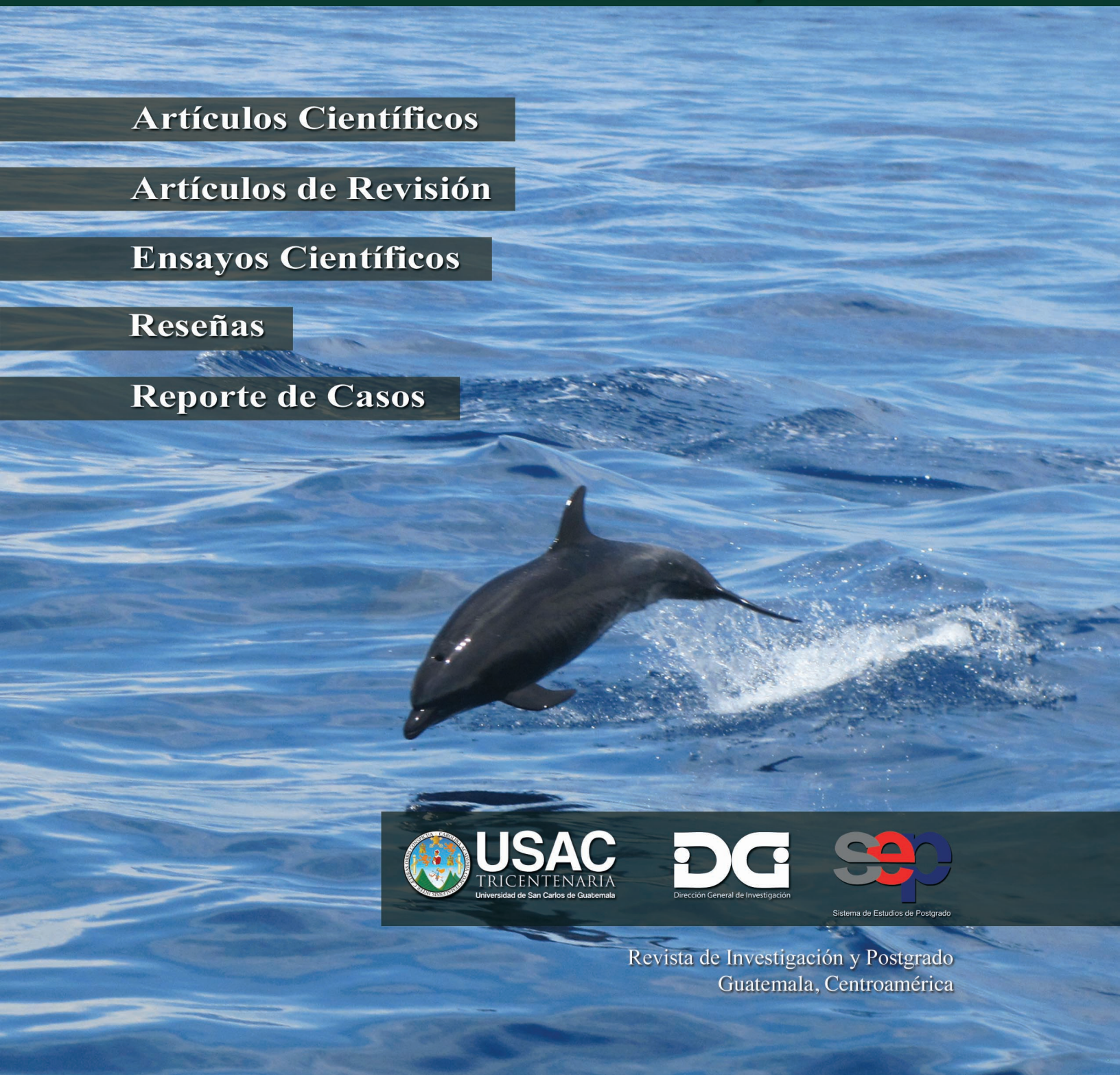
Ciencia, Tecnología y Salud

Universidad de San Carlos de Guatemala

ISSN: 2409-3459 Volumen 1 Número 1 julio / diciembre 2014



Artículos Científicos

Artículos de Revisión

Ensayos Científicos

Reseñas

Reporte de Casos

USAC TRICENTENARIA Universidad de San Carlos de Guatemala

Dirección General de Investigación

Sistema de Estudios de Postgrado

Revista de Investigación y Postgrado
Guatemala, Centroamérica

Ciencia, Tecnología y Salud es una publicación de la Dirección General de Investigación (DIGI) y colaboración del Sistema de Estudios de Postgrado (SEP), de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC). Está orientada a divulgar investigaciones originales en las áreas de ciencias, tecnologías y salud humana y animal. Constituye una publicación en formato digital Open Journal System (OJS) en línea , y semestral en forma impresa, cuyos manuscritos aceptados para publicación son sometidos a procesos de revisión y arbitraje por pares, lo que garantiza al lector y autores un alto nivel y rigor académico.

500
C569 Ciencia, Tecnología y Salud / Dirección General de Investigación, Sistema de Estudios de Postgrado. - - Vol. 1, no. 1. (jul./dic. 2014).
- - Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, DIGI, SEP, Unidad de Publicaciones y Divulgación, 2014.
v. : il. ; 27 cm.

Semestral

ISSN: 2409-3459

Disponible en: http://digi.usac.edu.gt/ojsrevistas

1. Alimentación 2. Agronomía 3. Biología 4. Conservación de los recursos naturales 5. Física 6. Industrias 7. Matemática 8. Medicina 9. Medio ambiente natural 10. Recursos naturales 11. Salud pública 12. Química I. Dirección General de Investigación II. Sistema de Estudios de Postgrado

Universidad de San Carlos de Guatemala

Carlos Guillermo Alvarado Cerezo
Rector

Carlos Enrique Camey Rodas
Secretario General

Gerardo Leonel Arroyo Catalán
Director General de Investigación, DIGI

Julio Rufino Salazar Pérez
Coordinador General de Programas, DIGI

Julio César Díaz Argueta
Coordinador General, SEP

La correspondencia debe ser dirigida a:
Armando Cáceres Estrada
Edificio S-11, 3er. Nivel, Ciudad Universitaria, Zona 12
Teléfono: 24187950
Correo: cts@digi.usac.edu.gt

Fotografía de portada: Andrea A. Cabrera Arreola

Descripción de la fotografía de portada: Delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*), tomada en el Pacífico de Guatemala en junio de 2012.

La reproducción total o parcial del contenido e imágenes de esta publicación se rige de acuerdo a normas internacionales sobre protección a los derechos de autor, con criterio especificados en la licencia Creative Commons (CC BY-NC-SA 4.0)

©Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2014
Los textos publicados en este documento son responsabilidad exclusiva de sus autores.

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso) Vol. 1 Num. 1 jul/dic. 2014

Directorio / Board-Staff

Director de la revista

Gerardo Leonel Arroyo Catalán
Dirección General de Investigación, USAC, Guatemala

Editor en jefe

Armando Cáceres Estrada
Dirección General de Investigación, USAC, Guatemala

Co-editores y Asistente

Augusto Saúl Guerra Gutiérrez
Dirección General de Investigación, USAC, Guatemala

María del Rosario Godínez y Godínez
Sistema de Estudios de Postgrado, USAC, Guatemala

Andrea Eunice Rodas Morán
Dirección General de Investigación, USAC, Guatemala
Asistente de Editores

Comité Editorial

Julio Rufino Salazar Pérez
Dirección General de Investigación, USAC, Guatemala

Liuba María Cabrera Ovalle de Villagrán
Dirección General de Investigación, USAC, Guatemala

Hilda Elena Valencia Marroquín de Abril
Dirección General de Investigación, USAC, Guatemala

Oscar Federico Nave
Dirección General de Investigación, USAC, Guatemala

Dennis Guerra Centeno
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC, Guatemala

Hugo Roberto Muñoz Roldan
Facultad de Odontología, USAC, Guatemala

Patricia Velez
Facultad de Ciencias Médicas, USAC, Guatemala

Consejo Editorial

Enrique Pazos
Facultad de Ingeniería, USAC, Guatemala

Carlos Enrique Acevedo Gonzalez
Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala

Eduardo Rubio
Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala

María Carlota Moroy
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC, Guatemala

Carolina Arévalo Valdéz
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC, Guatemala

Eduardo López Bastida
Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Cuba

Igor Iván Slowing Umaña
Iowa State University, United States of America

Heisler Gómez Méndez
Universidad Federal de Lavras, Brasil

Rodolfo Espinoza Smith
Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, Guatemala

Unidad de Publicaciones y Divulgación

Marlene Pawlova Pérez Muñoz
Unidad de Publicaciones y Divulgación, Guatemala

Mynor Alexander Alegria Monterroso
Diseñador gráfico, Guatemala

Centro de Información y Documentación

Dara Sucel Higueros Pellecer
Bibliotecóloga (Normalización documental)

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso) Vol. 1 Num. 1 jul/dic. 2014

Contenido / Contents

Presentación / Presentation

Gerardo Arroyo Catalán 3

Editorial / Editorial 4

Artículos Científicos / Scientific Articles

Evaluación de resistencia genotípica del VIH-1 en pacientes con fallo virológico de Guatemala

Antiretroviral drug resistance in HIV patients with virological failure in Guatemala

Blanca Samayoa, Anneliese Moller, Narda Medina, Eduardo Arathoon, Dalia Lau-Bonilla 5

Efecto de la configuración del paisaje en las comunidades de abejas (Apoidea) de un mosaico de bosque pino-encino y áreas agrícolas de Sacatepéquez y Chimaltenango, Guatemala

Effect of landscape configuration on bee communities (Apoidea) of an oak-pine forest and agricultural land mosaic of Sacatepequez and Chimaltenango, Guatemala

Natalia Escobedo Kenefic, María José Dardón Peralta, Jessica Esmeralda López, Oscar Martínez, Edson Cardona 13

Índice de calidad de agua del río Cucabaj ubicado en el municipio de Santa Cruz del Quiché, Quiché y la influencia en los costos del tratamiento de potabilización

Water quality index of Cucabaj River located in the municipality of Santa Cruz del Quiche, Quiche and influence in treatment costs purification

Monica Aldana Aguilar, Elvis Zacarias Laynes 21

Evaluación de la producción de cuerpos fructíferos de cepas guatemaltecas del hongo comestible Rukoxil Tunay Che' (*Agrocybe cylindracea* (DC.) Maire.) en diferentes sustratos

*Production of fruiting bodies of Guatemalan strains of the edible mushroom Rukoxil Tunay Che' (*Agrocybe cylindracea *(DC.) Maire.) on different substrates*

María del Carmen Bran, Roberto Cáceres, Natalia Gurriarán, Osberth Morales, Roberto Flores 35

Bioprospección de los hiperparásitos *Cicinobolus cesatii* de Bary y *Eudarluca caricis* (Biv.) O.E. Erikss sobre cultivos y plantas adyacentes en la región central de Guatemala

Bioprospecting of fungal hyperparasites Cicinobolus cesatii *de Bary and* Eudarluca caricis *(Biv.) O. E. Erikss on crops and adjacent plants in central region of Guatemala*

Gustavo Adolfo Alvarez Valenzuela, María del Carmen Santos Bravo, Luis Fernando Centes Carrillo 43

Cetáceos del Pacífico de Guatemala: Cincuenta años de historia

Cetaceans from the Pacific of Guatemala: Fifty years of history

Andrea A. Cabrera Arreola, Jenniffer S. Ortiz Wolford, Mildred F. Corona Figueroa, Victor M. Gudiel Corona 51

Ensayos Científicos / Scientific Essay

La paradoja de la transición epidemiológica

The paradox of epidemiological transition

José Manuel Arreaga 65

Instruciones para autores

Instructions for authors 73

Revisores de este volumen

Reviewers of this issue 75

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso) Vol. 1 Num. 1 jul/dic. 2014

Presentación / Presentation

La divulgación de los resultados de proyectos de investigación es el último proceso mediante el cual el investigador comparte la información generada, con pares académicos de su especialidad y somete al juicio de la comunidad científica sus hallazgos.

Este proceso se inicia, en el área técnica y la salud, desde los seminarios de presentación de avances entre compañeros investigadores, para luego pasar a la presentación de posters o trabajos libres en congresos nacionales o internacionales y culminar con la publicación de un artículo en una revista científica arbitrada. La publicación de artículos en revistas indexadas busca compartir los hallazgos académicos con la mayor cantidad de científicos a nivel mundial y esto se logra al hacerlo en revistas de alto impacto. El investigador, luego de publicar varios artículos sobre su especialidad, será entonces invitado como conferencista en eventos académicos internacionales y podrá entonces ser convocado a escribir un artículo de revisión en un tema específico, un capítulo de un libro especializado o a plasmar sus conocimientos y experiencia en un libro inédito.

En el área social y las humanidades, aunque el proceso de divulgación de resultados es ligeramente diferente, el grado de complejidad e impacto se logra de manera similar, en eventos presenciales y mediante la publicación de artículos y libros especializados.

El desarrollo académico de las sociedades latinoamericanas es aún precario en comparación con los países desarrollados, pero se ha observado un crecimiento importante en el incremento de publicaciones periódicas que permiten a los investigadores publicar sus hallazgos y compartirlos con académicos de su entorno y del mundo. Son únicamente algunos países los que han logrado identificar con éxito y trasladar la idea de investigación-desarrollo-innovación (I+D+I) a la práctica política de apoyar las actividades de investigación como fundamento del desarrollo social y los que así lo han hecho, han demostrado que esta filosofía debe ser adoptada en todos nuestros países con el fin de mejorar los indicadores de desarrollo humano de nuestros pueblos.

La Dirección General de Investigación y el Sistema de Estudios de Postgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presentan a la comunidad académica nacional e internacional, sus revistas de investigación Ciencia, Tecnología y Salud y Ciencias Sociales y Humanidades, como instrumentos orientados a divulgar los conocimientos de las áreas específicas de sus especialidades a la comunidad científica nacional e internacional. Constituyen una publicación de carácter semestral en formato digital (Open Journal System-OJS) y en forma impresa, cuyos manuscritos aceptados para publicación son sometidos a procesos de revisión y arbitraje por pares, lo que garantiza al lector y autores un alto nivel y rigor académico.

Esta revista contiene artículos originales de investigaciones inéditas, artículos de revisión por expertos en temas específicos, reporte de casos, ensayos y reseñas de libros y otras publicaciones académicas de relevancia.

Esperamos con esta iniciativa incentivar a investigadores nacionales e internacionales a utilizar estos medios de divulgación para compartir sus hallazgos académicos con la comunidad científica y de esta forma contribuir al desarrollo de la investigación en Guatemala.

Gerardo Leonel Arroyo Catalán
Director General de Investigación

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso) Vol. 1 Num. 1 jul/dic. 2014

Editorial / Editorial

El desarrollo social está relacionado con la producción, difusión y aplicación del conocimiento científico. Ciencia, Tecnología y Salud (CTS), es una revista científica digital en internet, gratuita, arbitrada, con publicación semestral impresa, editada por la Dirección General de Investigación (DIGI) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).

Cuenta con revisores pares externos a la Universidad, los artículos científicos se suben a la plataforma electrónica conforme se produce y cumple las calidades de edición. La revista tiene como propósito contribuir al desarrollo social y al bien común. En este espacio se socializa el conocimiento producido en los Postgrados, en el Sistema de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala y de investigadores destacados fuera del ámbito universitario.

Desde la academia se pretende generar debate basado en conocimiento científico, vinculándolo con potenciales usuarios del sector productivo y tomadores de decisión de políticas públicas. Con la dinámica de publicación en línea de Open Journal System, se espera retroalimentar el quehacer de los investigadores, priorizando líneas de investigación en función de las necesidades de desarrollo social. Así mismo, se pretende crear un incentivo directo a la producción científica competitiva, dentro del gremio de profesores e investigadores universitarios.

El trabajo de la revista CTS, se concentra prioritariamente en la publicación de la investigación en la USAC y está abierta para investigadores externos. Esta publicación contiene artículos científicos, artículos de revisión, ensayos científicos, reportes de casos y reseñas académicas. Los ensayos científicos son composiciones literarias argumentadas en informes científicos confiables, con sustento metodológico y producido bajo principios éticos. Los artículos de revisión son textos que se publican por invitación de los editores a especialistas, y su contenido se basa en la revisión de la mayor cantidad de literatura científica reciente, acerca del tema abordado. Las reseñas son composiciones literarias descriptivas o de análisis crítico de libros, inventos, nuevas teorías, innovaciones metodológicas, congresos de investigadores, etc. Las reseñas se publicarán conforme la dinámica académica. Los reportes de casos son hallazgos especiales dentro del campo científico que aportan algún elemento innovador.

Este primer volumen ofrece al lector lo siguiente: Evaluación de resistencia genotípica del VIH-1; es una investigación que nos muestra interesantes resultados en pacientes con fallo virológico en Guatemala. Efecto de la configuración del paisaje en las comunidades de abejas (Apoidea); es una investigación que analiza la correlación del mosaico de bosque pino-encino, las áreas agrícolas en altiplano central de Guatemala y las comunidades de abejas. Calidad del agua del río Cucabaj en el departamento del Quiché; es una investigación de análisis biogeográfico y análisis de costos de potabilización del agua municipal. Hongos comestibles de Guatemala; un trabajo que describe y cuantifica la producción de biomasa de cuerpos fructíferos de cepas del género *Agrocybe*, en diferentes sustratos. Bioprospección de hiperparásitos sobre cultivos y plantas adyacentes; es una investigación que nos muestra los métodos y las condiciones biofísicas de colecta, así como la producción de hiperparásitos en diferentes sustratos. Cetáceos del Pacífico de Guatemala; es un interesante trabajo que cuantifica las observaciones de cetáceos, revisión histórica de avistamientos, captura incidental, comportamiento, alimentación y desplazamiento de estos mamíferos marinos. La paradoja de la transición epidemiológica; es un ensayo que analiza los costos sociales de las antiguas enfermedades infecciosas, respiratorias y carenciales del siglo pasado en el tercer mundo, comparadas con las nuevas epidemias inmunodeficientes, como la obesidad, hipertensión arterial y diabetes.

Ciencia, Tecnología y Salud
Vol. 1 Num. 1 2014
ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso)

Artículo Científico / Scientific Article

Evaluación de resistencia genotípica del VIH-1 en pacientes con fallo virológico de Guatemala

Blanca Samayoa*[1,2], Anneliese Moller[1,2], Narda Medina[1,2], Eduardo Arathoon[1,3], Dalia Lau-Bonilla [1,2]

[1]Asociación de Salud Integral, [2]Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala y [3]Hospital General San Juan de Dios, Guatemala.

***Autor al que se dirige la correspondencia:** blanca.samayoa@asi.org.gt

Recibido: 06 de octubre 2014 / **Aceptado:** 17 de octubre 2014 / **Disponible en línea:** 24 de noviembre 2014

Resumen

La resistencia a la terapia antirretroviral (TARV) es un factor determinante para el fallo virológico en pacientes con VIH. El objetivo de este estudio fue identificar los patrones genotípicos de resistencia en pacientes con fallo virológico. Fueron incluidos pacientes que asistieron a una unidad de atención integral de VIH en Guatemala, de quienes se sospechaba resistencia y que necesitaban cambios en la TARV por fallo virológico, se requirió haber evaluado la adherencia y una carga viral ≥1,000 copias/ml. La información clínica y demográfica fue recolectada a través de la forma de solicitud. El análisis de resistencia se realizó a través de la metodología TRUGENE® HIV-1. La muestra se restringió a 25 pacientes por motivos de accesibilidad. El 68% de las muestras analizadas presentaron resistencia; por familia de ARV la resistencia fue de 88.2% para ITINN, 70.5% para ITIAN y 17.6% para IP. Se identificaron 79 mutaciones entre el grupo de estudio, el 46.8% de fueron asociadas a ITINN, 76.6% a ITIAN y 26.6% a IP. Para ITIAN las mutaciones más frecuentes fueron la M184V 43%, M184I 14% y K219E 10%; el 23.8% fueron mutaciones TAMs. Para ITINN fueron la V179D 16%, K103N 14%, G190A 14% y Y181C 14%. Para los IP la mutación más frecuente fue la M36I con 29%. La resistencia identificada en este grupo, fue menor a lo reportado en otros países latinoamericanos; sin embargo es similar a lo reportado por OMS en países con bajo o medio ingreso económico.

Palabras claves: VIH, Fallo virológico, resistencia viral, antirretrovirales (ARV), mutaciones.

Abstract

ARV drug resistance is one of the leading causes of virologic failure among HIV patients on HAART. The objective of this study was to determine genotypic resistance profiles among HIV patients on virologic failure. Patients from one HIV clinic in Guatemala on whom ARV drug resistance was suspected and needed a change in their ARV regimen due to virologic failure were included. In order to perform the genotype, the patient had to demonstrate good adherence to therapy and a confirmed viral load ≥1,000 copies/ml. Demographics and clinical data were collected through the resistance-testing questionnaire. The TRUGENE® HIV-1 methodology was used for resistance analysis. The patient sample was restricted to 25 patients due to accessibility, 68% presented resistance to at least one ARV drug. By ARV class, 88.2% presented resistance to NNRTIs, 70.5% to NRTIs and 17.6% to IPs. We found 79 mutations among the samples analyzed. Of the mutations found, 46.8% were associated with NNRTI resistance, 76.6% to NRTI resistance and the remainder 26.6% to PI resistance. The most frequent NRTI associated mutations were M184V 43%, M184I 14% and K219E 10%; 23.8% were TAM. The NNRTI associated mutations were V179D 16%, K103N 14%, G190A 14% and Y181C 14%. For the PI the most frequent mutation was M36I with 29%. The resistance found in this study was lower to that reported in other Latin American studies, however, it is similar to what is reported by WHO in low and middle income countries.

Keywords: HIV, virological failure, drug-resistance, antiretroviral therapy, mutations.

La reproducción total o parcial del contenido e imágenes de esta publicación se rige de acuerdo a normas internacionales sobre protección a los derechos de autor, con criterio especificados en la licencia Creative Commons (CC BY-NC-SA 4.0)

Introducción

En Guatemala la infección por el virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH) es considerado como un creciente problema de pública, según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS). Con una población aproximada de 14 millones de habitantes, la prevalencia estimada en la población general es de 0.79%; desde 1984 hasta 2011 se habían notificado 27,474 casos; sin embargo, se estimaban más de 65,000 (MSPAS, 2010; 2012).

Actualmente la terapia antirretroviral (TARV) ha cambiado la historia natural de la infección por VIH, retardando la evolución de la enfermedad y mejorando la calidad de vida de las personas infectadas (Palella et al., 1998). Las guías internacionales indican que la TARV es la única estrategia para lograr la supresión viral; sin embargo la capacidad del VIH para generar resistencia ha emergido como un problema en el tratamiento. La Organización Mundial de la Salud (OMS), señala que como consecuencia de dicha resistencia puede emerger el fallo virológico (2010). Otro factor interrelacionado tanto con el fallo virológico como con el desarrollo de resistencia, es la falta de adherencia a la terapia ARV, la cual debe ser evaluada en pacientes que presentan falla en respuesta a la terapia (Nachega et al., 2011). El objetivo del presente estudio fue determinar los patrones genotípicos de resistencia a antirretrovirales (ARV) en personas que recibían TARV en fallo virológico, con una carga viral ≥1,000 copias/ml de plasma e identificar genotípicamente las mutaciones.

Materiales y métodos

Muestra

Se realizó un análisis observacional de corte transversal en pacientes adultos que asistieron a la Clínica Familiar Luis Angel García, Unidad de Atención Intregral del Hospital General San Juan de Dios, en la ciudad de Guatemala. Fueron incluidos aquellos pacientes en los cuales se sospechaba de resistencia clínica y que requerían cambios en la TARV por fallo virológico, se solicitó haber evaluado la adherencia, que el paciente estuviera recibiendo TARV, una carga viral ≥1,000 copias/ml y completar la forma de solicitud para el análisis de resistencia. La estimación de la muestra se basó en el número de pruebas disponibles, en dos kits comerciales, para esta metodología (60) y el 16.66% de controles o repeticiones a efectuar; sin embargo, por motivos de accesibilidad la muestra se restringió a 25 pacientes.

Metodología

Para el análisis fueron tomados en cuenta los resultados del recuento de linfocitos CD4+ y carga viral. El recuento de células CD4+ se realizó a través de citometría de flujo FACSCount (Becton Dickinson™). El procesamiento automatizado de la muestra para la cuantificación de la carga viral se realizó a través del equipo COBAS® AmpliPrep y del analizador COBAS® TaqMan® 48 para los procesos de amplificación y detección (Biosciences, 2008; Straus et al., 1996). El análisis de genotipificación fue realizado a través de la metodología TRUGENE® HIV-1. Se inició con la extracción de ARN viral de muestras de plasma, que fue realizada a través del método de QIAamp Viral RNA Mini Kit (QIAGEN™). El ARN extraído se utilizó para la producción de cADN por medio de una reacción con transcriptasa reversa y PCR (RT-PCR). El cADN obtenido de esta reacción fue amplificado y secuenciado simultáneamente utilizando la metodología CLIP. La secuenciación se realizó con el sistema OpenGene® DNA Sequencing (Siemens Corporation); las secuencias obtenidas fueron interpretadas utilizando el software OpenGene® y las guías de interpretación TRUGENE®HIV-1 GuideLines® Rules 16.0. De cada placa de secuenciación CLIP se realizó el análisis y se desarrolló una huella genética de la muestra para la detección de mutaciones y el control de la contaminación (Grant et al., 2003; Gale, Kan, & Shinol, 2006).

La información clínica y demográfica se obtuvo a partir de la forma de solicitud. Los resultados se presentan como frecuencias. El recuento de células CD4+ y carga viral son presentados en medianas con el rango intercuartil (RIC). La prueba no paramétrica U- Mann Whitney y la prueba de Ji-cuadrado o prueba exacta de Fisher fueron utilizados para la comparación de las medianas y variables categóricas entre los grupos con presencia y ausencia de resistencia, se utilizó un valor $\alpha = 0.05$. Este proyecto fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación del Hospital General San Juan de Dios el 28 de mayo 2012.

Resultados

En este estudio, 17 (68%) de las muestras analizadas presentaron resistencia a por lo menos un ARV. Fueron analizadas 25 muestras de pacientes adultos,

siendo del sexo femenino 15 (60%). La edad promedio fue de 38 años (DS ± 11.3 años). Por área de residencia, 21 (84%) pacientes residían en la ciudad capital, el grupo en estudio fue dividido según la presencia (PR) o ausencia de resistencia (AR). En relación al tiempo de vivir con el diagnóstico de VIH, la mediana fue de 6.0 (RIC= 3.2-7.6 años) y 7.7 (RIC= 7.0-8.2 años) para el grupo PR y AR respectivamente. Se observó una mediana mayor en el recuento de células CD4 en el grupo con PR de 205 (RIC= 106-262 células/µL) vrs 181 (RIC=80-228 células/µL) para el grupo con AR, la carga viral fue similar en ambos grupos con Log_{10} de 4.7 (RIC= 4.0-4.9) y 4.8 (RIC= 4.2-5.4). En lo relacionado a TARV la mediana del tiempo de haber iniciado a recibir la misma fue de 5.1 (RIC= 5.4-7.1 años) y 4.8 (RIC= 2.6-5.8 años) para el grupo con AR y PR respectivamente. No se presentó diferencia estadísticamente significativa entre los grupos ($p>0.05$). Según el número de esquemas previos a la sospecha de resistencia, la mitad de los pacientes con AR había recibido tres esquemas; mientras que 6 (35%) pacientes con PR había recibido un esquema previo. Otro parámetro evaluado fue la adherencia a los ARV, la cual fue determinada a través del recuento de pastillas en un año de seguimiento, el promedio fue 81.6% para el grupo con PR y 82.6% para el grupo AR.

Los ARV indicados por la guía nacional en 2010 eran los inhibidores de la transcriptasa inversa análogos a nucleósidos (ITIAN), inhibidores de la transcriptasa inversa no análogos a nucleósidos (ITINN) y los inhibidores de la Proteasa (IP). El análisis realizado en este estudio detectó mutaciones relacionadas a estos grupos específicos de ARV. De los 25 análisis de resistencia realizados 17 (68%) de las muestras presentaron resistencia al menos a una familia de ARV, las 8 (32%) restante no mostró resistencia a ninguno de los ARV evaluados. De los pacientes con resistencia, se observó que 11 (65%) tenían resistencia a dos familias de ARV, seguido del grupo de pacientes con resistencia a una familia de ARV con 5 (29%) y en 1 (6%) se observó resistencia a las tres familias de ARV evaluados.

Por familia de ARV, se observó que la mayor parte de pacientes tenía resistencia a los ITINN con 14 (82.3%), seguido de los pacientes con resistencia a los ITIAN con 13 (76.5%) y 3 (17.6%) tenía alguna resistencia a IP, tendencia que se observa en la figura 1. En el grupo de pacientes con resistencia a los ITIAN (12), el 100% presentó resistencia a emtricitabina (FTC) y lamivudina (3TC). Para los ITINN (15), el 100% presentó resistencia a nevirapina (NVP) seguido de efavirenz (EFV) con 14 (93.3%), la etravirina (ETR) presentó la resistencia más baja en esta familia de ARV con 9 (60%). En el grupo de pacientes con resistencia a los IP (3), la distribución fue heterogénea; además todos los pacientes presentaron resistencia a tipranavir (TPV) y no se detectó resistencia a darunavir (DRV). Según los esquemas de ARV recibidos, previo al análisis de resistencia, 15 (60%) de los pacientes había recibido esquemas basados en ITINN y en IP; 6 (24%) había recibido esquemas solo basados en ITINN y 4 (20%) en IP.

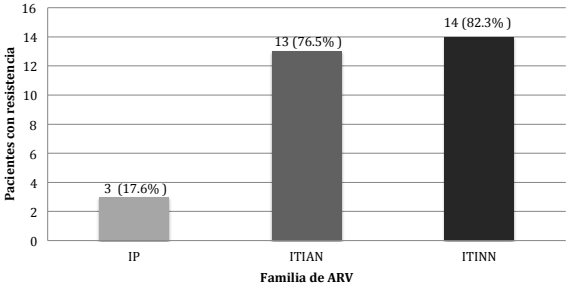


Figura 1. Resistencia por familia de ARV (N=25). ITIAN= Inhibidores de la transcriptasa inversa análogos a nucleósidos. ITINN= Inhibidores de la transcriptasa inversa no análogos a nucleósidos. IP= Inhibidores de la proteasa.

En relación a las mutaciones, se identificaron un total de 79, de las cuales 75 (95%) generaron resultados con resistencia a alguna familia de ARV, lo cual correspondía a 17 (68%) pacientes con resistencia. Se identificaron mutaciones para las tres familias de ARV. Veintiuno (26.58%) de las mutaciones identificadas conferían resistencia a los ITIAN; 37 (46.83%) a los ITINN y 21 (26.58%) de las mutaciones a los IP. Las mutaciones identificadas se presentan en la Tabla 1. Un grupo importante de mutaciones para los ITIAN fueron las correspondientes a los análogos de timidina (TAM, por sus siglas en ingles), 3 (12%) de los pacientes que fueron incluidos en el análisis presentaron ese tipo de mutaciones. Un paciente presentó la combinación de mutaciones TAMs K70R + K219E, los otros dos pacientes presentaron una TAM cada uno siendo la K219E y K219Q.

Tabla 1
Mutaciones asociadas por familia de ARV (n=79)

Familia de ARV								
ITIAN			ITINN			IP		
Mutación	Frecuencia	%	Mutación	Frecuencia	%	Mutación	Frecuencia	%
M184V	9	43%	V179D	6	16%	M36I	6	29%
M184I	3	14%	K103N	5	14%	K43T	1	5%
K219E	2	10%	G190A	5	14%	L33F	1	5%
K65R	1	5%	Y181C	5	14%	M46I	1	5%
K70R	1	5%	K101E	2	5%	V82A	1	5%
T69N	1	5%	V108I	2	5%	I47V	1	5%
K219Q	1	5%	V179E	2	5%	I84V	1	5%
K70E	1	5%	A98G	1	3%	I54V	1	5%
Y115F	1	5%	L100I	1	3%	L90M	1	5%
V118I	1	5%	K101P	1	3%	A71V	1	5%
			K103S	1	3%	A71T	1	5%
			G190S	1	3%	Q58E	1	5%
			G190E	1	3%	L10I	3	14%
			V106I	1	3%	K20R	1	5%
			V90I	1	3%			
			V179T	1	3%			
			K101Q	1	3%			
Total	21	100%	Total	37	100%	Total	21	100%

Nota. ITIAN= Inhibidores de la transcriptasa inversa análogos a nucleósidos. ITINN= Inhibidores de la transcriptasa inversa no análogos a nucleósidos. IP= Inhibidores de la proteasa (IP).

Discusión

El objetivo de este estudio fue determinar los patrones de resistencia en un grupo de pacientes en fallo virológico. En los 25 pacientes incluidos, se identificó resistencia en 17 (68%), un dato menor a lo reportado en otros países de América Latina como Colombia y Chile con 85.7% y 77% respectivamente (Díazgranados et al., 2007; Ríos, 2007), sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio son similares a lo identificado por la OMS en países de bajo y medio ingreso económico de Asia y África en donde reportaron una resistencia adquirida de 60% (OMS, 2012).

La edad promedio fue de 38 años, similar a la reportada por Parienti et al. (2005) quienes encontraron mayor riesgo de fallo virológico en adultos jóvenes comparados con personas de mayor edad. Otros estudios también han identificado relación entre el fallo virológico y la edad (Alave et al., 2013; Diazgranados et al., 2007). En relación a las variables clínicas en el grupo con PR, la mediana del recuento de células CD4 fue de 181 células/µL (RIC= 80-228 células/µL), siendo menor a lo reportado por Alave et al. (2013) con 242 células/µL, quienes identificaron al recuento de células CD4, como un factor asociado a la falla virológica, otros estudios también han descrito que un recuento

menor a 200 células/ml ha sido asociado al fallo virológico (van Oosterhout et al., 2009). Sin tratamiento ARV óptimo, la replicación viral aumenta y como consecuencia se observa una disminución en los recuentos de linfocitos T CD4+, por lo que estas dos variables se encuentran relacionadas (Alave et al., 2013). En este estudio, tanto las variables clínicas como demográficas fueron comparadas entre los grupos según la presencia o ausencia de resistencia; sin embargo, no se identificaron diferencias significativas ($p>0.05$).

En relación a las familias de ARV, los hallazgos identificados podrían representar el orden en el que generalmente han sido administrados estos esquemas, ya que las recomendaciones nacionales sugieren como esquemas de primera línea los basados en ITINN, seguidos de los IP para segunda y tercera línea (MSPAS, 2010).

Por familia de ARV fue identificada una resistencia de 88.2% para los ITINN seguido de 70.5% para los ITIAN y 17.6% para los IP. Otros estudios también han identificado mayor resistencia a ITINN, seguido de ITIAN e IP (OMS, 2012; Ríos et al., 2007). Estos resultados correlacionan con el concepto de barrera genética, definida como el número de mutaciones requeridas para que se desarrolle resistencia a un ARV (Luber, 2005; van de Vijver et al., 2010). Así la familia de ITINN tiene la barrera genética más baja, una mutación podría conferir resistencia cruzada a la familia completa, por lo que frecuentemente la mayor resistencia ha sido presentada a esta familia de ARV. En contraste la familia de IP tiene la barrera genética más alta, por lo que se requiere más de una mutación para conferir resistencia a estos medicamentos y generalmente no se presenta resistencia cruzada, presentando la resistencia más baja (Luber, 2005).

En relación al análisis de mutaciones por familia de ARV, para los ITINN, fueron identificadas mutaciones que confieren resistencia como la K101P 1 (3%) a EFV, NVP y rilpivirina (RPV); la K103N 5 (14%) y G190E/S 2 (6%) a EFV y NVP; la G190A 5 (14%), Y181C 5 (14%) y K103S 1 (3%) a NVP (Stanford University, 2012). La mutación K103N, se presentó en 5 (14%) de los pacientes con resistencia a los ITINN, se ha identificado que esta mutación es seleccionada por NVP y EFV y confiere alto grado de resistencia a los mismos. La presencia de esta mutación limita el uso subsecuente de dichos ARV, además ha sido identificada como causa de fallo virológico a ITINN y es una de las más frecuentes en pacientes con resistencia a los ITINN (Safer, 2010). La alta resistencia identificada a ITINN, respecto a los ITIAN e IP, coindice con el concepto de la barrera genética más baja, y también con la administración de ITIANN a nivel nacional, ya que NVP y EFV son los ITINN de elección en los esquemas de primera línea, según la guía para el tratamiento antirretroviral e infecciones oportunistas a nivel nacional.

En la familia de los ITIAN se han descrito cepas con resistencia a los principales ARV de este grupo [zidovudina (AZT), 3TC y abacavir (ABC)], estas cepas podrían presentar un alto grado de resistencia. En esta familia han sido de interés la presencia de las mutaciones a análogos de timidina o TAMs. La acumulación de estas mutaciones incrementa la resistencia a los ITIAN (Safer, 2010). En el grupo de pacientes del presente estudio con resistencia a ITIAN se identificó 3 (12%) de pacientes con TAMs. La acumulación de TAMs ha sido importante principalmente en lugares donde la terapia de segunda línea y el monitoreo virológico a través de la carga viral es limitado lo que permite la acumulación de mutaciones bajo un régimen inefectivo (Bennet, Bertagnolio, Sutherland, & Gilks, 2008).

La baja frecuencia de TAMs identificada en este estudio podría sugerir un seguimiento adecuado y diagnóstico temprano de la falla virológica, además por el uso apropiado de genotipos. Otra mutación importante encontrada en esta familia de ARV, fue la M184V, asociada a tratamiento por 3TC y FTC. Esta mutación ha sido asociada a la reducción de la capacidad de replicación viral, además de conferir mayor susceptibilidad a AZT, TDF y estavudina [d4T] (Safer, 2010; Stanford University, 2012). Algunos estudios indican que podría ser justificado mantener la presión selectiva, con 3TC, para conservar la mutación, principalmente en pacientes con resistencia y pocas opciones a ITIAN (Diallo, Goette, & Wainberg, 2003). En este estudio, la mutación M184V fue identificada en 9 (43%) pacientes con resistencia a los ITIAN. Todos ellos habían recibido esquemas compuestos por 3TC o FTC. En la guía nacional para el tratamiento antirretroviral y de infecciones oportunistas todos los esquemas de primera línea incluyen el uso de 3TC o FTC (MSPAS, 2010; OMS, 2010).

Los bajos niveles de resistencia en la familia de los IP, reflejan la barrera genética más alta y la acumulación de mutaciones, que individualmente reducen la susceptibilidad (Luber, 2005; Safer, 2010), esto correlaciona con los resultados identificados de este estudio. En este grupo, la distribución de las mutaciones fue variada; sin embargo las mutaciones relevantes identificadas fueron la I84V, 1 (5%) que confiere altos niveles

de resistencia a fosamprenavir (FPV), y la L90M a nelfinavir (NFV) (Stanford University, 2012). Aunque el resto de mutaciones, individualmente no generan resistencia, la acumulación de las mismas puede resultar en resistencias de alto nivel. La mayor efectividad de los IP generalmente limita su uso para aquellos pacientes que ya han presentado fracaso virológico para algún esquema previo (OMS, 2010). Adicionalmente, en países como Guatemala, esquemas basados en IP representan un alto costo, por lo cual frecuentemente no son utilizados como terapia inicial. Además la guía nacional para TARV e infecciones oportunistas indica que no son recomendados como primera opción (MSPAS, 2012; Organización Panamericana de Salud, 2012).

Por último, entre los pacientes con fallo virológico incluidos en este estudio el 68% presentó resistencia, lo cual implica que el 32% restante presentaba falla virológica por otros motivos, como inadherencia o interrupción del tratamiento por largos periodos, entre otras; estos pacientes, de no haber realizado el análisis de genotipo podrían haber pasado de forma innecesaria a esquemas de segunda línea. De los pacientes que presentaron resistencia, según el análisis de genotipo 15 (88%) debería pasar a esquemas de segunda línea. Esto refleja que el análisis de resistencia debe ser incluido en los circuitos de atención integral, ya que esto no solamente reduciría costos al evitar el cambio a esquemas más caros e innecesarios si no también permite individualizar y brindar una terapia óptima, lo cual resulta en una mejor calidad de vida, reducción de la transmisión, reducción de la frecuencia de infecciones oportunistas y con ello reducción de hospitalizaciones reduciendo los costos indirectos (Sendi et al, 2007).

Entre las limitaciones identificadas en este se pueden mencionar: (1) El tamaño reducido de la muestra, podría no ser representativo de los pacientes con fallo virológico, provocar un sesgo de selección y un error de tipo II con respecto al tamaño de muestra. (2) En el caso de las mutaciones, estudios posteriores serían necesarios para confirmar las frecuencias de las identificadas. (3) La adherencia determinada a través del recuento de pastillas, hace necesario reevaluar la utilidad de este método o de implementar herramientas adicionales para mejorar las mediciones de adherencia, especialmente en aquellos pacientes que no están presentando una respuesta virológica óptima a la TARV.

A pesar de las limitaciones identificadas, este estudio contribuye a brindar información sobre resistencia de VIH-1 a la TARV en pacientes adultos cursando con fallo virológico en Guatemala. La resistencia a la TARV debe ser explorada en forma sistemática en todos los pacientes, principalmente aquellos que necesitan un cambio en la TARV. Diecinueve (76%) pacientes incluidos en el estudio había recibido más de un esquema previo, esto resalta la importancia de la disponibilidad de pruebas para resistencia, ya que posiblemente estos pacientes presentaron mutaciones a las que los subsecuentes esquemas eran inefectivos.

Actualmente la estrategia Tratamiento 2.0 de la OMS busca optimizar los regímenes de medicamentos y facilitar pruebas de diagnóstico en el punto de atención al paciente, con el objetivo de reducir costos y poder ampliar los servicios (2011). Esta estrategia no identifica la importancia de las pruebas de resistencia previo al cambio en esquemas de tratamiento, a pesar de esto, otros análisis sugieren que los cambios en la TARV deben de ser individualizados en base a los resultados de las pruebas de resistencia (Safer, 2010). Los resultados de este estudio demuestran la necesidad de contar con pruebas de resistencia a ARV además del abordaje integral con el objetivo de optimizar regímenes que prevengan el desarrollo de resistencia a TARV.

Agradecimientos

Al equipo multidisciplinario de la Clínica Familiar "Luis Ángel García" y al personal del Hospital General San Juan de Dios, por su apoyo para desarrollar este y otros proyectos, así como su entrega profesional al servicio de los pacientes. Esta investigación contó con el respaldo de la Asociación de Salud Integral y la Dirección General de Investigación (proyecto 4.8.63.1.64) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Referencias

Alave, J., Paz, J., González, E., Campos, M., Rodríguez, M., Willing, J. y Echeverría, J. (2013). Factores asociados a falla virológica en pacientes infectados con VIH que reciben terapia anti-retroviral en un hospital público del Perú. *Revista Chilena de Infectología, 30*, 42-48. doi: 10.4067/S0716-10182013000100006

Bennet, D., Bertagnolio, S., Sutherland, D., & Gilks, C. (2008). The World Health Organization's global strategy for prevention and assessment of HIV drug resistance. *Antiviral Therpy, 13*, Supplement 2: 1-13.

Biosciences. (2008). BD FACSCOunt CD4 reagentes.

Diallo, K., Goette, M., & Wainberg, M. (2003). Molecular Impact of the M184V Mutation in Human Immunodeficiency Virus Type 1 Reverse Transcriptase. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 47*, 3377-3383. doi: 10.1128/AAC.47.11.3377-3383.2003

Diazgranados, C., Silva, A., Bermudez, A., Rooncacio, D., Diruggiero, P., & Mantilla, M. (2007). Rate and Predictors of optimal virologic response to antiretroviral therapy. *International Journal of Infectious Diseases, 11*, 531-535. doi: 10.1016/j.ijid.2007.03.002

Gale, H., Kan, V., & Shinol, R. (2006). Performance of the TruGene human immunodeficiency virus type 1 genotyping kit and OpenGene DNA sequencing system on clinical samples diluted to approximately 100 copies per milliliter. *Clinical Vaccine Immunology, 13*, 235-238. doi: 10.1128/CVI.13.2.235-238.2006

Grant, R., Kuritzkes, D., Johnson, V., Mellors, J., Sullivan, J., Swanstrom, R., ... Winslow, D. (2003). Accuracy of the TRUGENE HIV-1 Genotyping Kit. *Journal of Clinical Microbiology, 41*, 1586-1593. doi: 10.1128/JCM.41.4.1586-1593.2003

Luber, A. (2005). Genetic barriers to resistance and impact on clinical response. *Medscape General Medicine*, *7*, 69-92.

Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2010). *Guía de tratamiento antirretroviral y de infecciones oportunistas en Guatemala*. Autor

Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2010). *Programa Nacional de Prevención y Control de ITS, VIH, y SIDA. Informe de Progreso UNGASS.* Guatemala: Autor

Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2012). *Programa Nacional de Prevención y Control de ITS, VIH, y SIDA. Informe de Progreso UNGASS.* Guatemala. Autor

Nachega, J., Marconi, V., van Zyl, G., Gardener, E., Preiser, W., Hong, S., ... Gross, R. (2011). HIV treatment adherence, drug resistance, virologic failure: evolving concepts. *Infectious Disorders - Drug Targets, 11*, 167-174. doi: 10.2174/187152611795589663

Organización Mundial de la Salud. (2010). *Antiretroviral therapy for HIV infection in adults and adolescents.* Autor

Organización Mundial de la Salud. (2011). *Marco de acción del Tratamiento 2.0: Impulsando la próxima generación del tratamiento, la atención y el apoyo*. Autor

Organización Mundial de la Salud. (2012). *WHO HIV Drug resistance report 2012*. Autor

Organizacion Panamericana de Salud. (2012). *Tratamiento antirretroviral bajo la lupa: un análisis de salud pública en Latinoamérica y el Caribe*. Autor

Palella, F., Delaney, K., Moorman, A., Loveless, M., Fuhrer, J., Satten, G. …Holmberg, S. (1998) Declining morbidity and mortality among patients with advanced human immunodeficiency virus infection. HIV Outpatient Study Investigators. *New England Journal Medicine, 13,* 853-860. doi: 10.1056/NEJM199803263381301

Parienti, J., Massari, V., Descamps, D., Vabret, A., Bouvet, E., Larouzé, B., & Verdon, R. (2004). Predictors of virologic failure and resistance in HIV-infected patients treated with nevirapine- or efavirenz-based antiretroviral therapy. *Clinical Infectious Diseases, 38*, 1311-1316. doi: 10.1086/383572

Ríos, M., Delgado, E., Pérez-Alvarez, L., Fernández, J., Gálvez, P., de Parga, E., ... Nájera, R. (2007). Antiretroviral drug resistance and phylogenetic diversity of HIV-1 in Chile. *Journal of Medical Virology, 79*, 647-56. doi: 10.1002/jmv.20881

Safer, R. (2010). Genotypic Testing for Human Immunodeficiency Virus Type 1 Drug Resistance. *Clinical Microbiology Reviews 15*, 247-277. doi: 10.1128/CMR.15.2.247-277.2002

Sendi, P., Günthard, H., Simcock, M., Ledergerber, B., Schüpbach, J., Battegay, M., & Swiss HIV Cohort Study (2007). Cost-effectiveness of genotypic antiretroviral resistance testing in HIV-infected patients with treatment failure. *Plos ONE*, 1-8. doi: 10.1371/journal.pone.0000173.

Stanford University. (2012). *HIV Drug Resistance Data Base*. http://hivdb.stanford.edu/index.html

Strauss, K., Hannet, I., Engels, S., Shiba, A., Ward, D., Ullery, S., ... Kestens, L. (1996). Performance evaluation of the FACSCount System: a dedicated system for clinical cellular analysis. *Cytometry, 26*, 52-59.

van de Vijver, D., Wensing, A., Åsjö, B., Bruckova, M., Jorgensen, L., Camacho, R., ... Boucher, C. (2010). HIV-1 drug-resistance patterns among patients on failing treatment in a large number of European countries. *Acta Dermatovenerologica Alpina, Pannoica et Adriatica*, *19*, 3-9.

van Oosterhout, J., Brown, L., Weigel, R., Kumwenda, J., Mzinganjira, D., Saukila, N., ... Hosseinipour, M. (2009). Diagnosis of antiretroviral therapy failure in Malawi: poor performance of clinical and immunological WHO criteria. *Tropical Medicina & International Health, 14*(8), 856-61. doi: 10.1111/j.1365-3156.2009.02309.x

Ciencia, Tecnología y Salud
Vol. 1 Num. 1 2014
ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso)

Artículo Científico / Scientific Article

Efecto de la configuración del paisaje en las comunidades de abejas (Apoidea) de un mosaico de bosque pino-encino y áreas agrícolas de Sacatepéquez y Chimaltenango, Guatemala

Natalia Escobedo Kenefic*[1], María José Dardón Peralta[1,2], Jessica Esmeralda López[1], Oscar Martínez[1], Edson Cardona[1]

[1] Centro de Estudios Conservacionistas **y** [2] Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

***Autor al que se dirige la correspondencia:** escobedo.natalia@usac.edu.gt

Recibido: 04 de septiembre 2014 / **Aceptado:** 08 de Octubre 2014 / **Disponible en línea:** 24 de noviembre 2014

Resumen

Se compararon tres categorías de paisaje: bosque continuo, bosque fragmentado y áreas agrícolas o de cultivo, en Sacatepéquez y Chimaltenango, Guatemala. Los sitios de estudio fueron definidos sobre la base de su grado de fragmentación y tipos de uso del suelo, durante las estaciones seca y lluviosa del año 2012. Se buscó observar patrones de variación entre la diversidad de abejas en las distintas categorías, e identificar cambios en la composición de las comunidades. Los resultados señalan hacia dos situaciones generales: (1) Se observó diferencia en la diversidad de abejas en los distintos tipos de vegetación, siendo esta más alta en los sitios que correspondían a la categoría *fragmentada*. Esta categoría está caracterizada por una composición heterogénea de áreas perturbadas y remanentes de bosque. Por otra parte, la categoría *bosque* presentó mayor abundancia de individuos, tanto en la estación seca como lluviosa. (2) Se observó algún grado de agrupamiento de los sitios de muestreo, pero parece responder más a la cercanía geográfica entre ellos que al uso del suelo. Adicionalmente, se reporta las frecuencias de visitas florales realizadas por las abejas a distintas familias botánicas. Se recomienda incentivar la protección de los remanentes boscosos, tanto fragmentados como continuos, para asegurar la conservación de la diversidad de abejas silvestres y la continuidad del servicio de polinización que proporcionan a los sistemas naturales y agrícolas de la zona.

Palabras claves: Abejas, ecología del paisaje, insectos polinizadores, terreno agrícola.

Abstract

Comparison was raised in three landscape categories (continuous forest, fragmented forest and agricultural or farming areas) in Sacatepéquez and Chimaltenango, Guatemala; defined on the basis of their degree of fragmentation and types of land use, during the dry and rainy seasons of 2012. It sought to determine patterns of bee diversity variation among the three landscape categories, and identify changes in community composition. The results point towards two general situations: (1) Difference in bee diversity was observed in different types of vegetation, this being highest at sites corresponding to the *fragmented forest* category. This category has a greater heterogeneity in landscape configuration, composed of fragmented forest and agricultural areas. In addition, the *continuous forest* category had higher abundance of individuals, both in the dry and rainy seasons. (2) Some degree of clustering of the sampling sites was observed, but it seems to respond to geographical closeness among them rather than to differences in land use. Also, frequency of floral visits made by bees to different botanical families are reported. The protection of forest remnants, both fragmented and continuous, is highly recommended in order to preserve pollination services given by native bees to natural and agricultural systems in the study area.

Keywords: Bees, landscape ecology, pollinating insects, agricultural land.

La reproducción total o parcial del contenido e imágenes de esta publicación se rige de acuerdo a normas internacionales sobre protección a los derechos de autor, con criterio especificados en la licencia Creative Commons (CC BY-NC-SA 4.0)

Introducción

La polinización es el proceso de transferencia de polen de la parte masculina de la planta a la femenina, dando lugar a la fecundación y producción de frutos y semillas. Ocurre por medio del viento, agua, y por animales. Los insectos son el principal grupo de animales polinizadores, y entre ellos, las abejas son consideradas los más eficientes (Allen-Wardell et al., 1998; Kearns, Inouye & Waser, 1998).

De acuerdo con la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), se conoce como servicios de polinización silvestre a los servicios ecosistémicos que proveen de polinizadores a los sistemas agrícolas que dependen de la polinización para su productividad. Los servicios de polinización son considerados servicios y funciones "clave" de los ecosistemas, que pueden ser fuertemente afectados por el cambio climático (2008).

Las estimaciones de la importancia económica de la polinización por insectos han variado en los últimos años de entre 20 mil millones de dólares anuales estimados en el 2002, a entre 120 y 200 mil millones anuales (FAO, 2006; Shepherd, Buchman, Vaughan, & Hoffman, 2003). Por otra parte, en la actualidad se comercializa algunas especies de abejas para ser utilizadas como polinizadores de cultivos de frutales, alfalfa, tomate en invernadero, entre otros (Maccagnani, Burgio, Stanisavljević & Mani, 2007; Michener, 2007).

Recientemente, el tema del efecto del paisaje en los polinizadores y en los servicios de polinización ha sido abordado por diversos estudios, principalmente en Norteamérica (Murren, 2002). Frecuentemente se ha identificado la pérdida de hábitats naturales y sitios de anidamiento como una amenaza constante a las poblaciones naturales de abejas, aunada al uso excesivo de insecticidas (Luig, Peterson, & Poltimäe, 2005; Michener, 2007; Greer, 1999). También se ha resaltado que la presencia de poblaciones silvestres de abejas es necesaria para mantener el proceso de polinización y la diversidad genética de muchos cultivos y especies silvestres (Kevan & Phillips, 2001). Asimismo, la polinización por abejas disminuye la depresión por endogamia en las plantas autógamas (Michener, 2007).

Estudios sobre abejas nativas de Guatemala han reportado una alta diversidad local dentro de este grupo. Se conocen más de 30 especies de meliponinos (abejas sin aguijón), y una alta diversidad en grupos con organizaciones sociales más simples (como Bombini, al menos 9 especies) y en distintos grupos de abejas solitarias. La colección de Abejas Nativas de Guatemala ubicada en el Centro de Estudios Conservacionistas de la Universidad de San Carlos, cuenta con al menos 78 géneros y 376 especies de abejas (Armas, 2009; Barrientos, Avendaño, Yurrita, Hernández y Barrios, 2008; Enríquez, 2007; Escobedo, 2011; Marroquín, 2000; Rodríguez, 2008; Vásquez, Yurrita y Escobedo, 2010).

El altiplano guatemalteco, incluyendo buena parte de los departamentos de Sacatepéquez y Chimaltenango, se caracteriza por una extensa y variada actividad agrícola que representa el principal ingreso económico para la población de la zona, mayoritariamente de la etnia maya cakchiquel. Varios cultivos de importancia de la esta zona dependen en alguna medida de la polinización por animales, especialmente abejas. Dada la importancia de la vegetación natural para las poblaciones de polinizadores, la información sobre el efecto del uso del suelo en dichos organismos puede ser utilizada en planes de manejo enfocados en mejorar la disponibilidad de servicios de polinización en el altiplano de Guatemala, con efectos positivos sobre la agricultura y las economías locales.

En el presente estudio se planteó si la configuración del paisaje, dada por el área y grado de fragmentación del bosque, tendrá un efecto sobre la diversidad y composición de las comunidades de abejas silvestres en un mosaico de bosque pino-encino y tierras agrícolas, del altiplano guatemalteco. Para responder este planteamiento, se definieron tres categorías de paisaje según el área y grado de fragmentación del bosque natural. Se hicieron comparaciones de la riqueza y abundancia de abejas silvestres entre categorías, así como análisis de agrupamiento y multivariados para identificar patrones de similitud en la composición de las comunidades.

Materiales y métodos

Elección de sitios

Los sitios de muestreo fueron elegidos dentro de seis localidades, en los municipios de Sumpango, (Sacatepéquez), Patzún y Patzicía (Chimaltenango). Cada localidad consistió en un área circular de 2 km de radio, y fueron clasificadas según los siguientes criterios: (1) categoría bosque continuo, con al menos 65% de bosque, (2) categoría bosque fragmentado, con 20 a 50% de fragmentos dispersos de bosque, y (3) categoría área agrícola, con menos del 20% de fragmentos de bosque, altamente dispersos. Se eligieron dos localidades para

cada categoría de paisaje (Tabla 1). En cada localidad fueron ubicados al menos tres sitios de muestreo (18 para la temporada seca y 20 para la temporada lluviosa). La selección de las localidades fue realizada utilizando imágenes satelitales digitalizadas por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2006).

Diversidad de abejas y visitas florales

Se realizaron dos colectas entomológicas durante el año, una durante la estación seca (febrero a abril) y otra durante la estación lluviosa (junio y julio). El esfuerzo de colecta fue de 4 horas por sitio. Las interacciones entre las distintas especies de abejas y las plantas que visitan fueron registradas, colectando también muestras botánicas. Los especímenes entomológicos y botánicos fueron curados e identificados taxonómicamente.

Análisis de la información

La diversidad de abejas en las distintas categorías de paisaje fue evaluada utilizando los índices de Shannon-Weiner (*H'*), para comparar diversidad total, y Equidad (*J'*) para identificar dominancia de una o pocas especies. Para calcular estos índices se utilizaron los datos de riqueza y abundancia obtenidos para cada categoría de paisaje. Para identificar patrones de similitud en las composiciones de las comunidades de abejas, se realizó análisis de agrupamiento con la medida de similitud de Morisita, y de componentes principales (PCA), utilizando el paquete estadístico PAST versión 2.1 (Hammer, Harper, & Ryan, 2001). Para estos análisis se utilizaron los valores de presencia y abundancia de cada especie en cada sitio de muestreo.

Resultados

Se colectaron y determinaron taxonómicamente hasta especie o género (morfoespecie) 1,423 especímenes de abeja, distribuidos en 51 especies dentro de 28 géneros y 5 familias (Tabla 2). Las familias Apidae y Halictidae fueron las más abundantes (26 y 16 especies, respectivamente). La familia Megachilidae solamente fue representada por una especie. La mayoría de abejas presentan hábito solitario y cerca del 20% (diez especies) son abejas con algún grado de sociabilidad. Más del 80% de las abejas colectadas fueron capturadas visitando especies vegetales en flor y el resto se atraparon en vuelo. Del total de ejemplares identificados, el 80% corresponden a hembras y el resto a machos.

Diversidad

La categoría de paisaje que presentó una mayor riqueza de especies, tanto en la temporada seca como lluviosa, fue la fragmentada, con 24 y 36 especies respectivamente. Durante la estación seca la categoría bosque fue la que presentó mayor abundancia de individuos colectados, mientras que durante la temporada lluviosa la riqueza de las categorías bosque y fragmentada mostraron riquezas similares, mayores a todas las registradas durante la temporada seca, y a la de la categoría cultivos agrícolas. Los valores de diversidad (*H'*) más altos para ambas temporadas corresponden a la categoría "fragmentada", mientras que la equidad mostró valores similares en las tres categorías, siendo más altos durante la temporada lluviosa (Tabla 3).

Tabla 1
Sitios elegidos según su estado de conservación de las áreas de vegetación natural.

Sitio	Municipio	Estado de fragmentación	Área de bosque (%)	Categoría asignada
Bosque B'alam Juyú	Patzún	Bosque continuo (no fragmentado)	67%	Bosque
Astillero El Rejón	Sumpango	Continuo/Fragmentado	65%	Bosque
El Sitio	Patzún	Fragmentos heterogéneos	47%	Fragmentado
San José Yalú	Sumpango	Fragmentos heterogéneos	32%	Fragmentado
Recta de Patzicía	Patzicía	Altamente fragmentado	18%	Agrícola
Camino a Sta. Cruz Balanyá	Patzicía	Altamente fragmentado	5%	Agrícola

Tabla 2
Resumen de especies y géneros (con morfoespecies) colectados.

Familia Colletidae	
Colletes (4 morfoespecies)	Familia Apidae
Familia Andrenidae	*Afin a Coelioxoides* (1morfoespecie)
Perdita (4 morfoespecies)	*Peponapis apiculata* Cresson, 1878
Familia Halictidae	*Peponapis limitaris* Cockerell, 1906
Agapostemon (2 morfoespecies)	*Thygater* (1 morfoespecie)
Lasioglossum (9 morfoespecies)	*Anthophora* (1morfoespecie)
Sphecodes (1 morfoespecie)	*Centris* (1morfoespecie)
Augochlora (1 morfoespecie)	*Bombus (Thoracobombus) mexicanus* Cr., 1878
Augochlorella (1 morfoespecie)	*B. (Psythyrus) variabilis* Cr., 1872
Augochloropsis (1 morfoespecie)	*B. (Pyrobombus) ephippiatus* Say, 1837
Afin a Necorynura (1 morfoespecie)	*B. (P.) wilmattae* Ckll., 1912
Familia Megachilidae	*Melipona beecheii* Bennett, 1831
Megachile (1 morfoespecie)	*P. bilineata* Say, 1837
Familia Apidae	*Plebeia* (1morfoespecie)
Xylocopa (Xylocopa) tabaniformes Sm. 1854	*Tetragonisca angustula* Latreille, 1811
Ceratina (8 morfoespecies)	*Trigona acapulconis* Strand, 1919
Exomalopsis (1 morfoespecie)	*Trigona fulviventris* Guérin-Méneville, 1845

Tabla 3
Valores de riqueza, abundancia y diversidad de abejas en las distintas categorías de paisaje y en las dos temporadas del año.

Categorías de paisaje-temporada	Riqueza	Abundancia	*H'*	*J'*
Bosque-seca	13	225	1.49	0.5808
Bosque-lluviosa	34	400	2.611	0.7403
Fragmentos-seca	24	156	2.156	0.6784
Fragmentos-lluviosa	36	242	2.879	0.8033
Cultivos-seca	14	165	1.587	0.6014
Cultivos-lluviosa	20	238	2.267	0.7567

Análisis de similitud y de componentes principales

El análisis de agrupamiento según la medida de Morisita muestra similitudes altas entre sitios a los que fue asignada la misma categoría, pero también ente sitios de categorías distintas (Figura 1). Los análisis de componentes principales presentan un patrón semejante (Figura 2), en el correspondiente a la temporada seca (Figura 2a) la mayoría de los sitios se muestran agrupados por su cercanía geográfica.

Visitas florales

Durante la estación seca se registraron visitas florales por parte de abejas a 52 especies de plantas, dentro de 18 familias botánicas. Durante la temporada lluviosa se registraron visitas florales a 26 especies de plantas

distribuidas dentro de 13 familias. En ambas estaciones las interacciones más frecuentes fueron con plantas de la familia Asteraceae (Figura 3).

Discusión

Las abejas colectadas durante el estudio pertenecen a las familias Colletidae, Andrenidae, Halictidae, Megachilidae y Apidae, lo que concuerda con otros estudios realizados en el país y a lo esperado en la región (Marroquín, 2000, Michener, 2007; Rodríguez, 2008). La familia Megachilidae fue poco representada, lo que difiere de otras regiones de Guatemala destaca la presencia de cuatro morfoespecies de *Perdita* sp, familia Andrenidae, escasa en las colectas previas realizadas en nuestro país. La presencia de la familia Halictidae es moderada en comparación a otras regiones. Las diferencias encontradas en la familia Megachilidae y Andrenidae, en comparación con los datos obtenidos en estudios previos realizados en Guatemala, pueden deberse a las condiciones climáticas y agroecológicas del altiplano, distintas a las de las zonas estudiadas previamente. De igual manera es interesante la diversidad encontrada en el género *Colletes*, para la que cuatro morfoespecies identificadas significa un valor relativamente alto. La riqueza de especies del género *Ceratina* resultó alta en la zona de estudio, con nueve morfoespecies reconocidas.

En cuanto a las abejas sociales y semi-sociales, se presentan cuatro especies del género *Bombus*, tres con potencial para ser utilizados en la polinización de cultivos, y una especie parásita (*B. variabilis*). Además fueron identificadas las abejas sin aguijón *Melipona beecheii, Partamona bilineata, Plebeia sp., Trigona angustula* y *Trigona acapulconis,* las cuales son aptas para la meliponicultura. La información correspondiente estos grupos no difiere de la obtenida en estudios previos realizados en el país.

Diversidad por categoría de paisaje y por temporada

Los valores de riqueza relativamente altos en la categoría fragmentada coinciden con estudios de diversidad de insectos que indican que los remanentes de bosque, aunque no sean extensos, proveen de hábitat y recursos escasos en las áreas agrícolas (Aguirre & Dirzo 2008). La abundancia relativamente alta en la categoría bosque se debe en gran parte a la frecuencia de especies sociales y semi-sociales (meliponinos y abejorros del género *Bombus*), lo que sugiere que las áreas continuas de bosque proveen a estas especies de sitios de anidación. El aumento de especies encontradas en las áreas boscosas durante la estación lluviosa, sugiere una relación ecológica entre la fauna local y la vegetación natural, relacionada a la fenología de plantas e insectos. Los valores de diversidad relativamente altos para la categoría fragmentada responden a que la diversidad de insectos aumenta en áreas de estructura vegetal heterogénea con alta diversidad florística. Sin embargo, debe tomarse en cuenta el que numerosos

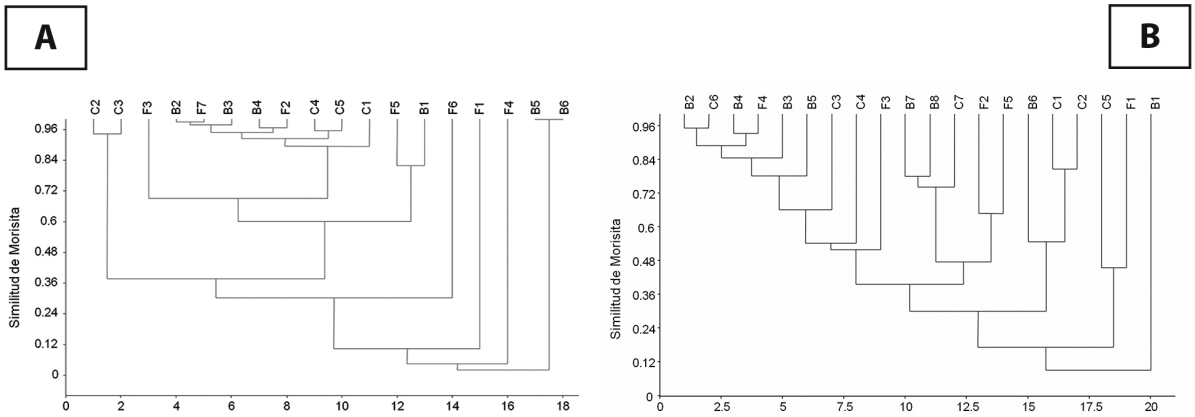


Figura 1. Análisis de agrupamiento (medida de similitud de Morisita, grupos pareados) de los sitios muestreados durante la estación seca (a), y lluviosa (b). La primera letra del nombre de los sitos identifica la categoría a la que fueron asignados: B=bosque, F=fragmentado, C=cultivos (agrícola).

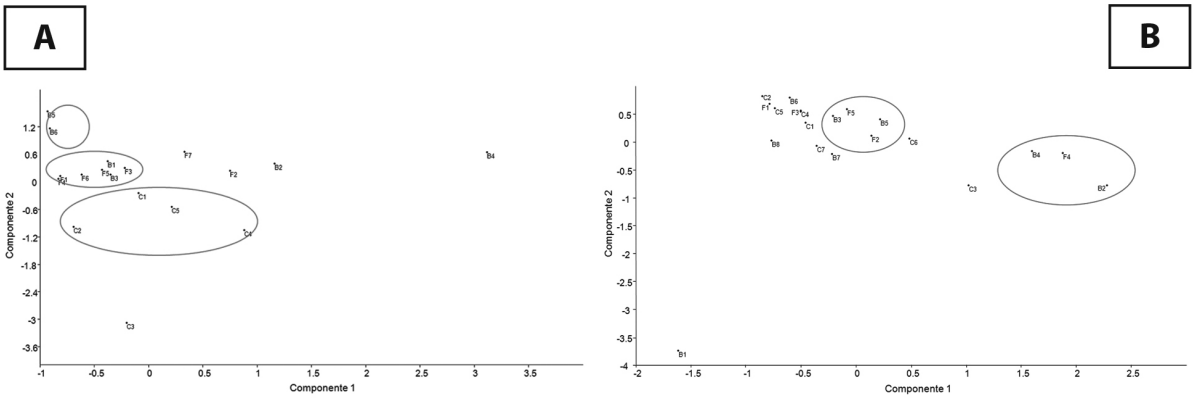


Figura 2. Análisis de componentes principales para a) temporada seca (componente 1: eigenvalue=334.5, 77.4% de la varianza, componente 2: eigenvalue=37.7, 8.7% de la varianza) y b) temporada lluviosa (componente 1: eigenvalue=161.4, 40.1% de la varianza, componente 2: eigenvalue=96.4, 24.4% de la varianza) de la composición de abejas colectadas en cada sitio de muestreo. Las elipses agrupan áreas que presentan cercanía geográfica.

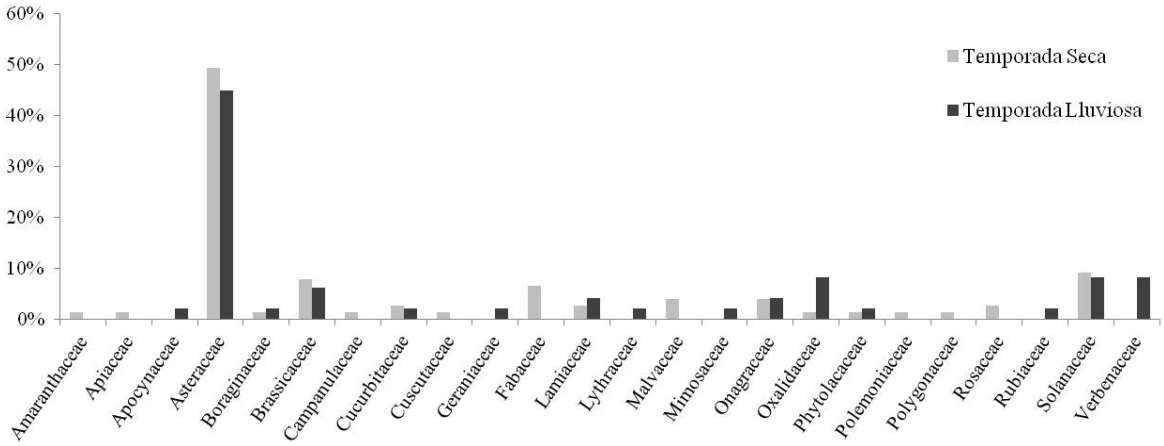


Figura 3. Frecuencia de visitas registradas para cada familia botánica durante la temporada seca y lluviosa.

estudios apoyan la importancia de los remanentes boscosos en la conservación de la diversidad de insectos polinizadores (Greenleaf & Kremen, 2006; Ricketts, Gretchen, Daily, Ehrlich & Michener, 2004).

Similitud entre los sitios de muestreo

El análisis de agrupamiento de la estación seca (Figura 1), muestra una total similitud entre los sitios B5 y B6, pero por lo demás no muestra una agrupación clara por categoría de paisaje. Estos grupos, así como otros comprendidos por sitios de distintas categorías (B2, F7 y B3; B4 y F2; F5 y B1), corresponden a sitos con cercanía geográfica. Esto sugiere que la similitud entre las comunidades responde más a la cercanía geográfica (y similitudes ambientales y climáticas) que al estado de conservación del hábitat. El análisis de PCA de la estación seca (Figura 2a), apoya los argumentos anteriores. Las elipses resaltan grupos de localidades que pertenecen a la misma área y al mismo municipio. Los análisis de agrupamiento y componentes principales de la estación lluviosa (Gráfica 2b) muestran patrones menos definidos pero con tendencias semejantes.

Interacciones entre abejas y plantas

La familia Asteraceae, así como otras familias visitadas por las abejas (Figura 3), Solanaceae, Brassicaceae y Fabaceae, entre otras, han sido reportadas anteriormente como recurso floral elegido por las abejas, en especial los abejorros del género *Bombus* (Vásquez, Yurrita y Escobedo, 2010). Sin embargo, se reportan interacciones a otras 20 familias botánicas, aunque los registros sean escasos. Esto sugiere la existencia de un sistema complejo de interacciones, donde puedan existir asimetrías en el grado de especialización, que incidan en su conservación (Quesada et al., 2012). Sin embargo, para describirlo adecuadamente será necesario un análisis de interacciones más detallado.

Agradecimientos

Al CECON, en particular al Departamento de Estudios y Planificación y a la Unidad para el Conocimiento, Uso y Valoración de la Biodiversidad, por avalar y apoyar el proyecto. Al Herbario USCG por la asistencia en la identificación de especímenes botánicos. A los Doctores César Domínguez y María del Coro Arizmendi de la Universidad Autónoma de México por su asesoría durante el desarrollo de este trabajo. A las municipalidades de Sumpango, Patzicía y Patzún por su apoyo logístico, permisos y acompañamiento. A la Dirección General de Investigación (DIGI) por el apoyo y financiamiento del proyecto 4.8.63.2.27.

Referencias

Aguirre, A., & Dirzo, R. (2008). Effects of fragmentation on pollination abundance and fruit set of an abundant understory palm in a Mexican tropical forest. *Biological Conservation*, *141*, 375-384. doi:10.1016/j.biocon.2007.09.014

Allen-Wardell, G., Bernhardt, P., Bitner, R., Burquez, A., Buchman, S., Cane, J. …Nabhan, G. (1998). The potential consequences of pollinator declines on the conservation of Biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology*, *12*, 8-17.

Armas, A. (2009). *Riqueza y distribución potencial de las abejas euglosinas (Apinae: Euglossini) en Guatemala.* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/ tesis/06/06_2743.pdf

Barrientos, M., Avendaño, C., Yurrita, C., Hernández, J., y Barrios, M. (2008). *Interacción de los polinizadores con la estructura y funcionamiento del paisaje en Chelemhá, Alta Verapaz.* (Proyecto FODECYT 25-2004). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Escuela de Biología.

Enríquez, E. (2007). *Diversidad de potenciales polinizadores del grupo de los insectos en el Parque Nacional Laguna Lachuá y su zona de influencia a lo largo de un año*. (Proyecto FODECTY 017-2006). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Escobedo, N. (2011). *Estacionalidad del uso del polen de cardamomo (Elettaria cardamomum) por la apifauna (Himenoptera: Apoidea) e la Zona de Influencia del Parque Nacional Laguna Lachúa*. (Tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). *Economic valuation of pollination services, review of methods*. Agriculture Department, Seed and Plant Genetic Resources Division. Recuperado de http://www.fao.org/ fileadmin/templates/agphome/ documents/ Biodiversity-pollination/ econvaluepoll1.pdf

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2008). *Global actions on pollination services for sustainable agriculture.* Agriculture Department, Seed and Plant Genetic Resources Division. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/templates/ agphome/documents/Biodiversity-pollination/ Pollination-FolderFlyer_web.pdf

Greenleaf, S., & Kremen, C. (2006). Wild bee species increase tomato production and respond differently to surrounding land use in Northern California. *Biological Conservation, 133*, 81-87. doi:10.1016/j.biocon.2006.05.025

Greer, L. (1999). Alternative pollinators: Native Bees. *ATTRA*. IP 126, 14.

Hammer, Ø., Harper, D., & Ryan, P. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia*

Electronica, 4(1), 9. Recuperado de http://palaeo-electronica.org/2001_1/ past/issue1_01.htm

Kearns, C., Inouye, D., & Waser, N. (1998). Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *29,* 83-112.

Kevan, P., & Phillips, T. (2001). The economic impacts of pollinator declines: an approach to assessing the consequences. *Conservation Ecology, 5*(1), 8.

Luig, J., Peterson, K., & Poltimäe, H. (2005). *Human impacts on pollinators and pollination services. Socio-economic Working Paper.* Tallinn: Proyecto ALARM, 10.

Maccagnani, B., Burgio, G., Stanisavljević, L., & Mani, S. (2007), Osmia cornuta management in pear orchards. *Bulletin of Insectology*, *60*(1), 77-82.

Marroquín, A. (2000). *Sistemática e historia natural de las abejas (Hymenoptera: Apoidea) de Guatemala. (*Tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Michener, C. (2007). *The bees of the World*. (2nd ed.). Baltimore: The Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2006). *Ortofotos de la República de Guatemala*. Guatemala: Autor.

Murren, C. (2002). Effects of habitat fragmentation on pollination: pollinia viability and reproductive success. *Journal of Ecology, 90*, 100-107. doi: 10.1046/j.0022-0477.2001.00638.x

Quesada, M., Rosas, F., Lopez-Araiza-Mikel, M., Aguilar, R., Ashworth, L., Rosas-Guerrero … Martén-Rodríguez, S. (2012). Ecología y conservación biológica de sistemas de polinización en plantas tropicales. En E. Val y K. Boege (Eds.), *Ecología y evolución de las interacciones bióticas* (p. 81-83). México: Universidad Autónoma de México, Colección Ediciones Científicas Universitarias.

Ricketts, T., Gretchen, C., Daily, P., Ehrlich, R., & Michener, C. (2004). Economic value of tropical forest to coffee production. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 101*, 12579–12582.

Rodríguez, G. (2008). Patrones temporales en la diversidad de abejas nativas (Hymenoptera: Apidae) en la región semiárida del Valle del Motagua. (Tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Shepherd M., Buchman, S., Vaughan, M., & Hoffman, S. (2003). *Pollinator Conservation Handbook*. Portland: The Xerces Society. Oregon.

Vásquez M., Yurrita, C. y Escobedo, N. (2010). *Determinación de la diversidad y distribución de las especies de abejorros (Bombus) en las áreas bióticas Chimalteca, Volcánica y Escuintleca en Guatemala*. (Proyecto FODECYT 013-2009) Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Ciencia, Tecnología y Salud
Vol. 1 Num. 1 2014
ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso)

Artículo Científico / Scientific Article

Índice de calidad de agua del río Cucabaj ubicado en el municipio de Santa Cruz del Quiché, Quiché y la influencia en los costos del tratamiento de potabilización

Monica Lisett Aldana Aguilar, Elvis Edison Zacarias Laynes

Centro Universitario de Quiché, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

***Autor al que se dirige la correspondencia:** monicaldana11@gmail.com

Recibido: 04 de septiembre 2014 / **Aceptado:** 08 de octubre 2014 / **Disponible en línea:** 24 de noviembre 2014

Resumen

El río Cucabaj es una de las fuentes principales de agua que abastece junto a los ríos Tabil y Aguacate a 1,352 hogares del área urbana del municipio de Santa Cruz del Quiché. Este rio recorre parte de los municipios de Santa Cruz del Quiché y Chiché. Es tributario del río Durazno y pertenece a esta microcuenca. En el periodo de estudio el caudal osciló entre 0.009-0.1004 m^3/seg. Gran proporción de este caudal se capta y recorre alrededor de 9 km. hacia la planta de tratamiento para su potabilización ubicada en la salida a San Pedro Jocopilas. La presente investigación tiene como objetivo mostrar la variabilidad temporal del recurso hídrico, determinando el índice de calidad del agua e índice de contaminación del río Cucabaj, así como los costos de desinfección utilizando hipoclorito de calcio. El monitoreo del rio fue realizado por un periodo de diez meses, de abril 2012 a enero 2013, según el índice de calidad de agua que muestra en una escala de 0-100 puntos, que suman los resultados de nueve parámetros y clasifica el agua del río Cucabaj en la categoría de media a buena (contaminada a levemente contaminada para uso humano, por lo que antes de su consumo debe de aplicarse tratamientos de potabilización). El mes con mayor caudal fue septiembre con 0.1004 m^3/seg, particularidad que influyó considerablemente en presentar el valor más bajo en calidad y uno de los valores más altos en contaminación por materia orgánica. Esta característica se asocia principalmente a la presencia de coliformes totales. En cuanto a los costos de desinfección por hipoclorito de calcio, no se establecieron diferencias significativas en función de la cantidad de caudal.

Palabras claves: índices de calidad de agua, potabilización, contaminación, hipoclorito de calcio, agua superficial, caudal.

Abstract

Cucabaj River is a major source of water supplies along the Aguacate and Tabil Rivers to 1,352 households in the urban area of Santa Cruz del Quiche. This river runs through the municipality of Santa Cruz del Quiche and Chiche communities. It is a tributary of Durazno River and belongs to this watershed. In the study period the rate ranged from 0.009 - 0.1004 m3/s. A large proportion of this flow is captured and about 9 km transported to the treatment plant for purification in located in San Pedro Jocopilas. This investigation aims to show the temporal variability of water resources, determining the rates of water quality and pollution index Cucabaj River, as well as the cost of disinfection by means of calcium hypochlorite. The measurements were performed for a period of ten months, from April 2012 to January 2013. According to the water quality index which is a 100-point scale resulting of a total of nine different measurements, it was determined that the water quality of Cucabaj river is classified as moderate to good (which means that is slightly polluted to polluted for human use, so should receive purification treatment before consumption). The month with highest flow was September with rate 0.1004 m3/s, a feature that greatly influenced present the lowest value in quality and one of the highest values in organic pollution. This feature is mainly associated with the presence of total coliforms. As for costs calcium hypochlorite disinfection, no significant differences in terms of the amount of flow over other months were established.

Keywords: water quality index, water treatment, pollution index, calcium hypochlorite, surface water, flow.

La reproducción total o parcial del contenido e imágenes de esta publicación se rige de acuerdo a normas internacionales sobre protección a los derechos de autor, con criterio especificados en la licencia Creative Commons (CC BY-NC-SA 4.0)

Introducción

El agua es uno de los recursos naturales más importantes en la vida, influye directamente en la salud, economía familiar, alimentación y por ende en la calidad de vida de la población. Su utilización es predominante para el desarrollo humano, esencial para el consumo e insumo importante en la producción agrícola e industrial; pero los diversos usos que se le dan afectan negativamente la calidad del agua. Debido a que algunos de estos procesos pueden contribuir al desperdicio o provocar alteraciones y deterioro del recurso y que a su regreso a la fuente natural, el agua contengan elementos sustancias químicas y orgánicas que favorecen la contaminación y alteración del recurso hídrico superficial.

Lo que provoca un detrimento del recurso por acciones antrópica sumada a la que ya están sometidas de forma natural; por arrastre de material en partículas o disuelto, materia orgánica natural, escorrentía, entre otras, lo que dificulta la sostenibilidad del recurso (Torres, Cruz y Patiño, 2009).

Tener acceso al agua de buena calidad favorece el bienestar humano al igual que al desarrollo económico, la producción y la protección del medio ambiente. Contribuyendo en la mejora de la calidad de vida del individuo, incidiendo directamente en las condiciones de salubridad, economía, capacidad de generar ingresos, reduciendo gastos y pérdida de tiempo, que se invierte en buscar fuentes de agua con características deseables y trasladarlas al hogar, lo que beneficia el progreso social. Además por la vinculación directa con la pobreza, el tener acceso al agua y que esta sea de calidad puede contribuir con la ruptura del círculo vicioso de enfermedades, desnutrición derivadas de este flagelo social (Lentini, 2010).

Por lo descrito anteriormente es de suma importancia conocer el grado de deterioro de las fuentes superficiales que utilizamos para abastecer de agua a la población. Es necesario realizar estudios que nos permitan conocer la calidad y grado de contaminación de los cuerpos de agua, con la finalidad de reducir costos de potabilización, establecer programas de recuperación, control de contaminantes, mitigación de los riesgos provocados por el consumo y utilización de agua de mala calidad.

Brown et al. (1970) citado por Torres (2009) y Boulder Community Network (2005), muestra cómo se desarrolló la primera metodología para crear índices de calidad de agua debido a la necesidad de implementar un método uniforme que pudiera evaluar las cualidades que determinen su calidad. Esta metodología debía ser práctica y proporcionar información de los efectos desfavorables de la contaminación que pudieran afectar al ser humano y las actividades en las que se emplea. Estas medidas se transforman en valores de 0-100 para su comparación en la escala de medición, acción que beneficia la comparación de calidad de las fuentes de agua. Torres, F. (2009) indica también que el índice, permite evaluar los cambios en la calidad del agua de los ríos de forma práctica y sensible.

El índice de calidad de agua (water quality index WQI), citado por Fernández y Solano (2005, p. 43), fue desarrollado en 1970 por la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos.

El estudio de Índices de Calidad (ICA) y de contaminación (ICO) del agua de importancia mundial de dicha universidad, detalla que la intención de determinar el ICA, es simplificar las características positivas o negativas de la fuente de agua. Por lo que se estimó un ICA para el río Cucabaj con el propósito de reconocer problemas de contaminación, debido a que es una de las tres fuentes principales de agua que abastece a más de 9,000 personas del área urbana del municipio de Santa Cruz del Quiché. Según la escala de clasificación de calidad ICA, el índice de calidad de agua del río Cucabaj determinado mensualmente durante el periodo de la investigación, se encuentra dentro de un rango de 54.78 a 79.26. La calidad del recurso se encuentra clasificado dentro de la categoría media-buena, que va de contaminada a levemente contaminada. En esta categoría se recomienda que el agua para consumo humano, se le debe aplicar algún tratamiento de potabilización para poder mejorar las características físico-químicas y biológicas nocivas. Se concluyó que la principal fuente de contaminación era la materia orgánica, resultado derivado de la cantidad de coliformes totales presentes en las muestras obtenidas.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en cuatro fases como se detalla a continuación:

La primera fase fue la planificación y recopilación de información, utilizada para el análisis de calidad del agua de fuentes superficiales. Identificando los puntos potenciales para la realización de los muestreos puntales; para los cuales se revisaron estudios desarrollados por organizaciones vinculadas con el monitoreo de fuentes superficiales, como lo detalla el estudio Unión Mundial para la Naturaleza (2005). Los que iniciaron en abril de 2012 y finalizaron en enero de 2013, reali-

zados en la segunda o cuarta semana de cada mes, con el objetivo de obtener datos correspondientes a la época seca y lluviosa de la región.

En la segunda fase se realizó el reconocimiento del área de estudio, verificación, establecimiento y georreferenciación de los puntos de muestreo, recopilación de muestras de campo y monitoreo del caudal de agua. Se tomaron muestras de la fuente para la determinación de los parámetros que permitieron la cuantificación de la calidad mediante el ICA: se analizaron parámetros físico-químicos (temperatura, pH, oxígeno disuelto, % de saturación de oxígeno, conductividad, turbiedad, fosfatos, nitratos, sólidos disueltos) y bacteriológicos. Para la toma de datos in situ se realizaron la medición directamente en la fuente superficial. (Se tomaron tres lecturas para garantizar la fiabilidad de los datos registrados), mediante equipo multiparamétrico previamente calibrado; colocando las muestras en un recipiente o bolsas esterilizadas especiales para recolectar la muestra para el análisis bacteriológico y un recipiente esterilizado de 2 L se utilizó para la muestra del análisis físico-químico. Los recipientes se trasportaron en un contenedor tipo hielera acondicionada para mantener la temperatura de conservación de las muestras y evitar

Tabla 1
Metodología utilizada para determinación de parámetros para los ICA

Parámetro	Tipo	Monitoreo	Métodos y técnicas aplicadas. Hach Company (2000)	Presentación de resultados
Temperatura	Físico	In situ	Termometría (por medio de sonda)	°C
pH	Físico	In situ	Espectrofotometría, mediante un electrodo selectivo (pH metro).	unidades
Oxígeno disuelto	Química	In situ	Electrometría mediante un electrodo de membrana	mg/L
Conductividad eléctrica	Físico	In situ	Electrometría (por medio de un electrodo conductimétrico)	µS/cm
Porcentaje de saturación de oxígeno	Química	In situ	Electrometría (por medio de electrodo)	%
TDS	Físico	In situ	Electrometría (por medio de sonda)	mg/L
Nitratos	Química	Laboratorio	Espectrofotometría (reducción de cadmio)	mg/L
Turbiedad	Físico	Laboratorio	Turbidimetro (Nefelometría -Unidad Nefelométrica de Turbidez)	UNT
Fosfatos	Química	Laboratorio	Espectrofotometría (método de ácido ascórbico)	mg/L
Sólidos disueltos	Físico	Laboratorio	Filtración y desecación (gravimetría)	mg/L
DBO	Química	Laboratorio	Incubación (medición con electrodo de membrana).	mg/L
Coliformes totales y fecales	Bacteriológico	Laboratorio	Fermentación en tubos múltiple (pruebas presuntivas y confirmativas Numero más probable en 100mL)	NMP
Cloro libre y total	Química	Planta de tratamiento (tanque de cloración y distribución) in situ	Espectrofotómetro y colorimetría	mg/L

variaciones en los parámetros en su traslado al laboratorio, en esta fase se tomaron valiosos aportes del estudio realizado por Ramírez (2003).

La tercera fase fue el análisis de muestras en el laboratorio, incluyo la recopilación e interpretación de la información obtenida mensualmente.

Las muestras fueron remitidas al laboratorio unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina de la Facultad de Ingeniería de la USAC. Se utilizó el método estándar para el análisis de agua y aguas residuales publicado para la Asociación de Salud Pública de EE.UU en APHA, AWWA & WPCF (1989) para los análisis correspondientes. El método utilizado fue analítico aplicando varias técnicas para la determinación de parámetros.

En la cuarta y fase final se conformó el informe final integrando el análisis e interpretación global de la información.

En la presente investigación se aplicó muestreo discrecional, para determinar puntos de monitoreo, los cuales se seleccionaron estratégicamente en áreas representativas para el estudio. Se seleccionó un punto de muestreo para la determinación de ICA, tres puntos de muestreo para los análisis físico-químicos y bacteriológico, dos puntos de muestreo para la medición de cloro y tres puntos para determinación del caudal y las perdidas en sus distintas etapas como se detalla en la Tabla 2.

Se utilizaron curvas de función elaboradas en otros estudios y graficadas a través del uso de media aritmética con un límite de confianza del 80%, para determinar índices de calidad de agua por medio de una suma lineal ponderada.

Índice de calidad de agua

Krenkel & Novotny (1980), citado por Jiménez, y Vélez (2006), indica que para estimar el índice de calidad de agua, WQI_{NSF}, se utilizan factores de ponderación para cada una de las variables:

$$WQI = \sum_{i=1}^{9} W_i \times Q_i$$

Dónde:

WQI: Índice de calidad de agua.

W_i: Factor de importancia o ponderación de la variable i respecto a las restantes variables que conforman el índice (ver Tabla 3).

Q_i: Corresponden al factor de escala de la misma.

Esta metodología fue utilizada también en estudios como el de Moraña, Salusso y García (2002), y comparada con otras metodologías concluyendo que es una metodología integral para determinación de índices de calidad de agua en el estudio realizado por Torres P. Cruz y Patiño (2009).

Tabla 2
Puntos de muestreo

Punto de muestreo	Selección del área	Parámetros de medición
Río Cucabaj	Se escogió un área en la cual ya existiera una corriente y movimiento continuo del agua entre el nacimiento del rio y el área de captación hacia la planta de tratamiento de agua. La muestra se tomó a una distancia aproximada de 1 km del nacimiento de la misma	Físico, químico, bacteriológico y caudal. ICA
Desarenador	Se calculó el caudal de entrada del rio hacia la planta de tratamiento de agua.	Caudal.
Entrada a la planta de tratamiento	Se tomó la muestra en el flujo de agua que proviene de la tubería que la transporta desde la fuente natural hacia la planta de tratamiento, previo a que se mezcle con el agua de otros ríos.	Físico, químico, bacteriológico y caudal.
Tanque de cloración	Se tomó la muestra después de que se realizara el proceso de cloración.	Cloro
Tanque de distribución	Se tomaron muestras en el tanque de distribución previo al ingreso a la tubería.	Bacteriológicos, cloro y caudal

Tabla 3
Ponderación de los parámetros de calidad de agua

Parámetro	Factor
Porcentaje de saturación de oxígeno	0.17
Coliformes fecales	0.16
pH	0.11
Demanda bioquímica de oxígeno	0.11
Nitratos	0.10
Fosfatos	0.10
Temperatura	0.10
Turbiedad	0.08
Sólidos disueltos	0.07

Nota. Adaptado de "Índice de Calidad de Agua (ICAs) e Índices de Contaminación (ICOs) de Importancia Mundial" por N.J. Fernández y F. Solano, 2005, *Índices de calidad y de contaminación del agua* .

Tabla 4
Clasificación de calidad de agua en función del índice WQI_{NSF}

Valor del índice	Clasificación de calidad
0-25	Muy mala
26-50	Mala
51-70	Media
71-90	Buena
91-100	Excelente

Nota. Adaptado de "Índice de Calidad de Agua (ICAs) e Índices de Contaminación (ICOs) de Importancia Mundial" por N.J. Fernández y F. Solano, 2005, *Índices de calidad y de contaminación del agua* .

Índice de contaminación

Los índices de contaminación tienen un rango de variación de 0 a 1, 0 indica baja contaminación y 1 alta contaminación.

Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO). Incluye variables como oxígeno, DBO_5, y coliformes totales y fecales (Jiménez y Vélez, 2006, p. 64).

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I_{DBO} + I_{Coliformes\ totales} + I_{Oxígeno\%})$$

Tabla 5
Clasificación de la calidad de agua en función de los índices de contaminación

Valor del índice	Clasificación de contaminación
0.8-1.0	Muy alta
0.6-0.8	Alta
0.4-0.6	Media
0.2-0.4	Baja
0.0-0.2	Muy baja

Nota. Adaptado de "Índice de Calidad de Agua (ICAs) e Índices de Contaminación (ICOs) de Importancia Mundial" por N.J. Fernández y F. Solano, 2005, *Índices de calidad y de contaminación del agua* .

Dónde:

$$I_{DBO} = -0.05+0.70Log_{10}\ [DBO(g/m^3)]$$
$$I_{COL.TOT} = -1.44+0.56Log_{10}\ [Col\ Tot(NMP)]$$
$$I_{Oxígeno\%} = 1-0.01\ Oxígeno(\%)$$

Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS). Sólo utiliza una variable para su cálculo (valor de sólidos suspendidos) y su fórmula general es (Jiménez y Vélez, 2006, p. 64):

$$ICOSUS=-0.02+0.003\ sólidos\ suspendidos\ (g/m^3)$$

Dónde:

Sólidos suspendidos por encima de 340g/m³ tienen un ICOSUS = 1

Sólidos suspendidos por debajo de 10 g/m³ tienen ICOSUS = 0

Índice de contaminación por mineralización ICOMI expresado por variables, de conductividad, dureza y alcalinidad. Los valores muy bajos cercanos a cero reflejan baja contaminación por mineralización y cercanos a uno lo contrario (Jiménez y Vélez, 2006, p. 64):

$$ICOMI = \frac{1}{3}(I_{Conductividad} + I_{Coliformes\ totales} + I_{Alcalinidad})$$

Dónde:

$Ln(I_{Conductividad}) = -3.26 + 1.34Ln$ [Conductividad (µS/cm)]

Para esta variable hay que tener en cuenta que conductividades mayores a 270 µs/cm, se les asigna el valor de 1.

I_{Dureza} se obtiene:

$$Ln(I_{Dureza}) = -9.09 + 4.40Ln\ [Dureza(mg/L)]$$

Se debe tener en cuenta que:

Dureza mayor a 110 mg/L tiene un valor de 1 (I_{Dureza} 1)

Dureza menor a 30 mg/L tiene valor de 0 (I_{Dureza}=0)

$I_{Alcalinidad}$ se obtiene:

$$I_{Alcalinidad} = -0.25+0.005Alcalinidad(mg/L)$$

Para esta variable se debe tener en cuenta:

Alcalinidades mayores a 250 mg/L tienen un valor de 1 ($I_{Alcalinidad}$ = 1)

Alcalinidades menores a 50mg/L tienen un valor de 0 ($I_{Alcalinidad}$ = 0)

Determinación de cloro total y cloro residual

Para la determinación del medio de desinfección, y la cuantificación de cloro en el agua existen diversos estudios sobre la determinación de este parámetro en los procesos de potabilización, como lo muestra la Organización Mundial de la Salud (2009) el cual indica que para comprobar el buen funcionamiento y la efectividad de aplicación del cloro se debe medir el cloro residual inmediatamente después de que se ha añadido por el sistema de cloración y el cloro total despues de un periodo corto de tiempo.

Determinación de costos por desinfección en tratamiento de cloración

Se cuantificaron el número de pastillas de hipoclorito de calcio utilizadas, recopilando la información de las bitácoras de la planta de tratamiento de aguas en donde se describe la cantidad de pastillas que se aplicaron diariamente y se cuantificó el costo de la cantidad total utilizada por mes, determinado el costos mensual de las cubetas del producto utilizado en la planta de tratamiento para la desinfección.

Ubicación del área de estudio río Cucabaj

Según la Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN), el río Cucabaj recorre parte de los municipios de Santa Cruz del Quiché y Chiché, es tributario del río Durazno y pertenece a la microcuenca del mismo nombre. Es uno de los principales ríos del cual la municipalidad de Santa Cruz del Quiché extrae agua que sirve para abastecer de agua potable a una parte de la población de este municipio; el agua es captada de la fuente superficial y trasladada a la planta de tratamiento ubicada en la salida del municipio hacia el municipio de San Pedro Jocopilas, en donde recibe tratamientos de potabilización conjuntamente con el río Tabil y Aguacate. (2010).

Planta de tratamiento de agua potable

Está ubicada en la salida al municipio de San Pedro Jocopilas, al final de la zona 2 de Santa Cruz del Quiché. El sistema de tratamiento cuenta con una capacidad de 40 L/s. El sistema de desinfección es a través de hipoclorito de calcio en presentación de pastillas.

Resultados

Clima

Según los datos que se tomaron en la estación hidrométrica ubicada en el municipio de Santa Cruz del Quiché entre los meses de abril de 2012 y enero del 2013 la temperatura mínima fue de 13.69 °C en el mes de noviembre y la máxima de 16.92 °C. En el mes de mayo 2012, la precipitación máxima se dio en el mes de agosto 2012 con 230.8 mm y la mínima 8.7 mm en el mes de enero 2013.

Caudal

En el río Cucabaj el máximo caudal que se presentó en el periodo de estudio, fue reportado en el mes de septiembre 2013 con 0.1004 m^3/s. de agua y el mínimo caudal reportado se mostró en los meses de abril y mayo del 2012 reportando el mismo caudal de 0.009 m^3/s.

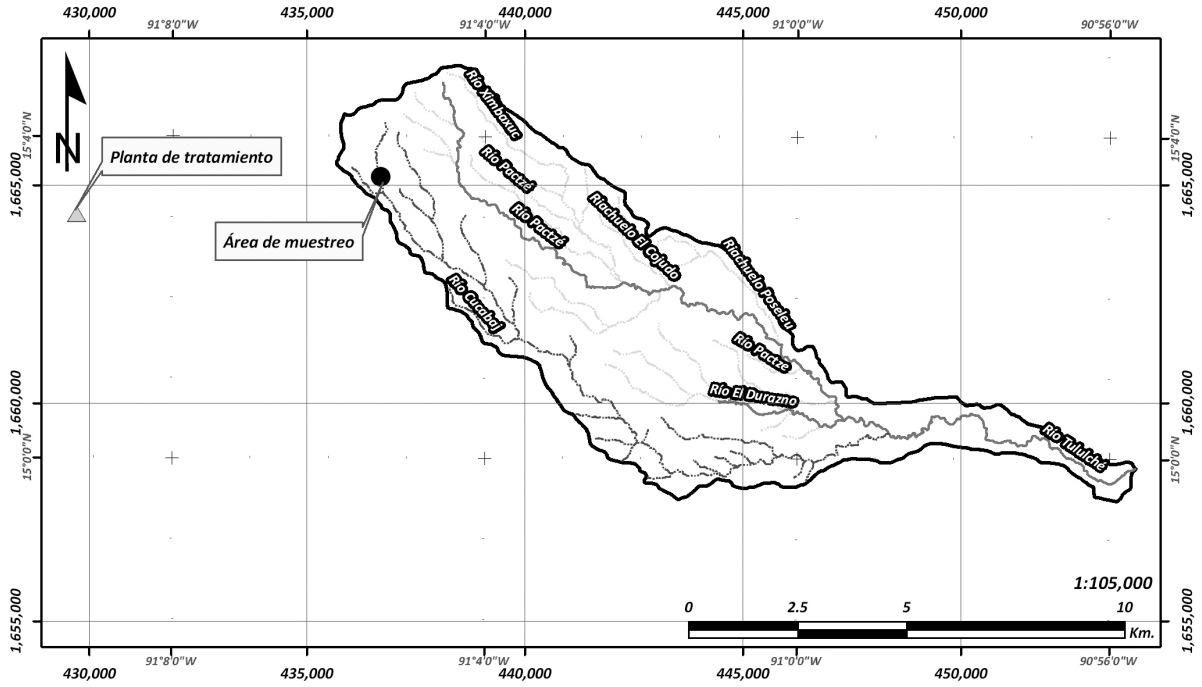


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en relación de la cuenca en del río El Durazno (área de estudio).

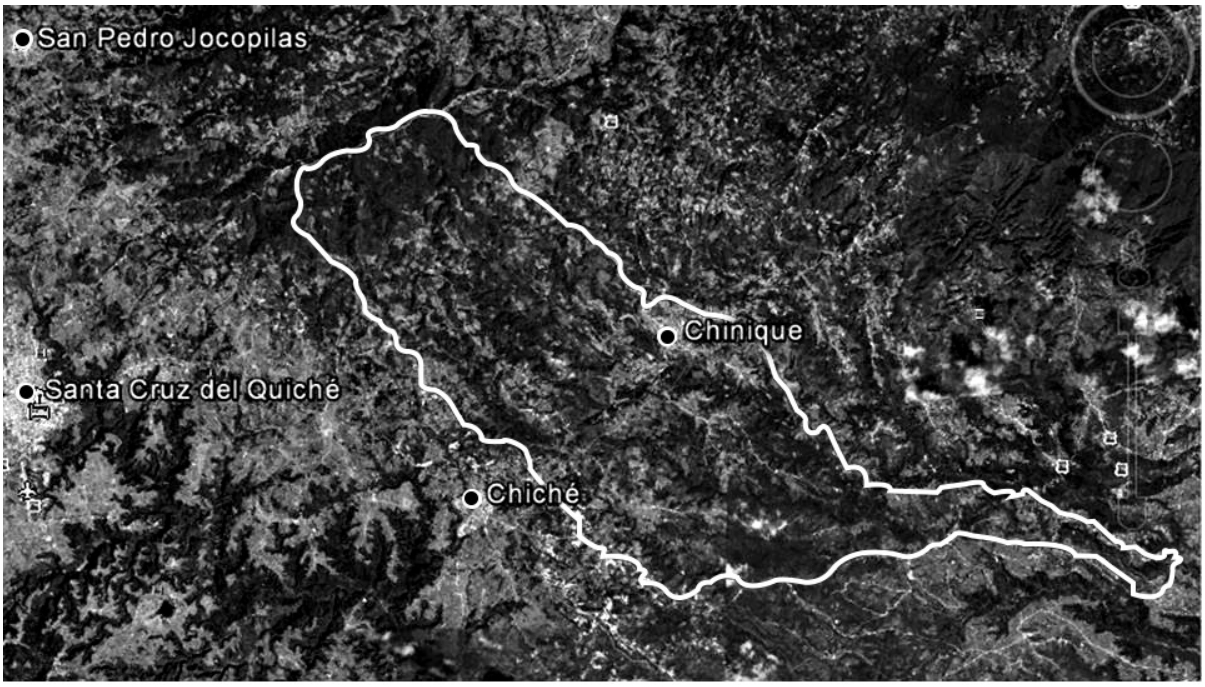


Figura 2. Ubicación geográfica de la cuenca hidrográfica El Durazno donde tributa el río Cucabaj (área de estudio).

Tabla 6
Resultados mensuales de parámetros muestreados

Parámetro	Abril 2012	Mayo 2012	Junio 2012	Julio 2012	Agosto 2012	Septiembre 2012	Octubre 2012	Noviembre 2012	Diciembre 2012	Enero 2013
Aspecto	Clara	Clara	Turbia	Ligeramente turbia	Ligeramente turbia	Turbia	Ligeramente turbia	Ligeramente turbia	Clara	Clara
Color	12	17	40	38	24	63	29	17	<1	<1
Turbiedad	5.24	6.88	26.60	27.50	17.20	42	14	7.69	5	<5
Olor	Inodora	Inodora	Inodora	Ligeramente a materia orgánica	Ligeramente a materia orgánica	Ligeramente a materia orgánica	Ligeramente a materia orgánica	Ligeramente a materia orgánica	No rechazable	No rechazable
pH campo	6	6.5	6.37	6	6.51	6.1	6.5	6.9	6.62	6.6
pH laboratorio	7.12	7.2	7.12	7.27	6.78	6.49	7.02	7.52	7.7	7.4
T°	15.2	15.3	15.5	15.1	15	14.9	14.9	13.4	12	14
Conductividad eléctrica de campo	50	60	41.3	37.1	37.95	36.2	43.2	42.7	45.75	52.8
TDS			19.2	17.2	17.65	16.85	20.2	19.9	21.4	24.7
Oxígeno disuelto	6.10	5.10	8.62	7.33	7.38	8.19	8.2	7.40	7.44	6.55
% de saturación de oxígeno	80.26	67.10	112.4	94.7	96.3	106	103	92.94	90.7	85.38
Amoniaco	0.1	0.11	0.38	0.36	0.19	0.25	0.20	0.24	----	------
Nitritos	0.017	0.019	0.056	0	0	0	0	0	<0.01	<0.01
Nitratos	2.20	2.86	18.20	15.40	9.21	8.14	5.50	1.10	7	1.16
Manganeso	0.031	0.021	0.064	0.072	0.035	0.050	0.030	0.037	----	<0.01
Cloruros	8.50	10.50	9.50	9.00	12.5	7	10	9	<2.5	<2.50
Fluoruros	0.29	0.23	0.24	0.01	0.14	0	0.01	0.09	-------	--------
Sulfatos	1	2	---	10	4	1	3	0	<0.90	4.92
Hierro total	0.19	0.40	0.62	0.65	0.32	1.17	0.50	0.22	0.30	0.16
Dureza total	26	26	36	44	38	38	30	24	18.8	18.4
Sólidos totales	66	54	58	48	54	60	56	74	---	---
Sólidos volátiles	11	16	21	14	24	31	30	30	----	----
Sólidos fijos	55	38	37	34	30	29	26	44	----	----

(Continua)

Tabla 6
Resultados mensuales de parámetros muestreados (continuación)

Parámetro	Abril 2012	Mayo 2012	Junio 2012	Julio 2012	Agosto 2012	Septiembre 2012	Octubre 2012	Noviembre 2012	Diciembre 2012	Enero 2013
Sólidos en suspensión	3	4	8	4	6	9	9	7	----	----
Sólidos disueltos	32	33	23	22	21	20	23	24	----	----
Bicarbonatos	40	44	30	22	28	28	30	30	-----	-----
Alcalinidad total	40	44	30	22	28	28	30	30	----	----
Fosfatos	1.6	0.1	0.80	0.1	0.13	1.39	0.28	0.35	0.4	0.5
DBO	7.03	3.15	3.25	5.07	3.90	3	5.35	3.80	<6	<6
Coliformes totales	900	170	$>16x10^2$	$> 16 x 10^3$	$>16x 10^2$	$>16x10^3$	$>16x10^3$	$>16x10^2$	210	540
Coliformes fecales	170	80	17	21	140	$>16x10^3$	9	<2	150	33
Salinidad			0	0	0	0	0	0.1	0.1	0

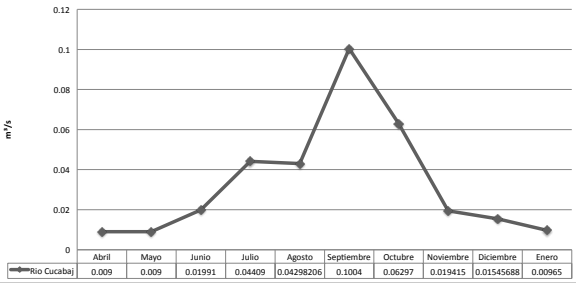


Figura 3. Caudal del río Cucabaj.

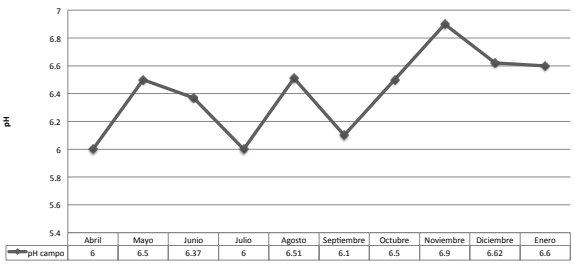


Figura 5. Potencial de hidrógeno del río Cucabaj.

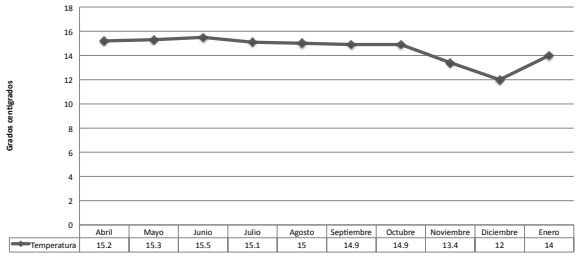


Figura 4. Temperatura del río Cucabaj.

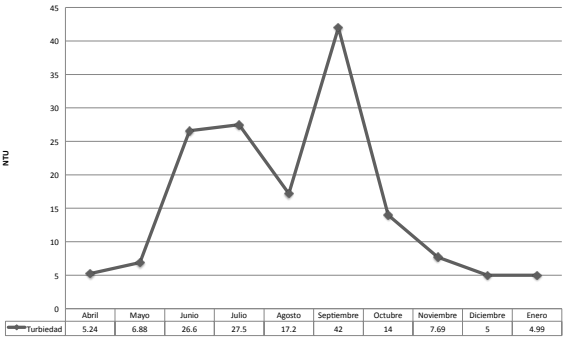


Figura 6. Turbiedad del río Cucabaj.

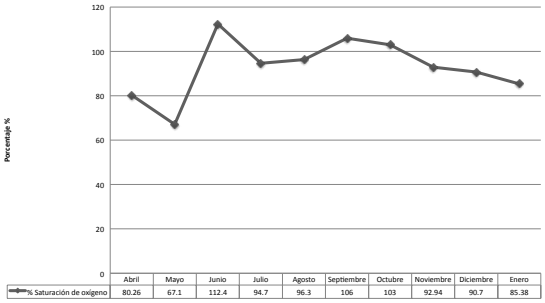


Figura 7. Porcentaje de saturación de oxígeno del río Cucabaj.

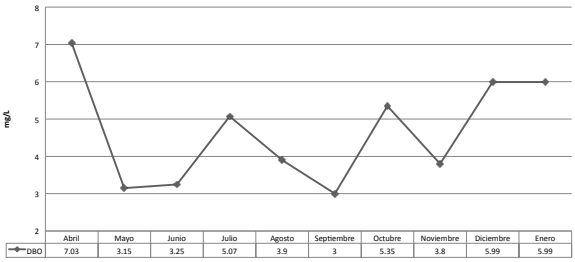


Figura 8. Demanda bioquímica de oxígeno del río Cucabaj.

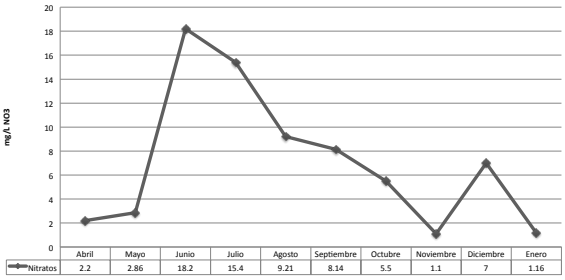


Figura 9. Nitratos del río Cucabaj.

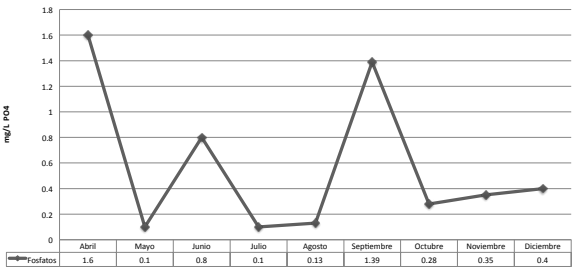


Figura 10. Fosfatos del río Cucabaj.

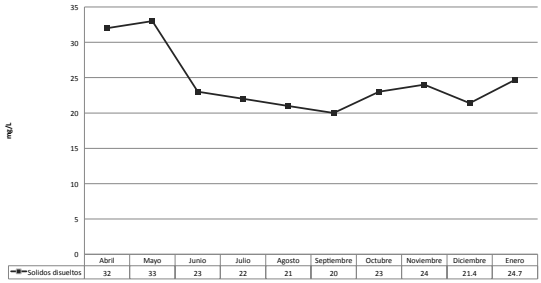


Figura 11. Solidos disueltos del río Cucabaj.

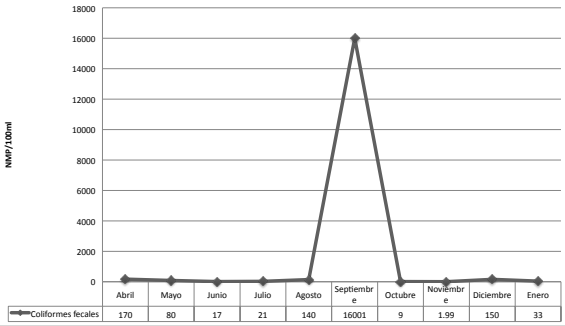


Figura 12. Coliformes fecales del río Cucabaj.

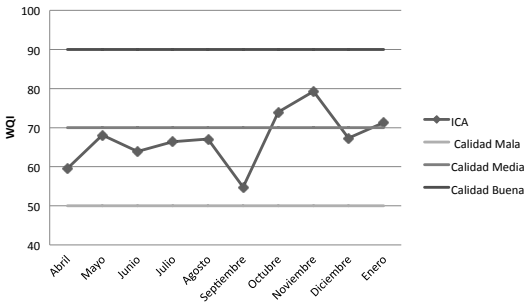


Figura 13. Índice de calidad de agua del río Cucabaj.

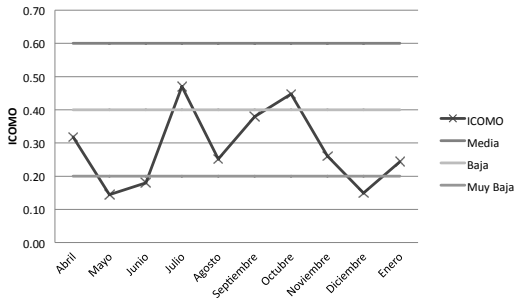


Figura 14. Índice de contaminación por materia orgánica del río Cucabaj.

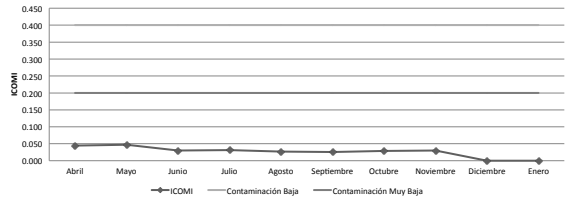


Figura 15. Índice de contaminación por mineralización.

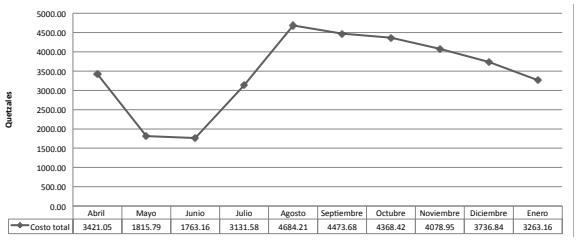


Figura 16. Costos de cloración.

Tabla 7
Sólidos suspendidos para determinación de índice de contaminación

Parámetro	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Sólidos suspendidos	3	4	8	4	6	9	9	7	__	_
ICOSUS	0	0	0	0	0	0	0	0	---	--

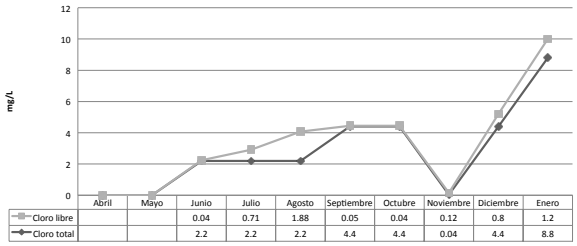


Figura 17. Cloro libre y total.

Discusión

Temperatura

La temperatura del río Cucabaj durante el estudio osciló entre los 12 y 15.5 °C, la menor temperatura se presentó en el mes de diciembre y la mayor en el mes de junio. Estos son valores satisfactorios debido a que temperaturas mayores a 15°C favorecen el desarrollo de microorganismos e intensifican los olores y sabores.

pH

El pH del río Cucabaj se encuentra entre 6 y 6.9, reportándose el valor más alto en el mes de noviembre y los más bajos en abril y julio, estos son valores de pH que reflejan aguas de condiciones neutras a ligeramente acidas.

Turbiedad

Este parámetro indica la cantidad de partículas minerales y orgánicas que se encuentran es suspensión, que interfieren el paso de las luz solar, lo que aumenta la temperatura del agua y contribuye a bajar la concentración de oxígeno, las partículas suspendidas también ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos orgánicos tóxicos. Estos valores se encuentran influenciados por sedimentos procedentes de la erosión y descargas. Los valores de turbiedad presentes en el río Cucabaj tiene su principal impactos en el aspecto estético del agua debido a que da la apariencia de estar sucia por lo que es esencial eliminarla para desinfectar efectivamente, el tratamiento añade un costo extra en el proceso de tratamiento del agua. En este caso se realiza por medio de sulfato de aluminio como floculante en la purificación del agua en el proceso de potabilización.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Este parámetro se encontró entre 3 a 5.99 mg/L, que indica que los datos se encuentra dentro del rango de clasificación de buena calidad (aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable) según la concentración de DBO; la excepción fue el mes de abril, que presento el dato más alto de 7.03 mg/L, que lo ubica dentro del rango de aceptable, aguas superficiales con indicio de contaminación, pero con capacidad de autodepuración.

Porcentaje de saturación de oxígeno

El nivel de saturación de oxígeno es la máxima concentración de oxígeno disuelto que puede presentarse en el agua. Los porcentajes más bajos se observaron en el mes de mayo con 67.1% y el más alto en junio, con 112.4%. Este parámetro es influenciado por la temperatura; en aguas frías la concentración del mismo puede ser más alta, los porcentajes altos indican ecosistemas saludables. La cantidad de oxígeno reportada en el río Cucabaj, se encuentra en los parámetros adecuados para proveer condiciones favorables para las especies existentes en el mismo así como la degradación de materia orgánica. La saturación de oxígeno indica que el río se encuentra en buenas condiciones a excepción del mes de junio que reporta una leve sobresaturación lo que podría deberse a las altas condiciones de materia orgánica en ese mes.

Nitrato

Como se observa en la figura 9 la mayor concentración de nitrato se presentó en el mes de junio, esto posiblemente derivado de la utilización de excretas de animales en áreas cercanas al cauce del río. El valor más bajo reportado es de 1.1 mg/L en el mes de noviembre, los más altos se encuentran en los meses de junio y julio con 18.2 y 15.4 mg/L, respectivamente. Por lo que se debe poner especial cuidado para su tratamiento, debido a que podría provocar problemas de salud especialmente en los niños.

Fosfatos

En la Figura 10 se puede observar que el valor más alto de fosfatos presentes fue de 1.6 mg/L en el mes de abril, los valores más bajos fueron reportados en los meses de mayo y julio con 0.1 mg/L. Estos valores indican que existe una leve contaminación por residuos de detergentes y/o fertilizantes derivados de las actividades antrópicas que se realizan en las cercanías del río, identificando dentro de las principales causas la presencia de animales de pastura, actividades agrícolas y descargas de aguas domésticas en el área.

Sólidos disueltos

En el río Cucabaj los sólidos disueltos se encontraron entre 20 y 33 mg/L reportando la menor concentración en el mes de mayo y la mayor en el mes de septiembre. Según la estacionalidad de las épocas marcadas en el país, seca y lluviosa, al finalizar la primera en los meses de abril y mayo los sólidos disueltos aumentaron; y en los meses lluviosos de junio a octubre disminuyeron. Esto debido a que a bajos flujos, el agua se obtiene de las reservas con una relativa alta concentración de sólidos disueltos, debido a encontrarse durante mucho tiempo dentro del suelo y las rocas. En contraste, si el caudal es elevado, la mayoría de agua se traslada rápidamente por el río y tienen menos oportunidad para que el soluto se incorpore a la disolución.

Coliformes fecales

El número más probable de coliformes fecales tiene el nivel más bajo en el mes de junio (17 NMP) y el más alto en el mes de septiembre (>16,000 NMP); este es un parámetro que nos brinda información que puede indicar la necesidad de aplicar tratamientos de potabilización al recurso hídrico; de no hacerlo podría provocar enfermedades gastrointestinales en el consumidor.

Cloro total y residual

Las mediciones se realizaron después de añadido el cloro por medio del sistema de cloración con el que cuenta la planta de tratamiento. Con la finalidad de constatar si el procedimiento de cloración fue apropiado. Se realizaron las mediciones después de añadido el cloro, por medio del sistema de cloración con el que cuenta la planta de tratamiento. Se determinó que el mismo funcionaba adecuadamente, a excepción del mes de noviembre, debido a que el día que se muestreó, el sistema se encontraba apagado.

Se tomaron datos de cloro total y cloro residual. El cloro total se subdivide en: cantidad de cloro que va a reaccionar con iones nitratos y que por lo tanto, no representa una cantidad disponible para desinfección (cloro combinado) y cloro residual o cloro libre que representa la concentración de cloro disponible para inactivar los microorganismos causantes de enfermedades.

Al analizar la muestra se determinó que cuando se le agregó cloro al agua inmediatamente no presentó cloro libre debido a que el cloro reacciona con los compuestos minerales presentes y posteriormente inicia su incremento; razón por la cual el valor de cloro residual mostrado fue tan bajo. Es importante mencionar que es buena práctica el mantener un cloro residual libre de 0.2 a 0.3 mg/L después de 10 minutos de contacto. Considerando lo anterior los niveles de cloro residual de

los meses de junio, septiembre, octubre y noviembre se encuentran por debajo del nivel establecido lo que nos indica que la cantidad de cloro aplicada no es suficiente para que esta pueda llegar hasta el consumidor final; en condiciones de desinfección adecuada por lo que esta se debe de verificar recalcular para una buena aplicación del cloro previo a la distribución a la población. Con respecto a los niveles de cloro total se encuentran sobre el nivel adecuado a excepción de noviembre que el sistema de cloración se encontraba apagado.

Costos de cloración. La cantidad de pastillas de hipoclorito de calcio utilizadas durante el periodo de estudios no tuvo una variación considerable mes a mes. Presentando un costo promedio mensual durante el proyecto de Q.3, 473.68, por lo que la diferencia en costos no fue representativa, a excepción de los meses de mayo (Q.1,815.79) y junio (Q.1,763.16) que la cantidad fue menor con respecto a los otros meses. Esto influenciado principalmente por el mantenimiento de la tubería que se dio en estos meses, lo que provoco la reducción del caudal en la entrada a la planta de tratamiento; la inversión total durante el proyecto fue de Q.34,736.84.

Índice de calidad de agua WQI_{NSF}

El índice de calidad de agua del río Cucabaj se encuentran dentro de un rango WQI 54.785 a 79.262 reportando el menor valor con respecto a la calidad en el mes de septiembre y el mayor valor con respecto a la calidad el mes de noviembre. Dentro de la clasificación de calidad la mayoría de los meses se encuentran dentro de un rango de calidad medio; tomando en cuenta que el uso es para agua potable, se considera contaminada, por lo que para su utilización necesita tratamiento de potabilización. Solamente los meses de octubre, noviembre y enero se encuentran dentro del rango de clasificación de calidad buena, pero bajo el criterio de uso para consumo humano, se considera levemente contaminada, por lo que no es recomendable utilizarla sin purificación.

Índice de contaminación por materia orgánica

El índice de contaminación por materia orgánica se encuentran dentro del rango de 0.14 para el mes de mayo y 0.47 para el mes de julio lo que determina una contaminación muy baja a media; encontrando que los meses de mayo, junio y diciembre se clasifica en la categoría de muy baja por materia orgánica, los meses de abril, agosto, septiembre, noviembre y enero muestran una contaminación baja; y contaminación media en los meses de julio y octubre.

Índice de contaminación por sólidos suspendidos

Del mes de abril a noviembre el índice de contaminación por sólidos suspendidos es 0 por lo que se considera que su contaminación es muy baja; para los meses de diciembre y enero no se determinar los sólidos suspendidos y por ende el índice, debido al cambio de laboratorio, esto por el cese de labores en el laboratorio de la universidad por periodo de vacaciones, y el nuevo laboratorio no realizaba este tipo de análisis.

Índices de contaminación por mineralización

Los índices de contaminación por mineralización se encuentran dentro de un rango de 0.026 para septiembre a 0.047 para el mes mayo; indicando que para el periodo de estudio del mes de abril a noviembre su clasificación es contaminación muy baja; para los meses de diciembre y enero no se pudo determinar la alcalinidad por la razón antes mencionada.

Agradecimiento

Este proyecto fue financiado por la Dirección General de Investigación (proyecto 4.8.63.2.32). Agradecemos al personal de la municipalidad de Santa Cruz del Quiché, al Ing. Carlos Lux y grupo de fontaneros a su cargo por el acompañamiento y colaboración en la realización de esta investigación. También el apoyo recibido por el personal administrativo y autoridades del Centro Universitario de Quiché y al personal del Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina de la Facultad de Ingeniería de la USAC por la comprensión, atención y colaboración en la realización de la presente investigación.

Referencias

American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, American Public Health Association (1999). *Standard methods for the examination of water and wastewater.* Washington, D.C.: Author.

Boulder Community Network. (2005). *National sanitation foundation water quality index*. Boulder: Autor. Recuperado de: http://bcn.boulder.co.us/basin/watershed/ wqi_nsf.html

Díaz, L. (2010). *Estudio comparativo de índices de calidad del agua mediante la aplicación y evaluación de un modelo armonizado en Latinoamérica, caso de estudio río Loa.* (Tesis de Maestría). Universidad Católica del Norte, Chile. Recuperado de http://www.llave.connmed.com.ar/ personalizaciones/noticias_archivos/21288.pdf

Fernández, N.J. y Solano, F. (2005). Índice de Calidad de Agua (ICAs) e Índices de Contaminación (ICOs) de Importancia Mundial. En Autor (Eds.), *Índices de calidad y de contaminación del agua* (pp. 43-113). Pamplona, Colombia: Vicerrectoría de Investigación.

Hach Company (2000). *Manual de análisis de agua*. Loveland, CO: Autor.

Jiménez, M. y Vélez, M. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Avances en Recursos Hidráulicos,* (14), 63-69.

Lentini, E. (2010). *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito.* Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Moraña, L.B., Salusso, M.M. y García, M.O. (2000). Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del Río Grande (Alta Cuenca del Bermejo, Jujuy). En *memorias del XVIII Congreso Nacional del Agua* (pp. 285- 287). Santiago del Estero, Argentina.

Organización Mundial de la Salud. (2009). *Medición del cloro residual en el agua. (Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud)*. Washington, D.C.: Autor. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/texcom/desastres/opsguia11.pdf.

Ramírez, J. (2003). *Línea base en calidad de agua para la cuenca del río Valdivia*. (Tesis de Licenciatura). Departamento de Ingeniería Geográfica, Universidad de Santiago de Chile, Chile. http://www.digeo.cl/ doc/Ramirez_Pavez_Jeanett.pdf.

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2010). *Plan de desarrollo Santa Cruz del Quiché, Quiché.* Guatemala: Autor. Recuperado de http://www.segeplan.gob.gt/2.0/index.php?option=com_k2& view=item&id=279:plan-de-desarrollo-del-municipio-de-santa-cruz-del-quich% C3%A9.

Torres. F. (2009). *Desarrollo y aplicación de un índice de calidad de agua para ríos en Puerto Rico.* (Tesis de master inédito). Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico. Recuperado de http://prwreri.uprm.edu/ publications/PR_2009_ 01.pdf

Torres, P., Cruz, C. y Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. *8*(15), 79-94.

Unión Mundial para la Naturaleza. (2005). *Plan de monitoreo para sistemas de abastecimiento del río o nacimiento en el sur de Ahuachapán*, *El Salvador, C.A*. *(Proyecto Manejo integrado de cuencas asociadas al complejo hidrográfico El Imposible-Barra de Santiago, Ahuachapán, El Salvador)*. El Salvador: Autor. Recuperado de https://portals.iucn.org/library/sites/ library/files/documents/2005-123.pdf.

Ciencia, Tecnología y Salud
Vol. 1 Num. 1 2014
ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso)

Artículo Científico / Scientific Article

Evaluación de la producción de cuerpos fructíferos de cepas guatemaltecas del hongo comestible Rukoxil Tunay Che' (*Agrocybe cylindracea* (DC.) Maire.) en diferentes sustratos

María del Carmen Bran, Roberto Cáceres, Natalia Gurriarán, Osberth Morales, Roberto Flores

Escuela de Química Biológica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia,
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

***Autor al que se dirige la correspondencia:** mdcbran@yahoo.com

Recibido: 04 de septiembre 2014 / **Aceptado:** 08 de Octubre 2014 / **Disponible en línea:** 24 de noviembre 2014

Resumen

En el presente estudio se determinó la producción de cuerpos fructíferos de cinco cepas nativas de *Agrocybe cylindracea* sobre tres sustratos y dos tratamientos térmicos, a través del porcentaje de eficiencia biológica y la medición del diámetro de los píleos. Se encontró que el mayor porcentaje de eficiencia biológica de las cepas en los sustratos evaluados fue 115.84 %, que correspondió al sustrato constituido por 29% paja de trigo mas 1% de harina de soya pasteurizado y obtenido por la cepa 58.01, la cual también produjo las mayores eficiencias biológicas en todos los sustratos evaluados. Al confrontar el porcentaje de eficiencia biológica en los diferentes sustratos, todas las cepas presentaron valores altos en el sustrato compuesto por 28% de paja de trigo, 1% harina de soya y $CaCO_3$. Con respecto al diámetro de los cuerpos fructíferos, las cepas 58.01, 59.01, 60.01 y 638.08 produjeron píleos menores de 2 cm, entre 2-4 cm y mayores a 4.0 cm en los diferentes sustratos y tratamientos, excepto la cepa 59.01 que en el sustrato formulado con 29% de paja de trigo y 1% de harina de soya, solo produjo cuerpos fructíferos con píleos menores a 2 cm y entre 2-4 cm. En el análisis proximal de los basidiomas de las cepas evaluadas se obtuvo un alto porcentaje de proteínas, fibra cruda y carbohidratos, así como bajo porcentaje de grasas. Se recomienda que en futuras investigaciones o transferencia de tecnología a comunidades o entidades interesadas en el cultivo de este hongo, utilizar paja de trigo suplementada con harina de soya y como regulador de pH $CaCO_3$, ya que en dicho sustrato se obtuvieron los mayores porcentajes de eficiencia biológica para la producción de cuerpos fructíferos de *A. cylindracea.*

Palabras claves: Hongos comestibles, sustratos, cuerpo fructífero**,** eficiencia biológica, tratamiento térmico.

Abstract

This study determined the production of fruiting bodies of five native strains of *Agrocybe cylindracea* over three different substrates and two heat treatments, by the biological efficiency percentage and the measurement of diameters of pileus. The major percentage of biological efficiency found from the strains in the evaluated substrates was 115.84%, and corresponded to the substrate formulated by 29% of wheat straw and 1% of pasteurized soy flour, and obtained from the strain 58.01, which also produced the major biological efficiencies in all of the evaluated substrates. When confronting the percentage of biological efficiency in the different substrates, all the strains presented high values in the substrate comprising 28% of wheat straw, 1% of soy flour and $CaCO_3$. In relation to the diameter of the fruiting bodies, the strains 58.01, 59.01, 60.01 and 638.08 produced pileus less than 2 cm, between 2-4 cm and greater than 4 cm in the different substrates and treatments, excepting the strain 59.01 which in the substrate formulated with 29% of wheat straw and 1% of soy flour, only produced fruiting bodies with pileus less than 2 cm and between 2-4 cm. In the chemical proximate analysis of the fruiting bodies of the tested strains, a high percentage of proteins, crude fiber and carbohydrates was obtained, and also a low percentage of fats. For future research or when transferring the technology to communities interested in mushroom cultivation, the utilization of wheat straw supplemented with soy flour and as a regulator of pH $CaCO_3$ is recommended, as in this substrate the highest percentages of biological efficiency for the production of fruiting bodies of *A. cylindracea* where obtained.

Keywords: Edible mushrooms, fruiting bodies, substrates, biological efficiency, heat treatment.

La reproducción total o parcial del contenido e imágenes de esta publicación se rige de acuerdo a normas internacionales sobre protección a los derechos de autor, con criterio especificados en la licencia Creative Commons (CC BY-NC-SA 4.0)

Introducción

Desde hace muchos siglos, los hongos comestibles silvestres han jugado un importante papel en la alimentación humana. Datos recientes demuestran que la producción comercial de hongos comestibles frescos es una actividad industrial de rápido crecimiento y representa cerca de $5x10^6$ toneladas por año. Durante el período de 1995 a 2005, la producción mundial de hongos se incrementó en un 35.9% y el monto económico global se ha estimado en más de 9.8 billones de dólares por año, tan solo para el cultivo de *Agaricus, Lentinula, Pleurotus, Volvariella, Flammulina, Tremella,* entre otros (Kües & Liu, 2000).

En la actualidad, algunos estudios se han centrado en la búsqueda de nuevas especies de hongos comestibles silvestres factibles de ser cultivadas (Omarini, Lechner & Albertó, 2009; Lechner & Albertó, 2011). *Agrocybe cylindracea* (DC.) Maire. (*Cyclocybe cylindracea* (DC.) Vizzini & Angelini) conocida anteriormente como *A. aegerita,* es una especie comestible silvestre que se cuenta entre las más apreciadas en el occidente de Guatemala y además por ser un hongo capaz de degradar sustratos lignocelulósicos, posee gran potencial de ser cultivada sobre diversos desechos agrícolas y forestales que se generan en el país.

La Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) ha financiado estudios que documentan su uso tradicional (Bran, Morales, Cáceres y Flores, 2003a, 2003b; Morales, Bran y Cáceres, 2010), el aislamiento de varias cepas nativas a nivel de laboratorio, la evaluación del crecimiento micelial en diferentes medios de cultivo y temperaturas y la producción de inóculo en diferentes granos de cereales (Bran, Morales, Flores, Cáceres y Gurriarán, 2009). Sin embargo, se hace necesario realizar estudios que evalúen la producción de cuerpos fructíferos en condiciones artesanales, en diferentes sustratos y tratamientos térmicos. Por tal razón, en este estudio se estableció la mejor cepa, sustrato y tratamiento térmico para la producción de cuerpos fructíferos de *A. cylindracea*, para posteriormente utilizar los datos en la transferencia tecnológica a comunidades campesinas.

Materiales y métodos

Cepas de *A. cylindracea*

Las cepas utilizadas fueron aisladas de especímenes silvestres encontrados entre el 2001 al 2008. Las cepas se encuentran depositadas en el Cepario de Hongos Saprobios y Micorrícicos del Departamento de Microbiología, Escuela de Química Biológica; Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Los códigos y procedencia de las cinco cepas evaluadas son: 58.01, 59.01, 60.01 (San Antonio Sacatepéquez, San Marcos), 112.02 y 638.08 (Tecpán, Chimaltenango).

Revitalización y producción de biomasa de las cepas

Las cepas se sembraron en Agar Papa Dextrosa (PDA) y se incubaron a 18°C por dos semanas. Posteriormente se resembraron en Agar Extracto de Malta (AEM) y se incubaron a 18°C durante tres semanas.

Producción de inóculo

El inóculo se preparó utilizando granos de trigo según lo recomendado por Quimio & Chang (1990) y Bran et al. (2009). Los granos se hidrataron por 24 h hasta alcanzar aproximadamente el 80% de humedad. Luego se sometieron a un proceso de cocción durante 20 min. Se dejó enfriar y posteriormente se colocaron 200 g de trigo húmedo más $CaCO_3$ (1% p/p) como regulador de pH, en bolsas de polipapel. Las bolsas con los granos se esterilizaron 1 h a 121ºC y 1.0 kg/cm^2 de presión. Posterior a este tratamiento se dejaron enfriar. Después cada bolsa se inoculó con cinco fragmentos de un tamaño aproximado de 1 cm^2 que contenía AEM y micelio de la cepa respectiva. Luego se incubaron a 26°C hasta que se observó la colonización completa de los granos de trigo con el micelio.

Sustratos para la fructificación

Se utilizaron 3 sustratos de acuerdo con lo recomendado por Uhart y Albertó (2007, 2009) y Uhart, Piscera y Albertó (2008): Sustrato 1, 29% de paja de trigo más $CaCO_3$ (1% p/p) como regulador de pH. Sustrato 2, 29% de paja de trigo más harina de soya (1% p/p) como suplemento. Sustrato 3, 28% de paja de trigo más harina de soya (1% p/p) y $CaCO_3$ (1% p/p). A todos los sustratos se les agregó 200 ml de agua para obtener una humedad del 70%.

Tratamiento térmico de los sustratos

Se prepararon 450 unidades de 1 Kg en base húmeda de cada uno de los sustratos y se trataron por dos métodos térmicos.

Esterilización (E)

Se colocó cada uno de los sustratos en bolsas de polipropileno con un tamaño de 48.3 x 20.3 x 12.7 cm, con filtro de 3.8 x 3.8 cm, con poro de 0.2 µm y se esterilizaron por 2.5 h 121ºC y 1.0 kg/cm^2. Este procedimiento se realizó 2 veces con el mismo sustrato.

Pasteurización (P)

Se colocó cada sustrato en bolsa de manta y se pasteurizaron por inmersión en agua caliente a 90°C durante dos h.

Al final, para cada cepa, se obtuvieron 15 repeticiones por sustrato y por método de tratamiento térmico codificados así: E1, E2 y E3 (tratados por esterilización) y P1, P2 y P3 (tratados por pasteurización), para un total de 90 unidades experimentales por cepa. Se determinó el porcentaje de humedad a una muestra aleatoria por sustrato y tratamiento térmico.

Inoculación e incubación del micelio en los sustratos

El procedimiento fue realizado de acuerdo con lo recomendado por Chang y Miles (2004) y Uhart et al. (2008). Cada unidad de producción de los respectivos sustratos, fue inoculada con 130.0 g de trigo que contenía el micelio de la respectiva cepa. Al inicio se les colocó un respiradero con gasa estéril, luego se utilizaron bolsas de polipropileno con respiradero incorporado. Posteriormente se incubaron a temperatura ambiente (22-26°C) y en oscuridad hasta que el micelio colonizó totalmente el sustrato.

Fructificación

El procedimiento se realizó de acuerdo con lo recomendado por Uhart et al. (2008). Cuando las unidades de producción de los respectivos sustratos estuvieron colonizados por el micelio de cada una de las cepas utilizadas en el presente estudio, estas fueron trasladadas a un módulo de producción cerrado y exclusivo para el cultivo de hongos comestibles, el cual estaba iluminado con luz natural difusa y ventilación para favorecer la fructificación. Los cuerpos fructíferos obtenidos se pesaron (g) y la producción se expresó en términos de porcentaje de eficiencia biológica, que es la relación en porcentaje entre el peso fresco de los cuerpos fructíferos y el peso seco del sustrato empleado (%EB = (Peso fresco de los cuerpos fructíferos/peso seco de los sustratos) x 100). Los parámetros medioambientales fueron temperatura (22-26°C) y humedad (70-80%).

Determinación del diámetro de los píleos

Paralelamente se midió el diámetro de cada píleo (cm) y se clasificaron según el siguiente parámetro: grupo 1 (G1) menor de 2.0 cm, grupo 2 (G2) entre 2.0 y 4.0 cm y grupo 3 (G3) mayor de 4.0 cm.

Análisis químico proximal de los cuerpos fructíferos

Se realizó según la metodología propuesta por la Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) (2000) y Bateman (1970): materia seca (AOAC 930.15), proteína cruda (AOAC 976.05), fibra cruda (AOAC 962.09), cenizas (AOAC 942.05), extracto etéreo (Bateman 9.110) y extracto libre de nitrógeno (Bateman 10.200). Este análisis fue efectuado en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Análisis de la información

Se efectuaron análisis de varianza y prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha = 0.05$), para evidenciar las diferencias significativas en función de la eficiencia biológica obtenida para cada una de las cepas en los diferentes sustratos y tratamientos. Además se elaboraron gráficas de interacción. También se calculó la media y la desviación estándar a los diferentes grupos de diámetros de los píleos obtenidos.

Resultados

Se observó que el mayor porcentaje de eficiencia biológica correspondió a la cepa 58.01 en el sustrato P2 (115.84%), seguida por esta misma cepa en el sustrato P3 (100.58%), luego por la cepa 60.01 en el sustrato E3 (95.85%) y después por la cepa 58.01 en el sustrato P1

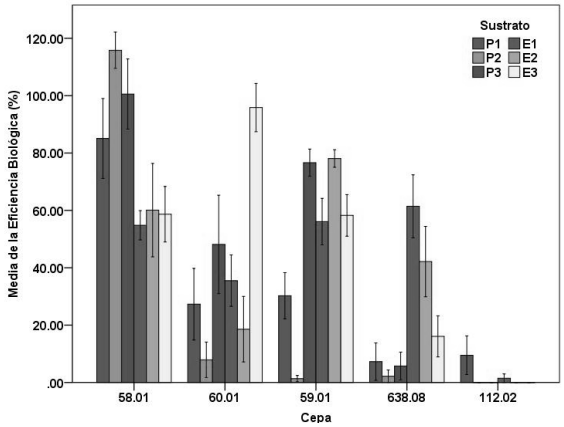


Figura 1. Porcentaje de eficiencia biológica de las cepas de *A. cylindracea* en diferentes sustratos. Las barras representan la media del porcentaje de eficiencia biológica obtenido en los sustratos evaluados. Las barras de error indican ± la desviación estándar de la media a 95% de intervalo de confianza.

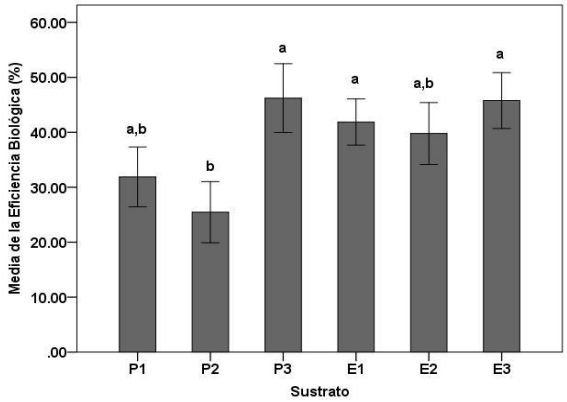


Figura 2. Efecto general de los sustratos sobre el porcentaje de eficiencia biológica de las cepas de *A. cylindracea.* Las barras representan la media del porcentaje de eficiencia biológica obtenida en los sustratos evaluados. Las barras de error indican ± la desviación estándar de la media a 95% de intervalo de confianza. Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (α = 0.05).

(85.09%), finalmente por la cepa 59.01 en los sustratos E2 (78.08%) y P3 (76.65%) (Figura 1).

Entre estas cepas, sustratos y tratamientos térmicos no existió diferencia significativa (p>0.05). La cepa 112.02 no produjo cuerpos fructíferos en los sustratos E2, E3, P2 y P3 y los porcentajes de eficiencia biológica obtenidas en los sustratos E1 y P1 fueron de 1.49 y 9.50%, respectivamente. El porcentaje de eficiencia biológica más bajo se observó en la cepa 59.01 sobre el sustrato P2 (1.34%) (Figura 1).

Se observó que el porcentaje de eficiencia biológica fue mayor en el sustrato P3, sin embargo no se observó diferencia significativa con los sustratos E3, E1, E2 y P1 (p>0.05). El sustrato en el que se encontró el menor porcentaje de eficiencia biológica fue P2 (Figura 2).

La producción de cuerpos fructíferos de las cepas nativas en todos los sustratos evaluados, mostró que el mayor porcentaje de eficiencia biológica se encontró con la cepa 58.01, que fue significativamente diferente con respecto a las demás (p = 0.000). Entre las cepas 60.01 y 59.01 no existió diferencia significativa (p = 0.156). Las cepas 638.08 y 112.02 fueron significativamente diferentes a las demás (p<0.05). Esta última cepa presentó el porcentaje de eficiencia biológica más bajo (Figura 3).

Las cepas 58.01, 59.01, 60.01 y 638.08 produjeron píleos de las tres categorías (G1, G2 y G3), excepto la cepa 59.01 que solo produjo cuerpos fructíferos de

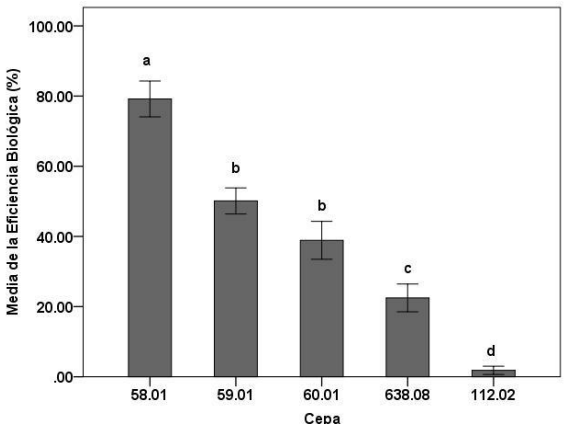


Figura 3. Comportamiento general del porcentaje de eficiencia biológica de las cepas de *A. cylindracea,* en todos los sustratos evaluados. Las barras representan la media del porcentaje de eficiencia biológica obtenida en los sustratos. Las barras de error indican ± la desviación estándar de la media a 95% de intervalo de confianza. Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (α = 0.05).

las categorías G1 y G2 en el sustrato P2. La cepa 59.01 obtuvo el mayor diámetro de los píleos en el sustrato en el sustrato E2, la cepa 60.01 en el sustrato E3, la cepa

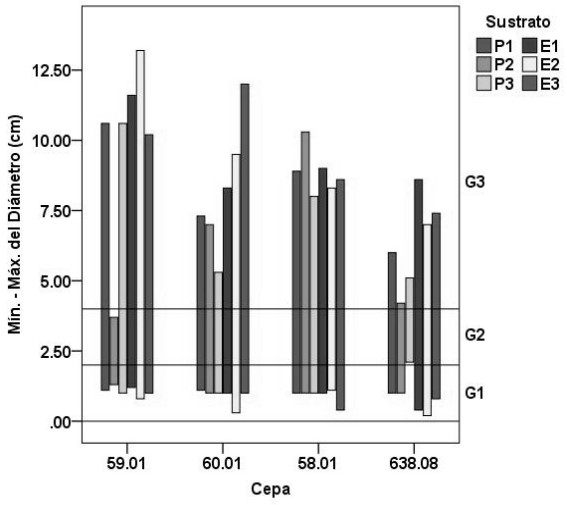


Figura 4. Clasificación de los píleos producidos por las cepas de *A. cylindracea*, en diferentes sustratos con base al diámetro. Las barras representan los rangos de los valores mínimos y máximos del diámetro de los píleos. Las líneas horizontales indican los grupos de clasificación de los píleos, G1, G2 y G3.

58.01 en el sustrato P2 y la cepa 638.01 en el sustrato E1 (Figura 4).

En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis proximal de los basidiomas de cuatro de las cepas analizadas. Se observó que los basidiomas de las cepas evaluadas presentan un alto porcentaje de proteínas, fibra cruda, y carbohidratos así como bajo porcentaje de grasas.

Discusión

A. cylindracea es un hongo comestible que se ha utilizado como alimento o como saborizante en varios países, como consecuencia de su agradable sabor (S. Tsai, Tsai, & Mau, 2008). Debido a esto, su cultivo se ha extendido principalmente en países como China, Tailandia, Japón, Alemania, Grecia, Italia y España. En Guatemala, De León, Lau, Vallejo y Klee (2012), estudiaron los requerimientos fisiológicos que inciden en el crecimiento miceliar y la degradación del sustrato por *A. cylindracea* en paja de cebada. También se ha estudiado el cultivo experimental de cepas en Argentina (Uhart et al., 2008).

Es interesante observar que los mayores porcentajes de eficiencia biológica se obtuvieron principalmente con la cepa 58.01, lo cual demostró que esta cepa fue más efectiva que las demás para producir cuerpos fructíferos en los sustratos evaluados (Chang & Miles, 2004). Las cepas 60.01 y 59.01 también tienen gran capacidad de colonización pero son menos eficientes. Es importante señalar que los valores del porcentaje de eficiencia biológica obtenidos en esta investigación, fueron más altos que los obtenidos por estas mismas cepas en un trabajo anterior (Bran et al., 2009), en el cual, todas las cepas colonizaron el sustrato compuesto por paja de trigo pero la única cepa que logró fructificar fue la 638.08 con un porcentaje de eficiencia biológica de 15.23%. En el actual trabajo se usó paja de trigo suplementada con harina de soya y la cepa 638.08 alcanzó su mejor porcentaje de eficiencia biológica en el sustrato E1. Esta cepa obtuvo porcentajes de eficiencia biológica más bajos en los sustratos P1, P2 y

Tabla 1

Análisis químico proximal de cuerpos fructíferos de A. cylindracea

A. cylindracea					Porcentaje (%)*			
Cepa	Base	Agua	M.S.T.[1]	E.E.[2]	F.C.[3]	P.C.[4]	Cenizas[5]	E.L.N.[6]
58.01	Seca	11.68	88.32	0.40	18.04	32.03	8.05	41.48
59.01	Seca	10.43	89.57	1.08	24.15	28.50	7.91	38.36
60.01	Seca	11.72	88.28	0.68	32.77	30.82	7.52	28.22
638.01	Seca	07.93	92.07	0.67	15.84	28.06	9.74	45.69

Nota. *Porcentaje en base seca, [1] Materia seca total, [2] Extracto etéreo (grasas), [3]Fibra cruda, [4] Proteína cruda, [5]Cenizas: minerales totales o material inorgánico. [6] Extracto libre de nitrógeno (carbohidratos digeribles, vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados).

P3, debido a la contaminación de los mismos por otros microorganismos, por las desventajas del tratamiento térmico del sustrato por pasteurización. Sin embargo es de hacer notar que el micelio creció en un tiempo promedio de 45-60 días.

En un estudio efectuado en Argentina, se determinó que una cepa guatemalteca (558/03) colectada en Tecpán, Chimaltenango, cultivada en paja de trigo no suplementada, alcanzó un porcentaje de eficiencia biológica aproximada del 28% (Uhart et al., 2008). Al respecto, las cepas evaluadas en este estudio obtuvieron en general mayores porcentajes de eficiencia biológica. También, la cepa 638.08 procedente de la misma localidad, obtuvo mayores porcentajes de eficiencia biológica en paja de trigo con harina de soya (42.15%) y paja de trigo con $CaCO_3$ (61.43%).

La variación del porcentaje de eficiencia biológica entre cepas, puede deberse también a que la producción de cuerpos fructíferos depende del genotipo de cada una de ellas, lo que se refleja también en la producción de exoenzimas extracelulares, lo cual, en el caso de *A. bisporus,* se correlaciona con la fructificación (Uhart et al., 2008; Wood, 1985). En este estudio, la variabilidad se evidenció en el hecho que la cepa 58.01 obtuvo el mayor porcentaje de eficiencia biológica en el sustrato P2, en tanto que la 59.01 la obtuvo en el E2, la 60.01 en el E3, la 638.08 en el E1 y la 112.02 en el P1. Además se debe considerar que la fructificación es un proceso que depende de varios estímulos externos como la temperatura, la iluminación, la humedad y las fuentes de nitrógeno presente en los sustratos (Luang et al., 2010). Al respecto, cada una de las cepas pueden tener condiciones óptimas de fructificación específicas y dado que el presente estudio se llevó a cabo en condiciones ambientales no controladas, similares a las que se dan en los módulos artesanales de cultivo de hongos, esto pudo influir en la variabilidad del porcentaje de eficiencia biológica.

Se observó que el sustrato compuesto por paja de trigo suplementado con harina de soya y $CaCO_3$, pasteurizado (P3) o esterilizado (E3) presentaron los mayores porcentajes de eficiencia biológica. Lo anterior puede indicar que se obtienen mejores resultados al utilizar un suplemento y un regulador de pH, independientemente de si se pasteuriza o esteriliza. El hecho de que entre los tratamientos de pasteurización y esterilización no exista diferencia significativa, origina consecuencias importantes en la transferencia de tecnología, debido a que es mucho más fácil y económico utilizar la pasteurización. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que dicho proceso solo elimina las células vegetativas de los microorganismos contaminantes (Madigan, Martinko, Dunlap & Clark, 2009).

En general no se observó un claro efecto de la suplementación de los sustratos, ya que los porcentajes de eficiencia biológica fueron variables, y como ya se ha mencionado anteriormente, puede depender del genotipo de la cepa. Sin embargo, el efecto del $CaCO_3$ es amortiguar los cambios del pH durante el crecimiento del hongo y promover el crecimiento apical de las hifas, así como en la diferenciación y esporulación de diferentes especies de hongos, tales como *A. bisporus* y *Cyathus stercoreus* (Chang & Miles, 2004; Coello-Castillo, Sánchez, & Royse, 2009). El efecto de la harina de soya es proveer una fuente de nitrógeno necesaria para el crecimiento micelial y la producción de las enzimas degradativas, lo cual influye en la fructificación (Chang & Miles, 2004; Wood, 1985). Por lo anterior es importante suplementar la paja de trigo, para proveer de nitrógeno y calcio al hongo, sin embargo se debe trabajar bajo condiciones controladas.

La cepa 112.01 obtuvo el porcentaje de eficiencia biológica más bajo y fue significativamente diferente a las demás. Esto puede deberse a que dicha cepa no se adaptó a los sustratos probados o bien a que haya perdido potencia en la capacidad de fructificación por múltiples pases a nivel de laboratorio, ya que el micelio de la mayoría de hongos disminuye su viabilidad en almacenamiento (Labarére y Bois, 2001). Se ha informado que uno de los problemas de las cepas de *A. cylindracea* es que declinan su rendimiento en la producción de cuerpos fructíferos después de consecutivos subcultivos y/o largos períodos de almacenamiento (Uhart et al., 2008).

Otra forma de evaluar la capacidad de las cepas en cuanto a su fructificación es el diámetro de los píleos. Al respecto, en este estudio se encontró mucha variabilidad entre cepas, lo cual se debe posiblemente no solo al genotipo de la cepa como se mencionó anteriormente (Uhart et al., 2008), sino al requerimiento específico de determinado tipo de nutriente necesario para la producción de cuerpos fructíferos (De León et al., 2012), por lo que se recomienda realizar estudios fisiológicos de las cepas.

Al comparar los diámetros de los píleos de los cuerpos fructíferos obtenidos en este trabajo en los sustratos suplementados con harina de soya, con los datos de cepas argentinas comunicados por Uhart et al. (2008), se encontró que las cepas guatemaltecas mostraron diámetros superiores, ya que la mayoría de ellas

superaron los 4.0 cm de diámetro, e incluso, la cepa 59.01 produjo basidiomas con píleos que alcanzaron 13.20 cm de diámetro en el sustrato E2. En la naturaleza *A. cylindracea* produce basidiomas de 4.0 a 25 cm de diámetro en madera de *Sambucus mexicana* (Andrade, 2007), de manera que el máximo diámetro alcanzado por las cepas evaluadas es aproximadamente la mitad de lo que se producen en condiciones naturales.

En cuanto al análisis proximal de los cuerpos fructíferos obtenidos de las cepas nativas de *A. cylindracea* (Tabla 1), se determinó que el contenido de proteína cruda fue mayor que el encontrado por Tsai et al. (2008) y comparable con el de Uhart et al. (2008), para esta misma especie. Sin embargo, este factor puede depender del sustrato donde se haya cultivado el hongo. Con relación a otras especies de hongos comestibles, es comparable con el de *Agaricus bisporus* y más alto que el obtenido para *Lentinula edodes* y *Pleurotus ostreatus* (Chang & Miles, 2004).

El contenido de grasas de los cuerpos fructíferos de las cepas evaluadas fue más bajo que el obtenido en otros trabajo para *A. cylindracea* (Tsai et al., 2008; Uhart et al., 2008), así como para *A. bisporus*, *L. edodes* y *P. ostreatus* (Chang & Miles, 2004).

El contenido de fibra cruda fue más alto que los reportados por Tsai et al. (2008) y Uhart et al. (2008) para *A. cylindracea*. Por otro lado, el contenido de carbohidratos fue comparable con lo reportado para esta misma especie por Uhart et al. (2008) y más bajo que lo informado por Tsai et al. (2008).

En conclusión se puede indicar que los contenidos de proteínas, carbohidratos, fibra cruda y grasas, de las cepas evaluadas, están dentro de los parámetros generales para los hongos comestibles. Es importante hacer notar que los altos contenidos de proteína y fibra cruda y bajos contenido de grasas son beneficiosos para la salud de los seres humanos (Chang & Miles, 2004), por lo que los cuerpos fructíferos de las cepas evaluadas de *A. cylindracea* son recomendables como alimento saludable, como parte de una dieta nutritiva y balanceada para el humano.

El actual trabajo justifica el uso de paja de trigo suplementada con harina de soya y $CaCO_3$ como un regulador de pH del sustrato para la producción de basidiomas de *A. cylindracea* (cepas 58.01, 59.01, 60.01 y 638.08), para ser utilizado en futuras investigaciones y/o transferencia de tecnología a otras comunidades o entidades interesadas en el cultivo de este hongo.

Agradecimientos

A la Dirección General de Investigación (proyecto 4.8.63.7.14) y a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia por el financiamiento otorgado. A los revisores anónimos por las sugerencias y mejoras realizadas a este manuscrito. A la Inga. Liuba Cabrera, coordinadora del Programa Universitario de Investigación en Alimentación y Nutrición, por la asistencia técnica y administrativa.

Referencias

Andrade, C. (2007). *Descripción de las características de cultivo in vitro de cepas nativas de* Agrocybe aegerita (Brigant) Singer. (Tesis de graduación: Química Bióloga) Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala.

Bateman J. (1970). *Nutrición animal. Manual de métodos analíticos*. México D.F: Centro Regional de Ayuda Técnica.

Bran, M., Morales, O., Cáceres, R. y Flores, R. (2003a). Contribución al conocimiento de los hongos comestibles de Guatemala. *Revista Científica, 1*(1), 2-24.

Bran, M., Morales, O., Cáceres. R., y Flores, R. (2003b). *Hongos comestibles de Guatemala: Diversidad, cultivo y nomenclatura vernácula. (Fase III)*. (Inf-2003-30). Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Guatemala.

Bran, M., Morales, O., Flores, R., Cáceres, R. y Gurriarán, N. (2009). *Cultivo de cepas guatemaltecas del hongo comestible Tx'yol B'aqman* (Agrocybe cylindracea *(DC.) Maire): caracterización y producción de cuerpos fructíferos*. (Inf-2009-45). Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Guatemala.

Chang S., & Miles P. (2004). *Mushrooms cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. (2nd. ed.). Boca Raton: CRC Press.

Coello-Castillo, M., Sánchez, J., & Royse, D. (2009). Production of *Agaricus bisporus* on substrates pre-colonizated by *Scytalidium thermophilum* and

supplemented at casing with protein-rich supplements. *Bioresource Technology, 100*, 4488-4492.

De León, R., Lau, D., Vallejo, R. y Klee, C. (2012). Requerimientos fisiológicos que inciden en el crecimiento micelial y la degradación del sustrato por *Agrocybe aegerita.* En J. Sánchez y G. Mata (Eds), *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica, investigación y desarrollo en un entorno multicultural* (pp. 241-254). México: ECOSUR-INECOL.

Kües, U., & Liu, Y. (2000). Fruiting body production in basidiomycetes. *Applied Microbiology and Biotechnology, 54*, 141-152.

Labarére, J. y Bois, F. (2001). La conservación y el uso de los recursos genéticos de *Pleurotus* spp. En J. Sanchez, y D. Royse. (Eds),. *La biología y el cultivo de Pleurotus spp.* (p. 83-123). México D.F.: Limusa.

Lechner, B., & Albertó, E. (2011). Search for new naturally occurring strains of *Pleurotus* to improve yields. *Pleurotus albidus* as a novel proposed species for mushroom cultivation. *Revista Iberoamericana de Micología, 28*(4), 148-154.

Luang, R., Liang, Y., Chen, Y., Liu, H., Jiang, S., Che, T., & Sun, H. (2010). Opposing developmental functions of *Agrocybe aegerita* galectin (AAL) during mycelia differentiation. *Fungal Biology II, 4*, 599-608

Madigan, M., Martinko, J., Dunlap, P. y Clark, D. (2009). *Brock Biología de los microorganismos*. (12ª. ed.). Madrid: Pearson.

Morales, O., Bran, M. y Cáceres, R. (2010). Los hongos comestibles de uso tradicional en Guatemala. En D. Martínez-Carrera, N. Curvetto, M. Sobal, P. Morales, y V. Mora. (Eds). *Hacia un Desarrollo Sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en el Siglo XXI*. (p. 437-464). Puebla: COLPOS-UNSCO-NACYT-AMC-UAEM-UPAEP-IMINAP.

Official Methods of Analysis of AOAC International. (2000) 17th ed. Gaithersburg: AOAC International.

Omarini, A., Lechner, B., & Albertó, E. (2009). Polyporus tenuiculus: a new naturally ocurring mushroom that can be industrially cultivated on agricultural waste. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, *36*, 635-642.

Quimio, T., & Chang, S. (1990). *Technical guidelines for mushroom growing in the tropics*. Roma: Food and Agriculture Organization.

Tsai, S., Tsai, H., & Mau, J. (2008). Non-volatile taste components of *Agaricus blazei, Agrocybe cylindracea* and *Boletus edulis*. *Food Chemistry*, *107*, 977-983.

Uhart, M., & Albertó, E. (2007). Morphologic characterization of *Agrocybe cylindracea* (Basidiomycetes, Agaricales) from America, Europe and Asia. *Revista Mexicana de Micología*, *24*, 9-18.

Uhart, M., & Albertó, E., (2009). Mating test in *Agrocybe cylindracea* sensu lato, recognition of *Agrocybe wrightii* as a novel species. *Mycological Progress*, *8*, 337-349.

Uhart, M., Piscera, J., & Albertó, E. (2008). Utilization of new ocurring strains and supplementation to improve the biological efficiency of the edible mushroom *Agrocybe cylindracea*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 35*, 595-602.

Wood, D. (1985). Production and roles of extracellular enzymes during morphogenesis of basidiomycete fungi. In D. Moore, L. Casselton, D. Wood, & J. Frankland, (Eds), *Developmental biology of higher fungi* (p. 375-387). Cambridge: Cambridge University Press.

Ciencia, Tecnología y Salud
Vol. 1 Num. 1 2014
ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso)

Artículo Científico / Scientific Article

Bioprospección de los hiperparásitos *Cicinobolus cesatii* de Bary y *Eudarluca caricis* (Biv.) O.E. Erikss sobre cultivos y plantas adyacentes en la región central de Guatemala

Gustavo Adolfo Alvarez Valenzuela*, María del Carmen Santos Bravo y Luis Fernando Centes Carrillo

Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)

***Autor al que se dirige la correspondencia:** gusialvarez@yahoo.com

Recibido: 25 de Septiembre 2014 / **Aceptado:** 14 de Octubre 2014 / **Disponible en línea:** 24 de noviembre 2014

Resumen

Se realizó una bioprospección para detectar los hiperparásitos *Cicinobolus cesatii* y *Eudarluca caricis* en la región central de Guatemala para establecer la presencia y la obtención de cepas prometedoras para control biológico. Setecientos seis muestras de plantas silvestres y cultivadas fueron analizadas, en 16 se detectó *C. cesatii* y en 46 *E. caricis*. Las regiones con más detecciones de ambos hiperparásitos fueron San Juan Comalapa y Tecpán Guatemala del departamento de Chimaltenango, emergiendo como una región con alto potencial biológico y variabilidad. Se obtuvieron aislamientos e hicieron comparaciones de estructuras reproductivas y se estableció que existe variabilidad a través de análisis estadístico que marcó diferencias significativas al 5% de significancia al comparar entre cepas de la misma localidad y entre localidades, además de la diferencia entre origen vegetal. También se estableció que hay cepas promisorias de *C. cesatii* aislado de *Physalis* sp. y *E. caricis* aislado de *Prunus* sp., *Zea mays* y *Phaseolus vulgaris*. El estudio pone de manifiesto el potencial de presencia de ambos agentes sobre plantas silvestres o áreas sin aplicación de fungicidas.

Palabras claves: *Cicinobolus cesatii*, *Eudarluca caricis*, bioprospección, hiperparásitos, cepas promisorias, control biológico, *Oidium*, *Uredinales*.

Abstract

Bioprospecting was performed to detect hyperparasites *Cicinobolus cesatii* and *Eudarluca caricis* in central region of Guatemala to establish their presence and obtain promising strains to be use in biological control. Seven hundred and six samples from wild and cultivated plants were analyzed; *C. cesatii* was detected in 16 samples, and 46 cases of *E. caricis*. Both hyperparasites were identified in San Juan Comalapa and Tecpan of Chimaltenango County, having high biological potential and variability. Reproductive structures comparison of the different isolates was made and its variability was established through statistical analysis showing significant differences when they were compare between strains from the same site and between sites, also they showed difference between plant origins. These strains such as *C. cesatii* from Physalis sp. and *E. caricis* from Prunus sp., *Zea mays* and *Phaseolus vulgaris* have a high potential. This research showed a high presence of both agents on wild plants or areas without application of fungicides.

Keywords: *Cicinobolus cesatii*, *Eudarluca caricis*, bioprospección, hiperparásitos, cepas promisorias, control biológico, *Oidium*, *Uredinales*.

La reproducción total o parcial del contenido e imágenes de esta publicación se rige de acuerdo a normas internacionales sobre protección a los derechos de autor, con criterio especificados en la licencia Creative Commons (CC BY-NC-SA 4.0)

Introducción

Guatemala basa su economía en la agricultura, con una amplia diversidad de especies vegetales y los ecosistemas permiten la existencia y biodiversidad de microorganismos.

Las royas (Uredinales, Basidiomycota) y las cenicillas (Erysiphales, Ascomycota) son agentes fitopatógenos que afectan cultivos de importancia, económica y el control por medio de fungicidas genera contaminación ambiental y a humanos, tanto por el contacto directo como por la ingesta de productos de consumo, además de incrementar los costos de producción, pérdidas por rechazo de embarques por el uso de plaguicidas no permitidos que afectan directamente a las empresas exportadoras. *Cicinobolus cesatii* de Bary (*Ampelomyces quisqualis*) y *Eudarluca caricis* (Biv.) O.E. Erikss. (*Darluca filum*) son dos especies cosmopolitas de hongos hiperparásitos en cenicillas y royas respectivamente (Black, 2012; Keener, 1934; Kranz & Brandenburger, 1981; Liesebach y Zaspel, 2004; Placheka, 2005; Sucharzewska, Dinowska & Bozena, 2011; Sztejnberg, Galper y Lisker, 1990; Yuan, Pei, Hunter, & Royle, 1998). En Guatemala previo al presente estudio se desconocía el potencial biológico de estos dos microorganismos que pueden funcionar como biocontroladores, por lo que el objetivo principal fue establecer su presencia en la región bajo estudio, establecer la distribución espacial y caracterizar la variabilidad y potencial para uso en control biológico de ambos microorganismos in situ e in vitro.

Materiales y métodos

Localidades bajo estudio

El estudio se realizó en la región central de Guatemala, en los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Chimaltenango. Los municipios muestreados fueron de Guatemala, San Juan Sacatepéquez, Palencia, San Raymundo y Amatitlán, de Sacatepéquez, Santa María de Jesús, Santiago Sacatepéquez, San Juan Alotenango y Sumpango, y de Chimaltenango, Tecpán Guatemala, Patzún, Patzicía y San Juan Comalapa. El criterio de selección de los municipios fue determinado por densidad de fincas en base al reporte del IV Censo Nacional Agropecuario (Instituto Nacional de Estadística, 2004).

Tipo de muestreo

El estudio se desarrolló de enero a noviembre de 2013, abarco tres departamentos y cuatro municipios por departamento, en total fueron 12 regiones de muestreo. Se definió como punto de muestreo un hospedante a plantas cultivadas con presencia de signos y síntomas de cenicilla *Oidium* sp., o bien algún tipo de roya. El criterio de separación de las muestras fue según el sustrato infectado con cenicilla o roya. La cantidad de muestras obtenidas por sitio de muestreo tuvo como mínimo una, sin tener un límite máximo de especímenes. Se captaron y procesaron 706 muestras, procedentes de Chimaltenango 280, de Sacatepéquez 214 y de Guatemala 212. Los municipios de donde se colectó la mayor cantidad de muestras fueron Patzicía, Chimaltenango 92 y San Juan Sacatepéquez, Guatemala 80.

Variables de respuesta

Incidencia, presencia o ausencia en cada uno de los substratos. Anatomía y morfología, forma de los picnidios, diámetro y longitud de los picnidios, largo y ancho de los conidios. El análisis de las variables se realizó por medio de parámetros que marca cada uno, porcentaje de incidencia, medidas en micras o milímetro, datos de georeferenciación, que se exponen en tablas o gráficas descriptivas y de comparación.

Análisis de la información

Las dimensiones de conidias y picnidios se compararon por medio de la prueba de t de Student, y se cotejaron en tablas para expresar variabilidad. Los datos de georeferencia se utilizaron para la elaboración de mapas de ubicación, así como también para medir la incidencia por municipio y departamento y expresarlo por medios de cuadros comparativos. Los substratos, y hospedantes se analizan en función de incidencia por localidad, taxonomía, y ubicaciones geográficas, se compararan por medio de cuadros y graficas descriptivas.

Aislamiento

Las muestras con presencia de *C. cesatii* o *E. caricis*, se colocaron en cámara húmeda durante 48 horas, según Sztejnberg, Galper, Sholomit y Lisker (1989), esta técnica se emplea para estimular la esporulación de los hiperparásitos. Transcurrido este tiempo se realizó el aislamiento utilizado el método de aislamiento de

esporas con aguja de vidrio en medio agar agua al 3% según la técnica descrita por Goh (1999). Pasadas las 48 horas se procedió al repique de bocados de agar-agua, con un conidio germinado/bocado en agar papa dextroza (PDA), Czapek, MCzapek, y agar extracto de malta (MEA), cada uno con tres repeticiones, se incubaron a 26°C para observar el crecimiento.

Resultados

Se procesaron un total de 706 muestras que fueron captadas a lo largo del ciclo de la investigación. *C. cesatii* se aisló de dos muestras, una procedente de Alotenango y otra procedente de San Raymundo; ambas detectadas sobre *Oidium* sp., patógeno sobre *Carica papaya*. El agente con mayor incidencia fue *E. caricis* el cual fue detectado en 46 muestras. En la Tabla 1 se observan los hospederos y la localización de *E. caricis* para las cepas aisladas.

Cepas promisorias

Aislamiento de *C. cesatii.* Se realizaron aislamientos de 15 muestras de diferentes procedencias y diversidad de hospedantes con presencia de *C. cesatii*, donde dos de ellos desarrollaron colonias en los medios PDA, MEA. La respuesta de desarrollo en medio de cultivo de los puntos de siembra oscila entre 18-20%, el periodo aproximado para el desarrollo en medio MEA fue de 8 semanas, en medio de cultivo MCzapek el hongo no tuvo desarrollo.

Aislamiento de *E. caricis.* Se realizaron 47 cultivos de muestras de diferentes procedencias y diversidad de hospederos con presencia de *E. caricis*, de los cuales 15 desarrollaron crecimiento de colonia en los medios PDA, MEA, MCzapek, y Czapek. El porcentaje de aislamiento fue de 32%, el tiempo aproximado para el crecimiento en medio de cultivo fue de dos semanas.

Diversidad de poblaciones de *C. cesatii*. Se realizó análisis estadístico de prueba para picnidios (largo y ancho) a: (1) Dos sitios con presencia *C. cesatii* en *Brassica* sp.; siendo el resultado que no existe diferencia con un 5% de significancia entre sus picnidios tanto para largo como para ancho. (2) Dos muestras número de correlativo 575 con presencia *C. cesatii* en *Coriandrum* sp. *y Daucus montanus*; siendo el resultado que no existe diferencia con un 5% de significancia entre sus picnidios tanto para largo como para ancho. (3) Dos sitios con *Carica papaya*; siendo el resultado que no

Tabla 1
Cepas aisladas de E. caricis, localización y hospedantes en la Región Central de Guatemala

No.	Procedencia	Correlativo	Sustrato
1	Amatitlán Guatemala	46	*Phaseolus vulgaris*
2	Amatitlán Guatemala	48	*Zea mays*
3	Amatitlán Guatemala	57	*Rosa* sp.
4	Santa María de Jesús Sacatepéquez	296	*Prunus persica*
5	San Juan Sacatepéquez Guatemala	322	*Prunus persica*
6	Sumpango Sacatepéquez	362	*Prunus persica*
7	Sumpango Sacatepéquez	374	*Prunus persica*
8	Sumpango Sacatepéquez	397	*Prunus persica*
9	Tecpán Chimaltenango	490	*Vicia faba*
10	Chimaltenango	504	*Prunus persica*
11	San Juan Comalapa Chimaltenango	577	*Prunus persica*
12	San Juan Comalapa Chimaltenango	585	*Hydrocotyle* sp.
13	San Juan Comalapa Chimaltenango	588	*Prunus persica*
14	San Juan Comalapa Chimaltenango	601	*Prunus persica*
15	San Raymundo Guatemala	672	*Prunus persica*

existe diferencia con un 5% de significancia entre sus picnidios tanto para largo como para ancho.

Diversidad de poblaciones de *E. caricis*. Se realizó análisis estadístico de prueba t de Student para picnidios (largo y ancho) de: (1) Dos muestras positivas correlativo 585, en el cual con un 95% de confianza no hay diferencia significativa en cuanto a largo y ancho de picnidios. (2) En *Prunus* sp., comparándolo con muestras positivas de *Hydrocotyle umbellata* y además con dos localidades de *Prunus persica* (515 y 588) con lo cual con un 95% de confianza existe diferencia significativa en largo y ancho de conidios, la población de *Prunus* sp., es de mayores dimensiones. (3) Dos muestras positivas provenientes del número de correlativo 585, en el cual con un 95% de confianza no hay diferencia significativa en cuanto a largo y ancho de picnidios. (4) *Prunus* sp., comparándolo con muestras positivas de *H. umbellata* y además con dos localidades de *P. persica* (515 y 588) con lo cual con un 95% de confianza existe diferencia significativa en largo y ancho de conidios, la población de *Prunus* sp., es la de mayores dimensiones. (5) En cuatro muestras positivas de *P. persica* (todos contra todos), provenientes de cuatro sitios distintos, con un 95% de confianza no existe diferencia significativa entre estos en cuanto a largo y ancho de los picnidios.

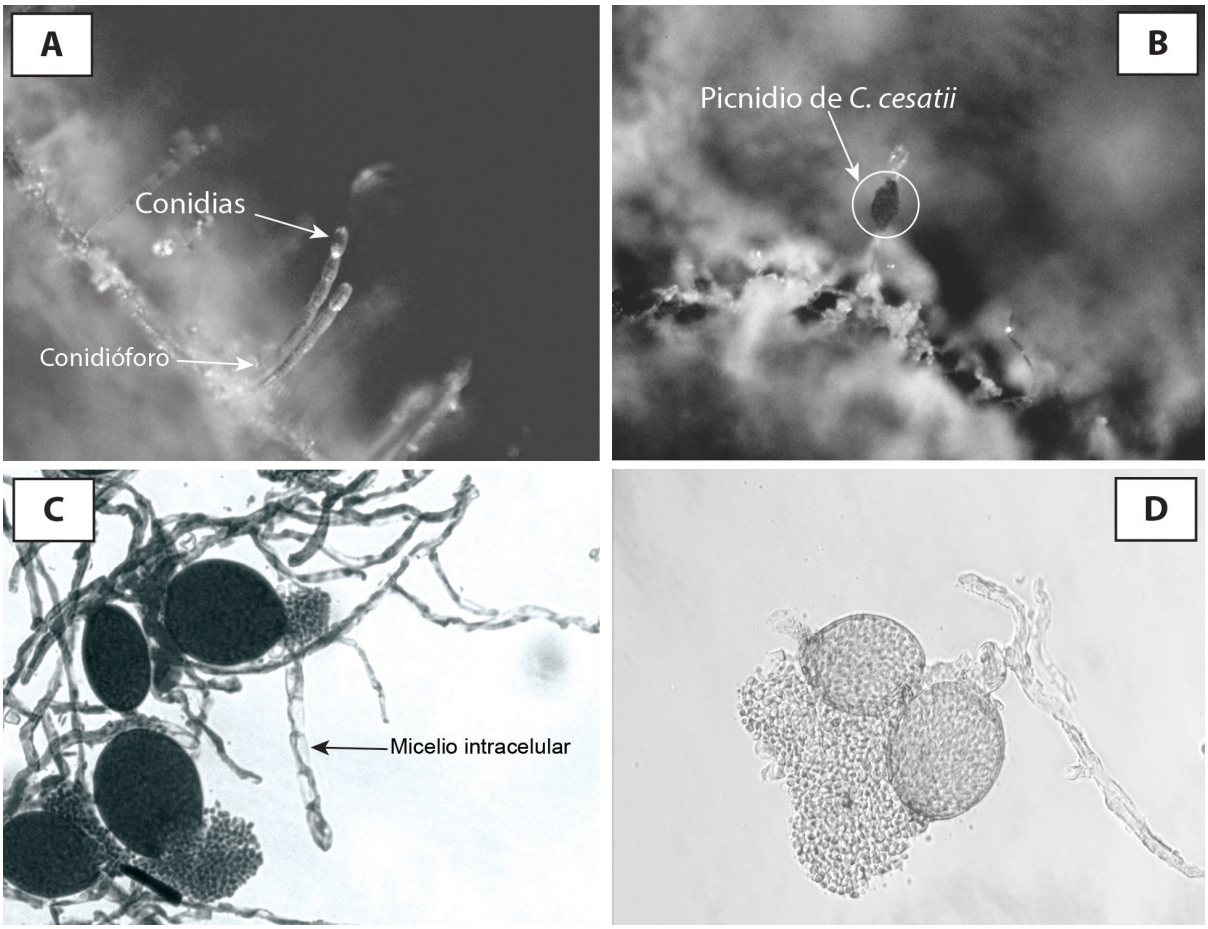


Figura 1. Efecto del hiperparásito *C. cesatii* en *Oidium* sp. **A.** Vista por macroestereoscopio de *Oidium* sp., en la cual se observa la coloración transparente y forma ovoide de sus conidios. **B.** Vista con macroestereoscopio de *Oidium* sp., parasitada por *C. cesatii*, en círculo amarillo se observa la deformación de conidios de *Oidium* sp., **C.** Se observa al microscopio micelio intracelular de *C. cesatii*. **D.** Coloración ámbar de picnidios de *C. cesatii* y de micelio de *Oidium* sp., causada por el parasitismo.

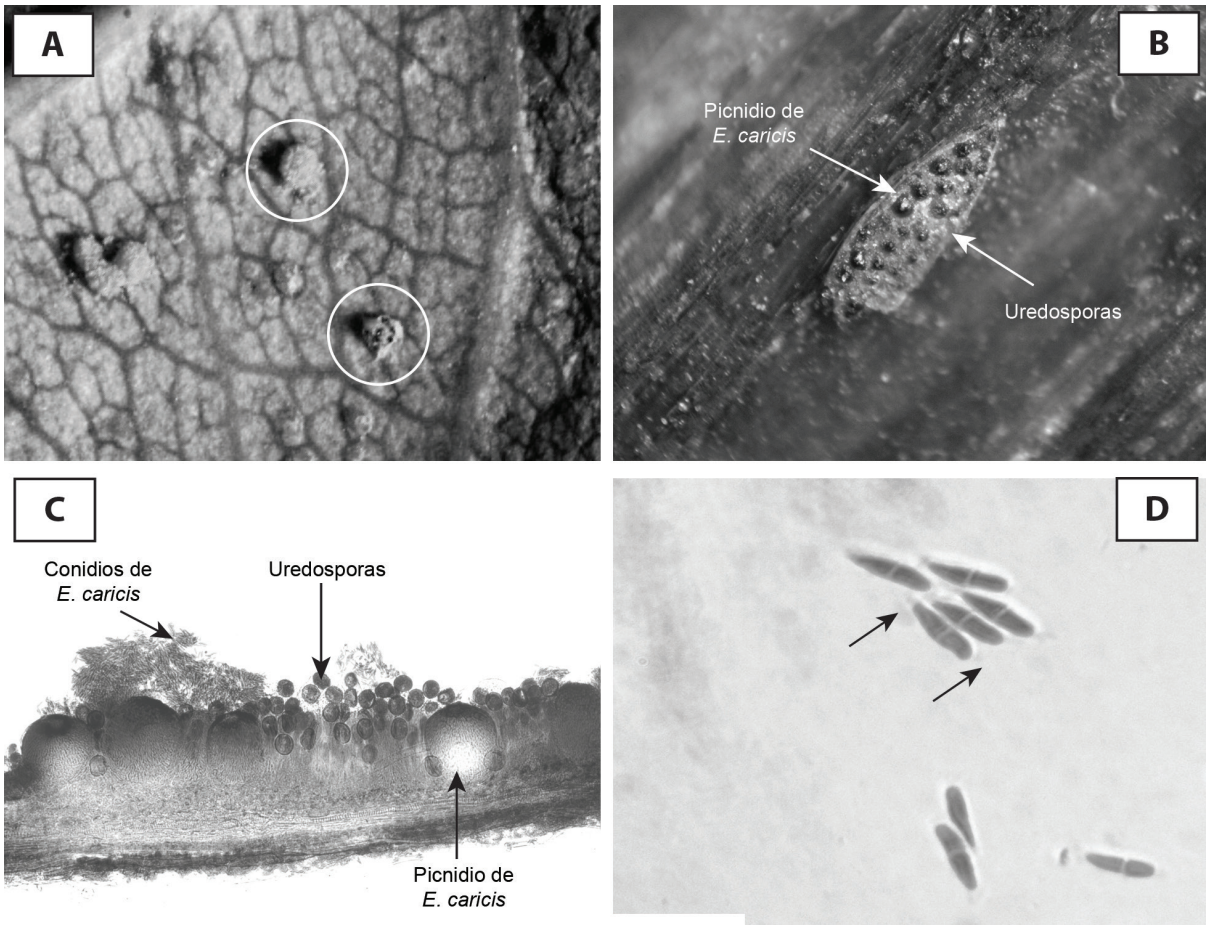


Figura 2. Morfología y anatomía de *E. caricis.* **A**. Depresión del uredosoro de *Phragmidium mucronatum* causado por *E. caricis.* En círculo azul se observan uredosporas viables alrededor de pústula sana de *P. mucronatum* mientras en círculo rosado la pústula esta parasitada por *E. caricis* y se observa la reducción de uredosporas alrededor del mismo. **B.** Vista en estereoscopio de picnidios de *E. caricis* de color negro brillante dentro de pústula de roya de maíz, *Puccinia sorghi.* **C.** Corte transversal de pústulas de *Puccinia sorghi* parasitadas con *E. caricis.* **D.** Conidios de *E. caricis* con mucosa en los extremos.

Discusión

El resultado del presente estudio ha sido la denuncia de la presencia de los hiperparásitos *E. caricis* y *C. cesatii* en la región central de Guatemala, esto viene a confirmar lo descrito anteriormente por Alvarez y García (1993), García (2000), Guerra (2005), Mejía (2008) y otros que han denunciado su presencia como referencia de otros trabajos de investigación. El aporte del presente trabajo es que incluye posicionamiento por medio de coordenadas de georreferenciación y que los agentes biocontroladores fueron llevados al laboratorio para el estudio biométrico y de la capacidad de crecimiento in vitro.

De las muestras analizadas en el laboratorio se estableció que en 16 tenían presencia de *C. cesatii* y en 46 *E. caricis*, esto indica que potencialmente se tiene más riqueza de *E. caricis* en cuanto a distribución espacial y diversidad de hospedantes, las zonas con alto potencial biológico son los municipios de San Juan Comalapa y Tecpán Guatemala, del departamento de Chimaltenango, dado a que en el primero tiene mayor

cantidad de detecciones para *E. caricis*, 11 en total y de *C. cesatii* tres, y el segundo con 10 para *E. caricis* y dos para *C. cesatii*.

En cuanto al rango de hospedantes de *C. cesatii,* se obtuvieron detecciones solo en plantas silvestres comúnmente denominadas como malezas, tal es el caso de *Rumex crispus*, *Sonchus* sp., *Coriandrum* sp., *D. montanus* y *Desmodium* sp., además de *Physalis* sp., que es una planta semi-silvestre lo que implica biológicamente que es más virulento si se considera que las plantas hospederas por su evolución tienen más adaptabilidad por lo que tendrían mayor potencial genético de resistencia a enfermedades y por lo tanto los hiperparásitos poseen más genes de virulencia. En el caso de *E. caricis*, fue detectado sobre en *Puccinia hydrocotyle*, parasito de *Hydrocotyle* sp., y sobre aecias de *P. sorghi* sobre *Oxalis* sp., pero estas no tendrían tanto valor biológico de acuerdo a la especificidad más que la detectada sobre *Oxalis* sp., dado a que el sustrato es una fase aecial de la roya del maíz, *Puccinia sorghi*, de donde también fue aislado, pero no deja de ser importante ya que también está sobre malezas y otra fase de la roya que no es *Uredia* o *Telia* donde frecuentemente ha sido detectada.

En cuanto a la variabilidad de los agentes bajo estudio, se obtuvo información específica para Guatemala, como capacidad de desarrollo en medios de cultivo, dimensiones de los conidios y picnidios, variables que aportan datos importantes, donde se destaca la variación entre las localidades y entre los mismos hospedantes, como lo manifiestan los datos obtenidos de tamaños de conidios.

Los resultados de la investigación dan margen a redirigir las posteriores investigaciones al respecto de esta línea, ya que la baja incidencia de los hiperparásitos en áreas cultivadas es debido a que estas son tratadas con fungicidas; por lo que se deben realizar muestreos con más intensidad en estas áreas para encontrar cepas adaptadas a estos productos y además también generalizar la línea de investigación sobre plantas silvestres e incluir plantas voluntarias en la búsqueda de agentes de control biológico con alto potencial patogénico, paralelo a ello también derivar una línea de investigaciones sobre los métodos y técnicas para el aislamiento y conservación in vitro de las cepas obtenidas tanto en la presente investigación así como en las futuras investigaciones.

Agradecimientos

La realización de este trabajo, ha sido posible gracias al apoyo financiero de Programas Universitarios de Investigación en Alimentación y Nutrición (PRUNIAN) y en Desarrollo Industrial (PUIDI 4.8.63.6.58) de la Dirección General de Investigación de la USAC.

Referencias

Alvarez, G., y García, E. (1993). *Manejo Integrado de Arveja China: fase I 1991-1992*. Guatemala: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación.

Black, A. (2012). *The epidemiology of Puccinia emaculata (rust) in switchgrass and evaluation of the mycoparasite Sphaerellopsis filum as a potential biological control organism for switchgrass rust.* (Master's Thesis). University of Tennessee. Recuperado de http://trace.tennessee.edu/utk_gradthes/1251

García, J. (2000). *Determinación de enfermedades fungosas en el tejido aéreo de 30 especies de plantas medicinales en dos localidades del Altiplano Central de Guatemala* (Tesis de Licenciatura). Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Goh, T. K. (1999). Single-spore isolation using a handmade glass needle.*Fungal Diversity, 2,* 47-63.

Guerra, T. (2005). *Informe final de Diagnostico, Servicios e Investigación desarrollados en el Centro de Diagnóstico Parasitológico de la Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.* (Tesis de Licenciatura). Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Instituto Nacional de Estadística. (2004). *IV Censo Agropecuario Nacional.* Guatemala: Autor.

Keener, P. (1934). Biological Specialization in Darlucafilum. *Bulletin of the Torrey Botanical Club. Torrey Botanical Society, 61*(9), 475-490.

Kranz, J., & Brandenburger, W. (1981). An amended host list of the rust parasite Eudarluca caricis. *Journal of Plant Diseases and Protection, 8*(11), 682-702.

Liesebach, M., & Zaspel, I. (2004). Genetic diversity of the hyperparasite *Sphaerellopsis filum* on Melampsora willow rusts. *Forest Pathology*, *34*(5), 293-305.

Mejía, L. (2008). *Diagnóstico de enfermedades en muestras analizadas en el Centro de Diagnóstico Parasitológico de la Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala y Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario de la Unidad de Normas y Regulaciones, Ministerio.* (Tesis de Licenciatura). Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Plachecka, A. (2005). Microscopical Observations of Sphaerellopsis filum, a parasite of Puccinia recondita. *Acta Agrobotanica*, *58,* 67-71.

Sucharzewska, E., Dinowska, M., & Bozena, A. (2011). Ocurrences of the fungi from the genus Ampelomyces – Hiperparasites of powdery mildews (*Erysiphales*) infesting trees and bushes in the municipal environment. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, *80*, 169-174.

Sztejnberg, A., Galper, S., & Lisker, N. (1990). Conditions for pycnidial production and spore formation by *Ampelomyces quisqualis.Canadian Journal of Microbiology*, *36*, 193-198.

Sztejnberg, A., Galper, S., Sholomit, M., & Lisker, N. (1989). *Ampelomycs quisqualis* for biological and integrated control of powery mildews in Israel. *Journal of Phytopathologoy*, *124,* 285-295.

Yuan, Z. W., Pei, M. H., Hunter, T., & Royle, D. (1998). *Eudarluca caricis*, the teleomorph of the mycoparasite *Sphaerellopsis filum*, on blackberry rust *Phragmidium violaceum*. *Mycology Research, 102,* 866-868.

Ciencia, Tecnología y Salud
Vol. 1 Num. 1 2014
ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso)

Artículo Científico / Scientific Article

Cetáceos del Pacífico de Guatemala: Cincuenta años de historia

Andrea A. Cabrera Arreola*[+1,2,3], Jenniffer S. Ortiz Wolford*[+1,2],
Mildred Fabiola Corona Figueroa[1], Victor M. Gudiel Corona [1]

[1] Centro de Estudios Conservacionistas y [2] Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.[3] Marine Evolution and Conservation, Centre for Ecological and Evolutionary Studies, University of Groningen, PO Box 11103, 9700 CC Groningen, The Netherlands.

***Autor al que se dirige la correspondencia:** andrea_ca_gt@yahoo.com

[+]**Comparten primera autoría**
Recibido: 4 de Septiembre 2014 / **Aceptado:** 22 de septiembre 2014 / **Disponible en línea:** 24 de noviembre 2014

Resumen

En Guatemala el estudio de los cetáceos inició en la década de los sesenta con los primeros registros de varamiento y captura incidental. Sin embargo, pocos trabajos científicos con datos de cetáceos han sido publicados. Con el objetivo de centralizar la información de cetáceos y obtener conocimiento biológico para el desarrollo de planes de manejo y conservación, se realizó una revisión bibliográfica de cetáceos en Guatemala que recaba información de los últimos 50 años. Se obtuvo un total de 1,014 registros de avistamiento (1979-2011), 62 registros de captura incidental (1961/85) y 16 registros de varamientos (1975, 2007-2012), los cuales se analizaron en mapas batimétricos y en mapas de presiones antropogénicas. Se identificaron diecinueve especies pertenecientes a cinco familias de cetáceos, incluyendo Balaenopteridae, Delphinidae, Ziphiidae, Kogiidae y Physeteridae. El esfuerzo y área de muestreo varió durante 1961-2012. Se identificaron diferentes patrones de distribución especie-específicos. La mayoría de avistamientos se registraron cerca de zonas con topografía compleja. Aunque los eventos de captura incidental se registraron únicamente en alta mar, los resultados sugieren que especies de distribución costera se encuentran en zonas con mayor riesgo antropogénico. Se reportaron ocho especies de cetáceos varados, eventos ocurridos principalmente en el departamento de Escuintla desde el año 2007. Debido a la gran diversidad en los patrones de distribución, comportamiento y uso de hábitat de los cetáceos, combinado con los riesgos antropogénicos de la zona, es necesario que se considere un enfoque integral cuando se implementen planes de manejo y conservación marina en Guatemala.

Palabras claves: Ballenas, delfines, Pacífico, Guatemala, avistamientos, presiones, protección

Abstract

Cetaceans have been studied in Guatemala since 1960s, but only a few scientific works based on the collected cetacean data were published. We reviewed literatures about cetaceans in Guatemala for the past fifty years to gain the biological knowledge for conservation and management plans. A total of 1,014 sighting records (1979-2011), 62 tuna fishery by-catch events (1961-1985) and 16 stranding records (1975, 2007-2012) were obtained and analyzed with bathymetric maps and plot against maps with different anthropogenic pressures in the area. Nineteen species belonging to five different families of cetaceans, such as Balaenopteridae, Delphinidae, Ziphiidae, Kogiidae, and Physeteridae, were identified. Data sampling areas have been changed during 1961-2012. We identified several species-specific-spatial-distribution patterns. Species occurrence was higher in areas with complex topography. Although, all by-catch events were recorded offshore, species with coastal distribution occurred in areas with higher anthropogenic risk. Stranding events were reported for eight species, and occurred mainly in the department of Escuintla from 2007. Due to the great diversity in spatial-distribution patterns of cetacean in Guatemala, behavior and habitat use of cetaceans in the areas, combined with different anthropogenic risks, an integrative approach should be considered when conservation and management plans are implemented in Guatemala.

Keywords: Whales, dolphins, Pacific, Guatemala, sightings, pressures, protection.

La reproducción total o parcial del contenido e imágenes de esta publicación se rige de acuerdo a normas internacionales sobre protección a los derechos de autor, con criterio especificados en la licencia Creative Commons (CC BY-NC-SA 4.0)

Introducción

El término Cetácea proviene del griego *ketos*, que significa ballena, y del latín *cetus*, que significa monstruo marino. Los cetáceos son un grupo diverso de mamíferos marinos, pertenecen al Orden Cetartiodactyla, el cual se divide en dos grupos: los Mysticeti que incluye a las ballenas y los Odontoceti, al que pertenecen los delfines y marsopas (Agnarsson & May-Collado, 2008). Existen al menos 88 especies de cetáceos distribuidas en todo el mundo (Pompa, Ehrlich & Ceballos, 2011). De acuerdo a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), muchas de estas especies se encuentran en estado vulnerable o en peligro de extinción, y en muchos casos no se cuenta con la información suficiente para determinar su estado de conservación (Pompa et al., 2011; Davidson et al., 2012).

En Guatemala, se desconocen muchos aspectos sobre la biología, historia natural, ecología, selección de hábitat y estado de conservación de éstas especies, lo cual no ha permitido evaluar las probabilidades de supervivencia, ni llevar a cabo un manejo sostenible en la región del Pacífico. Además, la iniciativa que recientemente ha iniciado el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) para establecer áreas marinas protegidas en el Pacífico del país requiere contar con información acerca del hábitat y dinámicas ecológicas de diversos grupos taxonómicos, incluyendo los cetáceos.

El proyecto tuvo como finalidad recopilar, analizar e integrar la información histórica y reciente, tanto de avistamientos y captura incidental, como de varamientos en el país. Además, generar información sobre diversidad y patrones de comportamiento de cetáceos en el área oeste del Pacífico de Guatemala. Con esta información, se buscaba analizar las presiones y amenazas de actividades humanas sobre los cetáceos, así como las oportunidades que estos presentan como alternativa económica en el país. Esto con el fin de contribuir al conocimiento de la diversidad de cetáceos de la región y su preferencia de hábitat, y con ello brindar información técnica que ayudará a que se asegure la ejecución de prácticas sostenibles de turismo natural, así como proporcionar información que pueda ser utilizada para enriquecer los criterios en la creación de áreas protegidas marinas y para la actualización de listados de protección nacionales.

Materiales y métodos

Análisis histórico

Para tener una perspectiva amplia del contexto biológico y la interacción de las especies de cetáceos con la sociedad, se realizó una búsqueda exhaustiva y revisión de material publicado que incluyera registros de cetáceos avistados en Guatemala durante los últimos 50 años. Para ello se revisaron bases de datos de museos nacionales e internacionales, revistas científicas, publicaciones nacionales, informes de tesis y otros documentos con los cuales se elaboró una base de datos.

Los datos recopilados se dividieron en avistamientos registrados durante navegaciones o cruceros de investigación y reportes de captura incidental. Los datos se clasificaron como registros históricos (anteriores a cinco años: 1961-2006) y recientes (últimos cinco años: 2007-2011). Con dichos datos se elaboraron mapas de distribución, que permitieron visualizar las áreas de vacío de información, así como la riqueza de especies para la zona económica exclusiva (ZEE) del Pacífico Guatemalteco.

Distribución y comportamiento de cetáceos

Se realizaron tres muestreos con base en navegaciones en el Pacífico de Guatemala, utilizando un guardacostas y una embarcación menor proporcionadas por el Comando Naval del Pacífico. Los muestreos se realizaron en los meses de febrero, marzo y junio de 2012 y se llevaron a cabo sobre todo en el área oeste. El área se seleccionó por ser la región con menos información reciente disponible de cetáceos. Cada muestreo consistió de al menos tres días de navegación continua (aproximadamente 36 horas de esfuerzo efectivo) en el área central-oeste. Las navegaciones se realizaron siguiendo transectos lineales dispuestos al azar, tanto en el área costera como oceánica, cubriendo un área aproximada de 18,000 km^2.

Al momento de un avistamiento, se registró la fecha y hora, la especie, las coordenadas, el tamaño de grupo según la definición de grupo de Morteo, Heckel, Defren y Scharamm (2004) y el comportamiento presentado (de acuerdo al método *ad libitum*). También se tomaron fotografías para confirmar los datos. Posteriormente, se obtuvieron los datos de profundidad y distancia de la costa de cada avistamiento utilizando sistemas de información geográfica. Se obtuvieron las frecuencias de avistamiento por especie.

Registro de varamientos y obtención de registros físicos

De enero a junio de 2012, se realizó una búsqueda sobre casos de varamiento de cetáceos en Guatemala; para esto se realizaron consultas en instituciones como el Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, la Escuela de Biología y el CECON de la USAC, el CONAP, el Comando Naval del Pacífico y la Asociación de Biología Marina. Además se realizaron encuestas a pobladores de las comunidades costeras. Esta búsqueda permitió elaborar una base de datos y mapas de ocurrencia y frecuencia de varamientos.

En algunos casos, fue posible recuperar muestras de tejido y osamenta de algunos especímenes varados, dichas muestras se limpiaron y trataron para ser ingresadas a la colección científica del Museo de Historia Natural de la USAC. También fueron consideradas las muestras de tejido de especímenes encontrados muertos en el mar durante la ejecución del proyecto.

Análisis de amenazas e importancia

El análisis se dividió en cuatro etapas: (1) Búsqueda de información existente sobre la realidad socioeconómica de las comunidades del Litoral del Pacífico. (2) Revisión histórica y reciente de la interacción entre el hombre y los cetáceos en Guatemala; elaboración de mapas que traslapan registros de cetáceos con diferentes escenarios de perturbación y presiones en el área de acuerdo con los mapas desarrollados por Probioma (2009). (3) Análisis de la importancia de los cetáceos como un recurso económico alternativo para los pobladores del área, al fungir como atractivo turístico; revisión de empresas que actualmente prestan servicios de turismo de avistamiento de cetáceos en el Pacífico. (4) Revisión de las propuestas actuales de áreas marinas protegidas en el Pacífico de Guatemala y análisis de la inclusión de los cetáceos en las mismas.

Resultados

Análisis histórico

Se recopilaron 42 documentos con información sobre cetáceos del Pacífico de Guatemala, así como registros en cuatro diferentes museos (Tabla 1). De estos documentos, se obtuvieron 1,014 registros de avistamientos realizados entre 1979 y 2011, y 62 registros de captura incidental de pesca de atún, entre 1961-1985.

Tabla 1
Documentos recopilados con información de cetáceos de Guatemala

Tipo de documento	Cantidad	Referencias
Artículo publicado	11	Au & Perryman, 1985; Ballance, Pitman, & Fiedler, 2006; Danil & Chivers, 2006; Gerrodette & Forcada, 2005; Perrin, 1975; Perrin, 1976; Perrin, 1990; Perrin, Holts, & Miller, 1977; Perrin & Walker, 1975; Reilly, 1990; Wade & Gerrodette, 1993.
Documentos técnicos	19	Cabrera y Ortiz, 2010; Cabrera, Ortiz y Romero, 2012; Calambokidis et al., 2008; Dizon, Perrin, & Akin, 1994; Gerrodette, & Forcada, 2005; Gerrodette & Forcada, 2006; Herrera y Calderón, 2006; Hill, Jackson, & Gerrodette, 1990; Jackson, Gerrodette, Chivers, Lynn, Olson, Rankin, 2004; Hill, Rasmussen & Gerrodette, 1991; Holt, 1983; Holt & Jackson, 1988; Jackson, Gerrodette, Chivers, Lynn, Rankin & Mesnick, 2008; Kinzey, Gerrodette, Dizon, Perryman, Olson & Von Sunder, 1999; Kinzey, Gerrodette, Barlow, Dizon, Perryman & Olson, 2000; Kinzey, Gerrodette, Dizon, Perryman, Olson & Rankin, 2001; Mangels & Gerrodette, 1994; Perrin & Chivers, 2011; Perrin, Evans & Holts, 1979.
Informes de investigación	4	Cabrera, Ortiz y Romero, 2011a; Herrera y Calderón, 2006; Quintana-Rizzo y Gerrodette, 2009; Ruano, Franco, Marroquín, Hernández, Díaz e Ixquiac, 2008.
Resúmenes publicados	5	Cabrera y Ortiz, 2008; Cabrera y Ortiz, 2010; Ortiz, 2010; Cabrera, Ortiz y Romero, 2011b; Cabrera, 2011a.
Tesis	3	Cabrera, 2011b; Dávila, 2011; Ortiz, 2011.
Base de datos en museos	4	National Museum of Natural History/Smithonian Institution (USNM); San Diego Natural History Museum (SDNHM); National Museum of Victoria, Melbourne (NMA); Rijksmuseum van Natuurlijke Historie, Leiden (RMNH)

La mayor parte de la información histórica proviene de estudios realizados por la National Oceanic and Atmospheric Administration/Southwest Fisheries Science Center (NOAA/SWFC) a lo largo de todo el Pacífico Tropical Oriental, por lo que los datos están distribuidos a lo largo de toda la zona ZEE del país, especialmente en el área oceánica. La información reciente, proviene de estudios a nivel nacional desarrollados principalmente en áreas costeras, incluyendo áreas desde la costa hasta la fosa Mesoamericana (aproximadamente a 200 km de la costa) (Figura 1).

Se registraron cinco familias de cetáceos (Balaenopteridae, Delphinidae, Ziphiidae, Kogiidae y Physeteridae) que incluyen 19 especies a lo largo de la ZEE de Guatemala. El grupo de los Odonteceti (cetáceos dentados) fue el más frecuente, con 924 de 1,014 registros, equivalentes a 91% de los avistamientos. Especies del grupo Mysticeti (cetáceos con barbas) se identificaron en 7% de los casos, con 73 avistamientos; el 2% restante corresponde a cetáceos no identificados (Tabla 2).

Se observó variabilidad en el patrón de distribución de las diferentes especies, siendo algunas especies/subespecies principalmente costeras, como la subespecie costera de delfín manchado (*Stenella attenuata graffmani*) y la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*). Otras especies/subespecies se observaron en el talud continental y fosa mesoamericana, como la subespecie endémica de delfín tornillo (*Stenella longirostris centroamericana*) y la ballena de Bryde (*Balaenoptera edeni*). Algunas especies están mayormente asociadas al área oceánica como el delfín listado (*Stenella coeruleoalba*), el cachalote (*Physeter macrocephalus*) y la ballena azul (*Balaenoptera musculus*), mientras otras presentan amplia distribución como el delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) (Figura 1).

Distribución y comportamiento de cetáceos del Pacífico centro-oeste (2012)

Durante los muestreos desarrollados en el año 2012, se realizó un esfuerzo activo de 114 horas de observación y 1,653 km recorridos. Los primeros dos muestreos se llevaron a cabo durante la época seca, en febrero y marzo y el tercer muestreo se llevó a cabo durante la época lluviosa, en el mes de junio de 2012. Las frecuencias de avistamiento se estimaron tanto en distancia recorrida como en horas de observación. Esto con el fin de determinar la relación entre el número de cetáceos observados y el esfuerzo de búsqueda. A lo

Tabla 2
Familias y especies de cetáceos observadas entre 1974 y 2011 en Guatemala

Especie	Familia	No. Registros	Frecuencia (%)
Balaenoptera edeni	B	17	1.68
Megaptera novaeangliae	B	15	1.48
Balaenoptera borealis/edeni	B	7	0.69
Balaenoptera musculus	B	7	0.69
Balaenoptera acutorostrata	B	1	0.10
Balaenoptera sp.	B	7	0.69
Ballena pequeña no identificada	B	7	0.69
Ballena grande no identificada	B	6	0.59
Balaenopteridae	B	4	0.39
Ballena no identificada	B	2	0.20
Tursiops truncatus	D	374	36.88
Stenella attenuata	D	166	16.37
Stenella longirostris	D	96	9.47
Grampus griseus	D	44	4.34
Delphinus delphis	D	30	2.96
Stenella coeruleoalba	D	18	1.78
Steno bredanensis	D	12	1.18
Feresa attenuata	D	6	0.59
Pseudorca crassidens	D	5	0.49
Orcinus orca	D	3	0.30
Globicephala macrorhynchus	D	1	0.10
Delphinus sp.	D	1	0.10
Delfín no identificado	D	133	13.12
Delfín mediano no idenficado	D	3	0.30
Kogia sima	K	12	1.18
Physeter macrocephalus	P	5	0.49
Ziphius cavirostris	Z	2	0.20
Mesoplodon sp.	Z	6	0.59
Mesoplodon sp.	Z	1	0.10
Ziphiidae	Z	6	0.59
Cetáceo no identificado		17	1.68

Nota. B: *Balaenopteridae,* D: *Delphinidae,* K: *Kogiidae,* P: *Physeteridae,* Z: *Ziphiidae*

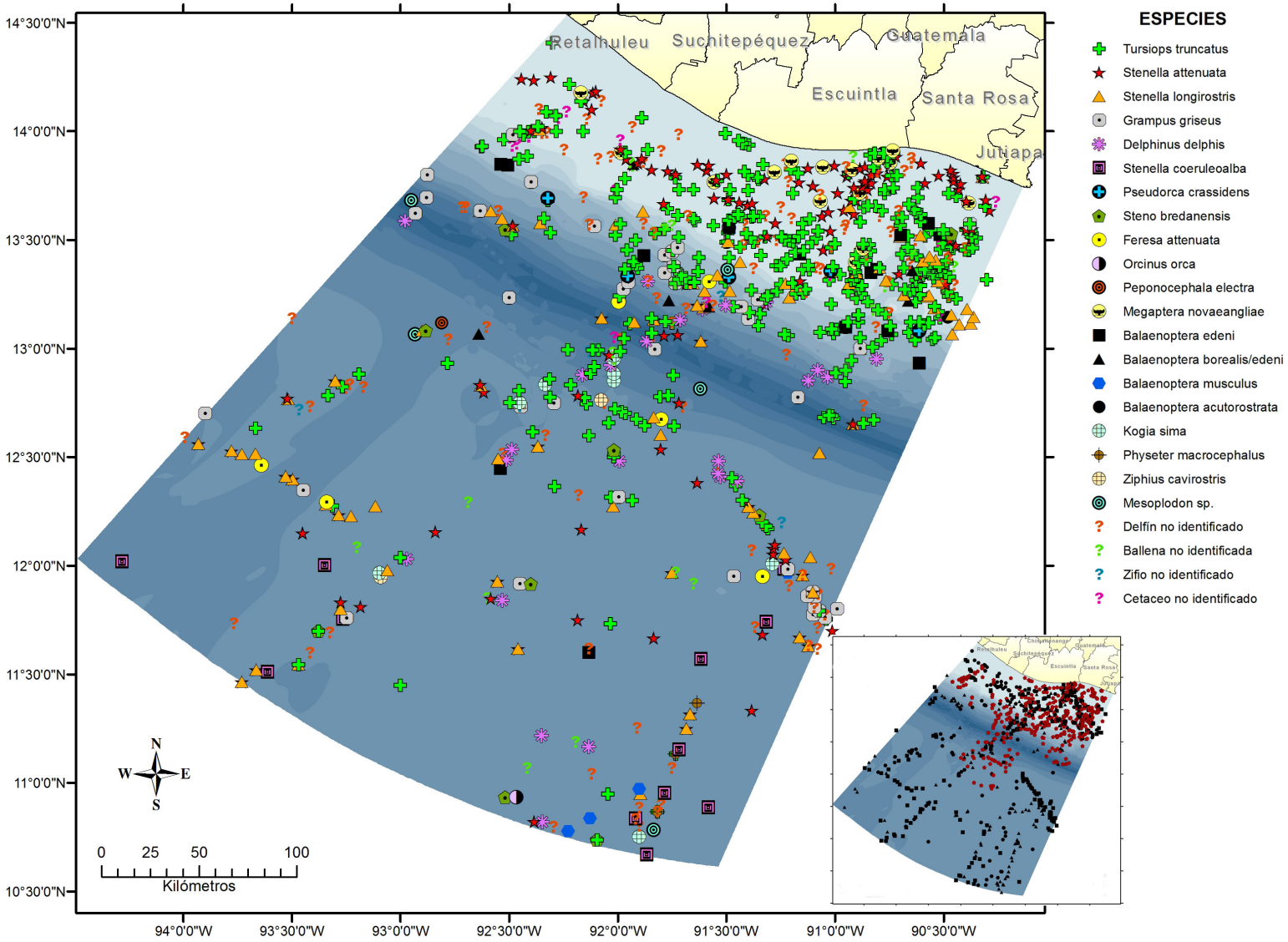


Figura 1. Avistamientos de cetáceos en la ZEE de Guatemala. Los datos incluyen registros de avistamiento y eventos de captura incidental por embarcaciones atuneras, de 1961 hasta 2011. Inserto, mapa de los avistamientos dividido en registros históricos (negro) y recientes (rojo

largo del estudio se obtuvo una frecuencia de 0.037 avistamientos por km recorrido (0.068 A/mn) y 0.537 avistamientos por hora de observación, lo cual es equivalente a un avistamiento cada 27.1 km (14.64 mn). En la Figura 2 se muestran las variaciones en el número de avistamientos y esfuerzo realizado tanto en horas como en distancia recorrida entre los muestreos. El muestreo uno y tres fueron los que presentaron el mayor número de avistamientos con 21 y 28 registros cada uno. El muestreo dos presentó únicamente 12 registros de cetáceos.

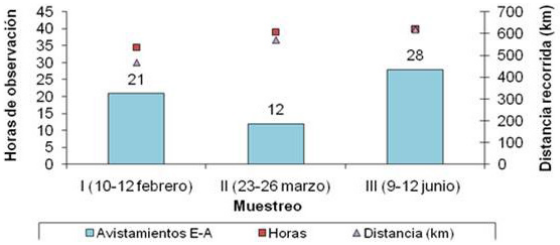


Figura 2.. Esfuerzo. Gráfico de esfuerzo activo (E-A), en horas y distancia, y número de avistamientos registrados durante los tres muestreos.

Se registraron 61 avistamientos de siete especies pertenecientes a dos familias de cetáceos (Balaenopteridae y Delphinidae). El delfín nariz de botella fue la especie más frecuente con 36 avistamientos (59%) y presentó una amplia distribución, le siguen el delfín manchado con 10 avistamientos (16.4%) y con distribución principalmente costera, el delfín tornillo con cuatro avistamientos (6.6%) distribuido entre el talud y la fosa mesoamericana y la ballena jorobada con 2 avistamientos (3.28%) en zonas costeras poco profundas. La ballena de Bryde, el delfín de Risso (*Grampus griseus*) y el delfín común (*Delphinus delphis*) se avistaron en una sola oportunidad, todos alejados de la costa. Los cuatro comportamientos básicos: alimentación socialización, desplazamiento y descanso, fueron observados en el área. Se registraron crías de cuatro especies: ballenas jorobada, delfín manchado, delfín tornillo y delfín nariz de botella, a lo largo del área de estudio. El tamaño de los grupos observados fue variable entre especies. El delfín tornillo presentó en promedio los grupos con mayor número de individuos (971 ± 874), seguido del delfín manchado (31 ± 10) y delfín nariz de botella (10 ± 16.5). En general, los grupos pequeños se encontraron en toda la zona, mientras que los grupos de mayor tamaño se encontraron sobre todo en áreas profundas y escarpadas.

Registro de varamientos y obtención de registros físicos

De 1975 a 2012, se documentaron 16 registros de varamientos de ocho especies, un evento en 1975 y 15 a partir de 2007 (Figura 3). Quince eventos fueron individuales y uno fue doble. El delfín nariz de botella, el delfín manchado y el delfín listado fueron las especies con más frecuencia de varamientos. La mayoría de varamientos fueron reportados en el Puerto San José (44%), seguido de Sipacate (25%), Champerico (19%), Monterrico (6%) e Iztapa (6%), tanto en época seca como lluviosa. Nueve de los varamientos ocurrieron en las playas, mientras que el resto fueron reportados en el mar, cerca de la costa. En su mayoría fueron machos y crías o juveniles.

Se recuperaron osamentas de dos individuos, una osamenta de ballena jorobada, una vértebra caudal, huesos de una aleta pectoral y tejido; y otra de delfín cabeza de melón (*Peponocephala electra*), esqueleto completo y tejido.

Análisis de amenazas e importancia

En la Figura 4 se muestra un mapa en el cual se sobreponen los avistamientos de cetáceos sobre un modelo de presiones integradas para la zona costera. En el modelo de presiones se tomaron tres tipos de presión general: la presión de contaminación (por poblados, erosión y transporte de sedimentos, por ganadería y agricultura), la presión de pesca (por pesca artesanal con trasmallo, de superficie, palangre de fondo y pesca industrial de arrastre, con palangre de superficie, y red de cerco) y la presión costera. La pesca incidental de atún ha sido de los principales problemas registrados para los delfines mar adentro a lo largo de los últimos sesenta años. Entre 1961 y 1985, se reportaron al menos 62 eventos de captura incidental. Sin embargo, a partir esa fecha no se ha llevado un registro sobre dichos eventos. En la actualidad, los cetáceos también afrontan otras amenazas en el área, como colisiones por aumento de tráfico marítimo, contaminación, conflictos con pesca industrial y artesanal de diferentes tipos, donde las zonas costeras y cercanas al talud continental están en general más presionadas que las zonas oceánicas. Por ello, especies de distribución costera (e.g. delfín nariz de botella, delfín manchado y ballena jorobada) parecen ser las más presionadas.

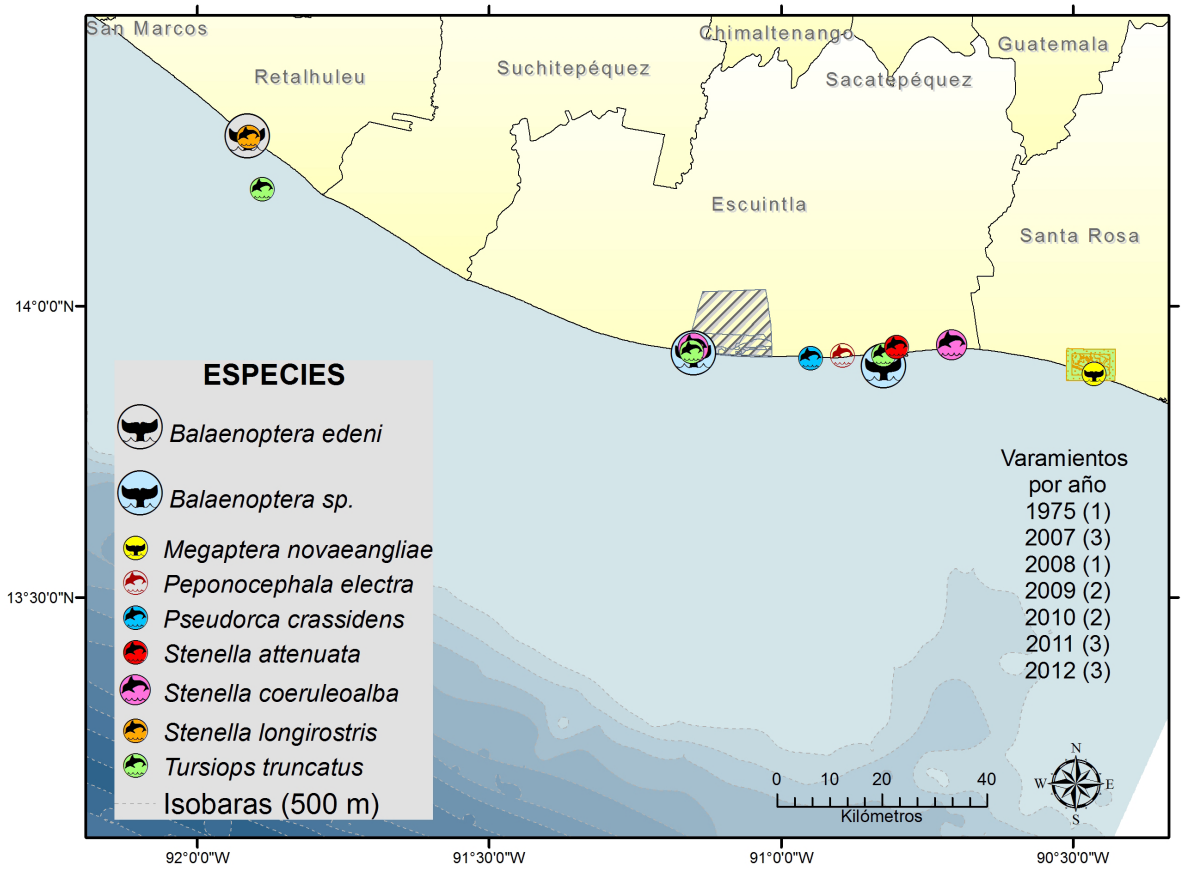


Figura 3. Localización de los varamientos de cetáceos reportados entre 1975 y 2012.

Por otro lado, el turismo de cetáceos ha mostrado un incremento considerable en los últimos años a nivel de empresas privadas. En 2005 se inició esta actividad con un único operador de turismo que atendió aproximadamente 800 turistas (Hoyt e Iñíguez, 2008). En este estudio, durante el año 2012, se documentaron siete empresas privadas que actualmente ofrecen sus servicios para realizar avistamiento de cetáceos, con precios que varían desde Q. 700 hasta Q. 2,025 por persona dependiendo del paquete. Algunas de estas empresas realizan convenios con comunidades locales para el uso de las embarcaciones y prestación de servicios. De esta forma, comunidades costeras como Las Lisas obtienen un ingreso económico alternativo.

Discusión

Los patrones de selección de hábitat de los cetáceos en la región centroamericana, así como la distribución de sus presas, parecen estar determinadas por las características topográficas del fondo marino y productividad de la zona (Oviedo & Solis, 2008; Rodriguez-Fonseca, 2001), lo cual explica que las áreas con topografía más complejas como el talud continental o el cañón de San José presenten la mayor diversidad y abundancia de cetáceos en la ZEE de Guatemala. Esto sugiere que los patrones de distribución podrían estar relacionados a los requerimientos o patrones de alimentación. De ser el caso, la ballena jorobada, así como otras especies migratorias que no suelen alimentarse en el área, serían una excepción, y su distribución en el área podría estar más relacionada a la búsqueda de las condiciones cálidas y calmas para la reproducción y crianza o protección ante depredadores (Corkeron & Connor, 1999).

Tanto en los registros históricos y recientes como en los muestreos realizados en el Pacífico centro-oeste en 2012, indican que el delfín nariz de botella, el delfín manchado y el delfín tornillo son considerados como las especies más comunes o frecuentes. Esto concuerda con

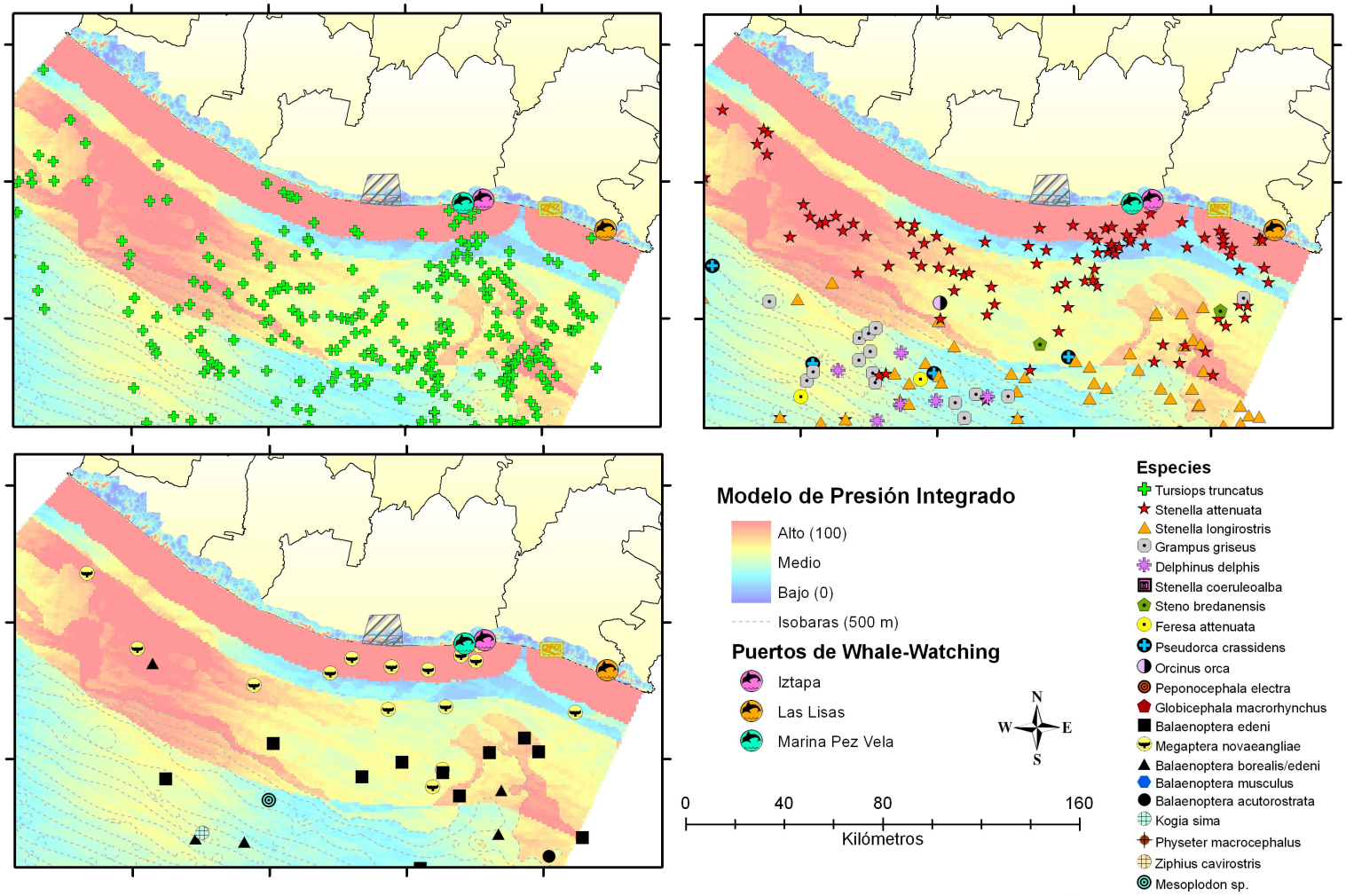


Figura 4. Avistamientos de cetáceos y zonas de mayores presiones en la zona costera del Pacífico de Guatemala. Las áreas rojas presentan las zonas sujetas a mayores presiones en base a al modelo de presiones integrado de Probioma (2009). Los registros de las especies están representados con símbolos de diferentes colores. Los círculos, verde, rojo y anaranjado representan puntos donde se realizan avistamientos turísticos de cetáceos o *whale watching*.

lo reportado en otros países del istmo, como Costa Rica (Rodriguez-Fonseca, 2001). La presencia de ballenas y delfines en la zona costera y en el área del cañón de San José durante todo el año permiten que la actividad de turismo de avistamiento de cetáceos sea factible.

La mayoría de varamientos se reportaron a partir del año 2007, en el departamento de Escuintla, particularmente en el área cercana al Puerto San José. El incremento de registros de varamientos no necesariamente sugiere un incremento en la incidencia de los mismos, sino más bien al esfuerzo que se ha realizado en los últimos años por diversas instituciones e investigadores en estudiar a los cetáceos y recabar dicha información, así como en la realización de capacitaciones. El hecho de que los eventos estén focalizados en áreas cercanas al Puerto Quetzal y San José podría deberse a uno o varios factores: (1) La facilidad de la detección y acceso a los especímenes (estas zonas estás altamente pobladas y presentan playas muy frecuentadas). (2) Incremento en el tráfico marítimo derivado a la cercanía con el área portuaria, lo cual incrementa la posibilidad de colisiones y/o laceraciones de moderadas a mortales Laist, Knowlton, Mead, Collet, & Podesta, 2001. (3) La presencia de corrientes marinas que trasladan hacia esa zona a los especímenes que han muerto mar adentro.

De las dos osamentas recuperadas, ambas representan el primer registro físico de su especie para la colección del Museo de Historia Natural de la USAC.

Según la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Ordenamiento Territorial (SEGEPLAN/DOT), las principales fuentes de ingreso económico en el litoral Pacífico se relacionan con la región cafetalera, región agroindustria de granos básicos, región de pesca y agricultura de subsistencia y zona ganadera (2011). La región de la costa sur y el litoral del Pacífico presentan un potencial extraordinario que puede brindar oportunidades de desarrollo a la población local, entre ellas su cercanía a la ciudad capital y la oferta hotelera ya implementada (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, The Nature Conservancy, 2009). Este desarrollo puede incrementarse a través del turismo de avistamiento de cetáceos, siempre que este se realice de forma ordenada y responsable (Hoyt e Iñíguez, 2008). Los cetáceos son especies ícono que atraen fácilmente el interés de un creciente número de personas. Pobladores de diversas comunidades costeras expresaron su interés en esta actividad; sin embargo ven deficiencias en la promoción de la misma, especialmente por desconocimiento del mercado, la contaminación de las áreas marino-costeras que crean un ambiente poco atractivo, falta de infraestructura y servicios básicos, falta de capacitaciones y material educativo (Cabrera, Ortiz y Romero, 2011a).

El análisis de presiones para los cetáceos sugiere que se deben tomar medidas de manejo y recuperación de las zonas marinas, en especial las áreas costeras, que mostraron ser las regiones con índices de presión más altos. Se sugiere prestar especial atención a las amenazas relacionadas con el deterioro del hábitat, ya que la contaminación incrementa la susceptibilidad a enfermedades y afecta la capacidad reproductiva de las especies. Sin embargo, el tráfico marítimo, la pesca industrial de atún que utiliza redes de cerco (principal responsable de la captura incidental), así como la captura directa para la utilización de carne como carnada durante la pesca de tiburón, también son amenazas importantes.

Los diferentes patrones de distribución y comportamiento mostrados por las especies de cetáceos sugieren que para llevar a cabo una adecuada definición de un área marina protegida o de importancia ecológica o biológica en el que se considere la protección de estas especies, se debe tomar en cuenta una zona extensa que incluya tanto regiones costeras como oceánicas, dando mayor prioridad a aquellas regiones con topografía compleja como el talud continental, la fosa de Mesoamérica y el cañón de San José, así como aquellas zonas de importancia reproductiva, en particular de especies migratorias.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por la Dirección General de Investigación (proyecto 4.8.63.7.08), de la USAC, y por Cetecean Society International (CSI). Agradecemos al Comando Naval del Pacífico por su apoyo y colaboración en la realización de las navegaciones al proporcionarnos la tripulación y embarcaciones; al CONAP, por el equipo y la logística; al Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas (IIQB) y el Centro de Documentación (CDC) del CECON, por el asesoramiento brindado en este proyecto. A los voluntarios que colaboraron en los viajes de campo: Jorge del Cid, Vivian González, Fernando Castillo, Julio Méndez, Alexis Maza. A Tim Gerrodette de la National Oceanic and Atmosferic Administration, Southwest Fisheries Science Center por los datos proporcionados. A los revisores anómimos por los valiosos comentarios al manuscrito y a todas las personas que formaron parte de este proceso.

Referencias

Agnarsson, I., & May-Collado, L. (2008). The phylogeny of Cetartiodactyla: The importance of dense taxon sampling, missing data, and the remarkable promise of cytochrome b to provide reliable species-level phylogenies. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *48*, 964-985.

Au, DW K., & Perryman, W L. (1985). Dolphin habitats in the Eastern Tropical Pacific. *Fishery Bulletin, 83,* 623-643.

Ballance, LT, Pitman, RL, & Fiedler, PC. (2006). Oceanographic influences on seabirds and cetaceans of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography, 69,* 360-390.

Cabrera, A. (2011a). *Selección y partición de hábitat de cetáceos (Cetartiodactila, Delphinidae, Balaenopteridae) en el Pacífico Este de Guatemala*. Ponencia publicada en XV Congreso Sociedad Mesoamericana para la Biología y Conservación. Mérida, Yucatán, México: Sociedad Mesoamericana para la Biología y Conservación.

Cabrera, A. (2011b). *Distribución y selección de hábitat de cetáceos en el Pacífico este de Guatemala* (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Cabrera, A y Ortíz, J. (2008). *Efecto de Variables Oceánicas sobre Grupos de Delfines en el Pacífico de Guatemala.* Ponencia publicada en XII Congreso Sociedad Mesoamericana para la Biología y Conservación. San Salvador: Sociedad Mesoamericana para la Biología y Conservación.

Cabrera, A. y Ortíz, J. (2010). *Cetáceos de la Costa Pacífica de Guatemala. Parte I: Pacífico Este*. (No. 75, 01-2010). Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas.

Cabrera, A. y Ortíz, J. (2010). *Distribución espacio-temporal de cetáceos en el Pacífico este de Guatemala: Implicaciones para su conservación*. Ponencia publicada en XIV Congreso Sociedad Mesoamericana para la Biología y Conservación. San José, Costa Rica: Sociedad Mesoamericana para la Biología y Conservación.

Cabrera, A., Ortíz, J. y Romero, J. (2011a). *Implementación de actividades de capacitación sobre el estudio de la migración de ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) en el Pacífico oeste de Guatemala*. (No. PO265087). Guatemala: Western Hemisphere Migratory Species Iniciative/ Organización de Estados Americanos/Consejo Nacional de Áreas Protegidas.

Cabrera, A., Ortiz, J. y Romero, J. (2011b). *Iniciativa Integral para la Conservación de la Ballena Jorobada en Guatemala.* Ponencia publicada en XV Congreso Sociedad Mesoamericana para la Biología y Conservación. Mérida, Yucatán, México: Sociedad Mesoamericana para la Biología y Conservación.

Cabrera, A., Ortíz, J. y Romero, J. (2012). *Cetáceos de la Costa Pacífica de Guatemala. Parte II: Pacífico Central.* (No. 102, 01-2012). Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas.

Calambokidis, J., Falcone, E., Quinn, T., Burdin, A., Clapham, P., Ford, J., … Maloney, N. (2008). *SPLASH: Structure of populations, levels of abundance and status of Humback whales in the North Pacific* (No. AB133F-03-RP-00078). Washington: Cascadian Research.

Corkeron, P., & Connor, R. (1999). Why do baleen whales migrate? *Marine Mammal Science, 15*, 1228-1245. doi: 10.1111/j.1748-7692.1999.tb00887.x

Danil, K., & Chivers, S. (2006). Habitat-based spatial and temporal variability in life history characteristics of female common dolphins *Delphinus delphis* in the eastern tropical Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, *318*, 277-286.

Davidson, A., Boyer, A., Kim, H., Pompa-Mansilla, S., Hamilton, M., Costa, D., & Brown, J. (2012). Drivers and hotspots of extinction risk in marine mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 109*, 3395-3400.

Dávila, C. (2011). *Diversidad y abundancia de la megafauna pelágica (ballenas, delfines, tortugas marinas, peces pico y rayas) presente en el Pacífico de Guatemala.* (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Dizon, A., Perrin, W., & Akin, P. (1994). *Stocks of Dolphins (Stenella spp. and Delphinus delphis) in the Eastern Tropical Pacific: A Phylogeographic Classification*. (No. NMFS 119). Seattle, Washington: U.S. Department of Commerce.

Gerrodette, T., & Forcada, J. (2005). Non-recovery of two spotted and spinner dolphin populations in the eastern tropical Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series, 291*, 1-21.

Gerrodette, T., & Forcada, J. (2006). *Estimates of abundance of northeastern offshore spotted, coastal spotted and eastern spinner dolphins in the eastern tropical Pacific Ocean* (No. LJ-02-06). San Diego, California: Southwest Fisheries Science Center.

Gerrodette, T., Watters, G., & Forcada, J. (2005). *Preliminary estimates of 2003 dolphin abundance in the Eastern Tropical Pacific*. (No. LJ-05-05). National Marine Fisheries Services; Sothwest Fisheries Science Center; San Diego Laboratory.

Herrera, F. y Calderón, A. (2006). *Memoria del Taller de Ecoturismo de Avistaje y Conservación de Cetáceos*. Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas.

Hill, P., Jackson, A., & Gerrodette, T. (1990). *Report of a marine mammal survey of the Eastern Tropical Pacific aboard the research vessel David Starr Jordan July 29-December 7, 1989.* (No. NOAA-TM-NMFS-SWFSC142). San Diego, California: Southwest Fisheries Science Center.

Hill, P., Rasmussen, R., & Gerrodette, T. (1991). *Report of a marine mammal survey of the Eastern Tropical Pacific aboard the research vessel David Starr Jordan July 28-December 6, 1990.* (No. NOAA-TM-NMFS-SWFSC158). San Diego, California: Southwest Fisheries Science Center.

Holt, R. (1983). *Report of Eastern Tropical Pacific research vessel marine mammal survey May 15 - August 3, 1982.* (No. NOAA-TM-NMFS-SWF-SC-29). San Diego, California: National Marine Fisheries Service, NOAA; Southwest Fisheries Science Center.

Holt, R., & Jackson, A. (1988). *Report of a marine mammal survey of the Eastern Tropical Pacific aboard the research vessel MacArthur.* July 30-December 10, 1987. (No. NOAA-TM-NMFS-SWFSC116). San Diego, California: Southwest Fisheries Science.

Hoyt, E. e Iñíguez, M. (2008). *Estado del avistamiento de cetáceos en América Latina.* WDCS, Chippenham, UK; IFAW, East Falmouth, EE.UU.; y Global Ocean, Londres.

Jackson A., Gerrodette, T., Chivers, S., Lynn, M., Olson, P., & Rankin, S. (2004). *Mammal Data Collected During a Survey in the Eastern Tropical Pacific Ocean Aboard the NOAA ships McArthur II and David Starr Jordan*, July 29 - December 10, 2003. (No. NOAA-TM-NMFS-SWFSC366). San Diego, California: National Marine Fisheries Service,NOAA; Southwest Fisheries Science Center.

Jackson, A., Gerrodette, T., Chivers, S., Lynn, M., Rankin, S., & Mesnick, S. (2008). *Marine mammal data collected during a survey in the Eastern Tropical Pacific Ocean Aboard the NOAA ships McArthur II and David Starr Jordan*, July 28 - December 7, 2006. (No. NOAATM-NMFS-SWFSC421). San Diego, California: National Marine Fisheries Service, NOAA; Southwest Fisheries Science Center.

Kinzey, D., Gerrodette, T., Dizon, A., Perryman W., & Olson, P., & Von Sunder, A. (1999). *Marine mammal data collected during a survey in the Eastern Tropical Pacific Ocean aboard the NOAA ships McArthur and David Starr Jordan and the Unols Ship Endeavor*. July 31-December 9, 1998. (No. NOAA-TM-NMFS-SWFSC283). San Diego, California: Southwest Fisheries Science Center.

Kinzey, D., Gerrodette, T., Barlow, J., Dizon, A., Perryman, W., & Olson, P. (2000). *Marine mammal data collected during a survey in the Eastern Tropical Pacific Ocean Aboard the NOAA ships McArthur and David Starr Jordan*, July 28 - December 9, 1999. (No. NOAA-TM-NMFS-SWFSC293). San Diego, California: National Marine Fisheries Service, NOAA; Southwest Fisheries Science Center.

Kinzey, D., Gerrodette, T., Dizon, A., Perryman, W., Olson, P., & Rankin, S. (2001). Marine mammal data collected during a survey in the Eastern Tropical Pacific Ocean aboard the NOAA ships McArthur and David Starr Jordan, July 28 - December 9, 2000 (No. NOAA-TM-NMFS-SWFSC303). San Diego, California: National Marine Fisheries Service, NOAA; Southwest Fisheries Science Center.

Laist, D., Knowlton, A., Mead, J., Collet, A., & Podesta, M. (2001). Collisions between ships and whales. *Marine Mammal Science, 17*, 35-75. doi: 10.1111/j.1748-7692.2001.tb00980.x

Mangels, K., & Gerrodette, T. (1994). *Report on cetacean sightings during a marine mammal survey of the Eastern Tropical Pacific aboard the NOAA ships McArthur and David Starr Jordan.* July 28-November 2, 1992. (No. NOAA-TM-NMFS-WSFC200). San Diego, California: Southwest Fisheries Science Center.

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, The Nature Conservancy. (2009). *Importancia Económica de los Recursos Marino Costeros y su Relevancia en el Desarrollo de una Política Nacional para Guatemala.* Guatemala: Autor.

Morteo, E., Heckel, Defren, R. H., & Schramm, Y. (2004). Distribución, movimientos y tamaño de grupo del tursión (*Tursiops truncatus*) al sur de Bahía San Quintín, Baja California, México. *Ciencias Marinas, 30,* 35-46.

Ortíz, J. (2010). Efecto de las variables oceánicas sobre el comportamiento de 3 especies de delfines (*Tursiops truncatus, Stenella attenuata y S. longirostris*) en el Pacífico Este de Guatemala. Resumen de cartel publicado en XIV Congreso Sociedad Mesoamericana para la Biología y Conservación. San José, Costa Rica: Sociedad Mesoamericana para la Biología y Conservación.

Ortíz, J. (2011). *Comportamientos de socialización y alimentación de tres especies de delfines (Tursiops truncatus, Stenella longirostris y Delphinus delphis) en el Cañón de San José y la Fosa Centroamericana - Pacífico Este de Guatemala.* (Tesis Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Oviedo, L., & Solis, M. (2008). Underwater topography determines critical breeding habitat for humpback whales near Osa Peninsula, Costa Rica: implications for Marine Protected Areas. *Revista de Biología Tropical, 56*, 591-602.

Perrin, W. (1975). Variation of spotted and spinner porpoise (genus *Stenella*) in the Eastern Pacific and Hawaii. *Bulletin of the Scripps Institute of Oceanography of the University of California, 21*, 1-206.

Perrin, W. (1976). First record of the melon-headed whale, *Peponocephala electra*, in the eastern Pacific, with a summary of world distribution. *Fishery Bulletin*, *74,* 457-458.

Perrin, W. (1990). Subspecies of *Stenella longirostris* (Mammalia: Cetacea: Delphinidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington, 103*, 453-463.

Perrin, W., & Chivers, S. (2011). Osteological specimens of tropical dolphins (*Delphinus, Grampus, Lagenodelphis, Stenella, Steno* and *Tursiops*) killed in the tuna fishery in the Eastern Tropical Pacific (1966-1992) and placed in museums by SWFSC (No. NOAA-TM-NMFS-SWFSC477). San Diego, California: Southwest Fisheries Science Center.

Perrin, W., Evans, W.E., & Holts, D. (1979). *Movements of pelagic dolphins (Stenella spp.) in the Eastern Tropical Pacific as indicated by results of tagging, with summary of tagging operations*, *1969-76.* (No. NOAA-TR-NMFS-SSRF-737). Seattle, Washington: National Marine Fisheries Service.

Perrin, W., Holts, D., & Miller, R. (1977). Growth and reproduction of the eastern spinner dolphin, a geographical form of Stenella longirostris in the eastern Tropical Pacific. *Fishery Bulletin, 75*, 725-750.

Perrin, W., & Walker, W. (1975). The rough-toothed porpoise, Steno bredanensis, in the Eastern Tropical Pacific. *Journal of Mammalogy, 56*, 905-907.

Pompa, S., Ehrlich, P., & Ceballos, G. (2011). Global distribution and conservation of marine mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 108*, 13600-13605.

Probioma. (2009). *Biodiversidad Marina de Guatemala: Análisis de vacíos y omisiones para el Pacífico de Guatemala: planificación para la conservación marina (Documento Técnico No. 5).* Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas.

Quintana-Rizzo, E., & Gerrodette, T. (2009). *Primer estudio sobre la diversidad, distribución y abundancia de cetáceos en la Zona Económica Exclusiva del Océano Pacífico de Guatemala*, Guatemala.

Reilly, S. (1990). Seasonal changes in distribution and habitat differences among dolphins in the eastern

tropical Pacific. *Marine Ecology Progress Series, 66*, 1-11.

Rodriguez-Fonseca, J. (2001). Diversidad y distribución de los cetáceos de Costa Rica (Cetacea: Delphinidae, Physeteridae, Ziphiidae y Balaenopteridae). *Revista de Biología Tropical, 49*, 135-143.

Ruano, S., Franco, I., Marroquín, J., Hernández, C., Díaz, C. e Ixquiac, M. (2008). *Patrones de distribución y estacionales de las especies de cetáceos observadas en el Pacífico de Guatemala*. (FODECYT No. 99-2006). Guatemala: Centro de Estudios del Mar y Acuicultura.

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Ordenamiento Territorial. (2011). *Plan de Desarrollo Integral del Litoral del Pacífico*. Guatemala: SEGEPLAN/DOT.

Wade, P., & Gerrodette, T. (1993). Estimates of cetacean abundance and distribution in the Eastern Tropical Pacific. *Reports of the International Whaling Commission, 43* (SC/44/O 18), 477-494.

Ciencia, Tecnología y Salud
Vol. 1 Num. 1 2014
ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso)

Ensayo Científico / Scientific Essay

La paradoja de la transición epidemiológica

José Manuel Arreaga

Departamento de Médicina Interna, Hospital General San Juan de Dios, Guatemala.

***Autor al que se dirige la correspondencia:** drmelecio@gmail.com

Recibido: 7 de octubre 2014 / **Aceptado:** 06 de noviembre 2014 / **Disponible en línea:** 24 de noviembre 2014

Resumen

En el año dos mil se celebró en la ciudad de Nueva York la Cumbre del Milenio, en donde se aprobó la Declaración del milenio. En esta, tomando como base la problemática existente a nivel global, se establecieron los Objetivos del Milenio. Estos constituyen un plan convenido entre todas las naciones del mundo y las instituciones de desarrollo más importantes a nivel mundial, y en los cuales se proponen: (1) Erradicar la pobreza extrema y el hambre. (2) Lograr la enseñanza primaria universal. (3) Promover la igualdad entre los géneros y la autonomía de la mujer; (4) reducir la mortalidad infantil. (5) Mejorar la salud materna. (6) Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades. (7) Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. (8) Fomentar una asociación mundial para el desarrollo. De estos objetivos, al menos cuatro involucran de manera directa al sector salud y de ellos todos incluyen al perfil epidemiológico clásico de nuestro país. Sin embargo, hacia el 2010, cuando se presenta el Tercer informe de avances en el cumplimiento de los objetivos de desarrollo del milenio, se evidenció que aún se está lejos de cumplir alguno de los objetivos. Además, mientras no es posible resolver los temas prioritarios para el sistema de salud, empieza a ser evidente el aumento de casos de enfermedades como diabetes mellitus, hipertensión arterial, dislipidemias y otras, que tienen como consecuencia complicaciones como infartos de miocardio, falla cardíaca, eventos cerebrovasculares y otras complicaciones que saturan los servicios de salud, dando como resultado objetivos prioritarios no cumplidos y el surgimiento de problemas de salud que eran considerados poco prevalentes en Guatemala.

Abstract

In the year 2000, it took place in New York City the Millennium Summit, and The Millennium Declaration was approved. Taking into account the global development issues, the Millennium Development Goals were established. These constitute an agreement between the World's nations and the most important development institutions worldwide. The Goals are: (1) Eradicate Extreme Hunger and Poverty. (2) Achieve Universal Primary Education. (3) Promote Gender Equality and Empower Women. (4) Reduce Child Mortality. (5) Improve Maternal Health. (6) Combat HIV/AIDS, Malaria and other diseases. (7) Ensure Environmental Sustainability. (8) Develop a Global Partnership for Development. Of these goals, at least four are related to health and our country's epidemiology. By year 2010, when the Third Report on the Millennium Goals in Guatemala was published, it was evident that the accomplishment of the goals was anything but close to achieve. Meanwhile it is not possible to solve the health priorities in the country, other diseases previously considered almost exclusive from the First World have emerged, and diabetes mellitus, hypertension, dyslipidemia and its complications gain terrain. As a result of this phenomenon, now we are facing priority goals not accomplished and a growing pool of chronic diseases that collapse the health care system.

La reproducción total o parcial del contenido e imágenes de esta publicación se rige de acuerdo a normas internacionales sobre protección a los derechos de autor, con criterio especificados en la licencia Creative Commons (CC BY-NC-SA 4.0)

El estado de salud de la población de Guatemala se ha visto marcado desde principios del siglo pasado por una alta prevalencia de enfermedades de tipo infeccioso y de tipo carencial, según la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional del Gobierno de Guatemala (SESAN), el 30.5% de la población guatemalteca se encontraba en estado de subnutrición en el año 2013 y en el año 2010 un 49.8% de niños y niñas menores de cinco años con desnutrición crónica infantil. (2014). Además, su situación geográfica y climática puede favorecer el aparecimiento de enfermedades infecciosas como las infecciones respiratorias, síndromes diarreicos agudos y enfermedades transmitidas por vectores, entre las que podemos mencionar al dengue y la malaria. En relación al clima, se produce un patrón cíclico de escasez alimentaria, que en asociación con las enfermedades previamente mencionadas, aumentan la morbilidad y mortalidad relacionadas a la desnutrición (SESAN, 2014). Así mismo, en los últimos años se ha visto como han aumentado de una manera alarmante los casos de infección por Virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH), causante del Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA), muy relacionado con el bajo nivel educativo de la población y de programas de prevención con cobertura inadecuada. La Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN), apunta que en el año 2000 en Nueva York, se celebró la Cumbre del Milenio, en donde 189 estados miembros de las Naciones Unidas acordaron un compromiso para la agenda mundial del desarrollo, la cual, tomando como base la problemática existente de manera global, incluye los Objetivos de Desarrollo del Milenio (2010). Estos constituyen un plan convenido entre todas las naciones del mundo y las instituciones de desarrollo más importantes a nivel mundial, y en los cuales se proponen: (1) Erradicar la pobreza extrema y el hambre. (2) Lograr la enseñanza primaria universal. (3) Promover la igualdad entre los géneros y la autonomía de la mujer. (4) Reducir la mortalidad infantil. (5) Mejorar la salud materna. (6) Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades. (7) Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. (8) Fomentar una asociación mundial para el desarrollo. (SEGEPLAN, 2010).

De estos objetivos, al menos cuatro involucran de manera directa al sector salud y de ellos todos incluyen el perfil epidemiológico clásico de nuestro país. Sin embargo, mientras el plazo para el cumplimiento de los objetivos se agota, no parece haber un avance importante en los cumplimientos de los mismos. Adicionalmente, ligado a la práctica de estilos de vida poco saludables, surge un aumento en la frecuencia de enfermedades crónicas no transmisibles como la obesidad, diabetes mellitus, hipertensión arterial, tabaquismo y las complicaciones de estas.

De las metas definidas en el año 2000, la primera se refiere a reducir a la mitad entre 1990 y 2015 el porcentaje de personas que viven con hambre. Para verificar el cumplimiento de esta meta, se definieron dos indicadores: desnutrición global (proporción de niños menores de cinco años con insuficiencia ponderal) y subnutrición (proporción de la población por debajo del nivel mínimo de consumo de energía alimentaria). Además, en el 2006 cuando se realizó el segundo informe sobre el cumplimiento de los Objetivos del Milenio, se incluyó un tercer indicador denominado desnutrición crónica (proporción de niños menores de cinco años con talla inferior a la normal para su edad).

Al parecer, de los tres indicadores, el único que se podrá cumplir en el plazo previamente fijado será la disminución de la desnutrición global, que tuvo una reducción de 3.55% entre los períodos en los que se realizó el análisis del indicador. En 1987 la prevalencia de desnutrición global era de 33.5%, 22.7% para el 2002 y 19.3% en el 2008. La meta para el 2015 es que sea de 16.8%, lo cual indica que desde el último informe la meta se encuentra únicamente a 2.55% de ser cumplida. (SEGEPLAN, 2010). Sin embargo, aunque los indicadores evidencien esta probabilidad y la tendencia del descenso progresivo en la prevalencia de desnutrición global sugiere que la meta va a ser cumplida, debemos tener en cuenta los casos recientes y muy publicitados de niños con desnutrición severa que en algunas situaciones incluso produjo mortalidad en algunos de ellos, siendo probablemente el evento ocurrido en Camotán uno de los más conocidos. De manera que aunque el indicador impresione en cuanto a una reducción en la prevalencia, es probable que el cumplimiento se vea afectado tanto actualmente como en los próximos años por estos eventos focalizados en algunos sectores con poca accesibilidad alimentaria.

En cuanto a la desnutrición crónica, que refleja directamente la situación de inseguridad alimentaria, debemos mencionar que la brecha es bastante amplia. Desde 1987 hasta 2008, la prevalencia de desnutrición crónica disminuyó de 57.9% a 43.4%, lo que evidencia una reducción de 14.5% en el período mencionado. Sin embargo, la meta para el 2015 se fijó en 29%, evidenciando una brecha de más del 14% para su cumplimiento. En aproximadamente 20 años se logró reducir la

desnutrición crónica en 14.5%, de manera que parece estar fuera de nuestra realidad el lograr reducir 14% de desnutrición crónica en menos de dos años, que será cuando se cumpla el plazo para el último informe de los logros alcanzados (SEGEPLAN, 2010).

La subnutrición disminuyó de 18.1% en 1989 a 15.2% en 2006, con una reducción de aproximadamente 3% en casi 20 años, con una brecha de más de 6% para el 2015, ya que la meta establecida es de 9.05%.(SEGEPLAN, 2010). Sin embargo, de acuerdo al indicador utilizado por la Food and Agriculture Organization (FAO), en 2013 el 30.5% de la población estaba subnutrida, por lo que la brecha parece ser mayor (SESAN, 2014). De acuerdo a la proyección sobre el cumplimiento de metas, tampoco se logrará reducir la subnutrición a los valores deseados (SEGEPLAN, 2010).

La desnutrición constituye un problema complejo, ya que depende de múltiples factores que permitan una adecuada disponibilidad y accesibilidad a los alimentos y de un adecuado sistema de saneamiento y de distribución tanto de agua como alimentario. En referencia a esta situación, se debe mencionar el bajo poder adquisitivo de nuestra población, con una economía que presenta una serie de factores que merman la capacidad de adquirir alimentos con suficiente calidad y cantidad. Entre estos factores se encuentra la acelerada elevación de los precios y consecuentemente del costo de la canasta básica, que supera ampliamente los ingresos promedio de la población y del salario mínimo.

Otro factor importante es la poca capacidad del país de producción alimentaria suficiente para satisfacer las necesidades de la población. De acuerdo al Tercer Informe de los Objetivos del Milenio, la dieta básica de las familias guatemaltecas está constituida por maíz y frijol, que son los alimentos más consumidos en los hogares de nuestro país. Sin embargo, en 2007 sólo se logró cubrir el 73% de la demanda de maíz y el 31% de la demanda de frijol (SEGEPLAN, 2010). Entonces, es de esperar que la accesibilidad y capacidad de adquirir otro tipo de alimentos como distintos tipos de carne, pan, leche y otros sea incluso menor que la de estos granos básicos.

Existen también factores de tipo cultural y social que alteran la accesibilidad a los alimentos. Uno de estos factores es la alta tasa de fecundidad que existe en algunas áreas del país. Por ejemplo, se estima que en el área rural en general la tasa de fecundidad es de 4.9, mientras en el área urbana es de 2.9 (SEGEPLAN, 2010). Esto determina que en lugares con menos recursos económicos la alta tasa de fecundidad no permita que todos los miembros de la familia tengan una cantidad suficiente de alimentos que les permita un adecuado desarrollo tanto físico como cognitivo.

Entre los factores geográficos y climáticos que afectan la producción y disponibilidad alimentaria en el país se encuentra la frecuencia alta de tormentas y desastres naturales que afectan las cosechas y otros productos derivados de la agricultura, siendo esta la principal fuente de abastecimiento en el país, tanto para consumo colectivo como para uso doméstico, ya que existen miles de personas que se auto sustentan con su propia producción.

Otro de los objetivos es combatir el VIH/SIDA, paludismo y otras enfermedades. En la década de los ochentas fue diagnosticado el primer caso de VIH/SIDA en Guatemala, y desde entonces ha aumentado el número de casos, así como las enfermedades relacionadas directamente con esta infección y los casos de muerte que derivan de ella. La meta establece que debe de detenerse y comenzar a reducir para el 2015 la propagación de la infección por VIH. En el Tercer Reporte de Objetivos del Milenio se indica que el número de casos detectados disminuyó de 2,947 casos en el 2005 a 1,525 en el 2009. Sin embargo, el descenso en el número de casos no es gradual, y puede decirse que el patrón es alternante, ya que aumentó en los años de 2007 y 2008, cuando se detectaron cerca de 3,000 casos por año. De acuerdo al informe, una probable explicación de la disminución en el número de casos en el 2009 se debió a la emergencia nacional por infección por virus influenza H1N1, la epidemia de dengue y desnutrición. Entonces, parece ser que en realidad no existió una disminución en el número de casos, mas bien, lo que aumentó fue el subregistro de casos o hubo incapacidad para poder diagnosticarlos. Debe considerarse que se estima un sub registro de aproximadamente 50%, lo que indica que el número de casos nuevos de VIH por año sea al menos del doble (SEGEPLAN, 2010).

La ausencia de estadísticas precisas no permite dimensionar de manera adecuada el problema a nivel nacional, ya que no puede medirse objetivamente casi ninguno de los indicadores propuestos para la evaluación del progreso en este objetivo, y al parecer estos indicadores excluyen algunas características importantes en la historia natural de la infección por VIH. El primer indicador pretende que se determine la prevalencia de VIH en personas de 15 a 24 años, probablemente debido a que se considera esta una época de difícil control del impulso sexual que puede llevar a un sujeto a tener conductas de riesgo y a la importancia que reviste mantener

la salud de la población con potencial económicamente activo. Sin embargo, es difícil la medición de este indicador, principalmente por que no existen sistemas de tamizaje para detección de la infección. A pesar que se han hecho algunos esfuerzos para su detección, estos son bastante escuetos desde el punto de vista de inclusión, ya que son aislados, se han realizado pocas pruebas, y generalmente se realizan en zonas urbanas de alta afluencia de personas, lo que puede conllevar dificultades metodológicas. Contrario a esta situación, en países desarrollados como Estados Unidos, existen leyes en algunos estados en donde es obligatorio para el personal de salud ofrecer y dar información sobre la prueba de VIH a todo paciente que consulte a un hospital, situación que no se da en nuestros sistemas de salud.

Una iniciativa que intenta llevar a cabo este tipo de metodología de tamizaje es la que se realiza en algunas emergencias de obstetricia de determinados hospitales nacionales así como clínicas de unidades de salud del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) en donde se realiza prueba para determinación de infección por VIH a toda mujer embarazada que consulta, y de esta manera se ha logrado detectar casos de infección.

Derivado de esta forma de trabajo, se logró aumentar el número de embarazadas tamizadas de 25,486 en el 2006 a 90,696 en el 2009. Como resultado de estos estudios, se logró determinar una disminución en el porcentaje de positividad de 0.53 en el 2006 a 0.27 en el 2009 (SEGEPLAN, 2010).

Se considera que hasta el 94% de infecciones por VIH en Guatemala se producen por contacto sexual. Esto sugiere que una manera de reducir las infecciones es una adecuada educación sobre las formas de contagio y sobre las medidas de prevención de la enfermedad como una estrategia que disminuya las conductas de riesgo en la población. De manera, que otros indicadores del cumplimiento de las metas son la proporción de la población entre 15 y 24 años que tienen conocimientos amplios y correctos sobre el VIH/SIDA y el uso de preservativos en la última relación de alto riesgo.

En general, el conocimiento que se tiene de la infección sobre todo en la población joven es deficiente, como se evidenció en el tercer reporte de acuerdo a la Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil 2008-2009 (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Instituto Nacional de Estadística, 2010). Según esta encuesta, alrededor del 23% de hombres y mujeres de 15 a 19 años, 26.2% de mujeres y 67% de hombres de 20 a 24 años tuvieron conocimientos adecuados de cómo prevenir la infección y supieron discernir entre las creencias equivocadas y correctas acerca de la infección por VIH. Además, en lo referente a la educación en centros escolares, solo el 7% de estudiantes de nivel medio y el 3.21% de estudiantes de diversificado recibieron educación referente a la infección por VIH/SIDA. Se estima que en Guatemala solamente 1 de cada 5 personas tiene conocimientos adecuados sobre formas de transmisión y prevención de la infección (SEGEPLAN, 2010).

En cuanto al uso de preservativo en la última relación de riesgo, debe decirse que menos de 60% de hombres utilizaron preservativo en su última relación de riesgo. Llama la atención que los sujetos que tienen una relación de matrimonio o unión, y que tienen otras parejas sexuales fuera de su pareja estable, entre 40 y 50% no utilizaron preservativo en su última relación sexual (SEGEPLAN, 2010). Esto evidencia la falta de prácticas de prevención y de la alta frecuencia de conductas sexuales de alto riesgo, que expone no solo al sujeto directamente involucrado en estas conductas sino también a su pareja en riesgo de contraer la infección por VIH. En cuanto al uso de preservativo en poblaciones de alto riesgo, se ha reportado que más de 90% de trabajadores sexuales usan preservativo. Sin embargo, los porcentajes varían de acuerdo a la edad, con más cumplimiento en trabajadores de mayor edad comparado con los más jóvenes (SEGEPLAN, 2010).

En el 2009, se determinó que había un déficit en cuanto al abastecimiento de preservativos a nivel nacional, ya que se necesitaban más de 200 billones de preservativos al año para cubrir las demandas. Sin embargo, hay cálculos que indican que en el 2009 sólo se logró cubrir un 9% de los requerimientos para la población general y un 17% para las poblaciones de riesgo (SEGEPLAN, 2010).

De acuerdo a los datos mencionados podemos considerar que hay deficiencias importantes en referencia a medidas educativas de concientización y divulgación de prácticas sexuales tanto de alto como de bajo riesgo, así como déficit en prácticas de sexo seguro. Además, puede observarse que incluso con conocimiento de medidas preventivas, la falta de abastecimiento de preservativos aumenta la vulnerabilidad de la población a adquirir la infección.

En la actualidad, se sabe que la esperanza de vida de un paciente infectado por VIH e incluso en etapa de VIH avanzado puede aumentar si se instituye un tratamiento adecuado, de manera que las metas pretendían que para el 2010 se lograra acceso universal al

tratamiento del VIH/SIDA para todas las personas que lo necesitaran, y a pesar de haber avances notables, aún se está lejos de lograr este objetivo. En el 2003 el porcentaje de personas con VIH que tenían acceso a tratamiento antirretroviral era de 43.35%, y aumentó de manera progresiva hasta un 69.24% en el 2009 (SEGEPLAN, 2010). Sin embargo, esto aún está lejos del 95% que se pretendía como meta. Si bien es cierto que el tratamiento del VIH disminuye la mortalidad en estos pacientes y puede reducir la probabilidad de infección, es necesario mencionar que el reto económico de financiar los programas de tratamiento son grandes. La inversión en los programas de tratamiento aumentó de 29.5 millones de quetzales a 51.3 millones en el 2008, y con esto se logró únicamente la cobertura del 69.24% de casos (SEGEPLAN, 2010).

El MSPAS, del Gobierno de Guatemala (2014a) señala que es poco probable que se logre cumplir con las metas en cuanto a reducción de la propagación de VIH/SIDA en el lapso de tiempo pendiente para el año 2015, ya que el número de casos detectados por año se ha mantenido estable desde el 2009 con 429 casos, con aumento en 2010 (815 casos) y 2011 (1004 casos) y 435 casos diagnosticados en el 2013. La brecha entre lo logrado y lo esperado aún es grande, y las características del sistema de salud no permitirán que esto cambie en un lapso corto de tiempo, tanto por problemas de cobertura, como de personal, infraestructura y sobre todo de recursos.

Otro de los objetivos es el combate de la malaria. Se consideraba en el 2010 que aproximadamente 80% del país endémico para malaria con presencia de casos en 20 de los 22 departamentos. Se ha logrado a lo largo del tiempo desde inicios de este siglo, la reducción en el número de casos de malaria. En el 2005 se diagnosticaron aproximadamente 40,000 casos de malaria y se ha logrado disminuir hasta en 85% el número de casos (SEGEPLAN, 2010). En el 2013 se diagnosticaron 6,214 casos de malaria, lo que evidencia el descenso notable en la aparición de casos (MSPAS, 2014b). En este avance debe resaltarse la importante participación comunitaria en medidas de control como limpieza de las áreas, fumigación y utilización de pabellones con insecticida de larga duración con la finalidad de eliminar al vector. Como resultado de estas acciones, se logró la disminución de la tasa de incidencia de malaria de 7.38 por mil habitantes en el 2003 a 0.9 por mil habitantes en el 2009. Se estima que si la tendencia continúa para el 2015 se llegue a la etapa de pre eliminación de las infecciones por *Plasmodium vivax* y que la mortalidad de infecciones por *Plasmodium falciparum* sea de cero, ya que del 2004 al 2007 solo se registraron 11 eventos mortales relacionados a infección por *Plasmodium* (SEGEPLAN, 2010).

De todas las metas propuestas, es probable que esta sea la única susceptible de ser cumplida en el plazo previsto. Esto puede deberse a situaciones como la participación comunitaria en el mantenimiento de la salud y al hecho de ser una enfermedad transmitida por vector, en donde al controlarse este se evita que puedan producirse más infecciones.

En este mismo objetivo se incluye el combate de la tuberculosis. Se ha logrado a partir del 2004 aumentar el número de casos de tuberculosis detectados, y se logró un aumento de 22.3% en su detección entre 2004 y 2008, y la tasa de mortalidad se ha reducido en aproximadamente 60%. Así mismo, entre 2004 y 2008, se logró una tasa de éxito de tratamiento del 84%. En el mismo período de tiempo hubo un aumento en la prevalencia de tuberculosis pulmonar de 16.8%, de 22.3% en todas las presentaciones de tuberculosis y de 42% de tuberculosis extrapulmonar. Esto puede deberse tanto al aumento en la capacidad de detección de casos de tuberculosis o a un aumento real del número de casos. Se estima que en el 2007 la detección solo alcanzó el 39%, con una tasa de incidencia de 15.51 por 100,000 habitantes, pero si se hubiera detectado el 70% esperado la tasa sería de 40 por 100,000 habitantes (SEGEPLAN, 2010).

De manera, que es probable que el número de casos se mantenga estable, considerando que las características sociales, demográficas y económicas no han cambiado de manera significativa y siguen siendo la pobreza, el hacinamiento, la desnutrición, poca protección respiratoria y procesos que alteran el sistema inmune como la diabetes y el VIH/SIDA los determinantes de la propagación de la infección por tuberculosis.

Como se hace evidente en los objetivos discutidos previamente, las prioridades en salud en el país se basan en procesos derivados de una alimentación insuficiente como resultado del sub desarrollo en el que el país se ha encontrado sumergido a lo largo de su historia, con su consecuente pobreza, falta de servicios básicos de saneamiento, acceso limitado a los servicios de salud, educación deficiente y otra gran cantidad de factores que determinan un alta prevalencia de enfermedades de tipo carencial e infeccioso. Probablemente el sistema de salud tenga razón en establecer estas prioridades, ya que mientras estas continúen siendo altamente prevalentes los efectos a corto, mediano y largo plazo

no permitirán un desarrollo adecuado al aumentar los costos tanto económicos como de vidas humanas. Sin embargo, a pesar de haber priorizado esta serie de problemas así como la salud materno infantil, que no fue discutida, parece evidente que no se logrará cumplir con la mayor parte de metas para el 2015. Esto evidencia la poca capacidad de planificación de nuestros sistemas de salud, la poca capacidad de ejecución de planes efectivos y eficaces que permitan reducir a lo largo del tiempo y de manera paulatina estos problemas de salud y probablemente también a la inexistencia de planes de seguimiento de los objetivos alcanzados. De manera que en materia de salud en Guatemala, no se logran resolver incluso los temas prioritarios. Entonces, surge la interrogante sobre que sucede con los temas no prioritarios. En los últimos años al parecer en países latinoamericanos incluyendo a Guatemala existe una transición epidemiológica, la cual es desordenada. Es desordenada porque no es una transición en sí con la desaparición de alguna situación y la aparición de otra. Por el contrario, no se logra disminuir ni controlar las enfermedades infecciosas y carenciales y los planes fracasan de manera obvia, y para oscurecer aún más el panorama, se empieza a observar ya la tendencia al alza de enfermedades crónicas degenerativas. Como resultado, ahora tenemos dos problemas sin control, el primero las enfermedades clásicas de nuestros países y el segundo las enfermedades aparentemente importadas de otras realidades socioeconómicas, pero que cada vez se arraigan mas en nuestra sociedad, como lo discutiremos a continuación.

Las enfermedades cardiovasculares representan la principal causa de morbimortalidad en países industrializados. Entre estas, debemos mencionar por su importancia epidemiológica en cuanto a mortalidad al infarto agudo de miocardio y los eventos cerebrovasculares tanto de origen isquémico como hemorrágico. Sin embargo, estos son solamente la guinda de un rico pastel de factores de riesgo que aumentan la probabilidad de estos eventos. En este grupo de situaciones que aumentan el riesgo de un individuo de padecer alguno de los eventos mencionados previamente, debemos mencionar a enfermedades como la diabetes mellitus, la hipertensión arterial, las dislipidemias, principalmente colesterol LDL elevado y colesterol HDL bajo, la obesidad, y algunos hábitos poco saludables como la poca actividad física, tabaquismo y un exceso en el consumo de bebidas alcohólicas.

La diabetes es probablemente el principal factor de riesgo para desarrollo de enfermedades coronarias. Es tanto el peso como factor de riesgo independiente, que se calcula que la probabilidad de tener un infarto agudo de miocardio en una persona diabética es el mismo que el de una persona que ya tuvo un primer infarto. Los pacientes con diabetes tienen dos a cuatro veces más riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares que aquellos sin diabetes. Del total de individuos con diabetes, aproximadamente el 80% desarrollará algún tipo de enfermedad cardiovascular, y de estos, alrededor del 60% fallecerán de enfermedades cardiovasculares. Algunos estudios indican que en el mundo hay cerca de 171 millones de diabéticos, y esto aumentará a 370 millones en el 2030 (Shannon, 2012).

En 2008, se registraron 57 millones de muertes globales, de las cuales, el 36 millones (63%) se debieron a enfermedades crónicas no transmisibles (Alwan et al., 2011). Se calcula que suceden 3 millones de muertes cada año debido a inactividad física, 7.5 millones de muertes anuales por hipertensión arterial, 2.6 millones por colesterol elevado y 2.8 millones de muertes por sobrepeso y obesidad (Alwan et al., 2011). Cerca de 80% de muertes por enfermedades crónicas no transmisibles ocurren en países con ingresos bajos o medianos, y las enfermedades crónicas no transmisibles son la principal causa de muerte en la mayoría de países, con excepción de África (Alwan et al., 2011).

En Estados Unidos, se calcula que más de 81 millones de personas tienen una o más enfermedades cardiovasculares. Las enfermedades cardiovasculares representan aproximadamente 1 de cada 2.8 muertes en Estados Unidos, mientras que la enfermedad arterial coronaria representó 1 de cada 5 muertes en el 2004. En el 2006, en los Estados Unidos aproximadamente 19% de muertes en personas entre 35 y 44 años y 45% de personas mayores de 85 años fueron provocadas por enfermedades cardiovasculares. Se calcula que el costo total de hospitalización fue alrededor de 71 billones de dólares, que representó aproximadamente la cuarta parte del costo total de hospitalizaciones en Estados Unidos (American College of Physicians, 2012).

Se calcula que después de los 40 años una de cada cinco personas desarrollarán insuficiencia cardíaca, con una tasa de mortalidad a un año de aproximadamente 20%. En el 2010, los costos por tratamiento de insuficiencia cardíaca se acercaron a los 40 billones de dólares (American College of Physicians, 2012).

En Guatemala, de acuerdo con el Informe de Salud de las Américas, se tiene la segunda tasa más alta de mortalidad por diabetes en Centro América, únicamente detrás de Nicaragua, y una alta proporción de muerte

prematura secundaria a enfermedades cerebrovasculares (Organización Panamericana de la Salud, 2012). En el año 2009, las estadísticas del MSPAS situaron como segunda causa de mortalidad general al infarto agudo de miocardio y los eventos cerebrovasculares en quinto lugar. Según estos registros, las primeras dos causas de mortalidad por enfermedades crónicas se deben a eventos cerebrovasculares y diabetes y en quinto lugar se sitúa la hipertensión arterial (Guzmán et al., 2010).

Existe una alta prevalencia de factores de riesgo, como lo evidenció el estudio Factores de Riesgo Cardiovascular en la Población de Guatemala realizado en el 2010, en donde se estimó una prevalencia de sobrepeso/obesidad de 53.75%, obesidad abdominal 53.44%, sedentarismo 27.68%, hipercolesterolemia 21.24%, hipertrigliceridemia 30.09%, HDL bajo 98.81% y tabaquismo 26.46%, alteración de la glucosa preprandial 64.14% e hipertensión arterial 13.33% (z).

A medida que avanza la capacidad para dar tratamiento a estas enfermedades, es probable que disminuya el número de eventos fatales derivados de infartos miocárdicos y eventos cerebrovasculares. Además, cada día avanza nuestro entendimiento sobre los fenómenos fisiopatológicos que determinan estas enfermedades, y conjuntamente mejora el tratamiento de las mismas, lo que conduce probablemente a un mayor número de sobrevivientes de estos eventos. Sin embargo, parece ser que la labor del trabajador de salud no termina en haber rescatado a estas personas de una situación altamente letal, ya que si bien hasta cierto punto se ha rescatado a un ser humano de una muerte casi segura, no se puede asegurar una recuperación completa y sin secuelas. Esto se traduce en un mayor número de complicaciones del infarto agudo de miocardio, como la insuficiencia cardíaca, sin duda la más importante y las devastadoras secuelas neurológicas de un evento cerebrovascular con la consecuente incapacidad que conllevan.

De manera, que las enfermedades en sí mismas producen gastos impresionantes para los sistemas de salud, las complicaciones elevan aún más los costos, y las secuelas seguramente tienen un precio demasiado alto tanto económico como social, pero sobre todo de tipo humano. El costo económico genera un alto impacto económico incluso en países de primer mundo, de manera que es sumamente sencillo suponer las consecuencias que tendrán en un mediano plazo en países como el nuestro.

Es probable que surja un dilema en cuanto a la situación asistencial de salud, debido a que estas enfermedades ya están instaladas en nuestro país, ya están provocando pérdidas tanto humanas como económicas, y además ya hay sobrevivientes que tienen graves secuelas derivadas de ellas. Entonces, surgen interrogantes de cómo deben utilizarse los recursos asignado al sector salud. ¿Deben construirse más hospitales? ¿Deben equiparse mejor los hospitales actuales? ¿Deben abastecerse mejor los hospitales? ¿Debe comprarse más medicina? ¿Deben comprarse equipos de la última tecnología para diagnóstico y tratamiento? ¿Deben construirse más unidades de rehabilitación?

La respuesta al parecer es sí. Deben construirse más hospitales porque los existentes actualmente no se dan abasto para atender a una población creciente que cada vez acude más a los servicios de salud pública. Deben equiparse mejor los hospitales actuales para evitar retrasar procedimientos por falta de recursos, para hacer diagnósticos más precisos, para evitar que los pacientes duerman en el suelo, para que todas las camillas tengan colchón, para que siempre haya rayos X, para que haya personal suficiente, en fin, para que la atención al usuario sea mejor. Debe comprarse más medicina para poder tratar al paciente con los tratamientos de elección, para poder hacer medicina basada en evidencia y dejar de una vez por todas la pseudo práctica médica de la *medicina basada en existencia* o vulgarmente conocida como *darle algo*, que es a donde nos ha llevado la mala gestión de los gobiernos a lo largo de los años. Sí, deberíamos de contar con equipos de tecnología de punta, de esos que se usan en los países de primer mundo. ¿Por qué? Pues porque los resultados son mejores, más fiables, más exactos, más precisos, más objetivos.

De manera que sí es necesario invertir en la medicina de curación y rehabilitación que es la que se practica en Guatemala desde hace muchos años. Sin embargo, este modelo no es sostenible a largo plazo, como se evidencia ya en nuestros hospitales nacionales colapsados, en donde se demuestra que no estamos preparados para seguir haciendo medicina curativa, porque simplemente no tenemos la capacidad económica como país para ejecutar este sistema, que colapsará más temprano que tarde. Entonces, si curar no es la mejor opción, puede ser que prevenir si lo sea.

El modelo de las enfermedades cardiovasculares es uno de los mejores ejemplos para demostrar que el modelo de prevención es superior al modelo de curación. Si lo analizamos como un continuo, y de hecho se ha llamado así (el continuum cardiovascular), todo empieza con un factor, que la mayor parte de las veces es prevenible, que provoca una enfermedad en la que

se puede hacer prevención secundaria, para evitar que surjan complicaciones.

En nuestro caso, debemos establecer métodos de detección sencillos, baratos y aplicables a poblaciones grandes. Se debe de hacer tamizaje de peso, talla, índice de masa corporal, medidas de circunferencia abdominal para determinar la población en riesgo de evolucionar a enfermedades con alto riesgo cardiovascular, e incluso estas simples medidas antropométricas pueden ayudar a detectar a aquellos que presenten ya enfermedades como diabetes o hipertensión. Al mejorar nuestra detección de sujetos con estas enfermedades, se podrá empezar un tratamiento menos tardío de estas enfermedades y sus múltiples comorbilidades que pueden presentar. Al dar tratamiento e influir en sus comorbilidades se hace prevención secundaria, con el fin de evitar complicaciones directas de estas enfermedades como infartos o eventos cerebrovasculares, y al disminuir la frecuencia de estos eventos se reduciría tanto la mortalidad directamente relacionada con ellos, así como complicaciones con repercusiones irreversibles.

De acuerdo a la información discutida, se puede decir que en Guatemala no existe en realidad una transición epidemiológica. Si la transición epidemiológica se refiere a los cambios en los procesos que causan morbilidad y mortalidad en las poblaciones, en donde debería de haber una disminución de las muertes por causas infecciosas y aumento en las crónico-degenerativas, es evidente que no es la situación en nuestro país.

En Guatemala hay todavía una alta frecuencia de enfermedades relacionadas con desnutrición y procesos infecciosos, como se puede observar con la incapacidad para cumplir los Objetivos del Milenio. Por el otro lado de la balanza, empiezan a aumentar las enfermedades crónicas no transmisibles, en particular todas aquellas que aumentan el riesgo cardiovascular, y se espera que en los próximos años aumenten aún más. Entonces, al no estar preparados con programas de prevención factibles, parece ser que la balanza se equilibrará con dos problemas con pesos específicos similares que continuará consumiendo nuestros sistemas de salud y económicos, y sin poder resolver ni el antiguo problema y menos aún el nuevo.

Referencias

Alwan, A., Armstrong, T., Bettcher, D., Branca, F., Chisholm, D., Ezzati, M. …Wild, C. (2011). *Global status report on noncommunicable diseases*. Genova: Autor. Recuperado de www.who.int

American College of Physicians. (2012). *MKSAP16 Cardiovascular Medicine*. En P. Alguire (Ed.). Philadelphia, PA: Autor.

Guzmán, I., Gómez, D., Arana, P., Morataya, C., Sandoval, M., Bran, B., y Leonardo, R. (2010). *Prevalencia de Factores de Riesgo Cardiovascular en la población de Guatemala*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala.

Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Instituto Nacional de Estadística, Universidad del Valle de Guatemala, Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, Embajada de Suecia, Centros para el Control y Prevención de Enfermedades, Fondo de Naciones Unidas para la Infancia, Fondo de Población de las Naciones Unidas, O. P. de la S. (2010). *Informe Final V Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil 2008-2009*. Guatemala: Autor.

Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Gobierno de Guatemala. (2014a). *Morbilidad por VIH Por Departamento y Area de Salud.* Guatemala: Autor.

Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Gobierno de Guatemala. (2014b). *Morbilidad por Malaria Por Departamento y Area de Salud.* Guatemala: Autor.

Organización Panamericana de la Salud. (2012). *Salud en las Americas. Panorama regional y perfiles de país*. Washington, US: Autor. Recuperado de www.paho.org/saludenlasamericas/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=14&lang=es

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2010). *Tercer informe de avances en el cumplimiento de los objetivos de desarrollo del milenio*. Guatemala: Autor.

Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional. Gobierno de Guatemala. (2014). *Plan de acción contra el hambre estacional en el marco del plan del pacto hambre cero.* Guatemala: Autor.

Shannon, R. (2012). Diabetes and cardiovascular disease: the ties that bind. *European Heart Journal Supplements*, *14*(suppl B), B1–B3. doi:10.1093/eurheartj/sus004

Ciencia, Tecnología y Salud
Vol. 1 Num. 1 2014
ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso)

Instrucciones para Autores

La Revista Ciencia, Tecnología y Salud es una publicación de la Dirección General de Investigación y colaboración del Sistema de Estudios de Postgrado, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Está orientada a divulgar investigaciones originales en las áreas de ciencias, tecnologías y salud humana y animal. Constituye una publicación en formato digital Open Journal System (OJS) en línea , y semestral en forma impresa, cuyos manuscritos aceptados para publicación son sometidos a procesos de revisión y arbitraje por pares, lo que garantiza al lector y autores un alto nivel y rigor académico.

Instrucciones generales (lea detenidamente todas las instrucciones para autor)

1. La Revista publica los siguientes tipos de manuscritos:
   a. Artículos científicos
   b. Artículos de revisión
   c. Ensayos
   d. Reseñas
   e. Reporte de casos

2. La Revista presta consideración editorial únicamente a artículos inéditos y originales que no hayan sido publicados con anterioridad y que no estén siendo evaluados para publicación en ningún otro medio. Si el material hubiese sido presentados previamente de manera parcial (ej. Congresos), deberá consignarse dicha información en la carta de presentación y al final del resumen.

3. Los trabajos deben ser presentados utilizando la plataforma OJS y los formatos accesibles en la dirección electrónica www.digi.usac.edu.gt/ojsrevistas/ siguiendo las instrucciones que los formatos le exigen. Para poder enviar un manuscrito usted debe registrarse como autor en la página anterior (sección registrarse).

4. Todos los trabajos deben presentarse en formato MS Word (versión 2007), tamaño carta, letra Times New Roman 12 puntos, interlineado de 1.5, márgenes de 2.5 cm, a una columna, páginas numeradas y referenciados de acuerdo al Manual de Publicaciones de la *American Psycochological Association* (APA) 6°. edición.

5. Todos los trabajos deben incluir un título en español e inglés, los nombres de los autores (apellido, nombre) y su afiliación institucional.

6. Los manuscritos que informen investigaciones con seres humanos o animales, deben incluir una sección de Aspectos Éticos del trabajo, incluyendo la aprobación por un Comité de Ética cuando corresponda, el consentimiento informado en caso de estudios con seres humanos y los procedimientos utilizados para el manejo ético de animales de laboratorio.

7. Las Tablas, Figuras e Imágenes, deben ser enviadas en archivos separados (archivos complementarios OJS) y en el formato original utilizado (Ej. .doc, .docx, .xls, .xlsx, .png, .jpg, TIFF). Las imágenes deben tener un mínimo de 300 dpi de resolución.

Instrucciones específicas:

Se recomienda a los autores revisar un número anterior de la revista para visualizar el contenido del artículo previo a su envío.

1. Artículo científico:

Son artículos dirigidos a informar sobre resultados de proyectos de investigación. La extensión máxima es de 20 páginas e incluye lo siguiente:

a. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir cinco palabras clave
b. Abstract (inglés) incluir cinco keywords
c. Introducción
d. Materiales y métodos
e. Resultados
f. Discusión
g. Agradecimientos (incluir fuente de financiamiento)
h. Referencias
i. Tablas y Figuras

La reproducción total o parcial del contenido e imágenes de esta publicación se rige de acuerdo a normas internacionales sobre protección a los derechos de autor, con criterio especificados en la licencia Creative Commons (CC BY-NC-SA 4.0)

2. Artículos de revisión

Los artículos de revisión presentan temas de importancia tratados por expertos y únicamente se aceptan por invitación del Consejo Editorial. La extensión máxima es de 20 páginas y deben incluir lo siguiente:

a. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir cinco palabras clave
b. Abstract (inglés) incluir cinco keywords
c. Introducción
d. Contenido
e. Conclusiones
f. Referencias Mínimo 50 referencias
g. Tablas y Figuras

3. Ensayos científicos

Los ensayos son trabajos en que el autor aborda su interpretación de un tema relevante a la ciencia, la tecnología o la salud y plantea argumentos y opiniones personales sobre el mismo, concluyendo en planteamientos que resumen su posición ante el tema seleccionado. La extensión máxima es de 20 páginas e incluye lo siguiente:

a. Resumen
b. Abstract
c. Introducción
d. Contenido
e. Conclusiones
f. Referencias

4. Reseñas

Las reseñas son revisiones y comentarios sobre nuevos libros, videos u otras obras. Su extensión máxima es de dos páginas y su formato es libre. Debe incluir la referencia bibliográfica completa, fotografía de la obra y dirección electrónica cuando aplique.

5. Reporte de casos

Estos artículos presentan en forma detallada y documentada casos especiales que merezcan la atención del ámbito de la revista. Pueden ser casos clínicos, tecnológicos o de otros campos de la ciencia. La extensión máxima es de diez páginas e incluye lo siguiente:

a. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir cinco palabras clave
b. Abstract: incluir cinco keywords
c. Introducción
d. Presentación del caso
e. Discusión
f. Referencias
g. Tablas y Figuras

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2410-6356 (electrónico) / 2409-3459 (impreso) Vol. 1 Num. 1 jul/dic. 2014

Revisores de este volumen

Allan Franco
Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Bessie Oliva
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia,
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Cristina Calderón
Corporación Empresarial de Prevención del VIH,
Guatemala

Edil Rodríguez
Colegio de Ingenieros Agrónomos de Guatemala,
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Edgar García Pimentel
Facultad de Veterinaria y Zootecnia,
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Eunice Enríquez
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia,
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

José Calderón
Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

José María Gramajo Garméndez
Facultad de Ciencias Médicas,
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Manuel Ixquiac
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura,
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Mercedes Annabella Barrios Contreras
Médicos del Mundo España, Guatemala

Rebeca Méndez
Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez, Guatemala.

Ruth Argentina De León Chocooj
Planta Productora de Hongos Comestibles "Ocox",
Guatemala

Yvonne Sommerkamp,
Monasterio Ortodoxo Lavra Mambré y Laboratorio
Fitomykoterapéutico Lavra Mambré, Guatemala

Zenón Much,
Escuela de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería,
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Unidad de Publicaciones y Divulgación

Marco Vinicio Chavarría Trejo
Ronald Adrian Barrios Méndez
Impresores

La impresión de este documento se realizó en la Unidad de Publicaciones y Divulgación de la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en noviembre de 2014, con un tiraje de 500 ejemplares.

Presentación
Gerardo Arroyo Catalán

Editorial

Artículos Cíentíficos
Evaluación de resistencia genotípica del VIH-1 en pacientes con fallo virológico de Guatemala
Blanca Samayoa, Anneliese Moller, Narda Medina, Eduardo Arathoon, Dalia Lau-Bonilla

Efecto de la configuración del paisaje en las comunidades de abejas (Apoidea) de un mosaico de bosque pino-encino y áreas agrícolas de Sacatepéquez y Chimaltenango, Guatemala
Natalia Escobedo Kenefic, María José Dardón Peralta, Jessica Esmeralda López, Oscar Martínez, Edson Cardona

Índice de calidad de agua del río Cucabaj ubicado en el municipio de Santa Cruz del Quiché, Quiché y la influencia en los costos del tratamiento de potabilización
Monica Aldana Aguilar, Elvis Zacarias Laynes

Evaluación de la producción de cuerpos fructíferos de cepas guatemaltecas del hongo comestible Rukoxil Tunay Che' (*Agrocybe cylindracea *(DC.) Maire.) en diferentes sustratos
María del Carmen Bran, Roberto Cáceres, Natalia Gurriarán, Osberth Morales, Roberto Flores

Bioprospección de los hiperparásitos* Cicinobolus cesatii *de Bary y* Eudarluca caricis *(Biv.) O.E. Erikss sobre cultivos y plantas adyacentes en la región central de Guatemala
Gustavo Adolfo Alvarez Valenzuela, María del Carmen Santos Bravo, Luis Fernando Centes Carrillo

Cetáceos del Pacífico de Guatemala: Cincuenta años de historia
Andrea A. Cabrera Arreola, Jenniffer S. Ortiz Wolford, Mildred F. Corona Figueroa, Victor M. Gudiel Corona

Ensayos Científicos
La paradoja de la transición epidemiológica
José Manuel Arreaga

http://digi.usac.edu.gt/ojsrevistas