práctica. Somos colegas pero rara vez tenemos la oportunidad de compartir cómo hacemos las cosas. Pensé que este método me podría ser de utilidad en determinadas situaciones.”*

Finalmente, como resultado de la experiencia los docentes lograron tomar conciencia de lo que realmente hacen en el aula, incluido todo lo que hacen bien, pero también aquello en que no están llenando las expectativas que tienen para sí mismos como docentes.

*“El proceso me ha hecho mucho más consciente de que realmente no sabemos lo que está pasando en las mentes de los estudiantes”.*

*“Una vez al mes reexamino mi mapa conceptual... para ver si estoy haciendo lo que dije que iba a hacer, especialmente aquellas cosas que me han dicho que son buenas. Para mí, el mapa conceptual es como una fotografía de lo que soy como docente... y me ayuda a ver dónde puedo mejorar.”*

No todo lo conversado entre los pares durante sus reuniones post-observación tuvo el mismo grado de profundidad de los comentarios anteriores. Buena parte de los comentarios en los informes tendieron a enfocarse sobre cuestiones prácticas del manejo del salón de clases, como por ejemplo, el tono de voz, la postura del cuerpo, la disciplina, entre otros:

*“Conversamos acerca de la necesidad de que mejore su tono de voz mientras dicta la clase”.*

*“Hablamos sobre la necesidad de recordarse de mantener una postura correcta cuando está al tablero”.*

Otros comentarios expresados en los informes se mantuvieron en un plano amable y vago:

*“Mi compañero y yo hablamos sobre el mejoramiento continuo del proceso enseñanza-aprendizaje, y de las técnicas que hemos utilizado y su impacto en nuestras clases”.*

*“Discutimos las mejoras que cada uno debe hacer a fin de garantizar una enseñanza más efectiva”.*

De alguna manera, inicialmente esto es lo que cabría esperar; los componentes prácticos observables que conforman el discurso lineal de la enseñanza son cuestiones menos contenciosas que los componentes que conformarían el discurso jerárquico de una pedagogía universitaria (la que incluiría cosas como los valores subyacentes de los docentes y sus supuestos sobre la enseñanza y el aprendizaje). Se esperaba, sin embargo, que a medida que los pares se fueran sintiendo más cómodos uno con otro, y más relajados con el proceso, abordarían cuestiones más sustanciales y (posiblemente) más polémicas. Lo que encontramos en los registros de la segunda y tercera ronda de observaciones fue que los comentarios vertidos se mantuvieron igualmente amables y vagos que en la primera ronda y sólo abordaron cuestiones no amenazantes del trabajo docente. En las reuniones finales de retroalimentación con los investigadores se intentó dirimir hasta qué punto este tipo de declaraciones, un tanto asépticas, constituyeron fiel resumen de las discusiones entre los pares.

### 3.2. Entrevistas Finales

Concluidas las observaciones y analizados los reportes post-observación, los investigadores sostuvieron una reunión de cierre con cada par de participantes con el objeto de llevarles a reflexionar sobre determinados aspectos del proceso de observación. Uno de los principales temas abordados fue la escasez de elementos realmente críticos en los informes. Las razones mencionadas por los docentes durante las entrevistas fueron, por un lado, la falta de confianza entre los pares (sobre todo en las primeras sesiones); y, por el otro, la necesidad de mayor capacitación/supervisión para guiar a los participantes a ser más críticos en sus reportes. Un participante lo expresó en estos términos:

*“Las reuniones de retroalimentación debían ser más periódicas, porque esa es la manera en que los docentes le podemos sacar provecho realmente al proceso. Porque, yo fui y observé a [mi par], pero... ¿qué tan bien lo observé? Necesitábamos más de estas sesiones [de retroalimentación con los facilitadores]”.*

Al preguntarles sobre el beneficio obtenido de la participación en el Proyecto, todos los participantes, sin excepción, sintieron que el proceso fue de provecho para ellos a nivel profesional, e incluso personal:

*“Yo soy una de esas personas (debo ser honesto) que por años se rehusó a tomar un curso de educación, porque lo que veía era que los que enseñaban estos cursos eran personas que hablaban de técnicas que ellos mismos no usaban... Ahora estoy a punto de iniciar algunas clases formales en educación como resultado, debo decirlo, de este proceso.”*

Al final de la entrevista se les preguntó su opinión acerca de implementar en el futuro un programa de observación por pares a mayor escala en la UTP. Todos los participantes indicaron que esto sería positivo. Señalaron que en caso de extenderse el programa, sería importante recibir mayor guía de parte de los facilitadores, incorporar a más docentes al proyecto, y tener la posibilidad de observar a colegas de su misma área (aunque reconocen que esto dificultaría el enfocarse en los aspectos propiamente pedagógicos de las clases).

### 3.3. Retos Para Extender un Programa de Observación por Pares

Se decidió llevar adelante este proyecto a pesar de que se logró reunir apenas una decena de participantes, por considerar que podría servir de vitrina para dar a conocer a la comunidad universitaria, particularmente a los docentes, los beneficios de un programa de desarrollo profesional de carácter formativo y no sentencioso como lo es la observación por pares.

No obstante, ampliar un programa de observación por pares de un grupo de voluntarios a un conjunto mayor de docentes no sería una tarea simple debido, principalmente, a la resistencia que históricamente ofrecen los propios docentes a este tipo de propuestas. Algunos argumentos que se aducen para dicha oposición son: 1) la percepción de que la observación contraviene la libertad de cátedra, 2) el debate sobre la representatividad y exactitud de lo observado, 3) la incertidumbre acerca de la objetividad de los observadores, y 4) la falta de reconocimiento institucional para la mejora de la enseñanza [17]). Adicionalmente, pudiese existir cierto temor respecto al uso que se le daría a la información generada por el proceso.

Por ende, a fin de ser exitoso, cualquier esfuerzo por implementar la observación por pares a nivel ya sea institucional, de alguna facultad, o de algún centro regional, tendría necesariamente que contar con un liderazgo que la comunidad docente reconozca como serio, idóneo, y sensitivo, que conduzca el programa

de observación por pares respetando la cultura organizacional de la unidad en que se implementa, y con plena conciencia y sensibilidad hacia las naturales ansiedades y preocupaciones de los académicos.

#### 4. Conclusiones

El concepto de *Scholarship of Teaching and Learning* surgió de una preocupación de hacer de la docencia una actividad más similar a la investigación académica, principalmente en lo relativo a su evaluación rigurosa por la comunidad educativa y su reconocimiento por parte de la institución. Paralelamente ha venido reafirmándose un modelo educativo centrado en el estudiante, que más que proveer un cúmulo de conocimientos específicos busca formar estudiantes críticos, creativos, y reflexivos, desarrollando en ellos la capacidad de pensamiento académico autónomo, es decir, la capacidad de aprender a aprender. Esto conlleva una aproximación a la docencia semejante a la de la investigación: la enseñanza se aborda como una actividad que se realiza en colaboración cercana con los estudiantes, quienes se convierten en colegas o socios del docente en el proceso de aprendizaje [18]. La convergencia de estas dos tendencias nos llevaría a una concepción de la docencia más acorde con los procesos de búsqueda de nuevo conocimiento.

Se sabe que implementar este tipo de prácticas con éxito en las aulas de universidades donde todos sus docentes poseen como mínimo un doctorado, y por ende están íntimamente familiarizados con los comportamientos propios del quehacer investigativo, supone un reto significativo; evidentemente, en una institución en la que sólo una pequeña fracción de los docentes han pasado por un proceso de investigación riguroso, podemos esperar que el reto sea aún mayor. Para quienes nunca han tenido la vivencia de investigar en las fronteras del conocimiento humano, los comportamientos y actitudes propios de este tipo de empresa intelectual – la convivencia con múltiples fuentes de incertidumbre, el continuo cuestionamiento (de uno mismo y sus pares), la multiplicidad de enfoques y caminos a seguir en la búsqueda del conocimiento, entre otros - pueden inspirar temor y rechazo.

Adicionalmente, en las instituciones de educación terciaria de Panamá, probablemente más que en cualquier otro nivel, son pocas o nulas las oportunidades disponibles para un académico de crecer como docente

y mejorar la efectividad de su enseñanza. Con este proyecto se quiere dar a conocer los beneficios que puede aportar la observación por pares del trabajo de aula, una estrategia formativa, no condonatoria, de crecimiento profesional y mejoramiento de la enseñanza, basada en el desarrollo de una actitud personal más autocrítica, y un diálogo formal y abierto entre colegas sobre su actividad docente, ambas características de un modelo de docencia más afín al quehacer investigativo.

#### 5. Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a todos los que de una forma u otra apoyaron la realización de este proyecto, muy especialmente a los nueve docentes voluntarios: A ellos, nuestro respeto y admiración por su valentía, su compromiso con su propio crecimiento, y sus ganas de hacer un mejor trabajo en pro del desarrollo intelectual de nuestros estudiantes.

#### 6. Referencias Bibliográficas

- [1] E. L. Boyer, *Scholarship reconsidered: Priorities of the professoriate*. Washington, DC: Carnegie Foundation, 1990, pp. 23-37.
- [2] Dirección de Investigación, Universidad Tecnológica de Panamá. Comunicación personal, Mayo, 2013.
- [3] I. Kinchin, S. Lygo-Baker, and D. Hay, “Universities as centers of non-learning,” *Studies in Higher Educ.*, vol. 33, no. 1, 2008, pp. 89-103.
- [4] J. D. Novak and D. Gowin, *Learning how to learn*. New York: Cambridge University Press, 1984.
- [5] P. Jarvis, *Paradoxes of learning*. San Francisco: Jossey Bass, 1992.
- [6] I. Kinchin, “Evolving diversity within a model of peer observation at a UK university,” presented at the British Educational Research Assoc. Annual Conf., University of Glamorgan, Wales, 2005.
- [7] L. Lomas and I. Kinchin, “Developing a peer observation program with university teachers,” *Int. J. of Teaching and Learning in Higher Educ.*, vol. 18, no. 3, 2006, pp. 204-214.
- [8] J. Richards and C. Lockhart, “Teacher development through peer observation,” presented at the Japan Assoc. for Language Teaching Conf., Omiya, Japan, 1990.
- [9] I. Kinchin, “The qualitative analysis of concept maps: Some unforeseen consequences and emerging opportunities,” Proc. of the 3rd Int. Conf. on Concept Mapping, Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland, 2008, pp. 500-506.
- [10] I. Kinchin and D. Hay, “The myth of the research-led teacher,” *Teachers & Teaching: Theory and Practice*, vol. 13, no. 1, 2007, pp. 43-61.
- [11] I. Kinchin, L. Cabot, and D. Hay, “Visualising expertise: Towards an authentic pedagogy for higher education,” *Teaching in Higher Educ.*, vol. 13, no. 3, 2008, pp. 315-326.
- [12] G. W. Ellis, A. Rudnitsky, and B. Silverstein, “Using concept maps to enhance understanding in engineering education,” *Int. J. of Eng. Educ.*, 20(6), 2004, pp. 1012-1021.
- [13] T. Sherborne, “Mapping the curriculum: How concept maps can improve the effectiveness of course development,” in *Knowledge Cartography: Software Tools and Mapping Techniques*, A. Okada, S. Buckingham-Shum, and T. Sherborne, (Eds.), London: Springer, 2008, pp. 183-198.
- [14] I. Kinchin and N. Miller, “Structural transformation as a threshold concept in university teaching,” *Innovations in Educ. and Teaching Int.*, 49:2, 2012, pp. 207-222.
- [15] D. A. Kolb, *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*, New Jersey: Prentice-Hall, 1984.

- [16] J. D. Novak and D. J. Symington, "Concept mapping for curriculum development," Victoria Inst. for Educational Research Bulletin, 48, 1982, pp. 3-11.
- [17] L. Keig and M. D. Waggoner, "Collaborative peer review. The role of faculty in improving college teaching," Assoc. for Study of Higher Educ. Higher Education Report No 2, The George Washington University: Washington, DC, 1994.
- [18] K. Trigwell and S. Shale, "Student learning and the scholarship of university teaching", Stud. in Higher Educ., 29:4, 2004, pp. 523-536.

# Nivel de Contaminación y Distribución Espacial de Metales Pesados en Sedimentos Superficiales de Bahía Damas, Isla Coiba

**Diana Araúz**

Centro Internacional de Investigación y Desarrollo Científico Experimental  
dnrz51@gmail.com

**Ana Luisa García**

Universidad Tecnológica de Panamá  
algal4pa@yahoo.com

**Félix Rodríguez**

Instituto de Investigaciones Tropicales Smithsonian  
felixantonio68@yahoo.com

**Manuel F. Zárate**

Planeta Panamá Consultores S.A.  
mzarate46@gmail.com

**Resumen**— Se determinaron los metales pesados (Cr, Cu, Cd y Pb) en sedimentos superficiales de Bahía Damas en Isla Coiba para establecer los niveles de línea base y de contaminación. Las muestras se colectaron en 4 estaciones de muestreo en periodo seco y lluvioso durante 2009-2010, fueron tamizadas para obtener la fracción inferior a 63  $\mu\text{m}$ , digeridas con una mezcla de ácidos HNO<sub>3</sub>; HCl (1:1) v/v en un digestor de microondas IO Analytical 7925 y se analiza el contenido de metales pesados en un ICP-OES Spectro Ciros CCD. Las concentraciones medias de metales pesados en los sedimentos del área de estudio oscilaron: Cr (88,32 a 94,63  $\mu\text{g/g}$ ), Cd (1,84 -3,53  $\mu\text{g/g}$ ), Cu (41,47- 48,7  $\mu\text{g/g}$ ) y Pb (1,09 - 3,80  $\mu\text{g/g}$ ), siendo la distribución de estos metales gradual y estacional, reflejando un incremento de la concentración hacia la parte de mar afuera en periodo seco e intermedio. Mientras, que y en el periodo lluvioso es inverso, la cual está fuertemente influenciada por la climatología y la hidrodinámica local. La estimación del nivel de contaminación por medio del Índice de Geoacumulación, que permite valorar el grado de afectación

que presenta el ecosistema marino, indica una contaminación moderada por Cd, clase 3 por efectos antropogénicos.

**Palabras clave**— Contaminación, distribución espacial, hidrodinámica, índice de geoacumulación, metales pesados, sedimentos superficiales.

**Abstract**— The heavy metals Cr, Cd, Cu and Pb were determined to establish baseline levels and contamination in surface sediments of the Damas Bay in the Coiba Island. Analyzed samples sediment corresponds to 4 stations established during dry and rainy seasons in 2009-2010. Only the fine fraction in the sediments, less than 63  $\mu\text{m}$ , was analyzed. The sediments were digested by acid mixture HNO<sub>3</sub>; HCl (1:1) v/v in a microwave digester IO Analytical 7925 and the metals were determined using ICP-OES Spectro Ciros CCD.

The middle concentrations of heavy metals in the sediments ranged Cr (88,32 - 94,63  $\mu\text{g/g}$ ), Cd (1,84 -3,53  $\mu\text{g/g}$ ), Cu

(41,47- 48, 7 $\mu\text{g/g}$ ) y Pb (1,09 - 3,80  $\mu\text{g/g}$ ) and the distribution of these metals gradual and seasonally, reflecting an increase in concentration towards the offshore sea in dry, intermediate period and in the rainy it is reverse, the distribution is strongly influenced by the weather and the local hydrodynamics. The geoaccumulation index has been calculated, this index let us evaluate the affect in the marine ecosystem and the data show a moderate level of pollution (Cd), class 3, by anthropogenic effects.

**Keywords**— Contamination, geoaccumulation index, heavy metals, hydrodynamics, spatial distribution, surface sediments.

**Tipo de Artículo:** original

**Fecha de Recepción:** 21 de junio 2013

**Fecha de Aceptación:** 11 de octubre de 2013

## 1. Introducción

Actualmente, Isla Coiba es un Parque Nacional, incorporado el 15 de julio del 2005 por el Comité de Patrimonio Mundial de la UNESCO a su lista de Sitios de Patrimonio Mundial Natural, lo que le confiere especial importancia ecológica. Regionalmente se ubica en el extremo occidental del país, dentro del Golfo de Chiriquí.

En el pasado, esta zona de gran biodiversidad, que incluye ecosistemas marinos, insulares y costeros, fue utilizada como colonia penal y de producción agrícola para el sostenimiento de la población penal y la Guardia Nacional. Igualmente fue utilizada como base militar, zona de tiro de artillería y otras armas, de acuerdo a informaciones recogidas, siendo así Bahía Damas, un centro de operaciones marítimas durante esa época.

En las zonas costeras y estuarinas, la introducción de metales se realiza principalmente a través de las aguas de los ríos, depositándose en la interface agua-sedimento, [1]. En el Río Catival, las aguas de escorrentías cursan fuertemente en los períodos de lluvia, y la hidrodinámica local junto a otras fuentes no directas, como el tráfico marítimo de diferentes tipos de embarcaciones que hacen o hacen uso de Bahía Damas como desembarcadero, son posibles causas de que contaminantes diversos hayan llegado al mar.

No existe a nivel nacional bibliografía disponible con información suficiente sobre la distribución de metales pesados en la zona, por lo que el estudio reviste una gran importancia, debido a que estos elementos pueden ser

acumulados en organismos bentónicos y podría afectar la cadena trófica en los ecosistemas marinos presentes [2].

Es sabido, que los metales ligados a los sedimentos a concentraciones suficientes ejercen efectos adversos sobre la biota residente [3], [4] y [5]. Algunos metales pesados pueden ser absorbidos en altas concentraciones por la vegetación. El mercurio, cobre, níquel, plomo, cobalto, cadmio, entre otros, son los metales que se muestran como los más tóxicos en concentraciones excesivas para las plantas superiores [6], así como para otros organismos. Esta toxicidad también puede afectar a otros niveles superiores de la cadena alimenticia, tanto por ingesta directa como por la potencial transmisión a través de la red trófica estuarina [7].

El presente trabajo forma parte del proyecto “Evaluación y monitoreo de las condiciones ambientales y sanitarias de las aguas del Parque Nacional Coiba en el manejo de áreas de uso público” y pretende evaluar la distribución espacial de las concentraciones de algunos metales en sedimentos superficiales de las márgenes litorales de Bahía Damas, el impacto contaminante en este ecosistema marino debido a la introducción de metales pesados, como resultado de las actividades humanas y una línea base, para futuros seguimientos de la contaminación en esta importante área.

## 2. Área de Estudio

Bahía Damas es una de las principales particularidades geomorfológicas que presenta la isla de Coiba. Se encuentra circunscrita al sector costero comprendido entre Punta Clara en el extremo Norte de la Bahía (828000 N -422400E), y el extremo Norte del río San Juan ubicada en el área Sur de la Bahía (826600-421000), figura 1. Este sector corresponde al área de influencia directa de las aguas continentales drenadas por la Cuenca Hidrográfica del río Catival y secundariamente por el río San Juan. El gradiente del fondo submarino es uniforme y suave con escasa profundidad, ya que el veril de los 5 m se extiende cerca de 1500 m mar adentro en el extremo medio, reduciéndose hacia el Norte. La composición del fondo en ese tramo está constituida principalmente por pequeños rodados. Los ecosistemas costeros presentan a su vez una cobertura boscosa de manglar, la cual se extiende desde el sector medio hacia el Sur de la Bahía.

### 3. Materiales y Métodos

Los sedimentos superficiales se extrajeron, en los períodos seco y lluvioso de los años 2009 y 2010 (marzo, noviembre, mayo y octubre) respectivamente. Se tomaron a profundidades no mayores de 10 m, mediante el uso de la Draga Diez Laffont, Kalisco, en 4 Estaciones georeferenciadas con el GPS Map Source 79 Sxc. La localización de los puntos de muestreo aparece en la figura 1. El sedimento se conservó en bolsas de polietileno a bajas temperaturas hasta su procesamiento y análisis en el laboratorio.

En la determinación de metales pesados se pesó 1,0 g de sedimento (previamente secado a 30°C, tamizado con una malla de 63µm y homogenizado), digeridas en presencia de HNO<sub>3</sub>:HCl (1:1) v/v en un digestor de microondas IO Analytical 7925; el material digerido se disolvió en 15 ml de agua desionizada, se filtró al vacío en filtros de membrana de 0,2µm de tamaño de poro, se aforó a 25 ml y se le analizó el contenido de metales pesados en un ICP-OES Spectro Ciros CCD. Los límites de detección de los elementos analizados fueron: Cu 0,004 mg/L, Cd 0,003 mg/L, Pb 0,015 mg/L y Cr 0,003 mg/L.

Los estudios sedimentológicos se basaron en la determinación de textura de los sedimentos con el método del hidrómetro Bouyoucos G.J. 1962, [8].

Para evaluar cuantitativamente la contaminación de los sedimentos marinos por metales pesados, se ha elegido el índice de Geoacumulación de MÜLLER (1979). Este índice se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1,5B_n} \right) \quad (1)$$

*C<sub>n</sub>* = concentración del metal n en el sedimento;

*B<sub>n</sub>* = concentración del valor de fondo del metal; 1.5 factor de corrección de efectos litogénicos.

Los valores de fondo o “Background”, necesarios para calcular el índice de Geoacumulación, se han tomado de los datos por Turekian & Wedepohl (1961) [9], encontrados en pizarras sedimentarias y estos valores (en mg kg<sup>-1</sup> peso seco) son los siguientes: cadmio (0,22), cromo (90), cobre (45), plomo (20).

La ecuación dada integra un factor de corrección de efectos litogénicos y de los valores de “Background”

o referencias para los sedimentos. Estos valores son los correspondientes a niveles naturales de sedimentos de época preindustrial o de áreas no afectadas por vertidos antropogénicos. En la actualidad estos valores referenciales son utilizados por un gran número de países donde no se cuenta con referencias nacionales y ha permitido medir el nivel de contaminación y su impacto.

Mientras, que la distribución espacial de las concentraciones de metales pesados se analiza con el método de interpolación “Kriging”, el cual se basa en los fundamentos de la teoría geoestadística.

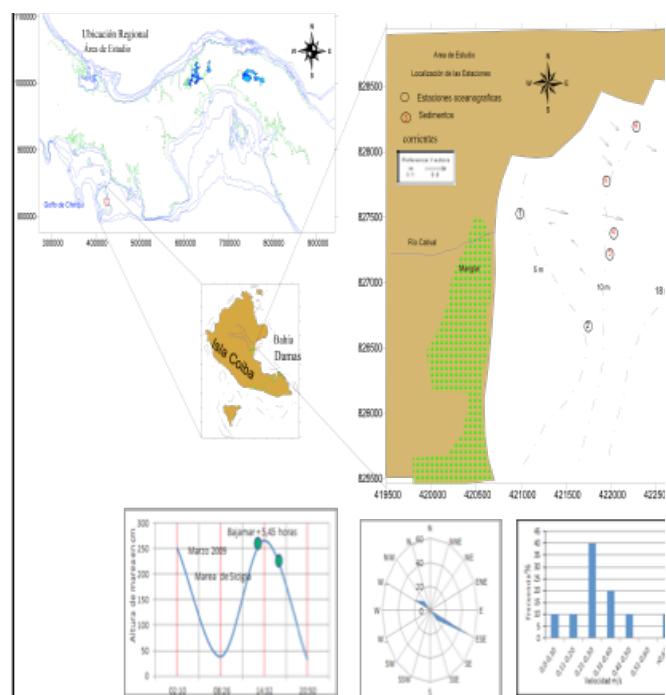


Figura 1. Área de estudio, Localización de las Estaciones y Correntometría Lagrangiana.

El estudio de la correntometría Lagrangiana se realizó, durante la campaña del primer año, las mediciones fueron efectuadas en período de sicigia, tanto en las fases de marea llenante y vaciante respectivamente, según Tabla de Marea ACP 2009. La densidad fue calculada a partir de la temperatura y salinidad usando el algoritmo de Fofonoff y Millard (1981)[10].

La estación de aforo del río Catival se ubicó en las coordenadas 827900 N y 420378 E. La medición del caudal (Q m<sup>3</sup>/s) se realizó en una sección transversal que sigue la matriz de un cauce regular. Se seleccionaron seis

secciones del área de acuerdo a las diversas profundidades y se escogieron tres celdas de velocidad promedio de acuerdo a las isovelas.

#### 4. Resultados y Discusión

##### 4.1. Características Físicas

La circulación general es afectada por las corrientes generadas por la marea, con sus entradas y salidas, por los aportes de las aguas superficiales y los cambios de la densidad del mar, figuras 1, 2 y 3, donde dominan los procesos de mezcla vertical, de resuspensión y transporte.

La intensidad del flujo es variable y de amplio espectro, oscila desde velocidades débiles a fuertes entre 0,10 a > 0,61 m/s, con un 40% flujos de intensidad moderada que oscilan entre 0,21-0,30 m/s. La dirección de la corriente está supeditada al estado de la marea; es decir, que en marea ascendente la corriente se dirige hacia el WNW y hacia el SE y ESE en marea vacante.

La distribución vertical de la densidad del mar; siendo la derivada de temperatura y salinidad es un trazador general de la circulación. De éstas se puede inferir, que existen procesos de resuspensión y mezcla vertical desde los estratos del fondo hacia los estratos medio; debido a la acción de la marea, el viento y a la baja profundidad del área.

Mientras, que los aportes del río Catival guardan muchos elementos de un segmento de transición, intermedio entre el de montaña y planicie, presentando algunas curvas, velocidades de aguas moderadas y sustrato formado por grava, con arenas y algo de arcillas.

Las orillas están conformadas de cantos rodados, testigos de importantes arrastres por crecidas y de "wadis" o surcos de agua resultados de fuertes escorrentías. Es un río, que si bien nace en un área de volcanismo dominado por Rocas ígneas extrusivas (basalto, andesita, ignibrita), transcurre en su parte media por áreas de rocas sedimentarias (caliza, lutita, arenisca) y termina en una costa baja aluviónica y arenosa.

El caudal encontrado en marzo de 2009 fue 0,180 m<sup>3</sup>/s, un caudal que se puede calificar de *mínimo* del año. Para esta época y visto el tipo de horizontes de suelo, arcillosos arenosos, cubiertos de rastrojos maduros en su parte media y baja, las reservas freáticas están agotadas y los flujos hipodérmicos no funcionan. Es notable, el aumento del caudal del río con el cambio de estación.

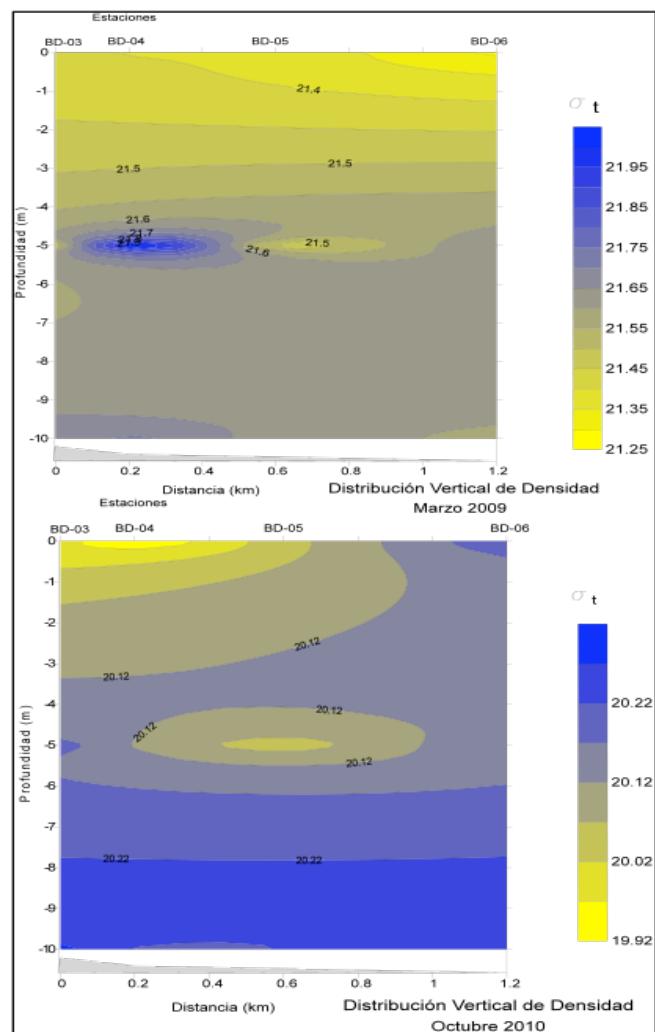


Figura 2, Distribución vertical de densidad, periodo seco y lluvioso.

El caudal medido en la época de lluvia, noviembre 2009, fue 2,25 m<sup>3</sup>/s. Mientras, que en mayo 2010 el aforo se encuentra *bajo los efectos de las pulsaciones de marea*, en su flujo y reflujo, el caudal medido fue de 0,72 m<sup>3</sup>/s, y en octubre de 2010 fue de 5,38 m<sup>3</sup>/s, siendo el mayor en los cuatro períodos de medición.

##### 4.2. Tipo de Sedimentos

Las facies texturales de las estaciones muestreadas se han determinado en base a los porcentajes relativos de peso de arena, limo y arcilla. En general los porcentajes de sedimentos superficiales de Bahía Damas a lo largo de las estaciones de monitoreo y durante el año son

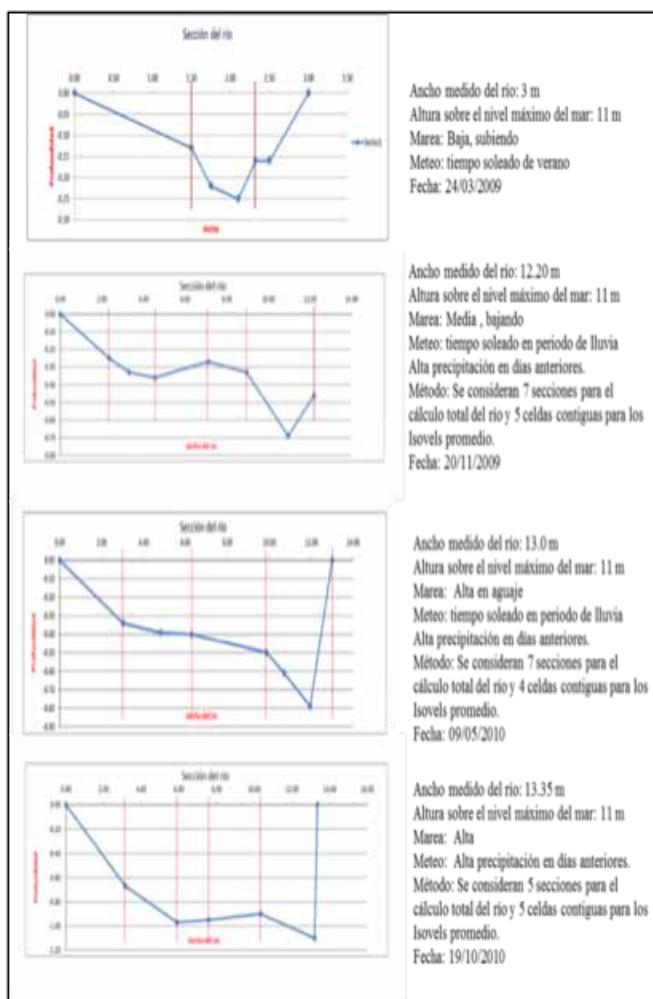


Figura 3. Aforo y determinación del caudal m<sup>3</sup>/s durante la campaña de muestreo.

variables; los resultados de los análisis texturales en las estaciones evaluadas muestran la presencia de partículas de arena, limo y arcilla, en donde la mayor composición es arena, 41,55 %, seguido de 30,76% de limo y 27,69% de arcilla. Por consiguiente; en términos de textura, los sedimentos son franco-arcillo-arenoso a arcillosa con apariencia de limo.

En todas las estaciones evaluadas el predominio de la arena está por encima del 25% (ver tabla1) con la excepción de la estación BD-03 en octubre 2010; donde los porcentajes relativos de limo y arcilla aumentan.

La característica textural observada está relacionada a los procesos dinámicos erosivos y de arrastres de corto y largo plazo del río. A lo largo del eje longitudinal de éste, presenta vestigios de fuertes escorrentías y

Tabla1. Característica textural (%) de los sedimentos superficiales Bahía Damas.

Estación	Periodo	Tipo de Sedimento	% Humedad	% arena	% limo	%arcilla
BD-03	Mar'09	Franco	41,7	27,0	45,9	27,1
	Nov'09	Franco-arcilloso-arenoso	44,3	58,9	15,7	25,4
	May'10	Franco-arcilloso	45,8	25,9	37,8	36,3
	Oct'10	Arcilla con partícula de limo	43,6	12,8	47,6	39,6
BD-04	Mar'09	Franco-arcilloso-arenoso	35,8	51,2	26,7	22,2
	Nov'09	Franco-arcilloso-arenoso	36,6	54,0	23,8	22,2
	May'10	Franco-Arcilloso-Arenoso	36,5	64,0	10,7	25,3
	Oct'10	Franco	42,5	41,1	33,7	25,2
BD-05	Mar'09	Franco-arcilloso-arenoso	25,9	72,2	3,5	24,3
	Nov'09	Franco-arcilloso-arenoso	33,0	59,3	16,7	24
	May'10	Franco	31,6	36,1	38,6	25,3
	Oct'10	Franco	42,3	40,7	32	27,4
BD-06	Mar'09	Franco-arcilloso-arenoso	39,5	32,2	34,9	32,9
	Nov'09	Franco	44,4	34,0	38,9	27,1
	May'10	Franco-Arcilloso	47,3	26,9	45,2	38
	Oct'10	Franco Arcilloso	25,9	28,6	40,5	30,8
Min			25,9	12,8	3,5	22,2
Max			45,8	72,2	47,6	39,6
Promedio			39,6	41,6	30,8	27,7

formaciones de cantes rodados y otros materiales pétreos; así como limos y arcilla que llegan al mar; donde la acción constante de la marea como mecanismo de transporte, resuspensión y sedimentación redistribuye el material en función de su tamaño. Un claro ejemplo de esta condición, se aprecia en la distribución vertical de la densidad del mar en octubre ( $\sigma_t$ ), figura 2 y 3 donde los aportes del río alcanzan toda la columna de agua de la zona de estudio y modifican la densidad del mar, la cual disminuye a 19.92 en superficie y a los 5 m de profundidad.

Por lo tanto, es de esperarse que durante períodos de máxima escorrentía y la dinámica local, entrada de mareas, la composición textural varíe y haya sedimentos nuevos o recién depositados en esos estratos.

Igualmente, se observa en la misma tabla, que el contenido de agua está en relación directa con el tamaño del grano, limo-arcilla ( $r = 0,65-0,51$ ), respectivamente.

#### 4.3. Metales Pesados en el Sedimento

En la tabla 2, se presentan las concentraciones medias de los metales analizados Cr, Cd, Cu, Pb en  $\mu\text{g/g}$ , peso seco, durante los cuatro períodos de muestreo.

Tabla 2. Concentraciones media ( $\mu\text{g/g}$ , peso seco) e índices de Geoacumulación de los metales.

Valor	2009 Marzo				2009 Nov			
	Cr	Cd	Cu	Pb	Cr	Cd	Cu	Pb
Ug/g media	88.32	1.84	41.47	1.09	94.05	2.41	44.67	2.24
ígeo	-0.51	2.48	-0.7	-4.79	-0.52	2.87	-0.5	-3.75
Valor	2010 May				2010 Oct			
	Cr	Cd	Cu	Pb	Cr	Cd	Cu	Pb
Ug/g media	94.63	3.28	48.43	3.1	88.7	3.53	48.7	3.80
ígeo	-0.51	3.31	-0.48	-3.27	-0.51	3.42	-0.47	-2.98

Se obtuvieron concentraciones medias de Cr que oscilan entre 88,32 a 94,63  $\mu\text{g/g}$ , correspondientes a marzo 2009 y mayo 2010, respectivamente, los cuales se encuentran por encima del valor de 20  $\mu\text{g/g}$ , para sedimentos no contaminados, [11]. En comparación a nivel de la región, estos valores son superiores a las concentraciones reportadas para la Bahía de Baja California 11,09  $\mu\text{g/g}$ , [12], Bahía de Bergantín 25,17  $\mu\text{g/g}$ . Mientras, que los valores registrados en Bahía Damas son similares a los reportados al este de la entrada de la Ensenada Grande del Obispo en Venezuela (80,88  $\mu\text{g/g}$  de Cr), en un sedimento arenoso, [13]. Las diferentes concentraciones observadas pueden depender tanto de la actividad humana; como de la composición litogénica.

Las concentraciones de Cd reportadas presentan una tendencia de incremento durante las 4 campañas, figura 4, indicando, que hay un efecto acumulativo de este metal en el medio marino. Se detectaron valores en un rango entre 1,84  $\mu\text{g/g}$ , en marzo, como el valor más bajo y 3,53  $\mu\text{g/g}$  en octubre 2010; según estudios realizados en todo el mundo acerca de los niveles de cadmio en los diferentes tipos de sedimentos, la concentración de cadmio en sedimentos superficiales no contaminados no supera el valor de 1  $\mu\text{g/g}$  [11]. Estos valores son superiores y pueden estar asociados al alto contenido de limo y arcillas en el sedimento de esta zona, ya que coincide con el periodo máximo de escorrentía

y la presencia de limo- arcilla, así como también a los contenidos altos de materia orgánica, [11] y [13]. Igualmente, las concentraciones reportadas para la Bahía también pueden ser una consecuencia de las actividades humanas desarrolladas en esta zona en décadas pasadas y que mantienen estos valores durante las crecidas del río Catival, debido al arrastre de sedimentos.

En la región existió una actividad agrícola (cultivo de maíz, arroz, frutas, etc.) y ganadera, lo que supone la utilización de una elevada cantidad de pesticidas, herbicidas y abonos. Además, el cadmio puede estar asociado a plásticos, pigmentos de pinturas y otros materiales [12]. Específicamente, Bahía Damas durante años sirvió como puerto principal para la Isla de Coiba. Actualmente, aunque menos frecuente es utilizada por Agencias de seguridad del Estado y servicios privados del sector turismo. Por otro lado, los procesos de resuspensión que presenta el sistema marino es posible que esté produciendo una contaminación recurrente, tanto en la columna de agua como en los sedimentos. Las concentraciones de Cd aquí expuestas, son similares a lugares donde el desarrollo industrial es alto.

En tanto, las concentraciones de Cu se mantienen estables durante todo el periodo de muestreo entre 41,47-44,67  $\mu\text{g/g}$  en 2009 y 48,43-48,7  $\mu\text{g/g}$  en 2010. Los altos valores reportados por esta investigación de acuerdo a [11], son muy superiores al valor de 10  $\mu\text{g/g}$  establecido para sedimentos no contaminados y extremadamente altos en comparación con la Costa de Baja California que tiene una concentración de 2,60  $\mu\text{g/g}$ .

Sin embargo, pareciera ser que el alto valor reportado para Bahía Damas y por su estabilidad durante la campaña es de origen residual lo que indica, que el cobre en este caso forma parte de la estructura reticular de los componentes minerales de los sedimentos; de no ser así, sería necesario conocer previamente el aporte litogénico para el área de estudio.

La concentración media de plomo en los sedimentos superficiales se encontró entre un 1,09 a 3,80  $\mu\text{g/g}$ . Estos valores no superan al valor de 5,00  $\mu\text{g/g}$  para sedimentos no contaminados.

De este análisis comparativo con los valores reportados por Sadiq, 1992 [11] para sedimentos no contaminados, se puede señalar, que a excepción de las concentraciones medias de Pb, el resto de los

metales Cd, Cu, y Cr son superiores a los valores para sedimentos no contaminados, y bajo ese marco los sedimentos superficiales de Bahía Damas presentan valores medios altos en comparación a los reportados para la Costa de Baja California, [12], y otras regiones de América, advirtiendo, que hay un impacto ambiental por contaminación por metales pesados en los sedimentos marinos.

Por otro lado notamos, que todos los metales analizados tienden a incrementarse; es decir, han presentado un aumento con respecto al año anterior, lo que pone de manifiesto que hay acumulación y que existe relación con las condiciones climatológicas de la región; este supuesto se basa en que el caudal del río Catival fue mayor en octubre 2010 y que durante el periodo de lluvias los sedimentos contaminados por metales pesados por el fenómeno de resuspensión son transportados aguas abajo, conjuntamente con los sedimentos y debido a la afinidad de estos metales de asociarse con las partículas finas y materia orgánica son depositados en el mar, donde las mareas y sus procesos de turbulencia, resuspensión y mezcla vertical los mantienen en la columna de agua, los redistribuye y acumula en el fondo una vez encuentre densidad basal condición que puede variar en cada ciclo de marea y estacionalmente.

#### 4.4. Índice de Geoacumulación

Para evaluar cuantitativamente la contaminación en los sedimentos superficiales y el impacto ambiental por metales pesados, se ha calculado el índice de Geoacumulación. Este índice permite formar una escala de siete grados, que van desde la clase cero para sedimentos no contaminados hasta la clase 6 con valores 50 veces superiores a los de referencia, [14].

En la tabla 2, se muestran los resultados obtenidos para cada una de las estaciones o puntos muestreados. Como puede observarse, los resultados para Cr, Cu, y Pb son negativos. Estudios realizados en Manzanillo Cuba, presentaron algunas estaciones con valores negativos y según Amat, P. [15], están dados porque la concentración del elemento en ese punto es menor que el "Background" tomado de la literatura a escala global y la posibilidad que exista una pequeña anomalía geoquímica en la zona.

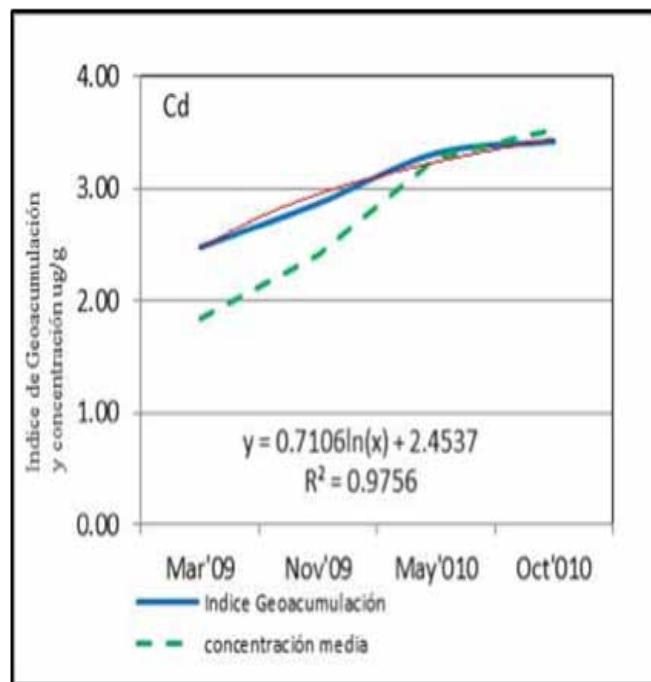


Figura 4. Tendencia del Igeo y las concentraciones de Cd.

Probablemente, en los sedimentos de Bahía Damas exista la misma situación; o las concentraciones obtenidas sean de origen litogénicos y no representan contaminación por estos metales en los sedimentos de la zona. En el caso del Cd, la concentración de este elemento en las estaciones y durante el período de muestreo, figura 4, muestra un grado moderado de contaminación según este índice entre 2-3 y clase 3 y un  $r^2 = 0.97$ . De las estimaciones se deduce, que los efectos ambientales por actividades antropogénicas en Coiba están vigentes y prueba de ese impacto se encuentra en los vestigios de los sedimentos marinos de Bahía Damas.

#### 4.5. Distribución Temporal y Espacial de Contaminantes

Basados en los resultados del Igeo, se ha seleccionado las concentraciones de Cd, por ser el metal que refleja el impacto ambiental por actividades antropogénicas.

Los valores altos de Cd parecen estar relacionados con los mecanismos de transporte y deposición, las mareas y las descargas del río Catival, los cuales transportan concentraciones elevadas de este metal en los sedimentos, figuras 2 y 3.

Durante el periodo seco e intermedio, marzo y mayo, es más evidente la acción de la marea en el transporte y

los procesos de resuspensión, el caudal del río es bajo y las descargas hacia el mar son escasas y reducidas.

Los niveles de cadmio en marzo 2009 y mayo 2010 evidencian que hay un transporte en dirección a las manecillas del reloj, el ingreso es desde SE, tal y como se aprecia en la figura 5, el flujo se dirige hacia el NW formando giros convergentes por lo tanto, las mayores concentraciones ( $2.05\text{-}3.5\mu\text{g/g}$ ) se encuentran próximas a la estación BD3 y BD4, respectivamente. La distribución es gradual en incremento hacia afuera.

Mientras, que en noviembre, figura 6, se aprecia que las mayores concentraciones se encuentran en la BD 6, hay un ingreso desde el NE y disminuye hacia las estaciones BD3 y 4, el flujo va hacia el SSW, SE. En octubre de 2010, se observa el efecto del río en cuanto al aporte de material y contaminantes. Hay cierta relación entre la disminución de la concentración y la distancia hacia afuera de la costa, es decir, mayor concentración en las estaciones cercanas a la desembocadura del río y una disminución gradual y progresiva hacia afuera. En este mes las áreas de mayor concentración de Cd parecen estar relacionadas con las descargas del río Catival y al alto porcentaje de limo arcilla.

Por lo tanto, no existen áreas concretas donde se localicen las máximas concentraciones de metales pesados, ya que los altos valores se encuentran tanto al norte como al sur durante las fluctuaciones mareales y estacionales.

Estos resultados nos hacen suponer que el río Catival en sus períodos de máximas crecidas arrastra gran cantidad de material a lo largo de su recorrido al igual de los afluentes que vierten sus aguas en él, aportan tantos sedimentos de diversa composición y tamaño, como contaminantes, ya que atraviesa por áreas que en tiempos de Colonia Penal eran utilizadas para la agricultura y otras actividades antrópicas.

Estas consideraciones establecen, que el río Catival es la principal fuente de aporte tanto de material sedimentario y metales pesados asociados a estos.

Por otro lado, no se puede despreciar la acción de las mareas y su rol en el transporte, resuspensión y reacomodo de los sedimentos e intrínsecamente de las concentraciones de metales pesados, ya que estos se desplazan de acuerdo a los movimientos de la corriente, variaciones en la densidad del agua y la temperatura del

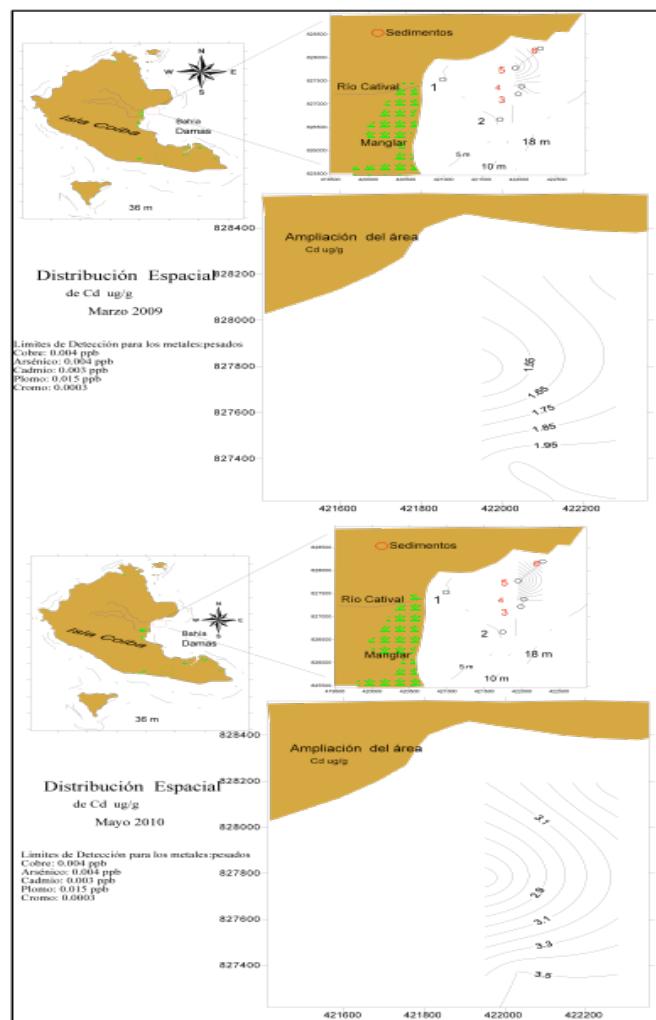


Figura 5. Distribución espacial de las concentraciones de Cd, marzo 2009 y mayo 2010

mar. Así lo confirman los altos valores de correlación con la densidad del mar,  $\sigma_t$ ,  $r = 0.56$  y temperatura del mar,  $r = -0.60$ , figura 7.

Estos resultados revelan la existencia de un fuerte proceso de transporte, debido a la intensa hidrodinámica mareal propia de este ecosistema, donde concurre una amplia oscilación mareal, con un régimen de mareas semidiurna con valores máximos absolutos de pleamar que alcanzan casi los 4 m durante las mareas vivas, así como la presencia de intensas corrientes que hace que los materiales se redistribuyan por todo el estuario.

Todo parece indicar, que por estas características dinámicas los sedimentos superficiales particularmente los susceptibles a hacer suspendidos mantienen un

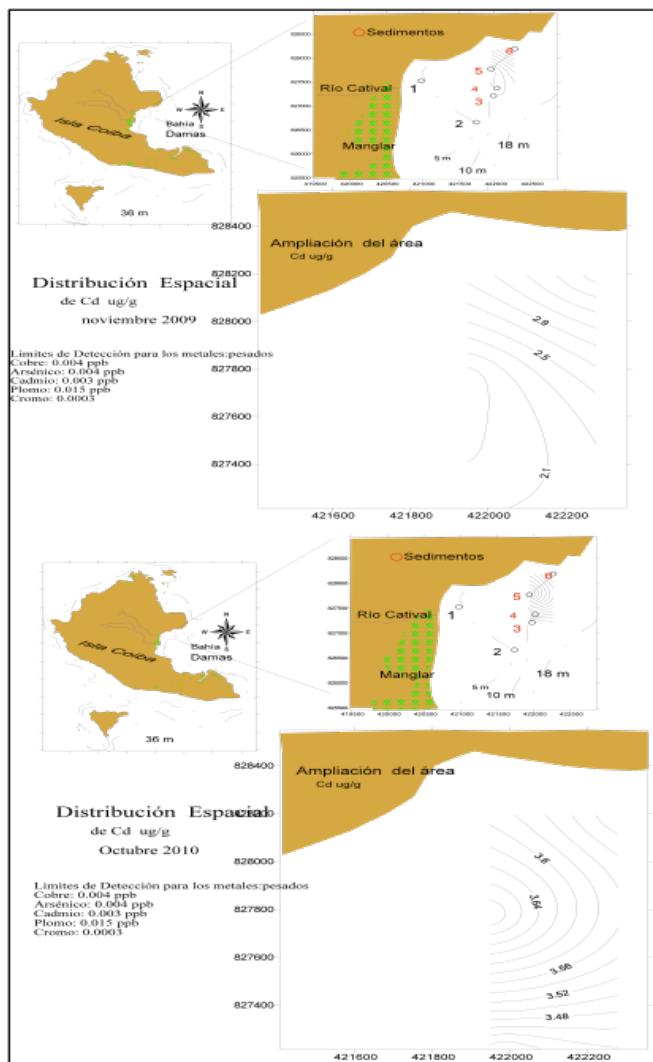


Figura 6. Distribución espacial de las concentraciones de Cd, noviembre 2009, octubre 2010.

ciclo recurrente de contaminación por metales pesados, debido a que estos materiales tienen una afinidad mayor de asociarse a las partículas finas y materia orgánica.

De este modo, dadas las altas concentraciones de metales pesados encontradas, la removilización de los sedimentos y su distribución debido a la hidrodinámica mareal, todos los organismos, independientemente de su localización en la zona de estudio podrían verse afectados por la incorporación de metales pesados al sistema.

## 5. Conclusiones

De acuerdo con los resultados consideramos lo siguiente:

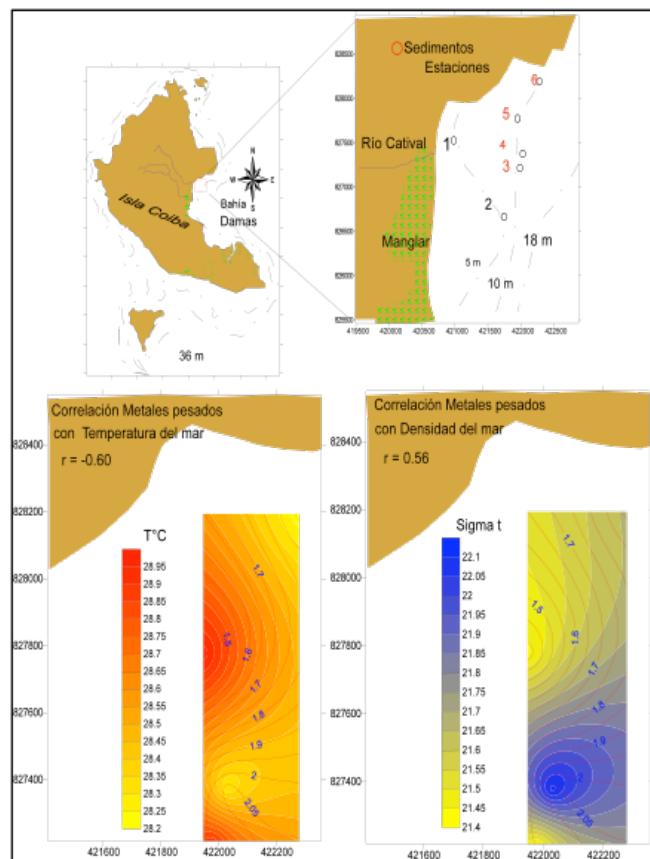


Figura 7. Concentración de Metales Pesados y su correlación con los procesos de resuspensión y transporte.

- Este trabajo pone de manifiesto un potencial y problema ambiental, debido al elevado contenido de metales pesados en los sedimentos superficiales.
- Del análisis comparativo con los valores reportados por Sadiq, 1992 para sedimentos no contaminados, a excepción de las concentraciones medias de Pb, el resto de los metales Cd, Cu, y Cr son superiores a estos valores. Igualmente los valores reportados de metales pesados en Bahía Damas son extremadamente superiores a los de la Costa de Baja California.
- El resultado del índice de Geoacumulación indicó que en Bahía Damas hay contaminación antropogénica moderada de clase 3 por Cd. Mientras, que Cu, Cr y Pb, por sus valores negativos podrían ser de origen litogénico o existir anomalías geoquímicas en la zona.
- La principal fuente de aporte de contaminación por metales pesados es el Rio Catival y los procesos

- de resuspensión y reacomodo originados por las mareas.
- La distribución espacial del Cd en la zona está sometida a la climatología, a la acción dinámica de las mareas y a los cambios de la densidad del agua del mar.
  - Las características dinámicas podrían estar influenciando en la recurrencia de contaminación por los metales pesados.
  - Las fracciones de arena son las de mayores porcentajes en la composición de los sedimentos.
  - En términos de textura, los sedimentos son franco-arcillo-arenoso a arcillosa con apariencia de limo.
  - La característica textural observada está relacionada a los procesos dinámicos erosivos y de arrastres de corto y largo plazo del río.
- De las investigaciones futuras en este tema, los resultados dejan muy en claro que hay presencia de altos valores de metales pesados y que urge establecer las referencias naturales de los sedimentos marinos.

## 6. Agradecimiento

Expresamos nuestro agradecimiento a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) por haber financiado este proyecto, a las Instituciones participantes del mismo (Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá, Autoridad Nacional del Ambiente, Instituto de Investigaciones Tropicales Smithsonian, Universidad de Panamá con un especial reconocimiento al Dr. Luis Cubilla por la coordinación del Proyecto marco y a la Dra. Cecilia Guerra por el análisis crítico realizado al documento.

## Referencias

- [1] Gamboa, B. R. & J. R. Bonilla. "Distribución de Metales Pesados (Fe, Mn, Cu y Zn) en Sedimentos Superficiales de la Cuenca Tuy-Cariaco". Bol. Inst. Oceanogr. univ. Oriente. 1983, 22 (1-2): 103-110.
- [2] Bonnevie, N.L., Huntley, S.L., Found, B.W. & Wenning, R.J. "Trace metal contamination in surficial sediments from Newark Bay, New Jersey". The Science of the Total Environment, 1994) 144: 1-16.
- [3] Baker. R.A. "Contaminants and sediments" Vol 2. Analysis, chemistry, biology. Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI, (1980).pp. 221-266.
- [4] Birge, W.J., Black, J.A., Westerman, A.G. & Francis, P.C. Toxicity of sediments-associated metals to freshwater organisms: Biomonitoring procedures. En K.L. Dickson, A.W. Maki & W.A. Brungs (eds.), Fate and effects of sediment-bound chemicals in aquatic systems. Pergamon Press, New York, NY, (1987) pp. 199-219.
- [5] Burgess, R.M. & Scott, K.J. The significance of in place contaminated marine sediments on the water column: Process and effects. En G.A. Burton. Sediment Toxicity Assessment. Lewis Publishers, Chelsea, MI, pp. (1992), 129-165.
- [6] Alloway, B.J. Heavy metals in soils. B.J. Alloway (ed.). 2<sup>a</sup> ed. Blackie Academic & Professional. (1995), 370 p.
- [7] Adam, P. Saltmarsh ecology. Cambridge University Press. Cambridge. Gran Bretaña. (1990): 461 p.
- [8] Informe Final SENACYT- "Evaluación y monitoreo de las Condiciones Ambientales y Sanitarias de las Aguas del Parque Nacional Coiba en el Manejo de Áreas de Uso Público". Proyecto - PN Coiba 08-025, Panamá. 2012.
- [9] Turekian, K. K. & Wedepohl, K. H. "Distribution of the elements in some major units of the earth's crust". Bull. Geol. Soc. Am. 1961, 72, 175-192.
- [10] Fofonoff, P. & R. Millard 1981. Unesco 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater, Unesco Tech. Pap. in Mar. Sci.,44:1-53.
- [11] Sadiq, M. Toxic Metals in Marine Environments. Marcel Dekker Inc., New York: 1992, 389 p.
- [12] Gutiérrez- Galindo, F., M. Flores, V. Ortega & J. Villaescusa. "Metales Pesados en Sedimentos de la Costa Fronteriza Baja California" (México)-California (EUA). Cienc. Mar., 20 (1): 105-124.1994
- [13] Martínez Gregorio, 2002. "Metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco", Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente 41 (1&2): 83-96 (2002); 4 Figs., 4Tabs.
- [14] Ramos. A. I. Legorburu, Millán E. "Impacto ambiental por metales pesados en sedimentos superficiales de los estuarios exteriores de Guipuzcoa". Lurralde 13, 1990 p: 157-164 ISSN 0211-5891.
- [15] Amat I. Pilar, Conde, A. Casals Blett, I., Vásquez, A .D. "Estudio de la contaminación por metales pesados en sedimentos y ostiones de la Bahía de Manzanillo, Cuba". Revista de la Sociedad Química de México, Vol. 46, Núm. 4. (2002). 357-361.

# Development of a Meat Tenderizer Based on Papaya Peel

---

## Mir N. Islam

Escuela de Hospitalidad, Universidad Interamericana de Panamá, Panamá, República de Panamá  
mislam@laureate.edu.pa

## Eunice M. Molinar-Toribio

Institute of Advanced Chemistry of Catalonia (IQAC-CSIC), Jordi Girona 18-26, 08034, Barcelona, Spain  
eunice.molinar@iqac.csic.es

**Abstract-** Green papaya (*Carica papaya L.*) peels, obtained as a waste product in the processing of papaya pickles, were dried and their proteolytic activity was compared with that of the enzyme in the papaya latex. The proteolytic activity of the enzyme in papaya peel was about 10 times lower than that in the latex. Taking into account the activity of the enzyme, spice batches were mixed with 30% and 45% papaya peels, in order to formulate meat tenderizers. According to the sensory evaluation of the cooked samples, the meat marinated with 30% of green papaya peel, for 2 h at room temperature had the highest level of acceptance for its soft texture and good flavor. In conclusion, green papaya peel, dried, ground, and mixed with various spices showed a great potential for use as a low-cost meat tenderizer. Furthermore, the process described here allows the conversion of papaya peels with a negative value to an essential value added ingredient.

**Keywords** - Green papaya peel, meat tenderizer, papain, sensory evaluation.

**Resumen**-La cáscara de papaya (*Carica papaya L.*) verde, obtenida como desecho en el procesamiento de los encurtidos, fue deshidratada y su actividad proteolítica fue comparada con la del látex de la fruta. La actividad proteolítica de la enzima en la cáscara de papaya fue casi 10 veces menor que la del látex. Tomando en cuenta la actividad de la enzima, se mezclaron diferentes especies con 30% y 45% de cáscara de papaya, para elaborar ablandadores de carne. Según la evaluación sensorial de las muestras cocinadas, la carne marinada por 2 horas a temperatura ambiente con un 30% de cáscara presentó la mejor aceptación por su suave textura y buen sabor. En conclusión, la cáscara de papaya verde deshidratada, molida y mezclada con diversas especies mostró un gran potencial de ser utilizada como un ablandador de carne de bajo costo. Por otro lado, el proceso aquí descrito permite la conversión de las cáscaras de papaya de valor negativo a un ingrediente esencial de valor agregado.

**Palabras claves** - Ablandador de carne, cáscara de papaya verde, evaluación sensorial, papaína

**Tipo de Artículo:** original**Fecha de Recepción:** 12 de junio 2013**Fecha de Aceptación:** 11 de octubre de 2013

## 1. Introduction

Papaya (*Carica papaya* L.) is a common fruit grown all over the tropical world and it is well known for its health promoting properties [11]. Papaya peels are excellent sources of the enzyme papain [7]. Papain is an active endolytic cysteine protease (EC 3.4.22.2). It has a broad range of specificity among proteolytic enzymes and is relatively heat stable [14]. It has wide ranging commercial applications in the leather, cosmetic, textiles, detergents, food and pharmaceutical industries [8, 14, 3, 18]. In the food industry, papain is used as an active ingredient in many commercial meat tenderizers, because it is more active than other proteases [9]. However, the papain used in the formulation of meat tenderizers is usually derived from the latex of green fruit rather than from peels. The enzyme is commercially extracted by tapping the mature unripe fruit of the papaya tree making a series of incisions on each fruit with a sharp stainless steel blade. The latex which flows out is then collected and dried. This crude latex is further processed to produce eventually a spray-dried powder or concentrated into a stabilized preparation to incorporate into various products [17]. The tapping of papaya fruit and the subsequent steps for purification of the latex are labor intensive and require technically qualified personnel. As a result, the purified papain is far more expensive than the original crude material. If the final application of the enzyme does not require a high degree of purity, then it would be economically advantageous to utilize the crude material for the same intended effect. Commercial meat tenderizers usually contain a large amount of ingredients such as salt, dextrose, garlic powder, monosodium glutamate, etc. as fillers and only a small amount of the active ingredient (papain) which on a weight basis is the most expensive component of the entire formulation. Meat tenderness is a very important factor in consumer perception of meat quality [6]. In a tropical country like Panama, there are more grass-fed cattle than those raised on grain-fed lots. For a variety of reasons, grass-fed beef is preferred [5]. However, the grass-fed beef tends to be tougher especially if it comes from the areas like the chuck, brisket, round and shank which are the most

exercised muscles. Meat tenderizers allow the meat to be cooked at lower temperature and for a shorter period of time, thus reducing the formation of heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons which have been implicated to promote cancer [4, 12].

Papain, obtained from the latex, is a very common ingredient in most commercial meat tenderizers. Papaya peels, representing only about 5% by weight of the green mature fruit, are not processed industrially for papain because of the lack of simultaneous commercial utilization of the remaining pulp. Recently a project was implemented to diversify the utilization of papaya by developing a series of products based on the green mature fruit. As part of this project, Islam & Molinar-Toribio [10] developed two pickle-type products based on the papaya pulp where the peels are a waste by-product and need to be disposed of with additional expense. The purpose of this particular study was to process the peels into a stable crude papain product and assess the feasibility of using it as a meat tenderizer.

## 2. Materials and Methods

### 2.1 Processing of Peel

Papaya used for this study was of the variety known as "Chola roja" which upon maturation weighs about 4-5 kg. The mature fruits (evidenced by appearance of slight yellowish color) were harvested manually in a farm located in San Carlos (Panama province) and brought to the laboratory in the city of Panama, Republic of Panama. The fruits (Figura 1) were peeled within 24 h of the harvest scraping about 2.5-3.0 mm off the surface. A papaya weighing 4.5 kg yielded about 250 g of peels. Peels were finely ground utilizing a meat grinder (National Panasonic MK-G20NR-W) and based on earlier experience [7], sodium metabisulfite ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) [16], at the rates of 0.0, 0.25, 0.5 and 0.75%, respectively were mixed to stabilize the papain therein. Samples of crude papain were dried at 50°C in a fruit drier (Farberware Turbo oven model 460) for 5 h and then finely powdered using a spice blender (Osterizer 4937). They were packed in double layered stand-up pouch, sealed and stored at -20°C until used. For comparison of papain activity, simultaneously about 100 g latex were collected in a plastic container at the papaya plantation and subsequently dried without any metabisulfite.

## 2.2 Assessment of Papain Activity

The proteolytic activity of crude papain samples were determined by measuring at 410 nm the amount of

p-nitroaniline hydrolyzed from the substrate, N-benzoil-D-L-Arginine-p-Nitroanilide (BAPNA) by the papain [19, 13].



Figure 1. Papaya variety “Chola roja” and papaya peel as a waste by-product.

## 2.3 Formulation of Meat Tenderizer and Cooking

Based on general observations and ingredient lists of several commercial meat tenderizers, the following

formulations were adopted to compare the efficacy of papaya peels.

Table 1. Formulation of meat tenderizer mixes.

Ingredients	Tenderizer A (g)	Tenderizer B (g)	Tenderizer C (g)
Powdered papaya peels	30.0	60.0	0.0
Indian Garam masala ( <i>Swad</i> )	30.0	30.0	30.0
Salt	35.0	35.0	35.0
Sodium glutamate ( <i>Ajinomoto</i> )	5.0	5.0	5.0
Total (g)	100.0	130.0	70.0

A total of 2 kg beef cubes for stew were purchased from the local supermarket. They were washed, drained, and three 500 g portions (A, B, C) were placed in glass bowls. To sample A, 10 g of the tenderizer A (table 1) was mixed in thoroughly. Similarly, to sample B, 13 g of the tenderizer B was mixed in.

Sample C or the control received 7 g of tenderizer C without any papaya peel.

That way every sample received equal amounts of spices, salt and monosodium glutamate which are typically added to commercial meat tenderizers to develop desirable flavor (table 1).

The meat samples were pricked by fork in equal manner, placed on aluminum foil and then left to marinate for 2 h at room temperature.

Samples were cooked in an oven for 1 h at a temperature of 150°C (figure 2).



Figure 2. Cooked beef samples containing different levels of papaya peel.

## 2.4 Sensory Evaluation

A six-member panel (trained to evaluate cooked meat) judged the flavor, color and general acceptance of the cooked samples using a 5-point hedonic scale where 1 = poor and 5 = best desirable attribute. This being a study on meat tenderization, special emphasis was placed on texture, where 1 represented the toughest and 5 represented the most tender (not necessarily most desirable) as perceived by the teeth and palate. Data were analyzed statistically (ANOVA) to find any significant difference among the samples.

## 3. Results and Discussion

### 3.1 Enzyme Activity in Dried Peel

As expected from a previous study [7], sodium metabisulfite ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) demonstrated a protective effect on papain activity during the drying of peels. Also,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  prevents the enzymatic browning of the papaya peels during dehydration.

Enzymatic browning starts with the initial enzymatic oxidation of phenols to quinones by the enzyme polyphenol oxidase in the presence of oxygen. Then these quinones are subjected to further reactions, enzymatically catalyzed or not, leading to the formation of pigments. The papain is a proteolytic enzyme that effectively inhibits enzymatic browning. This inhibitory effect is due to the hydrolysis of certain sites necessary for the activity of the enzyme polyphenol oxidase [15]. Table 2 presents the papain activities in the dried latex and the papaya peels containing various levels of sodium metabisulfite. Based on the cost benefit ratio, peels treated with 0.5 %  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  were selected for subsequent formulation as a meat tenderizer. Dried papaya latex presented about 10 times more papain activity than dried papaya peel. In a comparative study [2], the peel proteases were found to be more stable in  $\text{pH} \geq 8$  and at 80°C than the latex proteases.

Table 2. Proteolytic activity of dried papaya latex compared with that of the dried peels containing various levels of  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ .

Samples of papaya peels	Papain activity*
	(moles of p-nitroaniline hydrolyzed/mg)
Control	$3.77 \times 10^{-8}$
Control + 0.25% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	$6.07 \times 10^{-8}$
Control + 0.5% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	$8.64 \times 10^{-8}$
Control + 0.75% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	$8.83 \times 10^{-8}$
Papaya latex (dried)	$9.23 \times 10^{-7}$

\* Average of two samples

### 3.2 Sensory Evaluation

Data on the sensory evaluation of meat containing various levels of papaya peel as tenderizer are presented in table 3. Texture was the most important attribute to consider in this sensory evaluation. Papaya peels clearly had a tenderizing effect on the beef samples. Tenderizer B, which had twice as much peel as in tenderizer A,

provided the tenderest meat. However the level of tenderness was excessive leading to a relatively poor flavor score ( $1.8 \pm 0.8$ ). Based on the comments of the sensory panel, the meat was somewhat mushy and grainy like chopped liver. Also, it had a slightly bitter taste, perhaps due to the breakdown of some of the protein fibers to amino acids like L-tryptophan & L-tyrosine [1].

Table 3. Effect of papaya peel tenderizer on the sensory attributes of stew beef based on a hedonic scale.\*

Tenderizers	Texture	Flavor	Color	General acceptance
Tenderizer A	$4.0 \pm 0.6^{\text{b}\#}$	$4.5 \pm 0.5^{\text{c}\#}$	$4.7 \pm 0.5^{\text{a}\#}$	$4.7 \pm 0.5^{\text{c}\#}$
Tenderizer B	$4.8 \pm 0.4^{\text{c}}$	$1.8 \pm 0.8^{\text{a}}$	$4.8 \pm 0.4^{\text{a}}$	$3.7 \pm 0.5^{\text{b}}$
Control C	$1.5 \pm 0.5^{\text{a}}$	$2.8 \pm 0.8^{\text{b}}$	$4.7 \pm 0.5^{\text{a}}$	$1.5 \pm 0.5^{\text{a}}$

\*Mean  $\pm$  standard deviation of scores given by six panel members using a hedonic scale of 1 to 5 where for texture, 1 represented the toughest and 5 represented the tenderest (not necessarily the most desirable). For flavor, color, and general acceptance, 1 represented poor and 5 excellent. #Means followed by different letters in the same column are significantly different ( $p < 0.01$ ).

In regard to color, the presence or absence of tenderizer did not make any difference beyond the color contribution of Garam masala. Garam masala is an Indian spice mix and it typically contains cinnamon, cloves, cardamom, etc. Except for color, in all other organoleptic characteristics samples were significantly different ( $p > 0.01$ ). Looking at the general acceptance, tenderizer A had the best score. Thus, it is quite conceivable that a marketable meat tenderizer can be formulated based on the dried papaya peels which are a waste by-product

of processing green mature papaya for novel products like pickles [10]. The peels as a waste by-product need to be disposed of the premise and thus have a negative value. Whereas in the manufacture of commercial meat tenderizers, papain, extracted from papaya latex, is the most expensive ingredient. The process described here allows the conversion of the negatively-valued waste peels into a positively-valued essential ingredient leading to a low-cost meat tenderizer.

#### 4. Conclusion

The traditional method of extraction of latex from the green mature papaya requires a lot of manual labor. The subsequent handling and purification of the latex is a sophisticated process and requires technically qualified personnel. Thus the finished papain product becomes rather expensive. Whereas for final application as a meat tenderizer, the purity of the papain is not that important as it is diluted by other ingredients for flavor and for better distribution on the meat surface. In dry inexpensive papaya peels, the concentration of the papain is about 10 times lower than in latex. However, based on the sensory evaluation, the peels still provide sufficient proteolytic activity for tenderizing meat. As a matter of fact, at higher concentration (tenderizer B), the peels had the ability to over-tenderize the meat. Thus, in conclusion, dried papaya peel is a viable low-cost but effective ingredient in the formulation of commercial meat tenderizers. Coupled with the production of papaya pickles, the peels as a waste by-product could

make a significant contribution toward the overall return from the investment in a papaya processing factory. The findings of this study further justify the diversification in the utilization of papaya which can lead to more job creations and greater economic welfare for the country.

#### 5. Acknowledgements

This study was supported by a grant from the Inter-American Institute for Co-operation in Agriculture (IICA) through the Ministry of Agricultural Development (MIDA) of Panama. We thank Dr. Enrique Murillo of the Institute of Food and Nutrition (IANUT) of the University of Panama and Mr. Gilberto Alemán of the San Carlos Papaya plantation for their logistical help during the execution of this project entitled "Diversification in the Utilization of Papaya in Panama". We are also thankful to Dayana Menchaca, José Luis Chávez, Rita Samaniego, María Madrid, Ana Santana and Itzela Taylor for their role as the judges of the sensory panel.

#### References

- [1] H.-D. Belitz, W. Grosch & P. Schieberle. *Food Chemistry*, 4th ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 2009, p34.
- [2] P. Chaiwut, S. Nitsawang, L. Shank and P. Kanasawud. *A Comparative Study on Properties and Proteolytic Components of Papaya Peel and Latex Proteases*. Chiang Mai J. Sci. vol. 34, no.1, pp 109- 118, 2007.
- [3] Q. H. Chen, G. Q. He, Y. C. Jiao & H. Ni. *Effects of elastase from a *Bacillus* strain on the tenderization of beef meat*. Food Chemistry, vol. 98, no.4 pp 624-629, 2006.
- [4] A.J. Cross& R. Sinha. Meat-related mutagens/carcinogens in the etiology of colorectal cancer. Environmental and Molecular Mutagenesis, vol.44, no.1, pp 44–55, 2004.
- [5] K. Cross. Grass-Fed Beef versus Grain-Fed Beef. Retrieved April 2011, from Cooking Light: <http://www.cookinglight.com/cooking-101/resources/grass-fed-beef-grain-fed-beef-00412000070712/>.
- [6] D. Cunningham, *Cooking Science and Technology*. Academic Press, UDA: New York. pp 354-359, 1998.
- [7] N.F. Espin, & M.N. Islam. Stabilization of papain from papaya peels. *Food Science and Technology International*, vol. 4, pp 179-187, 1998.
- [8] A. Ezekiel & F. Mamboya. Papain, a plant enzyme of biological importance: a review. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, vol. 8, no.2, pp 99-104, 2012.
- [9] M. Ha, A. Bekhit, A. Carne, & D.L. & Hopkins . Characterization of commercial papain, bromelain, actininidin and zingibain protease preparations and their activities toward meat proteins. *Food Chemistry*, vol. 134, pp 95–105, 2012.
- [10] M.N. Islam, & E. Molinar-Toribio. Desarrollo de Productos Novedosos de Papaya Panameña: Encurtidos en forma de Deditos y Rayados. *Tecnociencia*, vol.15, no. 1, pp 43-56, 2013
- [11] M.N. Islam, Papaya- La manzana del trópico. *Ingeniería de Alimentos*, vol. 4, pp 20-21,2005.
- [12] M. Jägerstad & K. Skog. Genotoxicity of heat-processed foods. *Mutation Research*, vol. 574(1-2), pp 156–172.,2005
- [13] M.L. Kakade, J.J. Rackis, J.E. McGhee, J.E. & G. Puski. Determination of trypsin inhibitor activity of soy products: a collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chemistry*, vol. 51, pp 376- 382.1974.
- [14] S.S. Khaparde & R.S. Singhal. Chemically modified papain for applications in detergents formulations. *Bioresource Technology* Vol. 78, no. 1, pp 1-4, 2001.
- [15] T.P. Labuza, J.H. Lillemo, & P.S. Taoukis. Inhibition of polyphenol oxidase by proteolytic enzymes. *Fruit Processing*, vol. 2, pp 9-13. 1992.
- [16] P. Muneta. Bisulfite inhibition of enzymatic blackening caused by tyrosine oxidation. *American Potato Journal*, vol. 43, no.11, pp 397-402, 1966.
- [17] R. Piggott. Commercial enzyme production and genetic modification of source organisms. In: Whitehurst, R. J. and B. A. Law (Eds). *Enzymes in Food technology*. Sheffield Academic Press, UK, 2002, pp 230-231.
- [18] I.F. Starley, P. Mohammed, G. Schneiderb, & W.S. Bickler. The treatment of pediatric burns using tropical papaya. *Burns*, vol.25, no.7,pp 636-639. 1999.
- [19] B.J. Struthers, & J.R. MacDonald. Comparative inhibition of Trypsins from several species by Soybean Trypsin Inhibitors. *Journal of Nutrition*, vol. 113, pp 800-804, 1983.

# Sistema de Control con Lógica Difusa y Diseño de Plataforma Autónoma con Ruedas Mecanum a Partir de su Arquitectura

---

**Víctor Costella Batista**

Universidad Tecnológica de Panamá  
vcostella@yahoo.com

**Humberto Rodríguez**

Universidad Tecnológica de Panamá  
humberto.rodriguez@utp.ac.pa

**Resumen-** Este artículo presenta la implementación de una plataforma robótica móvil autónoma con ruedas mecanum para estudios en ambientes de carga. Se exploran los posibles movimientos y se eligen los que van a ser estandarizados dentro del sistema. Se propone una arquitectura híbrida novedosa para la interacción de los módulos de hardware y software del sistema. Se utilizan ecuaciones cinemáticas y de lógica difusa a bajo nivel para controlar la velocidad de los motores de las ruedas. Se hacen comparaciones de desempeño del sistema al variar el número de funciones de pertenencia en el programa de control del vehículo. Se analizan los desplazamientos laterales y rotacionales con respecto al centro de la plataforma. Los resultados muestran mejoras en el desempeño del sistema de control del robot y su consecuente fortalecimiento de los procesos de localización de la plataforma robótica.

**Palabras claves-** Arquitectura Híbrida, Lógica Difusa, Navegación Robótica, Ruedas Mecanum, Sistema de Control.

**Abstract-** This work presents the implementation of an autonomous robot platform with mecanum wheels for studies in cargo environments. The movements of the system are explored, and some are selected as standards. The proposal includes new hybrid architecture for the interaction of the hardware and software modules of the system. Kinematic equations and low level fuzzy logic are used to control the motor velocities of the wheels. This work also includes a comparison of the performance of the system when varying the number of the membership functions in the control program of the vehicle. Lateral and rotational displacements of the system with respect to the center of the system are analyzed. The results show improvements in the control system of the vehicle and the resultant strengthening of the localization processes of the robotic platform.

**Keyword-** Hybrid Architecture, Fuzzy Logic, Robotics Navigation, Mecanum Wheels, Power Control.

*Tipo de Artículo: original**Fecha de Recepción: 21 de julio 2013**Fecha de Aceptación: 11 de octubre de 2013*

## 1. Introducción

La omnidireccionalidad consiste en la capacidad de un vehículo para trasladarse hacia cualquier dirección y con cualquier configuración [1]. Una plataforma equipada con ruedas mecanum permite movimientos omnidireccionales. Con éstas se logra mayor maniobrabilidad en ambientes congestionados, donde existen obstáculos que impiden la movilidad hacia la meta deseada. En [2] se presenta un estudio reciente sobre las aplicaciones prácticas de vehículos con ruedas mecanum que abarca ambientes de carga o almacenaje (estos espacios son cada vez más reducidos). El uso y estudio de vehículos autónomos con ruedas mecanum en estos y otros tipos de ambientes se está haciendo popular debido a que las maniobras requeridas pueden hacerse engorrosas o simplemente riesgosas para la carga [3]. Las ruedas mecanum proveen el movimiento omnidireccional debido a una serie de rodillos montados en la rueda a  $45^\circ$  y que hacen contacto con el piso. La dinámica de una rueda mecanum hace que se creen fuerzas en los ejes horizontal y vertical, y el conjunto de las fuerzas en las cuatro ruedas hace que una plataforma robótica pueda tener movimientos omnidireccionales y rotacionales sobre su eje central. Su ventaja principal radica en que no se requiere un sistema de dirección [4]. Sin embargo, el control de los movimientos se hace difícil, pues existen factores atenuantes de las velocidades, como el deslizamiento debido al tipo de superficie, el contacto reducido entre el piso y las ruedas, y el efecto de la distribución de la masa de la plataforma robótica [5]. Diversas estrategias han sido abordadas para lograr un control apropiado de robots con ruedas mecanum. En [6,7,8] se ofrecen algunos ejemplos. En todos ellos se hace uso del control cinemático por sobre el dinámico, lo cual consiste en controlar la velocidad de los motores para lograr el movimiento deseado. La estrategia utilizada en este trabajo es la de controlar el robot con ruedas mecanum utilizando su cinemática y no su dinámica. El sistema de control de los motores está basado en el uso de lógica difusa, que ha sido utilizada con éxito en muchas aplicaciones con robots a distintos niveles de software. Algunos ejemplos se ofrecen en [9, 10, 11]. El controlador de motor por

lógica difusa fue propuesto inicialmente por Mamdani y Assilian en 1974 [12]. Este tipo de control es utilizado en problemas de tipo intuitivo con conocimiento experto y tiene la desventaja de que requiere un alto esfuerzo computacional. El método propuesto por Tagaki-Sugeno [13] es computacionalmente más efectivo y es más atractivo en sistemas dinámicos no lineales. En este trabajo se utilizará el método propuesto por Tagaki-Sugeno.

## 2. Modelo Cinemático

Variando las direcciones y velocidades de las ruedas la plataforma robótica se pueden realizar movimientos omnidireccionales. A pesar de que se logran movimientos al utilizar una, dos, tres y cuatro ruedas, en el trabajo efectuado se consideraron sólo los movimientos que se obtenían al utilizar dos o cuatro ruedas. Estos movimientos fueron estandarizados pues con ellos se pueden lograr las exigencias de desarrollo posteriores como lo son seguir una ruta planificada y evadir los obstáculos en el área de trabajo. Con los cambios en los motores descritos, se logra efectuar los desplazamientos de la figura 1 [14-16].



Figura 1. Movimientos estandarizados en la plataforma robótica. Se asume que las velocidades de cada uno de los motores son de la misma magnitud [2,4,16].

La distribución de las fuerzas que interfieren debido al empuje de los motores y a la ubicación de los rodillos a  $45^\circ$  hace que la plataforma robótica se desplace en una u otra dirección, o simplemente gire sobre su eje central. Las ecuaciones que definen las velocidades del centro de rotación son las siguientes:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ -T & T & -T & T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_w \dot{\theta}_1 \\ R_w \dot{\theta}_2 \\ R_w \dot{\theta}_3 \\ R_w \dot{\theta}_4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{L_x + L_y} \quad (2)$$

Donde  $\dot{x}$  y  $\dot{y}$  son los componentes de la velocidad del centro de la plataforma robótica con respecto al sistema de coordenadas global, y  $\dot{\theta}$  es la velocidad angular del centro de la plataforma robótica.  $R_w$  es el radio de la rueda y  $\dot{\theta}_i$  es la velocidad angular de cada rueda [17].  $L_x$  representa la mitad del ancho de la plataforma robótica a partir de su centro geométrico, y  $L_y$  representa la mitad del largo de la plataforma robótica a partir de su centro geométrico.

### 3. Arquitectura de Software

La base del diseño de un robot autónomo móvil es su arquitectura de software. Sin arquitecturas apropiadas, no es posible crear robots autónomos eficientes. La arquitectura describe las tareas de los bloques funcionales, su organización y su interacción para formar un sistema integrado. Ella está organizada de acuerdo a como se interrelacionan los distintos componentes entre sí. Debido a esto, existen tres tipos de arquitecturas básicas: deliberativas (en las que existe un paso de planificación entre el sensado y la acción), reactivas (en las que simplemente existen acciones luego del sensado), e híbridas (que son una combinación de las arquitecturas deliberativas y reactivas) [18]. Hoy por hoy, las arquitecturas híbridas han demostrado ser las más adecuadas cuando se trata de robots móviles navegando en ambientes de trabajo no estructurados. Diversos autores han propuesto diseños de arquitecturas en ambientes de carga [19-21]. En [22] se ofrece una revisión de las arquitecturas de control para la navegación de robots autónomos.

La arquitectura híbrida propuesta en este trabajo se muestra en la figura 2. En la parte superior de la figura se muestran los cinco módulos principales que componen el sistema. Estos módulos corresponden a la programación de alto nivel. A través de ellos se ejecutan los principales algoritmos del sistema. En este trabajo se designaron los siguientes módulos tomando como

referencia algunas arquitecturas híbridas ya existentes para ambientes de carga:

1. Sensorial: adquiere y almacena la data proveniente de los sensores del robot
2. SLAM (Localización): define la posición del robot en el ambiente de trabajo de forma confiable.
3. SLAM (Mapeo): crea, almacena, y actualiza la información de los mapas locales y globales (a ser implementado a futuro).
4. Planificación: genera la ruta más eficiente para llegar a la meta.
5. Acción: coordina las actividades de movimiento tomando en cuenta acciones reactivas, evade obstáculos, ejecuta la trayectoria planificada, monitorea el rendimiento del robot y, finalmente, genera el movimiento del robot [23-25].

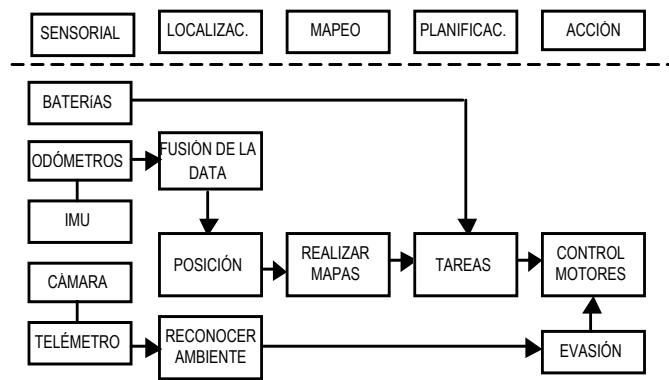


Figura 2. Diagrama de la Arquitectura de software seleccionada para la plataforma robótica.

### 4. Control de Velocidad de Motores con Lógica Difusa

En la teoría de control clásico, el control de motores se realiza por medio de un controlador proporcional integral derivativo (PID). Sin embargo, si no es modelado apropiadamente, con este controlador el sistema (robot móvil en nuestro caso) puede tener una respuesta inaceptablemente larga ante cambios en la trayectoria deseada. Esto último ocurre cuando el modelo del sistema es difícil de obtener, es parcialmente desconocido, se encuentra ajustado inapropiadamente o es altamente no lineal. Malhotra, Kaur y Singh [26] hacen una comparación de la respuesta de un motor DC utilizando un controlador proporcional integral derivativo versus la respuesta utilizando un controlador

por lógica difusa, mostrando la respuesta superior cuando se usa lógica difusa.

Los controles de lógica difusa han sido utilizados efectivamente en el control de procesos industriales, sistemas mecánicos, sistemas médicos, robots autónomos, y otros. Estos controles son muy útiles cuando los procesos son demasiado complejos para el análisis, o cuando los recursos de información son imprecisos o presentan niveles de incertidumbre. En [27-29] se hace referencias a algunas de las aplicaciones de sistemas por medio de lógica difusa. En el campo de la robótica, el control por lógica difusa es muy popular. Ha sido utilizado en robot móviles con ruedas mecanum para lograr la corrección en la dirección y la búsqueda de la meta, o logro de objetivos. Algunos ejemplos se dan en las referencias [30-32]. Su ventaja es su fácil implementación a través de un conjunto de reglas programables, con las cuales se controla la velocidad de los motores. Su desventaja es la cantidad de sentencias condicionales IF – THEN – ELSE que surgen en la programación y que roban tiempo de ejecución al programa. En la plataforma robótica con ruedas mecanum, la salida del controlador de lógica difusa consiste en una señal que va al controlador de servos y es convertida en pulsos modulados para los manejadores (drivers) de los motores. El controlador por lógica difusa utiliza el error en la velocidad  $\epsilon$  y la tasa de cambio en el error de la velocidad del motor  $\dot{\epsilon}$  para mejorar en la función de salida al controlador.

## 5. Controlador de Velocidad con Lógica Difusa Basado en Una Arquitectura Híbrida

En este trabajo se plantea una integración de los conceptos de control por lógica difusa propuestos por Tagaki y Sugeno y los conceptos de arquitectura híbrida. El controlador de motores propuesto utiliza lógica difusa y el método de Tagaki y Sugeno (ver figura 3). El error en la velocidad  $\epsilon$  y el cambio en el error de velocidad  $\dot{\epsilon}$  son utilizados como entradas al control difuso, para que, por medio de una serie de reglas establecidas, se varíe la amplitud de los pulsos a los manejadores de los motores DC y así la velocidad de los motores se acerque a la velocidad programada. Los codificadores ofrecen la retroalimentación, y el lazo de control se cierra.

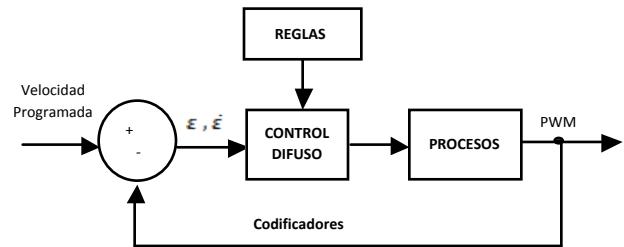


Figura 3. Diagrama del control Difuso utilizado.

La combinación de conceptos hace que el sistema de software sea más coherente y que la programación sea más unificada. En la figura 4 se muestra como se parte del concepto modular de arquitectura híbrida hasta llegar al bajo nivel de lógica difusa y en la figura 5 se muestra plataforma física en donde se implementó, respectivamente. El módulo de planificación determina la ruta dependiendo de la meta deseada y lo que el módulo de localización le presenta hasta que se envían los comandos para que el módulo de acción los ejecute; este módulo se encuentra en el nivel más bajo. El sistema de control de velocidades por lógica difusa, ubicado en el módulo de acción, es retroalimentado por las lecturas de velocidad angular de los codificadores (ODO); pero también los cambios de velocidad dependen de las correcciones en la ruta, que son determinadas por el módulo de planificación a un nivel más alto.

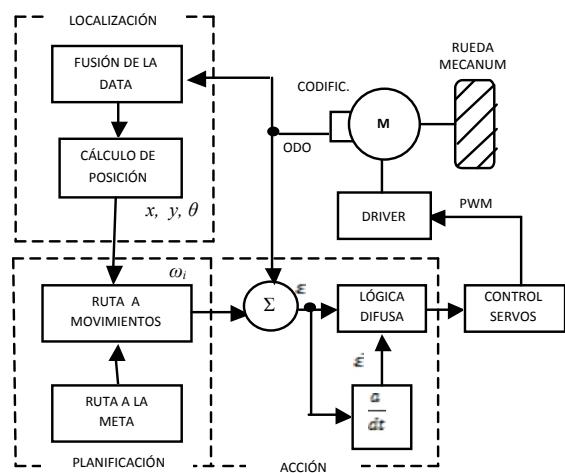


Figura 4. Interacción del control de velocidades del motor por medio de lógica difusa con otros módulos en un sistema con arquitectura híbrida.



Figura 5. Robot Móvil de con ruedas mecanum desarrollado para la implementación de la arquitectura híbrida.

De acuerdo con [8,26], se siguieron cuatro pasos básicos para el diseño del controlador por lógica difusa a partir del de la arquitectura híbrida que se quiere implementar:

1. Definir las variables lingüísticas para entrada y salida.
2. Definir el conjunto de pertenencias de entradas y salidas.
3. Crear las reglas de lógica difusa.
4. Defusificar.

El diseño de un controlador más efectivo estuvo sujeto al número de funciones de pertenencia utilizadas. En el procedimiento se detallan dos modelos: uno con tres y otro con cinco funciones de pertenencia.

**Paso 1.** Las entradas son los errores ( $\epsilon$ ) en base a las velocidades esperadas. Las salidas difusas modifican las consignas del controlador de servo, que a su vez las transforma en pulsos PWM que serán enviados a los drivers de los motores.

**Paso 2.** Se definen los conjuntos difusos los cuales contienen las funciones de pertenencia. Las variables lingüísticas de entrada son el error  $\epsilon$  y el cambio en el error, tomando en cuenta que los datos de retroalimentación serán suministrados por los codificadores de cuadratura en unidades de pulsos/s. El error se define de la siguiente forma:

Las figuras 6 y 7 muestran las funciones de pertenencia para el error en las velocidades y para la tasa de cambio del error en las velocidades respectivamente.

Función de Pertenencia	Error $\epsilon$ (pulsos/s)
3 funciones de pertenencia	
NE (negativo)	< 0
CE (cero)	0
PO (positivo)	> 0
5 funciones de pertenencia	
NG (negativo grande)	<-200
NP (negativo pequeño)	-200 $\leq \epsilon < 0$
CE (cero)	0
PP (positivo pequeña)	0 $< \epsilon \leq 200$
PG (positivo grande)	> 200

Figura 6. Funciones de pertenencia para el error en las velocidades.

Función de Pertenencia	Cambio en el error $\dot{\epsilon}$ (pulsos/s)
3 funciones de pertenencia	
NE (negativo)	< 0
CE (cero)	0
PO (positivo)	> 0
5 funciones de pertenencia	
NG (negativo grande)	< -100
NP (negativo pequeño)	-100 $\leq \dot{\epsilon} < 0$
CE (cero)	0
PP (positivo pequeña)	0 $< \dot{\epsilon} \leq 100$
PG (positivo grande)	> 100

Figura 7. Funciones de pertenencia para el cambio en error en las velocidades.

Luego de esto, se especificaron las funciones de pertenencia para la salida (controlador de servos), que se muestran en la figura 8.

Función de Pertenencia
3 funciones de pertenencia
AU (aumentar)
NC (no cambie)
DI (disminuya)
5 funciones de pertenencia
AR (aumentar rápidamente)
AL (aumentar lentamente)
NC (no cambie)
DL (disminuir lentamente)
ER (disminuir rápidamente)

Figura 8. Funciones de pertenencia para la salida.

**Paso 3.** Se definen las reglas de lógica difusa para todas las posibles combinaciones de entrada y salida. En la figura 9 se puede apreciar cómo se define, de forma matricial, el conjunto de reglas de lógica difusa para 3 funciones de pertenencia.

$\frac{\epsilon}{\dot{\epsilon}}$	NE	CE	PO
NE	AU	DI	DI
CE	AU	NC	DI
PO	AU	AU	DI

Figura 9. Conjunto de Reglas de lógica difusa con 3 funciones de pertenencia.

En la figura 10 se define, de forma matricial, el conjunto de reglas de lógica difusa para 5 funciones de pertenencia.

$\frac{\epsilon}{\dot{\epsilon}}$	NG	NP	CE	PP	PG
NG	AR	AR	AL	AL	NC
NP	AR	AL	AL	NC	DL
CE	AL	AL	NC	DL	DL
PP	AL	NC	DL	DL	DR
PG	NC	DL	DL	DR	DR

Figura 10. Conjunto de Reglas de lógica difusa para 5 funciones de pertenencia.

#### Paso 4. Defusificación

En este trabajo se utiliza el método del promedio ponderado debido a que es muy rápido computacionalmente, y los resultados obtenidos son bastante exactos. En este método la salida es obtenida por medio del promedio ponderado de cada salida del conjunto de reglas definidas en el paso 3. La fórmula general es la siguiente:

$$z^* = \frac{\sum_{i=1}^n m^i w_i}{\sum_{i=1}^n m^i} \quad (6)$$

Donde  $z^*$  es la salida defusificada,  $m^i$  es la pertenencia de la salida de cada regla, y  $w_i$  es el peso asociado con cada regla.

#### 6. Resultados y su Discusión

La plataforma robótica funciona con cinco velocidades que se logran por el envío de posiciones al controlador de servos.

En el movimiento hacia adelante y con la velocidad muy lenta, cada motor debe girar aproximadamente a 33.6 rpm. Con esto es necesario obtener velocidades angulares de 2800 pulsos por segundo en el codificador de cuadratura. El radio de las ruedas es de 0.0762 metros y los codificadores tienen una resolución de 5000 pulsos/rev. Utilizando (2) obtenemos un valor T de  $2.7240 \text{ m}^{-1}$ .

Con esta información, se utiliza (1) para obtener una velocidad de avance de 0.268 m/s. El sistema fue simulado en Matlab, obteniendo las gráficas de superficie que se muestran en las figura 11 y 12 con los ciclos de control utilizando tres y cinco funciones de pertenencia.

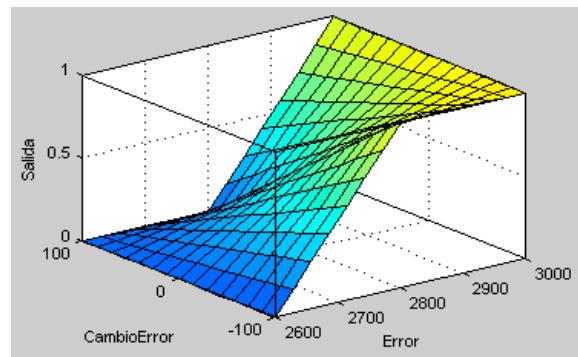


Figura 11. Gráfica de superficie con tres funciones de pertenencia.

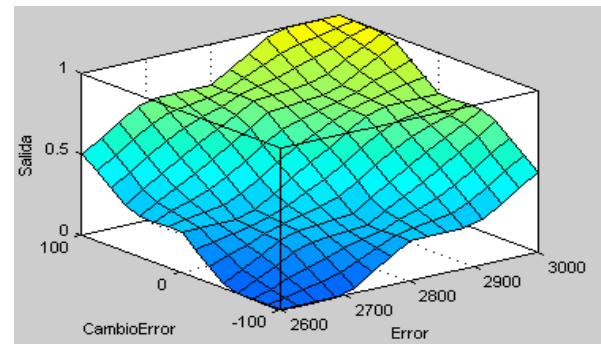


Figura 12. Gráfica de superficie con cinco funciones de pertenencia.

Se realizaron pruebas de 10 segundos con el movimiento hacia adelante, a velocidad muy lenta (33.6 rpm para cada motor del robot). Las lecturas de los codificadores fueron tomadas cada 0.24 segundos

aproximadamente. El objetivo de estas pruebas consistía en determinar si el control de motores por medio de lógica difusa a partir de una arquitectura híbrida producía desviaciones significativas en el rumbo del robot. También con las pruebas se busca determinar si es pertinente utilizar cinco funciones de pertenencia (cuyo coste computacional es más alto) o tres funciones de pertenencia.

Como se puede apreciar en las figuras 13 y 14, cuando se utilizan 3 funciones de pertenencia, la respuesta del controlador de servos es inestable, provocando cambios en el proceso de localización que se detallan posteriormente.

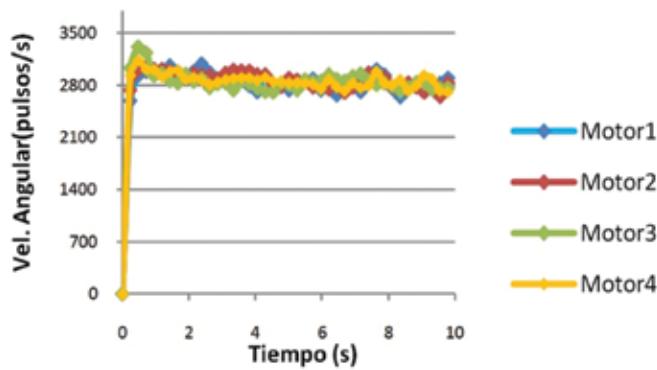


Figura 13. Velocidad de los motores (pulsos/s) cuando se utilizan 3 funciones de pertenencia.

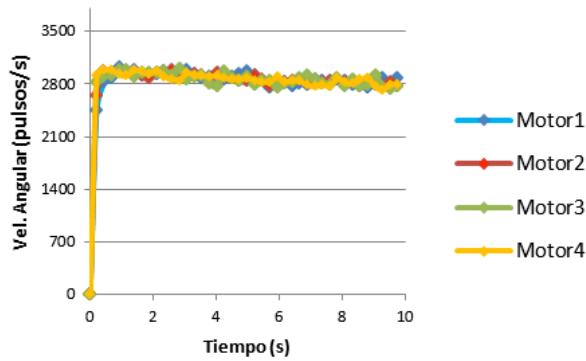


Figura 14. Velocidad de los motores (pulsos/s) cuando se utilizan 5 funciones de pertenencia.

Como muestra, por medio de (1) y (2) se calculó la localización del robot con odometría, utilizando el movimiento hacia adelante. En este movimiento, el avance debe ser lo más recto posible, sin desviaciones

laterales ni giros notables con respecto al centro. La figura 15 muestra el desplazamiento lateral (en cm), utilizando tres funciones de pertenencia. Como se puede notar, la variación al cabo de 10 segundos es menor a 1 cm, con oscilaciones regulares.

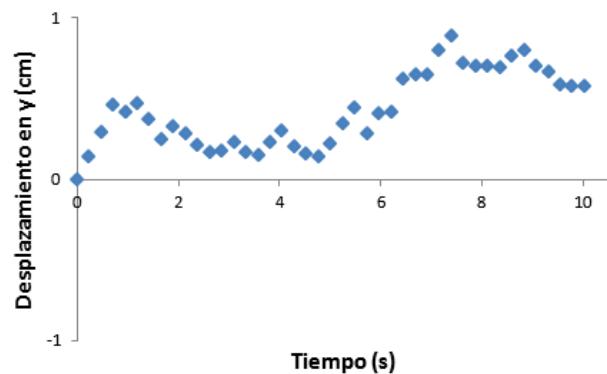


Figura 15. Desplazamiento lateral cuando se utilizan 3 funciones de pertenencia.

Comparativamente, en la figura 16 se muestra el desplazamiento lateral (en cm), utilizando cinco funciones de pertenencia. Se puede apreciar que las variaciones son muy ligeras, menores a los 0.3 cm.

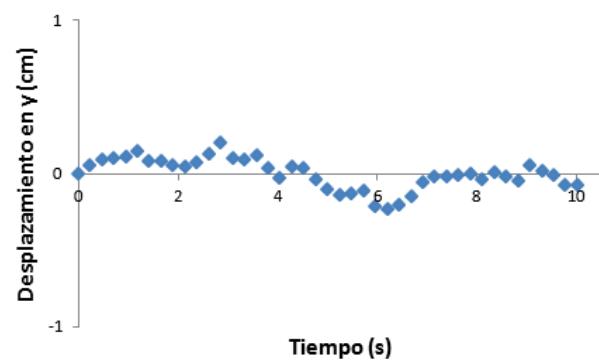


Figura 16. Desplazamiento lateral cuando se utilizan 5 funciones de transferencia.

Las gráficas 17 y 18 muestran la variación del rumbo (en grados) cuando se utilizan 3 y 5 funciones de pertenencia. En el primer caso, se producen desviaciones en el rumbo de hasta dos grados. En el segundo caso la variación en del rumbo es mucho menor, llegando a un máximo de unos 0.5 grados. Esta diferencia significativa

en las desviaciones del rumbo es la que nos lleva a elegir, pese a su coste computacional, al controlador con 5 funciones de pertenencia (25 sentencias condicionales IF-THEN-ELSE) por sobre el controlador con 3 funciones de pertenencia (9 sentencias condicionales IF-THEN-ELSE).

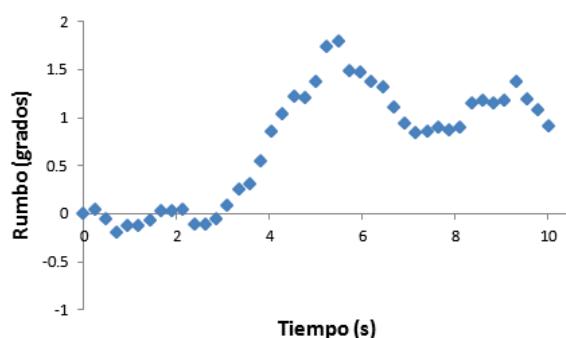


Figura 17. Rumbo (en grados) con 3 funciones de pertenencia.

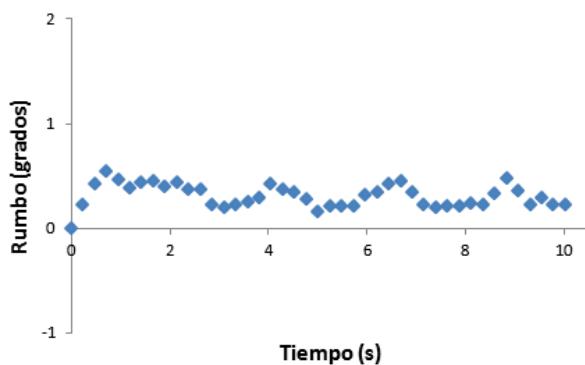


Figura 18. Rumbo (en grados) con 5 funciones de pertenencia.

## 7. Conclusiones

Este escrito presenta el diseño de un controlador por medio de lógica difusa utilizando el método de Tagaki-Sugeno. Este diseño parte del concepto de arquitectura híbrida, donde la plataforma robótica utilizada deberá ejecutar acciones reactivas/deliberativas con rapidez, determinando con la mayor precisión y exactitud posible su localización en el entorno. El controlador Tagaki-Sugeno es una buena alternativa comparado con el PID tradicional. El sistema de control por lógica difusa con cinco funciones de pertenencia es más robusto que el sistema de control con tres funciones de pertenencia, pero con la particularidad de que la carga computacional se incrementa en un 64% (9 versus 25 sentencias

condicionales IF-THEN-ELSE). Corregir el rumbo del robot no sólo depende de la acción de control de los motores, puesto que los experimentos realizados no incluyen una caracterización de los errores sistemáticos y del ruido que repercuten en el cálculo del rumbo del sistema.

## 8. Trabajo Futuro

El diseño del controlador de la plataforma robótica a partir del concepto de arquitectura híbrida contribuye a mejoras en el rumbo y posterior proceso de localización del robot. Esto se debe a que asumiendo un modelo de velocidades constantes, que en teoría, se aplica a la mayoría del recorrido, se puede lograr aplicar la técnica de Localización y Mapeo Simultáneo (SLAM) utilizando otros sensores. En una etapa de software de alto nivel, con la aplicación de lógica difusa en la programación del módulo de navegación se pueden corregir las desviaciones en la ruta producidas por errores sistemáticos o por las respuestas del controlador de servos y los motores. Estos ajustes deben ayudar a robustecer la técnica de SLAM.

## Referencias

- [1] Ioan Doroftei et al., "Omnidirectional Mobile Robot – Design and Implementation", Bioinspiration and Robotics: Walking and Climbing Robots, pp. 513, ISBN 978-3-902613-15-8, 2007.
- [2] Florentina Adascalitei and Ioan Doroftei, "Practical Applications for Mobile Robots based on Mecanum Wheels – a Systematic Survey", Proceedings of International Conference On Innovations, Recent Trends and Challenges in Mechatronics, Mechanical Engineering and New High Tech Products Development, MECAHITECH, Vol 3. 2011.
- [3] Haoyong Yu, Steven Dubowsky and Adam Skwarsky, "Omni Directional Mobility Using Active Split Offset of Castors", MIT, 2001.
- [4] Jefri Efendi et al., "Designing Omni-Directional Mobile Robot with Mecanum Wheel", American Journal of Applied Sciences 3 (5): 1831-1835, 2006.
- [5] Keiji Nagatani, Satoshi Tachibana, Makoto Sofue and Yutaka Tanaka, "Improvement of Odometry for Omnidirectional Vehicle Using Optical Flow Information", Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2000.
- [6] Kyung-Lyong Han, Oh Kyu Choi, In Lee, Inwook Hwang, Jin S. Lee and Seungmoon Choi, "Design and Control of Omni-Directional Mobile Robot for Mobile Haptic Interface", International Conference on Control, Automation and Systems, 2008.
- [7] Mark Killpack, Travis Dayle, Cressel Anderson and Charles Kemp, "Visual Odometry and Control for an Omnidirectional Mobile Robot with a Downward-Facing Camera", Georgia Institute of Technology, 2010.
- [8] Samuel A. Miller, Arthur T. Bradley and Linda L. Bahala, "Network Interfaces and Fuzzy-Logic Control for a Mecanum-Wheeled Omni-Directional Robot", NASA Langley Research Center, 2005.
- [9] Oscar Castillo et al., "Fuzzy Logic Tracking Control for Unicycle Mobile Robots", Engineering Letters, 13:2, 2006.
- [10] Tang Sai Hong, Danial Nakhaeinia and Babak Karasfi, "Application of Fuzzy Logic in Mobile Robot Navigation", Elmer Dadios (Ed), Intech, 2012.
- [11] Viorel Stoian and Mircea Ivanescu, "Robot Control by Fuzzy Logic", Frontiers in Robotics, Automation and Control, Alexander Zemliak (Ed), Intech, 2008.

- [12] E. H. Mandani and S. Assilian, "An experiment in Linguistic Sysnthesis of Fuzzy Controllers", International Journal of Man-Machine Studies, 1975.
- [13] Tomohiro Tagaki and Michio Sugeno, "Fuzzy Idnetification of Systems and Its Applications to Modeling and Control, IEEE Transactions on Systems," Man and Cybernetics, Vol. SCM-15, 1985.
- [14] Nkgatho Tlale and Mark de Villiers, "Kinematics and Dynamics Modeling of a Mecanum Wheeled Mobile Platform", Council for Scientific and Industrial Research, 2006.
- [15] Olaf Diegel et al., "Improved Mecanum Wheels Design for Omni Directional Robots", Australian Conference on Robotics and Automation, Auckland, 2002.
- [16] Nkgatho Sylvester Tlale, "On distributed Mechatronics Controller for Omni-Directional Autonomous Guided Vehicles", OpenUP, 2007.
- [17] Jungmin Kim, Jungje Park and Sungshin Kim, "Inertial Navigation System for Omni-directional AGV with Mecanum Wheel", Advances in Mechanical Engineering, Volume 2, Number 1, 2012.
- [18] Valdir Grassi Junior, Sarangi P. Parikh and Jun Okamoto Junior, "Hybrid Deliberative/Reactive Architecture for Human-Robot Interaction", ABCM Symposium Series in Mechatronics, Vol. 2, pp. 563-570, 2006.
- [19] Tua Tamba et al, "Time-Varying Feedback Control of an Unmanned Autonomous Industrial Forklift", Proceedings of the 17th World Congress, The International Federation of Automatic Control, Seoul, Korea, July, 2008.
- [20] Ashley Tews, "Safe and Dependable Operation of a Large Industrial Autonomous Forklift", 2009.
- [21] Najdan Vuković and Zoran Miljković, "New Hybrid Control Architecture for Intelligent Mobile Robot Navigation in a Manufacturing Environment", FME Transactions, 2009.
- [22] D. Nakhaeinia, et al., "A Review of Control Arquitectures for Autonomous Navigation of Mobile Robots", International Journal of the Physics Sciences, Vol. 6(2), pp. 169-174, 2011.
- [23] Hugo Silva and Alberto Álvares, "Development of a Hybrid Arquitecture for the autonomous control of Mobile Robots, ABCM Symposium Series in Mechatronics", Vol. 4 , pp. 749-757, 2010.
- [24] John Leonard et al., "A Perception-Driven Autonomous Urban Vehicle", Journal of Field Robotics 25(10), pp. 727-774 , 2008.
- [25] Seth Teller Matthew et al., "A Voice-Commandable Robotic Forklift Working Alongside Humans in Minimally-Prepared Outdoor Environments", Air Force under Air Force Contract FA8721-05-C-0002, 2010.
- [26] Rahul Malhotra, Tejbeer Kaur y Gurpreet Singh Deol, "DC Motor Control Using Fuzzy Logic Controller", International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies, Vol. 8, Issue No, 2, 291-296.
- [27] Dorota Jankowska, Anna Justina Milewska and Urszula Gorska, "Applications of Logic in Medicine, Studies in Logic", Grammar, and Rethoric, 2010.
- [28] N.O. Rubens, "The application of Fuzzy Logic To the Construction of The Ranking Function Of The Information Retrieval Systems", Computer Modeling and New Technologies, Vol 10, pp. 20-27, 2006.
- [29] Abdel Ghano Aissaoui and Ahmed Tahour, "Applications of Fuzzy Logic Control of Electrical Machines", Fuzzy Logic-Controls, Concepts, Theories and Application", Elmer Dadios (Ed), Intech, 2012.
- [30] Rasif Rashid et al., "Differential Drive Wheeled Mobile Robot (WMR) Control Using Fuzzy Logic Techniques", Asia International Conference on Mathematical/Analytical Modelling and Computer Simulation, 2010.
- [31] Tzafestas S.G, and Zavlangas P, "Industrial and Mobile Collision-Free Motion Planning Using Fuzzy Logic Algorithms", Industrial Robotics: Theory, Modeling and Control, 2006.
- [32] S.K. Harisha, Ramkanth Kumar P, M, Krishna, and S.C. Sharma, "Fuzzy Logic Reasoning to Control Mobile Robot on Predefined Strip Path", World Academy of Science, Engineering and Technology, 2008.

# Efecto de las Microondas sobre la Lactoferrina en Fórmulas Infantiles

---

## **Indira Franco**

Facultad de Ciencias y Tecnología.  
Universidad Tecnológica de Panamá  
[indira.franco@utp.ac.pa](mailto:indira.franco@utp.ac.pa)

## **Eduardo Castillo**

Departamento de Tecnología de Alimentos.  
Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza  
[edu077@hotmail.com](mailto:edu077@hotmail.com)

## **María Dolores Pérez**

Departamento de Tecnología de Alimentos.  
Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza  
[dperez@unizar.es](mailto:dperez@unizar.es)

## **Miguel Calvo**

Departamento de Tecnología de Alimentos.  
Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza  
[calvoreb@unizar.es](mailto:calvoreb@unizar.es)

## **Lourdes Sánchez**

Departamento de Tecnología de Alimentos.  
Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza  
[lousanchez@unizar.es](mailto:lousanchez@unizar.es)

**Resumen-**La lactoferrina es una proteína presente en la leche, a la cual se le confieren importantes propiedades como lo son participar en el transporte de hierro, actividades inmunológicas y antimicrobianas. El creciente interés comercial por utilizar las propiedades benéficas de la lactoferrina en diferentes tipos de alimentos, entre ellos las leches infantiles, crea la necesidad de contar con pruebas analíticas para determinar la concentración de la misma. Es importante que estas pruebas sean acordes para detectar las cantidades que se encuentran en la leche, así como también los niveles de suplementación para alimentos, fórmulas infantiles y suplementos proteínicos.

*El objetivo de la presente investigación es determinar el contenido de lactoferrina utilizando el método inmunoquímico de ELISA, en diferentes leches infantiles comerciales; y en las mismas leches, tras someter las muestras a diferentes tratamientos con microondas y observar el efecto del tratamiento sobre la estabilidad de la lactoferrina. De los resultados obtenidos concluimos dos aspectos importantes. El primero de ellos, que los tratamientos para la obtención de leche en polvo afectan el contenido de lactoferrina en el producto final. Como segundo punto, que el calentamiento intenso en microondas de las leches para alimentación infantil suplementadas con lactoferrina*

bovina disminuye considerablemente el contenido de la proteína activa, sin embargo los calentamientos moderados no afectan el contenido de esta proteína en la leche.

**Palabras claves-** Calentamiento, fórmulas infantiles, ingredientes funcionales, lactoferrina, método de ELISA, microondas, proteína del lactosuero.

**Abstract-** Lactoferrin is a protein found in milk, which confers important properties as the follows: it is involved in iron transport, immunological and antimicrobial activities. The commercial interest in using the beneficial properties of lactoferrin in different types of foods, including infant formula, is increasing. It is therefore important to develop appropriate analytical detection methods for this protein. These tests should be able to detect the concentrations found in milk, as well as supplementation levels for food, infant formula and protein supplements.

The aim of this investigation is to determine the lactoferrin content using immunochemical method ELISA in different commercial infant milk formulae, before and after applying to the different samples treatments with microwaves; and observe the effect of treatment on lactoferrin stability. From these results we conclude two important aspects: the first one, the treatments to manufacture the powdered milk infant formula affects the content of lactoferrin in the final product. The second point, the intense heat in microwave for infant milks formulae supplemented with bovine lactoferrin significantly reduces the content of the active protein, however it is unaffected by moderate heating of the protein content in the milk.

**Keywords-** ELISA test, functional ingredients, heating, infant formulae, lactoferrin, microwave, whey proteins.

**Tipo de Artículo:** original

**Fecha de Recepción:** 30 de mayo 2013

**Fecha de Aceptación:** 11 de octubre de 2013

---

## 1. Introducción y Objetivos

La leche aporta muchos nutrientes al organismo, además de agua y minerales. Entre las proteínas destaca la caseína, y diversos componentes menores como las seroglobulinas y albúminas. Dentro de las seroglobulinas se encuentran algunas proteínas con propiedades importantes en el desarrollo del sistema inmune, para el crecimiento y antimicrobianas en el neonato, como lo son la  $\alpha$ -lactalbumina,  $\beta$ -lactoglobulina y la lactoferrina [1].

La lactoferrina es una glicoproteína que se utiliza actualmente como componente funcional en los alimentos. Se le han atribuido diversas funciones, entre ellas la de regular el transporte de hierro en el organismo, poseer actividad antitumoral e inmunomoduladora y la de ejercer una actividad antimicrobiana frente a diversos microorganismos [2]. La leche humana es especialmente rica en lactoferrina. Su concentración en el calostro (leche durante los primeros días de lactación) es de unos 7 g/l, permanece en torno a 1 g/l durante toda la lactación, y aumenta de nuevo sus niveles al final de la lactación alcanzando valores entre 20-30 g/l [3]. La evolución de la concentración de la lactoferrina a lo largo de la lactación es similar en la leche bovina, pero en la leche definitiva los niveles son mucho más bajos, en torno a 0,1 g/l. Por eso, las leches para alimentación infantil elaboradas a base de leche de vaca, están prácticamente desprovistas de lactoferrina. Debido a esto la tendencia actual es añadir lactoferrina a las fórmulas infantiles.

Debido a la evidente dificultad de obtener lactoferrina a partir de leche humana a gran escala, se han desarrollado sistemas para la producción de lactoferrina humana recombinante en cultivos fúngicos [4], en vacas transgénicas [5] y en plantas como el tabaco [6], el maíz [7] y el arroz [8]. La producción de lactoferrina humana recombinante en arroz abre expectativas particularmente interesantes, ya que para algunas aplicaciones podría no ser necesario extraer la proteína de forma pura, utilizando directamente la harina de arroz o un extracto de esta harina.

Actualmente en países asiáticos, como Japón, Korea, Indonesia, y en países europeos como Holanda, España y otros, se da la suplementación de las fórmulas infantiles con lactoferrina. Sin embargo, la suplementación con un componente funcional debe mantener las características del componente añadido luego del proceso tecnológico al que sea sometido el alimento, elemento que algunas veces no es tomado en consideración por los fabricantes, quienes declaran en el etiquetado la cantidad añadida inicialmente, la cual puede perder su estabilidad a lo largo del tratamiento [9].

El objetivo de la presente investigación es determinar el contenido de lactoferrina utilizando el método inmunoquímico de ELISA, en diferentes leches infantiles comerciales; y en las mismas leches, tras someter las muestras a diferentes tratamientos con microondas y observar el efecto del tratamiento sobre la estabilidad de la lactoferrina.

## 2. Materiales

La lactoferrina bovina utilizada procedía de Fina Research (Senefte, Bélgica).

Los adyuvantes de Freund, completo e incompleto, con los cuales se realizaron las inmunizaciones de los conejos, las IgG anti-IgG de conejo obtenidas en cabra y marcadas con peroxidasa, el Sephadex G-100, el Sephacryl 200, el DEAE Sephadex A-50, la peroxidasa de rábano (actividad 250-503 U/mg), la ovoalbúmina tipo II y el timerosal fueron obtenidos de Sigma (Poole, Reino Unido).

El 5,5-dietilbarbiturato sódico (Veronal) procedía de Panreac (Barcelona, España).

El sustrato de la peroxidasa que contiene tetrametilbencidina (TMB) fue suministrado por ZEU-Inmunotec (Zaragoza, España).

El reactivo Cibacron Blue F3GA-Sepharosa se obtuvo de Serva Feinbiochemica (Heidelberg, Alemania).

La Sepharosa-4B activada con bromuro de cianógeno fue obtenida de GE Healthcare Bio-Sciences AB (Uppsala, Suecia).

Las placas de ELISA MaxiSorp de 96 pocillos fueron obtenidas de Nunc (Roskilde, Dinamarca).

Las células de ultrafiltración y las membranas de punto de corte de 10.000 se obtuvieron de Millipore-Amicon (Billerica, MA, E.U.).

Las leches de fórmula infantiles analizadas fueron leches en polvo de diferentes marcas, tres del mercado local español y una del mercado japonés. Leche A: Leche para lactantes desde el 1er día enriquecida con hierro, Leche B: leche de continuación enriquecida con nucleótidos y galactooligosacáridos, Leche C: leche en polvo para infantes, Leche D: leche para lactantes enriquecida con ácidos grasos DHA y ARA y minerales.

Se utilizó quimosina recombinante comercial CHY-MAX de CHR Hansen (Hørsholm, Dinamarca).

Los recipientes utilizados para preparar las leches infantiles fueron biberones comerciales de plástico, con 240 ml de capacidad total de Tigex (St. Etienne, Francia). El microondas utilizado en este estudio fue un modelo Sanyo Super Showerwave tipo EM-S1050 con un poder máximo de 800 W.

El resto de los productos utilizados no señalados específicamente fueron reactivos de grado analítico obtenidos de diversas fuentes.

## 3. Metodología

### 3.1. Aislamiento de Anticuerpos Antilactoferrina Bovina y Conjugación con Peroxidasa

Los antisueros anti-lactoferrina bovina fueron obtenidos por inmunización de conejos utilizando como inmunógeno lactoferrina bovina purificada según el método desarrollado por Conesa *et al.* [10]. Todos los experimentos cumplieron con las normas del Comité de Ética para ensayos con animales de la Universidad de Zaragoza, bajo la licencia de proyecto PI/4810. El uso y cuidado de los animales cumplió con las Normas Españolas para la Protección Animal, RD1201/05, que cumple con las directivas de la Unión Europea 86/609 para la protección de animales usados para experimentación y otros propósitos científicos.

De manera resumida, cada conejo fue inoculado con unas 10 inyecciones subcutáneas, 0,5 ml de una solución de proteína de 1 mg/ml de lactoferrina bovina. Estas soluciones de proteína fueron emulsionadas previamente con un volumen igual de adyuvante completo de Freund en la primera inoculación, y adyuvante incompleto de Freund en todas las inoculaciones siguientes. Transcurridos 21 días de la primera inoculación, se llevó a cabo la segunda inoculación. A las dos semanas de esta segunda inoculación los animales se sangraban para obtener el antisero, por medio de una pequeña incisión en la vena marginal de la oreja tras aplicar localmente xileno a manera de vasodilatador. En las extracciones de sangre sucesivas los animales tuvieron un tiempo de recuperación de 15 días, repitiéndose las inoculaciones cada 30 días.

La sangre se dejó coagular espontáneamente a temperatura ambiente, tras lo cual fue centrifugada a 1000 x g durante 10 min. El suero sanguíneo se almacenó en aliquotas de 1 ml a -25°C hasta su uso.

Los anticuerpos específicos anti-lactoferrina bovina se obtuvieron pasando el antisero correspondiente por una columna de lactoferrina bovina insolabilizada con Sepharosa 4B activada. Para preparar el inmunoabsorbente, a 2,5 g de la Sepharosa 4B activada se le añadieron 20 ml de HCl 1 mM. El gel se lavó en un crisol filtrante con placa porosa No.3, con HCl 1 mM, y luego se equilibró con tampón bicarbonato de sodio 0,1 M, NaCl 0,5 M, pH 8,3. Tras este tratamiento se obtuvieron aproximadamente 6 g de Sepharosa, a los que se añadieron 6 ml de una solución de lactoferrina bovina purificada a una concentración de 5 mg/ml disuelta

en el mismo tampón bicarbonato de sodio usado para equilibrar el gel. El gel se dejó incubando toda la noche a 4°C con agitación moderada. Posteriormente, se lavó en un filtro de placa porosa con el mismo tampón y se midió la absorbancia del filtrado para determinar la cantidad de proteína no ligada al gel. El gel se incubó con 5 ml de etanolamina 1 M de pH 8 durante 2 horas, para bloquear los grupos activos que no hubieran reaccionado con las proteínas. Tras este proceso, el gel se lavó con un tampón fosfato monopotásico 1,5 mM, fosfato dipotásico 8,4 mM, NaCl 0,15 M, pH 7,4 para eliminar la etanolamina.

Para aislar los anticuerpos anti-lactoferrina bovina se aplicó un volumen de 15 ml del suero de conejo anti-lactoferrina bovina, con un flujo de aproximadamente 0,1 ml/min. Se lavó el gel con tampón fosfato potásico 25 mM, NaCl 0,5 M, pH 7,4 hasta obtener una lectura de absorbancia a 280 nm en el excluido menor a 0,02. A continuación se eluyeron los anticuerpos con tampón glicina-HCl 0,1 M, NaCl 0,5 M, pH 2,8 en fracciones de 2 ml. Los anticuerpos eluidos se neutralizaron inmediatamente con volúmenes previamente calculados de tampón Tris 0,5 M, pH 8,0, añadidos a los tubos en los que se recogió el eluído. Por último, las fracciones conteniendo los anticuerpos específicos eluidos se dializaron frente a SSF y se concentraron por ultrafiltración utilizando membranas de punto de corte de 10.000. Los anticuerpos concentrados se congelaron a -20°C hasta su uso.

Para la peroxidación, se disolvieron 5 mg de peroxidasa de rábano en 0,5 ml de agua destilada, protegiendo la solución de la luz. Se agregaron lentamente 80 µl de peryodato sódico 25 mM y se mantuvo la mezcla a temperatura ambiente durante 30 min, con agitación suave y protegida de la luz. Luego se añadieron 0,1 ml de una solución acuosa de etilenglicol al 1% (v/v), y la mezcla se dejó incubar a temperatura ambiente durante 20 min. La peroxidasa oxidada se dializó frente a 5 l de tampón acetato sódico 1 mM, pH 4,4 a 4°C durante toda la noche, utilizando una membrana de punto de corte de 12.000. Por otra parte, se dializó una solución de los anticuerpos específicos anti-lactoferrina bovina frente a tampón carbonato sódico 0,05 M, pH 9,2 y se concentró con una célula de ultrafiltración de punto de corte de 10,000 hasta obtener una solución de aproximadamente 10 mg/ml.

Se mezclaron 0,1 ml de cada una de las soluciones de peroxidasa y de anticuerpos anti-lactoferrina

bovina y se añadieron 50 µl de carbonato sódico 0,5 M, pH 9,2. La mezcla se incubó 4 horas en agitación suave, a temperatura ambiente y protegida de la luz. A continuación, la mezcla se introdujo en un recipiente con hielo picado, se añadieron 50 µl de borohidruro de sodio 0,1 M y se incubó 40 min a 4°C. Por último, la mezcla se dializó toda la noche a 4°C frente a tampón fosfato monopotásico 1,5 mM, dihidrógeno fosfato de sodio, KCl 3 mM, NaCl 0,1 M pH 7,4 (PBS), y se dividió en alícuotas de 10 µl que se guardaron a -20°C hasta su uso.

### 3.2. Técnica de ELISA en Placa Tipo Sándwich

Se utilizó el método de ELISA en placa no competitivo tipo sándwich para cuantificar lactoferrina bovina previamente desarrollado por nuestro grupo [11]. Se recubrieron los pocillos de las placas con 100 µl de los anticuerpos anti-lactoferrina bovina (20 µg/ml), disueltos en un tampón de carbonato-bicarbonato sódico 0,05 M, pH 9,6 y se mantuvieron durante toda la noche a 4°C. La placa se lavó a continuación con PBST (tampón PBS con 0,05% Tween 20) en un equipo automático Thermo Wellwash 4MK2 de Thermo Fisher Scientific Inc. (Shangai, China). Los pocillos se incubaron a una temperatura de 37°C en un incubador Osaka (Valencia, España) con 300 µl de ovoalbúmina al 3% en PBS durante dos horas. La placa se lavó y se incubaron los pocillos con 100 µl de la solución de lactoferrina bovina, durante 1 hora a 37°C. Después la placa se lavó 5 veces y se incubó con 100 µl de la solución de anticuerpos anti-lactoferrina bovina conjugado con peroxidasa durante 1 hora a 37°C. La placa se lavó 5 veces y se incubó con 100 µl del sustrato de la peroxidasa que contiene tetrametilbencidina (TMB) durante media hora a 37°C. La reacción se detuvo por medio de la adición de 50 µl de ácido sulfúrico 2 M y se determinó la absorbancia a 450 nm en un lector Multiskan MS de Labsystem (Helsinki, Finlandia).

### 3.3 Preparación de los estándares de lactoferrina bovina para la técnica de ELISA

Las soluciones de proteína utilizadas como estándares en la técnica de ELISA se prepararon en PBS, determinándose su concentración por pesada directa de la proteína.

Para poder cuantificar la lactoferrina se utilizó una curva de calibrado realizada con soluciones de

lactoferrina de 10, 50, 100, 250, 500, 750 y 1000 ng/ml. Estos estándares se prepararon en una solución de PBS con 0,5 % de ovoalbúmina y 0,04 % de timerosal, a una concentración 100 veces mayor a la usada en los ensayos, y se distribuyeron en alícuotas a -20°C hasta su uso. En el momento de la realización del ELISA, estas soluciones se diluyeron en PBS a las concentraciones de los estándares anteriormente citadas.

### **3.4. Determinación del Contenido de Lactoferrina en Leches Infantiles Comerciales**

Se determinó el contenido de lactoferrina en los 4 tipos de leche comerciales, 3 leches procedentes de España y una procedente de Japón. La leche se preparó de acuerdo a las instrucciones del fabricante, y para realizar la determinación de la concentración se utilizó el método de ELISA previamente descrito, diluyéndose las muestras hasta que se encontraran en el rango de la curva de calibración. Estas determinaciones se realizaron por triplicado (revisor 1).

### **3.5. Efecto del Calentamiento en Microondas Sobre la Estabilidad de la Lactoferrina**

Las leches comerciales se prepararon de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Se colocaron 100 ml de leche en el biberón siempre en la misma posición en el centro del microondas. Se aplicaron diferentes potencias, 450, 550 y 650 W, por períodos de tiempo de 15, 20, 30 y 60 s. Se prepararon por triplicado cada una de las muestras, siendo 3 tratamientos por 4 períodos de tiempo, un total de 36 muestras (revisor 1). La temperatura de la leche se midió inmediatamente tras el tratamiento y el biberón se colocó en un baño de agua-hielo. Estas muestras se analizaron por medio del test de ELISA desarrollado previamente para determinar la concentración de lactoferrina.

## **4. Resultados**

### **4.1. Determinación del Contenido de Lactoferrina en Leches Infantiles Comerciales**

Para observar el efecto sobre la concentración de la lactoferrina que tiene el tratamiento utilizado en la producción de diferentes tipos de fórmulas infantiles en polvo, determinamos por ELISA el contenido de esta proteína en las cuatro fórmulas comerciales que le adicionan esta proteína. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1. La etiqueta del envase de estas

leches de fórmula presenta la composición, en la que se encuentran los valores de lactoferrina, siendo para la leche C de 80 mg/100 g y para la leche D de 926 mg/100 g. Comparando estos valores con los obtenidos mediante el test de ELISA, vemos que el valor declarado en la leche C es bastante cercano al que hemos obtenido. Esta leche es la de origen japonés. Sin embargo, el valor que hemos obtenido D es apenas una cuarta parte del valor declarado por el fabricante. En las leches A y B no se especifica el contenido en lactoferrina, solo se declara que contienen proteínas del lactosuero, pero hemos observado que este contenido es muy bajo.

Tabla 1. Contenido de lactoferrina bovina en leches de fórmula infantil

Leche	mg/100 g LF
Leche A	0,02 ± 0,01
Leche B	0,47 ± 0,17
Leche C	65,88 ± 16,50
Leche D	216,83 ± 6,53

### **4.2. Efecto del Calentamiento en Microondas Sobre la Estabilidad de la Lactoferrina**

Para determinar el efecto que ejerce el calentamiento por microondas en las leches infantiles, usamos dos de las cuatro leches comerciales en las que determinamos el contenido de lactoferrina, leche B y leche D, una con bajo contenido y una con alto contenido. Se prepararon las leches como indica el fabricante y se calentaron al microondas en diferentes intervalos de tiempo. Se midió la temperatura al final del periodo de calentamiento, cuyos datos se presentan en las Tablas 2-3. Para la leche D (tabla 2), cuando el calentamiento se hizo durante 15 s, la diferencia de temperatura al utilizar intensidades crecientes de la potencia del microondas fue de 6°C, siendo de 37°C para el tratamiento a 450W y de 43°C para 650 W. Al incrementar el tiempo de calentamiento, esta diferencia se hizo menor, de 3°C, variando las temperaturas entre 45 y 48°C cuando la leche se calentó durante 20 s. Para un tiempo de 60 s, la temperatura se elevó de manera pronunciada cuando se seleccionaba una potencia de 550 W y 650 W, siendo de 83°C y 86°C respectivamente. Similar comportamiento se encontró para la leche B (tabla 3), donde se observó una diferencia

de 7°C durante el periodo más corto de calentamiento (de 15 s), siendo el intervalo de temperaturas alcanzado de entre 33 y 40°C para 450 y 650W, respectivamente. Sin embargo, cuando la leche se calentó en el microondas durante un periodo prolongado (60 s), se encontró un calentamiento de las leches elevado, siendo de entre 80 y 88°C a 450 y 650 W, respectivamente.

Tabla 2. Temperaturas (°C) alcanzadas en leche D calentada al microondas con diferentes intensidades de potencia.

	Potencia (W)		
Tiempo (s)	450	550	650
15	36,7 ± 4,1	40,3 ± 2,5	42,7 ± 2,5
20	45,7 ± 3,5	44,7 ± 1,5	48,0 ± 2,0
30	50,0 ± 2,6	55 ± 2,6	59,3 ± 1,1
60	70,0 ± 4,4	83,0 ± 1,0	85,7 ± 1,1

Tabla 3. Temperatura (°C) alcanzadas en leche B calentada al microondas con diferentes intensidades de potencia.

	Potencia (W)		
Tiempo (s)	450	550	650
15	33,0 ± 0,0	37,5 ± 3,5	40,0 ± 0,0
20	39,0 ± 1,4	40,5 ± 2,1	40,5 ± 0,71
30	47,5 ± 0,7	54,0 ± 2,8	56,0 ± 1,4
60	80,5 ± 3,5	83,5 ± 2,1	88,5 ± 2,1

En la figura 1 se muestran los resultados de la determinación de la concentración de lactoferrina por inmunorreactividad durante el tratamiento con microondas a diferentes intensidades de potencia para la leche infantil D. La concentración detectada para el control es de 207 mg/ml. Se observa que cuando calentamos a 450 W hay una disminución apreciable de la concentración de lactoferrina para un tiempo de 60 segundos, siendo ésta de un 20% con respecto al control. Para los otros tiempos, la disminución en la concentración no es apreciable. Cuando incrementamos la potencia a 550 W, no existe un cambio apreciable en la concentración de lactoferrina con respecto al control para ninguno de los tiempos en los cuales efectuamos el calentamiento. Al aumentar la intensidad del tratamiento a 650 W, se observa que hay una disminución progresiva de la concentración de lactoferrina, siendo de alrededor del 30% a los 20 y 30 s, y alcanzando un máximo de 45% de disminución al incrementar el periodo de calentamiento a 60 s.

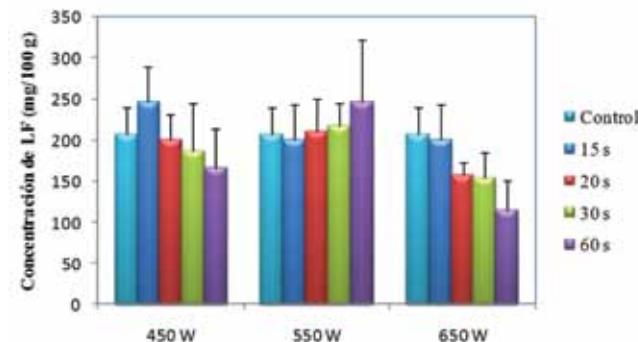


Figura 1. Concentración de lactoferrina determinada por ELISA en leche D sometida a diferentes calentamientos en microondas. Resultados expresados como la media de los valores de tres experimentos independientes, siendo las muestras analizadas por triplicado.

En la figura 2 se muestran los resultados de concentración de lactoferrina en la leche B que fue sometida a los tratamientos de calentamiento por microondas. El valor de lactoferrina para el control es de 0,51 mg/ml. Al calentar con una intensidad de 450 W, solo a 60 s observamos una disminución del 15%, no siendo apreciables los cambios en la concentración de la proteína durante periodos menores de calentamiento. De forma similar a lo que se encontró con la leche D, la concentración de lactoferrina no tiene una variación apreciable con respecto al control en ninguno de los periodos de calentamiento con una intensidad de microondas de 550 W. Cuando se alcanza la intensidad máxima de 650 W, a partir de 30 s los niveles de lactoferrina disminuyen de manera más pronunciada con respecto al control, siendo esta disminución de un 20% a los 30 s, llegando a alcanzar un máximo de 45% a los 60 segundos de calentamiento.

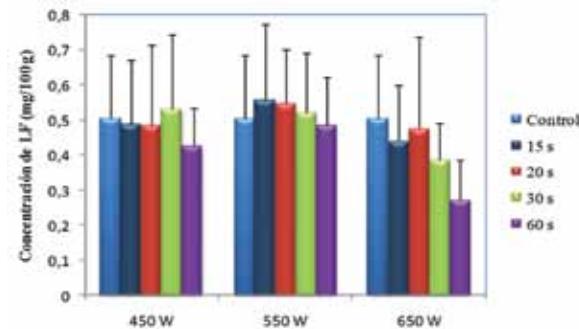


Figura 2. Concentración de lactoferrina en leche infantil B sometida a diferentes calentamientos en microondas. Resultados expresados como la media de los valores de tres experimentos independientes, siendo las muestras analizadas por triplicado.

## 5. Discusión

El tratamiento de producción de las leches de fórmula, bien sea mediante una esterilización en el envase para las fórmulas líquidas o mediante el secado por atomización para las fórmulas en polvo, conlleva consecuencias nutricionales. Desde hace años, investigaciones en este campo demuestran que los tratamientos térmicos producen cambios en las interacciones entre los nutrientes de la leche, por la desnaturalización y agregación de las proteínas [12], [13], que alteran posiblemente su digestibilidad [14]. Es por ello, que es importante la suplementación de las leches con los elementos perdidos durante el tratamiento.

El alto contenido de lactoferrina en la leche humana, comparada con la leche bovina, el cual es casi 10 veces más, indica la importancia de esta proteína en el desarrollo de los niños. Por ello, en los últimos años se ha llevado a cabo la suplementación de leches infantiles con aislados de lactoferrina bovina [15], [16], [17]. Se ha observado que las fórmulas suplementadas con lactoferrina bovina incrementan la biodisponibilidad de hierro en niños, lo que produce un valor agregado a la alimentación de los bebés usando fórmulas suplementadas con lactoferrina bovina [18].

También se han hecho estudios *in vitro* para observar el efecto de la suplementación de leches infantiles con lactoferrina humana recombinante [19]. Según algunas investigaciones realizadas, la lactoferrina administrada a una concentración de 1 mg/ml contribuye al desarrollo de la flora intestinal beneficiosa, del tipo *Bifidobacterium*, en bebés a la edad de tres meses [20]. Sin embargo, hay opiniones contradictorias en cuanto al efecto sobre la absorción de hierro. Algunos estudios demuestran que la lactoferrina se relaciona con la absorción de hierro en el organismo [18], [21], mientras que otros estudios no encuentran efecto positivo de la suplementación con lactoferrina de las leches infantiles sobre la absorción de hierro [22], [23]. Por otra parte, se ha observado que al añadir lactoferrina a las leches infantiles, ésta ejerce un efecto antioxidante sobre la grasa que se añade a las mismas [24].

La lactoferrina puede añadirse a las leches infantiles de fórmula en polvo como agente antibacteriano. El consumo de la leche de fórmula infantil algunas veces se ha asociado con brotes de *Cronobacter sakazakii*, bacteria que se inactiva usualmente durante la pasteurización [25]. Sin embargo, la presencia de esta

bacteria en leches infantiles se debe principalmente a contaminaciones post-procesado, a la adición de ingredientes contaminados durante la producción o a la colonización por *C. sakazakii* por el uso de utensilios contaminados como biberones, cucharas, escobillas y esponjas durante la preparación de la leche [26].

En nuestro estudio, de los valores obtenidos para la concentración de la lactoferrina en las leches de fórmula analizadas, se desprende que la leche producida en Japón es la que contiene valores más similares a los declarados en el etiquetado. Sin embargo, la leche producida en España se aleja mucho del valor indicado en la etiqueta. Esto tiene que ver seguramente con la etapa del proceso de producción de la leche en la cual se añade la proteína, la duración del tratamiento térmico del mismo y la proporción de componentes propios de cada formulación. Se han desarrollado otras metodologías para la determinación de lactoferrina bovina principalmente en leche, como lo son los métodos nefelométricos, inmunoenzimáticos y hasta cromatográficos [17], [27], [28], [29], pero pocos trabajos han aplicado los métodos desarrollados para la determinación de lactoferrina en fórmulas infantiles antes y después del tratamiento.

Entre los trabajos desarrollados está el del grupo de Indik y Filonzi [30], quienes determinaron, por medio de análisis con biosensores ópticos, el contenido de lactoferrina en fórmulas infantiles suplementadas con esta proteína, leche descremada, leche entera y yogur. Compararon los resultados con los valores obtenidos por un método de ELISA y los valores de lactoferrina que encontraron para la fórmula infantil fueron de 14.8 mg/100 g por el método de ELISA, 38.6 mg/100 g con el método desarrollado por ellos, y el valor reportado en la etiqueta era de 20 mg/100 g. En el resto de las muestras analizadas el contenido de lactoferrina coincidía con el valor declarado en el etiquetado, aunque en un producto heterogéneo obtenido usando un protocolo de mezclado en seco, los valores fueron mucho menores de los esperados. El inconveniente encontrado para la validación de su método, fue que solo existe un pequeño número de muestras disponibles en el mercado conteniendo lactoferrina. Soejima *et al.* [8] determinaron el contenido de lactoferrina suplementada por ellos mismos en leche cruda, leche UHT, yogurt y fórmulas infantiles, por medio de un método de aglutinación en látex. Para aproximarse al valor real de concentración de lactoferrina -50 mg/100 g- en leche infantil usaron dos

diluciones (1/1000 y 1/2000) y el resultado más próximo a este valor lo obtenían con la dilución 1/1000. En el otro tipo de muestras no existía diferencia en los resultados obtenidos en cuanto a diferentes diluciones. Atribuyen esto a un ligero efecto inhibitorio por el alto contenido de sólidos (aprox. 97%), aproximadamente 8 veces mayor en la leche de fórmula que en la leche UHT.

El calentamiento en microondas de las leches de fórmula infantiles ya preparadas en el biberón no es recomendable porque puede causar quemaduras al bebé o la botella puede explotar [31], [32]. Sin embargo, es una práctica que sigue siendo muy utilizada, incluso en hospitales [33], por lo cual hasta se han elaborado protocolos para el calentamiento de los biberones en el microondas [34]. Además de los riesgos citados, el calentamiento de la leche en microondas puede afectar a su valor nutricional. Se han realizado estudios acerca del efecto que el calentamiento puede ejercer en las proteínas de la leche. Villamiel *et al.* [35] encontraron que no había diferencias en el contenido de  $\alpha$ -lactalbúmina y  $\beta$ -lactoglobulina cuando se calentaba la leche de fórmula con microondas o por calentamiento convencional a una temperatura de 70°C durante 30 min. Resulta difícil de comparar entre diferentes trabajos el efecto del calentamiento en microondas, ya que va a depender de la cantidad de producto y de la forma y material del recipiente utilizado. En general todos los biberones tienen una forma similar, pero dada la gran cantidad de materiales de plásticos resistentes al calor, es muy difícil contrastar los resultados entre estudios realizados con diferentes materiales.

En este estudio hemos encontrado una mayor disminución en la concentración de lactoferrina inmunorreactiva cuando se aplica un calentamiento con una potencia de 650 W por un periodo mayor de 20 s para la D y durante un periodo mayor de 30 s para la leche B. Esto se relaciona directamente con la temperatura máxima alcanzada por la leche durante este calentamiento, que ha sido lo suficientemente alta, entre 80 y 89°C cuando se calentaba durante 60 s, lo que causa la desnaturalización de la lactoferrina. En estudios con leche materna a temperaturas de entre 72 y 98°C durante 15 s de exposición a máxima potencia, se encuentra una marcada disminución en la actividad de los factores anti-infectivos estudiados, como la lisozima y las IgA [36]. En un estudio de Goldblum *et al.* [37] se encontró que calentamientos rápidos a altas temperaturas, 72°C

durante 5-15 s no afectaban a la calidad inmunológica de la leche materna determinando los niveles de IgA y de lactoferrina.

## 6. Conclusiones

La suplementación con lactoferrina es de suma importancia en el mercado de las leches infantiles. Cabe resaltar que en Panamá actualmente no se encuentra disponible en el mercado leches suplementadas con esta proteína, factor que debería ser tomado en consideración por la industria fabricante a futuro cercano. La exactitud de la determinación de esta proteína dependerá del método utilizado, siendo los métodos inmunoquímicos utilizados en estos estudios, bastante precisos.

De acuerdo con nuestros resultados, el calentamiento en microondas de la leche de fórmula infantil suplementada con lactoferrina produce la pérdida de su actividad inmunorreactiva solo cuando se aplican altas potencias, 600 W durante largos periodos, mayores de 30 segundos. Es por ello que es preciso advertir que si se utiliza el microondas sea de forma moderada en tiempo e intensidad para no afectar los componentes con valor biológico en la leche, como lo es la lactoferrina.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Proyecto CICYT AGL 2005-05494 del Ministerio de Ciencia y Tecnología (Madrid, España). Los estudios doctorales de Indira Franco, bajo los cuales se desarrolló el presente proyecto, fueron financiados por el Gobierno de la República de Panamá, mediante el Programa de Becas de Excelencia Profesional SENACYT-IFARHU 2006-2010. Actualmente la Dra. Franco es miembro del Sistema Nacional de Investigación-SIN-en la República de Panamá.

## Referencias

- [1] R. Jensen, Handbook of milk composition. San Diego, CA: Academic Press, 1995, pp. 1-3.
- [2] Farnaud, S. y Evans, R.W, Lactoferrin—a multifunctional protein with antimicrobial properties, Molecular Immunology, vol. 40, pp. 395-405, 2003.
- [3] P.F. Hennart, D.J. Brasseur, J.B. Delogne-Desnoeck, M.M. Dramaix, y C.E. Robyn, Lysozyme, lactoferrin and secretory immunoglobulin: A content in breast milk: influence of duration of lactation, nutrition status, prolactin status, and parity of mother. American Journal of Clinical Nutrition, vol. 53, pp. 32-39, 1991.
- [4] P.-P. Ward, C.S. Piddington, G.A. Cunningham, X. Zhou, R.D. Wyatt, y O.M. Conneely, A system for production of commercial quantities of human lactoferrin: a broad spectrum natural antibiotic. Biotechnology, vol. 13, pp. 498-503, 1995.

- [5] P.H. van Berkel, M.M Welling, M. Geerts, H.A. van Veen, B. Ravensbergen, M. Salaheddine, E.K.J. Pauwels, F. Pieper, J.H. Nuijens, y P.H. Nibbering, 2002, Large scale production of recombinant human lactoferrin in the milk of transgenic cows, *Nature Biotechnology*. 20:484-487, 2002.
- [6] V. Salmon, D. Legrand, M.C. Slomianny, I.E. Yazidi, G. Spik, V. Gruber, P. Bournat, B. Olagnier, D. Mison, M. Theisen, y T.B. Merot, Production of human lactoferrin in transgenic tobacco plants, *Protein Expression and Purification*, vol.13, pp. 127-135, 1998.
- [7] B. Samyn-Petit, V. Gruber, C. Flahaut, J.P. Waida-Dubos, S. Farrer, A. Pons, G. Desmaizieres, M.C. Slomianny, M. Theisen, y P. Delannoy, N-glycosylation potential of maize: the human lactoferrin used as a model. *Glycoconjugate Journal*, vol. 18, pp. 519-527, 2001.
- [8] S. Nandi, D. Yalda, S. Lu, Z. Nikolov, R. Misaki, K. Fujiyama, y N. Huang, Process development and economic evaluation of recombinant human lactoferrin expressed in rice grain, *Transgenic Research*, vol. 14, pp. 237-249, 2005.
- [9] T. Soejima, K. Yamauchi, T. Yamamoto, Y. Ohara, E. Nagao, K. Kanbara, M. Fujiawa, Y. Okuda, y S. Namba, Determination of bovine lactoferrin in lactoferrin-supplemented dairy products and raw milk by an automated latex assay. *Journal of Dairy Research*, vol. 74, pp. 100-105, 2007.
- [10] C. Conesa, L. Sánchez, C. Rota, M.D. Pérez, M. Calvo, S. Farnaud, y R.W. Evans, Isolation of lactoferrin from milk of different species: Calorimetric and antimicrobial studies. *Comparative Biochemistry and Physiology B*, vol. 150, pp.131-139, 2008.
- [11] I. Franco, E. Castillo, M.D. Pérez, M. Calvo, M. y L. Sánchez, Effect of bovine lactoferrin addition to milk in yoghurt elaboration, *Journal of Dairy Science*, vol. 93, pp. 4480-4489, 2010.
- [12] J.R. Euber, y J.R. Brunner, Interaction of  $\kappa$ -casein with immobilized  $\beta$ -lactoglobulin. *Journal of Dairy Science*, vol. 65, pp. 2384-2387, 1982.
- [13] B. Noh, T. Richardson, y L.K. Creamer, Radiolabelling of the heat induced interactions between  $\alpha$ -lactalbumin,  $\beta$ -lactoglobulin and  $\kappa$ -casein in milk and buffer solutions, *Journal of Food Science*, vol. 54, pp. 889-893, 1989.
- [14] S. Rudloff y B. Lönnerdal, Solubility and digestibility of milk proteins in infant formulas exposed to different heat treatments. *Journal of Pediatræ Gastroenterology Nutrition*, vol. 15, pp. 25-33, 1992.
- [15] J.M. Steijns, y A.C.M. van Hooijdonk, 2000. Occurrence, structure, biochemical properties and technological characteristics of lactoferrin, *British Journal of Nutrition*, vol. 84, pp. S11-S17, 2000.
- [16] H. Kuwata, K. Yamauchi, S. Teraguchi, Y. Ushida, Y. Shimokawa, T. Toida, y H. Hayasawa, Functional fragments of injected lactoferrin are resistant to proteolytic degradation in the gastrointestinal tract of adult rats. *Journal of Nutrition*, vol. 131, pp. 2121-2127, 2001.
- [17] Y.Y. Tu, C.C. Chen, J.H. Chang y H.M. Chang, Characterization of lactoferrin (Lf) from colostral whey using anti-Lf antibody immunoaffinity chromatography, *Journal of Food Science*, vol. 67, pp. 996-1001, 2002.
- [18] G. Schulz-Lell, K. Dörner, H.D. Oldigs, E. Sievers, y J. Schaub, Iron Availability from an Infant Formula Supplemented with Bovine Lactoferrin. *Acta Paediatrica*, vol. 80, pp. 155-158, 1991.
- [19] T.S. Raghuveer, E.M. McGuire, S.M. Martin, B.A. Wagner, C.J. Rebouché, G.R. Buettner, y J. Widness, Lactoferrin in the preterm infants diet attenuates iron-induced oxidation products. *Pediatric Research*, vol. 52, pp. 964-972, 2002.
- [20] A.K. Roberts, R. Chierici, G. Sawatzki, M.L. Hill, S. Volpati, y V. Vigi, Supplementation of an adapted formula with bovine lactoferrin: 1. Effect on the infant faecal flora. *Acta Paediatrica*, vol. 81, pp. 119-124, 1992.
- [21] R. Chierici, G. Sawatzki, L. Tamisari, S. Volpati, y V. Vigi, Supplementation of an adapted formula with bovine lactoferrin. 2. Effects on serum iron, ferritin and zinc levels. *Acta Paediatrica*, vol. 81, pp. 475-479, 1992.
- [22] M. Jovaní, R. Barberá, y R. Foarré, Effect of lactoferrin addition on the dialysability of iron from infant formulas. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, vol. 17, pp. 139-142, 2003.
- [23] O. Hernell, y B. Lönnerdal, Iron status of infants fed low-iron formula: no effect of added bovine lactoferrin or nucleotides. *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 76, pp. 858-864, 2004.
- [24] M.T. Satué-Gracia, E.N. Frankel, N. Rangavajhyala, y J.B. German, Lactoferrin in Infant Formulas: Effect on Oxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 48, pp. 4984-4990, 2000.
- [25] M. Nazarowec-White, y J.M. Farber, Thermal resistance of *Enterobacter sakazakii* in reconstituted dried-infant formula, *Letters of Applied Microbiology*, vol. 24, pp. 9-13, 1997.
- [26] AA. Al-Nabulsi, y R.A. Holley, Enhancing the antimicrobial effects of bovine lactoferrin against *Escherichia coli* O157:H7 by cation chelation, NaCl and temperature. *Journal of applied Microbiology*, vol. 100, pp. 244-255, 2006.
- [27] P.M. Montagnea, V.S. Trégoata, M.L. Cuilliérea, M.C. Bénéa y G.C. Faurea, Measurement of nine human milk proteins by nephelometric immunoassays: application to the determination of mature milk protein profile, *Clinical Biochemistry*, vol. 33, pp. 181-186, 2000.
- [28] K.P. Palmano, y D.F. Elgar, Detection and quantitation of lactoferrin in bovine whey samples by reversed-phase HPLC on polystyrene-divinylbenzene. *Journal of Chromatography A*, vol. 947, pp. 307-311, 2002.
- [29] P.-W. Chen y F.C. Mao, Detection of lactoferrin in bovine and goat milk by enzyme-linked immunosorbent assay. *Journal of Food and Drug Analysis*, vol. 12, pp. 133-139, 2004.
- [30] H.E. Indyk y E.L. Filonzi, Determination of lactoferrin in bovine milk, colostrum and infant formulas by optical biosensor analysis, *International Dairy Journal*, vol 15, pp. 429-438, 2005.
- [31] R.A. Hibbard y R. Blevins, Palatal burn due to bottle warming in a microwave oven, *Pediatrics*, vol. 82, pp. 382-384, 1988.
- [32] L.J. Dixon, D.A.R. Burd, y D.G.V. Roberts, Severe burns resulting from an exploding teat on a bottle of infant formula milk heated in a microwave oven, *Burns*, vol. 23, pp. 268-269, 1998.
- [33] S. Beck Fein y C.D. Falci, Infant formula preparation, handling, and related practices in the United States. *Journal of the American Dietetic Association*, vol. 99, pp. 1234-1240, 1999.
- [34] M. Sigman-Grant, G. Bush, y R. Anantheswaran, Microwave heating of infant formula: a dilemma resolved, *Pediatrics*, vol. 90, pp. 412-415, 1992.
- [35] M. Villamiel, N. Corzo, I. Martinez-Castro y A. Olano, Chemical changes during microwave treatment of milk, *Food Chemistry*, vol. 56, pp. 385-388, 1996.
- [36] R. Quan, C. Yang, S. Rubinstein, N.J. Lewiston, P. Sunshine, D.K. Stevenson y J.A. Kerner, Effects of microwave radiation on anti-infective factors in human milk, *Pediatrics*, vol. 89, pp. 667-669, 1992.
- [37] R.M. Goldblum, C.W. Dill, T.B. Albrecht, E.S. Alford, C. Garza, y A.S. Goldman, Rapid high-temperature treatment of human milk. *Journal of Pediatrics*. 104:380-385, 1984.

# Simulación de un Sistema de Acondicionamiento de Aire por Absorción Con Asistencia Solar en Panamá Utilizando TRNSYS

## Esteban Quintana

esteban.quintana@utp.ac.pa

Centro de Investigación e Innovación Eléctrica,  
Mecánica y de la Industria,  
Universidad Tecnológica de Panamá

## Rhona Díaz

rhona.diaz@utp.ac.pa

Centro de Investigación e Innovación Eléctrica,  
Mecánica y de la Industria,  
Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen-** En la República de Panamá, los sistemas de refrigeración y aire acondicionado consumen un porcentaje elevado de la energía eléctrica producida. La finalidad de esta investigación fue la de evaluar a través de simulaciones el comportamiento de un sistema de acondicionamiento de aire por absorción con asistencia solar y comparar su consumo eléctrico con un sistema de aire acondicionado tradicional. Utilizando un programa para la simulación de sistemas transitorios, se diseñó y simuló un sistema de absorción el cual acondicionó el aire de cuatro zonas de 50 m<sup>2</sup>cada una, ubicadas en el sector de Tocumen, Ciudad de Panamá, en un horario 8:00 a.m. a 4:00 p.m. de lunes a viernes. El sistema de absorción mantuvo la temperatura y humedad relativa de las zonas a 23 °C y 58 % respectivamente, además fue capaz de ahorrar cerca del 75 % del consumo eléctrico cuando se le comparó con un sistema de aire acondicionado por compresión tipo Split.

**Palabras claves-** absorción, acondicionamiento de aire, colector solar, consumo eléctrico, simulación, energía solar térmica

**Abstract-** in the Republic of Panama, cooling systems and air conditioning consume a high percentage of the electricity produced.

*The purpose of this research was to evaluate through simulations the behavior of an absorption air conditioning solar assisted system and compare its electric consumption with a traditional air conditioning system. Using a program for simulation of transient systems, it was designed and simulated the absorption system for cooling four zones of 50 m<sup>2</sup> each one, located at Tocumen sector, in Panama City in the schedule 8:00 a.m. to 4:00 p.m., from Monday to Friday. The absorption system maintained the temperature and relative humidity of the zones at 23 °C and 58% respectively, and it was able to save about 75% power consumption when it was compared with a split air conditioning.*

**Keywords-** Absorption, air conditioning, solar collector, energy consumption, simulation, solar thermal energy.

**Tipo de Artículo:** original

**Fecha de Recepción:** 21 de junio 2013

**Fecha de Aceptación:** 11 de octubre de 2013

## 1. Introducción

El consumo de aire acondicionado ha ido en aumento a nivel mundial, afectando de una manera significativa la demanda energética, debido al alto consumo eléctrico de los sistemas por compresión [1] [2] [3]. Panamá no se escapa de esta realidad, ya que alrededor de un 42% de la energía que se consume en el sector público está relacionada con equipos de acondicionamiento de aire [4].

Además cerca del 30% de los productos frescos en los países en desarrollo se pierden debido a la falta de sistemas de refrigeración en la cadena de suministro [5]. Realidad que también es constante en Panamá, reflejada en el proyecto de la Cadena de Frío [6].

Por otro lado la carga de refrigeración tiende a coincidir con la disponibilidad de radiación solar [2] [3] [7] [8], lo que hace interesante considerar el uso de la radiación solar como fuente energética de un sistema de acondicionamiento de aire.

En este sentido, existen distintas alternativas estudiadas como lo es el uso de paneles fotovoltaicos o motores térmicos en sistemas de compresión y colectores solares térmicos en sistemas de absorción o adsorción.

La diferencia principal entre un sistema de compresión y uno de absorción o adsorción, es que dentro del ciclo de refrigeración se reemplaza el compresor mecánico por un compresor térmico. Un esquema general de un sistema de absorción se muestra en la figura 1.

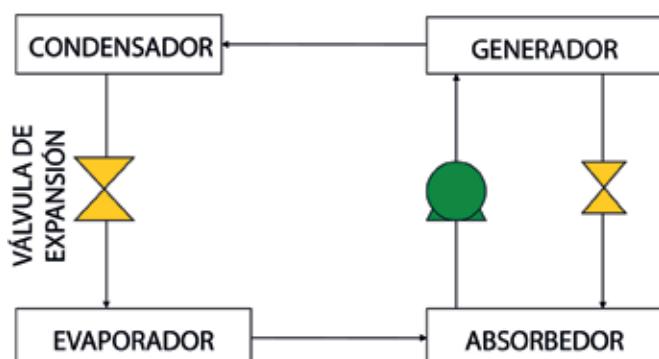


Figura 1. Ciclo de Absorción

Existen investigaciones recientes que señalan a los sistemas de absorción como una de las mejores alternativas para el aprovechamiento del sol en el acondicionamiento de aire [9] [10].

Para estos sistemas, los pares de refrigerante-absorbente comúnmente utilizados son agua/bromuro de litio ( $H_2O/LiBr$ ) y amonía/agua ( $NH_3/H_2O$ ) [8]. De estos, el más utilizado a nivel comercial para sistemas de acondicionamiento de aire es el par agua/bromuro de litio, en tanto que para refrigeración se ha utilizado más el par amonía/agua [11] [12].

Las configuraciones más comunes de un sistema de absorción son de simple efecto o doble efecto. La configuración de simple efecto tiene un coeficiente de operación entre 0.6-0.8, y es aquélla donde se utiliza una sola etapa de calentamiento a través de un generador. La de doble efecto tiene un coeficiente de operación de 1.2, y es aquélla en la que se dan dos etapas de calentamiento [13] [14] [12].

De estas configuraciones la más utilizada es la de simple efecto, ya que las temperaturas necesarias para el generador están en el rango de la temperatura obtenida en colectores solares térmicos de baja temperatura [12].

En relación a los colectores solares térmicos utilizados en sistemas de absorción, se encuentran los siguientes: colectores de placa plana (CPP), colectores de tubo de vacío (CTV) y los colectores parabólicos (CP). De estas tecnologías, las más utilizadas para sistemas de doble efecto son los CP y los CTV. Para configuraciones de simple efecto, se utilizan CPP y CTV [15].

Según estudios comparativos realizados, la mejor configuración para un sistema de absorción con asistencia solar es la simple efecto utilizando  $H_2O/LiBr$  como par de refrigeración [9].

Acerca del mejoramiento del rendimiento de los sistemas de absorción, la técnica más utilizada, es la de contar con un tanque de almacenamiento del agua caliente para disminuir la diferencias que pueden existir entre la demanda y la radiación de la energía [16].

Actualmente existen a nivel mundial, instalaciones realizadas, tanto demostrativas como comerciales de sistemas de adsorción o absorción con asistencia solar. Las cargas que manejan son principalmente medias (50 kW a 250 kW) y algunas cargas pequeñas (10kW a 50 kW), ya que la principal limitante de la aplicación de esta tecnología, es el espacio necesario para instalar los colectores solares térmicos [15] [17] [18].

En relación al consumo eléctrico, en México, Baja California, se realizó una investigación que reveló que el sistema de aire acondicionado por absorción era factible

y que la radiación solar proveía cerca del 90% de la energía necesaria en el sistema [19].

Uno de los parámetros más difíciles de determinar es el costo del sistema ya que esta tecnología aún se encuentra en desarrollo.

Actualmente las cifras que se manejan, a través de los proyectos demostrativos es entre 1600 a 3200 dólares americanos por KW de refrigeración [20].

No existe registro de algún estudio sobre el rendimiento de los sistemas de acondicionamiento de aire por absorción con asistencia solar en la República de Panamá. De tal manera que el objetivo de esta investigación fue la simulación de un sistema de absorción con asistencia solar en las condiciones climatológicas de la ciudad de Panamá, para determinar la factibilidad técnica de sustituir los sistemas de compresión por dichos sistemas.

En primera instancia se presentará la metodología aplicada para el diseño y simulación del sistema, luego los resultados de dicha simulación y por último las conclusiones de la investigación.

## 2. Metodología

Existe un número importante de investigaciones de sistemas de acondicionamiento de aire por absorción con asistencia solar que utilizan como herramienta de simulación el programa de sistema transitorio denominado TRNSYS [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27]. Este programa fue desarrollado por la Universidad de Wisconsin, y es muy utilizado en el campo de las energías renovables y simulación de edificios debido a que cuenta con una amplia librería de componentes energéticos [28]. Por lo que para el desarrollo de este proyecto se utilizó dicho programa como herramienta para la simulación del sistema planteado.

### 2.1. Condiciones de Diseño

Las condiciones ambientales en las cuales fue simulado el sistema de absorción se muestran en la tabla 1. Estas condiciones fueron generadas a partir de los datos meteorológicos de la librería de Meteonorm del programa TRNSYS. Se utilizó el archivo PA-Tocumen-787950, ya que el diseño se ha desarrollado para ser utilizado en las instalaciones de la Universidad Tecnológica de Panamá en Tocumen.

Tabla 1. Condiciones climáticas para la región de Tocumen.  
(TRNSYS 17)

Variab le Climática	Valor
Temperatura de bulbo seco promedio anual	26.89 °C
Temperatura de bulbo húmedo promedio anual	24.10 °C
Humedad relativa promedio anual	80.82 %
Longitud	79.37° O
Latitud	9.050° N
Elevación	45 m

La figura 2 muestra la radiación horizontal diaria por mes para la ubicación geográfica señalada. Esta información se obtuvo de la librería de TRNSYS, la cual utiliza de referencia la data de radiación global horizontal del al NASA.

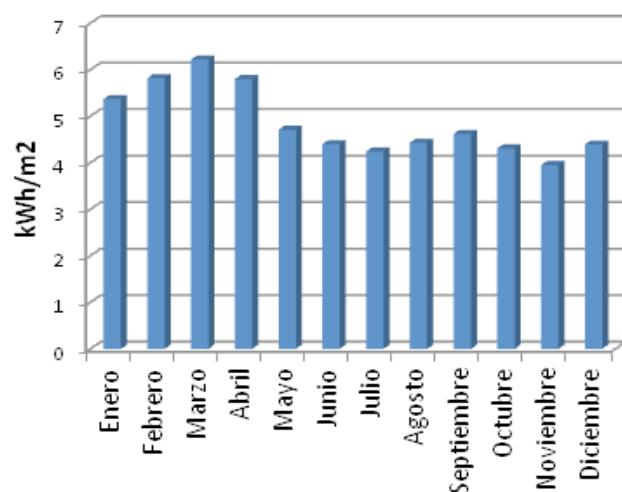


Figura 2. Radiación global horizontal diaria.

### 2.2. Carga de Refrigeración

En cuanto a la carga de refrigeración el sistema fue diseñado para cuatro zonas térmicas que se muestran en la tabla 2, dándose una carga de refrigeración de 8 kW por zona (2.3 ton).

Tabla 2. Dimensiones y cargas de los espacios a refrigerar con el sistema de absorción.

Parámetro	Valor
Largo, ancho, alto	10 m X 5m X 3.2 m
Área de Ventana (orientación)	1 m <sup>2</sup> (norte), 1 m <sup>2</sup> (sur)
Carga sensible agregada	5.240 kW
Carga latente agregada	2.250 kW

El modelado de las zonas térmicas se hizo utilizando *Google SketchUP* en conjunto con el *plug-in* de TRNSYS, *3DTRNSYS*. En la tabla 3 se presentan los materiales seleccionados para las paredes y techos de cada zona, los cuales fueron tomados de la librería de TRNbuild.

Tabla 3. Materiales y coeficiente global de transferencia de calor para las paredes, techo, ventana y piso de las zonas térmicas.

Parámetro	Material	Coeficiente global de transferencia
Paredes Externas	Concreto	1.779 W/m <sup>2</sup> .K
Paredes internas	Gypsumplas, Insulation	0.039 W/m <sup>2</sup> .K
Techo	Plasterboa, Fiberglass, Roofdeck	0.316 W/m <sup>2</sup> .K
Piso	Conc_slab, ins_flr_ash_900	0.039 W/m <sup>2</sup> .K
Ventanas	Genérico	2.89 W/m <sup>2</sup> .K

Utilizando el método de simulación del TRNbuild, llamado *energy mode*, se estimó la carga de refrigeración para una temperatura de bulbo seco y humedad relativa dadas. De esta manera se calculó la carga de refrigeración necesaria para mantener las zonas térmicas a una temperatura de bulbo seco de 25 °C y 50 % de humedad relativa.

Los valores promedios mensuales de esta carga se presentan en la figura 3.

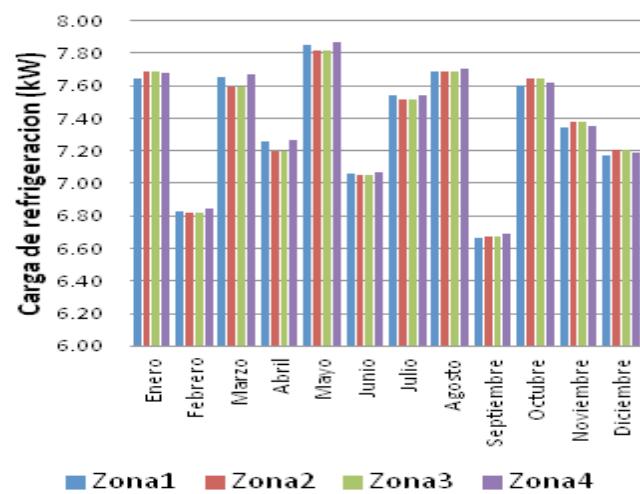


Figura 3. Carga mensual promedio de refrigeración para cada zona térmica.

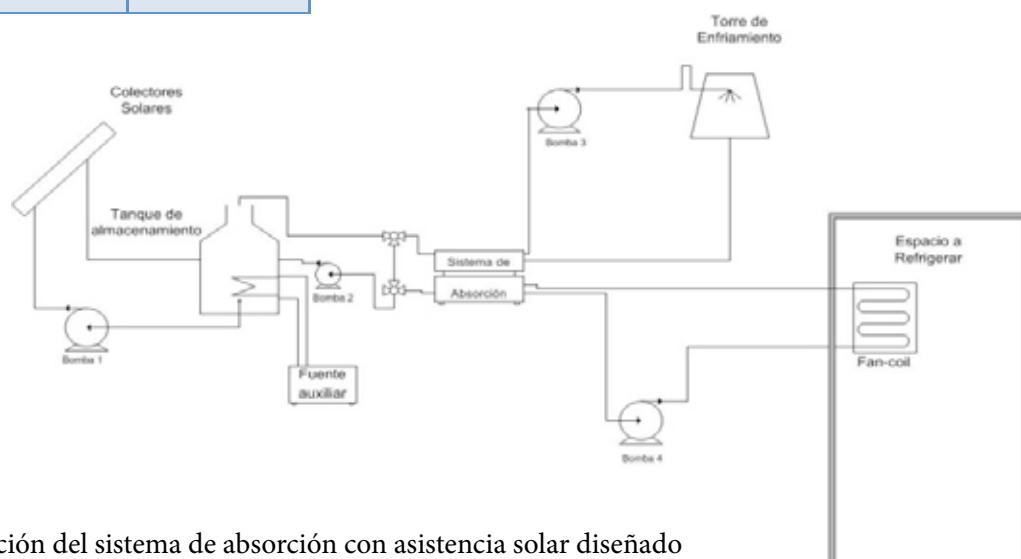


Figura 4: configuración del sistema de absorción con asistencia solar diseñado

### 2.3. Parámetros de Diseño

Para la simulación se utilizó un absorbedor marca YAZAKI modelo WFC-SC10 de unos 35.2 kW de capacidad de refrigeración de tal manera que cubra con la carga de refrigeración calculada para las cuatro zonas.

La configuración del sistema de absorción con asistencia solar diseñado se presenta en la figura 4, en la misma se muestra la conexión de cada uno de los componentes del sistema.

La simulación se llevó a cabo utilizando colectores solares de placa plana. La tabla 4 presenta los principales parámetros de los colectores utilizados, así como los valores de los demás componentes.

Tabla 4. Parámetros utilizados en la simulación

Parámetro	Colector placa plana
Área de Captación	150.66 m <sup>2</sup>
Factor de eficiencia del colector [α]	0.758
Coeficiente de eficiencia [a <sub>1</sub> ]	3.73 W/K.m <sup>2</sup>
Coeficiente de eficiencia [a <sub>2</sub> ]	0.0051 W/K.m <sup>2</sup>
Inclinación de los colectores (orientación)	15 ° (sur)
Volumen del tanque de almacenamiento	6.8m <sup>3</sup>
Potencia de la fuente auxiliar	50 kW
Caudal de aire (torre de enfriamiento)	4.18 m <sup>3</sup> /s
Carga de refrigeración (torre de enfriamiento)	87.5 kW
Capacidad sensible (fan coils)	6.38 kW
Capacidad latente (fan coils)	1.66 kW

A continuación se presentan los métodos utilizados para el cálculo de los principales equipos del sistema:

#### 2.3.1 Colectores solares Térmicos

Para el cálculo de los colectores solares térmicos existen diferentes métodos, cuya principal diferencia es la precisión y complejidad del cálculo. Para una primera aproximación del tamaño requerido del campo de colectores solares térmicos se utilizó la “regla del pulgar” presentada por Martin, H. [12]

$$A_{spec} = \frac{1}{I \cdot \eta_{col} \cdot COP} \quad (1)$$

Donde:

$A_{spec}$ : Área específica de captación por unidad de capacidad de enfriamiento nominal (m<sup>2</sup>/kW<sub>enf</sub>)

$I$ : La intensidad de radiación o irradiación (kW/m<sup>2</sup>)

$\eta_{col}$ : Eficiencia de los colectores

$COP$ : Coeficiente de desempeño nominal de máquina de absorción

Luego se utilizó el método f-chart cooling propuesto por Joudi, K. , Abdul-Ghafour [29] para determinar la fracción solar fracción solar a la que trabajará el equipo, en función del área de captación. Para ello es necesario calcular los siguientes parámetros:

$$Y_c = \frac{\overline{COP} \cdot F_R \cdot (\tau\alpha) \cdot A_c \cdot \bar{H}_T}{\overline{CL}} \quad (2)$$

$$X_c = \frac{\overline{COP} \cdot F_R \cdot U_L (t_{ref} - \bar{t}_a) \cdot \bar{H}_T \cdot \Delta t}{\overline{CL}} \quad (3)$$

Donde:

$Y_c$ : Relación de la energía mensual absorbida en la superficie de captación entre la energía necesaria para operar el absorbedor

$X_c$ : Relación de la energía mensual de referencia de los colectores, tuberías y tanque de almacenamiento entre la energía requerida para operar el absorbedor

$\overline{COP}$ : Coeficiente de desempeño promedio mensual

$\bar{H}_T$ : Es la irradiación mensual promedio

$F_R$ : Factor de corrección para poder asumir que  $T_{salida}$  es igual a la temperatura del colector

$A_c$ : superficie del captación

$(\tau\alpha)$ : Producto de los coeficientes de transmitancia y absorptancia del colector.

$\overline{CL}$ : Energía de enfriamiento que proporciona la máquina de enfriamiento

$t_{ref}$ : Temperatura que se usa como referencia y lleva un valor de 100°C

$\Delta t$ : Es el número de segundos durante los cuales estará encendida la máquina de enfriamiento

$\bar{t}_a$ : Temperatura promedio mensual

Una vez calculados los valores de  $X_c$  y  $Y_c$ , para el área de captación determinada se calculó la fracción solar ( $f$ ) utilizando la siguiente ecuación:

$$f = (A_0 + A_1 X_C + A_2 X_C^2) + (B_0 + B_1 X_C + B_2 X_C^2) Y_C + (C_0 + C_1 X_C + C_2 X_C^2) Y_C^2 \quad (4)$$

Los valores de los coeficientes se muestran a continuación:

Tabla 5. Coeficientes para el cálculo de la fracción solar [29]

$A_0 = 0.0663798$	$B_0 = 0.624435$	$C_0 = 0.03755762$
$A_1 = -0.134709$	$B_1 = 0.0187689$	$C_1 = 0.00629782$
$A_2 = -0.00133054$	$B_2 = 0.000195037$	$C_2 = 0.00041$

Una vez obtenida la fracción solar para cada mes, se realizaron varias simulaciones con TRNSYS para optimizar la configuración.

### 2.3.2 Tanque de Almacenamiento

Para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento se utilizaron dos enfoques. El primero de ellos se basa en el método de *cooling f-chart*. A partir del cual utilizando el factor  $Y_c$  junto con la figura 5, se encuentra una relación entre el volumen del tanque de almacenamiento y el área de captación.

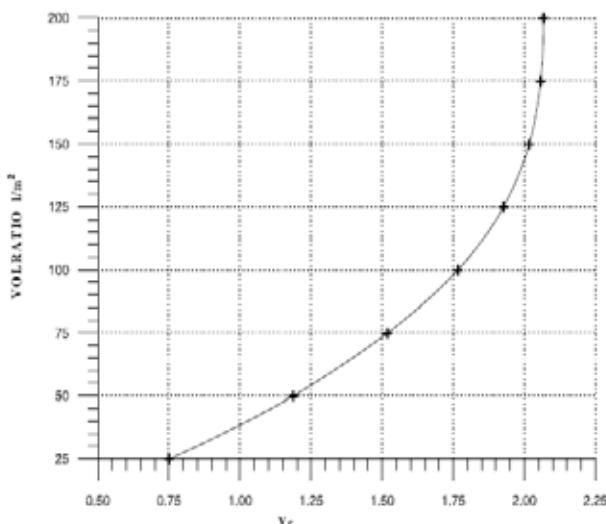


Figura 5. Volumen de almacenamiento /área de captación en función de  $Y_c$  [29]

El otro enfoque consiste en utilizar la gráfica presentada en la figura 6. En esta gráfica se utiliza la diferencia de temperatura entre el medio ambiente y el agua contenida en el tanque de almacenamiento, y el COP del equipo absorción para obtener el volumen del tanque de almacenamiento en metros cúbicos por kWh de refrigeración.

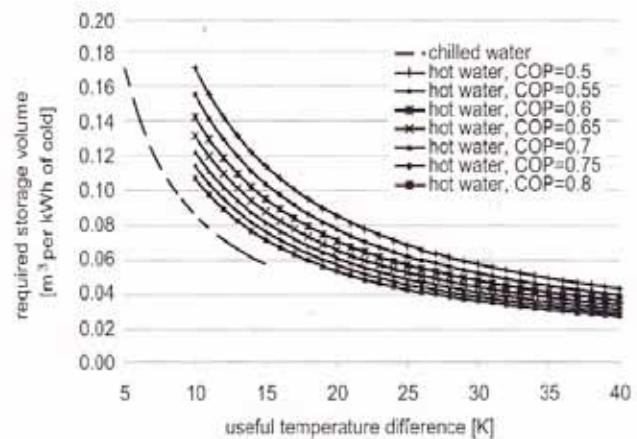


Figura 6. Volumen del tanque de almacenamiento en función de la diferencia de temperatura y el COP del absorbédo [12].

### 2.3.3 Fuente Auxiliar

Para el dimensionamiento del calentador auxiliar se debe conocer la caída de temperatura que habrá en el generador de la máquina de absorción. Conociendo el caudal de generador del absorbédo según las especificaciones del absorbédo escogido y el calor específico del fluido (en este caso agua) se puede encontrar el valor de la fuente auxiliar con la siguiente ecuación:

$$P_{aux} = c_p \dot{V} \rho \Delta T \quad (5)$$

Donde

$P_{aux}$ : Potencia del equipo auxiliar (kw)

$c_p$ : Flujo volumétrico (l/s)

$\dot{V}$ : Densidad del fluido (kg/l)

$\rho$ : Calor específico del fluido (kj/kg·°C)

$\Delta T$ : Cambio de temperatura en el generador (°C)

### 2.3.4 Torre de Enfriamiento

Para seleccionar las especificaciones que debe tener una torre de enfriamiento se utilizaron los siguientes criterios de dimensionamiento:

- Caudal de aire 130 – 170 m<sup>3</sup>/h por kW de capacidades de enfriamiento de la torre [12].
- Consumo energético del abanico 6–10 W por kW de enfriamiento de la torre para abanicos axiales y 10-20 W por kW de enfriamiento abanicos radiales
- Cuando se utilizan sistemas de absorción, la carga aproximada que debe manejar la torre de enfriamiento se puede aproximar a 8.86 kW/TR, donde TR son las toneladas de refrigeración del equipo de absorción. [30].

### 2.3.5 Fan Coil

La selección del fan coil depende de las condiciones de diseño del recinto. Su capacidad de enfriamiento varía entre 0.5 a 10 kW. El consumo eléctrico del abanico es de 3 a 7 % si trabaja a la velocidad baja y de 1 a 2.4 % de la carga de enfriamiento, si trabaja en alta velocidad.

En caso de ser un sistema de aire de recirculación el flujo de aire que debe manejar el fan coil lo define la carga sensible del recinto, de lo contrario el caudal de aire de suministro será la suma del caudal establecido por el calor sensible y el aportado para la ventilación del recinto. El condensando producido en el fan coil puede ser contabilizado utilizando la siguiente ecuación [30]:

$$m_w = \frac{(V_{aire})(\omega_2 - \omega_1)}{1556} \quad (6)$$

Donde

$m_w$  : masa de agua condensada (lb agua/hora)

$V_{aire}$ : flujo de aire (CFM)

$\omega_2$  : humedad específica a la salida del fan coil (lb agua/lb aire seco)

$\omega_1$ : humedad específica a la entrada del fan coil (lb agua/lb aire seco)

### 2.4. Control

El encendido y apagado de la bomba que impulsa el agua entre los colectores y el tanque de almacenamiento, se simuló utilizando un sistema de control que la enciende cuando la diferencia de temperatura entre la

salida de los colectores y la parte más baja del tanque de almacenamiento es mayor a cero y la apaga cuando esta diferencia es menor. Esto se hizo así para evitar simular el efecto de estancamiento que se produce en los colectores solares.

Para tener un control sobre la temperatura que entra al generador del absorbédo se colocó a su entrada una válvula mezcladora y a la salida del generador una válvula de temperatura, con la finalidad de que esta última pueda desviar una cantidad de flujo específica para mantener a la entrada del generador una temperatura constante en un valor seleccionado.

La capacidad de refrigeración de los sistemas de absorción varía con la temperatura de entrada al generador y la carga térmica de las zonas diseñadas varía a lo largo del año. Sin embargo existen días en que la carga está por encima de los valores promedios e incluso días en que se encuentra por encima de la capacidad del sistema de absorción. Por tal motivo es muy importante tener un control que sea capaz de aumentar o disminuir la temperatura de la fuente de calor, con el objetivo de aumentar o disminuir la capacidad de sistema de absorción, ya que la temperatura no puede aumentar más de 80° C, porque se puede dar cristalización del bromuro de litio. Para ello, dentro de la configuración se incluyó un calentador eléctrico auxiliar.

Durante la simulación se utilizó una temperatura de entrada al generador de 80 °C y la temperatura de la fuente auxiliar fue de 81°C y en los momentos donde la carga térmica era superior a la nominal del equipo, se procedió a aumentar la temperatura de entrada en 3 °C.

### 2.5. Condiciones de Simulación

Se simuló un año, considerando una ocupación de las zonas térmicas en un horario de 8:00 a.m. a 4:00 p.m. de lunes a viernes.

### 2.6. Comparación con Sistema Split

Para comparar el rendimiento y el consumo eléctrico de los sistemas de absorción con los sistemas de compresión se utilizó el type 597 de la librería de HVAC de TRNSYS, el cual permite simular sistemas de aire acondicionado tipo split. El equipo seleccionado para la simulación es el modelo 38HDF030 de la marca Carrier con un evaporador modelo 40QNC030 de la misma marca. Las principales especificaciones de este equipo se pueden ver en la tabla 5.

Tabla 6. Especificaciones del sistema split.

<b>Modelo</b>	<b>38HDF030 Carrier</b>
<b>Capacidad de Refrigeración</b>	<b>8.79 kW</b>
<b>Caudal de Aire</b>	<b>530 CFM a 730 CFM</b>
<b>Refrigerante</b>	<b>R-410</b>
<b>Consumo eléctrico compresor</b>	<b>2.31</b>
<b>Abanico del compresor</b>	<b>1/4 HP</b>
<b>Abanico del Evaporador</b>	<b>74 Watts</b>

Por último se estudiaron distintas relaciones paramétricas que puedan servir de referencia para la evaluación del sistema simulado.

### 3. Resultados

#### 3.1. Sistema de Absorción

Las figuras 7 y 8 muestran las condiciones climáticas de las zonas térmicas durante la segunda semana del mes de enero. Se puede observar que la temperatura de bulbo seco de cada zona está cercana a los 23°C mientras que su humedad relativa está cerca del 60 %.

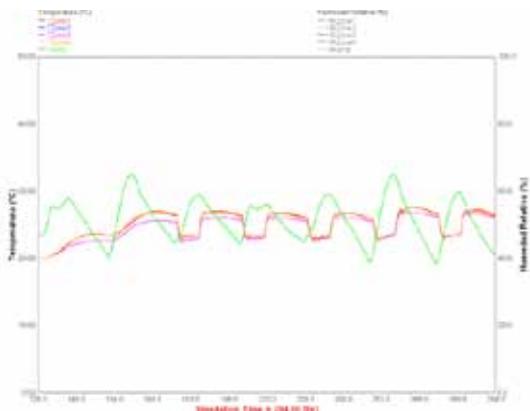


Figura 7. Temperatura de bulbo seco de las zonas térmicas.

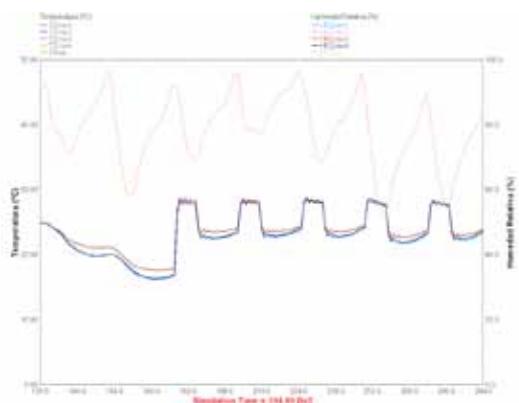


Figura 8. Humedad relativa de las zonas térmicas.

La figura 9 muestra la fracción solar durante cada mes del año que se obtiene con el área de captación de diseño.

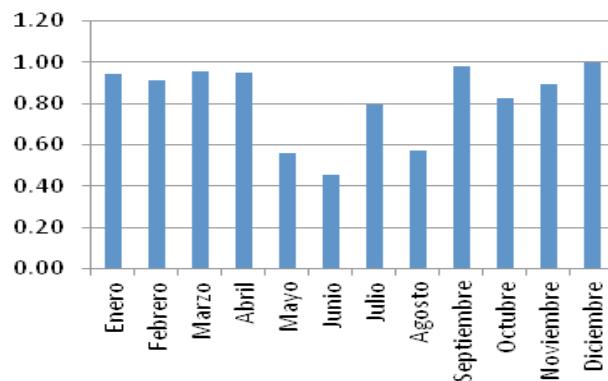


Figura 9. Fracción solar.

#### 3.2. Sistema de Compresión

En las figuras 10 y 11 se presentan las condiciones de las zonas térmicas para la segunda semana de enero utilizando el equipo de compresión. Se puede observar que el equipo split logra mantener en las zonas térmicas unas condiciones alrededor de 23°C y 50 % de humedad de relativa.

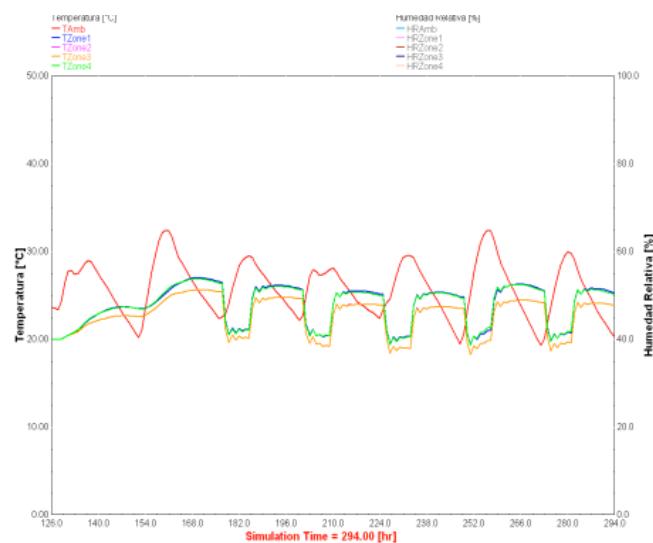


Figura 10. Temperatura de bulbo seco para las zonas térmicas (sistema Split).

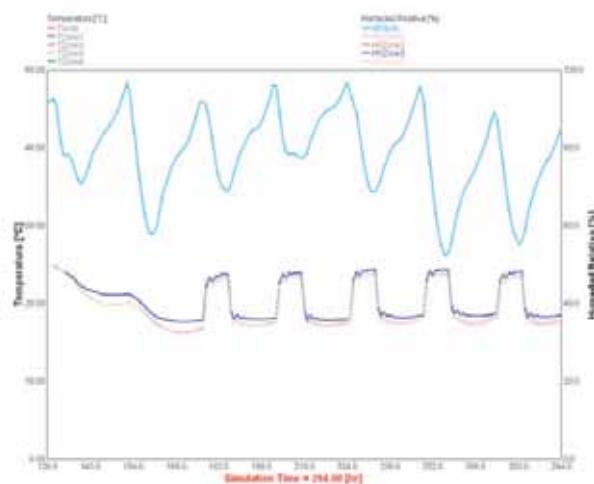


Figura 11. Humedad relativa para las zonas térmicas (sistema Split).

### 3.3. Comparación de Sistemas

Al simular ambos sistemas por año, se obtuvo para comparación el consumo eléctrico de ambos.

En el caso del equipo de absorción se simularon dos posibles situaciones: la primera con el uso de una fuente auxiliar de tipo eléctrica, y la segunda utilizando una fuente auxiliar a gas.

En la figura 12 se presentan los consumos eléctricos de las tres variantes de sistemas de aire acondicionado: el sistema de aire acondicionado por absorción utilizando fuente auxiliar eléctrica, el sistema de absorción utilizando fuente auxiliar a gas y sistema de aire acondicionado por compresión tipo split.

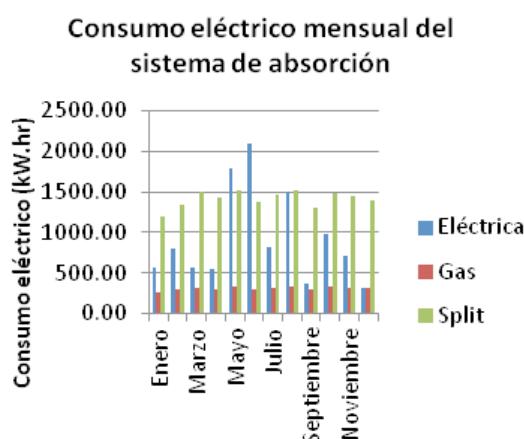


Figura 12. Consumo eléctrico mensual de los sistema aire acondicionado simulados.

La tabla 7 presenta el consumo eléctrico anual de cada equipo de aire acondicionado y el porcentaje de ahorro de los sistemas de absorción en comparación con el equipo por compresión. También se simuló el consumo eléctrico en el caso de que se quiera utilizar un sistema híbrido, absorción-compresión, en el cual el sistema de compresión trabaje en los meses donde el equipo de absorción, consume más energía eléctrica que el sistema de compresión, debido a las bajas radiaciones.

Tabla 7. Consumo eléctrico anual del sistema de absorción.

Sistema	Fuente Auxiliar	Consumo Eléctrico Anual (kW.hr)	% de ahorro
Absorción	Eléctrica	11030.57	34.99
Absorción	Gas	3684.28	78.29
Compresión	--	16966.68	0
Híbrido	Eléctrico	10065.60	40.67

### 3.4. Análisis Paramétricos

La figura 13 presenta la relación entre el consumo de energía eléctrica y el área de captación, para un sistema de absorción con una temperatura de operación controlada y una fuente auxiliar eléctrica.

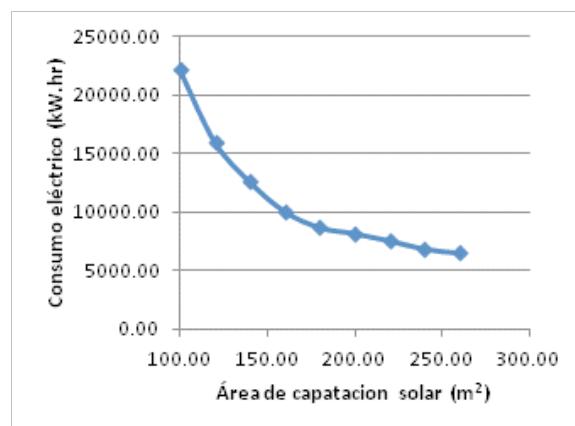


Figura 13. Consumo eléctrico anual vs área de captación solar.

La fracción solar es otro parámetro a tomar en cuenta en el diseño de sistema de aire acondicionado solar ya que al tener una fracción solar alta el uso de la fuente auxiliar es menor.

La figura 14 muestra la relación entre la fracción solar anual y el área de captación.

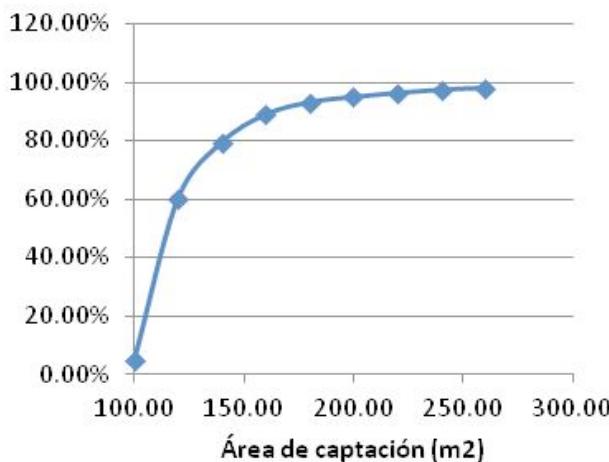


Figura 14. Fracción solar anual vs área de captación.

También se estudió el comportamiento del consumo eléctrico en función del volumen de almacenamiento de agua caliente. Este comportamiento se presenta en la figura 15.

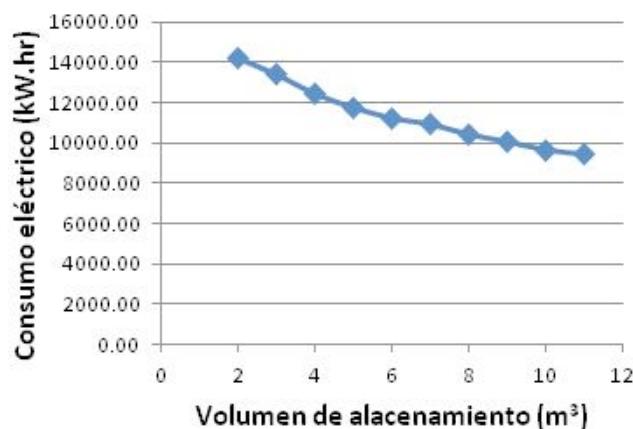


Figura 15. Consumo eléctrico anual vs volumen de almacenamiento de agua caliente.

#### 4. Conclusiones

A través de los resultados se puede concluir que los sistemas de aire acondicionado por absorción son capaces de refrigerar zonas térmicas en las condiciones climáticas de Panamá.

Por otro lado el sistema de aire acondicionado por absorción consumió alrededor de un 65% menos

energía eléctrica que la consumida por los equipos de compresión. Este porcentaje se puede disminuir, pero dependerá de parámetros como la temperatura de operación del generador y el área de captación. El mayor consumo de energía eléctrica por parte de los equipos de absorción se da cuando se utilizan altas temperaturas de operación en conjunto con uso de fuentes auxiliares de tipo eléctrico.

Los análisis paramétricos revelaron que el consumo eléctrico de un sistema de absorción se reduce en la medida en que se aumenta el área de captación solar debido a que aumenta la cantidad energía que aporte el sol, reduciendo al mismo tiempo el uso de fuentes auxiliares. También que el uso de tanques o sistemas de almacenamiento de mayor tamaño reduce el uso de la fuente auxiliar que en caso de ser eléctrica, reduciría el consumo del sistema de aire acondicionado por absorción. Por último que el área de captación juega un papel importante sobre el consumo eléctrico global del sistema.

#### 5. Agradecimiento

Agradecemos a la Secretaría Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (SENACYT) por el apoyo económico suministrado para llevar a cabo esta investigación.

#### Referencias

- [1] B. CA, G. G., H. HM, C. A., F. I. y e. a. Podesser E., «Solar air conditioning in Europe - an overview.» Renewable and Sustainable Energy Review, vol. 2, pp. 299-314, 2007.
- [2] H. HM., «Solar assisted air conditioning of buildings - an overview.» Applied Thermal Engineering, vol. 27, pp. 299-314, 2007.
- [3] C. XG, «Solar absorption cooling in spain: perspectives and outcomes from the simulation of recent instalations.» Renewable Energy , vol. 31, pp. 1371-1389, 2006.
- [4] Secretaría Nacional de Energía, «Política Nacional para el Uso Racional y Eficiente de la Energía,» Panamá, 2012.
- [5] J. Gustavsson, C. Cederberg y U. Sonesson, «Pérdidas y desperdicios de alimentos en el mundo,» FAO, Düsseldorf, Alemania, 2011.
- [6] S. d. I. C. d. Frío, «Cadena de Frío,» Ministerio de la Presidencia, 2012. [En línea]. Available: <http://www.cadenadefrio.gob.pa/Proyecto-Cadenadefrio.html>. [Último acceso: 21 Mayo 2012].
- [7] H. HM., Solar assisted air conditioning in buildings., Wien, New York: Springer, 2004.
- [8] A.-A. A. M. Islam, Y. H. I. Kubo y R. Radermacher, «Modeling of a solar powered absorption cycle for Abu Dhabi,» Applied Energy, nº 93, pp. 160-167, 2012.
- [9] D. Kim y C. Infante Ferreira, «Solar refrigeration options - a state of the art review,» International Journal of Refrigeration , vol. 31, pp. 3-15, 2008.
- [10] K. Fong, T. Chow, C. Lee, Z. Lin y L. Chan, «Comparative study of different solar cooling systems for buildings in subtropical city,» Solar Energy, vol. 84, pp. 227-244, 2010.
- [11] I. Pilatowsky, Métodos de producción de frío., México, D.F: Universidad Autónoma de México, 1993.

- [12] H.-M. Henning, Solar Assisted Air Conditioning in Buildings: A Handbook for Planners, Viena: SpringerWienNewYork, 2007.
- [13] P. Rufes y Á. L. Miranda, Ciclos de Refrigeración, Barcelona, España: CEAC, 2004.
- [14] Z. Li y K. Sumathy, «Technology development in the solar absorption air-conditioning systems,» Renewable & Sustainable Energy Reviews, nº 4, pp. 267-293, 2000.
- [15] C. A. Blaras, H.-M. Henning, E. Wiemken, G. Grossman, E. Podesser y C. A. I. Ferrira, «Solar Cooling. An Overview of European Applications & Design Guidelines,» ASHRAE Journal, vol. 48, 2006.
- [16] L. Chidambaram, A. Ramana, G. Kamaraj y R. Velraj, «Review of solar cooling methods and thermal storage options,» Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, pp. 3220-3228, 2011.
- [17] F. Asdrubali, G. Baldinelli y A. Presciutti, «Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento da Agenti Fisici,» [En línea]. Available: <http://www.ciriaf.it/ft/File/Pubblicazioni/pdf/1439.pdf>. [Último acceso: 12 Marzo 2012].
- [18] T. G. R.Z. Wang, C. Chen, Q. Ma y Z. Xiong, «Solar sorption cooling systems for residential applications: Options and guidelines,» International Journal of Refrigeration, vol. 32, pp. 638-660, 2009.
- [19] A. Luna, N. Velázquez, R. Gallegos y B. Gonzalo, «Aire Acondicionado solar, Para Conjunto de Viviendas en Mexicali, México,» Información Tecnológica, vol. 19, nº 1, pp. 45-56, 2008.
- [20] I. E. A. (IEA), «Technology Roadmap: Solar Heating and Cooling,» IEA, Francia, 2012.
- [21] V. Mittal, K. Kasana y N. Thakur, «Modelling and simulation of a solar absorption cooling system for India,» Journal of Energy in Southern Africa, vol. 17, nº 3, pp. 65-70, 2006.
- [22] H. Vidal y P. Mansilla, «Optimización de un Sistema de Refrigeración por absorción asistido por Energía Solar utilizando TRNSYS,» Frio y Calor, vol. 99, 2009.
- [23] P. Bourdoukan, «Description of simulation tools used in solar cooling,» Task 38. Solar Air-Conditioning and Refrigeration, Alemania, 2009.
- [24] G. A. Florides, S. Kalogirou, S. Tassou y L. Wrobel, «Modelling and simulation of an absorption solar cooling system for Cyprus,» Solar Energy, vol. 72, pp. 43-51, 2002.
- [25] F. Assilzadeh, S. Kalogirou, Y. Ali y K. Sopian, «Simulation and optimization of a LiBr. solar absorption cooling system with evacuated tube collectors,» Renewable Energy, vol. 30, nº 8, pp. 1143-1159, 2005.
- [26] J. G. Cascales, F. V. García, J. C. Izquierdo, J. D. Marín y R. M. Sánchez, «Modelling an absorption system assisted by solar energy,» applied Thermal Engineering, vol. 31, pp. 112-118, 2011.
- [27] K. Fong, C. Lee, C. Chow y S. Yuen, «Simulation-optimization of solar-thermal refrigeration systems for office use in subtropical Hong Kong,» Energy, vol. 36, pp. 6298-6307, 2011.
- [28] University of Wisconsin, «TRNSYS,» Solar Energy Laboratory, Febrero 2013. [En línea]. Available: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/index.html>. [Último acceso: 25 Marzo 2013].
- [29] K. A. Joudi y Q. J. Abdul-Ghafour, «Development of design charts for solar cooling systems Part II: application of the cooling f-chart,» Energy Conversion and Management, vol. 44, pp. 341-355, 2003.
- [30] E. G. Pita, Acondicionamiento de Aire, México: CECSA, 2009.

