



# **TECNOLOGÍA** *en marcha*

## Contenido

Estudio de las características morfológicas y fisiológicas de *Chlorella protothecoides* orientado hacia la producción de lípidos para biocombustible

Study of morphological and physiological characteristics of *Chlorella protothecoides* oriented to lipid production for biofuel

*Gabriel Rodríguez-Castillo, Carla Amarelo-Santos, Maritza Guerrero-Barrantes, Alberto Delgado dos Reis* ..... 3

Impact of the strategy, strategy-making and its formalization in the export performance of SMEs, in the province of Cartago

Impacto de la estrategia, la forma de elaborarla y su formalización en el desempeño exportador de las PYMES, de la provincia de Cartago

*Mónica M. Navarro-Calvo, José Martínez-Villavicencio* ..... 12

Selección teórica de adsorbentes potenciales naturales de bajo costo para la remoción de arsénico en el agua de consumo humano en Costa Rica

Potential natural low-cost adsorbents for the removal of arsenic in drinking water in Costa Rica

*Andrea Acuña-Piedra, Andrés Araya-Obando, Luis G. Romero-Esquivel*..... 23

Aplicación de la disciplina de Administración de Procesos de Negocio en la elaboración de una propuesta metodológica dirigida al Centro de Investigaciones en Computación (CIC) del Instituto Tecnológico de Costa Rica, para la prestación de servicios a organizaciones externas

Applying the discipline of Business Processes Management in the development of a methodology for supplying of services to external organizations at the Computing Research Center of the Technological Institute of Costa Rica

*Herberth Torres-Ruiz, Jeff Schmidt-Peralta* ..... 35

Emission spectroscopy of an atmospheric pressure plasma Espectroscopia de Plasmas en condiciones de presión atmosférica <i>José Asenjo-Castillo, Iván Vargas-Blanco</i> .....	47
Redes de Turismo Rural Comunitario: La experiencia de Argentina y Costa Rica Rural Community Tourism Networks: The experience of Argentina and Costa Rica <i>Valeria Murillo-Soto</i> .....	59
Diagnóstico Comparativo de Normas de Sostenibilidad de Costa Rica y Colombia: Certificación de Sostenibilidad Turística y Certificado de Calidad Turística / Sello Ambiental Comparative Diagnostic of Standards of Sustainability from Costa Rica and Colombia: Sustainable Tourism Certification and Quality Tourism Certificate / Environmental Seal <i>Johan Saborío-Jiménez</i> .....	69
Comparación entre el Programa de Evaluación de Puentes de “e-Bridge” en Costa Rica y el Sistema de Administración de Puentes en República Checa Comparison between the Bridges Evaluation Program “E-Bridge” in Costa Rica and the Bridge Management System in Czech Republic <i>Cristian Augusto Ramírez-Alméciga</i> .....	79
Cuantificación del Transporte de Sedimentos en el río La Estrella, Limón, Costa Rica Quantifying Sediment Transport in La Estrella River, Limón, Costa Rica <i>Andrés Cervantes-Córdoba, Ana María Ferreira da Silva, Isabel Guzmán-Arias, Karolina Villagra-Mendoza</i> .....	86

# Estudio de las características morfológicas y fisiológicas de *Chlorella protothecoides* orientado hacia la producción de lípidos para biocombustible

Study of morphological and physiological characteristics of *Chlorella protothecoides* oriented to lipid production for biofuel

Gabriel Rodríguez-Castillo<sup>1</sup>, Carla Amarelo-Santos<sup>2</sup>,  
Maritza Guerrero-Barrantes<sup>3</sup>, Alberto Delgado dos Reis<sup>4</sup>

Fecha de recepción: 5 de noviembre 2015  
Fecha de aprobación: 11 de marzo de 2016

Rodríguez-Castillo, G; Amarelo-Santos, C; Guerrero-Barrantes, M; Delgado dos Reis, A. Estudio de las características morfológicas y fisiológicas de *Chlorella protothecoides* orientado hacia la producción de lípidos para biocombustible. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, Número Especial Estudiantes 3. Pág 3-11.  
DOI: 10.18845/tm.v29i6.2897

- 1 Ingeniero en Biotecnología, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago. Costa Rica. Correo electrónico: gabrielest.rodriguez@gmail.com
- 2 PhD. Ingeniera Ambiental, investigadora de la Unidad de Bioenergía del Laboratorio Nacional de Energía y Geología, Lisboa, Portugal. Correo electrónico: carla.santos@lneg.pt
- 3 MSc. Bióloga con énfasis en Ecología, docente e investigadora de la Escuela de Biología, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. Correo electrónico: mguerrero@itcr.ac.cr
- 4 PhD. Ingeniero Químico, coordinador adjunto e investigador de la Unidad de Bioenergía del Laboratorio Nacional de Energía y Geología, Lisboa, Portugal. Correo electrónico: alberto.reis@lneg.pt



## Palabras clave

*Chlorella protothecoides*; citometría de flujo multiparamétrica; autotrofia; heterotrofia; biocombustible.

## Resumen

Las microalgas tienen un enorme potencial como fuente energética, pero el alto costo de la producción de biodiesel a gran escala, hace que este sistema aún no sea sustentable. Existen alternativas económicamente promisorias que involucran cultivos auto- y heterotróficos con el fin de mejorar los rendimientos. Sin embargo, no todos los microorganismos tienen la capacidad que tiene *Chlorella protothecoides*, para crecer solo con una fuente de nitrógeno o de carbono orgánico. Con el fin de estudiar su morfología y fisiología, se cultivó *C. protothecoides* autotrófica y heterotróficamente en biorreactores de columna de burbujas con aireación constante. El monitoreo y control de las variables se realizó por medio de citometría de flujo multiparamétrica, utilizando Yoduro de Propidio y Rojo Nilo. Los resultados mostraron que las microalgas en sus fases de crecimiento presentan diferencias en tamaño, contenido celular y cantidad de lípidos, hasta una concentración máxima de 24,5% m/m de ácidos grasos y 4,5 g/l de biomasa; además, que en crecimiento heterotrófico las células tienden a perder sus cloroplastos y su capacidad fotosintética, aumentando la eficiencia en la producción de ácidos grasos.

## Keywords

*Chlorella protothecoides*; multiparametric flow cytometry; autotrophic; heterotrophic; biofuel.

## Abstract

The microalgae have an enormous potential as energetic source, though the massive production of biodiesel has really high costs, which make the system not sustentable. There exist low costs alternatives that involve auto- and heterotrophic crops to improve the performance; however, not all microorganisms have the same capacity that *Chlorella protothecoides* has to grow just with a nitrogen or carbon source. To study its morphology and physiology, *C. protothecoides* was cropped autotrophically and heterotrophically in glass bubble column bioreactors with constant airflow. The control of variables was done through multi-parametric flow cytometry using Propidium Iodide and Nile Red. The results showed that the microalgae in their growing phases have different sizes, cellular content and lipid concentration, with a maximum of 24.5% w/w of lipid acids and 4.5 g/l of biomass. There was also observed that in the heterotrophic growth, the cells lose their chloroplasts and their photosynthetic capacity, increasing the efficiency in the production of lipid acids.

## Introducción

Las microalgas son consideradas biofábricas que convierten el dióxido de carbono y luz solar en biocombustibles, alimentos, piensos, biofertilizantes y bioactivos, potenciales. Estos organismos tienen también la capacidad de ser utilizados en servicios de biorremediación, fijación de nitrógeno y absorción de CO<sub>2</sub> (Chisti, 2007; Loera-Quezada & Olguín, 2010; Lafarga, 2012). Por esta razón, las microalgas son vistas como materia prima alternativa para la próxima generación de combustibles, que se acompañará de una mayor cantidad de subproductos y servicios con alto valor agregado (Chisti, 2007).

Las microalgas en situaciones de estrés provocadas por condiciones ambientales, tanto químicas como físicas, sintetizan y acumulan ácidos grasos. Los principales estímulos que afectan el crecimiento de estos microorganismos son la temperatura, la intensidad luminosa, la deficiencia de nutrientes (nitrógeno, fósforo, azufre y silicio), la salinidad, la concentración de CO<sub>2</sub> y el pH del medio de cultivo, de estos la deficiencia de nitrógeno es el principal factor que incide en el metabolismo de los lípidos (Loera-Quezada & Olguín, 2010). Santos *et al.* (2013) comprobaron que un aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> en la entrada de aire de un cultivo autotrófico de *Chlorella protothecoides* incrementó la productividad de biomasa y lípidos en 94% y 87% respectivamente, en comparación con el control.

Una alternativa económicamente viable para la producción industrial de biocombustible a base de microalgas es utilizar un sistema de crecimiento auto- y heterotrófico, el cual permite aumentar la producción de biomasa y la acumulación de alta cantidad de lípidos (Miao & Wu, 2006). Investigaciones reportaron que *C. protothecoides* cultivada en un medio adicionado con glucosa y disminuido en nitrógeno inorgánico alcanzó un contenido de lípidos de 69,32%, más alto que en un medio autotrófico (Xiong *et al.*, 2010). Santos *et al.* (2011) utilizaron una conexión de CO<sub>2</sub> gaseoso de un cultivo heterotrófico de *C. protothecoides* a uno autotrófico y obtuvieron un aumento de biomasa del 30% y un aumento de lípidos del 100%, en comparación con los controles. Estos resultados permiten deducir que este sistema de crecimiento es uno de los más eficientes en la producción de biomasa y de ácidos grasos para biocombustible.

El crecimiento algal depende de factores intrínsecos como la proliferación, la viabilidad celular, la fase de crecimiento y la edad del cultivo (Arias *et al.*, 2013). El monitoreo de la concentración de biomasa es crucial durante el proceso bioquímico, ya que permite la obtención de los lípidos en una alta concentración y con el máximo rendimiento (Lopes da Silva *et al.*, 2004). Por ello, Lopes da Silva *et al.* (2009) validaron el uso de la citometría de flujo en un cultivo heterotrófico de *C. protothecoides* como instrumento para obtener información exacta y precisa sobre los estados fisiológicos de las células presentes en una población. Estos investigadores obtuvieron como resultado que existe una alta correlación entre la fluorescencia del colorante Rojo Nilo y el contenido total de lípidos.

La citometría de flujo mejora los alcances de las técnicas microbiológicas clásicas que controlan la viabilidad y la proliferación celular. Entre ellas, la densidad óptica, el peso seco y el recuento manual de las células o colonias dan información del crecimiento ligado con la división celular, pero no sobre el estado fisiológico individual de las células (Hewitt & Nebe-Von-Caron, 2001; Hewitt & Nebe-Von-Caron, 2004). La citometría, por su parte, permite conocer en detalle lo que ocurre en el cultivo celular *in situ*, muy cerca del tiempo real y con alto grado de resolución estadística (Elsey *et al.*, 2007). Esta técnica utiliza fluorocromos, los cuales facilitan el análisis de la viabilidad celular mediante la integridad de la membrana citoplasmática, como el Yoduro de Propidio (PI) (Lopes da Silva *et al.*, 2004). Además, por medio de la tinción fluorescente Rojo Nilo se puede cuantificar el contenido celular de lípidos *in situ* (Lopes da Silva *et al.*, 2012).

Estudios relacionados con el cultivo auto- y heterotrófico de *C. protothecoides* se han centrado en la manipulación de las variables, para mejorar las productividades y rendimientos de lípidos y biomasa. Sin embargo, no se conoce en detalle la fisiología de las células en el proceso de crecimiento y acumulación de lípidos, ni su relación con el tamaño y viabilidad celular. Es por ello que se determinó como objetivo de esta investigación estudiar las características morfológicas y fisiológicas de *C. protothecoides* cultivada en un medio autotrófico y heterotrófico en cascada para la producción de lípidos para biocombustible, mediante citometría de flujo.

## Materiales y métodos

Este estudio se llevó a cabo en el Departamento de Bioenergía del Laboratorio Nacional de Energía y Geología (LNEG), en Lisboa, Portugal.

Se utilizó la microalga *Chlorella protothecoides* cepa B25 procedente de la Colección de Cultivos de Algas UTEX de la Universidad de Austin Texas, EE.UU. Los inóculos provenientes de un cultivo autotrófico crecieron en Medio de Cultivo Básico (MCB) con una entrada de aire de 1 L/min a una temperatura de 27 °C y luz constante.

Para establecer un cultivo microalgal heterotrófico, se inoculó un biorreactor de columna de burbujas con 100 ml de la microalga *C. protothecoides* y 1 L de medio de cultivo compuesto de 20 g/L de dextrosa monohidratada, 2 g/L de extracto de levadura y 100 ml de agua de mar filtrada, a un pH de 7,2. El crecimiento se llevó a cabo a una temperatura de 28±1 °C, una entrada de aire de 1 L/min y en oscuridad.

Para llevar a cabo el crecimiento autotrófico, se introdujo un biorreactor de columna de burbujas con 100 ml de microalgas y 1 L de medio de cultivo MCB compuesto de 1,25 g/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 0,5 g/L  $\text{NaHCO}_3$ ; 1,25 g/L  $\text{KNO}_3$ ; 1 g/L  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0,11 g/L  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 1,15 g/L  $\text{FeEDTA} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ; 0,01mg/L de vitamina B1 y 10 ml de solución de elementos traza, a un pH de 7,2. Estos últimos en una concentración por litro de 286 mg  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; 154 mg  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ; 22 mg  $\text{ZnSO}_4$ ; 5 mg  $\text{CuSO}_4$ ; 6 mg  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  y 8 mg  $\text{CoCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Este tratamiento se cultivó en condiciones constantes de luminosidad, establecida a 2414,5 lux, a una temperatura de 28±1 °C y entrada de aire de 1 L/min.

Para monitorear el crecimiento celular en cada reactor, cada 24 horas se tomó una muestra de 5 ml de la cual se midieron el pH y la temperatura, y se observó al microscopio para valorar el crecimiento. La biomasa expresada en peso seco (g/l) se determinó por densidad óptica a 450 nm por duplicado, utilizando el espectrofotómetro de luz visible GENESYS 20 (Thermo Scientific, USA).

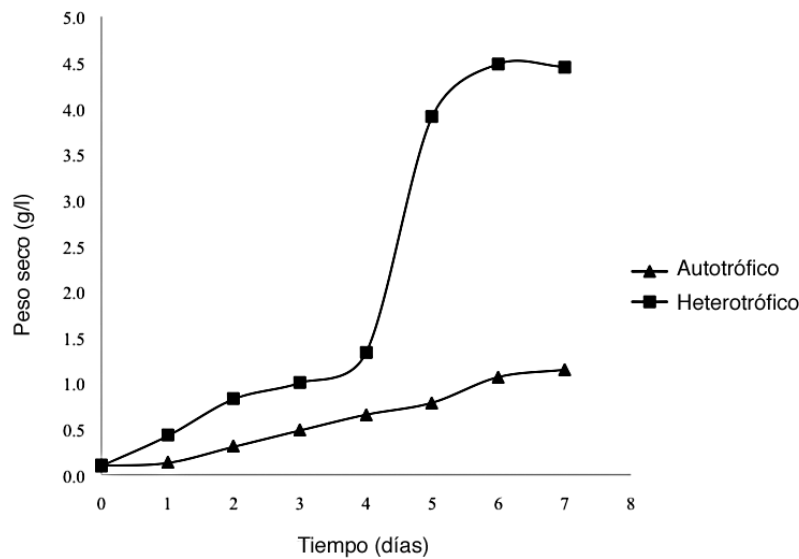
Con el fin de cuantificar *in vivo* el contenido de lípidos totales (neutrales y estructurales) y la viabilidad según el estado de la membrana celular, se tomaron muestras en cada uno de los modelos de crecimiento a los 3, 6 y 7 días y se analizaron por medio de un citómetro de flujo (Becton-Dickison Instruments™, FACS Calibur, Erembodegem, Belgium), equipado con un láser de argón de 488 nm. Para ello se utilizaron los colorantes Rojo de Nilo (Riedel de Haën, Buchs SG, Switzerland) para la cuantificación de lípidos, y Yoduro de Propidio (Invitrogen, Carlsbad, USA), para viabilidad celular, siguiendo el protocolo establecido por Lopes Da Silva *et al.* (2009). Además, para el análisis del tamaño y el contenido celular, se estudió la dispersión de la luz en los detectores FSC-H y SSC-H del citómetro.

## Resultados y discusión

Los resultados de la comparación de las variables tomadas en el cultivo heterotrófico y en el autotrófico, respectivamente, demuestran que el primero superó en productividad al segundo, en biomasa, ácidos grasos y en tasa de crecimiento (cuadro 1, figura 1). Esto probablemente se debe a la abundancia de carbono orgánico que contenía el cultivo heterotrófico, lo que incentivó un estrés nutricional. Meng *et al.* (2009) explican que el metabolismo fotosintético propio de las microalgas transforma el nitrógeno, la luz solar y el dióxido de carbono, en azúcares, lípidos y proteínas. Sin embargo, aumenta la acumulación de lípidos cuando se agota un nutriente esencial del medio, por lo general el nitrógeno, y existe un exceso de carbono en forma de glucosa (Wu, 2006), situación que posiblemente ocurrió en el reactor heterotrófico y que provocó el aumento en ácidos grasos y biomasa en relación con el autotrófico.

**Cuadro 1.** Parámetros de cinética y rendimiento de *C. protothecoides* en dos sistemas diferentes de crecimiento después de 7 días de cultivo.

Reactor	Productividad biomasa $\text{g l}^{-1}\text{h}^{-1}$	Tasa de crecimiento $\text{h}^{-1}$	Ácidos grasos, % m/m	Productividad á. grasos $\text{g l}^{-1}\text{h}^{-1}$
Heterotrófico	0,59	0,02	24,5	0,14
Autotrófico	0,16	0,01	7,0	0,01



**Figura 1.** Curva de crecimiento de biomasa en un cultivo auto y heterotrófico de *C. protothecoides*

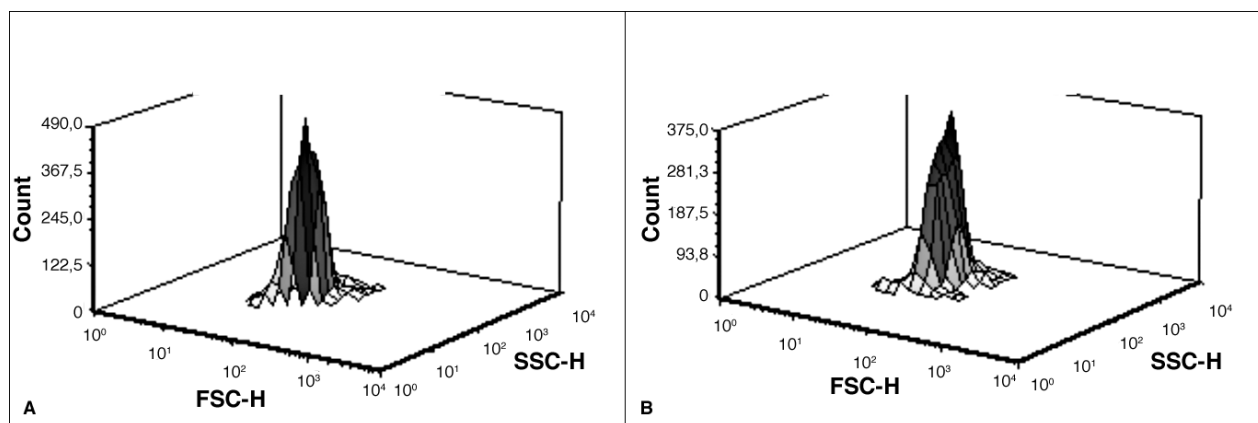
Los datos reportados del contenido de lípidos por citometría de flujo demuestran que en el reactor heterotrófico disminuyó la concentración de este metabolito del inicio al final de la fase estacionara (días 5 y 7), mientras que en el reactor autotrófico fue aumentando gradualmente la concentración de lípidos en el tiempo, hasta llegar a un máximo en la fase estacionaria (cuadro 2). Esto indica que el contenido lipídico es mayor en la fase de crecimiento estacionario que en la fase exponencial, debido a que estos compuestos solo se acumulan cuando las células están bajo condiciones de estrés fisiológico. Li *et al.* (2008) reportan que generalmente el contenido de lípidos durante la fase exponencial de crecimiento es menor o igual al 15% en peso seco, y en crecimiento estacionario, por la falta de nitrógeno, podría aumentar hasta el 70%.

Los resultados del análisis de viabilidad celular por citometría de flujo señalan que el cultivo heterotrófico presentó el mayor porcentaje de células viables y el menor porcentaje de células no viables, en comparación con el cultivo autotrófico (cuadro 2), esto debido posiblemente a que en comportamiento autotróficos las microalgas se ven más afectadas por factores ambientales que en comportamiento heterotróficos. Vonshak & Torzillo (2004) señalan que el cultivo autotrófico limita su crecimiento según la intensidad lumínica y la concentración de  $\text{CO}_2$  y nitrógeno presentes. A pesar de esto, ambos cultivos presentaron datos aceptables de viabilidad, sin que se evidenciaran efectos drásticos de las condiciones de cultivo sobre las células.

**Cuadro 2.** Porcentaje de células viables según integridad de la membrana celular y contenido de lípidos totales en un cultivo autotrófico y heterotrófico de *C. protothecoides*

Reactor	Días	Lípidos totales, %	Células viables, %	Células no viables, %
Heterotrófico	5	38,8	84,5	15,5
	6	32,5	93,8	6,2
	7	16,4	92,5	7,5
Autotrófico	3	6,5	78,1	21,9
	6	7,5	88,4	11,6
	7	8,5	89,7	10,3

Los resultados del análisis de la dispersión intrínseca de la luz mediante la citometría de flujo demuestran que las células tomadas a los días 5 y 7 de crecimiento, en el reactor heterotrófico, presentaban gran semejanza en el tamaño y contenido celular. No se observaron cambios importantes en estos parámetros, a pesar de la disminución en la cantidad total de lípidos determinada por fluorescencia (figura 2), esto debido a que ambas muestras se tomaron en la fase estacionaria. Según Tomaselli, (2004), la acumulación de lípidos intracelulares no es la única causa de cambio en el tamaño de las células; este también tiene que ver con la fase de división celular en que se encuentre el cultivo. En este reactor ambas muestras se encontraban en la fase estacionaria, donde hay mínima división celular.

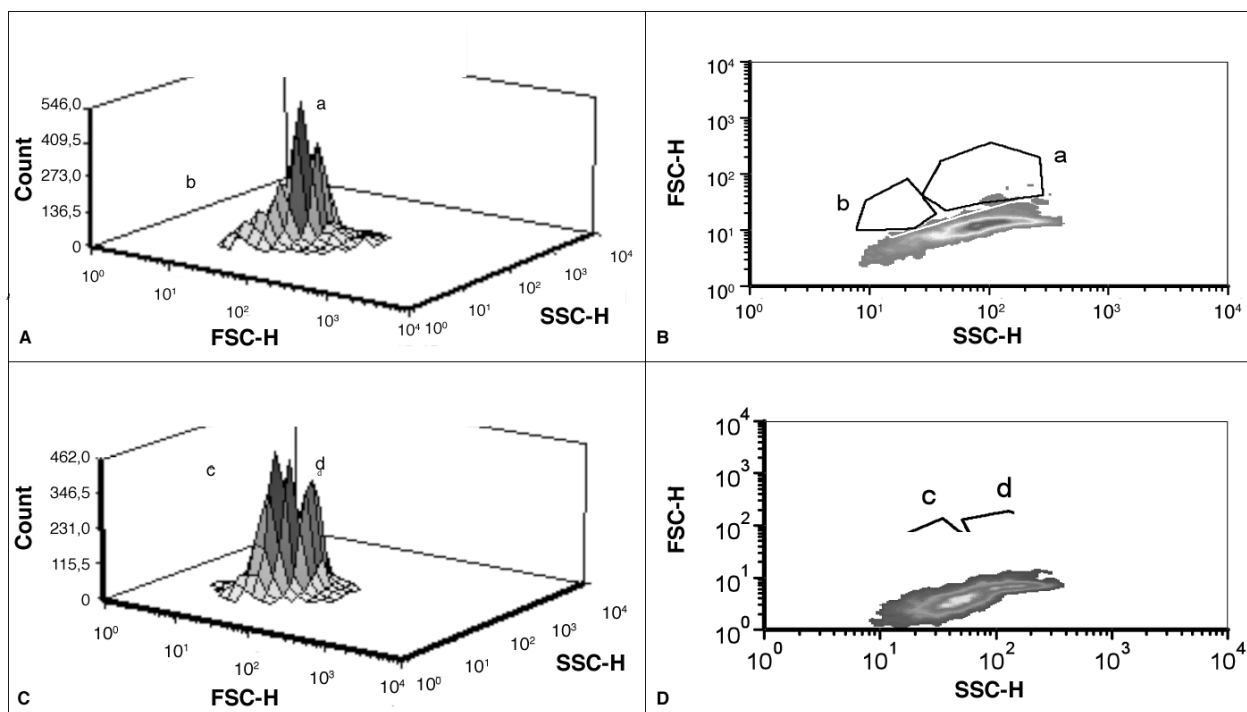


**Figura 2.** Análisis de la dispersión intrínseca de la luz por citometría de flujo multiparamétrica en dos diferentes muestras de cultivo heterotrófico de *C. protothecoides*, A) del día 5 y B) del día 7

En el reactor autotrófico, la dispersión intrínseca de la luz en las células tomadas el día 3 (fase exponencial), analizada por medio de citometría, mostró que la mayoría se aglomeraban en una subpoblación (a) en torno a una señal alta en SSC-H y FSC-H. Esto representa células más grandes y voluminosas que las de la subpoblación (b). Para el día 7 (fase estacionaria), se evidenció la presencia de dos grandes subpoblaciones, siendo la primera, (c), más densa, con

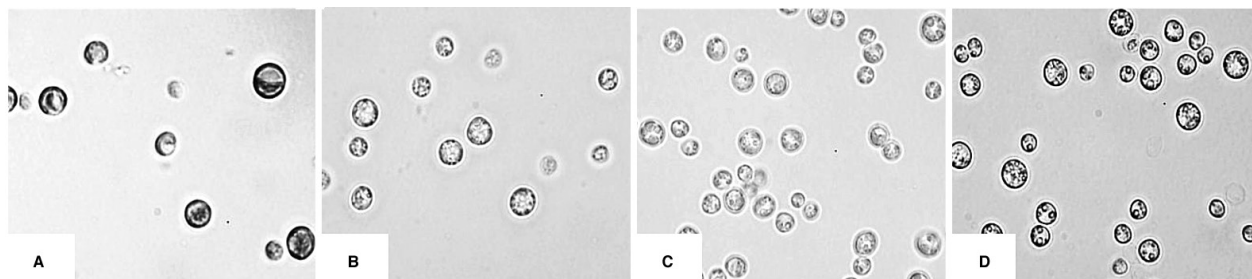


células menos grandes y menos voluminosas que la segunda, subpoblación (d) (figura 3). Esta diferencia de tamaños está relacionada con la fase de división celular en que las microalgas se encontraban, en el momento de la toma de la muestra. Según Tomaselli (2004), en la división celular la célula crece y todos los constituyentes celulares aumentan en número, de manera que cada célula hija reciba la misma información genética y una copia de todas las estructuras celulares (interfase), para luego realizar la división nuclear (mitosis). Por lo tanto, es probable que en crecimiento exponencial las células más abundantes correspondan a células madre en las primeras fases de división y, por el contrario, en la fase estacionaria la mayoría sean células más pequeñas y menos voluminosas, correspondiendo a una población con mayor cantidad de células hijas.



**Figura 3.** Análisis de la dispersión intrínseca de la luz por citometría de flujo multiparamétrica en dos diferentes muestras de cultivo autotrófico de *C. protothecoides*: A) y B) tomadas el día 3 de crecimiento, C) y D) el día 7

El monitoreo continuo del crecimiento celular en el reactor heterotrófico demostró, tanto macroscópica como microscópicamente, un cambio de color consistente en la pérdida de color verde conforme la microalga se adaptaba a las condiciones heterotróficas (figura 4). Este fenómeno se explica debido a la biodegradación de la clorofila, provocada por la falta de luz y de nitrógeno, condiciones ambientales esenciales para que se lleve a cabo la fotosíntesis. Xiong *et al.* (2010) realizaron un estudio por microscopía electrónica, donde demostraron que los cloroplastos eran claramente visibles en las células fotosintéticas, pero conforme pasaba el tiempo y las células se adecuaban al crecimiento heterotrófico, un número de gránulos de almidón se hacía visible. Las membranas de los tilacoides desaparecieron rápidamente en las 48 horas y en lugar de ello, el citoplasma se llenó totalmente de grandes gotas de lípidos. Al respecto, experimentos bioquímicos sugieren que la ruptura de la clorofila y la degeneración del cloroplasto se asocian con lipogénesis durante la etapa de fermentación.



**Figura 4.** *C. protothecoides* en diferentes fases del crecimiento en el reactor heterotrófico, A) el día 7, B) el día 9, C) el día 11, D) el día 14. A: 1000X.

Los resultados de esta investigación indican que en células en crecimiento heterotrófico se obtiene mejor productividad en biomasa, en ácidos grasos, en porcentaje de lípidos, y una tasa de crecimiento y una viabilidad celular más altas, con respecto al crecimiento autotrófico; además, que las fases de crecimiento y los sistemas de cultivo se relacionan directamente con el estado morfológico y fisiológico de las microalgas, permitiendo o impidiendo su aumento de tamaño, la división celular y la acumulación de lípidos.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo para llevar a cabo esta investigación al Programa de Movilidad Estudiantil de la Rectoría del ITCR y al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), Red Temática P711RT0095 Sociedad Iberoamericana de Algología Aplicada-SI3A.

## Bibliografía

- Arias, M., Martínez, A. & Cañizares, R. (2013). Producción de biodiesel a partir de microalgas: parámetros del cultivo que afectan la producción de lípidos. *Acta Biológica Colombiana*, 18(1): 43-68.
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25:294-306.
- Else, D.D., Jameson, B., Raleigh, M.L & Cooney (2007). Fluorescent measurements of microalgal neutral lipids. *Journal of Microbiological Methods*, 68: 639-642.
- Hewitt, C.J. & Nebe-von-Caron, G. (2001). An industrial application of multiparameter flow cytometry: Assessment of cell physiological state and its application to the study of microbial fermentations. *Flow Cytometric Studies of Microbial Fermentations*, 44: 179-187.
- Hewitt, C.J. & Nebe-von-Caron, G. (2004). The application of multi-parameter flow cytometry to monitor individual microbial cell physiological state. *Advances in Biochemical Engineering Biotechnology*. 89: 197-223.
- Lafarga, T. (2012). *Aspectos prácticos de la producción de microalgas: objetivos y necesidades*. (Tesis de Maestría) Universidad de Almería. Escuela Politécnica Superior.
- Li, Y., Horsman, M., Wang, B., Wu, N. & Lan, C. (2008). Effects of nitrogen sources on cell growth and lipid accumulation of green alga *Neochloris oleoabundans*. *Applied of Microbiology and Biotechnology*, 81(4): 629-636.
- Loera-Quezada, M. & Olguín, E. (2010). Las microalgas oleaginosas como fuente de biodiesel: retos y oportunidades. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 1(1): 91-116.
- Lopes da Silva, T. & Reis, A. (2008). The use of multi-parameter flow cytometry to study the impact of n-dodecane additions to marine dinoflagellate microalga *Cryptocodinium cohnii* batch fermentations and DHA production. *Journal of the Society for Industrial Microbiology and Biotechnology*, 35(8): 875-87
- Lopes da Silva, T., Amarelo, C. & Reis, A. (2009). Multi-parameter flow cytometer as a tool to monitor heterotrophic microalgal batch fermentations for oil production towards biosiesel. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 14: 330-337.

- Lopes da Silva, T., Reis, A., Hewitt, C. & Roseiro, J.C. (2004). Citometria de fluxo-funcionalidade celular on-line em bioprocessos. *Boletín de Biotecnología: Métodos em Biotecnología-Citometria de Fluxo II*, 77: 33-40.
- Lopes da Silva, T., Roseiro, J.C. & Reis, A. (2012). Applications and perspectives of multi-parameter flow cytometry to microbial biofuels production processes. *Trends in Biotechnology*, 30(4): 225-232.
- Meng, X., Yang, J., Xu, X., Zhang, L., Nie, Q. & Xian, M. (2009). Biodiesel production from oleaginous microorganisms. *Renewable Energy*, 34: 1-5.
- Miao, X.L. & Wu, Q.Y. (2006). Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil. *Bioresource Technology*. 97: 841-846.
- Santos, C.A., Caldeira, M.L., Lopes da Silva, T., Novais, J.M. & Reis, A. (2013) Enhanced lipidic algae biomass production using gas transfer from a fermentative *Rhodospiridium toruloides* culture to an autotrophic *Chlorella protothecoides* culture. *Bioresource Technology*, 138: 48-54.
- Santos, C.A., Ferreira, M.E., Lopes da Silva, L., Gouveia, L., Novais, J.M. & Reis, A. (2011). A symbiotic gas exchange between bioreactors enhances microalgal biomass and lipid productivities: taking advantage of complementary nutritional modes. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 38: 909-917.
- Tomaselli, L. (2004). The Microalgal Cell. In Amos Richmond (Ed.), *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Garsington Road: Iowa State Press, Blackwell Publishing (p. 3-39).
- Vonshak, A. & Torzillo, G. (2004). Environmental Stress Physiology. In Amos Richmond (Ed.), *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Garsington Road: Iowa State Press, Blackwell Publishing (p. 116-125).
- Wu, Q., Knowles, R. & Niven, D.F. (1995). Effect of ionophores on denitrification in *Flexibacter canadensis*. *Journal of Microbiological Methods*, 41: 227-234.
- Xiong, W., Gao, C., Yan, D., Wu, C. & Wu, Q. (2010). Double CO<sub>2</sub> fixation in photosynthesis-fermentation model enhances algal lipid synthesis for biodiesel production. *Bioresource Technology*, 101: 2282-2293.

# Impact of the strategy, strategy-making and its formalization in the export performance of SMEs, in the province of Cartago

Impacto de la estrategia, la forma de elaborarla y su formalización en el desempeño exportador de las PYMES, de la provincia de Cartago

Mónica M. Navarro-Calvo<sup>1</sup>, José Martínez-Villavicencio<sup>2</sup>

---

*Fecha de recepción: 26 de enero de 2016*

*Fecha de aprobación: 18 de julio de 2016*

Navarro-Calvo, M; Martínez-Villavicencio, J. Impact of the strategy, strategy-making and its formalization in the export performance of SMEs, in the province of Cartago. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, Número Especial Estudiantes 3. Pág 12-22.

DOI: 10.18845/tm.v29i6.2898

---

1 Escuela de Administración de Empresas, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.  
Email: monavca@gmail.com.

2 Escuela de Administración de Empresas. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.  
Email: jomartinez@itcr.ac.cr



## Keywords

SMEs; strategy; export performance; impact.

## Abstract

This research analyzed the impact of the strategy, the strategy-making and its formalization on the export performance of SMEs, located in the province of Cartago (Costa Rica) that exported in 2013. To collect the information the study used a database of the index export performance (IDE) from PROCOMER and a structured questionnaire, to evaluate the strategic area of the company, which was sent via email to 35 companies and self-administered by them. From the information gather, it found that the owners and managers strategic knowledge is basic, also that companies do not handle a defined strategy, but a hybrid of these. Furthermore, hypothesis tests were conducted using bivariate correlations to determine the existence of a relationship between the IDE and evaluated different aspects, this was rejected since there was no significant relationship in any of the cases. Finally, it can be concluded that the strategic aspects evaluated are not important on terms of export performance is concerned.

## Palabras Clave

PYMEs; estrategia; desempeño exportador; impacto.

## Resumen

Esta investigación analizó el impacto de la estrategia, su elaboración y formalización en el desempeño exportador de las PYMES, ubicadas en la provincia de Cartago (Costa Rica) que exportaron en el año 2013. Para esto se utilizó la base de datos del índice de desempeño exportador (IDE) de PROCOMER, así como un cuestionario estructurado para evaluar el área estratégica de la empresa, el cual fue enviado vía correo electrónico a 35 empresas, y auto administrado por estas. A partir de esto se encontró que el conocimiento estratégico de los dueños y administradores es básico, además de que las compañías no manejan una estrategia definida, sino un híbrido de estas. Además se realizaron pruebas de hipótesis, utilizando correlaciones bivariadas, para determinar la existencia de una relación entre le IDE y los diferentes aspectos evaluados, esto se rechazó ya que no existió una relación significativa en ninguno de los casos. Finalmente, se puede concluir que los aspectos estratégicos evaluados no son importantes en cuanto a desempeño exportador se refiere.

## Introduction

Nowadays, there is a high increase in the internationalization of enterprises as a way to grow and be competitive in the market. One of the most common ways that companies use to face globalization is internationalization, mainly through exports. In the matter of Costa Rica, understanding the determinants of export performance of Small and Medium Enterprises (SMEs) has become increasingly important, which can be seen in the statistics of exports in 2013, where SMEs represent a 61% of export companies, generating 13% of exports (Arguedas et al, 2014). Furthermore, according to the "Current Status of SMEs in Costa Rica 2013" of the Ministry of Economy, Industry and Trade (MEIC) these represented 74% of all firms in the country, contributing to a 33.05% of GDP. (Quesada, Quesada, Jara, & Arias, 2013).

Another example of the relevance of these businesses in the country is in the “National Development Plan 2015-2018 Alberto Cañas Escalante”, developed by the government, which aims to strengthen SMEs and growth exports. In addition, the Municipality of Cartago (2009) in the “Municipal Strategic Plan 2010-2015” has a policy of promoting the creation of SMEs.

The development of this study is mainly justified by the instability that occurs in the level of success of exporting SMEs in the country. According to the article, published by the newspaper “La Nación”, called “Success exporter of Costa Rican MSMEs had ups and downs in the past three years”, in a period of three years from 2010, the amounts companies classified according to the Index of Export Performance (IDE) as successful performance had been unstable. It had changed from 46% of total export companies in 2010, rose to 79% in 2011, and then fell to 56% in 2012, which shows high variability (Leitón, 2013).

The main research question that arises is: “What effect of the strategic aspects have in the export performance of SMEs in the province of Cartago?” Based on that the research objective is: To determine whether the strategic aspects have an effect on the export performance of SMEs in the province of Cartago or not. The research focuses on the strategic aspects of: formalization of strategic, strategy-making and the type of strategy used.

## Citation and hypothesizing

This section describes some important terms taken into account to generate a conceptual basis of the study and finally delve into the bibliographic context that justify the assumptions made in this study.

### 1. PYME

According to the law 8262 of Strengthening of Small and Medium Enterprises, these are “all productive units of a permanent nature that has stable physical resources and human resources, manage and operate under the figure of a natural person or legal entity in industrial, commercial or service activities”(p.2-3).

However, to determine the size of firms, the methodology developed in this law is not used because it requires data that are difficult to obtain due to confidentiality of businesses. It is use the method used by the Costa Rican Social Security Fund (CCSS), based on the proposed of Donato, Haedo and Novaro (2005), which only consider the variable of number of employees to determine the size of the company, will be used. The size of the SME’s are those with more than 5 employees and less than 100.

### 2. Export Performance

For purposes of this study is vital to identify the export performance of SMEs. The issue of export performance had been highly studied, but it haven’t reached a scientific consensus on how to measure it. For this study, the method developed by FUNDES, adapted and implemented by PROCOMER, to determine the success or failure of SMEs exporting is going to be use. This method is the closest to the economic reality of the country, being multidimensional, dynamic and one that allows comparisons between the results obtained in each exporting company (Milesi & Moori, 2007).

### 3. Strategy as a factor in export success

According to Thompson, Peteraf, Gamble & Strickland (2012) the strategy of a company is “all the competitive measures and commercial plans which the managers use to fruitfully compete, improve performance and grow the business” (p.4). The strategy seeks to achieve competitive

advantage, through actions and movements in the market to improve their competitive position. The strategy is important because the good performance of a company may be due to the scope of the strategy and how is executed.

#### a. Strategic Plan formalized

The strategic plan is the one that indicates the direction of the company, the business purpose, performance goals and strategy (Friedman, 2013). According to the literature review by Abby & Slater (1989), the lack of a formal strategic planning carried the company to obtain poor results in their export activities.

According to Thompson et al (2012), the formulation of a strategic plan involves developing a strategic vision, mission and values, set goals and devise a strategy to achieve the objectives of the vision and take the company to an established route. Formalizing the mission and vision may be reflected in the performance of the company, according Rarick and Vitton (1995) companies that have a mission statement have twice the average return on capital for shareholders. In addition, Bart and Baetz (1998) found a positive relationship between mission statements and organizational performance of a company.

H1: The more formalized strategic planning for SMEs, the greater its export performance.

#### b. Competitive Strategy

There are two types of competitive strategies widely used in scientific research: the typology developed by Porter (1980) and the one developed by Miles & Snow (1978). Both are used in a variety of studies, however, for this research the typology developed by Miles & Snow is chosen, as there are scales tested in previous studies in which these types of strategies are used.

Miles & Snow (1978) identify three types of competitive strategy: the prospector, based on identifying and exploiting opportunities; the analyzer, tries to minimize risk while seeking to maximize profits and the defensive, related to companies seeking to protect their market position. There is a fourth strategy named reactive, however this is known as the no strategy, as it is used when the company has a strategic mistake, introducing inconsistencies between strategy, technology, structure and processes.

According to Miles & Snow (1978), organizations generally tend to fit predominantly in one of the types of strategies and can predict the behavior of a company according to the type of strategy that is used. When a relationship between these types of strategies and export activity is analyzed, it can be seen that not all strategies have the same result; exploratory strategy is oriented to the search for opportunities in new markets, which could lead to international markets (Hambrick 1983; Conant, Mokwa & Varadarajan, 1990).

H2: The SMEs exporting companies have a tendency to fit into any of the strategies proposed.

H3: Firms with strategies such as exploratory and the analyzer will tend to be better exporting companies than the ones defensive or reactive strategies.

### 4. Strategy-making

From another point of view, Mintzberg (1973) developed a typology related to how firms make decisions and linked them to form strategies. This typology focuses primarily on the origin of the strategy rather than its content (Segev, 1987). Three types of strategy making are determined: the entrepreneurial mode, mainly seeking for new opportunities having the problem solving as a sideline; adaptive mode, trying to avoid the uncertainty however lacking of clear goals; and the planning mode where analysis are important and decisions are made carefully.



According to Mintzberg (1970), it is more likely for smaller companies focus more on an entrepreneurial strategy-making mode, since it is common that the power is concentrated on one person, the owner. He also indicates that these modes can be used as a combination of strategy-making modes. In the types of strategy-making it is possible that the more entrepreneurial approach also has a higher export performance, since the type of exploratory strategy is very similar to the entrepreneurial strategy.

From this, the following hypotheses are proposed:

H4: SMEs exporting companies have a tendency to use a combination strategy-making mode.

H5: The higher the orientation of companies to use the entrepreneurial mode, the greater its export performance.

## Methodology

This research is descriptive, as it seeks to describe the strategic knowledge of managers and strategic aspects of exporting SMEs. In addition, it is also a correlational research, because it tries to find a relationship between strategic aspects and export performance of SMEs in Cartago. For testing hypothesis and doing statistical test, the research has a quantitative approach, as it allows measuring the variables and numerical data through statistical methods.

### Study Population and Sample

The sample used for the study was obtained from the databases of PROCOMER, with a total population of 90 SMEs, 87 were able to be contact by telephone, 63 companies agreed to answer the questionnaire and it was sent to them via email. However, only 35 companies answer it, although there was the respective follow up.

It is determined that the level of response is 38% of the population consulted, which is positively compared with response rates obtained in studies of this kind 28% for Chilean exporters, 11.4% for a study of Canadian companies and 31.9% for a case of SMEs exporters from Mexico (Rock & Ahmed, 2014; Croteau & Bergeron, 2001; Ochoa et al, 2014)

This low level of response is very normal in business-oriented research as managers and owners are very difficult to contact and generally do not like to participate in such studies. In addition, Costa Rica does not have a culture that promotes research and, in most of the cases, companies do not see the potential benefits that these studies can give to their business.

## Methods of data collection

The main data collection methods used in the study are described below:

### 1. Literature Review

Initially, a data collection was conducted from the review of literature sources, using databases provided by the library of the Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), as well as information from reliable websites. This provided a diagnosis and a theoretical reference for the study on which the hypotheses were developed; also, the questionnaire used for the research was obtained with this review.

### 2. Database with export performance index

PROCOMER helped with the information of the index of export performance by providing a database with this information. This index takes into account data of exporters for the period



of 2010-2013 and consists of 4 indicators: export continuity (35%), indicates how stable is the company in its export activities; export growth (15%), measures the growth of exports of a company in the period; market diversification (35%), measured by the number of countries to where the company is exporting; and conditions of access to markets (15%) was measured according to the share of exports in 2013 that went to markets with which the country has not signed free trade agreements or customs unions.

According to the scores, which can be between 0 and 10, the index is calculated as a weighted average of the four indicators.

### 3. Questionnaire and variables

The collection of data related to the strategic part of the business was conducted through a survey using a structured questionnaire, which consists of 55 questions divided into 6 blocks. The part that evaluate the strategic planning was based on the major developed aspects when planning the strategy; as vision, mission, objectives, strategic plan (Friedman, 2013 & Thompson et al, 2012). For blocks of the strategy employed and the strategy-making mode, the scale developed by Segev (1987) was used. A Likert scale was used for these three parts, in which companies should qualify 1-7 the statement indicated, with 1 being 'the statement is not related at all with my company' and 7 'the statement is completely related with my company', these items were analyzed using the mean of the items. Subsequently a pilot with five companies, of which there were doubts as to the wording of the items were performed and Cronbach's alpha tests were conducted to analyze the reliability of the scale used.

**Table 1.** Results of the Cronbach's alpha tests

Scale	Alpha	Amount of items
Formalized strategy	0,907	5
Prospector strategy	0,848	8
Reactive strategy	0,621	3
Defensive strategy	0,644	5
Analyzer strategy	0,657	5
Entrepreneurial strategy-making	0,681	2
Adaptive strategy-making	0,534	2
Planning strategy-making	0,519	2

According to the results of the Cronbach's alpha test, some items were eliminated in the analysis of the information.

### Design of processing and data analysis

According to the answers obtained and tabulated in the statistical tool SPSS, the following analysis were developed:

### 1. Processing of descriptive data.

To facilitate processing and analysis of results, initially the average of the scales use of every company were calculated. Subsequently descriptive data of each item as well as the averages of the numeric variables were obtained, using the SPSS tool.

### 2. Hypothesis Testing

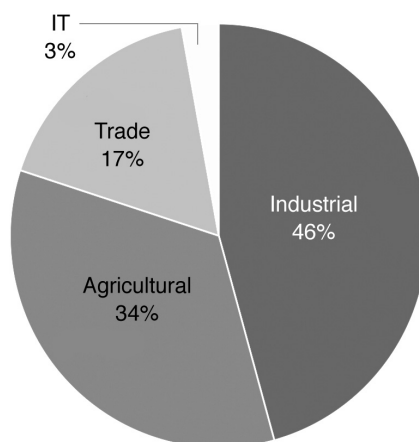
To test the hypothesis, the test of Pearson correlation coefficient was performed. These tests are used to determine whether there is a linear correlation between the different variables used. The result of the correlation will be located between -1 and 1, the ends being the highest degree of correlation, and 0 indicates no correlation between the variables. According to the sign, it is determined if the relationship is direct (positive) or reverse (negative). It is important to note that the results obtained may not be significant, so random effects may cause the results.

## Findings

### Sample characterization:

Most companies are engaged in industrial business, followed by the agricultural and only one company is dedicated to the area of information technologies.

The firms have on average 20.79 years old and 13.03 years of being exporters. The companies last about 7.7 years to start their export activities. It is important to note that within the sample there were also cases of born-global companies.



**Figure 1.** Distribution of the trade or business to which the respondent company is engaged (n = 35). Source: Own elaboration

As shown in Table 2, most of the companies in the sample chosen as an export destination countries in North America, followed by Central American countries, with 40% of companies. Only one company exports to countries in South America. This is the normal behavior of exporters in Costa Rica, since most of the exports of the company are from the United States.

In the matter of size of the companies, 51% of the firms are medium and 49% are small, according to the number of employees in the company. This indicates that the sample has a wide distribution, since there is no significant predominance in any of the sizes of companies.

**Table 2.** Geographical areas the companies of the sample are exporting to (n = 35)

Area	%	Abs.
North America	57,1%	20
Central America	40,0%	14
Europe	28,6%	10
The Caribbean	20,0%	7
Asia	11,4%	4
South America	2,9%	1

Source: Own elaboration.

### Hypothesis testing:

Regarding the Pearson correlation with the level of formalization of the strategy the result is -0.026; implying that there's an inverse relationship however is not a meaningful relationship.

**Table 3.** Pearson correlation between the types of strategy

Category	Prospector Strategy	Analyzer Strategy	Defensive Strategy	Reactive Strategy
Prospector Strategy	1	,711**	,167	,802**
Analyzer Strategy		1	,155	,637**
Defensive Strategy			1	,292
Reactive Strategy				1
*. Correlation is significant at the 0,05 level (bilateral).				
**. Correlation is significant at the 0,01 level (bilateral).				

Source: Own elaboration.

The correlation between strategies is highly significant between the prospector, the analyzer and the reactive. This implies that as prospector strategy indicators are present there is an increase in the analyzers and reactive aspects, and similarly with the other types, except with the defensive strategy.

Regarding the relationship between the IDE and the type strategies there is no significant correlation. According to that result, even if there is a result in the correlation test, it might not actually arise to be a relationship, so there is a high risk that this relationship is false.

**Table 4.** Pearson correlation between the strategy-making modes

	Entrepreneurial	Adaptive	Planning
Entrepreneurial	1	.384*	,112
Adaptive		1	-,066
Planning			1
*. Correlation is significant at the 0,05 level (bilateral).			

Source: Own elaboration.

Among the modes of strategy-making there is also a relationship between the entrepreneur type and adaptive type, which is significant and positive. The type of planning if kept separate from other modes of strategy-making.

As for the relationship between the strategy-making and the IDE, in the companies that makes decisions based on entrepreneurial mode there is a positive relationship with the IDE, contrary to what happens with the adaptive mode and planning that have a negative relationship. However, none of these relationships is significant, so there is a high risk that these relationships are not real.

## Discussion and conclusions

As for the relationship between formalization of the strategy, Hypothesis 1 is rejected; because there is, no significant relationship indicating that the more formalized the best company will export performance. This means that the literature review of Abby & Slater (1989) for companies with less formality in their strategy has lower export performance does not apply to the case of SMEs companies in the province of Cartago.

As for the type of strategy the second hypothesis is not accepted, which indicates that companies will always prefer some sort of strategy. According to the analyzes of the correlation between different types of strategies, there is a strong correlation between exploratory strategies, analytical and reactive. This leads us to conclude that contrary to indicate Miles & Snow (1978), Cartago exporting SMEs tend to not choose one of the strategies of the four defensive strategies, but to choose a cross between the prospector, analytical and reactive, or use a defensive strategy.

Regarding the relationship of strategy with the index of export performance, the results also lead us to reject the third hypothesis, since having a higher or lower average in any of the types of strategy does not affect their export success. Contrary to reports of Ibeh (2004) and Kazem (2005), in this case there is no significant difference between whether the strategy is more entrepreneurial, as the prospector, related to a better export performance.

The fourth hypothesis, regarding the mixture of modes of strategy-making, the mixture is present mainly between the type of entrepreneurial and adaptive, which have a significant positive correlation, which indicates that the higher the average of the items of the entrepreneurial type, the greater the adaptive average and vice versa, just like Mintzberg (1973) indicates. Following this, the fourth hypothesis that states that companies are not going to use one type of strategy, but a mixture is confirmed.

No significant difference was found in the entrepreneurial strategy-making mode with the others mode of strategy making, in the matter of IDE. Likewise, the fifth hypothesis is rejected because the difference is not significant enough to say that the entrepreneurial strategy-making mode is more successful at exporting level than the other types.

The results may be explained by the comments of experts in the area of SMEs from Germany, whose indicate that most of these companies are familiar companies, and the most important factor of success in these companies lays mainly in the head of the company. They indicate that it is truly important that they have a strategy direction, but that it is more important the leadership that they have to adopt the strategy chose. In addition, that is normal that SMEs start ordering all the administrative part, not when they are successful, but when they have to face problems. Therefore, there may be a change in the moment they start exporting. So there may be a difference between SMEs that are not exporting yet, with those that are already exporting. (Brinks, 2014 & Hauk, 2014)

On the other hand, the importance of strategy, may not lay in the type of strategy that the companies are using, but the importance and quality of it in the company. Jalali (2012) in his study concludes that the implementation of the strategy in the companies have a relationship with the export performance, and it takes into account environmental aspects that are widely important in the exports.

## Recommendation

From the study results and experience, the following lines of research are recommended:

Conducting this study at the country level, since it is possible that with a larger sample size greater results and interesting conclusions are obtained.

Making a comparison between companies that are not exporting with the ones that are not, since it is possible that companies go through a process of administrative order when initiating export activities.

Conduct a qualitative study, in which they can reflect results of exporting SMEs in which a quantitative study cannot delve.

## References

- Aaby, N. E., & Slater, S. F. (1989). Management influences on export performance: a review of the empirical literature 1978-1988. *International marketing review*, 6(4).
- Arguedas, I.; Calderón, J.; Céspedes, E.; Chacón, M.; López, K.; Medaglia, C.; Mora, E. & Vargas, F. (2014). *Estadísticas de Comercio Exterior Costa Rica 2013*. San Jose: PROCOMER.
- Bart, C. & Baetz, M. (1998). "The Relationship Between Mission Statements and Firm Performance: An Exploratory Study", *Journal of Management Studies* 35: 823.
- Brinks, E. (2014) *Interview with Dr. Brinks regarding SMEs*. Recovered <https://www.dropbox.com/sh/lte18gsp4ha152/AAAIK6bnVwrGnWfuvmy8CKv2a/Mr.%20Brinks%201.mp3?dl=0>
- Conant, J. S., Mokwa, M. P., & Varadarajan, P. R. (1990). Strategic types, distinctive marketing competencies and organizational performance: a multiple measures based study. *Strategic management journal*, 11(5), 365-383.
- Croteau, A. M., & Bergeron, F. (2001). An information technology trilogy: business strategy, technological deployment and organizational performance. *The journal of strategic information systems*, 10(2), 77-99.
- Friedman, D. (2013). *Conceptos de Administración Estratégica* (Decimocuarta ed.) Mexico: Pearson.

- Donato, V., & Haedo, C. N. (2003). Propuesta metodológica para un observatorio latinoamericano de pequeña y mediana empresa. Resultados de la prueba piloto Argentina-México. (Banco Interamericano de Desarrollo. Washington D.C.) Recovered <http://www.iadb.org/en/publications/publication-detail,7101.html?id=23608>
- Hambrick, D. C. (1983). Some tests of the effectiveness and functional attributes of Miles and Snow's strategic types. *Academy of Management journal*, 26(1), 5-26.
- Hauk, A. (2014) *Interview regarding SMEs*. Recovered <https://www.dropbox.com/sh/lte18gsp4ha152/AADZZ5nDNRFZSWHm1bHfp-Aha/Mr.%20Hauk%201.mp3?dl=0>
- Jalali, S. H. (2012). Appraising the Role of Strategy Implementation in Export Performance: A Case from Middle East. Editorial Note 201 Profile of Authors Included in this Number 202 Information for Contributors 204, 5(2), 281.
- Kazem, A. (2005). Export Strategy for Small and Medium Enterprises. Ponencia para el Economic Research Forum. 12th Annual Conference. Cairo, Egypt.
- Ibeh, K. I. (2004). Furthering export participation in less performing developing countries: The effects of entrepreneurial orientation and managerial capacity factors. *International Journal of Social Economics*, 31(1/2), 94-110.
- Lages, L. F., & Lages, C. R. (2004). The STEP scale: a measure of short-term export performance improvement. *Journal of International Marketing*, 12(1), 36-56.
- Leitón, P. (2013). Éxito exportador de mipymes de Costa Rica tuvo altibajos en los últimos 3 años. *La Nación*.
- Miles, R. E., Snow, C. C., Meyer, A. D., & Coleman, H. J. (1978). Organizational strategy, structure, and process. *Academy of management review*, 3(3), 546-562.
- Milesi, D., & Moori, V. (2007). Estudio comparado sobre el éxito exportador PYME en Argentina, Chile y Colombia. FUNDES.
- Ministerio de Economía, Industria y Comercio. (2003). Reglamento de la Ley n.º8262 de fortalecimiento de las pequeñas y medianas empresas. *La Gaceta*, págs. N.º98 del martes 23 de mayo del 2006. Imprenta Nacional. San José, Costa Rica.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (2014). Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018 "Alberto Cañas Escalante". San José: MIDEPLAN.
- Mintzberg, H. (1973). Strategy-Making in Three Modes. *California management review*, 16(2). Segev, E. (1987). Strategy, strategy-making, and performance in a business game. *Strategic Management Journal*, 8(6), 565-577.
- Municipalidad de Cartago (2009). Plan Estratégico Municipal 2010-2015. Cartago.
- Ochoa Jiménez, S., Hernández, J., Armando, C., Leyva Osuna, B. A., & López Figueroa, J. C. (2014). Estrategia, desempeño e identidad organizacional de las pymes manufactureras mexicanas. *Revista Internacional Administración & Finanzas (RIAF)*, 7(7).
- Porter, M. E. (1980). *Competitive strategy: Techniques for analyzing industries and companies*. New York.
- Quesada, G., Quesada, O., Jara, E., & Arias, A. (2013). Estado de Situación de las PYMES en Costa Rica 2013.
- Rarick, C. & Vitton, J (1995). "Mission Statements Make Cents", *Journal of Business Strategy* 16:11.
- Rock, J., & Ahmed, S. A. (2014). Resources, capabilities and export performance: multidimensional evidence of Chile. *Academia Revista Latinoamericana de Administración*, 27(1), 108-137.
- Segev, E. (1987). Strategy, strategy-making, and performance in a business game. *Strategic Management Journal*, 8(6), 565-577.
- Thompson, A., Peteraf, M., Gamble, J. & Strickland, A. (2012). *Administración Estratégica (Decimoctava ed.)* México: McGraw-Hill.

#### Acknowledgements

To the chancellor of Tecnológico de Costa Rica, Ph.D. Julio César Calvo-Alvarado, for the support given through the Student Mobility Program 2014, financed with funds from the CONARE system.

To the Business School of Tecnológico de Costa Rica.

To PROCOMER, for the help given through the whole research process.

To the Duale Hochschule Waden-Württemberg of Karlsruhe, for all the help given in my time in Germany.

# Selección teórica de adsorbentes potenciales naturales de bajo costo para la remoción de arsénico en el agua de consumo humano en Costa Rica

Potential natural low-cost adsorbents for the removal of arsenic in drinking water in Costa Rica

Andrea Acuña-Piedra<sup>1</sup>, Andrés Araya-Obando<sup>2</sup>,  
Luis G. Romero-Esquivel<sup>3</sup>

*Fecha de recepción: 5 de mayo de 2016*  
*Fecha de aprobación: 26 de agosto de 2016*

Acuña-Piedra, A; Araya-Obando, A; Romero-Esquivel, L.  
Selección teórica de adsorbentes potenciales naturales de bajo costo para la remoción de arsénico en el agua de consumo humano en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, Número Especial Estudiantes 3. Pág 23-34.  
DOI: 10.18845/tm.v29i6.2899



- 1 Estudiante de Ingeniería Ambiental. Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: aandrea26049@gmail.com
- 2 Investigador de la Escuela de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Teléfono (506) 2550-2311. Correo electrónico: jobando@itcr.ac.cr
- 3 Investigador de la Escuela de Química. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Teléfono (506) 2550-2568, correo: lromero@itcr.ac.cr



## Palabras clave

Arsénico; tratamiento de agua; adsorción; adsorbentes naturales.

## Resumen

El arsénico presente en agua puede llegar a causar serios problemas en la salud de los consumidores. En Costa Rica, se han identificado aguas de consumo humano con concentraciones mayores al límite permitido (10  $\mu\text{g/L}$ ). La adsorción del arsénico por un material adsorbente ha sido utilizada en otros países con éxito. Para ello, se han utilizado gran variedad de materiales adsorbentes sintéticos, naturales o subproductos de procesos industriales o agrícolas. Los adsorbentes sintéticos, por lo general, presentan alta capacidad de adsorción pero representan altos costos adquisitivos, contrariamente a los materiales naturales y de residuos de procesos que aunque tienen capacidades de adsorción menores, son más baratos y se encuentran más fácilmente. En el marco del contexto en mención, se presenta un análisis de las opciones de materiales naturales de origen local y de bajo costo adquisitivo, con un contenido relativamente alto de óxidos de hierro, aluminio y titanio, que podrían ser utilizados para remover arsénico del agua. Los materiales identificados son biotita, piedra caliza, diatomita, arenas ricas en magnetita y rocas piroclásticas de composición basáltica. Todos esos materiales son originarios de la zona de Guanacaste, afectada por la presencia de arsénico en agua.

## Keywords

Arsenic; water treatment; adsorption; natural adsorbents; Costa Rica.

## Abstract

Arsenic in water can lead to serious health problems for consumers. In Costa Rica, concentrations higher than the allowable limit (10  $\mu\text{g/L}$ ) have been identified in water for human consumption. The adsorption of arsenic on an adsorbent material has been used successfully in other countries for arsenic removal. To do this, a large variety of synthetic or natural products of industrial or agricultural processes are available as adsorbent materials. The synthetic adsorbents usually have high adsorption capacities but represent higher purchasing costs, contrary to natural materials and processes waste, which are cheaper and easier to find; nevertheless, they have a lower adsorption capacity. Within this context, an analysis of local options for natural materials at low cost is presented. They are materials with a relatively high content of iron oxides, aluminum and titanium, that could be used to remove arsenic from water. The identified materials are biotite, limestone, diatomite, magnetite enriched sands and pyroclastic rocks of basaltic composition. All these materials originate in the area of Guanacaste, affected by presence of arsenic in water.

## Introducción

La presencia de arsénico en aguas de consumo humano ha afectado aproximadamente a 200 millones de personas en el mundo (Baig, Sheng, Hu & Xu, 2013). La incidencia de enfermedades está asociada con daños como hiperqueratosis, callosidades en las extremidades, lesiones cutáneas, afecciones cardiovasculares, diabetes mellitus, desórdenes neurológicos e hipertensión, entre otros (Centeno, Tseng, Van der Voet & Finkelman, 2007). Debido a esto, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han establecido un límite máximo



permisible de 10  $\mu\text{g/L}$  (Henke, 2009; Cáceres, 2007). En el caso de Costa Rica, la presencia de arsénico en el agua en concentraciones mayores a ese límite se detectó desde el año 2009. Las regiones afectadas han sido los cantones de Bagaces y Cañas, en conjunto con los distritos de Aguas Zarcas y Los Chiles en la zona norte del país (AyA, 2013). En total, 12 000 personas de 23 comunidades se han visto perjudicadas (Astorga, 2013). Entre las medidas que se han tomado para atender esta situación están la interconexión con fuentes no contaminadas, el suministro de agua por medio de camiones cisterna y la instalación de filtros Kanchan (AyA, 2013). Por otra parte, a la fecha se han instalado 6 plantas de tratamiento, las cuales cuentan con lechos de adsorción que utilizan como adsorbente el dióxido de titanio.

En Latinoamérica en las últimas décadas, se ha reconocido la necesidad de implementar tecnologías para remover el arsénico, utilizando recursos naturales y locales de las zonas afectadas junto a técnicas de bajo costo, fáciles de manejar y que puedan ser mantenidas por la población local (Bundschuh et al., 2010). current information about the contamination of ground- and surface-water resources by arsenic from geogenic sources in Latin America is presented together with possible emerging mitigation solutions. The problem is of the same order of magnitude as other world regions, such as SE Asia, but it is often not described in English. Despite the studies undertaken by numerous local researchers, and the identification of proven treatment methods for the specific water conditions encountered, no technologies have been commercialized due to a current lack of funding and technical assistance. Emerging, low-cost technologies to mitigate the problem of arsenic in drinking water resources that are suitable for rural and urban areas lacking centralized water supplies have been evaluated. The technologies generally use simple and low-cost equipment that can easily be handled and maintained by the local population. Experiences comprise (i. Materiales naturales ricos en hierro, aluminio y titanio se han caracterizado por ser buenos adsorbentes de arsénico (Litter et al., 2010), al mismo tiempo que representan un bajo costo por su fácil obtención. Según la revisión bibliográfica realizada por los autores de este artículo, en Costa Rica hasta la fecha no se han realizado estudios de adsorbentes naturales para la remoción de arsénico, provenientes de las zonas afectadas, ya que solo se ha trabajado con materiales sintéticos o bien naturales, pero no con las características anteriormente mencionadas. El objetivo del presente artículo es mostrar una serie de potenciales adsorbentes naturales de bajo costo, provenientes de las regiones afectadas de Costa Rica, como posibles opciones para remover arsénico del agua.

## **Tecnologías para la remoción de arsénico del agua**

Existe una gran cantidad de tecnologías para remover el arsénico del agua: coagulación/floculación, oxidación/precipitación, filtración con membranas, resinas de intercambio iónico, tecnologías fotoquímicas y adsorción (Feenstra, Erkel & Vasak, 2007; Jain & Singh, 2012; Litter, Morgada & Bundschuh, 2010). No obstante, a pesar de que la mayoría de los problemas relacionados con el arsénico en Latinoamérica han sido solucionados, especialmente en áreas urbanas o en sitios con acceso a sistemas centralizados, la mayoría de estas tecnologías son costosas y sofisticadas (Litter et al., 2012).

Durante el proceso de selección de tecnología, se debe tomar en cuenta i) la incidencia de enfermedades crónicas, ii) la concentración y especialización del arsénico, iii) la composición y el volumen de agua por tratar, iv) el tamaño de la estructura en función de las eficiencias esperadas, y finalmente, v) la complejidad de la instalación y el mantenimiento de la infraestructura (Litter et al., 2010; Sorensen & McBean, 2015). Actualmente se dan casos de negligencia en el uso de este tipo de tecnologías, rechazo o abandono, en países en desarrollo, lo cual evidencia que existen otra serie de criterios que no siempre son considerados y que posiblemente determinan el éxito o el fracaso en su aplicación. Dentro de los criterios no considerados se encuentra el



hecho de que muchas veces las unidades de tratamiento requieren un monitoreo muy sensible y arreglos de mantenimiento que van más allá del alcance económico. Además, el volumen, el manejo y la disposición final de los desechos generados deben ser considerados (Sorensen & McBean, 2015). Intervienen también una serie de factores culturales y políticos que juegan un papel importante en la implementación de las tecnologías para la remoción de arsénico, desde asuntos de participación comunitaria hasta cambios en las propiedades organolépticas del agua, entre otros.

En síntesis, una tecnología es considerada adecuada y sostenible bajo los siguientes criterios: i) se utiliza equipo a pequeña escala; ii) es accesible para una población de bajos recursos; iii) el diseño es simple, por lo que la instalación y el mantenimiento pueden estar a cargo de los actores locales; iv) se utilizan energías renovables como la luz solar, y, finalmente, v) se utilizan materiales locales, por lo que no hay que transportar insumos largas distancias (Bundschuh et al., 2010; Sorensen & McBean, 2015) it has become apparent that appropriate technology is often insufficient to create lasting water infrastructure. Specifically, low sustainability of household Arsenic\u2013Iron Removal Plants (AIRPs. Por ello, la posibilidad de emplear las técnicas de adsorción mediante adsorbentes de bajo costo y adsorbentes naturales es muy alta en Costa Rica.

## Remoción de arsénico basada en adsorción

El proceso de adsorción del arsénico consiste en que especies iónicas de arsénico (adsorbato) presentes en el agua se acumulan en la superficie de un sólido (adsorbente). Inicialmente, el arsénico entra en contacto con la superficie del adsorbente; seguidamente se difunde por los poros del material y finalmente el arsénico entra en los espacios capilares y los bordes de los poros (Holl & Litter, 2010). Según Henke (2009), Mohan & Pittman (2007) y Feenstra, Erkel, & Vasa (2007), la principal ventaja de la adsorción son el buen conocimiento que se tiene del método y de su funcionamiento, además de que ya se han estudiado y desarrollado diversos materiales adsorbentes que remueven exitosamente el arsénico del agua. Dichos autores concuerdan en que, en general, tanto la puesta en práctica del método como su sostenimiento son de bajo costo; no obstante, hay que considerar que este depende del tipo de adsorbente utilizado. Los mismos estudios señalan algunas desventajas, tales como la interferencia en el proceso de sustancias presentes en el agua y de variaciones del pH, lo que requiere un adecuado ajuste. Además, como en la mayoría de las tecnologías, la generación de residuos sólidos o líquidos con arsénico, cuando una vez que el adsorbente está saturado, se debe eliminar o regenerar este.

## Tipos de adsorbentes

Existe una gran variedad de materiales adsorbentes que han sido estudiados, algunos de origen sintético, otros de origen natural, así como otros provenientes de residuos de procesos. Tanto las características físicas del material como el volumen y diámetro de los poros, así como el área específica y la textura del adsorbente influyen en gran medida, ya que el proceso de adsorción se da en la superficie de los materiales (Holl & Litter, 2010). Los compuestos presentes en el adsorbente van a determinar la carga de la superficie de este mismo. Adsorbentes ricos en óxidos/hidróxidos de metales, por lo general, se encuentran cargados positivamente, por lo que pueden atraer hacia su superficie los compuestos de arsénico con carga negativa (Clifford, 1999; Glocheux, Pasarín, Albadarin, Allen & Walker, 2013)

### Adsorbentes sintéticos

Algunos adsorbentes sintéticos se pueden encontrar en el comercio, mientras que otros solo han sido probados en el laboratorio. El cuadro 1 muestra diversos materiales sintéticos estudiados, así como sus características de adsorción. Se presentan como materiales sintéticos no solo los elaborados artificialmente, sino también aquellos materiales naturales que han sido modificados. Estos materiales se han estudiado para la adsorción de As (V) y en su mayoría se han obtenido pH idóneos, en un rango de 7,4 - 6,5. La mayoría presentan como componente principal hierro o aluminio; esto ocasiona que, como se mencionó anteriormente, la superficie del adsorbente contenga una carga positiva, atrayendo los compuestos aniónicos del As (V). En el común de los casos se usan partículas generalmente mayores a 0,3 mm y la remoción es mayor al 85%.

### **Adsorbentes naturales de bajo costo**

Los adsorbentes naturales representan un bajo costo si están disponibles localmente y son accesibles para la población local. Son considerados una solución emergente para poblaciones de escasos recursos por el hecho del bajo costo de los materiales, comparado con el de los materiales sintéticos, los cuales constituyen muchas veces la única opción (Bundschuh et al., 2010). No obstante, pueden significar las siguientes desventajas: eficiencia muy variable; alta generación de residuos debido a la baja capacidad de adsorción, comparada con la de los materiales sintéticos; posible crecimiento de microorganismos, y dependencia de las características del agua por tratar. Dentro de las ventajas están que pueden ser aplicados tanto en soluciones individuales como en sistemas comunitarios; además, que la operación y el mantenimiento son más sencillos, ya que no se requiere adicionar químicos, junto con el hecho de que pueden ser modificados para incrementar la eficiencia, tal como se mencionó anteriormente. El cuadro 2 resume algunos de los estudios sobre materiales naturales utilizados en la adsorción de As (V) en agua. Muchos de estos materiales presentan un alto contenido en óxidos metálicos de hierro y aluminio. Al comparar el cuadro 2 con el cuadro 1 se observa una menor capacidad de adsorción en algunos casos de un orden de magnitud de 1 o más. Otra diferencia importante es que la mayoría de estos materiales presentan tamaños de partícula mucho menores de 1 mm de diámetro, por lo que su mejor forma de aplicación es en polvo, o en su defecto, se necesita algún proceso de granulación.

### **Adsorbentes potenciales naturales de arsénico procedentes de Costa Rica**

Tal y como se observa en los cuadros 1 y 2, los adsorbentes ricos en óxidos e hidróxidos de hierro, aluminio y titanio han resultado ser los más eficientes en la remoción del arsénico en agua. En este sentido, después de entrevistar a varios geólogos y consultar la literatura disponible, se preseleccionaron cinco materiales ubicados en la región Guanacasteca, los cuales presentan concentraciones altas de estos compuestos. En el cuadro 3 se resumen las características de esos materiales, la biotita, el basalto, la diatomita, la magnetita y la piedra caliza. La figura 1 muestra las zonas afectadas por problemas de arsénico en agua, así como los lugares donde se encuentran disponibles los posibles materiales adsorbentes seleccionados; por tanto, si después de ensayos de laboratorio, alguno de esos materiales presenta una adsorción apropiada, se estaría contando con un material de origen local para la remoción de arsénico.

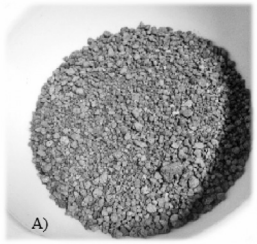
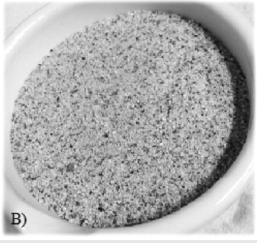

**Cuadro 1.-** Materiales sintéticos y sus características de adsorción

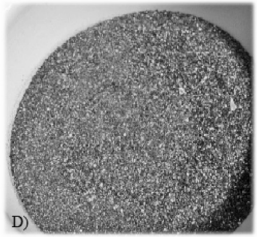

Material	Capacidad de adsorción ( $\mu\text{g/g}$ )	Concentración inicial ( $\mu\text{g/L}$ )	Porcentaje remoción (%)	pH	Tamaño de partícula (mm)	Referencia
Hidróxido de hierro granular	8000	100 $\mu\text{g}$	~100	6,5	2-0,6	(Badruzzaman, Westerhoff & Knappe, 2004)
Hidróxido de hierro granular	8000	100	~100	7	0,6-0,25	(Badruzzaman, Westerhoff & Knappe, 2004)
Laterita acidificada con ácido sulfúrico	923,6	250 – 5000	~100	No mayor a 7,4	<0,075	(Glocheux, Méndez, Albadarin, Allen & Walker, 2013)
Arena cubierta con óxido de hierro	18,3	325	92,00	No mayor a 7,4	0,6-0,8	(Thirunavukkarasu et al., 2001)
Lodo rojo activado con tratamiento de ácido	942	2500- 30 000	>99,80	3,5	<0,075	(Altundogan, Altundogan, Tümen & Bildik, 2002)
Arena cubierta con hierro	~8500	1600	>85	7,2	1,8-4	(Petruşevski, Boere, Shahidullah, Sharma & Schippers, 2002)
Carbón activado granular impregnado con hierro	~5000	1600	>85	7,2	1,07	(Petruşevski et al., 2002)
Hidróxido de hierro granular (a 20 $^{\circ}\text{C}$ )	~1700	100	95-99	6,5	0,32-2	(Banerjee et al., 2008)very little information is available on the kinetics and thermodynamic aspects of adsorption of arsenic compounds onto other iron oxide-based adsorbents as well. In order to gain an understanding of the adsorption process kinetics, a detailed study was conducted in a controlled batch system. The effects of temperature and pH on the adsorption rates of arsenic (V
Hidróxido de hierro granular (a 30 $^{\circ}\text{C}$ )	~2000	100	95-99	6,5	0,32-2	(Banerjee et al., 2008)very little information is available on the kinetics and thermodynamic aspects of adsorption of arsenic compounds onto other iron oxide-based adsorbents as well. In order to gain an understanding of the adsorption process kinetics, a detailed study was conducted in a controlled batch system. The effects of temperature and pH on the adsorption rates of arsenic (V
Pómez cubierta de óxido de hierro	~7500	4300	-	6,8	0,8-1,5	(Sylvie, 2007)
Pómez cubierta de aluminio	-	250	71	7,0	0,3	(Nasseri & Heidari, 2012)

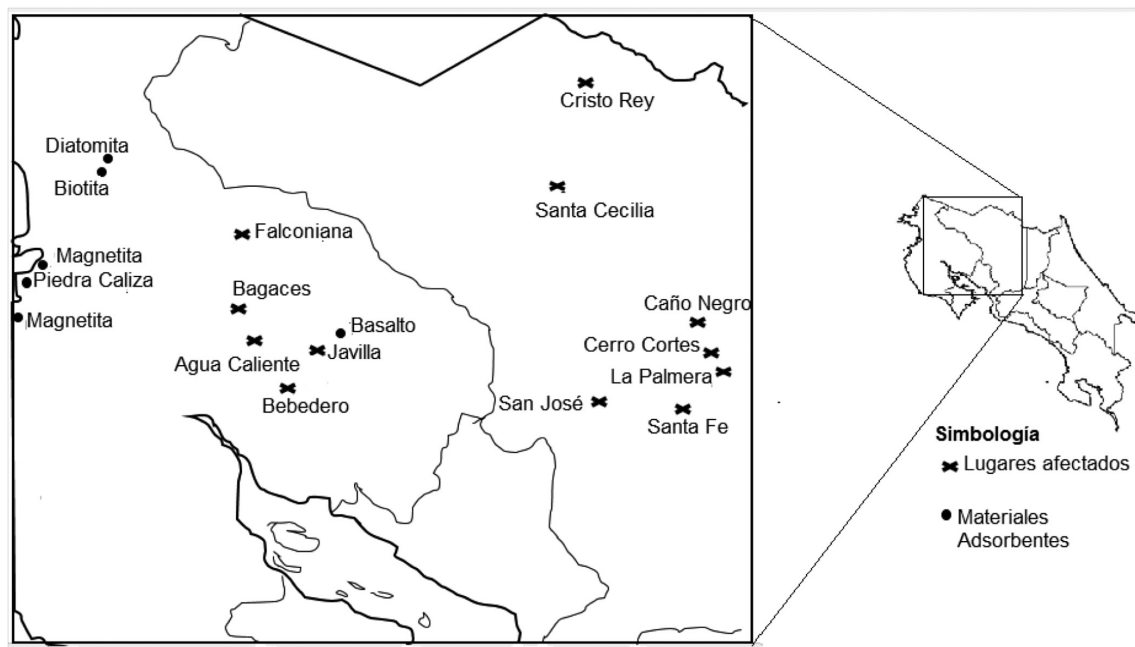
**Cuadro 2.** Materiales naturales de bajo costo y sus características de adsorción

Material	Capacidad de adsorción (µg/g)	Concentración inicial (µg/L)	Porcentaje remoción (%)	pH	Tamaño de partícula (mm)	Referencia
Laterita natural	301,2	250 – 5000	-	7,0	<0,075	(Glocheux et al., 2013)
Ferrhidrita	285,0	325	87,00	7,4	-	(Thirunavukkarasu, Viraraghavan & Subramanian, 2001)
Lodo rojo natural	513,0	-	>99,80	-	<0,075	(Altundođan, Altundođan Tümen, & Bildik, 2002)
Geotita	12400,0	10 000- 1 000 000	~100,00	5,5	<0,037	(Ladeira & Ciminelli, 2004)
Gibbsita	4600 ,0	10000- 1 000 000	~100,00	5,5	<0,037	(Ladeira & Ciminelli, 2004)
Oxisol	3200 ,0	10000- 1 000 000	~100,00	5,5	<0,037	(Ladeira & Ciminelli, 2004)
Kaolita	230,0	10000- 1 000 000	-	5,5	<0,037	(Ladeira & Ciminelli, 2004)
Turba natural	~0	5000- 300 000	-	-	-	(Ansone, Klavins & Viksna, 2013)
Cenizas volátiles de carbón	-	800	81,10 -95,00	6 y 8	-	(Wang & Tsang, 2013)
Cemento hidratado	1920,0	1000	97,00	7	1,4-3	(Bibi, Farooqi, Hussain, & Haider, 2015)
Polvo de mármol	40,0	1000	96,40	7	0,05	(Bibi et al., 2015)
Polvo de ladrillo	40,0	1000	95,30	8	<0,3	(Bibi et al., 2015)
Magnetita	6,614	1500	93,33	6,5	0,1	(Kumwenda, 2009)
Magnetita	243	3700	-	8	12 nm	(Yean et al., 2005)
Magnetita	0,965	500	-	6,1	-	(Mayo et al., 2007)

**Cuadro 3.-** Adsorbentes potenciales naturales de bajo costo para la remoción de arsénico en el agua de consumo humano en Costa Rica

Nombre	Coordenadas Lambert Norte	Descripción	Fotografía
Basalto	X= 420027.80 Y= 272734.12	<p>Según Denyer &amp; Kussmaul (Denyer &amp; Kussmaul, 2000), los basaltos son rocas ígneas muy variadas, de acuerdo a su composición química. Se pueden encontrar de tipo toleíco en la Península de Nicoya y en la Cordillera de Tilarán. Según su recopilación, el basalto toleíco presente en el Complejo de Nicoya contiene 48,1% de SiO<sub>2</sub>; 1,1% de TiO<sub>2</sub>; 13,3% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,1% de MnO, y para el caso del hierro, 7,6% de FeO y 3,2% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Alvarado, Pérez, Vogel, Gröger &amp; Patiño (2011) asymmetric, isolated Pleistocene pyroclastic cone, located in front of the Cordillera de Guanacaste, in northern Costa Rica. The cone consists of ~0.09km<sup>3</sup> of basaltic tephra, as well as ~0.14km<sup>3</sup> of lateral lava flows. Tephrae are tholeiitic, high-alumina, olivine basalts, and represent minor degrees (u22645% en su estudio específico sobre el Cerro Chopo (Coronación, Anunciación o Asunción), ubicado en la Cordillera de Guanacaste (ver figura 2), determinaron que el cerro presenta un alto contenido de basaltos toleícos. Además, según los análisis de sus estudios, la composición promedio en FeO en el cerro es de 9,24%, mientras que la de SiO<sub>2</sub> es de 48,34% y la de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 18,05%. El color rojo del cerro se debe al contenido de óxidos de hierro (Mora, 1997).</p>	
Biotita	X=370356.51 Y=307702.14	<p>Es un aluminio-silicato hidratado de potasio, magnesio y hierro, (AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>), K, (MgFe)<sub>3</sub> y (OH)<sub>2</sub> (Denyer &amp; Kussmaul, 2000). Estudios sobre biotita han demostrado que esta cuenta con aproximadamente 20% de FeO, entre un 3 y un 4% de TiO<sub>2</sub>, alrededor de un 15% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y un 0,4% de MnO (Dopico, López, Wemmer &amp; Rapalini, 2013). Es común encontrarla en la Formación de Liberia, la cual está a los pies del volcán Rincón de La Vieja, en la vertiente occidental de la Cordillera de Guanacaste (Losilla, Rodríguez, Schosinsky &amp; Bethune, 2001). Es especialmente abundante en las tobas blancas de los alrededores de Liberia (Denyer &amp; Kussmaul, 2000).</p>	
Piedra caliza	X=352686.09 Y=280951.23	<p>La piedra caliza se compone principalmente de carbonato de calcio (calcita) CaCO<sub>3</sub>. Comúnmente se hayan impurezas de sílice, arcilla o arena, y cantidades menores de fosfato, hierro, manganeso y materia carbonácea (Guerrero, 2001). La caliza contiene aproximadamente 4% de materiales insolubles, de los cuales la octava parte corresponde a hierro (Guerrero, 2001). La calcita ha sido estudiada como adsorbente de arsénico, As (V), y se han demostrado buenos resultados en la remoción de este, los cuales han alcanzado una capacidad de adsorción en su área de 18,73 µg/m<sup>2</sup> (Sø, Postma, Jakobsen &amp; Larsen, 2008). Es un tipo de roca muy común en Costa Rica, con reservas abundantes en la Península de Santa Elena, Turrialba y el sur del Valle Central (Denyer &amp; Kussmaul, 2000). En el sector de Guanacaste se puede encontrar en Nicoya, Loma Camastro, Cañas Dulces, Bagaces, Los Ángeles y Libano.</p>	

Nombre	Coordenadas Lambert Norte	Descripción	Fotografía
Magnetita	X=354594.34 Y=285656.62	<p>La magnetita es un óxido de hierro (<math>Fe_3O_4</math>); se puede encontrar en rocas y arenas (Kumwenda, 2009). La magnetita contiene entre un 10 y un 25% de <math>TiO_2</math> (Denyer &amp; Kussmaul, 2000). Estudios realizados de arenas de Playa Caldera indican que la fracción de magnetita es de un 33,4%, mientras que la de <math>TiO_2</math>, de un 8,74% (Singer, Page, Bagby, Cox &amp; Ludington, 1990). Se ha trabajado con magnetita en tamaños nanométricos, para remover arsénico. Con un tamaño de 12 nm, se lograron capacidades de adsorción de hasta 243 <math>\mu g/g</math> (Yean et al., 2005). Sin embargo, con magnetita de tamaño natural, las capacidades de adsorción bajaron hasta 0,992 <math>\mu g/g</math> (Kumwenda, 2009). En Costa Rica, las mayores acumulaciones de magnetita se ubican en algunas playas del Pacífico y del Caribe, principalmente en las playas al norte de la península de Nicoya, entre Caldera y Tárcoles, y entre Cahuita y Puerto Viejo (Denyer &amp; Kussmaul, 2000).</p>	
Diatomita	X=372145.96 Y=310210.03	<p>Es una roca sedimentaria silíceo, compuesta de hierro, aluminio, amonio, metales alcalinos, y otros constituyentes menores (Vargas, n.d.)<sup>25(1-2)</sup>. Contiene un porcentaje de <math>Fe_2O_3</math> de 0,55%; además de 80,10% de <math>SiO_2</math>, y 10,30% de <math>Al_2O_3</math>, entre otros compuestos. La diatomita se caracteriza por su alta porosidad y permeabilidad, y su baja densidad, baja conductividad térmica, baja abrasión y amplia área de superficie (Denyer &amp; Kussmaul, 2000). Uno de los principales usos es el de medio filtrante. La diatomita en polvo presenta espacios vacíos que permiten evitar el paso de partículas pequeñas, por lo que se usa en la filtración de jugos, cervezas, vinos y productos farmacéuticos (Mathers, 1989). Se puede aplicar como una capa de soporte a través de la cual el filtrado pasa, o bien se aplica directamente al líquido, donde el polvo se mezcla capturando las partículas y aclarándolo (Mathers, 1989). Ha sido probada en la remoción de metales pesados en baja concentración, dando buenos resultados en la adsorción de plata, plomo, cromo (III), zinc y níquel, por lo cual puede ser utilizada en tratamientos terciarios de aguas residuales (Vargas, n.d.)</p> <p>En Costa Rica se conocen trece depósitos y prospectos de diatomita, la mayoría en la zona norte del país, especialmente en Guanacaste (Denyer &amp; Kussmaul, 2000). El depósito más grande se encuentra en Loma Castro, cerca de Cañas Dulces, donde la reserva se estima en 5,8 millones de toneladas (Denyer &amp; Kussmaul, 2000; Vargas, n.d.)<sup>25(1-2)</sup>.</p>	



**Figura 1.** Comunidades afectadas por arsénico en agua, en Costa Rica, y ubicación de materiales potencialmente adsorbentes de arsénico

## Conclusiones y recomendaciones

Materiales adsorbentes ricos en óxidos/hidróxidos de metales, principalmente de hierro, titanio y aluminio, pueden adsorber arsénico. Los adsorbentes sintéticos con esta composición suelen ser mejores adsorbentes que los naturales, no obstante, estos últimos son de menor costo económico y fáciles de conseguir.

La remoción de arsénico por medio de la técnica de adsorción con materiales naturales, locales y de bajo costo representa una opción viable y atractiva para solucionar el problema de las zonas afectadas en Costa Rica.

Cerca de las zonas afectadas por la contaminación de arsénico en agua, se pueden encontrar materiales naturales ricos principalmente en hierro, aluminio, manganeso y titanio, los cuales podrían ser utilizados como adsorbentes del arsénico.

La biotita, la diatomita, la magnetita, el basalto y la piedra caliza poseen el potencial de ser adsorbentes. Sin embargo, se deben de hacer estudios específicos para determinar su capacidad de adsorción y si pueden funcionar como buenos adsorbentes.

## Bibliografía

- Alfaro, A. (2007). La tierra moler o " diatomita " como sistema de remoción de sustancias químicas en el laboratorio. *Ciencia y Tecnología*, 25: 83–96.
- Altundogan, H. S., Altundogan, S., Tümen, F. & Bildik, M. (2002). Arsenic adsorption from aqueous solutions by activated red mud. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 22(3): 357–63.
- Alvarado, G. E., Pérez, W., Vogel, T. A., Gröger, H. & Patiño, L. (2011). The Cerro Chopo basaltic cone (Costa Rica): An unusual completely reversed graded pyroclastic cone with abundant low vesiculated cannonball juvenile fragments. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 201(1-4): 163–177. doi:10.1016/j.jvolgeores.2010.11.010



- Anson, L., Klavins, M. & Viksna, A. (2013). Arsenic removal using natural biomaterial-based sorbents. *Environmental Geochemistry and Health*, 35(5): 633–42. doi:10.1007/s10653-013-9546-7
- Astorga, Y. (2013). *Decimonoveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*.
- y A. (2013). Avance respecto a la atención de sistemas de acueducto referido a la presencia de arsénico por sobre la norma nacional (Informe a Sala Constitucional). San José (pp. 1–40)
- Baig, S. A., Sheng, T., Hu, Y., Xu, J. & Xu, X. (2013). Arsenic removal from natural water using low cost granulated adsorbents: A review. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 50(9999), n/a–n/a. doi:10.1002/clen.201200466
- Banerjee, K., Amy, G. L., Prevost, M., Nour, S., Jekel, M., Gallagher, P. M. & Blumenschein, C. D. (2008). Kinetic and thermodynamic aspects of adsorption of arsenic onto granular ferric hydroxide (GFH). *Water Research*, 42(13): 3371–8. doi:10.1016/j.watres.2008.04.019
- Bibi, S., Farooqi, A., Hussain, K. & Haider, N. (2015). Evaluation of industrial based adsorbents for simultaneous removal of arsenic and fluoride from drinking water. *Journal of Cleaner Production*, 87: 882–896. doi:10.1016/j.jclepro.2014.09.030
- Bundschuh, J., Litter, M., Ciminelli, V. S. T., Morgada, M. E., Cornejo, L., Hoyos, S. G., ... Bhattacharya, P. (2010). Emerging mitigation needs and sustainable options for solving the arsenic problems of rural and isolated urban areas in Latin America - a critical analysis. *Water Research*, 44(19): 5828–45. doi:10.1016/j.watres.2010.04.001
- Bundschuh, J., Litter, M. I., Parvez, F., Román-Ross, G., Nicolli, H. B., Jean, J.-S., ... Toujaguez, R. (2012). One century of arsenic exposure in Latin America: a review of history and occurrence from 14 countries. *The Science of the Total Environment*, 429: 2–35. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.06.024
- Cáceres, R. E. (2007). *Proceso en lecho fijo de hierro metálico para la eliminación de arsénico de aguas en pequeñas instalaciones*. Universidad Nacional de San Juan.
- Centeno, J., Tseng, C. & Finkelman, R. (2007). Global Impacts Of Geogenic Arsenic : A Medical Geology Research Case, *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 36(1): 78–81.
- Clifford, D. (1999). Ion exchange and inorganic adsorption. In R. Letterman (Ed.), *Water quality and treatment* (5th edit., pp. 9.1–9.91). New York: McGraw Hill. doi:10.1002/047147844X.pc1506
- Denyer, P. & Kussmaul, S. (2000). *Geología de Costa Rica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Dopico, M., López, C., Wemmer, M. & Rapalini, K. (2013). Composición química de biotita y hornblenda y edades de enfriamiento como indicadores de las condiciones de emplazamiento del complejo plutónico La Esperanza (Pérmico Superior), Macizo Norpatagónico. *SciELO*.
- Feenstra, L. & Erkel, J. Van (2007). Arsenic in groundwater : Overview and evaluation of removal methods. *International Groundwater Resources Assessment Centre*, 1–23.
- Glocheux, Y., Méndez, M., Albadarín, A. B., Allen, S. J. & Walker, G. M. (2013). Removal of arsenic from groundwater by adsorption onto an acidified laterite by-product. *Chemical Engineering Journal*, 228: 565–574. doi:10.1016/j.cej.2013.05.043
- Guerrero, C. (2001). Rocas calizas: Formación, ciclo del carbonato, propiedades, aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 5: 3–14.
- Henke, K. (2009). Arsenic: Environmental Chemistry, Health Threats and Waste Treatment . In *Arsenic: Environmental Chemistry, Health Threats and Waste Treatment* (pp. 545–568). University of Kentucky Center for Applied Energy Research, Kentucky.
- Holl, W. & Litter, M. (2010). Ocurrencia y química del arsénico en aguas. Sumario de tecnologías de remoción de arsénico en aguas. In M. Litter, A. Sancha & A. Ingallinella (Eds.), *IBEROARSEN Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas* (CYTED, pp. 17–27). Argentina.
- Jain, C. K. & Singh, R. D. (2012). Technological options for the removal of arsenic with special reference to South East Asia. *Journal of Environmental Management*, 107: 1–18. doi:10.1016/j.jenvman.2012.04.016
- Kumwenda, J. M. (2009). *Critical review of iron oxide based arsenic adsorbents*. UNESCO-IHE Institute for Water Education.
- Ladeira, A. C. Q. & Ciminelli, V. S. T. V. S. T. (2004). Adsorption and desorption of arsenic on an oxisol and its constituents. *Water Research*, 38(8): 2087–94. doi:10.1016/j.watres.2004.02.002



- Litter, M. I., Alarcón-Herrera, M. T., Arenas, M. J., Armienta, M. A., Avilés, M., Cáceres, R. E. & Pérez-Carrera, A. (2012). Small-scale and household methods to remove arsenic from water for drinking purposes in Latin America. *The Science of the Total Environment*, 429: 107–22. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.05.004
- Litter, M. I., Morgada, M. E. & Bundschuh, J. (2010). Possible treatments for arsenic removal in Latin American waters for human consumption. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 158(5): 1105–18. doi:10.1016/j.envpol.2010.01.028
- Losilla, M., Rodríguez, H., Schosinsky, G. & Bethune, D. (2001). *Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central*. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José.
- Mathers, S. (1989). Costa Rican diatomite: A review of existing knowledge and future potencial. *Revista Geología América Central*, 10: 3–17.
- Mayo, J. T., Yavuz, C., Yean, S., Cong, L., Shipley, H., Yu, W., ... Colvin, V. L. (2007). The effect of nanocrystalline magnetite size on arsenic removal. *Science and Technology of Advanced Materials*, 8(1-2): 71–75. doi:10.1016/j.stam.2006.10.005
- Mohan, D. & Pittman, C. U. (2007). Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 142(1-2): 1–53. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.01.006
- Mora, S. (1997). Estudio geológico del Cerro Chopo. *Revista Geográfica de América Central*, 189–199.
- Nasseri, S. & Heidari, M. (2012). Evaluation and comparison of aluminum-coated pumice and zeolite in arsenic removal from water resources. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 1–7.
- Petrusevski, B., Boere, J., Shahidullah, S. M., Sharma, S. K., & Schippers, J. C. (2002). Adsorbent-based point-of-use system for arsenic removal in rural areas. *Journal of Water Supply: Research and Technology*, 135–144.
- Petrusevski, B., Sharma, S., Schippers, J. & Shordt, K. (2007). *Arsenic in Drinking Water*. International Water and Sanitation Centre, Delft
- Singer, D. A., Page, N., Bagby, W. C., Cox, D. P. & Ludington, S. (1990). Evaluación de los recursos minerales de Costa Rica. *Geología América Central*, 11: 1–25.
- Sø, H. U., Postma, D., Jakobsen, R. & Larsen, F. (2008). Sorption and desorption of arsenate and arsenite on calcite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(24): 5871–5884. doi:10.1016/j.gca.2008.09.023
- Sylvie, K. K. (2007). *Adsorptive Iron and Arsenic Removal with Iron Oxide Coated Pumice*. UNESCO-IHE Institute for Water Education.
- Thirunavukkarasu, O. S., Viraraghavan, T., & Subramanian, K. S. (2001). Removal of Arsenic in Drinking Water by Iron Oxide-Coated Sand and Ferrihydrite – Batch Studies. *Water Quality Research*, 36: 55–70.
- Wang, Y. & Tsang, D. C. W. (2013). Effects of solution chemistry on arsenic (V) removal by low-cost adsorbents. *Journal of Environmental Sciences*, 25(11): 2291–2298. doi:10.1016/S1001-0742(12)60296-4
- Xu, Y., Nakajima, T. & Ohki, A. (2002). Adsorption and removal of arsenic(V) from drinking water by aluminum-loaded Shirasu-zeolite. *Journal of Hazardous Materials*, 92(3): 275–287. doi:10.1016/S0304-3894(02)00020-1
- Yean, S., Cong, L., Yavuz, C. T., Mayo, J. T., Yu, W. W., Kan, A. T., ... Tomson, M. B. (2005). Effect of magnetite particle size on adsorption and desorption of arsenite and arsenate. *Journal of Materials Research*, 20(12): 3255–3264. doi:10.1557/jmr.2005.0

# Aplicación de la disciplina de Administración de Procesos de Negocio en la elaboración de una propuesta metodológica dirigida al Centro de Investigaciones en Computación (CIC) del Instituto Tecnológico de Costa Rica, para la prestación de servicios a organizaciones externas

Applying the discipline of Business Processes Management in the development of a methodology for supplying of services to external organizations at the Computing Research Center of the Technological Institute of Costa Rica

Herberth Torres-Ruiz<sup>1</sup>, Jeff Schmidt-Peralta<sup>2</sup>

---

*Fecha de recepción: 15 de abril de 2016*  
*Fecha de aprobación: 18 de julio de 2016*

Torres-Ruiz, H; Schmidt-Peralta, J. Aplicación de la disciplina de Administración de Procesos de Negocio en la elaboración de una propuesta metodológica dirigida al Centro de Investigaciones en Computación (CIC) del Instituto Tecnológico de Costa Rica, para la prestación de servicios a organizaciones externas. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, Número Especial Estudiantes 3. Pág 35-46.  
DOI: 10.18845/tm.v29i6.2900



- 1 Administración de Tecnología de la Información. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: herberthtorres1@gmail.com
- 2 Centro de Investigaciones en Computación, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: jschmidtr@gmail.com



## Palabras clave

Gestión de procesos de negocio; rediseño de procesos; optimización de procesos; prestación de servicios; consultoría; capacitación.

## Resumen

El proyecto “Propuesta de metodología para prestación de servicios del Programa GoTouch a organizaciones” tiene como objetivo la documentación de los procesos necesarios para llevar a cabo la prestación de servicios de consultoría o capacitación a clientes externos, como parte de un programa de investigación dentro del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC).

En otras palabras, el objetivo de la propuesta es el de sistematizar la prestación de los servicios para favorecer la generación de ingresos que serán reinvertidos para el desarrollo y crecimiento del programa, así como la compra de equipo y activos que son necesarios para las investigaciones que se realizan.

La propuesta de metodología consiste en la descripción detallada y el modelado de los procesos necesarios para la ejecución de los servicios por medio de dos fundaciones, FUNDATEC y FUNCENAT, encargadas del manejo administrativo y financiero de los proyectos, lo cual permitirá que los profesores se concentren en las actividades académicas y de investigación-extensión.

Para el desarrollo del proyecto, se aplicó la disciplina de Gestión de Procesos de Negocio, pues en esta se trabajan los procesos integrados en una estructura, lo cual permite optimizarlos y alcanzar mayores niveles de productividad, eficacia y eficiencia.

Dentro de la metodología de investigación, lo primero que se hizo fue entender bien el contexto de la ejecución y los pasos necesarios. Luego, se describieron los procesos actuales; se elaboró un diagrama en notación propia de la Administración de Procesos de Negocio (BPMN por sus siglas en inglés), y se identificaron las oportunidades en cada actividad por medio de un método de optimización que consiste en cuestionarse para cada actividad la necesidad de que se ejecute, el lugar, el tiempo, el encargado, y el método empleado.

Posteriormente, se realizó el diagramado del proceso que permitirá implementar las mejoras identificadas, detallando cómo debe ser este y las recomendaciones para cubrir las deficiencias encontradas en el proceso actual.

Aún queda pendiente la implementación de las mejoras identificadas, así como la utilización de indicadores para evaluar la ejecución de los procesos optimizados.

## Keywords

Business processes management; process redesign; process optimization; services supplying; consulting services; training.

## Abstract

The project “Proposal of a Methodology for Supplying of Services by the GoTouch Program to organizations” has as its objective to document the processes required to provide training and consulting services to external customers, as part of a research program of the Technological Institute of Costa Rica (TEC).

Throughout performance of this methodology, the research program seeks to generate revenue that will be invested in development and growth, and in purchasing of equipment and assets that are necessary for the research being conducted.

The proposed methodology consists of a detailed description and a modeling of the processes through which services are to be provided by two foundations, FUNDATEC and FUNCENAT, which are responsible for the administrative and financial management of the projects, allowing teachers and consultants to focus on academic and research-extension activities.

By application of Business Process Management (BPM) procedures, processes were analyzed and integrated in a structure, in order to optimize them, that is to achieve higher levels of productivity, efficiency and effectiveness.

In terms of methodology the first was to identify the context of the implementation and the steps needed. Then the current process was detailed; the diagram in Business Process Management Notation (BPMN) was made, and the opportunities for improvement in each one of the activities were identified through a method that consists of questioning activity the existence of it, the place, the execution time, and the used method.

Later, the process for implementation of the identified improvements was diagramed, including details about how it should be and recommendations to cover deficiencies in the current process.

The implementation of the identified improvements is still pending, so as the use of indicators to evaluate the execution of optimized processes.

## Introducción

Actualmente, el programa GoTouch del Centro de Investigaciones en Computación (CIC) cuenta con dos proyectos inscritos en la Vicerrectoría de Investigación del TEC, cuya finalidad es la de generar fondos que serán reinvertidos en los proyectos de investigación.

Antes de la realización de este proyecto, no se contaba con una metodología clara, precisa y concisa que permitiera realizar la tramitología para la gestión de servicios de consultoría, asesoría y capacitación a organizaciones externas, en forma rápida, utilizando algún patrón de trabajo que se adaptara a la forma de operar del Instituto Tecnológico de Costa Rica y a las necesidades específicas del programa, así como a las características de los servicios que se ofrecían.

Debido a esta situación, se originó la necesidad de proponer una metodología que tomara en cuenta tanto las mejores prácticas en administración de proyectos y consultoría de tecnologías de información, como el entorno donde se utilizaría, con el fin de maximizar el aprovechamiento de los recursos y la calidad de la consultoría, tomando en cuenta el cronograma, el costo y el alcance de los servicios brindados.

Mediante la metodología propuesta se identificó qué se debe hacer (conjunto de pasos), el dónde (departamentos y organismos involucrados) y cómo debe hacerse (secuencialidad, uso de herramientas, y otros).

Para la realización de la propuesta se aplicó la disciplina de la Gestión de Procesos de Negocio, *Business Process Management* (BPM) la cual se seleccionó debido a que facilita la administración de los procesos de la organización desde el análisis de los mismos, hasta la implementación de las oportunidades identificadas en un ciclo de mejora continua. Asimismo, en brinda un lenguaje común y de fácil entendimiento por los diferentes involucrados, sin importar el conocimiento técnico que posean, lo que facilita la comunicación de los resultados.

## La gestión de procesos de negocio

*Business Process Management* (BPM) es un conjunto de métodos, herramientas y tecnologías utilizados para diseñar, representar, analizar y controlar procesos de negocio operacionales. BPM es un enfoque centrado en los procesos para mejorar el rendimiento, que combina las tecnologías de la información con metodologías de proceso y gobierno. BPM es una colaboración entre personas de negocio y tecnólogos para fomentar procesos de negocio efectivos, ágiles y transparentes”. [1]

Tal como se muestra en la figura 1 BPM abarca personas, sistemas, proveedores, socios, clientes, funciones y negocios.



**Figura 1.** Alcance de BPM

## Metodología

Para tener una visión general de la manera como se aborda esta situación alrededor del mundo se hizo primeramente una revisión de literatura sobre una estructura formal y sistemática para el mejoramiento de procesos, que permitiera a la organización trabajar de acuerdo a un patrón debidamente probado en la industria, que aumentara las probabilidades de éxito del proyecto.

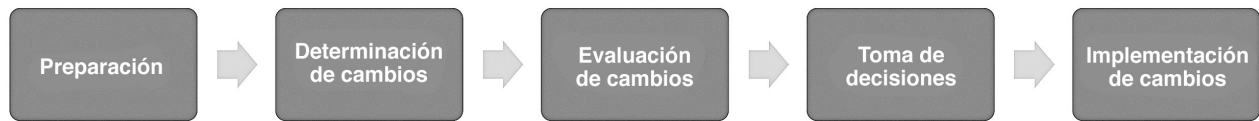
Se tomaron como referencia las metodologías de Alarcón, Alemany, Ortiz y Lario [1], y de The Ben Graham Corporation [9], para el mejoramiento de procesos de negocio.

En su artículo, Alarcón et al. describen su metodología para el diseño y rediseño o adaptación de procesos en un entorno específico, en este caso, la unificación de procesos en una cadena de suministro con el fin de comprometer pedidos; pero la metodología puede ser extrapolada a otros ámbitos.

La elaboración de la metodología supone a las siguientes fases (figura 2):

Preparación

- Determinación de cambios
- Evaluación de cambios
- Toma de decisiones
- Implementación de cambios



**Figura 2.** Pasos de la metodología de Alarcón, Alemany, Ortiz y Lario

Por otra parte, en su libro, The Ben Graham Corporation (2006) establece un método de seis fases para el modelado y mejoramiento de procesos. A continuación, se enuncian las fases de la metodología (figura 3):

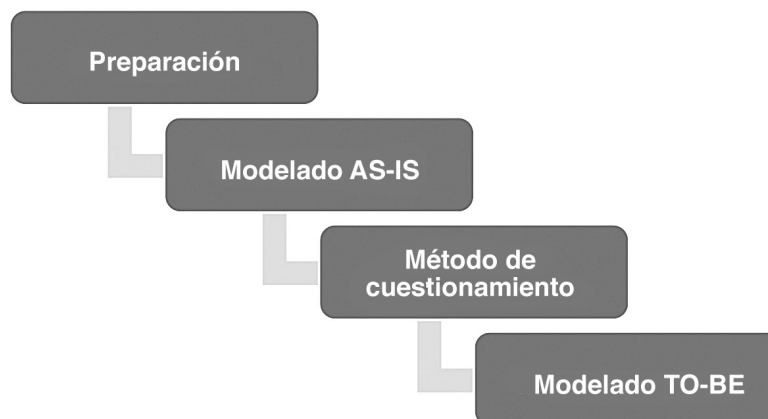
- Definición del proyecto
- Recolección de hechos
- Preparación de un mapa del proceso
- Cuestionamiento sobre el método actual
- Implementación del proceso mejorado
- Administración del proceso



**Figura 3.** Fases del Método de The Ben Graham Corporation

La metodología se elaboró teniendo como base las metodologías estudiadas en esta revisión de literatura y el proceso general descrito anteriormente. Consistió en cuatro fases (preparación, modelado AS-IS, método de cuestionamiento y modelado TO-BE), durante las cuales se revisó el proceso actual, se aplicaron métodos de optimización y finalmente se describió un proceso en el que se implementarían las oportunidades de mejora que se detectaron.

A continuación, en la figura 4 se detallan los pasos de la metodología elaborada para el mejoramiento de los procesos:



**Figura 4.** Pasos de la metodología empleada

## Preparación

En esta fase, se realizó una revisión documental del proceso actual y sus características, con el fin de definir los siguientes aspectos:

- Características del proceso y cómo se diferencia de otros procesos Actores y responsabilidades de estos, sean organismos o roles dentro de la institución (por ejemplo: FUNDATEC; coordinador del programa)
- Procedimiento para la prestación del servicio dentro del TEC
- Instrumentos necesarios a lo largo del proceso y un ejemplo del uso correcto de ellos, caso de los formularios o la inclusión de datos en un sistema por medio de formularios y la forma adecuada de llenarlos
- Inclusión de plantillas para redactar documentos necesarios a lo largo del proceso, como el plan de la consultoría, la especificación del servicio u otros documentos que se soliciten de acuerdo a la reglamentación del TEC y las fundaciones respectivas, así como un ejemplo de la forma de llenarlos

## Modelado AS-IS

Una vez conocido a fondo el proceso, se diagramó en notación de BPM, con sus distintos flujos y con suficiente nivel de detalle para reconocer bien lo que podía ser mejorado y aprender cómo implementar estas mejoras.

La notación permitió visualizar cuáles actividades son manuales, cuáles son asistidas por sistemas y cuáles están automatizadas, por lo que facilitará el análisis posterior.

El diagrama fue validado mediante la realización de un recorrido con los involucrados en el proceso, de manera que se aseguró que la información se tomó correctamente.

## Método de cuestionamiento

Se utilizó el método de cuestionamiento descrito en la metodología de The Ben Graham Corporation [9], con el que se identificó qué actividades pueden ser eliminadas, cuáles deberán sufrir cambios de lugar, tiempo o personal, y finalmente si se puede hacer más eficiente el proceso mediante la automatización de algunas de las tareas.

El método de cuestionamiento se aplicó por medio de una entrevista donde se consultó sobre las actividades del proceso AS-IS: ¿qué se hace y por qué se hace?, ¿cuándo, dónde y quién lo hace?, y finalmente, ¿cómo se hace y por qué se hace así?

Lo que se buscó identificar es lo siguiente:

- Si hay actividades que se pueden eliminar.
- Si se puede optimizar el proceso cambiando tiempo, lugar o persona que lo realiza.
- Si se puede optimizar cambiando los métodos mediante los que se llevan a cabo las actividades.

## Modelado TO-BE

En esta etapa, se realizó el diagrama en BPMN (figura 5) con base en el diagrama AS-IS, pero con los cambios y mejoras que se identificaron en el apartado anterior, reduciendo costos a lo largo del proceso y actuando de manera más eficiente, siempre tomando en cuenta las restricciones que impone en este caso la reglamentación del TEC.



## Resultados obtenidos

Se realizó primeramente una revisión documental del proceso con el fin de identificar los siguientes aspectos:

- Características del proceso
- Actores y responsabilidades
- Procedimiento

Además, se revisaron leyes, reglamentos y convenios, con el fin de caracterizar la prestación de servicios por medio de cada una de las fundaciones. A continuación se presentan los principales hallazgos, los cuales se detallan en el apéndice B: Hallazgos de la revisión documental.

### Prestación de servicios por medio de FUNDATEC:

- Por lo dispuesto en la Ley 7169, de Promoción del Desarrollo Científico y Tecnológico, los procesos de contratación administrativa en contratación directa deben ser realizados por medio de FUNDATEC.
- El costo administrativo de realizar proyectos por medio de FUNDATEC (*overhead*) está compuesto por las siguientes partidas: dirección del departamento 2%, coordinador de la actividad 3%, apoyo administrativo 1%, cargas sociales 43,71% del monto de planilla, gastos financieros 2,5%, fondo de imprevistos 2%, FUNDATEC 7%, Fondo de Desarrollo Institucional 8%, Centro de Investigaciones en Computación (CIC) 5%.
- Las actividades son complicadas y formales, debiendo llenarse varias plantillas para la realización de las tareas, las cuales tienen un grado de complejidad medio.

### Prestación de servicios por medio de FUNCENAT:

- Pueden solicitarse libremente a la hora de satisfacer necesidades del sector privado, sean capacitaciones o consultorías.
- El costo administrativo de realizar proyectos por medio de FUNCENAT (*overhead*) está compuesto por las siguientes partidas: dirección del departamento 2%, coordinador de la actividad 3%, apoyo administrativo 1%, póliza del consultor 1%, FUNCENAT 5%, CIC 5%.
- Las actividades son más flexibles y rápidas; muchos de los documentos se pueden enviar por correo electrónico y las plantillas y formatos manejados son más sencillos.

Los procesos se agrupan según la fundación por la cual se decide brindar el servicio. De acuerdo a esto se realizó el modelado de los siguientes procesos:

- Capacitación o consultoría por medio de FUNDATEC
- Capacitación o consultoría por medio de FUNCENAT

Los procesos se distribuyen en cuatro etapas de la siguiente manera:

#### 1) Preparación o etapa inicial:

En esta etapa, se identifican las necesidades del cliente y se realizan gestiones dentro del CIC, la Escuela de Computación y el TEC para seleccionar a los profesores encargados de brindar el servicio. Estos profesionales entran en contacto con el cliente y obtienen la información básica para elaborar una oferta.

Esta etapa concluye con la realización de una cotización y la entrega al cliente de una oferta de servicios que satisfaga los requerimientos identificados. Dicha oferta puede ser aceptada directamente por el cliente o puede necesitar cambios, en cuyo caso se hace la solicitud

de cambio, o puede rechazarse debido al surgimiento de nuevas necesidades, recortes de presupuesto o cualquier otro motivo que el cliente presente.

## 2) Ejecución:

Si el cliente acepta la oferta de servicios inicia la etapa dos, la ejecución del servicio. En esta etapa se realizan todos los trámites de formalización necesarios para la prestación del servicio a derecho, así como la firma de contratos que establecen las condiciones de la prestación de servicios (acuerdos de confidencialidad, contrato de prestación de servicios y otros).

También se ejecuta el proyecto, es decir, se realizan las sesiones del curso o se realiza la consultoría según lo acordado. Además, se puede evaluar el servicio con el cliente para obtener retroalimentación para la mejora continua.

## 3) Cierre

En esta etapa, se efectúan los pagos por los servicios brindados, mediante la debida emisión de facturas por parte de la fundación respectiva y la gestión del pago de parte del cliente en el plazo establecido, de lo cual se encarga el coordinador del proyecto. Una vez recibido el pago por el servicio, se deben cancelar las cuentas que indica el presupuesto, pagando los servicios profesionales o por planilla a los involucrados en el proyecto, así como la compra de los activos que se determinó adquirir y cualquier otro gasto que se haya previsto.

También en esta etapa, se procesan los resultados de la evaluación del servicio, para generar aprendizaje y planes de mejora en futuros proyectos.

## 4) Gestión de recursos

En caso de que queden recursos después de la cancelación de las cuentas del presupuesto, el coordinador puede usarlos con restricciones, por ejemplo, puede destinarlos como capital semilla para la realización de otro proyecto.

## Implementación del método de cuestionamiento

A continuación se enuncian los hallazgos realizados en relación con cada uno de los procesos estudiados:

### Etapa 1: Preparación o etapa inicial

#### Subproceso de selección del equipo de trabajo

- Se identificó la oportunidad de crear, publicar y mantener actualizado un catálogo de servicios del programa, para su divulgación, de ese modo se facilitaría la venta de los servicios a organizaciones. Además, se podría favorecer la creación de relaciones redituables y de largo plazo con los clientes que contraten a la institución y posteriormente se vean atraídos por otros servicios del catálogo.
- Se recomienda evaluar la posibilidad de que alguno de los profesores del programa se encargue, además de sus otras funciones, de identificar clientes potenciales y realizar actividades de mercadeo relacional.
- Se evidenció que las solicitudes de servicio en algunas ocasiones llegan a otros órganos dentro del TEC, y posteriormente son enviadas al Centro de Investigaciones en Computación. Para corregir esto, se podría comunicar a los clientes potenciales el punto de contacto idóneo para enviar sus solicitudes y así evitar o reducir la necesidad de reenviar correos electrónicos internamente.

- Se recomienda solicitar a los profesores oferentes la realización de un anteproyecto de la oferta con una plantilla estándar y de esta forma, el Comité Técnico del CIC podrá contar con las herramientas para tomar la mejor decisión.
- Se evidenció que cuando se trata de un oferente único no se evalúa la idoneidad del candidato. Hay que corregir este proceder, para asegurarse de que un profesor solo realice la prestación del servicio si está en la capacidad para hacerlo.
- Se evidenció también que actualmente no se cumple el reglamento del CIC en cuanto a la realización de las sesiones ordinarias del Comité Técnico una vez al mes.
- Actualmente, la decisión tomada por el Comité Técnico se comunica únicamente al equipo elegido; se recomienda comunicarla a todos los profesores oferentes y así evitar que estos rechacen otras consultorías o servicios a la espera de la resolución.

#### Subproceso de creación de la oferta

- Actualmente no existe una descripción de cursos que se pueden brindar al público para generar ingresos, sin que sea para atender la solicitud específica de un cliente.
- Se recomienda documentar y aplicar las lecciones aprendidas en recolección de los requerimientos del cliente, para así mejorar continuamente esta actividad.
- Se detectó que las hojas de cálculo utilizadas para la realización de cotizaciones no tienen precargadas las fórmulas a emplear en el cálculo de los ingresos y gastos.

#### Etapa 2: Ejecución

##### Subproceso de prestación del servicio por FUNDATEC

- La utilización del Fondo de Desarrollo para Proyectos para pagar la garantía de cumplimiento debe ser analizada con detenimiento tomando en cuenta el costo financiero y el plazo del préstamo, ya que esto reduce el margen de ganancia del proyecto.
- Se recomienda en lo posible utilizar los recursos de otro proyecto en calidad de préstamo para el pago de la garantía de cumplimiento.
- El tiempo necesario para la recolección de firmas en los contratos es variable según la disponibilidad de los involucrados.
- Se recomienda implementar el proceso de documentación de lecciones aprendidas para el mejoramiento continuo del proceso de prestación de servicios, junto con la evaluación del servicio por parte del cliente.

##### Subproceso de prestación del servicio por FUNCENAT

- El tiempo necesario para la recolección de firmas de los contratos es variable según la disponibilidad de los involucrados.
- Se recomienda implementar el proceso de documentación de lecciones aprendidas para el mejoramiento continuo del proceso de prestación de servicios, junto con la evaluación del servicio por parte del cliente.

#### Etapa 3: Cierre

##### Subproceso de cierre

- El mayor tiempo del proceso se invierte en la gestión del cobro del servicio una vez que se entrega la factura al cliente.

- El proceso de análisis de la evaluación del servicio es una actividad que se puede estandarizar para realizarla con mayor agilidad.

#### Etapa 4: Gestión de recursos

##### Subproceso de gestión de recursos

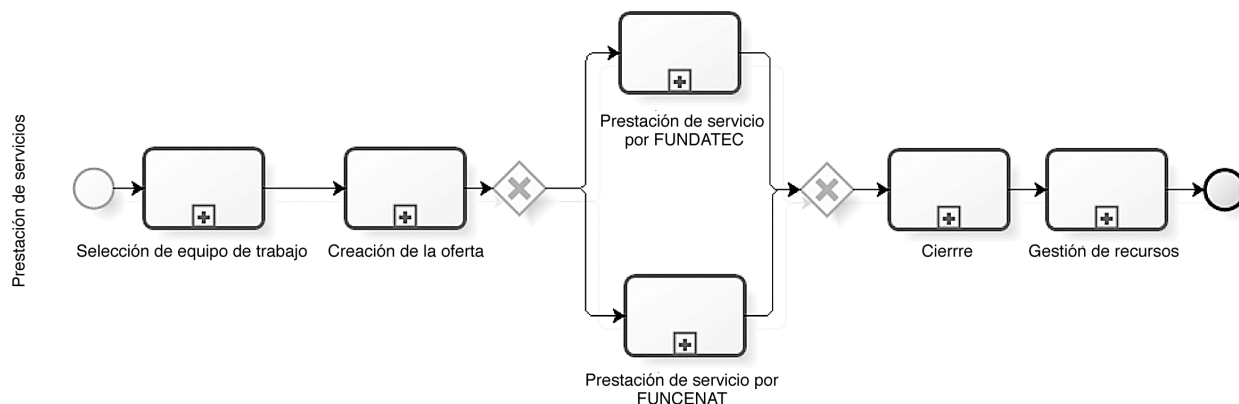
- De preferencia, se deben realizar proyectos que estén alineados a los objetivos del programa para maximizar la utilización de los recursos. Si se transfieren los recursos al Fondo de Desarrollo de la Unidad se cobra un diez por ciento de comisión.
- Evaluar la posibilidad de actualizar junto con FUNDATEC los documentos del proceso para hacerlos más sencillos y entendibles.

Ante estos hallazgos se decidió modelar los procesos optimizados usando criterio experto para seleccionar las mejoras por implementar; además se utilizó la notación de BPM para diagramar la secuencia de actividades de los procesos.

El modelado del proceso muestra la secuencia de los subprocesos necesarios para realizar la prestación de servicios dentro del programa.

Se identificaron los siguientes subprocesos:

- Subproceso para la selección del equipo de trabajo
- Subproceso para la elaboración de la oferta de servicios
- Subproceso para prestación de servicios por FUNDATEC
- Subproceso para prestación de servicios por FUNCENAT
- Subproceso de cierre
- Subproceso de gestión de recursos



**Figura 5.** Diagrama BPMN del proceso.

A continuación se listan las principales mejoras sugeridas para cada una de las etapas y sus subprocesos:

#### Etapa 1: Preparación o etapa inicial

##### Subproceso de selección del equipo de trabajo

- Implementar el mercadeo de los servicios del programa.

- Seleccionar el equipo de cada proyecto con base en el anteproyecto, la experiencia y las capacidades de cada oferente, aunque se trate de un oferente único.
- Definir un protocolo estándar para la selección del equipo de trabajo; para esto se podrá hacer referencia a la norma ISO 10667, la cual especifica los requisitos para la prestación de servicios de evaluación como procedimientos y métodos para la evaluación de personas en entornos laborales y organizacionales.
- Comunicar la escogencia del ganador del concurso interno a todos los participantes.
- Definir capacitaciones abiertas al público sobre temas con una cantidad suficiente de demanda.
- Analizar la posibilidad de incorporar buenas prácticas de ISO 9001, la cual se centra en todos los elementos con los que una empresa debe contar para mantener un sistema efectivo que le permita administrar y mejorar la calidad de sus productos o servicios.

#### Subproceso de creación de la oferta

- Revisar las hojas de cálculo utilizadas a lo largo del proceso para detectar e implementar mejoras que reduzcan los tiempos de ejecución.

### Etapa 2: Ejecución

#### Subproceso de prestación del servicio por FUNDATEC

- Utilizar en la medida de lo posible recursos prestados de otro proyecto, en vez del Fondo de Desarrollo de Proyectos.
- Implementar la documentación de lecciones aprendidas en el proceso.
- Agilizar la recolección de firmas de los contratos cuando sea posible.

#### Subproceso de prestación del servicio por FUNCENAT

- Implementar la documentación de lecciones aprendidas en el proceso.
- Agilizar la recolección de firmas de los contratos cuando sea posible.

### Etapa 3: Cierre

#### Subproceso de cierre

- Agilizar el cobro del servicio siempre que los métodos de cobro no desincentiven al cliente para volver a solicitar los servicios del programa.
- Utilizar tecnología para apoyar la evaluación del servicio.
- Darle seguimiento a la medición del servicio y comunicar los resultados de la evaluación y las acciones preventivas o correctivas que se decida tomar.
- Analizar la retroalimentación que se reciba por medio de otros canales de servicio al cliente.

### Etapa 4: Gestión de recursos

#### Subproceso de gestión de recursos

- Preferir la realización de un proyecto con capital semilla para no pagar al FDU el diez por ciento de comisión por transferencia de fondos.
- Evaluar los documentos del proceso principalmente con FUNDATEC.



## Conclusiones

1. El estatus actual de los procesos para la prestación de servicios por medio de FUNDATEC y FUNCENAT tiene puntos de mejora, de acuerdo con los involucrados en la realización de las actividades.
2. La metodología propuesta permite prestar servicios de consultoría y capacitación dentro del marco legal que circunscribe al Instituto Tecnológico de Costa Rica y los posibles clientes, sean estos del sector público o privado.
3. Existen oportunidades que no buscan únicamente hacer más eficientes las actividades de los procesos, sino fortalecer en forma integral la prestación de servicios. Por ejemplo, la formulación de un catálogo de servicios y la opción de realizar actividades de mercadotecnia dentro del programa.
4. Existen más oportunidades de mejora en la etapa inicial o de preparación, la cual es realizada principalmente en el CIC y la Escuela de Computación, y se lleva a cabo en forma compartida con ambas fundaciones. Esta situación tiene un impacto en todos los proyectos realizados sin importar cuál de las fundaciones participe.
5. La documentación detallada de procesos permite convertir el conocimiento tácito en conocimiento explícito, esto favorece el entendimiento por parte de las personas que se ven involucradas por primera vez en las actividades.
6. Los proyectos que se realizan como respuesta a una contratación directa regulada por la Ley de Contratación Administrativa y su reglamento deben canalizarse por medio de FUNDATEC.
7. FUNCENAT representa ventajas importantes por encima de FUNDATEC, en relación con costos y simplicidad de los trámites. La comisión administrativa que se cobra es menor y los trámites son realizables en su mayoría por correo electrónico, con el posterior envío de los documentos físicos, lo que agrega flexibilidad al proceso.
8. El uso de BPMN para la realización de los modelos AS-IS y TO-BE da un valor agregado a la investigación, pues permitió entender el proceso y los roles asociados desde un alto nivel de abstracción y luego bajar para llegar a los detalles de cada actividad.
9. Al ser una investigación-acción, los participantes eran quienes mejor conocían la problemática, y el uso del método de cuestionamiento permitió realizar los hallazgos a partir de sus puntos de vista.

## Bibliografía

- Alarcón, F., Alemany, M. d., Ortíz, Á. & Lario, F. (2006). *Metodología para el diseño y rediseño del proceso de comprometer pedidos en entornos colaborativos*. Valencia.
- Garimella, K., Lees, M. & Bruce, W. (2008). *Introducción a BPM*. Indianápolis, Indiana: Wiley Publishing, Inc.
- Gartner, Inc. (2013). Business Process Management Suites (BPMSs). Recuperado el 23 de Setiembre de 2014, de sitio web de Gartner, Inc.: <http://www.gartner.com/it-glossary/bpms-business-process-management-suite>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, M. d. (2010). *Metodología de la Investigación*. México D. F.: McGraw-Hill.
- Jeston, J. & Nelis, J. (2013). *Business Process Management Practical Guidelines to Successful Implementations*. Jordan Hill, Oxford: Elsevier Linacre House, Ltd.
- Ley de Contratación Administrativa, ley n.º 7494 (08 de junio de 1995) y sus reformas.
- Ley de Promoción del Desarrollo Científico y Tecnológico, ley n.º 7169 (26 de junio de 1990) y sus reformas.
- Object Management Group (2011). *Business Process Model and Notation (BPMN)*, version 2.0.
- The Ben Graham Corporation (2006). *Business Process Improvement Method*. Tipp City, Ohio.
- Ultimus Enterprise Solutions (setiembre de 2003). *An Introduction to BPM*. Cary, Carolina del Norte, Estados Unidos.

# Emission spectroscopy of an atmospheric pressure plasma

## Espectroscopia de Plasmas en condiciones de presión atmosférica

José Asenjo-Castillo<sup>1</sup>, Iván Vargas-Blanco<sup>2</sup>

---

*Fecha de recepción: 15 de abril de 2016*  
*Fecha de aprobación: 3 de agosto de 2016*

Asenjo-Castillo, J; Vargas-Blanco, I. Emission spectroscopy of an atmospheric pressure plasma. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, Número Especial Estudiantes 3. Pág 47-58. DOI: 10.18845/tm.v29i6.2901



- 1 Plasma Laboratory for Fusion Energy and Applications, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. E-mail: [jasca.tec@gmail.com](mailto:jasca.tec@gmail.com)
- 2 Plasma Laboratory for Fusion Energy and Applications, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Email: [ivargas@itcr.ac.cr](mailto:ivargas@itcr.ac.cr)



## Keywords

Plasma; OES; Emission Spectroscopy; Non-Thermal Plasma.

## Abstract

Recently atmospheric pressure plasmas have become a topic of great interest for a wide range of applications in different branches of industry. In order to ensure that the industrial and technological applications of plasmas are being carried out with a maximum of efficiency it is necessary to know and control the processes that take place in the plasmas during their application which is strongly associated with densities and temperatures of different plasma species such as electron and heavy particles. In this work are presented the results of the research focuses on the use of optical emission spectroscopy technique to study some parameters of high pressure plasmas.

## Palabras clave

Plasma; Espectroscopia de emisión; Plasma No-Térmico.

## Resumen

Los plasmas de presión atmosférica se han convertido en un tema de gran interés debido a una amplia gama de aplicaciones en diferentes ramas de la industria. Con el fin de garantizar que las aplicaciones industriales y tecnológicas se están llevando a cabo con un máximo de eficiencia es necesario conocer y controlar los procesos que tienen lugar dentro de los plasmas durante su aplicación aspectos que están fuertemente asociados con las densidades y temperaturas de las diferentes especies del plasma. En este trabajo se presentan los resultados de una investigación con el objetivo de crear la base para utilizar espectroscopia de emisión óptica a fin de estudiar algunos parámetros del plasma en descargas atmosféricas.

## Introduction

Recently atmospheric pressure plasmas have become a topic of great interest for a wide range of applications in different branches of industry. In these plasmas the electron temperature is far higher than the temperature of the heavy particles [1]; elastic collisions of the electrons are not effective in contrast to collisions of heavy particles however it can transfer energy to other processes such as ionization, activation or dissociation of molecules this explains the great interest in this type of plasmas.

Over the past 20 years, there has been growing interest in developing this type of devices, particularly for biomedical applications such as bacterial inactivation [2, 3], wound healing [4], dental bleaching [5]; atmospheric plasmas are also of great interest in the industry, improve adhesion for inks, paints, and coatings are examples of plasma applications in order to improve surface properties, changes on the surface energy of any material is one of the purposes of applying plasma [6].

Recently an atmospheric pressure plasma-JET and a parallel plate plasma reactor for biomedical and industrial applications has been developed in our Laboratory<sup>1</sup>, so there is a need to venture into the application of passive techniques to measure temperature and density in the plasma, the use of passive spectroscopy does not perturb the internal kinetics of the discharge since the observation are being carried out [7].



## Basics on Spectroscopy

### Atomic Spectra

Atomic spectra are principally concerned with the interchange of energy between the atom and electromagnetic radiation, where the exchange may be associated on the simplest model with a valence electron changing its orbit. Energy could be added to the radiation field (emission spectra) or also absorbed from it (absorption spectra).

The actual change in energy ( $\Delta E$ ) between the energy levels in an atom is related to the frequency of the radiation absorbed or emitted by the equation:

$$E' - E'' = \Delta E = h\nu \quad (1) [8]$$

Where  $h$  is Planck's constant and  $\nu$  is the frequency in cycles per second,  $E'$  is the total energy of the atom in its higher state and  $E''$  in the lowest state. For cases under study is of particular interest hydrogen atom because of its presence in plasma discharges at atmospheric pressure; there are many possible energy levels taking into account the values of energy levels corresponding with the principal quantum numbers ( $n$ ) 1, 2, 3, 4, 5, there are  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$  and  $E_5$  respectively.

If hydrogen is present in an electric discharge some of the molecules split up into atoms and some of these hydrogen atoms may reach an excited electronic state that could have  $n$  values greater than one. Some of the excited atoms lose the whole of their excess energy, returning to the lowest level ( $n=1$ , the ground state) and will emit radiation with frequencies  $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_4 \dots$  some electrons return to the  $n=2$  state and produce another set of frequencies  $\nu_1', \nu_2', \nu_3', \nu_4' \dots$  these different frequencies can be sorted out either by passing the emission beam through a prism or by a diffraction grating, the separation of the radiation into its component frequencies gives the spectrum of the element.

Spectroscopy is a non-intrusive method used to analyze electromagnetic radiation emitted or absorbed from a plasma source in order to obtain information about the plasma such as: electron density, state densities of the excited species, collisional electron-atom, atom-atom and ion-atom effects, energetic distribution of the species, temperature of the species, charge transfer between the components of the plasma, rotational structure of molecules and even electric and magnetic fields properties.

For these studies is common to consider the term wavelength instead frequency, these two terms are related by the equation:

$$\nu \lambda = c \quad (2) [8]$$

The values of  $\lambda$  and  $c$  depend slightly on whether the measurements are made: in vacuum or in air; the frequency, however, is in each case given by:

$$\nu = \frac{c_{air}}{\lambda_{air}} = \frac{c_{vac}}{\lambda_{vac}} \quad (3) [8]$$

If measurements are made in air for the wavelength may be corrected to  $\lambda_{vac}$  by:

$$\lambda_{vac} = n\lambda_{air} \quad (4) [8]$$

Where  $n$  is the refractive index of air at that particular wavelength

## Electromagnetic Spectrum

The electromagnetic spectrum is the range of all possible frequencies of electromagnetic radiation. The electromagnetic spectrum as see in Fig 1. extends from below the low frequencies used for modern radio-communication to gamma radiation at the short-wavelength (high-frequency).

The units employed to describe wavelength depend on the spectral regions concerned. Ångström (Å) units are normally used for atomic spectra, where  $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$  (5), other systems of units employed for recording wavelength are the micron ( $\mu$ ) and the millimicron ( $m\mu$ )

$$1\mu = 10^{-4} \text{ cm} \quad (6) [8]$$

$$1m\mu = 10^{-7} \text{ cm} \quad (7) [8]$$

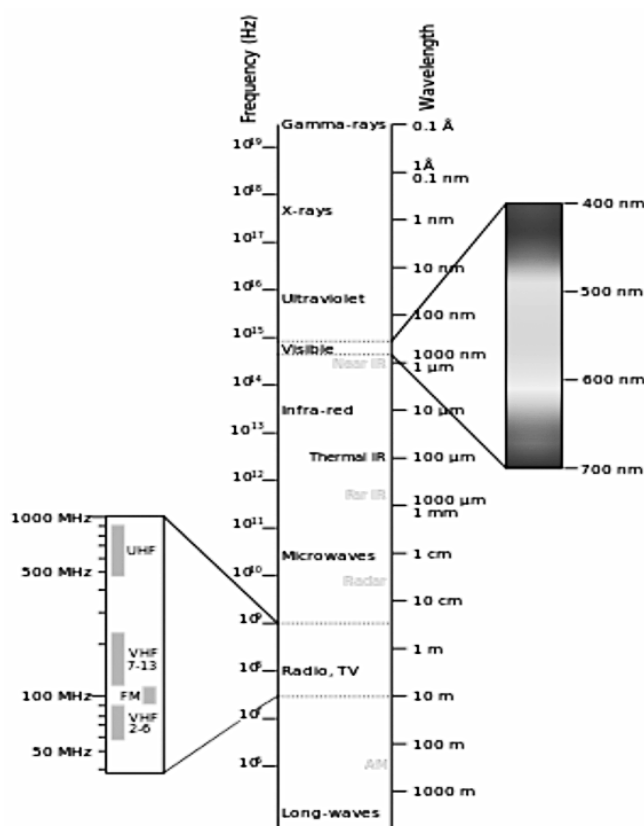


Fig 1. Electromagnetic Spectrum [9]

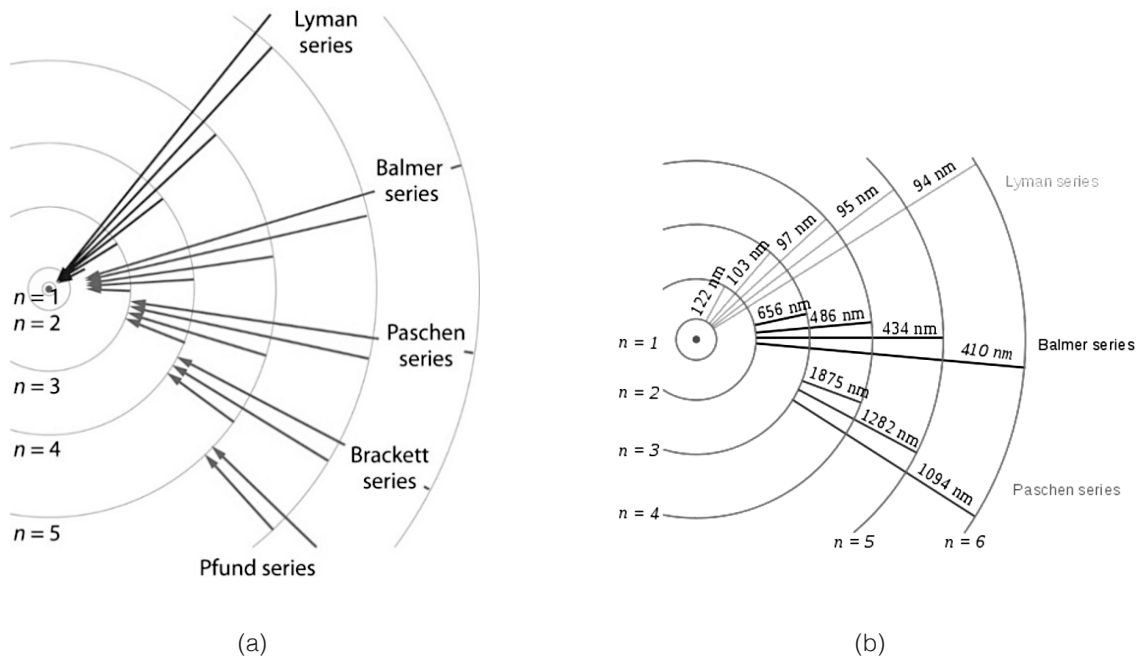
The study of plasma emission is focusing in the visible part of the spectrum although other spectroscopic techniques can be located in the region of ultra-violet (UV) or infra-red (IR) zones.

## Hydrogen Spectrum

One of the best approximation to hydrogen spectral series can be explained in terms of principal quantum number values. However, when the hydrogen lines are examined with a spectrograph of great resolving power, splitting of the lines may be detected. The emission spectrum of atomic hydrogen is divided into a number of spectral series, where wavelengths are given by the Rydberg formula:

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left( \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \quad (8) [8]$$

R is the Rydberg constant (approximately  $109\,677.59\text{ cm}^{-1}$ ),  $\lambda_{vac}$  is the wavelength of the light emitted in vacuum, Z is the atomic number, and  $n_1$  and  $n_2$  are integers representing the energy levels involved such that  $n_1 < n_2$ . It is important to emphasize that all observed spectral lines are due to electrons moving between energy levels in the atom. Fig. 2 shows the emission transitions for some series of hydrogen atom.



**Fig2. Emission** transitions for (a) Five series and (b) Three series in detail of hydrogen atom [9]

Some of these series of emissions are important for the calculation of some plasma parameters, especially at atmospheric pressure, for example Balmer Series which expected values in Å are given by Table 1.

**Table 1.** Balmer Series for hydrogen atom [8]

Line	Wavelength [Å]
H <sub>α</sub>	6562.79
H <sub>β</sub>	4861.33
H <sub>γ</sub>	4340.47
H <sub>δ</sub>	4101.74
H <sub>ε</sub>	3970.07
H <sub>ζ</sub>	3889.05
H <sub>η</sub>	3835.39
H <sub>θ</sub>	3797.90
H <sub>ι</sub>	377.63

### Line broadening mechanisms

Even if the emission lines are caused by quantized level transitions, they possess a defined width and shape that are associated with mathematical functions, the line shape or profile of a spectral line is dependent of the mechanism resulting in a total broadening that may be related to the collisional processes occurring in plasma or independent of it for example in the caused by the spectrometer or the nature of transition [10]. Table 1. shows broadening associated due particle collision and Lorentzian profile while Table 2. shows other types of broadening due different causes and also associated to Gaussian profile.

**Table 2.** Broadening due particle collisions [10]

Broadening Type	Collisions between
Resonance	Identical particles
Van der Walls	Different neutral particles
Stark	Charged Particles

**Table 3.** Broadening due other causes [10]

Broadening Type	Due to:
Natural	Results from Heisenberg uncertainty principle
Instrumental	Results from measuring spectrometer which has a finite resolution
Doppler	Difference in speed of particles

Corresponding profiles are superimposed by convolution when more than one broadening effect is at work so the line-shape or profile of a spectral line is dependent of the various mechanisms that causes the total broadening. That's is why is correct to say that spectral lines suffer a number of different broadening mechanisms resulting in a total broadening [10].

Because the sum of several different mechanisms associated with specific mathematical functions (Gaussian and Lorentzian profiles) is necessary the use of a line profile suitable for the resulting measurements. The Voigt profile it's a common line profile used in spectroscopy and is a convolution of Gaussian and Lorentz profiles, whose function is given by:

$$\gamma = \gamma_0 + \frac{A \cdot w \cdot \ln 2 \cdot wL}{n^{1.5} \cdot wG^2} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-t^2}}{\left( \sqrt{\ln 2} \frac{wL}{wG} \right)^2 + \sqrt{4 \ln(2)} \cdot \left( \frac{x-x_c}{wG} t \right)^2} dt \tag{9} [11]$$

Where  $w_L$  and  $w_G$  are the FWHM (Full width at half maximum) of the Lorentzian and Gaussian component respectively. This components are specifically given by:

$$\Delta\lambda_G = \sqrt{(\Delta\lambda_D)^2 + (\Delta\lambda_{INST})^2} \text{ [Å]} \quad (10) [10]$$

$$\Delta\lambda_L = \Delta\lambda_S + \Delta\lambda_W + \Delta\lambda_R + \Delta\lambda_{NAT} \quad (11) [10]$$

A small description for mentioned broadening mechanism in Tables 2 and 3 is given below, referring the FWHM for each of them:

### Instrumental Broadening

The instrumental width is given by:

$$\Delta\lambda_{INST} = (6.5 \times 10^{-3})f \text{ [Å]} \quad (12) [11]$$

Where  $f$  is the width of the slits in  $\mu\text{m}$ . This is caused by limits of the measuring spectrometer which has a finite resolution. It is important to check with the provider of the instrument the value of  $\Delta\lambda_{INST}$  as this may vary from instrument to instrument

### Natural Broadening

The natural broadening is caused by the finite lifetime of excited states and also can be determined by Heisenberg's uncertainty relation.  $\Delta\lambda_{NAT}$  [11] is given by:

$$\Delta\lambda_{NAT} = \frac{\tau}{4\pi c} \text{ [Å]} \quad (13) [10]$$

Since its value is in the order of  $\sim 10^{-3}$  it can be neglected in some cases.

### Doppler Broadening

This broadening is caused due the thermal velocity of the emitting atoms. It's possible to assume that the velocity follows a Maxwellian distribution and it depends only on their kinetic temperature  $T$ . So  $\Delta\lambda_D$  is given by:

$$\Delta\lambda_D = 7.16 \times 10^{-7} \lambda_0 \sqrt{\frac{T}{M}} \text{ [Å]} \quad (14) [10]$$

Where  $M$  is the mass of the radiating atom in atomic mass units,  $\lambda_0$  is the central wavelength in nm and  $T$  the temperature of the radiating atoms which in some cases may be equal to the gas temperature.

### Stark Broadening

This broadening is caused by Coulomb interactions between the radiator and charged particles present in plasma, also ions and electrons are responsible of this broadening but electrons presents the major effect due to their higher relative velocities. So  $\Delta\lambda_S$  is given by:

$$\Delta\lambda_S = 2.50 \times 10^{-9} \alpha_{\frac{1}{2}} n_e^{\frac{2}{3}} \text{ [Å]} \quad (15) [10]$$

Where  $\alpha_{\frac{1}{2}} = 0.0783 \text{ [Å/cgs]} \text{ [6]}$

### Resonance Broadening

This broadening is caused by the interaction of the emitting atoms with atoms in ground state. Usually, in hydrogen plasmas the three perturbing transitions considered are 1->2, 1->4 and 4->2 where  $\Delta\lambda_R$  is given by:

$$\Delta\lambda_R = \frac{3e^2\lambda_{42}^2}{16\pi^2\epsilon_0m_e c^2} \left\{ \lambda_{21}f_{12} \sqrt{\frac{g_1}{g_2}} N_g + \lambda_{41}f_{14} \sqrt{\frac{g_1}{g_4}} N_g + \lambda_{42}f_{42} \sqrt{\frac{g_2}{g_4}} N_g \right\} [\text{\AA}] \quad (16) [10]$$

Using the constants in Table 4.

**Table 4.** Constants for  $\Delta\lambda_R$  calculations [10]

$\lambda_{21}$	121.567nm
$\lambda_{41}$	97.2537nm
$g_1$	2
$g_2$	8
$g_4$	32
$f_{12}$	0.4162
$f_{14}$	0.02899
$f_{24}$	0.1193

Also  $\Delta\lambda_R$  can be related whit the hydrogen atoms mole fraction  $X_h$  and the gas temperature  $T_g$  by the following expression:

$$\Delta\lambda_R = 30.6 \frac{X_h}{T_g} [\text{\AA}] \quad (17) [10]$$

### Van der Waals Broadening

This broadening is caused by perturbers that do not share a resonant transitions with the radiating atom.  $\Delta\lambda_W$  is given by:

$$\Delta\lambda_W = \frac{\lambda_{42}^2}{2c} \left[ \frac{9\pi^5 \overline{R_\alpha^2}}{16m_e^3 E_p^2} \right]^{\frac{2}{5}} V_{rp}^{3/5} N_p [\text{\AA}] \quad (18) [10]$$

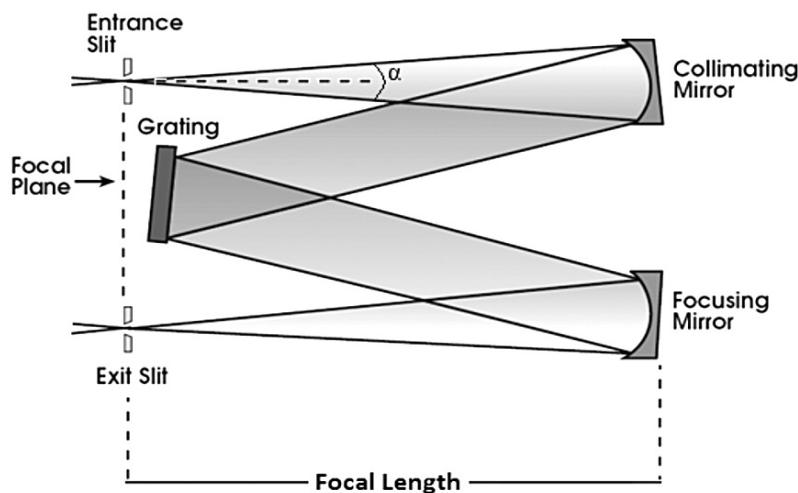
Where  $V_{rp}^{3/5}$  is the relative speed of the radiating atom and the perturber,  $E_p$  is the energy of the first exited state of the perturber connected whit its ground state by an allowed transition, and  $\overline{R_\alpha^2}$  is a matrix element.

## Spectroscopic study of atmospheric plasma

### Spectrometer

The instrument that records the relative intensities of the wavelengths that are present in a light beam, over a certain wavelength interval is known as spectrometer, its basic structure can be observed in Fig.3

The spectrometer also has a dispersing element that spatially separates the various wavelength components entering through the Entrance Slit; in most practical situations this is a reflection grating, which has a mirror-like surface with a periodic structure and at the end in the Exit Slit it has a detector to collect the dispersed light out of the device. The output signal is then analyzed to determine the relevant parameters of plasma



**Fig. 3** Basic configuration of a spectrometer [13]

Some of the most important parameters of a spectrometer are: Focal length, diffraction grating, resolution, dispersion and aperture. There are multiple tutorials and guides that explain the physics of these devices and help to find a number of key parameters for the calculation for future calculations, some of these parameters are inherent in constructive features of the device used, so the reader is invited to search for relevant literature.

### Plasma classification

Plasma, a quasi-neutral gas, is considered to be the fourth state of matter, following the more familiar states of solid, liquid & gas and constitutes more than 99% matter of the universe. It is more or less an electrified gas with a chemically reactive media that consists of a large number of different species such as electrons, positive and negative ions, free radicals, gas atoms and molecules in the ground or any higher state of any form of excited species [12].

In order to obtain information about the plasma is important to consider some characteristic of de discharge, plasmas can exist over an extremely wide range of temperature and pressure.

One of the most useful classifications for plasmas is depending on their temperature; plasmas can be distinguished into two main groups i.e., the high temperature or fusion plasmas and the low temperatures or gas discharges.

A typical classification and parameters of different kinds of plasmas is given in Table 5.

High temperature plasma			
Plasma	State	Notes	Example
High temperature plasma (Equilibrium plasma)	$T_e \approx T_i \approx T_g$ $T_p = 10^6 - 10^8 \text{K}$ $n_e \geq 10^{20} \text{m}^{-3}$		Laser Fusion Plasma Tokamak Plasma
Low temperature plasma			
Plasma	State	Notes	Example
Thermal plasma (Quasi-equilibrium plasma)	$(T_e \approx T_i \approx T_g) \leq 2 \times 10^4 \text{K}$ $n_e \geq 10^{20} \text{m}^{-3}$		Arc plasma, plasma torches, RF inductively coupled discharges
Non thermal plasma (Non-equilibrium plasma)	$[T_e \gg (T_i \approx T_g)] = 300 \dots 10^3 \text{K}$ $n_e \approx 10^{10} \text{m}^{-3}$	$T_g \approx T_r$ $T_v > T_r$ (indicates the non-equilibrium in plasma)	Glow, corona, APPJ, DBD, MHCD, OAUGDP, plasma needle etc

Where:

$T_e$  = Electronic Temperature

$T_i$  = Ionic Temperature

$T_g$  = Gas Temperature

$n_e$  = electronic density

$T_v$  = Vibrational Temperature

$T_r$  = Rotational Temperature

### Spectroscopy study of atmospheric plasma

The shape and width of a spectral line emitted by the plasma are a consequence of the processes that happen in the discharge. Moreover, the optical device used in the laboratory to register the radiation introduces additional broadening on its profile [7].

The spectral line profile can be approached to a Voigt function (Voigt profile) at atmospheric pressure conditions. This function is the result of the deconvolution of a Gaussian function with a Lorentzian function, their broadenings being  $\Delta\lambda_g$  and  $\Delta\lambda_l$ , respectively. The Gaussian part of the profile is due to the Doppler ( $\Delta\lambda_D$ ) and the instrumental broadenings ( $\Delta\lambda_i$ ); the Lorentzian part to the Stark ( $\Delta\lambda_s$ ) and the van der Waals ( $\Delta\lambda_{wv}$ ) ones. To unfold the Voigt profile into its Lorentzian and Gaussian components it should be used adequate software [7].

It's also important to consider other broadenings that contribute to the total profile width in order to determine if it can be negligible or not. Below is a quick explanation about the calculation of parameters of plasma using the spectra generated.



### Gas temperature

This temperature ( $T_g$ ) corresponds to the measurement of energy acquired by heavy particles (atoms and ions) of discharge principally by collisions with the plasma electrons.

As shown in Table 5. the gas temperature may approach the rotational temperature, especially that emitted by certain molecular species as  $N_2$ ,  $C_2$ ,  $CN$  and  $OH$ , many of those molecules are present in discharges at atmospheric pressure, there are many software available for free for the simulation and comparison with experimental data, so it is possible to determine the gas temperature by measuring rotational temperature of one of these species and then compare with simulation data.

In some cases the ro-vibrational spectra of the molecular species are too weak. Then, another possibility is to determine  $T_g$  directly from the Doppler or the van der Waals broadenings of the spectral lines emitted by the plasma because each one of these broadenings is a function of the gas temperature [7].

When the instrumental broadening dominates the Gaussian component of the spectral line, the Doppler broadening cannot be used to obtain the gas temperature value [7].

### Electron Temperature

This ( $T_e$ ) value corresponds to the energy of the plasma electrons and being use in the ionization an excitation processes that take place in the discharge. In order to obtain information about electronic temperature of the plasma there is possible to use the  $H_\beta$  line, from the Hydrogen Balmer series (transition from  $n=4$  to  $n=2$  levels) the experimental determination of the temperatures can be achieved by fitting experimental spectra with simulated ones assuming a Maxwellian distribution of the atoms [11] given by Ec.9

In order to calculate the temperature is necessary to use the expression of the gaussian width given by Ec. 11 and consider the instrumental broadening given by Ec.12. From the Doppler broadening (Ec. 12) is possible to estimate temperature using the following equation:

$$T = M \left( \frac{\Delta\lambda_D}{(7.16 \times 10^{-7})(\lambda)} \right)^2 \text{ [K]} \quad (19)$$

### Electron density

Since electrons control the processes of excitation and ionization that take place in the discharge directly or through other processes, this value  $n_e$  is one of the most important plasma parameter to consider.

In order to calculate the electron density of the plasma is necessary to use the Stark broadening equation, inverting equation 15 is possible to get  $n_e$ :

$$n_e = \left( \frac{\Delta\lambda_S}{(2.5 \times 10^{-9})(\alpha_1)^{\frac{1}{2}}} \right)^{3/2} \text{ [cm}^3\text{]} \quad (20)$$

In plasmas with electron density value higher that  $10^{15} \text{ cm}^{-3}$  the contribution of the van der Waals broadening to the Lorentzian width can be considered negligible [7]; So it's possible to assume that the most relevant contribution for  $\Delta\lambda_L$  come from the Stark broadening ( $\Delta\lambda_S$ ) also for low pressure an atmospheric discharges., therefore,  $n_e$  is obtained by inserting the Lorentzian width component obtained from the fitting process in equation.



However, for plasmas with electron density lower than  $10^{15}$  cm<sup>-3</sup> it is necessary to calculate the contribution of the van der Waals broadening to the Lorentzian width and eliminate this broadening from that one [14].

## Conclusions

A method and introduction to measure atmospheric plasma parameters (densities and temperatures) through optical spectroscopy have been described, is very important to know beforehand instrumental limitations and plasma characteristics in order to determine whether it is possible to apply the method described.

According to the power source and type of reactor used to generate a plasma discharge, it's easy to establish a classification according to the possible plasma temperature, them is recommended to apply the classification criteria indicated in Table 5 in order to simplify the analysis to be performed.

For Non thermal plasma (non-equilibrium) the rotational temperature, could be emitted by certain molecular species as N<sub>2</sub> C<sub>2</sub> CN and OH, there are many database and spectral simulation software tools (like LIFBASE ) available for the simulation and comparison with experimental data, so it is possible to determine the gas temperature by measuring rotational temperature of one of these species and then compare with simulation data.

## References

- [1] X. Lu, M. Laroussi and V. Puech, On atmospheric-pressure non-equilibrium plasma jets and plasma bullets, IOPscience 2012 Plasma Sources Sci. Technol. 21 034005 (2012)
- [2] Laroussi M 2005 Plasma Process. Polym. 2 391
- [3] Deng X T, Shi J J and Kong M G 2006 IEEE Trans. Plasma Sci. 34 1310
- [4] Fridman G, Friedman G, Gutsol A, Shekhter A B, Vasilets V N and Fridman A 2008 Plasma Process. Polym. 5 503
- [5] Lee H W, Kim G J, Kim J M, Park J K, Lee J K and Kim G C 2009 J. Endod. 35 587
- [6] B. Welt, Technical Synopsis of Plasma Surface Treatment, 2009, iopp.org
- [7] M.D. Calzada, Spectroscopy methods applied to the research in plasmas at atmospheric pressure, 24th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases IOP Conference Series
- [8] S. Walker and H. Straw, Spectroscopy Volume One. Atomic microwave and radio frequency spectroscopy. Science Paperbacks
- [9] Electromagnetic spectrum. (2014, December 5). In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved 15:10, December 9, 2014, from [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Electromagnetic\\_spectrum&oldid=636697712](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Electromagnetic_spectrum&oldid=636697712)
- [10] S. Espinho. Experimental investigation of UV radiation from microwave Ar, Ar-H<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> plasmas. Dissertacao para a obtencao de Grau de Mestre em Engenharia Fisica Tecnologica, November 2012, Instituto Superior Tecnico, Lisboa, Portugal
- [11] A. Dias. Spectroscopy Lab-Method of diagnostic, Instituto Superior Tecnico, Lisboa, Portugal
- [12] V. Nehra, A. Kumar, H. Diwivedi Atmospheric Non-Thermal Plasma Sources CSJournals Volume2 Issue1
- [13] (2013, October 28). Optical Spectroscopy Components. Lecture conducted from HORIBA Scientific, Cartago, Costa Rica.
- [14] Yubero C, Dimitrijević M S, García M C and Calzada M D 2007 Spectrochim. Acta B 62 169

## Acknowledgements

Special thanks to “Programa de Movilidad Estudiantil” of Technology of Costa Rica for sponsoring part of the internship in the Instituto de Plasmas e Fusao Nuclear which this work is derived.

# Redes de Turismo Rural Comunitario: La experiencia de Argentina y Costa Rica

## Rural Community Tourism Networks: The experience of Argentina and Costa Rica

Valeria Murillo-Soto<sup>1</sup>

---

*Fecha de recepción: 7 de abril de 2016*  
*Fecha de aprobación: 11 de setiembre de 2016*

Murillo-Soto, V. Redes de Turismo Rural Comunitario: La experiencia de Argentina y Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, Número Especial Estudiantes 3. Pág 59-68.  
DOI: 10.18845/tm.v29i6.2902



<sup>1</sup> Estudiante de la carrera de Gestión de Turismo Rural Sostenible, Escuela de Idiomas y Ciencias Sociales, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede San Carlos. Costa Rica. Correo electrónico: val.14ms@gmail.com



## Palabras clave

Turismo Rural Comunitario; redes de turismo; vinculación; desarrollo rural.

## Resumen

En este artículo se presenta parte de los resultados de una investigación que se realizó a finales del año 2014, la cual tuvo como objetivo determinar la vinculación existente entre emprendedores en el área de Turismo Rural Comunitario (TRC) y las Organizaciones de Base Comunitaria (OBC) que los apoyan. De estas organizaciones se seleccionaron dos para el estudio: la Alianza de Turismo Alternativo (ACTUAR), de Costa Rica, y la Red Argentina de Turismo Rural Comunitario (RATURC), de Argentina. Esta se determinó por medio de una encuesta realizada a emprendedores pertenecientes a las dos redes de apoyo mencionadas, empleando variables demográficas, datos generales del emprendimiento, la comercialización y la comunicación entre redes y afiliados.

Los resultados indicaron, para ambos casos, que los emprendedores perciben a las redes como facilitadores de herramientas para mejorar su desempeño. En el caso de Argentina, el apoyo del Estado y la vinculación con él son más evidentes que en Costa Rica. Por otra parte, probaron que existe personal capacitado para la atención de turistas en ambos casos.

## Keywords

Rural Community Tourism; tourism networks; relationships; rural development.

## Abstract

In this article some results of a research that was conducted in the late 2014 are presented. The objective of research was to describe the relationship between networks that support Rural Community Tourism (TRC) and their entrepreneurs. Two supporting organizations were chosen: Alianza Conservacionista de Turismo Alternativo de Costa Rica (ACTUAR) and Red Argentina de Turismo Rural Community (RATURC).

Links among networks and entrepreneurs were determined by a survey taken to entrepreneurs who belong to CBOs. The application of the survey allowed to obtain demographic variables, and general data of rural tourism businesses, marketing, and communication between networks and affiliates.

The results indicated, in relation to both organizations, that entrepreneurs perceive them as providers of tools to improve performance. In the case of Argentina, support from the State and linkage with it are more manifest than in Costa Rica. Results also evidenced that there is staff trained to provide assistance to tourists, in both cases.

## Introducción

La información que aquí se presenta corresponde a la experiencia realizada con el apoyo del Programa de Pasantías para la Movilidad Estudiantil, el cual pretende fortalecer la internacionalización educativa y la apropiación cultural con la incorporación de los educandos en programas impartidos en el extranjero.

Para el año 2014, tres estudiantes de la sede en San Carlos del Tecnológico de Costa Rica, fueron los beneficiados con este programa, entre estos, dos de la carrera de Gestión de Turismo

Rural Sostenible, la cual tiene tras de sí un recorrido de nueve años. La experiencia vivida durante la pasantía realizada permitió completar gran parte del Proyecto Final de Graduación.

El objetivo de este proyecto consistió en determinar las particularidades de la interacción existente por un lado, entre la Alianza Conservacionista de Turismo Rural de Costa Rica, y por otro, entre la Red Argentina de Turismo Rural Comunitario y los emprendimientos que las conforman, respectivamente, para posteriormente realizar una comparación entre los elementos relevantes de la operatividad de las redes en estudio.

## **La Red Argentina de Turismo Rural Comunitario**

La Red Argentina (RATuRC) y el Turismo Rural Comunitario están incluidos en el Plan Federal Estratégico de Turismo Sustentable 2020, como una línea de acción dentro de la política nacional, la cual se basa en el desarrollo con inclusión social, la revaloración del patrimonio natural y cultural, y la incorporación de la economía social como factor productivo.

Según RATuRC (2006), la red surge en el año 2006, para promover la autogestión entre los pueblos originarios y las comunidades campesinas, de tal manera que logren hacer de sus emprendimientos fuentes de ingresos, mostrando a los visitantes su cultura, sus costumbres y sus saberes.

## **Alianza Conservacionista de Turismo Alternativo de Costa Rica**

La Red ACTUAR ha sido creada para representar las iniciativas del segmento en cuestión y comercializar la oferta de manera articulada, y surge a partir del año 2003.

Las iniciativas que conforman ACTUAR son conducidas por organizaciones locales de diferente índole, llámense cooperativas, asociaciones conservacionistas, grupos de mujeres, fundaciones, asociaciones de productores, comités locales, y agrupaciones locales sin fines de lucro, que trabajan con el objetivo de promover la sostenibilidad económica, ambiental y cultural (ACTUAR, 2003).

## **Metodología**

El estudio consistió en un análisis exploratorio y descriptivo. En el caso de la red ACTUAR, la muestra fue delimitada con base en criterios de expertos; concurren 19 organizaciones que se encuentran ubicadas a lo largo del país.

Para RATuRC se hizo un muestreo por conveniencia, del que se obtuvo como resultado 8 organizaciones, que engloba las que tienen más experiencia y están actualmente activas en las regiones del litoral y del norte, por la proximidad geográfica que hay entre ellas. Ambas muestras, combinan asociaciones, cooperativas y empresas de zonas indígenas, zonas costeras, zonas de montaña y zonas aledañas a áreas protegidas del país.

La obtención de datos e información en ambos países se hizo mediante fuentes bibliográficas y la aplicación de encuestas a personas clave relacionadas con la temática trazada.

El instrumento diseñado contiene las siguientes variables: datos generales del encuestado, del emprendimiento, y vinculación entre los emprendedores y las Organizaciones de Base Comunitaria (OBC), a saber, ACTUAR y RATuRC, respectivamente. La encuesta contempló 24 preguntas de selección única y 5 de respuesta abierta, 16 enunciados de respuesta corta y una pregunta de selección múltiple con nueve opciones.



Figura 1. Muestra de ACTUAR, Costa Rica

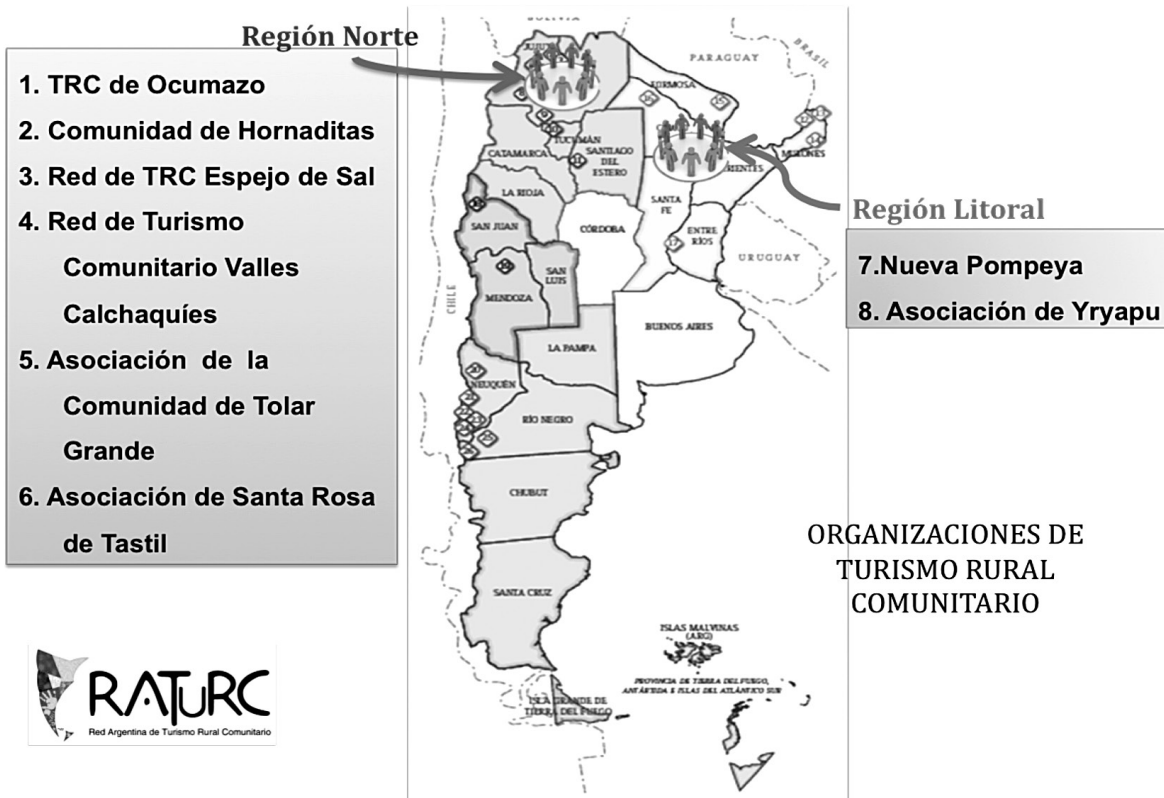


Figura 2. Muestra de RATuRC, Argentina

El tratamiento de datos se efectuó con apoyo en herramientas tales como hojas de cálculo y gráficos en Microsoft Excel, formularios y hojas de cálculo en Google Drive. Posteriormente se realizó un análisis de los resultados de las encuestas, utilizando el análisis de frecuencias de respuesta y la media porcentual.

## Resultados

En el cuadro 1, se observan los resultados obtenidos sobre los datos generales de los emprendedores.

**Cuadro 1.** Características de los participantes del estudio.

Características	Frecuencia según la red	
	ACTUAR	RATuRC
Género	100	100
Masculino	40%	44%
Femenino	60%	56%
Edad	100	100
18 a 30	5%	11%
31 a 45	30%	53%
46 a 60	55%	28%
61 o más	10%	8%
Escolaridad	100	100
Sin estudios	0%	3%
Primaria	55%	61%
Secundaria	5%	17%
Técnica	5%	8%
Universitaria	35%	11%
Estado Civil	100	100
Soltero (a)	15%	31%
Casado (a)	65%	42%
Divorciado(a)	5%	6%
Viudo (a)	5%	3%
Unión libre	10%	19%

El papel de la mujer es muy importante en este sector del turismo; viudas, mujeres amas de casa, madres solteras o mujeres sin opciones laborales. El Turismo Rural Comunitario (TRC) es una opción accesible para minorías que muchas veces no son atendidas por otras instancias.

Y si se asocia esto con la edad, se puede notar que las Organizaciones de Base Comunitaria (OBC) generan una mejor calidad de vida a los adultos mayores y a los agricultores en pequeña escala, que al mismo tiempo son las personas con más experiencia. Las familias son fundamentales en el TRC, especialmente en Costa Rica, los lazos que se crean en las OBC

vienen desde esas relaciones, ya que las familias son las que empiezan a fundamentar la idea, y la mayoría de los miembros de la familia son los encargados de prestar los servicios y manejar la parte administrativa.

**Cuadro 2.** Datos generales del emprendimiento

Características	Porcentaje	
	ACTUAR	RATURC
Red		
Salario	100	100
Salario mínimo o menor	65%	72%
Mayor que el salario mínimo	35%	28%
Ocupación	100	100
Dependen de TRC	50%	36%
TRC y otra (agricultura o pesca)	21%	56%
Otras actividades	29%	8%
Años de experiencia en TRC	100	100
Mayor de 15 años	20%	0%
De 9 a 15 años	30%	33%
De 4 a 8 años	42%	28%
De 0 a 3 años	10%	38%

En ambos casos los emprendedores reciben un salario mínimo o hasta más bajo (cuadro 2). Esto se puede relacionar con el nivel educativo; son pocos quienes pasan de la primaria y, en algunos casos, no la han completado, por lo que las oportunidades laborales son más escasas, lo cual es más frecuente en Argentina; en consecuencia, el TRC les ha sido de gran provecho. Para RATuRC la mayoría de los emprendedores se dedican el cien por ciento al TRC o lo combinan con actividades como la agricultura, lo que les permite mantener su identidad prominente.

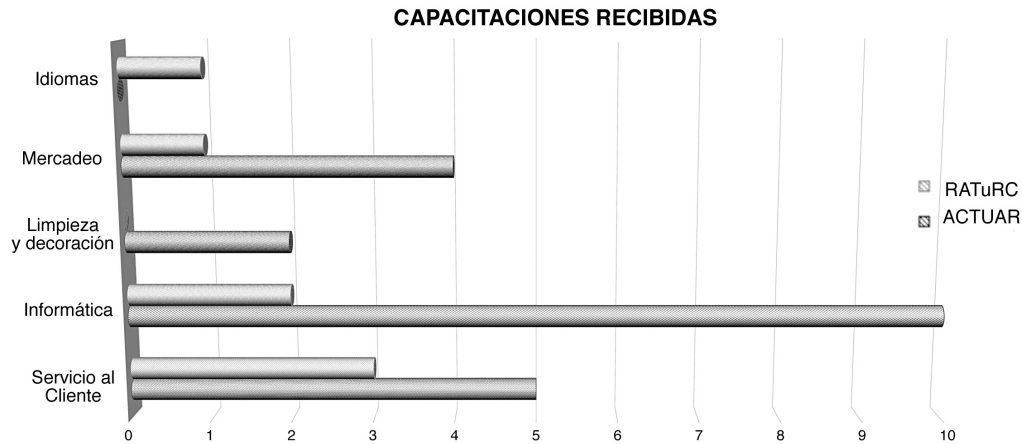
La mayoría de los encuestados han pasado del sector primario al sector de servicios, lo que ha significado un reto por el restringido acceso a preparación técnica y capacitación; esto se refleja en el escaso conocimiento en administración de negocios. Los emprendedores de Argentina, en cambio, tienen el acompañamiento de un técnico de turismo, lo que minimiza ese obstáculo. Las capacitaciones que han recibido han sido directamente por medio de las redes, o en otras circunstancias, estas han funcionado como intermediarias con algún otro ente.

Los emprendedores de ACTUAR han adquirido capacitaciones en temas como Certificado de Sostenibilidad Turística, guía general, computación, hotelería y servicio al cliente, en su mayoría brindadas por instituciones del Estado, entre ellas el Instituto Nacional de Aprendizaje, la Universidad de Costa Rica y la Universidad Nacional, siendo la red la que las ha gestionado.

Para la red argentina, los principales temas son gastronomía tradicional, diseño artesanal, elementos del TRC y guía. Los emprendedores están capacitados en primeros auxilios básicos y reconocen que necesitan más preparación en ese ámbito. Las capacitaciones han sido



impartidas directamente por el equipo de la red, o esta ha sido intermediaria con otro ente, como el Ministerio de Turismo.



**Figura 3.** Capacitaciones recibidas

La preparación en manejo computacional ha sido muy básica: navegación en Internet y uso de correos electrónicos, redes sociales o paquetes de office; ambos países indican esto como una limitación. Los emprendedores de RATuRC consideran que todos necesitan llegar a un mismo nivel de conocimiento.

Los emprendedores de ACTUAR enunciaron temas en los que requieren estar capacitados, entre los más sustanciales están administración de empresas, inglés, prácticas sostenibles, mercadeo y computación. En el caso de RATuRC, idiomas, primeros auxilios básicos, gastronomía tradicional, técnicas artesanales, las TIC, computación y formación para guía.

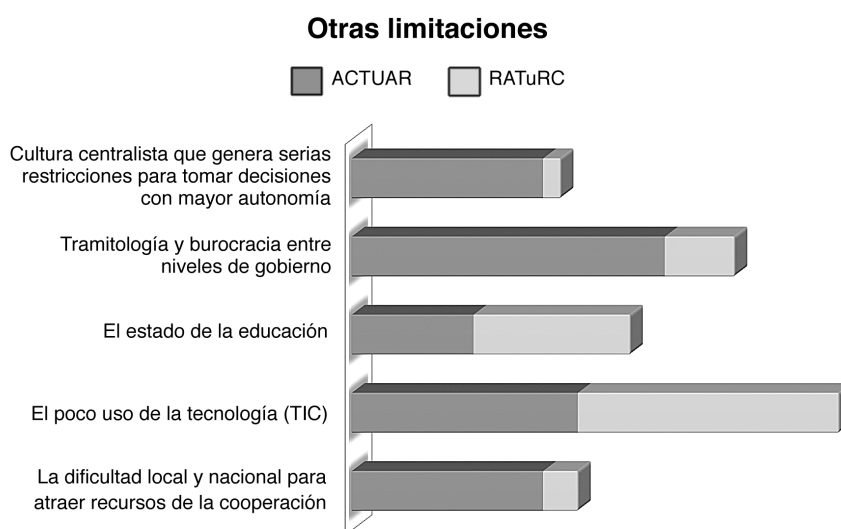
En el cuadro 3 se exponen algunas afirmaciones de los emprendedores acerca de las OBC y las redes

**Cuadro 3.** Opiniones de los emprendedores con respecto a las OBC

Enunciado	ACTUAR	RATuRC
Es sencillo cumplir con los requisitos para ingresar a la organización.	70%	67%
Ha sido provechoso pertenecer a la organización.	90%	89%
Los resultados obtenidos han sido importantes para su emprendimiento.	75%	97%
Se promocionan y comercializan sus servicios como consorcio.	80%	92%
La oferta de TRC crecerá.	75%	85%
La demanda aumentará (en 3 años).	80%	89%
En tres años TRC será su principal fuente de ingresos.	70%	78%

Con respecto a lo observado en el cuadro 3, la situación es muy similar en los dos países: más de la mitad de los emprendedores consideran que es sencillo cumplir con los requisitos para ingresar a la OBC. Además, creen que la oferta de TRC crecerá, ya que actualmente hay personas interesadas en ser parte de la organización y porque se han incorporado más personas en los últimos años.

En Costa Rica, un porcentaje mayor opina que es difícil obtener recursos de cooperación y que la traumatología es muy inflexible; además, indican que hay una cultura centralista que no expresa equidad, como también, que existe muy poco apoyo por parte de los gobiernos locales y nacionales. Los argentinos, por el contrario, han tenido un apoyo más significativo y mayor acceso a recursos. (Véase figura 4)



**Figura 4.** Limitaciones que enfrentan los emprendedores de las redes

Conjuntamente los encuestados mencionaron otras limitaciones, entre las cuales están la competencia desleal, a causa de la homogeneidad que hay entre los productos; la falta de recursos para invertir en mercadeo o la insuficiente comercialización; la falta de mecanismos efectivos de comunicación, y asuntos relacionados con la infraestructura (la señalización, vías de comunicación, accesos a internet, electricidad o transporte).

En el cuadro 4 a continuación, se citan los porcentajes de los emprendedores que apuntaron “afirmativamente” con respecto a su vinculación con las redes.

Los emprendedores de ACTUAR mostraron un nivel importante de insatisfacción y dejaron ver que la red no ha alcanzado las metas. Una pequeña parte de los emprendedores de ACTUAR consideró que los ingresos sí han aumentado después de agremiarse a la red, en lo que se evidencia que existe disconformidad, ya que según su opinión, no se trabaja de manera equitativa y sienten la necesidad de obtener un nivel de preparación técnica mayor.

En cuanto a la comunicación que tiene lugar de la Administración Ejecutiva de ACTUAR, hacia los emprendedores ellos consideraron que debe mejorar; además, que el grado de acercamiento a las organizaciones es diferente. Lo anterior también se da en la RATuRC, pero con menos frecuencia. Esta última cuenta con un reglamento operativo interno, el cual tiene como propósito marcar las pautas para que las actividades turísticas no generen impactos negativos.

**Cuadro 4.** Afirmaciones sobre la vinculación entre las redes y los asociados

Afirmaciones	ACTUAR	RATuRC
La red considera su opinión para la toma de decisiones.	65%	44%
Asistir a las asambleas generales han sido de utilidad para Ud. y su emprendimiento.	65%	50%
Asiste regularmente a las actividades que realiza la red.	50%	47%
Mejoraría el aporte técnico por parte de la red.	85%	80%
Considera que la red ha alcanzado sus metas.	35%	56%
Desde que pertenece a la red sus ingresos han aumentado.	35%	67%
Aumentaría el número de capacitaciones que ofrece la red.	85%	76%
La red cumple con las propuestas que realiza.	45%	75%

En el tema de mercadeo, los emprendedores asociados a la RATuRC opinaron que está siendo muy efectivo y que han visto la diferencia desde que se asociaron a la red; por el contrario, en Costa Rica, los emprendedores no han visto mayor diferencia desde su afiliación, lo cual ha sido un retraso para su crecimiento.

Algunas OBC de Argentina han generado mecanismos efectivos para que la comunicación se pueda realizar de manera segura, como la instalación de antenas de teléfono y de paneles solares, en la comunidad, para tener acceso a la electricidad.

Los emprendedores de Argentina se han visto más beneficiados por parte de los gobiernos locales, hasta participar de las estrategias de mercadeo; por el contrario, el grado de vinculación de los emprendedores de ACTUAR con las municipalidades es mucho menor. En Argentina el interés por el TRC no es solo por parte de los emprendedores, sino de más sectores que favorecen un desarrollo endógeno mucho más notorio.

## Conclusiones

Los emprendedores no tienen las mismas opiniones acerca de las redes y del segmento en el que se encuentran inmersos; requieren conocer más a fondo de la red y su operatividad.

La interacción de la OBC de Costa Rica para el TRC, ACTUAR, con la comunidad es menos evidente que la de RATuRC, en Argentina, donde los emprendedores tienen a la comunidad como eje del turismo, y aportan beneficios a toda la población.

Los emprendedores asociados a ACTUAR creen que el apoyo del Estado es casi nulo. Esto debe instar a los gobiernos locales a acercarse más a las comunidades. Las organizaciones o instituciones estatales deben estar presentes en la construcción y evolución de las redes de apoyo al TRC, por los favores que estas le generan a los distintos territorios y para asegurar la preservación cultural y de los recursos naturales.

Se determinó que en ambas redes se ha invertido en temas de capacitación, equipamiento y promoción, y en la creación de infraestructura, lo que refleja la existencia de comunidades organizadas para ofrecer un servicio turístico.

Las capacitaciones sobre mejoramiento de la producción y mejoramiento de suelos, derechos humanos, legislación ambiental, manejo de fincas de producción integral y otros temas que no tengan una relación estricta con TRC son necesarias, para mantener una auténtica identidad rural.

Capacitar a los emprendedores en primeros auxilios es importante no solo para los visitantes, sino para la comunidad. Las localidades rurales estudiadas por lo general no gozan de un servicio médico accesible.

La utilización de los sistemas de Internet, entre ellos redes sociales, es imperante. Esta herramienta podrá dar resultados siempre y cuando se actualicen regularmente y utilicen para la promoción y comercialización de empresas.

Las redes podrían asesorar a los emprendedores para acceder a los recursos dispuestos por parte de las organizaciones gubernamentales y las no gubernamentales de fomento a micro y pequeñas empresas.

Dentro de las OBC se debe procurar que todos los emprendimientos cumplan con estándares de calidad, de modo que todos participen en la distribución de los beneficios de forma más equitativa.

Los emprendimientos de turismo rural podrían valorar la posibilidad de convocar a la comunidad en general a las actividades de formación (talleres, cursos, capacitaciones) que logren conseguir, siempre siendo ellos prioridad.

## Agradecimientos

Al Programa de Pasantías para la Movilidad Estudiantil del Instituto Tecnológico de Costa Rica por el financiamiento para la ejecución de este proyecto. Además, se agradece el apoyo brindado por parte de la carrera de Gestión de Turismo Rural Sostenible, así como de las redes ACTUAR y RATuRC a este estudio.

## Referencias

ACTUAR (2003). Perfil de la Alianza Conservacionista de Turismo Rural.

Guereña, A & Calderón, G. (2005). *La experiencia del Programa Pequeñas Donaciones y sus grupos socio* (Informe N.º 1). Programa de Pequeñas Donaciones del PNUD.

RATuRC (2014). *Informe de Trabajo para INADI*.

# Diagnóstico Comparativo de Normas de Sostenibilidad de Costa Rica y Colombia: Certificación de Sostenibilidad Turística y Certificado de Calidad Turística / Sello Ambiental

Comparative Diagnostic of Standards of Sustainability from Costa Rica and Colombia: Sustainable Tourism Certification and Quality Tourism Certificate / Environmental Seal

Johan Saborío-Jiménez<sup>1</sup>

---

*Fecha de recepción: 23 de enero de 2016*  
*Fecha de aprobación: 5 de mayo de 2016*

Saborío-Jiménez, J. Diagnóstico Comparativo de Normas de Sostenibilidad de Costa Rica y Colombia: Certificación de Sostenibilidad Turística y Certificado de Calidad Turística / Sello Ambiental. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, Número Especial Estudiantes 3. Pág 69-78.  
DOI: 10.18845/tm.v29i6.2903



<sup>1</sup> Estudiante de Gestión en Turismo Sostenible. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: josajiturismocr@gmail.com

## Palabras clave

Desarrollo sostenible; turismo sostenible; Certificación de Sostenibilidad Turística; normas sostenibles; Costa Rica; Colombia.

## Resumen

Los problemas originados por el calentamiento global determinan la necesidad de realizar un desarrollo sostenible, sin importar la actividad económica de que se trate, y el turismo no es la excepción. La investigación resumida en este artículo consiste en un diagnóstico comparativo de dos normas de sostenibilidad: Costa Rica y Colombia. El diagnóstico contempló los entornos que conforman el desarrollo sostenible, como son el ambiental, el económico y el social. Se analizaron las siguientes normas: Certificación de Sostenibilidad Turística, caso de Costa Rica, y Certificado de Calidad Turística / Sello Ambiental, para Colombia; en ambos países, dirigidas a hotelería y agencias de viajes.

## Keywords

Sustainable Development; Sustainable Tourism; Sustainable Tourism Certification; sustainable standards; Costa Rica; Colombia.

## Abstract

Problems originated by global warming determine the necessity to practice a sustainable development regardless of the economic activity, and tourism is not the exception. The research project summarized here is a comparative analysis of two sustainability standards: Costa Rica and Colombia. Environmental components that determine sustainable development were considered in this analysis, such as environment, and economic and social aspects. The standards mentioned were "Sustainable Tourism Certification" for Costa Rica and "Quality Tourism Certificate / Environmental Seal" for Colombia, in both countries focused on hotels and travel agencies.

## Introducción

Gradualmente, la comprensión sobre la problemática ambiental, representada principalmente por el calentamiento global, ha llevado a las naciones a implementar legislaciones y normas que mitiguen las acciones de este fenómeno. Cada país dependiendo de sus circunstancias ha establecido certificaciones que posibilitan a las empresas acreditarse como instituciones que efectúan una gestión sostenible. La finalidad de este artículo es presentar una reflexión basada en la comparación de normas aplicables en la industria turística, específicamente hoteles y agencias de viajes en Costa Rica y Colombia. Se realizó un análisis comparativo de las normas "Certificación de Sostenibilidad Turística y Certificado de Calidad Turística / Sello Ambiental", tomando en consideración los índices de desarrollo social y humano con el objetivo de determinar la correlación de problemáticas sostenibles-ambientales que se suscitan en ambos países, así como de la aplicación de su respectiva norma. Los resultados que se muestran en este documento informativo muestran que a pesar que se percibe el mismo propósito para ambas normas, falta en demasía una normativa compartida, que realmente actué en pro de la sostenibilidad de las sociedades más allá de las divisiones fronterizas de cada país.

## Análisis comparativo de las certificaciones

### Características de la norma costarricense y la colombiana, e índices sociales

**Cuadro 1.** Análisis comparativo de las certificaciones de turismo sostenible

COSTA RICA Certificación de Sostenibilidad Turística	COLOMBIA NTS - TS 002 Establecimientos De Alojamiento y Hospedaje NTS - TS 003 Agencias de Viajes
*1Norma participativa, sostenible y ambiental.	Norma indicativa. Sostenibilidad económica.
Estructurada como norma.	Estructurada como ley.
*Evaluación. Categoriza establecimientos turísticos.	Evaluación. Clasifica establecimientos turísticos.
Presenta criterios más rigurosos para aplicar la norma.	Presenta criterios flexibles para aplicar la norma.
*Permite la regulación y autorregulación de los establecimientos turísticos.	Permite la regulación de los establecimientos turísticos.
Presenta guía y manual de aplicación.	Presenta cuestionario de aplicación.
*La norma tiene caducidad.	No tiene caducidad.
Hotelería: 208 preguntas Agencias de viajes: 108 preguntas	Hotelería: Certificado de Calidad Turística con 54 preguntas Hotelería: Sello Ambiental con 76 preguntas Agencias de viajes: 57 preguntas
Las empresas no cuentan con el apoyo financiero del ente regulador.	Las empresas no cuentan con el apoyo financiero del ente regulador.
Cuenta con una plataforma <i>web</i> con un directorio de establecimientos turísticos certificados.	No cuenta con plataforma <i>web</i> .

Los siguientes índices se han tomado en consideración como indicadores de la sostenibilidad turística de cada país.

**Cuadro 2.** Índices sociales

País	Posición del Índice de Desarrollo Humano (IDH) (2013)	Posición del Índice Progreso Social (IPS) (2013)
Costa Rica	68	25
Colombia	98	52

### Sostenibilidad con tendencia ambiental versus sostenibilidad con tendencia económica

En el comparativo realizado de la norma costarricense Certificado de Sostenibilidad Turística y las colombianas Certificado de Calidad Turística y Sello Ambiental, se identificó el concepto



de sostenibilidad; no obstante, se encontraron diferentes enfoques del concepto anteriormente mencionado.

En Costa Rica, el concepto de sostenibilidad hace referencia a la importancia de satisfacer las necesidades humanas actuales, sin poner en peligro la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras (ICT, 2014).

De esta forma, Costa Rica, con la visión de ofrecer una actividad turística integral, ha reconocido los efectos que el ser humano produce en el medio ambiente y los monumentos culturales al visitar sitios de atracción turística, por tal motivo ha presentado una norma de sostenibilidad dirigida a la hotelería y las agencias de viajes, desde un enfoque ambiental: la Certificación de Sostenibilidad Turística (CST). Esta norma posee cuatro ámbitos; Físico-Biológico, Planta Turística/Gestión de Servicio, Cliente Externo y Socioeconómico, muy bien establecidos que permiten el análisis sectorial pero que a su vez muestra la interrelación necesaria para fortalecer la oferta turística bajo este nuevo modelo.

El Ámbito Físico-Biológico, evalúa la interacción de la empresa con el medio natural circundante, por medio de programas y políticas de protección. Por su parte, en los Ámbitos Planta de Servicio y Gestión de Servicio, relacionados con hotelería y agencias de viajes, respectivamente, se analizan sistemas y procesos de la empresa para mejorar su gestión ambiental. El Cliente Externo, tercer ámbito, comprende elementos en el interior como el exterior de la empresa, necesarios para formular un adecuado producto turístico. En el Ámbito Socioeconómico, se identifica el nivel de integración de la empresa con las comunidades adyacentes (ICT, 2014).

Según Cardoso (2006), la sostenibilidad ambiental invita al cuidado del medio natural donde se opera, evitando las alteraciones en los ecosistemas, que traen como consecuencia el desequilibrio ambiental y, a su vez, afectan la economía de la empresa turística.

De lo anterior, se observa cómo la norma costarricense ostenta una perspectiva ambiental que incluye a todos los actores sociales y hace hincapié en la participación proactiva empresa-comunidad-cliente, creando sinergias que fortalecen la actividad turística con el modelo de sostenibilidad y desarrollo económico para las comunidades. Tal como se mencionó en el cuadro 2, de índices sociales, Costa Rica se encuentra en la posición 68 en Desarrollo Humano y 25 en Progreso Social, lo cual prueba la importancia que poseen todos los sectores involucrados en la aplicación de la norma como un medio para asegurar mejores condiciones de vida.

La Organización Mundial del Turismo (OMT), como ente rector internacional del turismo, realizó un reconocimiento a Costa Rica por la creación del programa Certificación de Sostenibilidad Turística para el año 2000, destacando el objetivo de diferenciar y categorizar el mercado, modificando la forma de hacer turismo (ICT, 2014). Este reconocimiento no solamente fortalece la visión de Costa Rica de diferenciar a las empresas de acuerdo a su gestión empresarial con un enfoque sostenible, sino que, posee un propósito educativo dirigido a todos los sectores, empresariales, comunidades y turistas que visitan el país centroamericano, generando de esta forma la adopción de nuevas acciones en pro del ambiente en el quehacer cotidiano.

Esta norma, el primer programa de sostenibilidad de Centroamérica, no solo ha tenido efectos positivos en la actividad turística costarricense, sino que ha hecho surgir el interés por implementarla en regiones como el Caribe, el Suroeste de Asia y Suecia, con la salvedad de que se deben realizar los ajustes necesarios para fortalecer la actividad turística en los países antes mencionados, con base en nuevos y eficientes criterios de sostenibilidad (Bien, 1994).

El Organismo Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) ha creado la "Norma NTS-TS 002 Establecimientos de Alojamiento y Hospedaje" y "NTS-TS 003 Agencias de viajes". Ambas normas velan por la ejecución de prácticas sostenibles en busca del equilibrio de



los elementos necesarios para la vida y, asimismo, garantizar una vida mejor o igual para las generaciones futuras (ICONTEC, 2015).

Según ICONTEC (2015), las dos normas mencionadas conforman los requisitos necesarios para alcanzar el equilibrio óptimo en un servicio turístico sostenible, entre los que se encuentran requisitos generales de sostenibilidad y requisitos específicos de tipo ambiental, sociocultural y económico, además de otros elementos complementarios. En el caso de la norma NTS-TS002 Alojamiento y Hospedaje, se clasifica en “nivel básico” y “nivel alto” de sostenibilidad.

Ambas normas, efectivamente hacen alusión al concepto de sostenibilidad. Sin embargo, esta norma lo realiza con una visión económica, donde la sostenibilidad es entendida como aquella práctica que motiva el uso inteligente del recurso económico para la conservación y preservación del entorno natural, mediante sistemas y procesos aliados a la tecnología que permitan el aprovechamiento del recurso natural, cultural y social en la actividad turística (Cardoso, 2006).

Al realizar la comparación entre ellas, lo primero que destaca es que la norma colombiana se identifica como una “ley” compuesta de sistemas y procesos de gestión ambiental que generan impacto dentro de la empresa, y no hacia el exterior de esta. De acuerdo con los requisitos contenidos en la norma la población más cercana no es considerada, debilitando su participación en la toma de decisiones políticas y por ende repercute en alcanzar el balance entre deberes y derechos de los actores sociales de una comunidad turística.

Los requisitos económicos dentro de la Norma Sello Colombiano, son parámetros para la participación de personas u empresas que serán visualizados como futuros colaboradores en la generación de ingresos económicos mejorando de esta manera las gestiones de las empresas involucradas. De lo anterior se deduce que esta norma, además, busca mejorar paralelamente la calidad de vida de los involucrados, más no los hace partícipes directos en la construcción de prácticas sostenibles para alcanzar el equilibrio ambiental.

Con lo expuesto, se reafirma la perspectiva económica que ostenta esta norma, que si bien es un camino válido para mejorar la gestión en procura de la sostenibilidad, es costoso y se dificulta para empresas que no cuentan con el capital necesario para incorporar tecnologías que disminuyan los impactos negativos hacia el medio ambiente.

### **Evaluación, categorización o clasificación**

La norma costarricense apuesta a realizar una categorización de los establecimientos turísticos de hospedaje y agencias de viajes en una tabla de 0 a 5, siendo 0 el nivel más bajo y, por ende, 5 el más alto. A cada nivel de sostenibilidad le corresponden los valores dentro de un porcentaje mínimo y uno máximo, así como lo muestra el cuadro 3.

Como parte del proceso de evaluación para obtener la certificación, la empresa debe responder las preguntas establecidas dentro del descriptor correspondiente, que a su vez se refieren a uno de los cuatro ámbitos de la certificación. Cada pregunta tiene una ponderación de 1 a 3, conforme al impacto de la evidencia o acción que desarrolle para contribuir a la sostenibilidad (ICT, 2014).

Este sistema de evaluación integra a las empresas que adopten un nuevo modelo hacia la sostenibilidad dentro de la actividad turística, más que una clasificación, categorizándolas acuerdo al cumplimiento de los criterios de sostenibilidad de cada una de ellas.

**Cuadro 3.** Niveles de certificación de la sostenibilidad turística

NIVEL	% CUMPLIMIENTO
0	< 20
1	20-39
2	40-59
3	60-79
4	80-94
5	> 95

Fuente: Instituto Costarricense de Turismo (2014)  
(ICT, 2014).

La ponderación en la norma es fundamental ya que no solamente asegura rigurosidad en la evaluación porque obliga a la organización presentar más de una evidencia para que la respuesta pueda considerarse afirmativa, sino que además asegura acciones que engloben el accionar de su gestión hacia la sostenibilidad. Cabe rescatar que una evidencia puede ser utilizada aproximadamente una o dos veces como máximo, abonado esto al criterio del inspector de turno.

La ponderación, pilar de la sostenibilidad pero en ocasiones obstáculo para los empresarios, según se visualice, realmente es una herramienta para educar al empresario en la implantación del modelo de sostenibilidad para la actividad turística.

Como parte del compromiso ambiental de Costa Rica y la intención de la norma de proyectar al país, se obliga a evaluar en todos los ámbitos de forma independiente; no obstante, para la ubicación en un nivel de sostenibilidad se toman en consideración los cuatro resultados o notas obtenidas, lo que ocasiona que el empresario trabaje simultáneamente en los diferentes ámbitos que analiza la norma, gracias a que se reconoce desde el nivel más bajo para otorgar la certificación de sostenibilidad (ICT, 2014).

Las normas colombianas, por su parte, realizan una evaluación un poco blanda en comparación con la costarricense, ya que no proponen un avance gradual, pero otorgan la distinción de sostenibilidad, siempre y cuando haya cumplimiento total de los requisitos solicitados. Según ICONTEC (2015), la norma NTS-TS003, dirigida específicamente a agencias de viajes, muestra un nivel único y, por su cumplimiento a cabalidad, se otorga el Certificado de Calidad Turística. Está compuesta por 57 preguntas.

La norma NTS-TS002, dirigida a alojamiento y hospedaje, ofrece a las empresas del sector la posibilidad de ubicarse en el nivel bajo o el alto, para la obtención de la certificación de Calidad Turística o del Sello Ambiental, según sus acciones de sostenibilidad. Esta norma cuenta con un total de 54 preguntas en el nivel básico de sostenibilidad y 76 en el nivel alto de sostenibilidad (ICONTEC, 2015).

Con referencia a lo anterior y realizando el análisis comparativo de ambas normas, se deduce que el certificado colombiano, al comprender un proceso de sostenibilidad más arbitrario o rígido no asegura un mayor impacto de la norma dentro de la actividad turística; en contraparte, la norma costarricense contempla una evaluación más accesible pues, además de categorizar,

permite involucrar poco a poco a la empresa en la gestión sostenible. Aún así, es importante hacer hincapié en que la sostenibilidad es un modelo absoluto y no parcial, donde las empresas evidencian la distinción solo para mejorar sus utilidades cuando inicia el proceso y no trabajan en pleno por alcanzar la mayor calificación para beneficio del ambiente.

Cada norma en estudio posee características propias de su país; sin embargo, su estructura indudablemente influye en la calidad de la evaluación. Para el caso costarricense, se tiene una mayor cantidad de preguntas, y cada una está subdividida en evidencias de acuerdo a su ponderación, exigiendo en ocasiones hasta tres lo cual genera mayor impacto por pregunta aprobada. Colombia, por su parte muestra debilidades en la estructura de la norma, incluso, una única acción es necesaria para validar cada pregunta, reduciendo el compromiso y efecto de la evaluación.

### **Tiempo de caducidad, factor de éxito, ¿sí o no?**

De acuerdo con Normas y Certificaciones (2015), actualmente las normas son el aliado para todas las empresas que buscan sobresalir y consolidarse en el mercado; estas persiguen la excelencia y eficiencia en sistemas de gestión para ofrecer productos y servicios de calidad a sus clientes, es decir, son el punto de partida para los esfuerzos de las compañías que buscan el éxito.

Estas pautas por sí solas no son el factor del éxito, ya que debe existir compromiso, perseverancia en cada una de las acciones del sistema de gestión que realicen las empresas, siendo necesaria la constante revisión de cada una de las acciones implementadas.

Las normas de sostenibilidad de Costa Rica y Colombia fueron creadas con el objetivo de procurar calidad del servicio turístico bajo el modelo de sostenibilidad sin embargo debe regularse el accionar a través del tiempo, bajo este fin, Costa Rica estableció dos años de vigencia desde que se obtiene la certificación; respecto del colombiano, no se indicaron revisiones periódicas o tiempo de caducidad de las normas en cuestión.

Con la imagen de país verde que Costa Rica proyecta, la formulación y la ejecución de normas de esta índole son fundamentales para asegurar su permanencia en el tiempo. Costa Rica, al adjudicar una vigencia de 2 años a la norma, no solamente procura la mejora continua, sino también, un adecuado manejo de la sostenibilidad, así como beneficios para las empresas (ICT, 2013). El turismo como actividad de servicio, por su característica de intangibilidad, debe estar sujeta a una minuciosa evaluación, ya que el consumo del servicio es de corta duración, lo cual obliga a una mayor vigilancia del compromiso adquirido de un servicio de distinción.

Colombia, al igual que Costa Rica, con el deseo de modificar y fortalecer su imagen, presentó NTS - TS 002 Establecimientos De Alojamiento y Hospedaje NTS - TS 003 Agencias de Viajes, sin embargo, al no establecer un tiempo de caducidad de las normas, difícilmente va a lograr un mayor nivel de rigurosidad; además, al no fijarse una fecha de vencimiento, se afecta en alguna medida la continuidad de los esfuerzos realizados a partir del momento en que se recibe la distinción, lo mismo que la proyección de una gestión de sostenibilidad que perdure en el tiempo.

Adicionalmente la norma colombiana dirigida específicamente a hospedaje, permite a las empresas superar su compromiso ambiental ya que ofrece un nivel básico y nivel alto de sostenibilidad, no obstante, podría existir grado de confort por parte de las empresas debido que las acciones pueden reducirse a falta de medidas de regulación o fiscalización como el tiempo de vigencia de la norma.

## Autorregulación y regulación de empresas turísticas

Como se ha observado, las normas presentan diferencias, a pesar de que responden al mismo objetivo: alcanzar la gestión sostenible dentro de la actividad turística. La norma costarricense es una herramienta que permite no solo la regulación sino la autorregulación de las empresas; en cambio, la norma colombiana solamente regula, sin dar oportunidad a otras variables o posibilidades.

La norma costarricense trae consigo una herramienta fundamental para guiar y facilitar la ruta de obtención de la certificación. Esta consiste en una guía o manual de aplicación que contiene la recomendación de acciones y complementa las preguntas del cuestionario sobre las prácticas que deben cumplirse, junto con mucha más información valiosa. Para hotelería se ofrece un solo documento que integra ambos aspectos, es decir, cuestionario por aplicar, más recomendaciones de las evidencias o acciones sostenibles.

Por lo anterior, la Certificación de Sostenibilidad Turística (CST) es una norma que no solamente regula, sino que permite autoregularse, es decir, brinda los instrumentos necesarios para que cada empresa mida su progreso en busca del quinto y máximo nivel de sostenibilidad, además de información de las expectativas en relación con el efecto asociado con cada descriptor hasta el resultado deseado.

Autorregular permite a los empresarios o personas encargadas realizar una “preinspección” que les genere mayor seguridad y, asimismo, colaborar con el ente que los asista cuando sea pertinente hacerlo. La guía no se establece como un documento absoluto, sino para dejar a disposición de cada quien el realizar buenas prácticas de acuerdo a sus capacidades para cumplir con lo estipulado. En el peor de los casos, podría limitar la capacidad de las empresas para presentar prácticas sostenibles innovadoras que de alguna forma revolucionen el desarrollo del turismo sostenible.

Colombia ofrece al sector turismo la oportunidad para distinguir a aquellas empresas que opten por una nueva forma de hacer turismo, bajo el enfoque de sostenibilidad; para ello el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y la Facultad de Administración de Empresas Turísticas y Hoteleras de la Universidad Externado de Colombia crearon el Certificado de Calidad Turística y, por su parte, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el certificado de Sello Ambiental.

Ante la competencia de mercado cada empresa busca proyectar la mejor imagen hacia sus clientes y proveedores para obtener un mejor posicionamiento; estas normas son las encargadas de regular y fiscalizar las acciones realizadas por cada empresa con el objeto de estar a punto con lo estipulado por los entes competentes.

Para el caso colombiano solo se facilita el cuestionario, documento indispensable para trabajar por el cambio a sistemas de gestión sostenible de las empresas colombianas; pero en comparación a la norma costarricense, deja a las capacidades y los criterios de cada empresa el presentar evidencias del cumplimiento con lo estipulado. En este aspecto se observa una mayor estructura colaborativa de la norma costarricense que la colombiana, que, si bien no es obligatoria, facilita el proceso hacia un cambio no solo de las empresas sino de la actividad turística de todo un país.

## Conclusiones

Después de la reflexión a que condujo esta investigación, se puede afirmar que ambos países tienen en claro la importancia de la actividad turística como parte del desarrollo sostenible y su efecto de amortiguar los impactos ambientales actuales. De acuerdo con la comparación entre

las normas, existen contrastes acerca de los aspectos de sostenibilidad. Si bien ambas normas pueden traer mejoras como parte del proceso de evaluación que cumplen, la certificación costarricense presenta mayor cohesión entre los aspectos de sostenibilidad, ambiental, social y económico; por su parte, Colombia muestra deficiencia en una gestión conjunta de estos aspectos, donde sobresale el factor económico.

Se encontró que los procesos de evaluación en las normas de ambos países son diferentes; la categorización, en Costa Rica y la clasificación, en Colombia. Costa Rica aplica un proceso de evaluación de mayor aceptación en el mercado, pues es más inclusivo y participativo, lo que permite avanzar progresivamente en la gestión sostenible. Colombia aplica una evaluación más directa y arbitraria, en la que lo que interesa es si se cumplen o no todos los requisitos establecidos, lo cual dificulta la certificación para empresas de pocos recursos económicos.

Ambas normas, como voluntarias, resultan atractivas para las empresas que buscan diferenciarse en el mercado; no obstante en ocasiones existe inconsistencias en la gestión que se realiza a la gestión esperada con la aplicación de la norma. En cuanto a esto, será un factor de importancia para velar por la veracidad por parte de la empresa en la ejecución de las políticas, sino que además exista compromiso de los turistas de formar parte esta nueva gestión sostenible con la reproducción de estas acciones sostenibles.

Se determinó que si bien las normas comparadas tienen como objetivo regular, en el caso costarricense también permiten que las empresas se autoregulen. Para llegar a esta afirmación, se tomó en consideración la estructura de la norma y el contenido complementario que facilita su aplicación; ejemplo, respuestas a preguntas como ¿por qué?, ¿qué se espera? Más que ser un documento informativo; explica, pues incorpora los por qué de las prácticas sostenibles. La norma colombiana presenta escasez de información, lo cual puede debilitar el efecto que el ente encargado desea. Colombia necesita trabajar aún más en respaldar los requisitos con información que los valide y permita comprender qué beneficios se pueden obtener.

Se concluye que Costa Rica posee condiciones óptimas para lograr mejoras en los temas ambiental y social; Colombia, por su parte, requiere de mayores esfuerzos para crear conciencia sobre la importancia del tema ambiental en el país. Respecto a lo anterior y como se mencionó en la metodología del trabajo, se indagó sobre los índices de Desarrollo Humano (IDH) y de Progreso Social (IPS), porque en ellos se consideran factores como bienestar social, educación, sustentabilidad económica, agua y saneamiento, e inclusión, entre otros. Tomando en cuenta la posición alcanzada por Costa Rica, se ratifica que el país constituye un escenario más favorable para desarrollar prácticas sostenibles y ambientales, tanto en turismo como en otras actividades económicas.

Como se indicó en el cuadro comparativo de esta investigación, Costa Rica y Colombia indudablemente poseen normas con características diferentes, lo que en cierta medida es normal, ya que se contemplaron aspectos geográficos, culturales, sociales y económicos, importantes para la implantación de las normas; sin embargo, deben crearse lineamientos generales para reducir los efectos de un problema mundial, y no local como algunos países al parecer lo entienden. Estos promoverán sinergias más allá de las fronteras o diferencias entre las naciones, para establecer una norma regional o latinoamericana con parámetros que sean viables, pero además, den lugar a la participación de todos los actores para combatir el calentamiento global, un problema de todos.

## Agradecimientos

El autor agradece a las Vicerrectorías de Investigación y Docencia del Instituto Tecnológico de Costa Rica que intervinieron para hacer posible la realización de la pasantía. Un agradecimiento



especial al Centro de Investigación en Tecnologías Ambientales (CITA) y a la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de la Costa (CUC) en Colombia, por todo el apoyo brindado para desarrollar esta investigación.

## Referencias

- Bien, A. (1999). Diagnóstico Institucional y Estructural Regional para El Programa de Certificación de Sostenibilidad Turística (CST) en Centroamérica. Obtenido de <http://www.incae.edu/es/clacds/publicaciones/pdf/cen763.pdf>
- Cardoso Jiménez, C. (2006, 11 de mayo). Turismo Sostenible: una revisión conceptual aplicada. Obtenido de <file:///C:/Users/JEREMY/Downloads/Turismo%20Sostenible-%20una%20revisi%C3%B3n%20conceptual%20aplicada.pdf>
- Cordero-Granados, M. (2005). El tema ambiental en la política comercial de Costa Rica. Obtenido de <http://repositorio.uned.ac.cr/reuned/bitstream/120809/961/1/El%20tema%20ambiental%20en%20la%20politica%20comercial%20de%20Costa%20Rica.pdf>
- Datosmacro (2015). Colombia-. Índice de Desarrollo Humano-IDH 2015 | datosmacro.com. Obtenido de <http://www.datosmacro.com/idh/colombia>
- Datosmacro (2015). Costa Rica-. Índice de Desarrollo Humano-IDH 2015 | datosmacro.com. Obtenido de <http://www.datosmacro.com/idh/costa-rica>
- ICONTEC (2006, 17 de diciembre). Establecimientos de Alojamiento y Hospedaje (EAH). Requisitos de Sostenibilidad. Obtenido de [file:///C:/Users/JEREMY/Downloads/NTS-TS002%20Alojamiento%20y%20Hospedaje%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/JEREMY/Downloads/NTS-TS002%20Alojamiento%20y%20Hospedaje%20(2).pdf)
- ICONTEC (2007). Agencias de Viajes. Requisitos de Sostenibilidad. Obtenido de [file:///C:/Users/JEREMY/Downloads/NTS-TS003%20\(3\)%20%20Norma%20T%C3%A9cnica%20Sectorial%20Agencias%20de%20Viajes%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/JEREMY/Downloads/NTS-TS003%20(3)%20%20Norma%20T%C3%A9cnica%20Sectorial%20Agencias%20de%20Viajes%20(1).pdf)
- Instituto Costarricense de Turismo (2014, 01 de agosto). ¿Cuándo y por qué surge? Obtenido de [http://www.turismo-sostenible.co.cr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3&Itemid=8&lang=es](http://www.turismo-sostenible.co.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=8&lang=es)
- Instituto Costarricense de Turismo (2014, 01 de agosto). ¿En qué consiste el CST? Obtenido de [http://www.turismo-sostenible.co.cr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=7&lang=es](http://www.turismo-sostenible.co.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=7&lang=es)
- Instituto Costarricense de Turismo (2014, 01 de agosto). ¿En qué consiste el CST? Obtenido de [http://www.turismo-sostenible.co.cr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=7&lang=es](http://www.turismo-sostenible.co.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=7&lang=es)
- Instituto Costarricense de Turismo (2014, 01 de agosto). ¿Qué implicaciones tiene el CST? Obtenido de [http://www.turismo-sostenible.co.cr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=4&Itemid=9&lang=es](http://www.turismo-sostenible.co.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=4&Itemid=9&lang=es)
- Instituto Costarricense de Turismo (2014, 01 de agosto). Qué significa para la empresa turística estar categorizado con el CST. Obtenido de [http://www.turismo-sostenible.co.cr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=7&lang=es](http://www.turismo-sostenible.co.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=7&lang=es)
- MEIC, MINAE, TUR (2013, 09 de julio). Reglamento para el otorgamiento del Certificado de Sostenibilidad Turística. Obtenido de [http://www.visitcostarica.com/ict/paginas/leyes/pdf\\_julio2013/Reglamento\\_para\\_el\\_Otorgamiento\\_del\\_Certificado\\_de\\_Sostenibilidad\\_Turistica.pdf](http://www.visitcostarica.com/ict/paginas/leyes/pdf_julio2013/Reglamento_para_el_Otorgamiento_del_Certificado_de_Sostenibilidad_Turistica.pdf)
- Normas y Certificaciones (2015). Normas ISO 14000 | Normas y Certificaciones. Obtenido de <http://www.normasycertificaciones.com/normas-iso-14000>
- Organización de las Naciones Unidas (2011). La sostenibilidad del desarrollo a 20 años de la Cumbre para la Tierra: Avances, brechas y lineamientos estratégicos para América Latina y el Caribe. Obtenido de <http://www10.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2011/08958.pdf>
- The Social Progress Imperative (2015). Índice de Progreso Social - Social Progress Index - Índice de Progreso Social - The Social Progress Imperative. Obtenido de <http://www.socialprogressimperative.org/es/data/spi#>

# Comparación entre el Programa de Evaluación de Puentes de “e-Bridge” en Costa Rica y el Sistema de Administración de Puentes en República Checa

## Comparison between the Bridges Evaluation Program “e-Bridge” in Costa Rica and the Bridge Management System in Czech Republic

Cristian Augusto Ramírez-Alméciga<sup>1</sup>

---

*Fecha de recepción: 25 de mayo de 2016  
Fecha de aprobación: 6 de setiembre de 2016*

Ramírez-Alméciga, C. Comparación entre el Programa de Evaluación de Puentes de “e-Bridge” en Costa Rica y el Sistema de Administración de Puentes en República Checa. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, Número Especial Estudiantes 3. Pág 79-85.  
DOI: 10.18845/tm.v29i6.#2904



<sup>1</sup> Estudiante. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Carrera: Ingeniería en Construcción. Correo electrónico: craural@gmail.com



## Palabras clave

Evaluación de puentes; sistema de manejo de puentes; inspección de puentes.

## Resumen

El Programa de Evaluación de Puentes, único que se está llevando a cabo en el país en el área de evaluación de puentes, está a cargo del proyecto “e-Bridge”. Con el fin de determinar si este programa está creando sólidas bases en Costa Rica para en el futuro contar con un sistema íntegro de manejo de puentes como el de países europeos, se compararon los procedimientos y la información obtenida del programa con los correspondientes a un modelo más desarrollado, el Sistema de Manejo de Puentes en República Checa. Se concluyó que en las fases de inventariado e inspecciones visuales el Programa de Evaluación de Puentes se asemeja en gran medida a dos de los cuatro módulos en funcionamiento del sistema checo. Aún sin poder comparar los dos módulos restantes de dicho sistema, debido a que en Costa Rica hasta ahora se encuentran en desarrollo, se obtuvieron dos factores que podrían mejorar el proyecto tico: la codificación de cada uno de los miembros de los puentes para facilitar el manejo de información, así como el desarrollo de un software para el almacenamiento futuro de datos referentes al historial de mantenimiento y reparación de los puentes.

## Keywords

Evaluation of bridges; bridges management system; bridge inspection.

## Abstract

The only project that is taking place in the country in the field of bridges evaluation, The Bridges Assessment Program, is in charge of “e-Bridge”, and belongs to it. In order to determine whether the program is creating a solid base in Costa Rica or not for an integrated bridge management system, in the future, similar to those in European countries, procedures and information of this program were compared with the corresponding ones in a more developed model: the Bridge Management System, in the Czech Republic. It was concluded that in the phases of inventory and visual inspections, the Bridges Assessment Program greatly resembles two of the four modules run by the Czech system. Although it was not possible to make any comparison with the two remaining modules of the Czech system, because in Costa Rica so far they are in development stage, two factors were found that could improve the costa rican project: the encoding of each of the members of the bridges to facilitate management of the information, and the development of software for future storage of data relating to the history of maintenance and repair of bridges.

## Introducción

Los puentes no solo son de gran importancia en la comunicación entre comunidades, para el transporte de mercancías y comercio, haciendo estas actividades mucho más rápidas y seguras, sino que también dejan gran huella dentro de la sociedad por su exposición al público. Es seguro que muchos arquitectos e ingenieros sueñan con diseñar y construir grandes puentes para que sus obras sean de gran utilidad, obteniendo de paso reconocimiento y asegurándose que sean perdurables. Pero esto podría verse reducido si no se le da un correcto mantenimiento a los puentes.



En Costa Rica estas estructuras han sido históricamente olvidadas. Solo hasta estos últimos cinco años se ha implementado el proyecto “e-Bridge”, el cual tiene como objetivo la predicción remota de fallas en puentes. Parte de este proyecto es el Programa de Evaluación de Puentes, el cual se encarga del inventario e inspección de los puentes, según el contrato de “e-Bridge” con la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI). Como tareas dentro del programa, se obtienen datos en visitas previas y visitas de inspección, los cuales son ingresados al Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP).

Varios pasos adelante se encuentran países europeos en los cuales se tiene establecido ya el Sistema de Monitoreo de la Salud en Puentes, tal como señala Wenzel, quién recopiló los avances que se han realizado en este campo: *“Structural Health Monitoring, as part of lifecycle management procedures, experienced a growth in importance recently. To maintain and improve the high quality and high level of service to the public [sic] it is essential to know the lifecycle performances of structures to ensure long service life and durability”* (Wenzel, 2009).

República Checa no es la excepción; por esta razón se efectuó el análisis comparativo con el sistema checo, para prever si lo realizado actualmente por el Programa de Evaluación de Puentes podrá dar las bases necesarias para en el futuro tener también en Costa Rica un sistema íntegro para el monitoreo y la toma de decisiones referentes a puentes.

## Materiales y métodos

La información sobre los procesos de inspección, control y mantenimiento de puentes fue obtenida de dos fuentes principales. La primera de ellas, en Costa Rica, el Programa de Evaluación de Puentes (al que se denotará como PEP) de “e-Bridge” (Ver figura 1), de documentos tales como formularios utilizados por el programa y manuales para la inspección, así como de los datos ingresados a la plataforma SAEP (Sistema de Administración de Estructuras de Puentes). La asistencia realizada en este programa brindó al investigador el acercamiento y el conocimiento de estos recursos de antemano.

Por otra parte, la pasantía realizada en la Universidad Técnica Checa en Praga, República Checa, mediante el convenio de Movilidad Estudiantil del Instituto Tecnológico de Costa Rica, permitió la obtención de material citado a lo largo del artículo, la segunda fuente, así como también el curso “Bases of Bridges Design” realizado en el semestre de invierno 2014-2015 en dicha universidad, la obtención de conocimiento enfocado en los tipos de puentes, sus componentes principales, la determinación de esfuerzos y su diseño.

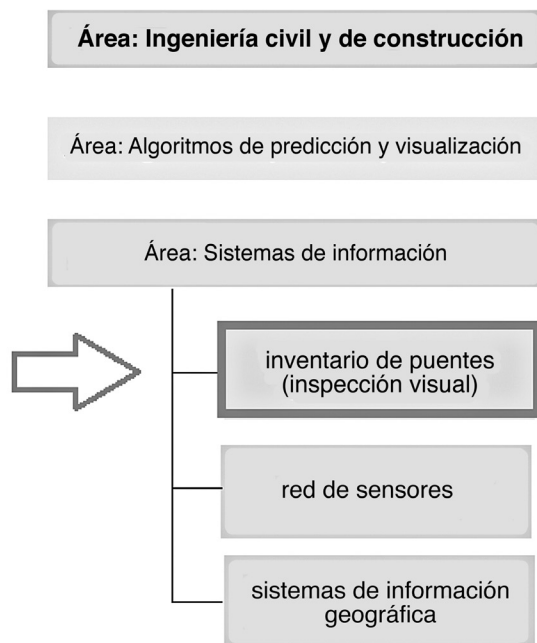
El proceso consistió en estudiar los procedimientos utilizados en el PEP, la información recolectada por dicho programa, su organización y documentación, para luego visualizar este conjunto al futuro y analizar si el rumbo tomado permitiría establecer un programa de inspección, control y mantenimiento de puentes comparable con el deseado por la literatura e implementado en cierto grado actualmente en países como República Checa.

## Resultados y discusión

Primeramente se analizó la situación en cada uno de los países por comparar, Costa Rica y República Checa, y después se identificaron las diferencias y las similitudes entre ambos.

En República Checa, el resumen presentado en el artículo “Bridge Management System in the Czech Republic. State-of-the-art” (Křístek & Šafář, 2005) ya se cuenta con dos sistemas diferentes de inventario, mantenimiento y reparación de puentes; uno para puentes en autopistas y carreteras, y otro para puentes usados por ferrocarriles. El artículo se enfocará en el primer sistema, ya que así lo hace también el programa en Costa Rica. El sistema de

manejo de puentes checo se divide en cuatro módulos principales: “Inventario”, “Inspección”, “Mantenimiento” y “Administración”. Es aquí donde se encuentra la gran diferencia y la dificultad para comparar los procedimientos implementados actualmente en Costa Rica con los de República Checa, si se quisiera reconocer fortalezas y debilidades en ambas partes, ya que los checos tienen implementado el sistema de cuatro fases y se enfocan, sobre todo ahora, en inspecciones rutinarias y mantenimiento. Caso contrario a Costa Rica, en donde el proyecto de “e-Bridge” es el primer paso para el montaje de un sistema similar al descrito anteriormente, y se encuentra básicamente en el proceso de inventario de los puentes, mediante inspecciones visuales y algunas pocas de mayor detalle, encuéntralas cuales son prioritarias, según el contrato con el CONAVI.



**Figura 1.** Área técnica de trabajo del programa e-Bridge a analizar. Fuente: Giannina Ortiz Quesada.

Pero es necesario examinar más de cerca cada una de las fases del sistema checo, lo que se expone a continuación.

Primeramente en el módulo de “Inventario”, se cuenta con un sistema para obtener información básica del puente muy similar al del PEP, con una variante interesante: la codificación única de cada miembro del puente, para facilitar el manejo de la información y evitar posibles confusiones. En el módulo de “Inspección” ya se tienen clasificados los diferentes tipos de inspecciones que se realizan a los puentes: las principales, las extraordinarias y las ordinarias. Estas inspecciones son documentadas por separado cronológicamente y se realizan de acuerdo al nivel en la escala de urgencia determinado en inspecciones anteriores. Ya en “Mantenimiento” se anota un registro de las necesidades de mantenimiento y reparaciones cuando estas se determinan; posteriormente, una vez que el mantenimiento y las reparaciones son realizados también se registra en el sistema. Los trabajos de mantenimiento están diferenciados de acuerdo a su magnitud: mantenimiento no constructivo menor, mantenimiento constructivo mayor, inversiones y diagnóstico, y trabajos de diseño. Finalmente, el área administrativa del programa es la encargada de todo lo referente a los usuarios, su acceso y permisos, así como rutinas de seguridad del sistema y almacenamiento de información.



**Figura 2.** Puentes en República Checa. Fuente: Autor.

Para responder al planteamiento de si se puede llegar a establecer un sistema completo en un futuro cercano, con base en el rumbo que se está tomando actualmente en Costa Rica, se analizaron los procedimientos llevados a cabo por el programa PEP, los datos obtenidos y luego, una posible trazabilidad de los resultados obtenidos con insumos costarricenses al sistema checo..

En el PEP se trabaja actualmente de la siguiente forma: con base en una lista, según el contrato con el CONAVI, el programa planea giras a los puentes. La primera es la Visita Previa y la segunda, la Visita de Inspección Visual. Durante la Visita Previa se toman datos de ubicación, tipo de puente, características de diseño y construcción, accesibilidad, dimensiones, rutas alternas, servicios y documentación fotográfica, entre los más importantes. En la Visita de Inspección Visual se recolectan datos del estado tanto de la superestructura y la subestructura como de los accesorios; para esto se localizan, se dimensionan y se asigna una escala a los daños encontrados en cada uno de los elementos.

Importante es mencionar que después de un proceso de aprobación de la información para asegurarse de que incluye todos los datos de cada puente exigidos, además de agregar comentarios explicativos y detallados, y planos digitales creados con base en las observaciones y mediciones en campo, entre otros, se ingresa al SAEP, y aunque muchos costarricenses no lo saben, no solo los Ingenieros en Construcción tienen acceso a esta información, sino que bajo el perfil de “Invitado” cualquier persona puede conocerla (Ver figura 3).

Usuario INVITADO Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP)

Inicio Acercas de SAEP Ayuda Cerrar Sesión

**INFORMACIÓN PUENTE**

**Información del Puente**

Tipo ruta: Ruta nacional Provincia: GUANACASTE  
 Nombre: TEMPISQUE NUEVO Cantón: LIBERIA  
 Versión: 1 Distrito: NACASCOLO  
 Clasificación Ruta: PRIMARIO Encargado: ZONA 2-1 LIBERIA  
 Ruta N°: 21 Sección control: 50082  
 Kilómetro: 18.008 Código Puente:

Latitud norte: 10 ° 33 ' 43.77 " Fecha de diseño: NO / - / -  
 Latitud total: 10.562159  
 Longitud oeste: 85 ° 35 ' 26.52 " Fecha de construcción: NO / - / -  
 Longitud total: -85.590706

Elementos Básicos Dimensiones del Camino Superestructura Subestructura Fotos Planos Otros Proceso de Aprobación Mensaje Estado Puente

**Figura 3.** Muestra de información en el Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP) para invitados. Fuente: Autor

Wenzel, H. (2009) recomienda que el Sistema de Monitoreo para la Salud de Puentes debe incluir campañas de inspección, para obtener información general de los puentes; evaluación periódica de las estructuras; evaluación detallada para la rápida toma de decisiones, y observación y evaluación en línea mediante herramientas electrónicas. Así, si se toman estas como patrón dentro del sistema checo, puede apreciarse una clara cercanía del sistema costarricense a aquel, y afirmarse que en Costa Rica, se está realizando la primera fase.

Como una posible modificación en el PEP, y solo si se determinara necesario, se podría utilizar la codificación de los elementos de los puentes como se hace en República Checa, lo cual facilitaría el manejo de la información. En relación con la segunda fase, llegará el momento en que los principales puentes del país estén introducidos en el sistema SAEP, entonces se podrá comenzar con esta fase (sin dejar de lado el ingreso de los puentes faltantes de menor importancia, claro está), que es la evaluación periódica de las estructuras. Para proceder según el método checo sería necesario saber cuáles son las estructuras de prioridad de acuerdo a la escala de urgencia, la cual se podrá determinar gracias a las calificaciones de los daños encontrados en cada elemento de los puentes que se está haciendo en el PEP: punto a favor para el programa costarricense. Ya para la tercera fase, en que se deberán registrar los trabajos de mantenimiento y reparaciones, hay un vacío en el sistema, ya que SAEP no está diseñado para introducir esta información, por lo que se debería entonces comenzar por crear un programa de software para dicho propósito. Es cierto que parte de la tercera y toda la cuarta fase se salen del propósito de este artículo, pero de igual forma es de suma importancia en las dos primeras fases obtener una amplia base de datos como punto de partida para las fases posteriores.

## Conclusiones y recomendaciones

El sistema de manejo de puentes checo consta de cuatro fases ya establecidas y operando: "Inventario", "Inspección", "Mantenimiento" y "Administración". El Programa de Evaluación de Puentes, de "e-Bridge", se asemeja mucho, en las dos primeras fases, al sistema empleado en República Checa para el mantenimiento de los puentes de autopistas y carreteras, pues se realizan visitas previas y visitas de inspección visual. No se pueden comparar directamente estos dos sistemas en las fases posteriores, ya que en Costa Rica estas se encuentran en desarrollo. No obstante, se pudieron determinar puntos específicos que podrían significar mejoras en el programa costarricense a futuro, tales como la codificación de cada uno de los elementos de los puentes introducido al sistema, lo cual facilitaría el manejo de la gran

cantidad de información recopilada, y la elaboración de un software que permitiría el ingreso futuro de documentación más allá del inventario y las inspecciones visuales (SAEP), referente al mantenimiento y reparaciones de los puentes.

## Bibliografía

- Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) (2013). Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP). Costa Rica. Consultado en: [http://saep.conavi.go.cr:9080/SAEP\\_CONAVI\\_Web/](http://saep.conavi.go.cr:9080/SAEP_CONAVI_Web/)
- Křístek, V., Šafář, R. (junio, 2005). *Bridge Management System in the Czech Republic. State-of-the-art* (Section). Centre for Integrated Design of Advanced Structures. Czech Technical University.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2007). *Manual de Inspección de Puentes*. Costa Rica.
- Thomas W. Ryan et al. (2006). *Bridge Inspector's Reference Manual* (Vol. 1). U.S. Department of Transportation.
- Wenzel, H. (2009). *Health Monitoring for Bridges*. Vienna, Austria: John Wiley & Sons, Ltd.

# Cuantificación del Transporte de Sedimentos en el río La Estrella, Limón, Costa Rica

## Quantifying Sediment Transport in La Estrella River, Limón, Costa Rica

Andrés Cervantes-Córdoba<sup>1</sup>, Ana María Ferreira da Silva<sup>2</sup>,  
Isabel Guzmán-Arias<sup>3</sup>, Karolina Villagra-Mendoza<sup>4</sup>

---

*Fecha de recepción: 20 de mayo de 2016*

*Fecha de aprobación: 23 de agosto de 2016*

Cervantes-Córdoba, A; Ferreira da Silva, A; Guzmán-Arias, I; Villagra-Mendoza, K. Cuantificación del Transporte de Sedimentos en el río La Estrella, Limón. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, Número Especial Estudiantes 3. Pág 86-100.  
DOI: 10.18845/tm.v29i6.2905

1 Estudiante y Asistente de Proyecto. Escuela de Ingeniería Agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: andrescercor@gmail.com

2 Doctora en Ingeniería de Ríos. Ingeniera Civil. Profesora de la Escuela de Ingeniería Civil. Queen's University, Canadá. Correo Electrónico: anamaria.dasilva@queensu.ca

3 Doctora en Ciencias Naturales para el Desarrollo-Gestión de Recursos Naturales. Máster en Educación Técnica. Ingeniera Agrícola. Profesora e Investigadora de la Escuela de Ingeniería Agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: iguzman@itcr.ac.cr

4 M.Sc. en Ingeniería Ambiental Universidad Técnica de Hamburg-Hamburg. Profesora e Investigadora de la Escuela de Ingeniería Agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: kvillagra@itcr.ac.cr



## Palabras Clave

Transporte de sedimentos; río La Estrella, Costa Rica; capacidad hidráulica.

## Resumen

La creciente necesidad del recurso hídrico para los diferentes usos, tanto en la naturaleza como en las actividades del ser humano, ha estimulado un incremento en el estudio detallado de cada una de las fases del ciclo hidrológico. Costa Rica, un país con muchos ríos a lo largo de todo el territorio y situado en el trópico, tiene muchas precipitaciones durante el año, lo que provoca un aumento significativo del caudal en la mayoría de los ríos y, con ellos, desastres en infraestructura civil así como en áreas agrícolas. Específicamente, los desbordamientos del río La Estrella han ocasionado muchos daños, tanto a plantaciones cercanas como a las personas de los poblados de los alrededores.

El propósito del siguiente trabajo fue determinar la capacidad hidráulica del río La Estrella para transportar sedimentos. Para esto se utilizó una metodología por etapas; entre ellas, varias giras al lugar de estudio para tomar muestras de sedimentos y realizar aforos en distintos puntos, todo esto con el fin de obtener los datos necesarios para procesar la información. Luego se realizaron trabajos de laboratorio y los cálculos respectivos para cuantificar la cantidad de sedimentos que son transportados en los distintos puntos de medición por medio de varias ecuaciones teóricas. Se obtuvieron los valores para la cantidad de sedimentos que el río La Estrella puede transportar bajo condiciones similares a las que presentaba en las giras realizadas.

## Keywords

Sediment transport; La Estrella River; Costa Rica; hydraulic capacity.

## Abstract

The growing need of water resources for different uses, in nature and in human activities has stimulated and increased the detailed study of the stages of the water cycle. Costa Rica is a country with many rivers throughout its area, which is located in the tropics and where it rains significantly throughout the year. This means that most of the rivers raise their water flow significantly, causing loss or damage of civil infrastructure and problems in extensive agricultural areas. Specifically, La Estrella River overflows have caused serious damage, to nearby plantations and affected people from nearby villages.

The objective of this study is to determine the hydraulic capacity of La Estrella River to transport sediment. To do this a stepwise methodology was used. This involved several trips to the study site in order to collect sediment samples and flow rate measurements at different locations of the river. The sediment samples were subsequently analyzed in the laboratory. Finally, sediment transport calculations were performed by means of various theoretical equations. The result, values of the amount of sediment that the river can transport under similar conditions to those founded in the field trips.

## Introducción

Es bien conocido que el equilibrio de una partícula en el lecho de un río está gobernado por el balance entre las fuerzas desestabilizadoras de sustentación y de arrastre, y las fuerzas estabilizantes de gravedad y de entramamiento de las partículas (Aguirre-Pe, 2000). El transporte

de sedimentos de las partículas de la cama por el flujo de agua, puede estar en forma de carga de fondo y carga suspendida, dependiendo del tamaño de las partículas de material de cama y las condiciones de flujo. (Van Rijn, 1993)

El transporte de sedimentos total para un río está dado por dos partes: la primera por los sedimentos que son transportados en el fondo del cauce o en la cama del río, denominados por las letras “qsb”; la segunda por los sedimentos que son transportados en suspensión, denominados por las letras “qss”. La suma de estos dos parámetros da como resultado el transporte total de los sedimentos que son llevados por el río, denominado por las letras “qs”. Este resultado puede ser expresado en términos volumétricos, metros cúbicos entre metro por segundo [ $m^3/m*s$ ] y en términos gravimétricos, newton entre metro por segundo [ $N/m*s$ ].

La complejidad de la mecánica del transporte de sedimentos es tal que no ha podido proponerse una verdadera ecuación dinámica del transporte de la fase sólida de un flujo de agua y sólidos. En su lugar han florecido en distintas partes del mundo ecuaciones empíricas, semi empíricas o basadas en distintas teorías que dan razón de ciertas observaciones. Estas ecuaciones son aproximadas, no exactas, solo válidas dentro del rango de valores para el que fueron obtenidas. (Martín, 2002).

Para calcular el transporte de sedimentos que ocurre en el fondo del cauce así como el que ocurre en suspensión, hay varias ecuaciones propuestas por diferentes autores. Como lo mencionan García & Sala, (1985), la mayoría de las fórmulas se han desarrollado a partir de estudios realizados en canales experimentales, con los que se ha intentado obtener una relación entre el transporte de fondo y las condiciones hidráulicas del flujo o la sedimentación.

Algunas de las ecuaciones más conocidas, las cuales se usaron para realizar los cálculos del transporte de sedimentos del fondo del cauce, son las propuestas por Yalin, Bagnold, Van Rijn, Meyer-Peter & Müller. Los resultados al obtenidos por medio de las ecuaciones anteriores se graficaron. Estos gráficos son de suma importancia ya que dan una idea del tipo y la cantidad de sedimentos, que en diferentes condiciones el río, puede transportar.

El principal objetivo del estudio fue estimar la capacidad hidráulica que tiene el río La Estrella para transportar sedimentos, tanto a nivel del fondo del cauce como sedimentos en suspensión. La razón de ellos es que este río ha traído muchos problemas debido a sus desbordamientos, como grandes pérdidas para las plantaciones que se encuentran alrededor de este y a la población que vive cerca, se espera comprender un poco más su comportamiento y poder evitar algunos desastres.

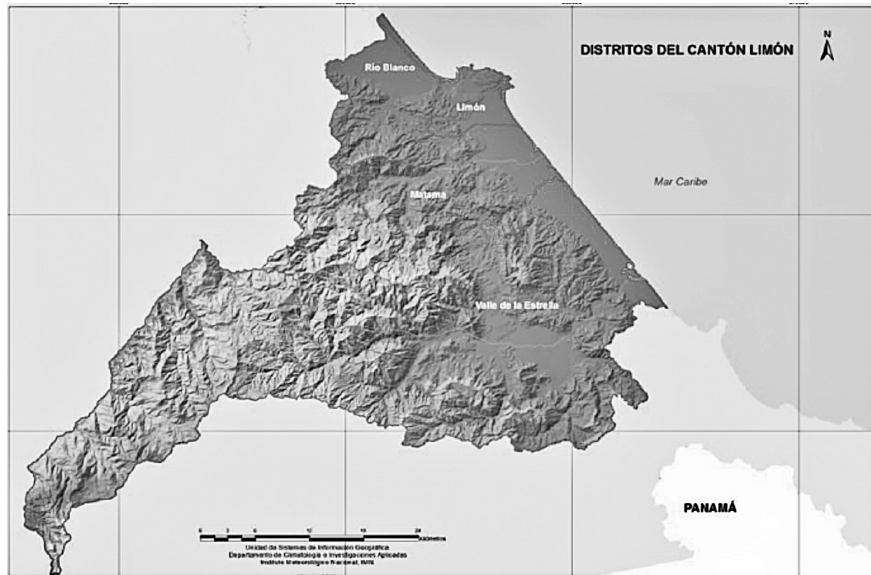
## Metodología

### Descripción de la cuenca

El río en estudio se encuentra en la provincia de Limón, zona del Caribe, específicamente en el valle de La Estrella, el cual se puede apreciar en la figura 1. La cuenca del río La Estrella tiene una extensión aproximada de  $1031\text{km}^2$  lo que representa un 2,02% de la superficie nacional (Rojas, 2011). La sección en estudio, que abarca desde Vesta hasta Pandora, tiene una longitud de 14 kilómetros y atraviesa una finca bananera; esta se inunda a causa del río.

En esta cuenca el rasgo climático típico es el régimen de precipitación del Caribe, el cual en Costa Rica se caracteriza por presentar una estación lluviosa a lo largo de casi todo el año, con disminución de las lluvias en los meses de setiembre y octubre en particular en esta cuenca (Rojas, 2011).





**Figura 1.** Cuenca del río La Estrella (Fuente ING, 2011)

### Toma de muestras

Se realizaron una serie de aforos mensuales del río La Estrella y de sus principales afluentes. Para estos aforos se utilizaron dos correntómetros, Universal Current Meter F1 y Mini Current Meter M1. Se escogieron tres puntos de muestreo en el cauce principal: Vesta, Atalanta y Pandora; se muestrearon seis afluentes: Suruy, Abuy, Cerere, Niñey, Bitey, Duruy y Ley. También se tomaron diferentes muestras del material que contenía el fondo del cauce, en cada visita, para obtener información de los sedimentos presentes en cada punto. Los resultados que se presentan en este artículo pertenecen a los tres puntos de medición del cauce principal, Vesta, Atalanta y Pandora, en orden de mayor altitud a menor altitud respectivamente; estos puntos de medición se pueden observar en la figura 2.



**Figura 2.** Puntos de Medición sobre el cauce principal. Fuente: ING.

## Procesamiento de la información

Con los datos obtenidos de los aforos realizados se obtuvo el caudal en cada punto, también se obtuvo el perfil transversal de cada sección en donde se efectuaron las medidas. Las muestras del material tomado se procesaron en el Laboratorio de Suelos de la Escuela de Ingeniería Agrícola, donde se tamizaron y los resultados se graficaron para observar la curva de distribución de los diámetros de los granos. Analizando estas curvas y tomando en cuenta las diferentes condiciones para los distintos puntos, se aplicaron las diferentes ecuaciones para obtener los resultados del transporte de sedimentos.

Para la realización de los cálculos se utilizaron los caudales que fueron medidos en los distintos puntos, los diámetros de los sedimentos y las alturas del agua o profundidades. Para la elección de los diferentes diámetros, se utilizó un promedio de los rangos que se encontraron en las tablas de clasificación de sedimentos, de acuerdo con su diámetro. Luego en las curvas de distribución que se elaboraron para cada punto de muestreo, se observó qué diámetros se presentaban en cada sitio de medición, para utilizar diámetros de sedimentos que estuvieran presentes.

Los cálculos se realizaron en dos etapas: la primera fue referida al transporte de sedimentos en el fondo del cauce y la segunda al movimiento de sedimentos en suspensión o flotación. Cabe resaltar que se usó la pendiente del tramo de Pandora a la desembocadura para todos los cálculos.

## Ecuaciones utilizadas

Por medio de las ecuaciones o fórmulas de transporte de fondo, se cuantifica el caudal sólido de una corriente en función de sus características hidráulicas y de las características geométricas y granulométricas del cauce (Martín, 2002).

Para calcular la cantidad de sedimentos que son transportados por el río, se utilizaron diferentes ecuaciones de diferentes autores. El cálculo del transporte de sedimentos en el fondo del cauce se realizó por medio de las siguientes ecuaciones, y en un futuro, se puede comparar con mediciones reales de transporte de sedimentos para ver cuál es la ecuación que más se acerca a las condiciones que se presenten en el río.

Meyer-Peter y Müller Formula

$$\phi = 8(Y-0.047)^{3/2} \text{ (Ecuación 1)}$$

Bagnold's Formula

$$\phi = bY^{1/2}(Y-Y_{cr}) \text{ (Ecuación 2)}$$

Van Rijn

$$\phi = 0.053E^{-0.3}(n_*-1)^{2.1} \text{ (Ecuación 3)}$$

Yalin

$$\phi = 0.635 \frac{s}{\sqrt{\psi}} \left( 1 - \frac{1}{as} \ln(1 + as) \right) \text{ (Ecuación 4)}$$

Donde:

$$Y = \Psi^{-1} = \frac{qv_*^2}{\gamma_s D} \text{ movility number (también llamado el parámetro de Shield)}$$

$Y_{cr}$  = valor de  $Y$  en la iniciación de la etapa crítica del transporte de sedimentos

$b$  = valor gráfico (Ver Yalin 1972)

$$E^3 = \frac{X^2}{Y} = \frac{\gamma_s D^3}{\rho \theta^2}$$

$$a = 2.45 \frac{\sqrt{Y_{cr}}}{W^{0.4}} ; W = \frac{\rho_s}{\rho} = 2.65 \text{ (arena)}$$

$$s = \frac{Y - Y_{cr}}{Y_{cr}}$$

$$n_* = \frac{Y}{Y_{cr}}$$

En lo anterior,  $v_c$  es la velocidad de corte ( $= (gSh)^{1/2}$ ). Además,  $\rho$  es la densidad del fluido,  $\nu$  es la viscosidad cinemática del fluido,  $\rho_s$  es la densidad de grano y  $\gamma_s$  el peso específico del material del lecho sumergido. En este trabajo, estos fueron identificados con 1000 kg/m<sup>3</sup>, 6,10 m<sup>2</sup>/s, 2,650 kg/m<sup>3</sup> y 16,186.5 N/m<sup>3</sup>, respectivamente; mientras  $Y_{cr}$  se determinó a partir de la siguiente ecuación, debida a Yalin y da Silva (2001):

$$Y_{cr} = 0.13E^{-0.392} * e^{-0.015E^2} + 0.045(1 - e^{-0.068E})$$

Cuando el valor de la velocidad cortante excede la velocidad de caída de las partículas, las partículas pueden ser levantados a un nivel donde las fuerzas de turbulencia pueden ser iguales o mayores al peso de la partícula y como resultado el movimiento de la partícula en suspensión es ocasional y aleatoria. La velocidad de las partículas es muy parecida a la velocidad del fluido (Van Rijn, 1993).

Para realizar el cálculo del transporte de sedimentos en suspensión se utilizó la siguiente ecuación:

$$q_{ss} = V_* h \gamma_s C_\epsilon \frac{2.5 \ln(h/k_s) + B_s}{\left(\frac{1}{n_\epsilon} - 1\right)^m} \int_{n_a}^{n_b} n^{1/7} \left(\frac{1}{n} - 1\right)^m dn \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde:

$h$  = profundidad del agua

$C_\epsilon$  = concentración adimensional en el nivel  $\epsilon$ , en el que  $\epsilon$  es el espesor de la capa de la cama del cauce

$k_s = 2D_{50}$  rugosidad del material de la cama del cauce

$B_s$  = función de la rugosidad

$\eta = z/h$ , en donde  $z$  es el eje vertical, con origen en la cama del cauce

$\eta_\epsilon = \frac{\epsilon}{h}$  = valor de  $\eta$  en el nivel  $\epsilon$

En este trabajo, la rugosidad de la función  $B_s$  fue evaluada por medio de la siguiente ecuación, dada por Yalin y da Silva (2001):

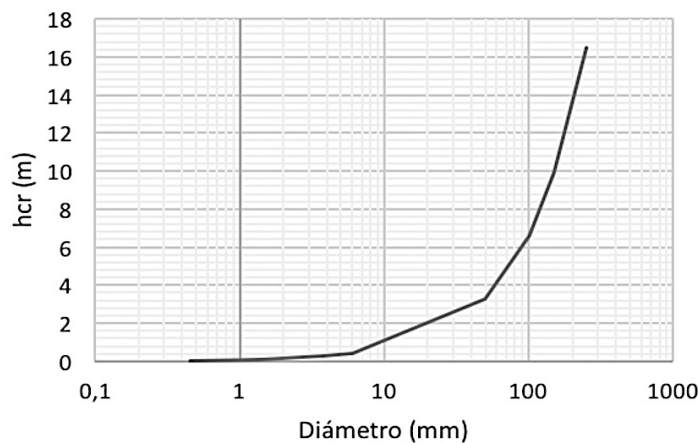
$$Bs = (2,5 \ln Re_* + 5,5) e^{-0,0705(\ln Re_*)^{2,55}} + 8,5(1 - e^{-0,0594(\ln Re_*)^{2,55}})$$

donde  $Re_*$  es el número de la rugosidad de Reynolds ( $=v_*k_s/\nu$ ), mientras  $\epsilon$  es calculado como  $2DY/Y_{cr}$

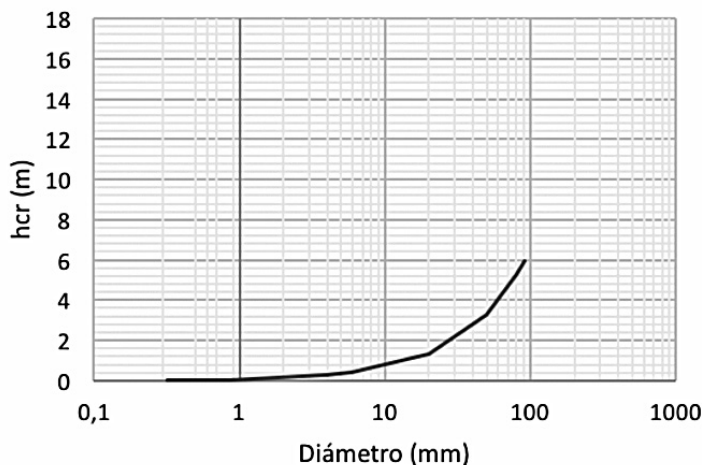
## Resultados y discusión

Los gráficos se realizaron a la misma escala, con el propósito de observar de una manera más clara la diferencia entre los resultados de lo que se calculó.

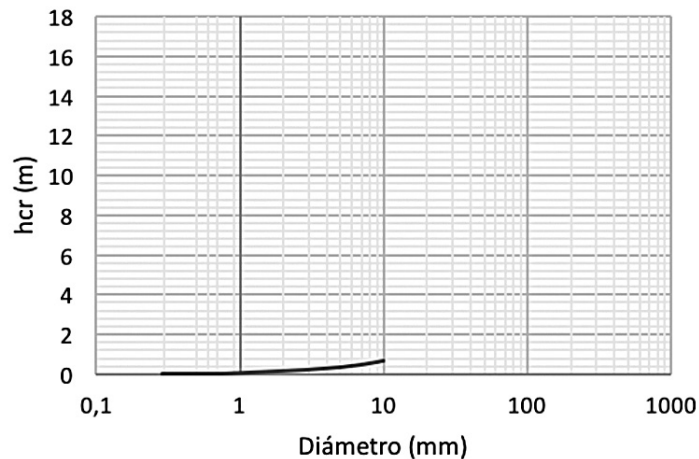
Al calcular el movimiento de sedimentos en el fondo del cauce, es importante saber qué altura de agua es requerida para que dé inicio el movimiento de los sedimentos de diferentes diámetros. En las figuras 3, 4 y 5 se observa la altura necesaria o la altura crítica de agua para iniciar el movimiento de sedimentos de diferentes diámetros en los puntos de muestreo localizados en Vesta, Atalanta y Pandora, respectivamente.



**Figura 3.** Altura de agua crítica (hcr) para el punto en Vesta



**Figura 4.** Altura de agua crítica (hcr) para el punto en Atlanta



**Figura 5.** Altura de agua crítica (hcr) para el punto en Pandora

Se puede observar que en el punto localizado en Vesta, figura3, es necesaria una altura de agua mucho mayor que en los otros dos puntos, los cuales se encuentran a una altura sobre el nivel del mar menor. En Vesta se encuentran sedimentos de diámetros mucho más grandes que en los otros puntos, porque este es el punto de mayor altitud de la zona en estudio y el más cercano a la zona montañosa. Por ejemplo, en Vesta, para mover una piedra de un diámetro de 100 mm se requiere una altura de 6,6 m, y para lograr que se mueva todo el material del fondo del cauce se requiere una altura de 16,5 m.

Los cálculos utilizados para obtener las tres curvas fueron los mismos para todos los puntos. La diferencia entre las tres curvas es su longitud, que está en función del material de mayor diámetro en cada punto.

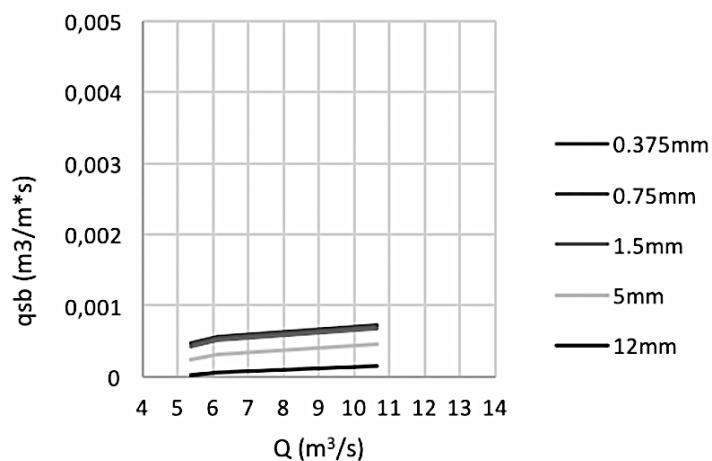
Los resultados obtenidos se compararon con las condiciones presentes en el lugar de estudio en las distintas giras realizadas. Con los datos de las curvas anteriores, se corroboró lo que se observó en campo, es decir que en las condiciones presentes en el sitio, diámetros relativamente grandes no se movían.

Al tener una idea bastante clara del tamaño del material que el río logra mover, se procedió a realizar los cálculos del transporte de sedimentos  $[qsb] = [m^3/m*s]$ , para lo cual se aplicaron las diferentes ecuaciones de los diferentes autores ya mencionados, con el fin de comparar los distintos resultados. Al comparar los resultados se pudo obtener un rango de la cantidad de sedimentos que estaban siendo transportados.

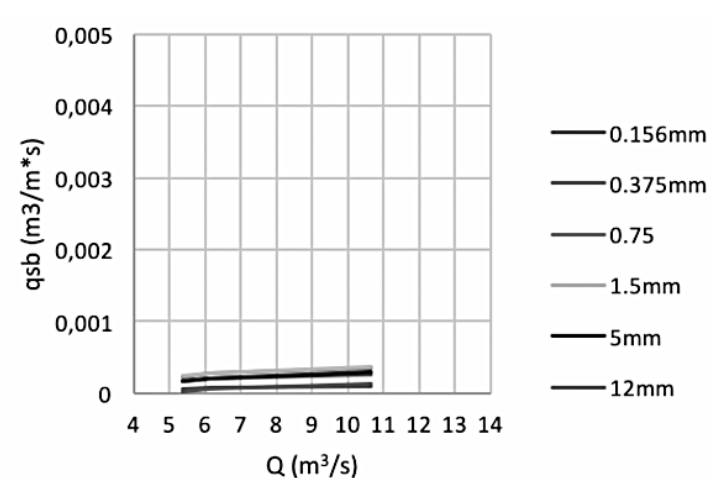
En los gráficos siguientes se presentan los resultados de transporte de sedimentos del fondo del cauce en los tres puntos seleccionados sobre el cauce principal.

En ellos se muestran las cantidades de sedimento que cada caudal puede transportar, según el diámetro de partícula, y para los diferentes diámetros escogidos. Se utilizaron los datos de los caudales medidos en las diferentes visitas al campo.

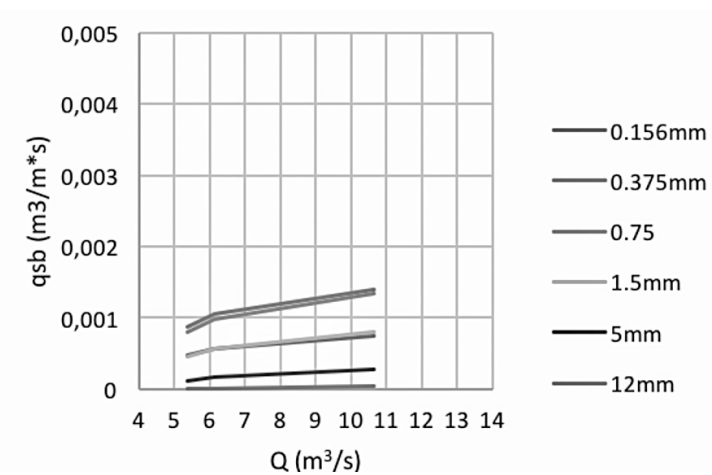
Se observa en los siguientes gráficos que los valores del transporte de sedimentos en la locación de Vesta calculados por las distintas fórmulas son diferentes. Los valores máximos se presentan cuando se aplica la ecuación de Van Rijn, figura 9, y los mínimos cuando se aplica la ecuación de Bagnold, figura 7. No se puede decir que alguno de estos resultados es erróneo, ya que no se cuenta con valores reales del movimiento que se da en este punto, para establecer la comparación entre ambos; sin embargo, los resultados obtenidos por medio de las diferentes ecuaciones permiten contar con un rango de valores para hacer las aproximaciones con la realidad.



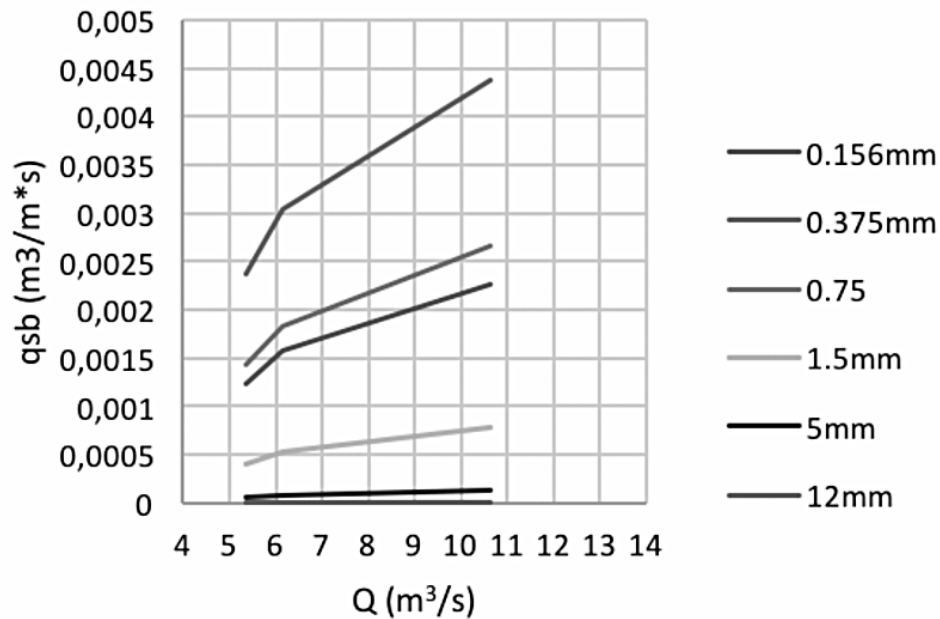
**Figura 6.** Cantidad de sedimentos de fondo en Vesta, utilizando la ecuación de Meyer-Peter y Müller



**Figura 7.** Cantidad de sedimentos de fondo en Vesta, utilizando la ecuación de Bagnold

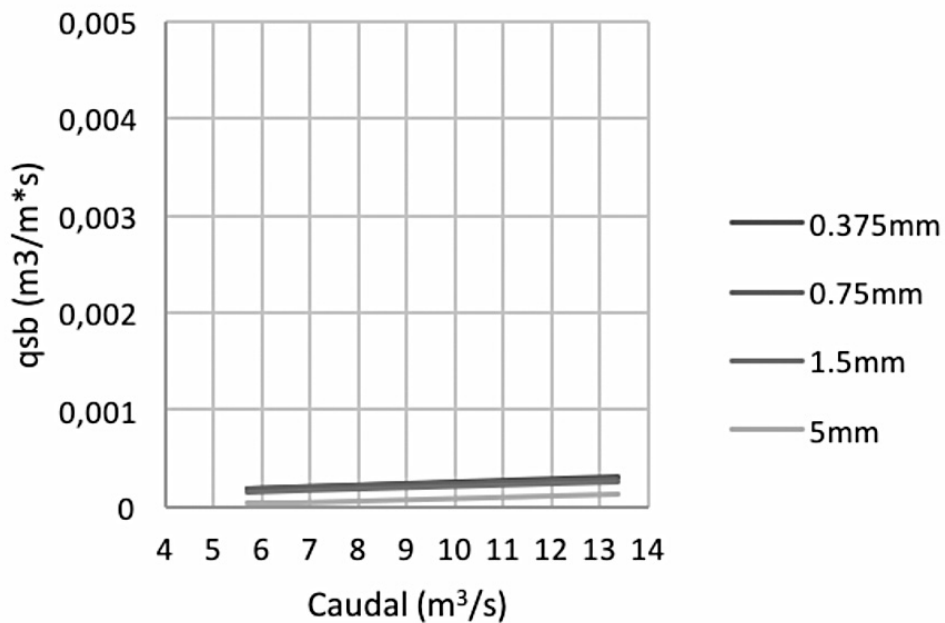


**Figura 8.** Cantidad de sedimentos de fondo en Vesta, utilizando la ecuación de Yalin

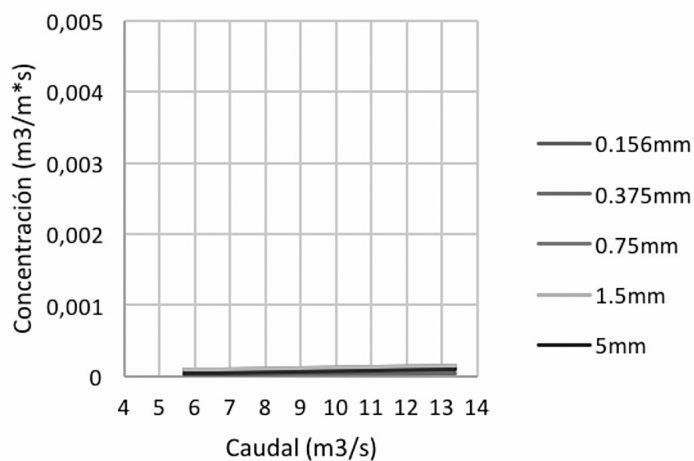


**Figura 9.** Cantidad de sedimentos de fondo en Vesta, utilizando la ecuación de Van Rijn

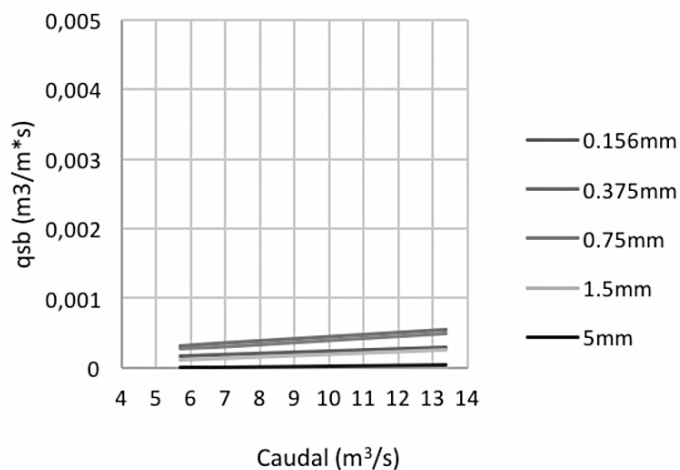
En relación con las mediciones hechas en el punto de Atalanta, se puede observar que tres de las cuatro ecuaciones aplicadas dan valores muy similares. Nuevamente con la ecuación de Van Rijn, figura 13, se obtienen los valores máximos. De igual manera que en el caso anterior no se puede concluir cuál es la ecuación que más se asemeja a las condiciones del río ya que no se cuenta con mediciones reales.



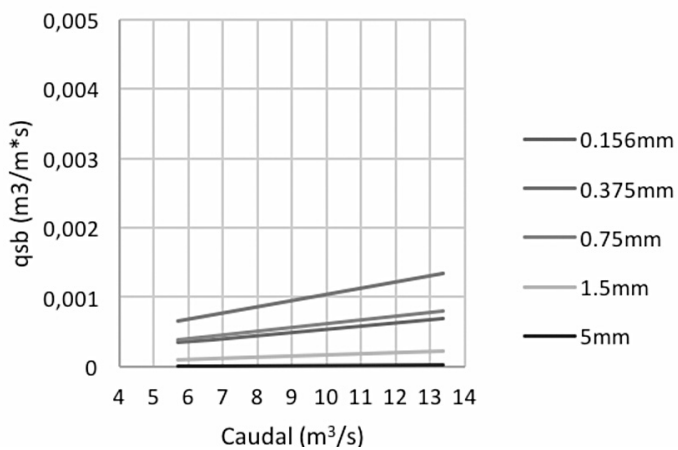
**Figura 10.** Cantidad de sedimentos de fondo en Atalanta, utilizando la ecuación de Meyer-Peter y Müller



**Figura 11.** Cantidad de sedimentos de fondo en Atalanta, utilizando la ecuación de Bagnold



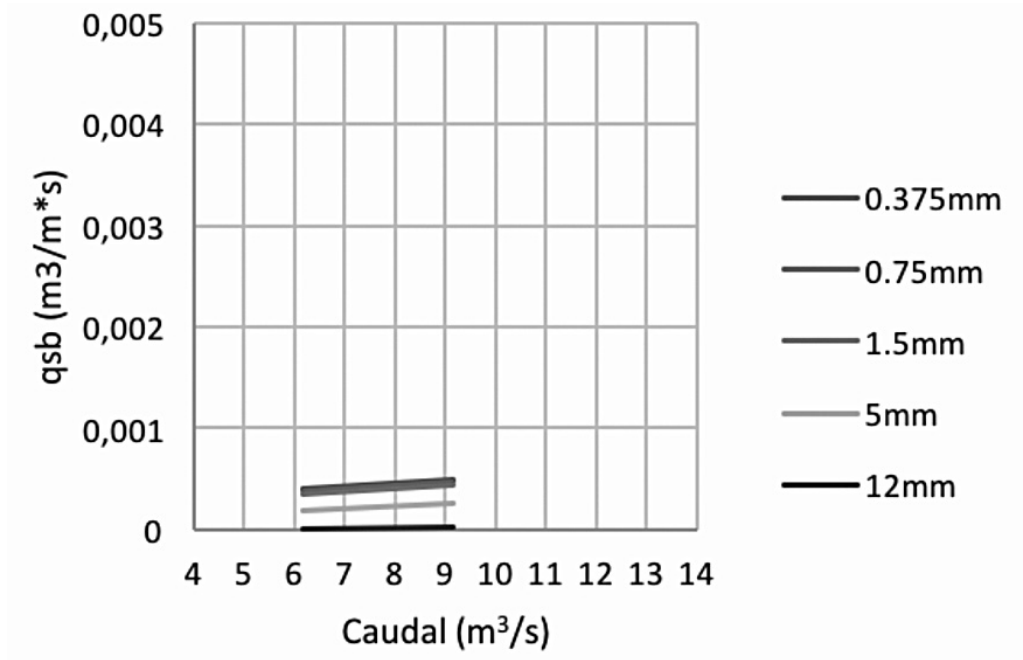
**Figura 12.** Cantidad de sedimentos de fondo en Atalanta, utilizando la ecuación de Yalin



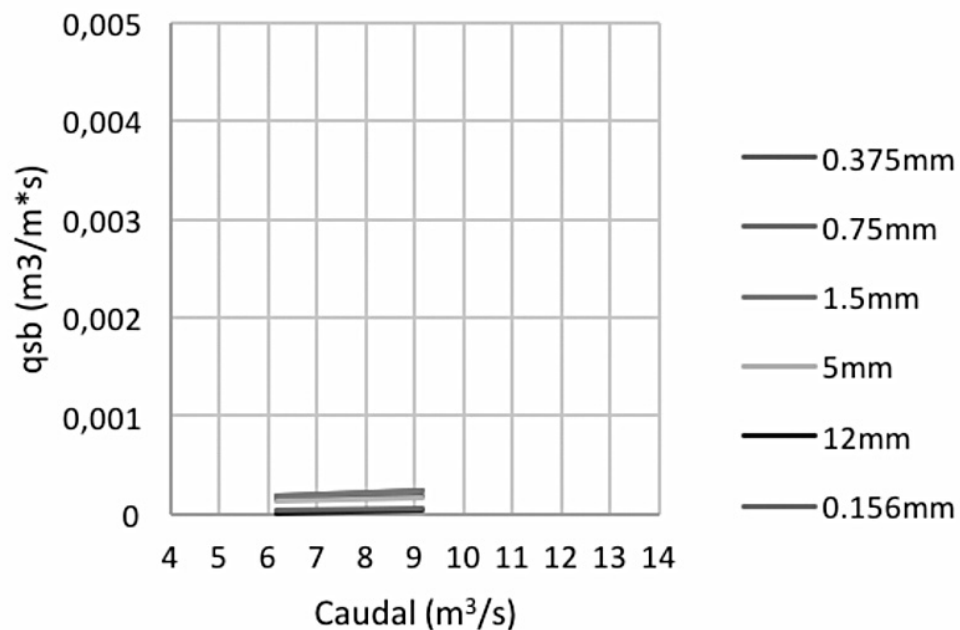
**Figura 13.** Cantidad de sedimentos de fondo en Atalanta, utilizando la ecuación de Van Rijn



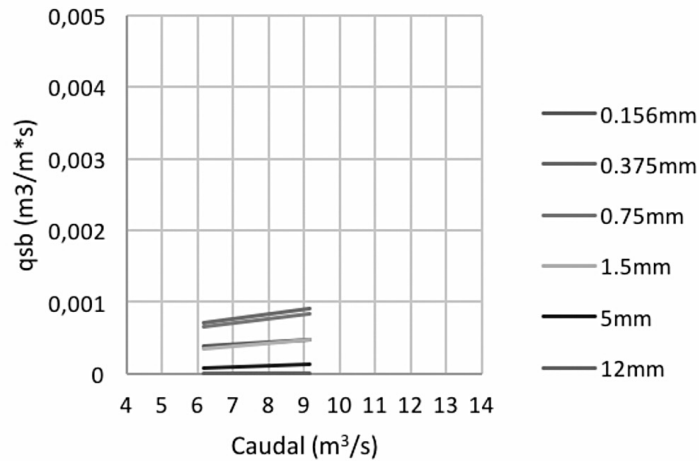
Para el caso del punto más bajo del cauce, en Pandora, se observa que los resultados obtenidos por medio de las diferentes ecuaciones difieren un poco entre ellos; pero al igual que en los dos casos anteriores, los valores máximos se presentan con la ecuación de Van Rijn, figura 16, y los mínimos con la ecuación de Bagnold, figura 15.



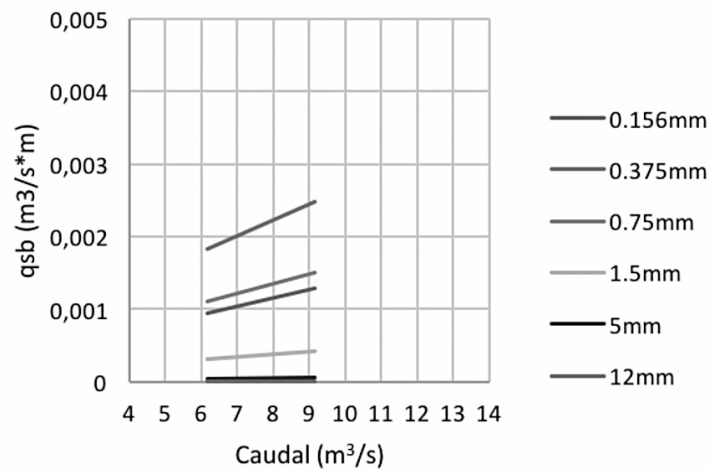
**Figura 14.** Cantidad de sedimentos de fondo en Pandora, utilizando la ecuación de Meyer-Peter y Müller



**Figura 15.** Cantidad de sedimentos de fondo en Pandora, utilizando la ecuación de Bagnold



**Figura 16.** Cantidad de sedimentos de fondo en Pandora, utilizando la ecuación de Yalin

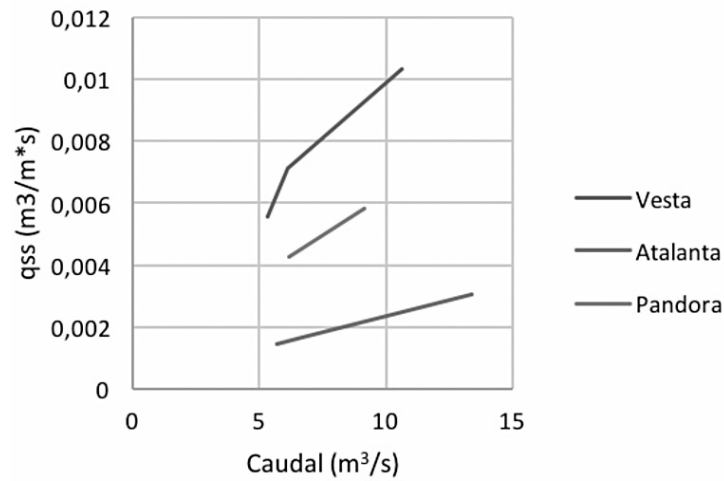


**Figura 17.** Cantidad de sedimentos de fondo en Pandora, utilizando la ecuación de Van Rijn

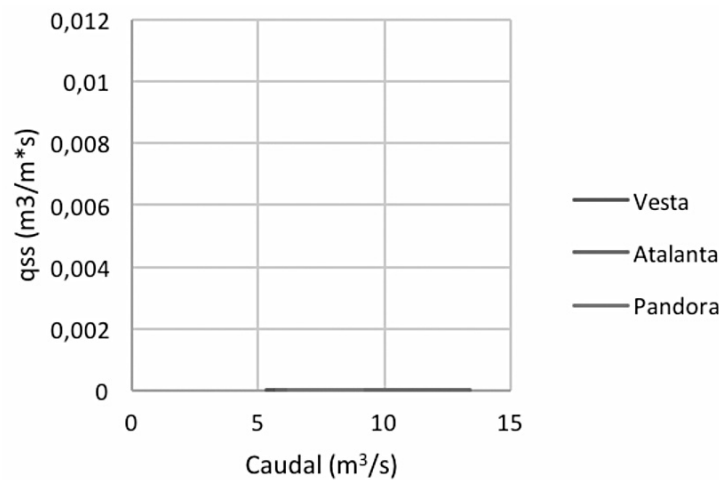
A partir de los resultados presentados se puede observar que el movimiento de sedimentos es mayor en Vesta. Esto debido a que este punto presenta gran cantidad de sedimentos de todo tamaño, además de que allí las profundidades son mayores que en los otros puntos del cauce principal, lo que provoca que más sedimentos sean puestos en movimiento, como se explicó anteriormente en relación con el cálculo de la altura crítica ( $h_{cr}$ ).

En contraste, el transporte de sedimentos es menor en Atalanta que en los otros dos puntos de medición, esto se debe a que las secciones transversales en Vesta y en Pandora son mucho más angostas que en Atalanta, por lo cual las profundidades en estos dos puntos son mayores, a lo que se suman velocidades mayores, de modo que las probabilidades de que se presente transporte o movimiento de sedimentos de diámetros grandes también es mayor.

En cuanto al transporte de sedimentos en suspensión, se calculó para los tres puntos de medición sobre el cauce principal. Como se puede observar solo se realizaron cálculos para sedimentos de dos diámetros diferentes, esto debido a que los sedimentos en suspensión que lleva el río son de diámetros muy pequeños, siendo los de 0,156mm y 0,375mm los más representativos en las condiciones halladas en los tres lugares.



**Figura 18.** Cantidad de sedimentos en suspensión de diámetro 0,156 mm, utilizando la ecuación de Van Rijn



**Figura 19.** Cantidad de sedimentos en suspensión de diámetro 0.375mm utilizando la ecuación de Van Rijn

Las cantidades de sedimentos de los dos diámetros representativos se pueden observar en las figuras 18 y 19. Entre más pequeño sea el diámetro más fácil es para el río transportarlo y conforme el diámetro va aumentando, la cantidad que se puede transportar en suspensión disminuye, bajo las mismas condiciones. Si se compara los resultados del transporte de los sedimentos de 0,156 mm de diámetro, figura 18, con los de sedimentos de 0,375 mm de diámetro, figura 19, se puede observar una gran diferencia entre las cantidades transportadas en suspensión.

## Conclusiones

Se logró cuantificar los sedimentos de fondo y en suspensión del río La Estrella. Los resultados mostraron que el transporte de sedimentos es muy bajo, hecho que tiene relación con las condiciones que se pudieron observar en campo, ya que durante la época de muestreo no se presentaron muchas precipitaciones y, en consecuencia, los caudales eran muy pequeños, de



modo que la capacidad hidráulica del río para transportar diferentes tamaños de sedimentos era reducida.

Se comprobó que para mover material con partículas de diámetros muy grandes se requieren alturas de agua considerables; esto se determinó para el punto de muestreo localizado en Vesta. De igual manera, se encontró que la cantidad de sedimentos transportados en suspensión, que son de diámetros muy pequeños, aumenta con la presencia de caudales muy grandes.

Se logró una caracterización de la capacidad hidráulica del río La Estrella en un año de bajas precipitaciones y bajos caudales.

Los resultados obtenidos permitirán hacer futuros modelos para comprender un poco más el comportamiento del río y en qué puntos son depositados los diferentes sedimentos. Con los resultados de ello, se podrá determinar qué zonas son más propensas a desastres y diseñar algunas obras de protección, tanto para los campos agrícolas como la infraestructura civil.

## Recomendaciones

Son las siguientes:

- Tomar las muestras del fondo del cauce con instrumentos apropiados para poder obtener datos más reales del movimiento de los sedimentos y poder correlacionarlos con los resultados teóricos, obtenidos por medio de las distintas ecuaciones.
- Realizar más mediciones en distintas épocas del año para obtener valores del transporte de sedimentos bajo diferentes condiciones y predecir el comportamiento del río a lo largo de todo el año.
- En este caso, el río presenta material mixto debido a que se presentan diferencias significativas entre los sedimentos en los puntos de medición. En la actualidad nuevas investigaciones o teorías afirman que el material de diámetros más pequeños se esconde entre las rocas de mayor tamaño, por lo cual los resultados obtenidos podrían variar un poco.

## Bibliografía

- Aguirre-PE, J & Olivero M.L. (2000). Transporte de sedimentos en cauces de alta pendiente. *Fundación para el Fomento de la Ingeniería del Agua* (7) 4. Universidad de Córdoba, España.
- García, C & Sala, M. (1998). Aplicación de fórmulas de transporte de fondo a un río de gravas: comparación con las tasas reales de transporte obtenidas en el río Tordera. *Ingeniería del Agua*, vol. 5.
- Hassanzadeh, Y. (2012). *Hydraulics of Sediment Transport, Hydrodynamics: Theory and Model*. Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz. Tabriz, Irán.
- Martín, J. (2002). Ingeniería de Ríos. Universidad Politécnica de Cataluña.
- M. Selim Yalin & Ferreira da Silva, A.M. (2001). Fluvial Processes. International Association of Hydraulic Engineering and Research, Queen's University. Kingston, Canadá.
- Rojas, N. (2011). Cuenca río La Estrella. *En Estudio de Cuencas Hidrográficas*. Instituto Meteorológico Nacional.
- Segura, S & Casasola, R. (2011). Modelación hidráulica para el análisis y propuesta de obras de mitigación de inundaciones en Finca Valle La Estrella. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Thorkelsdottir, K. (1999). Sediment Transport in Rivers. Institute of Hydraulics Structures and Agricultural Engineering. University of Karlsruhe, Germany.
- Van Rijn, L. (1993). Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. Netherlands, Aqua Publications.
- Yalin M.S. (1972). Mechanics of Sediment Transport. Oxford, England.

## Cronograma 2016

	<b>Vol. 29-1</b>	<b>Vol. 29-2</b>	<b>Vol. 29-3</b>	<b>Vol. 29-4</b>	<b>Vol. 30-1</b>	<b>Vol. 30-2</b>	<b>Vol. 30-3</b>
Recepción de artículos	Mayo - julio 2015	Agosto - octubre 2015	Noviembre 2015 - enero 2016	Febrero - abril 2016	Mayo - julio 2016	Agosto - octubre 2016	Noviembre 2016 - enero 2017
Evaluación de expertos y aprobación	Agosto - setiembre 2015	Noviembre - diciembre 2015	Febrero - marzo 2016	Mayo - Junio 2016	Agosto - setiembre 2016	Noviembre - diciembre 2016	Febrero - marzo 2017
Revisión de estilo y corrección	Octubre 2015	Febrero 2016	Abril 2016	Julio 2016	Octubre 2016	Enero 2017	Abril 2017
Diagramación y correcciones finales	Enero 2016	Marzo 2016	Mayo - junio 2016	Agosto - setiembre 2016	Noviembre - diciembre 2016	Febrero - marzo 2017	Mayo - junio 2017
Publicación del número	Febrero 2016	Mayo 2016	Julio 2016	Octubre 2016	Febrero 2017	Abril 2017	Julio 2017

La revista *Tecnología en Marcha* es publicada por la Editorial Tecnológica de Costa Rica, con periodicidad trimestral. Su principal temática es la difusión de resultados de investigación en áreas de Ingeniería. El contenido de la revista está dirigido a investigadores, especialistas, docentes y estudiantes universitarios de todo el mundo.

1. Los artículos deberán ser originales, inéditos y no pueden participar simultáneamente en otros procesos de publicación.
2. La extensión de los trabajos debe oscilar entre 10 y 20 páginas de 21,59 x 27.94 cm (8,5 x 11 pulgadas). Se debe presentar en un documento de Microsoft Word, con interlínea de espacio y medio, en una columna, en letra Times 12 pts.
3. Los títulos de los artículos deben ser sencillos, claros, cortos y estar en español e inglés.
4. Es necesario indicar claramente el nombre y los dos apellidos del autor, nacionalidad, profesión, teléfonos, correo electrónico, dirección exacta, lugar de trabajo y país de origen de dicha entidad.
5. Las palabras clave deben presentarse en español y en inglés. Además, el resumen debe estar compuesto por 250 palabras y aparecer en ambos idiomas.
6. Las imágenes se deben enviar en un archivo aparte del documento principal. En caso de ser escaneadas, la resolución mínima es de 300 ppi. Los formatos permitidos son: .jpg, .tiff, .eps, .psd y .ai.
7. Las fórmulas y ecuaciones matemáticas deben realizarse con el editor de ecuaciones de Word.
8. En lo pertinente, se usará el Sistema Internacional de Unidades.
9. La bibliografía debe aparecer al final del documento, ordenada según su aparición en el documento y utilizar el formato IEEE.
10. Los documentos deberán enviarse a las direcciones electrónicas [editorial@itcr.ac.cr](mailto:editorial@itcr.ac.cr) o [alvarez@itcr.ac.cr](mailto:alvarez@itcr.ac.cr)
11. La Comisión editorial no dará trámite de edición al artículo que no cumpla con estos requisitos.

### **Nota importante**

Los originales serán sometidos a un proceso editorial que se desarrollará en varias fases. En primer lugar, serán objeto de una evaluación preliminar por parte de los miembros del Comité Editorial, quienes determinarán la pertinencia de su publicación. Una vez establecido que cumple con los requisitos temáticos y formales indicados en estas instrucciones, será enviado a dos pares académicos externos para decidir en forma anónima (doble ciego) si debe publicarse, si necesita cambios o si se rechaza. En caso de que ambos llegaran a discrepar, el artículo será enviado a un tercer evaluador, para tomar la decisión. Los resultados del dictamen académico serán inapelables en todos los casos. En caso de que el artículo sea aprobado para su publicación, el autor autoriza a la Editorial Tecnológica de Costa Rica para que lo incluya en la revista y pueda editarlo, reproducirlo, distribuirlo, exhibirlo y comunicarlo en el país y en el extranjero mediante medios impresos y electrónicos bajo la licencia *Creative Commons*.

# Instructions to publish in **TECNOLOGÍA** *en marcha*

The journal *Tecnología en Marcha* is published by the Editorial Tecnológica de Costa Rica every three months. It focuses mainly in disseminating the results of research of engineering areas. The journal's contents are intended for researchers, experts, teachers and university students around the world.

1. All articles must be originals, unpublished, and cannot be simultaneously used in other processes.
2. Papers may be 10-20 pages long (8.5 x 11 in, or 21.59 x 27.94 cm). All documents must be submitted in MS Word, 1.5 line spacing, using Times 12 pts. font and in one column.
3. Article titles must be simple, clear, short, and be included in both Spanish and English.
4. The name and (two) last names of the author should be clearly indicated, along with their profession, telephone numbers, email, physical address, place of work (organization, department, school), and where the organization is based.
5. The key words must be included in both Spanish and English. Furthermore, the abstract must be 250 words long, and should also be submitted in both languages.
6. The images must be delivered in a separate document. If scanned, the minimum resolution is 300 ppi. The formats allowed are .jpg, .tiff, .eps, .psd, and .ai.
7. Mathematical equations and formulas must be done with MS Office's Equation Editor.
8. Where necessary, use the International System of Units.
9. Bibliography will be included at the end of the document, arranged order based on IEEE format.
10. Papers should be sent to the following emails: [editorial@itcr.ac.cr](mailto:editorial@itcr.ac.cr), or [alamirez@itcr.ac.cr](mailto:alamirez@itcr.ac.cr)
11. The Editorial Committee will only consider for publication the articles meeting the above requirements.

## Important note

All originals will be subject to an editorial process consisting of several phases. First, a preliminary assessment will be done by members of the Editorial Committee, the Director, and the editors, who will jointly determine whether the article would make a relevant publication. After determining that an article meets the thematic and formal requirements established in these Instructions, it will be sent to two outside academic peers who will decide anonymously (double-blind) whether it should be published, if it needs any changes, or whether it should be turned down. In case of disagreement between these peers, the article will be sent to a third evaluator in order to reach a decision. In no case may the results of this decision be appealed. If the article is accepted for publication, the author authorizes the Editorial Tecnológica de Costa Rica to edit, reproduce, distribute, exhibit and communicate at the country and abroad through print media and electronic equipment under the *Creative Commons* license.

# Ya a la venta

## Orquídeas y orquideología en América Central

500 años de historia

Carlos Ossenbach Sauter

Adquiéralo también  
en su versión electrónica



[ebooks.tec.ac.cr](http://ebooks.tec.ac.cr)

