

Ciencia y Tecnología

Publicación Bianual de la Dirección de Investigación Científica de la
Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Número 10, Junio 2012

ISSN: 1995 - 9613



**La promoción de la investigación científica a través
de la capacitación metodológica y técnica**

Ciencia y Tecnología

Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Dirección de Investigación Científica

Número 10, junio 2012

ISSN: 1995-9613

Fotografía: Miguel Barahona

Rectora

Julieta Castellanos

Vicerrectora Académica

Rutilia Calderón

Directora de Investigación Científica

Leticia Salomón

Dirección Conjunta

Leticia Salomón

Isabel Sandoval Salinas

Edwin Medina López

Consejo Editorial

Claudia Torres

Gerardo Borjas

Ivette Lorenzana

Norma Lagos

Edición, arte y diagramación

Departamento de Documentación e Información

La Dirección de Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) es la instancia normativa del Sistema de Investigación Científica encargada de velar por la aplicación de políticas, planes, programas, proyectos y acciones destinados al desarrollo de la investigación científica con calidad.

Edificio F1, 3er. piso, cubículo 301

Tel: (504) 2231-0678 o Ext. 151

Departamento de Documentación e Información

Isabel Sandoval

investigacionunah.informacion.is@gmail.com

Karolina Herrera

investigacionunah.informacion.kh@gmail.com

www.unah.edu.hn

Esta es una publicación bianual de la Dirección de Investigación Científica.

El contenido de cada artículo es responsabilidad de su autor.

La suscripción de esta publicación es gratuita, solamente se cobrará el costo del envío.

Contenido

Tema Central	
La promoción de la investigación científica a través de la capacitación metodológica y técnica <i>Leticia Salomón, Edwin Medina, Jorge Amador</i>	3
Diálogo Abierto	
Entrevista a <i>Luis Alonso Reyes</i> “Capacidades institucionales en investigación”	17
Diversidad Temática	
Diversidad de insectos acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua de la microcuenca del río Jutiapa en las quebradas Corralitos, Limones y Jutiapa del Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras <i>Alba Isbela Hernández, Rosella Martínez, Delia Moreno, Luis Martínez</i>	25
Viaje al Corazón de Taulabé <i>Cesar Mauricio Urbizo, Patrick Duran Leiva, Giovani Peraldo Huertas, Ronald Ramírez Salazar</i>	57
Deficiencia de hierro y su relación con la función cognitiva en escolares <i>Ivette Rivera, María Félix Rivera, Rebeca Rivera</i>	69
Determinación de residuos de líquidos inflamables en escombros de incendios por cromatografía de gases-FID <i>Henry Daniel Ponce Rodríguez</i>	81
Convergencia económica en América Central. Evidencia empírica, 1975 - 2005 <i>Mirta Macías Ruano, Luis Alonso Reyes</i>	100
Algunos desafíos a enfrentar en la modelación hidrológica <i>Roberto Fredy Ávalos Langan</i>	117
Intensidad del fondo del cielo como indicador de inyecciones coronales solares y efectos geomagnéticos <i>Maribel Guerrero</i>	135
Producción de Bioetanol a partir del Mucilago de Café (<i>Coffea arabica</i> . L). CURC. UNAH. Comayagua. Honduras. 2011 <i>Mario Renán Fúnez Caballero</i>	150
Notas Informativas	
Otros Anuncios	167
Criterios para la publicación en la revista <i>Ciencia y Tecnología</i>	171



*Tema
Central*

La promoción de la investigación científica a través de la capacitación metodológica y técnica

Leticia Salomón*
Edwin Medina**
Jorge Amador***

LAS EXIGENCIAS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN LAS INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR (IES)

El desarrollo de la investigación científica en las IES está vinculada a los investigadores, los profesores y los estudiantes, lo que nos obliga a considerar su abordaje en dos instancias diferenciadas: por un lado, a nivel de los estudiantes de grado y posgrado, y, por otro, a nivel de los profesores/ investigadores que trabajan en los mismos niveles (grado y posgrado).

En la primera instancia, referida a los estudiantes, conviene precisar que los niveles de exigencia y calidad en su formación, son directamente proporcionales al grado académico en el que se insertan. Por ejemplo, a nivel de licenciatura el nivel de exigencia es mínimo, esperando que los estudiantes del nivel sean capaces de manejar principios metodológicos básicos y las técnicas mínimas que les permitan identificar un problema de investigación, diseñar una estrategia de abordaje y presentar los resultados con un mínimo de rigurosidad. Esto supone un esfuerzo doble que implica, por un lado, remediar la deficiencia y deformación investigativa con que ingresan los estudiantes a las IES (escasos conocimientos sobre qué hacer para recoger y sistematizar información primaria y secundaria; incorrecta utilización y citación de ideas y datos de otros autores; y muy poca capacidad para presentar resultados de forma sencilla y estructurada) y, por otro, proporcionar los conocimientos y generar las prácticas adecuadas para que aprenda a hacer investigación con un mínimo de exigencia de calidad a lo largo de su carrera en la universidad. A nivel de maestría, el nivel de exigencia de capacidad investigativa es más alto porque este nivel sigue siendo formativo aunque con un fuerte grado de investigación; los retos se presentan también a nivel remedial con los estudiantes que ingresan y, a nivel avanzado, con el manejo de métodos y técnicas básicas que

* Leticia Salomón, Dirección de Investigación Científica, investigacionunah.directora.ls@gmail.com

** Edwin Medina, Dirección de Investigación Científica, Departamento de Proyectos de Investigación. investigacionunah.proyectos.em@gmail.com

*** Jorge Amador, Dirección de Investigación Científica, Departamento de Gestión y Cooperación, investigacionunah.gestion.ja@gmail.com

les permitan realizar trabajos de calidad en las distintas asignaturas y en la elaboración y desarrollo de su trabajo de tesis. A nivel de doctorado y mucho más a nivel de postdoctorado, la situación se revierte: el componente esencial es investigación, con toda la rigurosidad teórica, metodológica y técnica, y el componente secundario es la formación. Los estudiantes de cada nivel deben ir fortaleciendo y demostrando de manera creciente sus capacidades en investigación, el rigor del método, la precisión de las técnicas y la presentación precisa de sus resultados. Y esto deben hacerlo con el sustento de un eje curricular en investigación en cuyos componentes (asignaturas, talleres o seminarios) vayan adquiriendo el conocimiento y las habilidades necesarias para hacer investigación de calidad en el área científica de su competencia. El acompañamiento del proceso por parte de profesores que sean investigadores es fundamental para que la investigación se traduzca en práctica constante y natural que haga de la misma un proceso estimulante, responsable y comprometido con el desarrollo de la ciencia y la satisfacción de las necesidades nacionales. Manejar el eje curricular de investigación como una reproducción de la docencia tradicional en la que el estudiante lee, memoriza y responde a preguntas de rigor sin el acompañamiento de una práctica dirigida que le haga "aprender a investigar investigando", es un error que produce un doble efecto negativo: reduce el impacto del eje curricular de investigación en su formación profesional y minimiza, si no es que elimina, el aporte de su carrera al desarrollo de las prioridades de la ciencia, la tecnología y la propia sociedad.

En la segunda instancia, la de los profesores/ investigadores que trabajan a nivel de grado y posgrado, la situación es un tanto diferente. Para empezar, es importante precisar que los que hacen investigación científica en una IES y los que responden por la cantidad y calidad de la misma, son los profesores de la universidad y no los estudiantes de la misma, porque estos son aprendices en tanto se encuentran en un proceso de formación profesional que supone la adquisición creciente del conocimiento y manejo teórico de su campo del conocimiento. Pueden y deben hacer investigación con el acompañamiento /asesoría de un investigador que puede actuar como profesor de una asignatura, como director de tesis o como mentor en un proceso formativo de investigadores. Los profesores que investigan pueden trabajar a nivel de grado o de posgrado, pero se convierten en el centro del quehacer investigativo cuando se interesan en la investigación científica y cuentan con las capacidades mínimas para hacerlo con rigurosidad científica, metodológica y técnica. De ellos y de sus habilidades depende su fortalecimiento como investigadores científicos, más allá del nivel académico en donde trabajen. De su visibilidad como investigadores en congresos, conferencias, talleres, simposios y foros, y de su perfil como autores de artículos científicos en revistas nacionales e

internacionales, dependerá su reconocimiento personal e institucional como investigadores.

Estos profesores investigadores pueden ubicarse en cualquier escala académica (licenciatura, especialidad, maestría, doctorado o posdoctorado) o en cualquier categoría docente (desde la más baja a la más alta), trabajar a nivel individual o grupal, a nivel disciplinario, inter o multidisciplinario y publicar a nivel nacional o internacional, todos ellos son investigadores científicos si poseen la profundidad de conocimientos, la rigurosidad del método, la precisión de las técnicas, la novedad y pertinencia de sus temas de investigación y su profundo compromiso con la ciencia, la tecnología y la sociedad que demanda más y mejores conocimientos. No obstante, el desarrollo de las comunicaciones, la eliminación de fronteras del conocimiento, la apertura de las universidades al mundo y la universalidad de la ciencia, asociada a la importancia de la interdisciplinariedad, obligan a los investigadores a ampliar sus horizontes, superar la visión limitada de su escritorio o laboratorio y conocer lo que ocurre en otras partes del mundo en los temas que están investigando, en asociación con investigadores de otras disciplinas, universidades y países.

El desarrollo de la investigación científica requiere manejo teórico de una disciplina, lo cual se adquiere por la adquisición de grados académicos desde las licenciaturas hasta las especialidades, maestrías, doctorados y posdoctorados, o por una sabia combinación de alguno de ellos con la profundización personal del conocimiento en un tema específico. Pero también requiere manejo de los métodos y las técnicas cuantitativas y cualitativas que vuelvan rigurosos, convincentes, válidos y aceptables los resultados de un proceso de investigación; esto se adquiere parcialmente dentro del proceso formativo o complementariamente por una vía alternativa que permite la adquisición de conocimiento técnico específico, como es la capacitación en investigación e, inclusive, la capacitación en gestión de la investigación.

La capacitación se convierte en un instrumento indispensable para fortalecer las habilidades de los investigadores en campos que no conocieron en su proceso formativo o que olvidaron por falta de uso o por el tiempo transcurrido desde que finalizaron sus estudios, pero también se convierte en un instrumento central para fortalecer los conocimientos y las habilidades de los profesores que enseñan a investigar – a nivel de grado o posgrado- para que aumenten la calidad de la enseñanza de la investigación y puedan estimular, desarrollar y potenciar el interés y las habilidades estudiantiles en el ámbito de la investigación científica.

LA CAPACITACIÓN Y LA CALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

En este apartado analizaremos porqué en el contexto de la educación superior se vuelve necesario implementar estrategias de capacitación que coadyuven el fortalecimiento de uno de los tres ejes fundamentales de la vida universitaria actual: la investigación científica.

Al hablar de capacitación en investigación se hace referencia, por lo general, a cursos, talleres o diplomados sobre metodología de investigación, que comprenden aspectos estructurales del proceso y que pueden incluir desde temas epistemológicos hasta asuntos operativos de la investigación, como calcular una muestra, elaborar instrumentos de recolección de datos o redactar informes de investigación. Se incluye, además, la formación recibida en programas de estudio de nivel superior a través de especialidades, maestrías y doctorados.

¿Por qué Capacitar en Investigación?

En América Latina, el apoyo brindado a la educación en general y a la educación superior en particular, durante la década de los años ochenta, fue relativamente bajo y se caracterizó por una reducción de los recursos económicos de apoyo a la Instituciones de Educación Superior (IES) justificada en el incremento del gasto en defensa y seguridad o el fortalecimiento de los ejércitos nacionales (Gazzola, A. y Didriksson, A, 2008). Esto redundó en una educación superior que enfatizaba la docencia sobre la investigación y la extensión, generando nuevos profesionales para el mercado laboral pero generando muy poco conocimiento científico o brindando un bajo aporte a la solución de los problemas nacionales.

Al reducirse el conflicto bélico derivado de la guerra fría, a partir de los años noventa, con el advenimiento del cese de la guerra fría, la región latinoamericana se vio en la necesidad de ajustar sus políticas para formar parte y manejar las relaciones en el nuevo mundo globalizado. Estos ajustes tienen que ver también con la manera de mejorar su economía y desarrollo humano, lo que hace que se replantee el rol de las universidades como actores clave en la generación y transmisión de dicho conocimiento.

Algunos analistas comparan este volver a la universidad, con el cambio que se dio de la universidad napoleónica a la universidad humboltiana que incorporó la ciencia y la investigación como parte fundamental de su quehacer. A partir de entonces las universidades han estado llevando a cabo acciones de modificación de sus procesos formativos y de los contenidos de sus mallas curriculares y han avanzado

en la definición del rol que las instituciones universitarias deben cumplir en el desarrollo de los países. (Santelis, 2010)

En el marco de la globalización, la era de la información y la inminente internacionalización de la educación superior, las universidades se volvieron gestoras o depositarias de mayores recursos para realizar investigación en base a estándares internacionales y nacionales cada vez más exigentes, que demandan de ellas calidad, transparencia en el financiamiento, rendición de cuentas, flexibilidad curricular, equidad y pertinencia, uso y manejo de tecnologías de información y comunicación y transferencia de nuevos conocimientos enmarcados dentro de nuevos ordenamientos jurídicos, legislativos, políticos y organizacionales, aunados a procesos de investigación que deben contar con un fuerte respaldo científico y metodológico, con el que no se cuenta en la mayoría de las universidades de América Latina, por lo que vuelve necesaria la capacitación permanente para lograr fortalecer la investigación (Gazzola, A. y Didriksson, A, 2008), entendiéndose ésta, la capacitación, como una de las muchas estrategias que se pueden implementar para desarrollar la investigación universitaria pues se sabe que la investigación científica es una actividad que se aprende haciendo. Es importante destacar, en este sentido, que los responsables de la investigación en América Latina han sido, y siguen siendo, las universidades públicas, mismas que están trabajando en de distintos procesos de reforma, por mantenerse al día con las demandas de la globalización y la sociedad del conocimiento.

¿En qué y cómo capacitar?

La realización de investigación con la rigurosidad científica necesaria sigue siendo un reto para las instituciones de educación superior y en particular para los docentes que desean iniciarse en esta actividad pues el proceso de investigación le parece muy complejo y riguroso al investigador novato, quien en muchas ocasiones se desanima ante las exigencias metodológicas, técnicas y el cumplimiento de cronogramas de trabajo y entrega de informes. Es por esta razón que se vuelve necesario capacitar en estos temas por medio de estrategias que involucren tanto los aspectos teóricos como operativos que permitan al investigador novato tener una experiencia *hands on* guiada por especialistas en cada rama y que al mismo tiempo le brinden el apoyo técnico y metodológico en las diferentes fases del proceso de investigación. En este sentido toma preponderancia capacitar a los docentes investigadores en la elaboración de un diseño o protocolo de investigación que oriente todo el proceso y que establezca con claridad los objetivos y el alcance de la investigación en relación con los fondos y resultados esperados. La elaboración de un protocolo o diseño es una actividad fundamental en el proceso de

investigación y poderlo elaborar es una competencia clave que deben poseer los profesores pues tanto a nivel de las universidades nacionales e internacionales como de organismos cooperantes y fuentes de financiamiento, es un requisito fundamental para determinar la asignación de recursos a un proyecto de investigación, brinda una visión amplia de todas las fases del proyecto y permite saber con antelación de qué recursos (humanos, financieros, materiales, etc.) tendrá necesidad para poder culminar exitosamente la investigación.

La calidad de los instrumentos y técnicas de recolección está directamente relacionada con la calidad de los datos que se puedan obtener en el estudio y consecuentemente con los resultados que se presentan. La posible generalización o transferibilidad de estos resultados está también relacionada con el adecuado cálculo muestral por lo que se considera fundamental enfatizar en estos componentes del diseño de investigación dentro de un programa de capacitación en metodología de la investigación.

Otro aspecto que es fundamental fortalecer es el análisis estadístico de los datos pues la mayoría de investigaciones que se realizan en la universidad, principalmente desde las ciencias sociales, se quedan a nivel descriptivo sin aprovechar las potencialidades que brinda la estadística inferencial para el cálculo de probabilidades, de modo que se puedan hacer inferencias de manera responsable para facilitar la toma de decisiones, con riesgo mínimo de error, sobre los distintos problemas que se investigan. (Amón, 1980)

En muchos casos, los resultados de las investigaciones, en las que se ha invertido tiempo y recursos financieros y humanos de la universidad, son desestimados precisamente por errores técnicos que se pueden evitar o subsanar por medio de procesos de *capacitación-acción*, es decir procesos que involucren un conocimiento teórico pero con un fuerte componente práctico que permita a los investigadores apropiarse de la metodología y utilizarla adecuadamente.

Si bien es cierto la metodología de investigación es un aspecto fundamental para el desarrollo de proyectos y estudios en la universidad, no se puede dejar de lado el aspecto de la gestión y administración de recursos para investigación. En muchos casos los investigadores han logrado un manejo eficiente de los aspectos metodológicos de la investigación pero no así de los aspectos administrativos y de gestión. Esto les impide o limita su participación en proyectos de investigación a nivel regional o internacional debido a lo engorroso que pueden ser los formularios, requisitos y demás que se deben cumplir para obtener fondos de proyectos internacionales, de la Unión Europea o de universidades o instituciones que

promueven la investigación en las universidades de América Latina. Esto ha obligado, en muchos casos, a que algunas universidades participen únicamente como “socios” de redes internacionales de investigación o en proyectos coordinados por otras universidades que cuentan con el personal humano capacitado en la gestión de fondos para investigación. En este sentido, además de contar con una capacitación sobre los aspectos administrativos generales de un proyecto de investigación, se debería contar en cada universidad con un grupo especialmente capacitado en la gestión de recursos y elaboración y presentación de propuestas y proyectos para concursar por fondos internacionales y que sean también el pilar de apoyo para los investigadores de la universidad en los aspectos meramente administrativos, de manera que los investigadores se puedan dedicar a realizar la investigación propiamente dicha. En tanto no se logre tener este grupo especializado de gestores, se deberá continuar capacitando a los docentes también en cómo llevar a cabo la administración y seguimiento efectivos de los proyectos de investigación.

Un aspecto que resulta fundamental para que los procesos de capacitación tengan un impacto duradero en las universidades tiene que ver con el hecho de que estas capacitaciones y todos los aspectos que en ellas se trabajen, estén relacionados directamente con las prioridades de investigación de las universidades, de manera que los esfuerzos se coordinen desde todas las áreas, consecuentes con los intereses y prioridades de las universidades y que los profesores que se están capacitando vayan adquiriendo una visión más amplia de hacia dónde se deben orientar las futuras investigaciones.

Por último y dada la importancia que tiene para las universidades la publicación de los resultados de las investigaciones, pues es uno de los indicadores clave para la clasificación de las universidades en los *ranking* internacionales, se debería promover la capacitación tendente a la escritura de artículos científicos considerando las exigencias relacionadas con el tipo de revista en que será publicado (primer cuartil, segundo cuartil, etc.), considerando las exigencias de cada una de las mismas y explicando el proceso que conlleva la publicación de un artículo científico en una revista indexada y que pasa por una revisión rigurosa hasta llegar a la eventual publicación en caso de que el artículo sea aceptado.

A mediano y largo plazo se percibe a la capacitación como un elemento fundamental en la promoción de la investigación universitaria que conlleve a la generación de una masa crítica de investigadores que puedan dar respuesta a los problemas sociales que encaran los diferentes países y las mismas universidades e insertarse adecuadamente en un mundo globalizado. La investigación científica, además,

debe aportar resultados que se puedan integrar con la docencia y la vinculación, de manera que exista una complementariedad entre las tres funciones de la universidad y en la que cada una apoye y retroalimente a las otras, de tal manera que, al promover la capacitación en investigación científica, se promuevan reformas en el modo pensar y no se queden a nivel de ajustes orientados a responder operativamente a demandas puntuales sino que conlleven la integración de la docencia, la investigación y la vinculación en el seno de la universidad. Esta es la realidad que las universidades latinoamericanas deben considerar y enfrentar.

LA CAPACITACIÓN Y LA CALIDAD DE LA ENSEÑANZA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Las Universidades se han globalizado, el conocimiento está latente, las necesidades sociales miran hacia éstas para buscar respuestas dentro de la academia y superar ese rol tradicional de formadoras de profesionales sin un papel claro en la producción y transferencia del conocimiento.

Las Normas Académicas del Nivel Superior definen a la Universidad como responsable de una pluralidad de áreas, campos y programas académicos, siendo sus objetivos; a) impartir enseñanza, en todas las ramas de las ciencias; b) contribuir al progreso de la ciencia, a la formación de investigadores y al desarrollo de la investigación científica, literaria y técnica, c) preparar a los futuros profesionales, exigiéndoles a su vez un amplio y cualitativo acervo de conocimientos específicos, acordes con el rol que van a desempeñar en la sociedad, y ch) proporcionar una cultura superior y un perfeccionamiento personal y profesional necesarios para asimilar los avances científicos y responder cualitativamente a la demanda social.

En el contexto anterior debemos preguntarnos si en nuestras universidades tenemos profesores capacitados para enseñar a investigar y si tenemos profesores investigadores que podrían formar a los futuros investigadores en las diversas áreas del conocimiento y así procurar ser responsables de la tarea que el Estado y la misma sociedad requieren.

La concepción de la enseñanza de la investigación en grados y postgrados y el rol del profesor

De forma tradicional se ha enseñado la investigación como una asignatura sin relevancia; la mayoría de los estudiantes la cursan y no existen aprendizajes significativos; se considera la investigación como algo ajeno y, peor aún, de forma

aislada de la formación de profesionales.

En las carreras de grado, la investigación es una asignatura en la etapa terminal de la formación, en la que el profesor no puede hacer una conexión entre la metodología de la investigación y los problemas que se pueden suscitar en su campo de especialización, programando como parte práctica de la misma, "vamos a *investigar*" sin orientar apropiadamente acerca de qué investigar, cómo hacerlo y cómo presentarlo, perdiendo la oportunidad de impulsar y darle sentido a esa metodología, que en la mayoría de los casos es asumida como algo complejo y de difícil aplicación.

El caso de los programas de postgrados no es diferente, se incluye algunas veces y de forma forzada un módulo de "metodología de la investigación" o un "taller de tesis", en los que, por lo general, no se desarrollan más que los objetivos y el contenido, evidenciando el aprendizaje a través de formas conductistas (exámenes, test y guías de estudio, etc.) siendo teóricas, memorísticas y repetitivas, y sin servir de aplicación para que estos estudiantes realmente investiguen y lo hagan con calidad.

Nuestras universidades tradicionalmente se han dedicado al desarrollo de los "contenidos", centradas casi exclusivamente en la docencia; es por ello que los profesores sólo se han encargado de ello, de ser profesores dedicados exclusivamente a la docencia con poca o ninguna vinculación con las otras funciones de la universidad. Las universidades tienen como función básica el desarrollo de la docencia, investigación y vinculación, lo que obliga a los docentes a capacitarse para ejercer en esas tres funciones.

Debemos preguntarnos si nuestras universidades necesitan de profesores investigadores para que enseñen a investigar o sólo es necesario un profesor que desarrolle contenidos de metodología de la investigación.

Es indudable que un profesor con experiencia en investigación cuenta, además del conocimiento sobre la metodología, con el valor agregado de la experiencia, lo que significa que sus estudiantes tendrán una visión amplia del proceso de investigación y no sólo la versión de que repite lo que está contenido en el libro. Lo ideal sería que esos profesores, que con entusiasmo imparten las asignaturas de investigación en las carreras de grado y módulos en los postgrados, contaran con espacios y oportunidades para desarrollar investigaciones que vuelvan práctico ese conocimiento ganado en los procesos de capacitación.

La promoción de la capacitación en investigación como factor de mejora de la calidad de la enseñanza y los procesos de formación permanente.

Un ideal en las universidades es la mejora de la calidad de la enseñanza, teniendo como tendencia una mejora en el aprendizaje que se exprese en una mejor formación profesional del estudiantado; la pregunta que se hace al respecto es ¿qué factores o estrategias se pueden establecer para lograr esa mejora? Una de esas respuestas es procurar que los profesores constantemente se capaciten en procesos que tengan dos grandes objetivos: el primero, lograr la actualización sobre los aprendizajes de investigación logrados en una etapa de su formación profesional y, la segunda, la formación y consolidación del dominio de la metodología de la investigación de la cual carecen estos profesores; por lo tanto, la capacitación en investigación cumple una doble función referida a la formación inicial y a la formación permanente de investigadores y profesores que enseñan a investigar.

El resultado final de los procesos de capacitación, en especial en investigación, es volver competente al profesor universitario para que enseñe a investigar, y no sólo sea un desarrollador de contenidos de la metodología de la investigación; que éste haga del poco espacio que se destina en nuestras universidades a la investigación, un ámbito especializado de formación de competencias investigativas.

Tunnermann (2003:71), en *“La Universidad ante los retos del Siglo XXI”*, plantea que la respuesta de las universidades ante los desafíos contemporáneos, es su compromiso con la educación permanente, y, además, arguye que *“es urgente estructurar las respuestas de las universidades, mediante una serie de tareas, que en apretada síntesis conducirían a fortalecer sus capacidades de docencia, investigación y extensión interdisciplinarias; flexibilizar sus estructuras académicas e introducir en su quehacer el paradigma del aprendizaje permanente; auspiciar sólidos y amplios programas de actualización y superación académica de su personal docente, acompañados de los estímulos laborales apropiados”*.

El riesgo que los profesores universitarios tienen con respecto a la formación inicial que tuvieron en investigación (la adquirida cuando obtuvieron el grado académico) es que muchos pretenden enseñar cómo se les enseñó, creyendo que el conocimiento se congeló en el tiempo y, aun con mayor riesgo, el pensar que todo sobre investigación ya fue aprendido por él y no hay nada más sobre lo que no tenga dominio.

Ante esto Phillip Coombs (1991:54) sostiene que en el futuro los títulos

profesionales no serán más que un certificado de que el graduado aprendió a aprender. Y otro analista va más allá cuando sostiene que hacia el año 2030, los títulos profesionales llevarán un sello que dirá expira en diez años, como las medicinas de las farmacias.

Así también las Normas Académicas del Nivel Superior consideran como un deber y a la vez un derecho del profesor universitario “participar en los programas de capacitación que promueva cada centro y el nivel, para renovar constantemente su formación profesional y pedagógica” y “ser candidato a programas de formación y capacitación, dentro o fuera del país, con el patrocinio de cada centro educativo o el nivel”.

La mejora de la calidad de la enseñanza en la investigación a través de la capacitación. Balance de los resultados.

Desde una relación de costo – beneficio sobre los esfuerzos de nuestras universidades por promover procesos de capacitación en investigación, tendremos que alcanzar estos resultados:

- Profesionales con competencias investigativas para resolver problemas de la sociedad: al lograr aprendizajes significativos en los estudiantes sobre investigación tendremos profesionales formados con iniciativas para que investiguen problemas sociales proponiendo soluciones científicas.
- Profesionales que desarrollen ciencia desde sus campos del conocimiento: tendremos profesionales formados con competencias investigativas básicas y específicas para hacer “ciencia”, entendida que todas las áreas del conocimiento la hacen aportando estos resultados al mundo que día con día requiere más de ella, desarrollando proyectos de investigación.
- Profesores investigadores universitarios formando profesionales de alta calidad: si nuestras universidades propiciaran a nuestros profesores que enseñan a investigar espacios y oportunidades para que también investiguen, no quedaría en el desarrollo de un simple contenido, sino que los guiarían a través de experiencias de aprendizaje para que al insertarse en el campo laboral estos se sientan habituados a resolver problemas sociales cotidianos.
- Universidades generadoras de conocimiento: al hacer de la enseñanza de la investigación algo práctico, cotidiano y necesario tendremos la generación de nuevo conocimiento, y será tan necesario como el hecho de respirar, dejar a un lado que investigar es algo difícil y que sólo lo hacen los científicos, para convertirlo en una práctica general y consustancial al ejercicio de la docencia.
- Programas de capacitación flexibles, cambiantes y diversos: como proceso

innovador, es difícil entrar, pero a medida que los profesores internalicen que es necesario seguir formándose permanentemente (capacitación continua), la demanda de la misma irá aumentando a la vez que obligará a diversificar la oferta en su forma de entrega (semipresencial, virtual, etc.), y a ser más específica, de acuerdo a las necesidades derivadas del desarrollo tecnológico y de las exigencias metodológicas de la sociedad del conocimiento.

REFERENCIAS

- Amon, J. (1980) *Estadística para Psicólogos*, Editorial Pirámide, España
- Coombs, Philip (1991), "Universidad e investigación", en *Asterisco Cultural*, Madrid, N.4.
- Gazzola, A, y Didriksson, A. (2008) *Tendencias de la Educación Superior en América Latina y el Caribe*. IESALC-UNESCO, Caracas, Venezuela.
- Santelis, B. (2010) *Informe sobre Educación Superior Iberoamericana*, Centro Interuniversitario de Desarrollo (CINDA), Santiago, Chile.
- Tunnermann, B.C. (2003). *La Universidad ante los retos del Siglo XXI*, México: Universidad Autónoma de Yucatán.



Diálogo
Abierto

Capacidades institucionales en investigación

CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CT) Entrevista al sociólogo Luis Alonso Reyes, realizó estudios de Licenciatura en Sociología, egresado de la Maestría en Economía y Planificación del Desarrollo, con estudios de Doctorado en Sociología, además de un Postgrado en Desarrollo Local y una especialidad en economía y ambiente.

En 1996 recibió una beca del Centro Latinoamericano de Demografía CELADE, dependencia de la CEPAL, para cursar estudios sobre análisis de información socio-demográfica y censal, tras 6 meses obtuve mi diploma como especialista en esa área. Se desempeñó como coordinador del departamento de investigaciones socioeconómicas de la Unidad de Investigación Económica y Social de la Municipalidad de Puerto Cortés, además de realizar trabajos de consultoría con diferentes organizaciones, entre ellas Naciones Unidas. Actualmente labora como profesor auxiliar en la Dirección de Investigación Científica desde el 2010 en el departamento de Política de Investigación.

En el 2005 cursó estudios de Doctorado en la Universidad de Valladolid.

A. CAPACIDADES INSTITUCIONALES EN INVESTIGACIÓN

CT/ ¿Están preparadas nuestras universidades para desarrollar la función de la investigación? ¿Qué les falta o que lo impide?

LAR/ Las universidades nacionales no están preparadas para desarrollar la función de investigación, dado que tienen muchas limitaciones en varios aspectos: no se cuenta con suficiente recurso humano capacitado en investigación, a lo cual se suman las limitaciones presupuestarias, falta de equipamiento, espacio y demás, que dificulta que se impulse la investigación en los centros de educación superior. Hay un bajo número de académicos con productividad científica, se hace necesario disponer de mayores recursos para la actividad de investigación. Esto daría la posibilidad de que más académicos desarrollen actividades de investigación, hecho que se considera vital para incrementar la productividad de los grupos de investigación.

CT/ Hemos sido, y en su mayoría seguimos siendo universidades de docencia ¿Cómo se explica históricamente este hecho?

LAR/ La tradición de investigación de las universidades nacionales en las áreas científicas y tecnológicas se ha desarrollado relativamente tarde. Las universidades siguen siendo universidades “profesionalizantes”, la investigación se ha desarrollado como una iniciativa personal, sin el adecuado apoyo de las mismas, ya que éstas se han centrado sólo en la formación del recurso humano. Impulsar la investigación se ha debido más a las presiones externas, la UNESCO y comunidades científicas externas que ante el tema del desarrollo y su vinculación a la ciencia lo exigen en sus acuerdos y reuniones; lamentablemente no es asunto de interés nacional y mucho menos a nivel estatal.

La excesiva confianza en nuestra tradición de excelencia académica y prestigio institucional nos impide constatar el desarrollo que han experimentado otras instituciones de educación superior en el ámbito de la investigación. A pesar del desarrollo observado en la universidad en materia de investigación, todavía es una actividad realizada formalmente por un pequeño porcentaje de los profesores. Más aún, entre los que no tienen participación activa en actividades de investigación, es posible encontrar quienes no la consideran una obligación, sino una actividad voluntaria de la que supuestamente tendrían derecho a automarginarse. La Universidad concurre tácitamente a legitimar esta postura al no poner exigencias de dedicación a la actividad de investigación a los académicos con contrato estable en la institución.

CT/ ¿Podemos pensar que es posible en el futuro cercano tener profesores-investigadores que desarrollen la carrera de investigador en sus universidades?

LAR/ Con la implementación de políticas claras y metas realizables en el corto y mediano plazo, es posible, pero se necesita compromiso y voluntad, sobre todo de las autoridades universitarias, regulando el uso del tiempo destinado a la investigación, proporcionando incentivos como el reconocimiento a la labor científica. Se requiere mejorar las capacidades y rediseñar las estructuras de tiempos, recursos e intervenciones curriculares, que le permitan entrar en escenarios de mayor competitividad y visibilidad, especialmente internacional. La UNAH cuenta con una política de investigación puesta a apoyar la actividad de investigación mediante ejes orientadores que permitan alcanzar estos objetivos.

B. LA CAPACITACIÓN PARA PROMOVER LA INVESTIGACIÓN

CT/ La adquisición de recursos para la investigación nos obliga a ser competitivos con los diseños o protocolos de investigación ¿Están



preparadas nuestras universidades y nuestros investigadores para ello? ¿Qué hace falta?

LAR/ Gestionar recursos para la investigación implica contar con recurso humano calificado para competir y por ende con los conocimientos necesarios para ello; contar con diseños de proyectos de investigación adecuados a los requerimientos internacionales es uno de los aspectos fundamentales en la consecución de dichos recursos. Es necesario contar con profesionales capaces para poder afrontar retos, los conocimientos en diseño de proyectos de investigación son de enorme importancia al momento de competir por recursos ya que de ello se deriva lo atractivo e interesante es el mismo. Los resultados de la investigación son un asunto de acumulaciones, de medio y largo plazo, que alcanza mayores impactos. La investigación que hace la UNAH no logra espacios significativos en los Ranking mundiales, pero si es visible a escala nacional e impacta significativamente al entorno sin perder su universalidad. El asunto es que a la vez que hay crecimiento, hay cualificación y ésta produce nuevas demandas, en recursos, capacitación de mayor nivel, equipamientos, sistemas, bases de datos, bibliografías. El crecimiento en investigación produce hechos que consolidan y éstos producen mayores necesidades y demandas.

CT/ El proceso de investigación es muy complejo en teoría, metodología, técnicas, ejecución de actividades y presentación de informes ¿Qué importancia tiene capacitar en estos temas?

LAR/ La capacitación es fundamental en la investigación, permite actualizarse y conocer nuevas técnicas y procedimientos de aplicación para obtener de mejor manera los resultados, tomando en cuenta el tiempo y los recursos, sobre todo en lo económico, muy escasos en nuestro medio. Además, como se argumentó anteriormente, el manejo metodológico de la investigación es imprescindible para la gestión de recursos; cada vez su vuelve más difícil competir por recursos, sobre todo a nivel internacional; la calidad con la que se presenten los proyectos de investigación, desde el punto de vista de la innovación, relevancia social y factibilidad de los mismos, son elementos imprescindibles en todo proyecto de investigación. Además, está claro que la asignación presupuestaria en materia de recursos para investigación es deficitaria y esta situación repercute al interior de la universidad; sin embargo, hay que adentrarse en nuevas fuentes de recursos y oportunidades a través de la investigación misma.

CT/ ¿Por qué es importante saber elaborar un diseño o protocolo de investigación? ¿Se puede investigar sin tener un diseño previo? ¿Cuáles son

los riesgos?

LAR/ El diseño de investigación constituye el plan general del investigador para obtener respuestas a sus interrogantes o comprobar la hipótesis de investigación. El diseño de investigación desglosa las estrategias básicas que el investigador adopta para generar información exacta e interpretable, la factibilidad del mismo, el uso del tiempo y costos en los que se incurrirá. Se puede investigar sin diseño previo, pero los riesgos son muy altos, la improvisación no garantiza los resultados esperados, además, sin un marco de referencia es muy difícil mantener una línea de trabajo. Dentro de los criterios de rigurosidad científica en todo trabajo de investigación es imprescindible contar con un diseño de investigación; las exigencias internacionales en cuanto a la aplicación metodológica, de métodos y procedimientos requieren desarrollar un protocolo que oriente e indique qué es lo se está haciendo y cuáles serán los resultados de dicho proceso.

CT/ Si tenemos un horizonte de mediano y largo plazo, ¿Es posible promover la investigación fortaleciendo las competencias para investigar?

LAR/ Es posible impulsar y fortalecer la investigación mediante la planificación en capacitación orientada a la consecución de metas, es decir, que la capacitación tenga impacto, que no se quede solamente en eso, ya que la misma no tiene sentido si no se pone en práctica.

C. LA CAPACITACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA ENSEÑANZA DE LA INVESTIGACIÓN

CT/ ¿Es deseable que un profesor que enseña a investigar en asignaturas, seminarios o talleres, sea un investigador? ¿Por qué?

LAR/ Es recomendable que alguien que enseñe a investigar sepa lo que es investigación, ya que de esa manera puede transmitir conocimientos y experiencias que algunas veces no se encuentran en libros, la investigación es un proceso, que en la medida se va desarrollando, se van dominando los procedimientos o etapas del mismo.

CT/ Con un horizonte de mediano y largo plazo: ¿Es posible que fortaleciendo las capacidades de esos profesores podamos mejorar la calidad de la investigación educativa en los grados y posgrados?

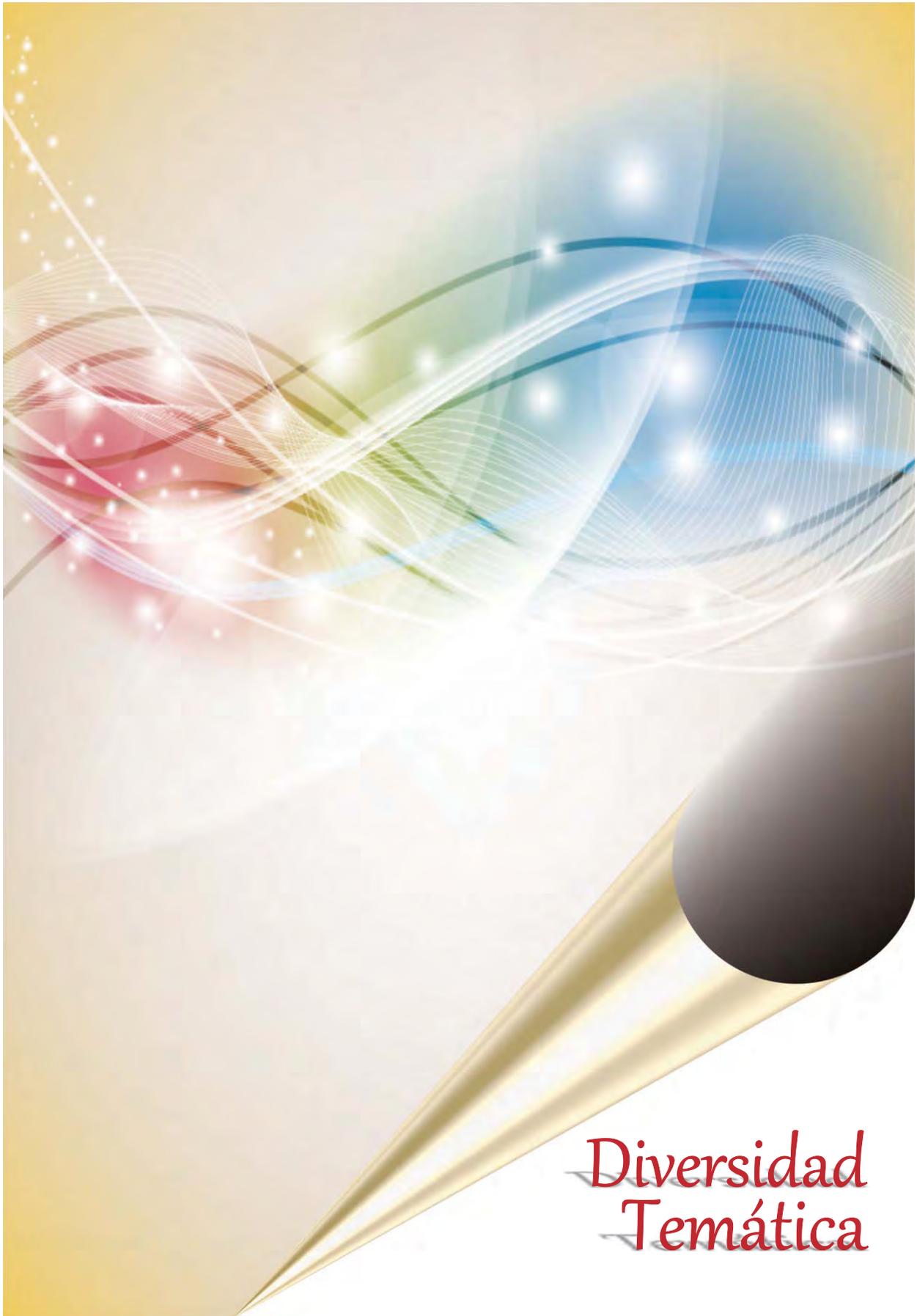
LAR/ La capacitación "per se" no es suficiente para mejorar la calidad de la

enseñanza de la investigación, pero es indudable que es un requisito indispensable. Es preciso que la capacitación vaya acompañada de desarrollo de proyectos de investigación, de esa manera se contará con recurso humano especializado en diversos temas y paralelamente se podrá contar con tutores y asesores de tesis relacionados con los mismos.

D. CONCLUSIONES

CT/ ¿Cuáles son los desafíos más importantes que hay que enfrentar para promover la investigación científica en educación superior, además de la capacitación que es un buen punto de partida? ¿Alguna reflexión final?

LAR/ Los desafíos son muchos comenzando por crear una cultura investigativa, es decir, promover la investigación no sólo entre los profesores o docentes universitarios, también es necesario hacerlo con los tomadores de decisión para que el tema de la investigación se contemple dentro de las agendas de discusión, la asignación presupuestaria, la gestión de recursos a lo externo, normativas y reglamentos que permitan desarrollar las actividades de investigación como parte de las funciones académicas, es decir, reconociendo la labor científica dentro de un marco normativo que permita dedicar tiempo a dicha labor así como resultados que propongan soluciones a los múltiples problemas sociales que tiene la sociedad hondureña.



*Diversidad
Temática*

Diversidad de insectos acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua de la microcuenca del río Jutiapa en las quebradas Corralitos, Limones y Jutiapa del parque nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras

Alba Isbela Hernández O.*, Rosella Martínez, Delia Moreno, Luis Martínez

RESUMEN

El interés por conocer el estado actual de los cuerpos acuáticos y su evolución en el tiempo, ha estimulado una fuerte investigación durante las dos últimas décadas en la búsqueda de establecer estándares de juicio de "calidad de agua" que permitan satisfacer las demandas de uso del recurso. Una aproximación puede ser abordada a través del análisis de las características físico-químicas del agua y por otro lado, a través del uso de organismos indicadores de la calidad ambiental. En el período comprendido entre febrero y marzo (época seca) del 2009 se realizó una colecta de insectos acuáticos en la quebrada Limones, quebrada Corralitos y el río Jutiapa en el Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras.

El objetivo del estudio fue determinar la abundancia y la diversidad de insectos acuáticos bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua y establecer las posibles relaciones con los parámetros físico-químicos de los sitios antes mencionados, mediante el análisis de parámetros comunitarios (Índice de Diversidad Shannon-Wiener, Índice de Berger-Parker, Índice de Similitud de Jaccard de la macrofauna bentónica y la aplicación del Índice Biótico de Familias BMWP-CR) para determinar la calidad del agua de las quebradas seleccionadas. En la quebrada Corralitos se colectaron 371 ejemplares, en la quebrada Limones 177 y en la quebrada Jutiapa 64, con un total de 612 especímenes, de 8 órdenes y 26 familias. El orden Díptera con 6 familias (siendo las principales Culicidae con 31% y las familias Simuliidae y Leptophlebiidae con 18.79%) representó el 51.96%. Los órdenes con menos especímenes fueron Lepidóptera (0.495%) y Plecóptera (0.16%).

La quebrada más diversa fue la quebrada Limones y la menos diversa fue la quebrada Jutiapa. El mayor índice de dominancia fue para la quebrada Jutiapa, siendo la familia Leptophlebiidae más dominante. El índice de Similitud resultó ser

*Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología.
albaoviedo2001@yahoo.com; rosellamartinez@hotmail.com; moreca@hotmail.com;
luiibiologia@gmail.com

mayor entre la quebrada Limones y la quebrada Jutiapa. El uso del Índice Biótico de familias permitió definir a las 3 quebradas de la microcuenca Jutiapa como de aguas de calidad regular, eutrofia y contaminación moderada con muy poca diferencia en los valores calculados, pero siempre dentro del mismo rango. De las 3 quebradas, la que presentó mayor contaminación orgánica fue la quebrada Corralitos, ubicada en la parte media, donde es impactada por diferentes cultivos, especialmente de café. Los resultados del índice de diversidad indican que la quebrada Limones podría ser considerada como un sitio de referencia por las buenas condiciones en su calidad biológica para futuras evaluaciones.

Una comparación con los parámetros físicos y químicos del agua, permiten validar el uso del índice Biótico de Familias como una herramienta útil para la evaluación de la calidad de las aguas en ecosistemas de aguas continentales, por lo que se recomienda realizar estudios de la abundancia y de la diversidad de insectos acuáticos durante las diferentes épocas estacionales.

Palabras clave: *Calidad de aguas continentales, bioindicadores de la calidad del agua, macroinvertebrados bentónicos, insectos acuáticos, Parámetros comunitarios, Índice de Diversidad Shannon-Wiener (H'), Índice de Berger-Parker, Índice de Similitud de Jaccard de la macrofauna bentónica, índice Biótico de Familias, BMWP, Parque Nacional La Tigra.*

ABSTRACT

The interest in knowing the current status of inland water bodies and their evolution over time has stimulated research over the past two decades, seeking to establish standards of "water quality" that would meet the demands of resource use. In that sense, an approximation can be addressed through the analysis of physico-chemical characteristics of water and the use of indicator organisms in environmental quality. In the period between february and march (dry season) of 2009 was made a collection of aquatic insects in the Limones stream, Corralitos stream and the Jutiapa river in the La Tigra National Park, Francisco Morazan, Honduras.

The study's objective was to determine the abundance and diversity of benthic aquatic insects as bioindicators of water quality and to establish possible relationships with physicochemical parameters of the above sites, by analyzing community parameters (Shannon-Wiener Diversity Index, Berger-Parker index, Jaccard similarity index of the benthic macrofauna and implementation of the Family Biotic Hint BMWP-CR) to determine the water quality of selected streams. In Corralitos stream 371 specimens were collected, in Limones stream 177 and in

Jutiapa river 64, with a total of 612 specimens, 8 orders and 26 families. The order Diptera with 6 families (being the main Culicidae with 31%, and the families Leptophlebiidae Simuliidae with 18.79%) accounted for 51.96%. The orders with less specimens were Lepidoptera (0.495%) and Plecoptera (0.16%).

The water body with more diversity was Limones stream and the less diverse was the Jutiapa river. The dominance index was higher for the Jutiapa stream, being the most dominant Leptophlebiidae family. The similarity index was greater between the q Limones stream and Jutiapa river. Use of the Biotic Index of families helped to define the 3 streams of the watershed Jutiapa with water quality as regular, moderate eutrophication and pollution with little difference in the calculated values, but within the same range. Of the 3 streams, which had higher organic pollution was the Corralitos stream, located in the middle, where it is impacted by different crops, especially coffee. The diversity index results indicate that the Limones stream could be considered as a reference site for good quality biological conditions for future assessments.

A comparison with the physical and chemical parameters of water, allows the validation of the use of the Family Biotic Index as a useful tool for the assessment of water quality in inland water ecosystems, so it is recommended to study the abundance and diversity of aquatic insects during different seasonal periods.

Key words: *Inland water quality, bio-indicators of water quality, Inland water benthic macroinvertebrates, aquatic insects, Community parameters, Shannon-Wiener Diversity index, Berger-Parker index, Jaccard similarity index of the benthic macrofauna, Biotic Families Index, BMWP, La Tigra National Park.*

INTRODUCCIÓN

Una cuenca hidrográfica es un sistema natural dinámico de elementos físicos, biológicos y humanos que reaccionan equilibradamente entre sí, creando por lo tanto un conjunto único e indisoluble en permanente evolución. La cuenca también es un medio humano de transformación, ya que representa el área en donde se ubican las actividades del hombre.

La conservación de los ecosistemas es un objetivo ampliamente aceptado en el mundo, al menos teóricamente, y así ha sido recogido por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales, a través de las principales estrategias propuestas: mantener los procesos ecológicos y esenciales y los sistemas biológicos, preservar la diversidad genética y asegurar un aprovechamiento sostenido de las especies y de los ecosistemas. En el caso de los sistemas fluviales, su gestión y conservación para el aprovechamiento sostenido de los recursos que exigen adoptar una estrategia a nivel de cuenca hidrográfica, realizando una planificación del uso del suelo acorde con la conservación de los mismos, y teniendo en cuenta las interrelaciones que existen entre los componentes fluviales y los sistemas terrestres que los rodean.

Gonzales del Tánago & D.G de Jalón (1995), menciona que “un sistema fluvial ofrece al hombre no solo agua susceptible de ser embalsada y aprovechada para consumo doméstico y en la mayoría de actividades humanas, sino que el río ofrece también toda una serie de recursos y valores cada vez más apreciados, cuyo disfrute y conservación plantean un conflicto de usos del agua, que es necesario considerar en la planificación hidrológica de cada cuenca y resolver según objetivos, criterios de valoración y condiciones de partida distintos en cada río y, con mayor motivo muy diferentes de unas cuencas a otras”.

Los ecosistemas acuáticos revisten un especial interés para el ser humano ya que el agua constituye un recurso imprescindible para el desarrollo de las actividades humanas. A su vez, los ecosistemas acuáticos constituyen en definitiva los colectores de las actividades agrícolas e industriales y desagües de las ciudades. (Roldán, 1999). En este caso, estas actividades contaminan las aguas que fluyen bajo las zonas de descarga a tal grado que limita el uso para actividades humanas a no ser que se sometan a tratamiento especial.

A nivel mundial es evidente el incremento en el deterioro de la calidad del agua de los ríos. En los países en desarrollo el problema se agrava, ya que las fuentes de financiamiento son insuficientes, así como las opciones o los recursos tecnológicos para el monitoreo, generalmente son irregulares en tiempo y calidad, por lo que la

información generada carece de confiabilidad al pretender generar estrategias para el adecuado manejo de los recursos acuáticos y para el control de la contaminación.

De esta manera, ha resurgido el interés sobre técnicas de evaluación rápida para el monitoreo de la calidad del agua en varios países en desarrollo (Chessman, 1995). En esos métodos emplean a las comunidades biológicas existentes en el sistema acuático y hacen énfasis en el bajo costo de la investigación, un muestreo reducido y un análisis más eficiente de los datos.

Entre las comunidades más utilizadas están los macroinvertebrados, y su utilidad como indicadores para evaluar la calidad del agua se ha incrementado significativamente; su muestreo es simple y resulta menos costoso que la mayor parte de las técnicas analíticas de laboratorio (Payne, 1986; Chessman, B.C. 1995; Hilsenhoff, 1998). Además se encuentran en todos los sistemas acuáticos, por lo que favorecen los estudios comparativos, son de naturaleza sedentaria, lo que permite un efectivo análisis espacial de los efectos de las perturbaciones, presentan ventajas técnicas asociadas a los muestreos cuantitativos y análisis de las muestras, los que pueden ser realizados con equipo simple y barato, la taxonomía de muchos grupos está bien estudiada y existen numerosos métodos para el análisis de datos, incluyendo índices bióticos y de diversidad, así como de similaridad, etc., los cuales han sido utilizados ampliamente en biomonitoreos a nivel comunitario (Hellowell, 1986) y de respuestas individuales (Hawkes, 1979; Suess, 1982; Rosenberg et al., 1986).

En muchos países se ha adoptado su identificación, a nivel de familia, en estudios de monitoreo biológico para la evaluación de los grados de contaminación en ríos. Sin ser necesaria la identificación a nivel de especie (Payne, 1986; Chessman, B.C. 1995; Hilsenhoff, 1998).

Los conceptos biológicos de Forbes (1887) sobre comunidad, sentaron las bases para desarrollar las primeras ideas acerca de los biomonitoreos. En ese sentido las comunidades de plantas y animales podrían utilizarse para determinar el grado de contaminación orgánica en ríos. Este concepto posteriormente fue profundizado por Forbes y Richardson (1913). Forbes (1928) y Richardson (1928) clasificaron las zonas de contaminación a lo largo del Río Illinois en USA. Sin embargo, el primer uso de un índice biótico proviene de Alemania, a principios del siglo XX, cuando Kolkwitz & Marsson (1909) desarrollaron la idea de la saprobitad (grado de polución) en ríos, como medida del grado de contaminación de aguas residuales, que provoca disminuciones del oxígeno disuelto y del efecto que esta disminución tiene en la biota de ríos (Cairns & Pratt, 1993).

Actualmente está bien establecido que la diversidad de plantas y animales, así como el número de individuos, dentro y en los alrededores de los cursos de agua son excelentes indicadores de su salud. Cuanto más diversas son las poblaciones mejor resulta la salud de estos ecosistemas. Si solo unas pocas especies están presentes, es muy probable que la corriente no sea saludable y esto se debe en gran parte a la cantidad de oxígeno disuelto, ya que este es un importante factor limitante en ecosistemas acuáticos.

En los ríos, la disolución del oxígeno se favorece de forma natural debido a la velocidad de la corriente. Sin embargo, cuando los niveles de materia orgánica aumentan debido a la descarga de desperdicios, ocurre una natural disminución del oxígeno disuelto que afecta, de manera variable, la fisiología de los individuos que componen la comunidad, es decir, la estructura de la comunidad se altera. Entonces, si empleamos métodos para medir cambios estructurales, ya sea la variación de la riqueza de especies y/o el número de individuos/especies, podremos tener una idea aproximada del estado en que se encuentra el ecosistema. Estas medidas son conocidas como índices biológicos.

Entre los muchos que se han generado durante el siglo pasado se destacan dos grupos fundamentales: Los índices de diversidad, de los cuales el más utilizado por su eficacia ha sido el índice de Shannon-Weaver (H), generado en 1963, teniendo en cuenta la teoría matemática de la información (Shannon & Weaver, 1949) y su aplicación en Ecología fue propuesta inicialmente por Margalef (1968). Este índice mide en unidades de bits/individuos con escala logarítmica base 2. En el contexto de los ecosistemas fluviales el índice adquiere un valor máximo de 4,5 bits/individuo para las comunidades de macroinvertebrados bentónicos (Daniel, 2002). Valores inferiores a 2,4-2,5 bits/individuo son indicativos de que el ecosistema se encuentra sometido a tensión (vertidos, dragados, canalizaciones, regulación por embalses, etc.). El índice disminuye mucho en aguas contaminadas. El segundo grupo está constituido por los Índices Bióticos, basados en el nivel de tolerancia de organismos a diferentes grados de contaminación en el agua.

Los dos índices más empleados han sido el Índice Biótico de Hilsenhoff (IB), originalmente desarrollado en la Universidad de Wisconsin-Madison (Hilsenhoff, 1977), para valorar las bajas concentraciones originadas por el vertimiento de materia orgánica en ríos de Estados Unidos. Este índice exige determinaciones sistemáticas hasta el nivel de especies, aunque en los últimos años hay propuestas de su utilización empleando el nivel de familia. El otro es el Biological Monitoring Working Party (BMWP) por sus siglas en inglés, creado en Inglaterra por Hellawell (1986), a diferencia del IB, fue concebido para analizar la tolerancia de familias de

macroinvertebrados, esto en la práctica resulta ventajoso para aquellos países donde el grado del conocimiento sistemático de los invertebrados es bajo y la diversidad de especies es alta, como en los países neotropicales. El índice fue adaptado por Alba-Tercerdor & Sánchez Ortega (1988) para la Península Ibérica y fue llamado BMWP.

En Latinoamérica se han realizado algunos intentos de aplicar índices para evaluar la calidad de las aguas. El libro "Bioindicación de la calidad del agua en Colombia" (Roldán, 2002), propone el uso del BMWP/Col. En Costa Rica se hicieron sugerencias para la utilización del BMWP en torrentes tropicales, basado en 40 muestras de cuatro ríos torrentícolas (Hermanson, 1999). En Argentina se investigaron cinco índices bióticos, entre ellos el BMWP, en seis estaciones fluviales, tanto en torrentes montañosos como en la parte baja. En el Suroeste de Polonia, los índices fueron correlacionados con diferentes factores, encontrándose resultados positivos (Chila, 1998). En otro trabajo, realizado también en Argentina, se propone el BMPS (Biotic Monitoring Patagonian Stream) para evaluar la calidad biológica en ríos de la Patagonia. Este índice es una adaptación del BMWP a las condiciones de Argentina (Misrendino & Pizzolo, 1999). Junquiera et al (2000) realizaron un trabajo relacionado con el BMWP. En el mismo estos autores adaptaron este índice creando tablas de tolerancias de familias a nivel regional para Brasil correlacionando sus resultados con análisis físico-químicos, lo cual reafirmó la eficacia del método. Naranjo et al (2003) crearon el BMWP-Cuba para Cuba, el cual como los anteriores resulta de una adaptación del BMWP. Este índice fue probado en varios ríos del Oriente y Centro del país, dando magníficos resultados.

Es importante mencionar que Honduras, por su topografía, posee muchas cuencas hidrográficas asociadas con ríos, quebradas, lagunas, un lago natural de gran tamaño y varios embalses. Sin embargo se sabe muy poco sobre el grado de contaminación de las mismas.

El desarrollo y dispersión de la población humana en nuestro país junto con la creciente demanda de agua de buena calidad, obliga a los diferentes sectores de la sociedad a realizar esfuerzos para determinar la calidad, localización y disponibilidad de las fuentes de agua para garantizar el uso sostenible de los recursos hídricos existentes para suplir los requerimientos de nuestra sociedad. Pero al igual que muchos otros países en desarrollo, no poseemos los recursos necesarios para realizar monitoreos sistemáticos en todas las localidades donde se requieren. Sin embargo, las experiencias de otros países de condiciones similares a las nuestras y el basamento técnico-científico moderno existente relacionado con el biomonitoreo de cuerpos de agua utilizando los índices bióticos, nos proveen la

oportunidad para utilizar esos recursos en la solución de la problemática nacional en lo referente a la determinación de la calidad de los recursos hídricos con el objeto de garantizar, hasta donde sea posible, la utilización segura de los mismos para satisfacer las necesidades básicas de nuestra sociedad.

En Honduras existen antecedentes sobre la aplicación de índices bióticos considerando el uso de macroinvertebrados bentónicos a nivel de familia para evaluar la calidad de ciertos cuerpos de agua lóticos. En este sentido se pueden mencionar entre otros; el de Borjas (1984) sobre la calidad del agua del río Chiquito y el de Borjas, et. Al. (1987), sobre río Choluteca. El uso de índices bióticos en la cuenca del río Choluteca para determinar la calidad del agua relacionada con parámetros fisicoquímicos fue realizado por profesionales trabajando para el Laboratorio de Limnología OEA-UNAH en 1992. Borjas et. Al. (1997), realiza una evaluación de la calidad del agua del Parque Nacional Cerro Azul Meámbar en cuanto a la contaminación orgánica y la producida por plaguicidas. Un estudio similar al anterior por Castillo (2002), referente a la distribución de macroinvertebrados y su utilización como indicadores de contaminación orgánica en la cuenca del río Sabacuante. El Centro de Biodiversidad El Zamorano ha realizado algunos trabajos relacionados con Indicadores biológicos en microcuencas aledañas al Parque Nacional La Tigra, en Francisco Morazán, Honduras (PNLT).

En años anteriores, como parte de las actividades de la cátedra de Entomología Acuática y Manejo de Cuencas de la carrera de Biología, actualmente en la Escuela de Biología de la UNAH se han realizado diferentes estudios en la zona de Francisco Morazán y principalmente en el área del Parque Nacional La Tigra, y sus zonas aledañas entre los cuales podemos mencionar algunos: "Diversidad de insectos acuáticos en la quebrada Las Trojas", Gamero y Talavera (2003); "Diversidad de insectos acuáticos en las confluencias de la microcuenca del río San Juan: quebrada Las Trojas, quebrada Las Cañas y quebrada Dulce", Argueta et al (2008); "Insectos acuáticos asociados al río La Fortuna y quebradas aledañas", Aguilar, Meza y Álvarez (2004); "Diversidad de insectos acuáticos y calidad del agua de la quebrada Munuare en Tatumbla, Francisco Morazán", realizado por Montes et al. (2001); "Estudio de la calidad del agua de la quebrada La Salada, La Montañita", Mérida (1996); "Determinación de la calidad del agua de la quebrada La Salada en La Montañita" por Marroquín, Padilla y Medrano (2000); "Evaluación biológica de la microcuenca San Francisco, Valle de Ángeles, Francisco Morazán" Núñez, (2007).

La Fundación Amigos de La Tigra (Amitigra), encargada del manejo y protección del

Parque Nacional La Tigra, está tratando de monitorear la calidad del agua de las diferentes microcuencas del parque. Dentro del Parque Nacional La Tigra existen varios riachuelos y quebradas destacándose por el lado de San Juancito, el río Chiquito, quebrada Las Trojas y Tata Justo, al suroeste la quebrada Las Cañas, quebrada Dulce y La Jardinera y al sur la quebrada de Santa Elena, quebrada Honda, La Danta, río El Carrizal y la de Agua Dulce (Ecología y Servicios, 1998).

En el período comprendido entre febrero y marzo (época seca) del 2009, los estudiantes de la asignatura de Entomología Acuática de la UNAH, con la colaboración de Amitigra, realizaron un estudio preliminar de la calidad del agua del río Jutiapa en las confluencias de la quebrada Corralitos y quebrada Limones utilizando los insectos acuáticos como bioindicadores.

La falta de información de la entomofauna acuática existente en el área de estudio, obligó a los encargados del trabajo de investigación a realizar un estudio para evaluar la entomofauna acuática como indicadores biológicos de la calidad del agua del río Jutiapa en las confluencias de la quebrada Corralitos y quebrada Limones, en el Parque Nacional La Tigra, departamento de Francisco Morazán.

El objetivo de este estudio fue determinar la abundancia y la diversidad de insectos acuáticos bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua y establecer las posibles relaciones con los parámetros físico-químicos de las quebradas antes mencionadas, mediante el análisis de parámetros comunitarios (Índice de Diversidad Shannon-Wiener, Índice de Berger-Parker, Índice de Similitud de Jaccard de la macrofauna bentónica y la aplicación del Índice Biótico de Familias BMWP-CR para determinar la calidad del agua de las quebradas seleccionadas que permitan satisfacer la información para el uso del recurso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El río Jutiapa se encuentra ubicado en la parte NE del PNLT, pasando por diferentes comunidades como ser: Casa Quemada, Jutiapa arriba, Jutiapa abajo, Limones y Corralitos en El Hatillo, zona de amortiguamiento del Parque. Ubicado a 11 kilómetros al NE de la ciudad de Tegucigalpa, FM, Honduras.

El río Jutiapa tiene un área total de 45.30 km cuadrados, un perímetro de 36.9 kms, la longitud del cauce principal de 5.83 kms. La altura máxima de 2140 msnm y la altura mínima 900 msnm. La distancia de alturas en línea recta de 10.212 km. Es un

río de orden 3 con el método Strahler, tiene una densidad de drenaje de 0.55 km y una constante de mantenimiento de 1.81. El Coeficiente de Gravellius es de 1.54, de forma oblonga, con una pendiente de la cuenca de 0.01% y la pendiente del cauce principal de 21.2%, el tiempo de concentración de 0.20 hrs., el alejamiento medio 0.86, el Índice de Alivio de 0.12 y la frecuencia de 0.28 km cuadrados y un patrón de drenaje dendrítico (Anexo 1).

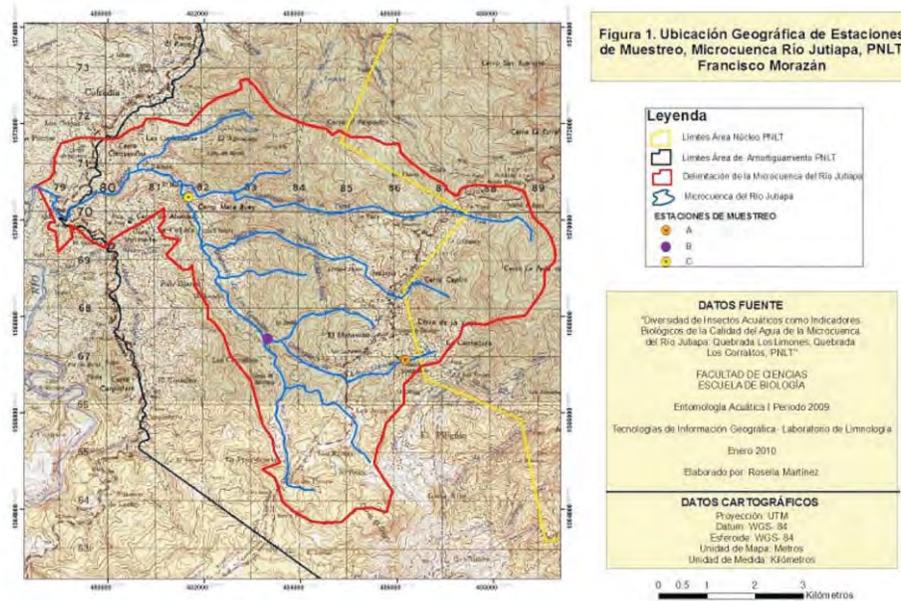


Figura 1. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo en las microcuencas del río Jutiapa, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán (PNLT).

Para realizar el presente estudio en el curso del río Jutiapa, se seleccionaron las microcuencas correspondientes a la quebrada Limones y la quebrada Corralitos y el inicio del río Jutiapa (Fig. 1).

Descripción de las quebradas estudiadas

Quebrada Limones (Fig. 2)

La quebrada Limones está ubicada en la zona de amortiguamiento del PNLT, cerca de la comunidad de Limones en la parte sur y en la parte norte con la comunidad de Jutiapa abajo, en las coordenadas 16486064 Este 1567324 Norte y con una elevación de 1484 msnm.

La quebrada recorre varias zonas de cultivo y el agua es utilizada para irrigación. Esta zona presenta una vegetación predominante de gramíneas y hierbas con muy pocos árboles. Las especies de árboles encontradas son: liquidámbar y pino en la parte alta.



Figura 2. Quebrada Limones

En esta quebrada se observó un caudal muy bajo al momento de realizar el estudio, como se observa en la figura 2 con un lecho arenoso y con un flujo muy lento.

Quebrada Corralitos (Figuras 3 y 4)

La quebrada Corralitos, en la zona de amortiguamiento del PNLT, se encuentra ubicada en la zona de El Hatillo, con las coordenadas 16483349 Este y 1567494 Norte a una elevación de 1252 msnm.

En las orillas de esta quebrada se encuentra una finca de café cuyas aguas mieles y otros desperdicios son vertidos directamente en la quebrada (fotografía de la derecha).

El estudio se realizó en la intersección con la quebrada Limones menos contaminada que la de Corralitos, como se puede observar en la fotografía de la izquierda.



Figura 3. La imagen de la izquierda, quebrada Limones y la imagen de la derecha, quebrada Corralitos.

La vegetación de las riberas está formada predominantemente por *Heliconiáceas*, árboles de *Quercus* y muchos árboles de manzanitas.

El lecho del río es rocoso y el flujo lento con agua lechosa, estancada, con mal olor por contaminación orgánica (Fermentación de pulpa de café) como se observa en las figuras 3 y 4.



Figura 4. Quebrada Corralitos.

Inicio del río Jutiapa. (Figuras 5 y 6)

El inicio del río Jutiapa (C) al lado NE del PNLT cerca de las comunidades de Carpinteros y Casa Quemada, y al Este del PNLT conocida como La Tigrita o Tigra Abajo. Las coordenadas son 16481726 Este y 1570431 Norte.

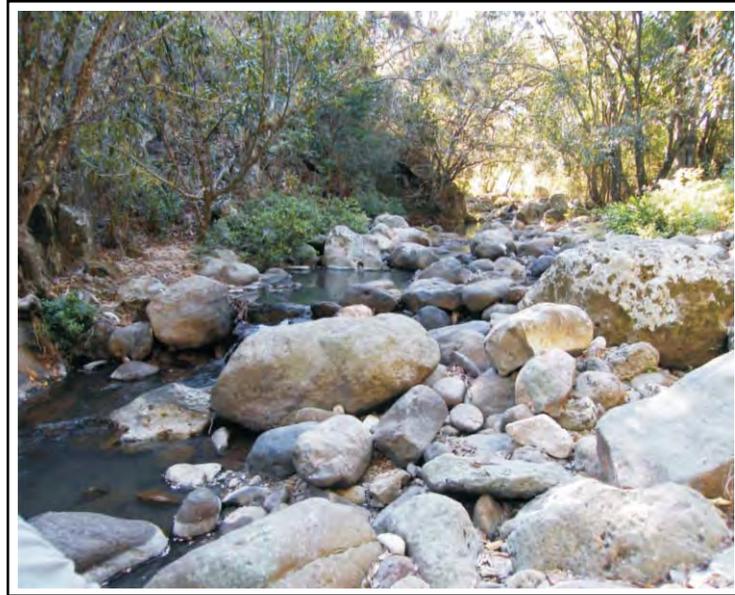


Figura 5. Río Jutiapa (C)

El área de estudio del río Jutiapa (Fig. 5) está caracterizada por un lecho pedregoso en la mayoría de su trayectoria, aunque en algunas zonas se pudo observar un lecho arenoso.

Debido al hecho que existían varias pozas que se forman entre las rocas, no se pudo medir la velocidad de la corriente, la profundidad y la anchura del mismo cuando el flujo de agua era bajo.

La vegetación de la microcuenca está constituida especialmente por pinos y en algunas zonas se pueden observar árboles *Quercus* sp. y en las zonas de mayor elevación *Liquidámbar* sp.

En las riberas del río se realiza actividad agrícola y ganadera. En el trayecto se observó un cultivo de maíz, combinado con algunas cucurbitáceas (Fig. 6), así como actividad de preparación de tierras para cultivar.



Figura 6. Área de cultivo cerca del río Jutiapa.

Métodos de campo y laboratorio

Con el fin de estudiar la abundancia y la diversidad de insectos acuáticos bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua y establecer las posibles relaciones con los parámetros físico-químicos de la microcuenca: río Jutiapa en la quebrada Corralitos y quebrada Limones en el Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, se realizaron dos muestreos durante la época seca entre el 28 de febrero y el 21 de marzo del 2009, conjuntamente se midieron de manera puntual algunas variables ambientales, morfométricas y físico-químicas en las 3 quebradas mencionadas anteriormente.

La ubicación de las estaciones para monitorear los insectos acuáticos y los parámetros físico-químicos fue definida según representatividad del área en términos de distancia e influencia de actividad antropogénica y por la trama de caminos rurales que facilitaron el acceso a los puntos de muestreo.

En cada quebrada, en una sección de aproximadamente 2 metros lineales se colectaron los insectos acuáticos, utilizando pinzas y pinceles en 3 hábitats diferentes escogidos al azar (debajo de las piedras, en substrato arenoso-limoso y en las hojarascas), durante 25 minutos. Se seleccionaron las confluencias de las quebradas para realizar las colectas, obteniéndose así 3 muestras por quebrada

para cada fecha de muestreo. Así mismo, se ubicaron las coordenadas con el GPS y la altitud utilizando un altímetro. Se procedió a la medida de variables ambientales como ser la temperatura del aire y la de la superficie del agua, con un termómetro de mercurio.

La conductividad específica en (μh) por su parte, fue medida con un conductímetro (Modelo DA-1) Lamotte. Se midió la profundidad (m), el ancho (m), la velocidad de la corriente (m/s), y por último la descarga del río (metros cúbicos por segundo mediante el método del flotador) (Allan 1995).

Los parámetros químicos monitoreados fueron el pH del agua mediante el uso de cinta reactiva de pH, el oxígeno disuelto (mg/l) mediante un oxinómetro (YSI Modelo 57), y la prueba de la DBO5. Los insectos colectados en cada muestreo fueron colocados en viales y preservados en alcohol al 70% para posteriormente ser trasladados al laboratorio de aguas de la Escuela de Biología de la UNAH. En el laboratorio, los insectos fueron limpiados de detritus, separados por orden, contados y posteriormente colocados en alcohol limpio, para su respectiva clasificación. Los insectos acuáticos colectados fueron identificados con ayuda de claves taxonómicas (Merritt & Cummins, 1996) en órdenes, familias y géneros.

Los ejemplares colectados e identificados fueron catalogados como parte de la colección de referencia de insectos acuáticos de la Escuela de Biología de la UNAH.

Métodos de análisis de datos

Con los datos obtenidos se compararon las 3 quebradas de la microcuenca Jutiapa (río Jutiapa (C) en la quebrada Corralitos (B) y quebrada Limones (A)) utilizando:

El índice de similitud de Jaccard = $(J/r \times 100)$, basado en la presencia o ausencia de familias. En donde J significa el número de especies en común en las tres quebradas y r la suma de las especies exclusivas de a y b.

El índice de Berger y Parker (B) que mide la dominancia de la especie o taxón más abundante, siendo su expresión matemática $B = N_{\text{max}} / N$, en donde N_{max} es el número de individuos en el taxón más abundante y N es el número total de individuos de la muestra (Soothwood 1978).

El índice de Diversidad de Shannon-Wiener $H' = -\sum p_i \ln p_i$, este índice es uno de los índices de diversidad más utilizados para determinar la diversidad de especies de un determinado hábitat. Expresa la uniformidad de los valores de importancia a

través de todas las especies de la muestra. Además mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a qué especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Baev & Penev, 1995; Maguerra, 1988; Moreno, 2001; Peet, 1974). Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Es un índice muy susceptible a la abundancia.

Para determinar la calidad del agua de las quebradas seleccionadas se utilizó el **Índice BMWP–CR** cuyas siglas en inglés significan Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica. Este índice se deriva de la cuantificación de presencia y ausencia de las familias de macroinvertebrados identificados con diferente tolerancia a la contaminación (INBio TNC, 2008). Es un índice que se calcula sumando las puntuaciones asignadas a las distintas familias de macroinvertebrados encontrados según su grado de sensibilidad a la contaminación, sin embargo en el caso de nuestro estudio, se trabajó con insectos acuáticos. Es importante mencionar que el puntaje se asigna una sola vez/familia, independientemente de la cantidad de individuos o géneros encontrados.

RESULTADOS

Los resultados de los parámetros físico-químicos tomados en las diferentes quebradas estudiadas de la microcuenca río Jutiapa se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros físico-químicos

Parámetro	Muestreo 1			Muestreo 2		
	Estación A	Estación B	Estación C	Estación A	Estación B	Estación C
Temperatura Ambiente	30°C	20°C	15°C	17°C	19°C	19.5°C
Temperatura Agua	24°C	17°C	12°C	23°C	23°C	26°C
pH	5	2	7	7	8	6
conductividad	150i ù	300i ù	250i ù	300i ù	400i ù	600i ù
Oxígeno	3 ppm	4 ppm	7 ppm	8.5 ppm	4 ppm	7 ppm
DBO ₅	0.4 ppm	N.D	1.5 ppm	6.1 ppm	2 ppm	2 ppm

Muestreo 1

Velocidad de la corriente m/seg		
Estación A	Estación B	Estación C
0.212	-----	0.079

Muestreo 2

Velocidad de la corriente m/seg		
Estación A	Estación B	Estación C
0.082	-----	-----

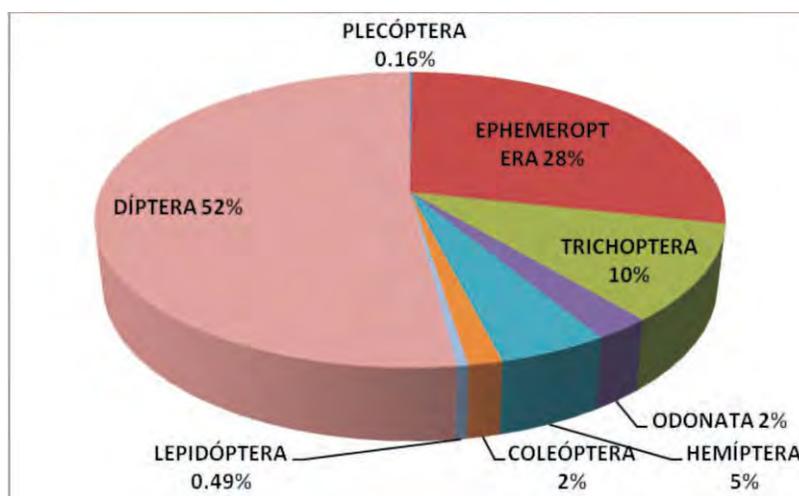


Figura 7. Representación gráfica de los órdenes de los insectos acuáticos colectados durante el estudio en las quebradas Limones, Corralitos y Jutiapa del Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras. Época seca del 2009.

En este estudio, realizado durante los meses de febrero y marzo (época seca) del 2009 en la quebrada Limones, quebrada Corralitos y quebrada Jutiapa, se colectó un total de 612 individuos pertenecientes a 8 órdenes de insectos. Se registró un total de 27 familias, la mayoría de las cuales (75% del total) corresponden a estados inmaduros de insectos.

Los órdenes más abundantes fueron: el orden Díptera con 318 individuos que representan el 51.96% del total de individuos colectados; el orden Ephemeroptera con 173 individuos (28.27%); el orden Trichoptera con 64 (10.46%); el orden Hemíptera con 29 individuos (4.74%); el orden Odonata con 15 ejemplares (2.45%); el orden Coleóptera con 9 ejemplares (1.47%); el orden Lepidóptera con 3 individuos (0.495 %) y el orden Plecóptera con 1 individuo (0.16%). Información contenida en la Fig. 7 y Tabla 2.

De los órdenes encontrados en todo el estudio, el orden que presentó más familias fue el orden Díptera con 6 familias. En segundo lugar le sigue el orden Ephemeroptera con 4 familias, el orden Trichoptera con 4 familias, el orden Hemíptera, el orden Coleóptera y el orden Odonata con 3 familias, cada uno; el orden Plecóptera y el orden Lepidóptera con 1 familia respectivamente, como se muestra en la Tabla 2.

Composición, abundancia y riqueza de familias

Las familias que presentaron mayor abundancia durante el estudio, como se muestra en la Tabla 2 y Fig. 8, fueron: La familia Culicidae con 194 individuos que le corresponde el 31.6%, la familia Simuliidae con 106 individuos (17.3%), la familia Leptophlebiidae con 115 individuos (18.79%), Hydropsichidae 59 individuos (9.6%) y la familia Baetidae con 50 individuos (8.16%). La abundancia de las demás familias, como se muestra en la Tabla 2 y en la Fig. 8, es poco significativa.

La abundancia de individuos por quebrada resultó ser mayor en la quebrada Corralitos con 371 individuos, le sigue la quebrada Limones con 177 individuos y en tercer lugar la quebrada Jutiapa con 64 individuos como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de los resultados obtenidos en la clasificación de la calidad del agua en las confluencias del río Jutiapa: quebrada Limones, quebrada Corralitos y quebrada Jutiapa. Época seca del 2009

ORDEN	FAMILIA	Quebrada Limones A		Quebrada Limones B		Quebrada Limones C	
		BMW P-CR	No. de individuos	BMW P-CR	No. de individuos	BMW P-CR	No. de individuos
PLECÓPTERA	Perlidae	10	1		0		0
	Baetidae	5	16	5	30	5	4
EPHEMEROPTERA	Baeticidae		1		0		0
	Leptophlebiidae	8	64	8	11	8	40
	Heptagenidae		0	10	6	10	1
TRICHOPTERA	Hydropsichidae	5	47	5	9	5	3
	Hydroptilidae		0	6	1		0
	Psichomyiidae		0		1		0
	Glossomatidae	8	3		0		0
ODONATA	Coenagrionidae	5	3	5	1	4	4
	Calopterygidae	5	4	5	1	4	1
HEMIPTERA	Libellulidae		0		0	6	1
	Veliidae		13		2		0
	Guerridae		4		7		0
	Notonectidae	4	2		0		0
COLEÓPTERA	Naucoridae		0	4	1		0
	Psephenidae	7	3		0	7	1
	Staphilinidae	4	1	4	2		0
LEPIDÓPTERA	Elmidae	5	1	5	1		0
	Pirralidae	5	1		0	5	2
DÍPTERA	Culicidae		0	2	194		0
	Tipulidae		0	4	1	4	2
	Adulto N.D.		0		1		0
	Simuliidae	4	12	4	89	4	5
	Ceratopogonidae	4	1		0		0
	Chaoboridae		0		4		0
	Chironomidae		0	2	9		0
TOTAL		79	177	69	371	62	64

Tabla 3. Resumen de los resultados de los diferentes parámetros comunitarios calculados para río Jutiapa: quebrada Limones, quebrada Corralitos y quebrada Jutiapa durante la época seca del 2009

	Quebrada Limones A	Quebrada Corralitos B	Quebrada Jutiapa C
CALIDAD DEL AGUA BMW P-CR	AGUAS DE CALIDAD REGULAR, EUTROFIA CONTAMINACIÓN MODERADA	AGUAS DE CALIDAD REGULAR, EUTROFIA CONTAMINACIÓN MODERADA	AGUAS DE CALIDAD REGULAR, EUTROFIA CONTAMINACIÓN MODERADA
ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON-WIENNER	1.91618219	1.5439497	1.45949014
ÍNDICE DE DOMINANCIA DE BERGER-PARKER	0.056497175 <i>Leptophlebiidae</i>	0.522911051 <i>Culicidae</i>	0.625 <i>Leptophlebiidae</i>
Índice de similitud de Jaccard (Estación A y B)	62.5%		
Índice de similitud de Jaccard (Estación B y C)	57.1%		
Índice de similitud de Jaccard (Estación A y C)	66.6%		

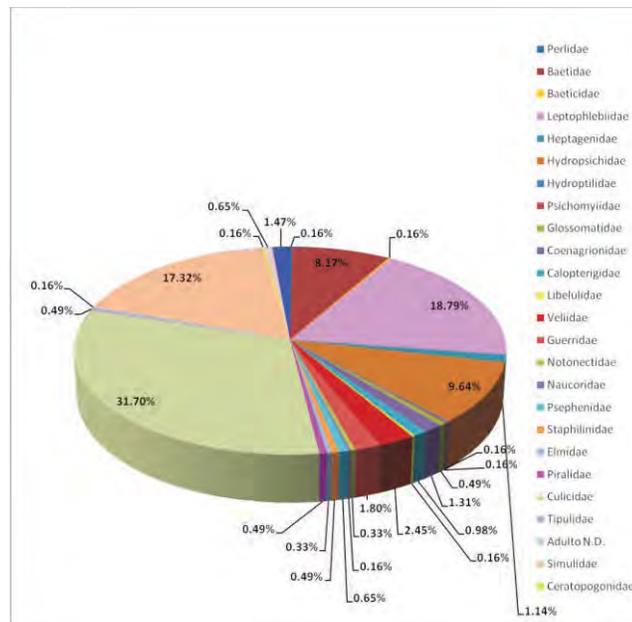


Figura 8. Representación gráfica de las familias de insectos acuáticos colectados durante el estudio en las quebradas Limones, Corralitos y Jutiapa del Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras. Época seca del 2009.

Composición de la riqueza específica y dominancia de familias por quebrada.

De acuerdo a los resultados obtenidos al calcular el **índice de diversidad de Shannon-Wiener (H)** que aparecen en la Fig. 9 y Tabla 3, el valor para la quebrada Limones (A) fue de 1,001577851; para la quebrada Corralitos (B) un índice de 0,670528836 y el de la quebrada Jutiapa (C) fue de 0,617957163.

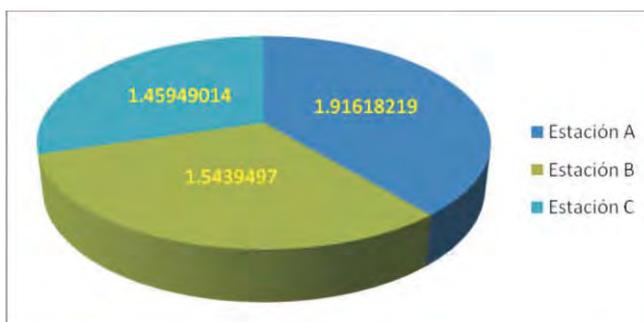


Figura 9. Representación gráfica del Índice de Diversidad de Shannon-Wiener obtenido en el estudio de calidad de agua en las quebradas Limones, Corralitos y Jutiapa del Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras, en la época seca del 2009.

Los resultados del **índice de Dominancia de Berger-Parker** demuestran un valor de 0.0564977851 para la quebrada Limones (A), dominando la Familia Leptophlebiidae. Un índice de 0,522911051 para la quebrada Corralitos (B), dominando la familia Culicidae, y la quebrada Jutiapa (C) presentó un índice de Dominancia de 0,625, dominando la familia Leptophlebiidae (Fig. 10 y Tabla 3).

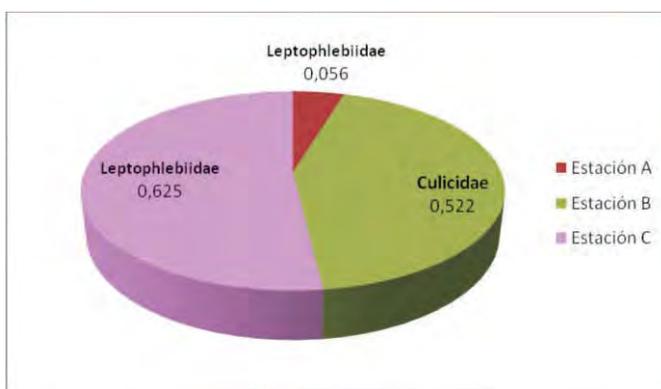


Figura 10. Representación gráfica del Índice de Dominancia de Berger-Parker obtenido en el estudio de calidad de agua en las quebradas Limones, Corralitos y Jutiapa del Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras. Época seca del 2009.

El índice de Similitud de Jaccard que demuestra la similitud y la disimilitud entre las áreas muestreadas (Quebradas: Limones A, Corralitos B y Jutiapa C), y nos dice de acuerdo al resultado cuál es la heterogeneidad biótica de la comunidad. De acuerdo a los resultados podemos determinar qué similitud existe entre quebradas.

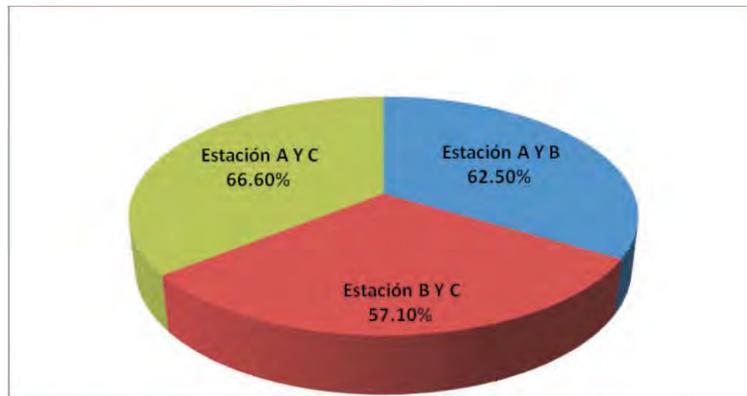


Figura 11. Representación gráfica del Índice de Similitud de Jaccard obtenido en el estudio de calidad de agua en las quebradas Limones, Corralitos y Jutiapa del Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras. Época seca del 2009.

En la Fig.11, Tabla 3, se puede observar que el índice de similitud entre la quebrada Limones y la quebrada Corralitos (A y B) fue de 62.5%; el de la quebrada Limones y la quebrada Jutiapa (B y C) fue de 57.1% y en lo que respecta a la quebrada Limones y la quebrada Jutiapa (A y C) el índice de similitud fue de 66.6%.

El Índice Biótico de Calidad del Agua BMWP Modificado para Costa Rica, BMWP-CR (In Bio-TNC, 2008), el análisis de la calidad de agua de las quebradas antes mencionadas, que considera la diversidad de taxa (familias indicadoras) y la abundancia de cada una de ellas, es presentada en la Tabla 2. Los resultados con la aplicación del BMWP-CR muestran valores relacionados con la presencia y ausencia de las familias de insectos acuáticos que poseen diferente tolerancia a la contaminación, dependiendo de la sensibilidad.

El índice Biótico de la quebrada Limones fue de 79; el de la quebrada Corralitos fue de 69 y el de la quebrada Jutiapa fue de 62, todas incluidas en el mismo nivel de calidad de agua (ver anexo 1).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

No existe información específica que guarde relación a estudios que caractericen la macrofauna bentónica del río Jutiapa; ni de información de parámetros fisicoquímicos.

Las investigaciones previas relacionadas con el estudio de diversidad de macroinvertebrados bentónicos o de insectos acuáticos como indicadores biológicos, han sido realizadas en otras microcuencas en zonas aledañas al PNLT, como el realizado por Gamero y Talavera, 2003 en la quebrada Las Trojas. El realizado por Argueta et al, 2008, en las confluencias de la microcuenca del río San Juan en las quebradas Las Trojas, Las Cañas y quebrada Dulce, así como la evaluación biológica de la microcuenca San Francisco en Valle de Ángeles por Núñez, 2007.

Todos estos estudios describen la condición ambiental de las microcuencas a través de parámetros físicos y químicos e indicadores biológicos, estudios de abundancia y de diversidad de insectos acuáticos. Las estaciones que fueron seleccionadas para los muestreos presentan diversidad considerable y las tres poseen características completamente diferentes en cuanto a la temperatura, conductividad, tipo de fondo, velocidad de la corriente, anchura, tipo de substrato, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, vegetación, tipo de hábitats y microhábitats, así como por las intervenciones humanas, entre otras cosas.

En condiciones naturales la diversidad y la distribución de los insectos acuáticos está limitada por factores como la luz, temperatura, sustrato, ancho del río, velocidad de la corriente, factores de altitud, alimento, hábitat y química del agua (Medianero y Samaniego, 2004).

De acuerdo a los datos morfométricos, la microcuenca del río Jutiapa es ovalada, característica que es muy importante ya que da lugar a una mayor respuesta del cauce ante un evento de crecida, así como la pendiente del cauce principal que es favorable para que el agua escurra rápidamente a ese mismo evento. De acuerdo a la densidad de drenaje de la microcuenca, los volúmenes de agua que escurren durante la época lluviosa son grandes, aunque durante la realización de este estudio todas las quebradas mostraron poco flujo, poca anchura y poca profundidad, sobre todo la quebrada Limones y quebrada Jutiapa en donde fue posible medir la velocidad de la corriente. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos (Tabla 1) muestran variaciones considerables en ambos muestreos, aquí pudo haber influido la hora del día ya que los muestreos se realizaron a la inversa.

La conductividad resultó muy alta en los dos muestreos y para las 3 quebradas, esto pudo deberse al arrastre de sedimentos producto de la erosión de áreas adyacentes. En el arrastre de sedimentos van muchos iones disueltos, lo que da como resultado una conductividad específica alta.

El pH resultó significativamente ácido durante el primer muestreo para la quebrada Limones (A), y muy ácido para quebrada Corralitos (B), lo que coincide con el grado de contaminación orgánica producida por aguas mieles. De igual forma el oxígeno disuelto resultó muy bajo para quebrada Limones solamente durante el primer muestreo, esto pudo deberse a la dificultad de medición por la poca profundidad, y el sedimento limoso del lecho de la quebrada. Para la quebrada Corralitos el oxígeno disuelto fue bajo durante los dos muestreos. Los resultados de la DBO_5 resultaron significativamente altos para la quebrada Jutiapa durante el segundo muestreo, esto pudo deberse a la cantidad de materia orgánica en descomposición. Este resultado no es congruente con los valores de oxígeno disuelto durante este mismo muestreo, sin embargo, esto pudo deberse a que las aguas corren considerablemente, dando como resultado una buena oxigenación.

En la quebrada Jutiapa se pudo observar la extracción de agua para riego de cultivos y consumo humano de la población adyacente a través de mangueras y aproximadamente a 4 metros del lugar muestreado se observó una pequeña represa en la que se cultivan peces dentro de una propiedad privada.

La quebrada Corralitos presentó considerable anchura (5 metros aproximadamente), pero no fue posible la medición de velocidad de la corriente, ni de profundidad en ninguno de los dos muestreos debido al tipo de lecho del río que es sumamente rocoso y la lentitud del flujo de agua a causa de la contaminación por aguas mieles por los desechos de café. El lecho rocoso para quebrada Corralitos y quebrada Jutiapa indican que durante la época lluviosa son grandes volúmenes de agua que pasan por dichas quebradas; lo que ocasiona una gran variación de los parámetros físico-químicos y comunitarios (de los insectos) calculados durante este estudio.

El número de individuos varió durante ambos muestreos, siendo más abundante en el segundo muestreo, pero la diversidad por familia fue mayor durante el primer muestreo, estas diferencias fueron el resultado del gran número de individuos de la familia Culicidae encontrados durante el segundo muestreo, es de hacer notar que en muchos de los casos cuando el sistema se ve alterado ya sea por medio de las actividades humanas o del ambiente, en esos casos algunas especies se ven

obligadas a sobrevivir adaptándose o simplemente no toleran los cambios del ambiente y desaparecen. Esto da como resultado la pérdida de algunos grupos y el aumento de otros ya sea por la ausencia de depredadores o por la disminución de la competencia de algún nicho específico, por el alimento presente o por la combinación de varios factores, como se puede observar en los resultados, el gran número de individuos de la familia Culicidae y Simulidae, comparado con el mínimo número de otras familias presentes en las estaciones monitoreadas.

Los resultados obtenidos en este estudio detectan la presencia de algunos organismos indicadores de aguas relativamente limpias pertenecientes a los ordenes Plecóptera (solamente en la quebrada Limones (A) con la presencia de un organismo de la familia Perlidae), el orden Ephemeroptera (dominando la familia Leptophlebiidae) y del orden Trichoptera (dominando la familia Hydropsychidae) como se puede observar en la Tabla 2. En las quebradas Limones y Jutiapa, en las que resultaron altas concentraciones de oxígeno disuelto y baja demanda bioquímica de oxígeno, el orden Ephemeroptera (familia **Leptophlebiidae**) fue la más abundante específicamente durante el primer muestreo cuando todavía no se presentaba la época más seca de la estación. La presencia de las órdenes apuntadas anteriormente, por lo general indican aguas de buena calidad.

Sin embargo, en la quebrada Corralitos (B), la mayor abundancia fue para el orden Díptera, específicamente la familia Culicidae y Simulidae (Tabla 2), las cuales agrupan a individuos presentes en casi todos los tipos de ecosistemas loticos y/o lenticos bajo diferentes condiciones ambientales y los cuales han sido reportados como tolerantes a los efectos de la contaminación (Merrit & Cummins, 1986).

Es de gran importancia recalcar que el agua de la quebrada Corralitos presentó alta contaminación por desechos de café, especialmente aguas mieles, como lo muestran los bajos valores de oxígeno disuelto, alta conductividad, pH ácidos, bajo flujo de agua y baja velocidad de la corriente así como la pobreza en la heterogeneidad de los microhábitats. Sin embargo, como lo demuestran los resultados de la Tabla 2, la quebrada Corralitos también presenta abundancia de organismos del orden Ephemeroptera, algunos Trichopteros (Fam. Heptagenidae) y algunos géneros indicadores de aguas limpias como ser organismos del género *Choro terpes sp.*, esto pudo deberse a que muchos de los organismos fueron colectados previos a la confluencia, es decir en la parte baja de quebrada Limones, lo que alteró en gran medida los resultados.

La abundancia de organismos del orden Díptera, con 6 familias presentes y una especie no determinada (ND) son, en su mayoría, indicadoras de contaminación

del agua. Lo anterior nos permite asegurar que la calidad del agua de la quebrada Corralitos está seriamente dañada.

Sin embargo, es de hacer notar que, en los ríos, la disolución del oxígeno se favorece de forma natural debido a la velocidad de la corriente, pero también se sabe que al aumentar los niveles de materia orgánica debido a descargas de desperdicios, ocurre una disminución natural del oxígeno disuelto y alta demanda bioquímica del oxígeno, que afecta la fisiología de los individuos que componen la comunidad, dando lugar por lo tanto a una abundancia de los organismos más tolerantes a la contaminación y disminuyendo los menos tolerantes. Los órdenes de insectos acuáticos con menos abundancia corresponden a los pertenecientes a los Odonatos, Lepidópteros, Coleópteros y Hemípteros. Es importante mencionar la presencia de la familia Psephenidae del orden Coleóptera (Tabla 2), en las quebradas Limones (A) y Jutiapa (C); que aunque no en abundancia, indica que el agua es de buena calidad.

La diversidad biológica de insectos acuáticos en las tres quebradas muestreadas fue moderada (Fig. 9, Tabla 2). Esto pudo deberse a las condiciones morfológicas, fisicoquímicas de las quebradas que no favorecen completamente a la diversidad de las especies. De acuerdo a Krebs (2000), la diversidad está determinada por diversos factores, pero sin duda uno de los principales es la estabilidad ambiental. Este factor es necesario para la conservación de la diversidad de especies, pero hay otros factores que también pueden influir en la diversidad de las especies que forman parte de la comunidad, la productividad, así como también influyen la actividad predatoria y la competencia inter e intraespecífica.

Los ambientes con mayor complejidad de hábitats pueden soportar un mayor número de especies, pues ofrecen más recursos habitacionales y alimenticios; como en el caso de las quebradas estudiadas, que se consideran valores medio altos de biodiversidad. Los resultados obtenidos al calcular el índice de Dominancia (Fig.10, Tabla 3), indican que la quebrada Jutiapa presentó el mayor índice de dominancia, siendo dominante la familia Leptophlebiidae, del orden Ephemeroptera. En segundo lugar, en la quebrada Corralitos, dominó la familia Culicidae del orden Díptera y en tercer lugar, en la quebrada Limones, la familia Leptophlebiidae fue dominante.

El índice de Similitud de Jaccard, basado en el número de especies que son exclusivas de las comunidades, en este caso exclusivas de las quebradas Limones, Corralitos y Jutiapa y en el número de especies comunes para ambas comunidades. De allí que, de acuerdo a los resultados obtenidos, la similitud es mayor entre

quebrada Limones y quebrada Jutiapa y la disimilitud entre quebrada Corralitos y Jutiapa; esta similitud y disimilitud entre las quebradas se podría deber a la heterogeneidad ambiental de las áreas muestreadas.

Al aplicar el BMWP-CR, según se aprecia en los resultados de la Tabla 3, se define a las 3 quebradas de la microcuenca Jutiapa como de aguas de calidad regular, eutrofia y contaminación moderada con muy poca diferencia en los valores calculados, pero siempre dentro del mismo rango de acuerdo a la Tabla 3. De acuerdo a los resultados del BMWP-CR, las quebradas Limones, Corralitos y la quebrada Jutiapa presentan una calidad del agua regular, eutrofia y contaminación moderada.

Se concluye que los valores encontrados de los parámetros físico-químicos, el análisis del índice de diversidad, la dominancia y la similitud entre las quebradas estudiadas, son coincidentes en señalar que la calidad del agua es regular y con contaminación moderada. Se observó que las especies sensibles y moderadamente sensibles que pertenecen al orden Plecóptera (estuvo presente solo en quebrada Limones), Ephemeroptera y Trichoptera fueron significativamente menores en las otras quebradas, proliferando aquellas familias de gran tolerancia a la contaminación como los organismos de las familias Culicidae, Simulidae, Ceratopogonidae, Chaoboridae, Chironomidae, y muchos oligochaetos e Hirudíneos (ND) que no fueron considerados en esta investigación por tratarse de un estudio de insectos acuáticos.

Murgel, (1984) menciona que las familias anteriores son capaces de tolerar tensiones muy bajas de oxígeno por extensos períodos de tiempo, lo que particularmente resulta en una rápida tasa reproductiva (Welch, 1992). A medida que el río drena a través de los asentamientos humanos, sus aguas son extraídas para riego y consumo, lo cual se evidencia principalmente en la disminución de la velocidad de la corriente y descarga aguas abajo, siendo a su vez impactadas por la contaminación derivada de los fertilizantes. La presencia de basura no biodegradable, desechos domésticos en los alrededores y dentro del agua fue muy evidente en quebrada Corralitos; ya que es un lugar visitado por turistas.

En conclusión, las tres quebradas estudiadas son diferentes en parámetros físico-químicos, abundancia, y levemente diferentes en composición, dominancia, diversidad de la entomofauna, y la similitud es mayor entre quebrada Limones y quebrada Jutiapa. La quebrada Limones (A) parece estar habitada por una fauna particular, probablemente adaptada a condiciones ambientales y físico-químicas poco afectadas por acciones antropogénicas, por lo que de acuerdo a los

resultados del índice de diversidad, esta quebrada podría ser considerada como un sitio de referencia con buenas condiciones en su calidad biológica para futuras evaluaciones.

RECOMENDACIONES

En consideración a los resultados de este estudio realizado por los estudiantes de la cátedra de Entomología Acuática de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras y a las observaciones de campo y consultas hechas a los pobladores, nos permitimos hacer las siguientes recomendaciones:

- Orientar a personas (funcionarios gubernamentales, educadores y personas interesadas) acerca de un sistema de monitoreo sencillo y eficaz para evaluar a lo largo del tiempo y en sitios permanentes, el estado y manejo apropiado de sus recursos naturales, la salud de su ambiente y el seguimiento de los cambios antropogénicos.
- Evitar los asentamientos humanos en la orilla de las microcuencas y en las zonas de recarga, para evitar el deterioro de las fuentes de agua, las cuales a su vez son utilizadas para el consumo humano.
- Elaborar un plan de trabajo para las diferentes microcuencas, que establezca el uso adecuado y el mantenimiento sostenible, para asegurar la disponibilidad de este vital líquido en los años posteriores.
- Hacer conciencia a la población adyacente a las microcuencas sobre el manejo de los residuos domésticos mediante campañas informativas, o por medio de charlas impartidas periódicamente por la alcaldía municipal para prevenir el aumento de la contaminación de las fuentes de agua.
- Educar a la población sobre la importancia de los cuerpos de agua y cómo evitar el deterioro de los mismos.
- Complementar el estudio biológico de los cursos de agua con la información físico-química ya que el estudio de las especies de fauna que están en los cursos de agua dulce se complementan con la información físico-química de las aguas, especialmente medidas de velocidad de la corriente, anchura y profundidad, tipo de sustrato, y descarga, estabilidad del lecho del río, el gradiente, área de vegetación, temperatura ambiental y del agua, turbidez, conductividad, pH,

Oxígeno disuelto, DBO_5 , BDQ , dureza total, nutrientes derivados del nitrógeno (nitritos, nitratos, amonio, nitrógeno orgánico) cloro residual, fósforo total, ortofosfatos, niveles de sílice, número de bacterias coliformes y *Escherichia coli* presentes son también datos muy importantes. En el caso de que se sospecha contaminación por metales, se deberá evaluar la presencia de aluminio, bromo, cloro, cobre, cianuro, flúor, yodo, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, plata y zinc que en cantidades excesivas pueden ser perjudiciales para la salud humana.

- Realizar estudios de las variaciones estacionales de la abundancia y la diversidad de insectos acuáticos y relacionarlos con la calidad del agua (BMWP-CR), para establecer programas de manejo ambiental adecuado, especialmente en la quebrada Corralitos.
- Hacer estudios posteriores relacionados con el tema, principalmente en la estación Limones (A), ya que está ubicada en la parte alta de la microcuenca y los parámetros de calidad son muy buenos, y puede servir como quebrada piloto.
- Establecer un programa de sanciones para todos los individuos o instituciones que contravengan las disposiciones de protección ambiental en el PNLT, sobre todo para aquellas personas que utilizan químicos y fertilizantes en los diferentes cultivos.

REFERENCIAS

- Aguilar, H. Meza, N y Álvarez, G. 2004. Insectos Acuáticos Asociados al Río La Fortuna Quebradas Aledañas. Clase Entom. Acuática. Depto. Biología. UNAH. Teg. Honduras. 23 pp.
- Alba-Tercedor J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las Aguas de los ríos. IV Simposio del agua en Andalucía, Almería. Vol. II: 203-213.
- Alba-Tercedor, J. & A. Sánchez-Ortega. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). Limnética. Vol. 4: 51-56.
- Argueta, I. et al. 2008. Diversidad de Insectos Acuáticos en las Confluencias de la Microcuenca del Río San Juan: Quebrada Las Trojas, Quebrada Las Cañas y Quebrada Dulce. Clase Entom. Acuática. Escuela Biología. UNAH. Teg. Honduras.
- Baev, P.V. & L.D. Penev. 1995, Biodiversidad: program for calculating biological diversity parameters, similarity, niche overlap, and cluster analysis, Versión 5.1.

- Pensoft. Sofía-Moscow- 57 pp.
- Borjas, G. et. Al. 1987. Tesis: Parámetros Físicoquímicos Asociados a Macroinvertebrados Bentónicos en el río Choluteca y sus Cabeceras. Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Tegucigalpa, Honduras. 149 pp.
- Borjas, G. 1984. Monografía: Macroinvertebrados como Indicadores Biológicos de Contaminación en el río Chiquito. Tegucigalpa, Honduras. Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Tegucigalpa, Honduras. 57 pp.
- Borjas, G, et al 1997. Calidad de Agua en 6 subcuencas del Parque Nacional Azul Meámbar. Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Tegucigalpa. Honduras. 49 pp.
- Cairns, J. & R. Pratt. 1993. A history of biological monitoring using benthic macro-invertebrates. Pages 10-27. In D. M. Rosenberg & V. H. Resh (Eds.) *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macro-invertebrates*. Chapman & Hall, New York.
- Castillo, J. 2002. Monografía: Estudio Preliminar de la Distribución de Macroinvertebrados Bentónicos y su Utilización como Indicadores de Contaminación Orgánica en la Cuenca del Río Sabacuante. UNAH-SANAA. Tegucigalpa, Honduras, 70 pp.
- Chessman, B.C. 1995. Rapid assessment of river using macroinvertebrates: a Procedure based on habitat-specific sampling, family level identification and biotic index. *Australian Journal of Ecology* 20; 122-129
- Chila. M. A. 1998. An attempt to application of benthic macro-invertebrates for the assessment of water quality. *Acta Hydrobiol.*, Vol. 40: 55-65.
- Daniel, O. 2002. Página Web: iufro.boku.ac.at/iufro/iufro.net/d6/
- Ecología y Servicios S.A. de C.V. 1998. Caracterización, evaluación y levantamiento cartográfico de los Recursos Naturales del Parque Nacional La Tigra. Tegucigalpa. 97 p.
- Forbes S. A. 1887. The Lake as a Microcosm. *Bull. of the Scientific Association (Peoria, IL)*: 77-87.
- Forbes, S.A. 1928. The biological survey of a river system-its objects, methods, and results *Bulletin of Illinois Natural History Surveys*. Vol. 17. No. 7: 277-284.
- Forbes, S.A. and R.E. Richardson. 1913. Studies on the biology of the upper Illinois River. *Bulletin of Illinois Natural History Surveys*. Vol. 9., N0 10: 481-574.
- Gamero A. y Talavera L. 2003. Diversidad de Insectos Acuáticos en la Quebrada Las Trojas. *Clase Entom. Acuática*. UNAH. Teg. Honduras.
- Gonzales del Tanago del Río, Marta y García de Jalón Lastra, Diego. 1995. *Restauración de Ríos y Riberas*. Universidad Politécnica de Madrid. 319 pp.
- Hawkes, H. A. 1979. Invertebrates as indicators of river quality. In, A. James & L. Evison, *Biological indicators of water quality*. John Wiley & Sons. 2: 1-45.
- Hellawell, J.M. 1986. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. El sevier Applied Science. London. 122p.

- Hermanson, T. 1999. An evaluation of the Peinador and biological monitoring working party macro-invertebrate indices in assessment of biological water quality in tropical streams of Golfito, Costa Rica. Adv. M. Springer. Macalester: 18pp.
- Herrera, M. 2005. Guía para Evaluaciones Ecológicas Rápidas con Indicadores Biológicos en Ríos de Tamaño Mediano. Talamanca Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 866 pp
[http://www.catie.ac.cr/CatieSE4/BancoMedios/Documentos%20PDF/guía evaluaciones-pdf-Consultado](http://www.catie.ac.cr/CatieSE4/BancoMedios/Documentos%20PDF/guía%20evaluaciones-pdf-Consultado): 3 de Enero del 2010
- Hilsenhoff, W.L. 1977. Use of arthropods to evaluate water quality of streams. Tech. Bull. WI. Dept. Nat. Resour. No 100 15pp.
- Hoja Cartográfica de Tegucigalpa Hoja 2758 II Serie 752.
- INBio-TNC. 2008. Programa de Monitoreo de los Objetos de Conservación. Costa Rica. URL: <http://www.inbio.ac.cr/osa/paginas/programa.html>. Consultado: 17 de Abril 2009
- Junqueira, M. V., M. C. Amarante, C. F. S. Dia. & E. S. França. 2000. Biomonitoramento da qualidades das águas da bacia do Alto Rio das velhas (MG/Brasil a través de macroinvertebrados. Acta Limnologica Brasiliensia. Vol. 12 (1): 73-87.
- Kolkwitz, R. & M. Marsson. 1909. Okologie der tierischen Saprobien. Beitrage zur Lehre von der biologischen Gewasserbeurteilung. Internationale der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie 2 : 126-52. In: Hauer F. R. and G. A.
- Krebs, Ch., 2000. Ecología Estudio de la Diversidad y Abundancia. Oxford. 753pp.
- Margalef, R. 1968. Perspectivas in ecological theory. University of Chicago Press.
- Marroquin, Tejada V. B.R. Padilla y C. Medrano. 2000. Determinación de la calidad del agua de la Quebrada La Salada de La Montañita. Clase Ento. Acuática. Depto. De Biología. UNAH. Teg. Honduras. 24 pp.
- Medianero E., y M Samaniego. 2004. Comunidad de Insectos acuáticos Asociados a condiciones de contaminación en el río Curundu Panamá. Folia Entomol. Mex.,49(3):279-294 (2004).
- Merritt R. W. y K.W. Cummins. 1996. An introduction to the aquatics insects of North America. 3rd Edition. Kendal/Hunt publishing Company. USA.
- Mérida J. 1996. Estudio de la Calidad del Agua de la Quebrada La Salada, La Montañita. F.M. Clase Ento. Acuática. Depto. Biología. Teg. Honduras. 22 pp.
- Miserendino, M. & L. Pizzolón. 1999. Rapid assessment of river water quality using macro-invertebrates: a family level biotic index for the Patagonic Andean zone. Acta Limnologica Brasiliensia. Vol. 11, N0 2, : 137-148.
- Tatumbra. F.M. Clase Ento. Acuática. Depto. Biología. UNAH. Teg. Honduras. 32 pp.
- Murgel, S. 1984. Limnología Sanitaria. Estudio de la polución de aguas

- continentales. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington, D.C. 120 pp.
- Naranjo, C., G. Garcés, D. González, S. Muñoz & Y. Musle. 2003. Una metodología rápida y de fácil aplicación para la evaluación de la calidad del agua utilizando el índice BMWP-Cu para ríos cubanos. Evento de la Facultad de Ciencias Naturales, <http://www.cnt.uo.edu.cu> ISBN 959-207-093-8
Consultado: 20 Abril 2010
- Pyne A.I. 1986. The ecology of tropical lakes and rivers. John Wiley & Sons, Chichester, Great Britain. 245 p.
- Richardson, R.E. 1928. The bottom fauna of the middle Illinois River, 1913-1925: its distribution, abundance, valuation, and index value in the study of stream pollution. Bulletin of Illinois Natural History Surveys. Vol. 17. No 12: 387-475.
- Roldán, P. G. 2002. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del Método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia: 182 pp.
- Roldán, G. 1999 Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Rev. Acad. Colomb.Cienc.23(88):375-387ISSN03703908.URL <http://www.accefyn.org.co/Publi/Acad/Periodicas/Volumen3/88/375-387.pdf>. Consultado: 10 de Enero de 2010.
- Rosenberg, D.M., H. V. Danks & D, M. Lehmkuhl. 1986. Importance of insects in environmental impact assessment. Environmental Management. 10:773-783.
- Shannon, C. & W. Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication. pp. 19-27, 82-103, 104-107. The University of Illinois Press.
- Southwood, T.R.E. 1978. Ecological Methods. Second Edition. A. Hasted and Hall. John Willey & Sons. N.Y. 524 pp.
- Suess, M. J. Ed. 1982. Examination of water for pollution control. A reference handbook. Pergamon Press.3.
- Welch, E.B. 1992. Ecological effects of wastewater. 2 ¾.ed. Chapman & Hall. 425 pp.

ANEXOS

Anexo #1

CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

ÁREA (Conteo de cuadros)	45.30 Km ²
LONGITUD DE CONTORNO	36.89 Km
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	5.83 Km
? LONGITUD DE TRIBUTARIOS	24.97 Km
ALTURA Máx.	2140 msnm
ALTURA Min.	900 msnm
DISTANCIA DE ALTURAS EN LÍNEA RECTA	10.212 Km
ORDEN DEL RÍO (STRAHLER)	3

Densidad de drenaje	0.55 Km ⁻¹
Constante de mantenimiento	1.81
Coefficiente de gravelius	1.54
Forma de cuenca	Oblonga
Pendiente de la cuenca	0.01%
Pendiente del cauce principal	21.2%
Tiempo de concentración	0.20 hrs.
Alejamiento medio	0.86
Índice de alivio	0.12
Frecuencia	0.28 Km ⁻²

Anexo #2

RANGOS DE NIVELES DE CALIDAD DE AGUA, DE ACUERDO al BMWP-CR.

Nivel de calidad de agua	BMWP-CR
Aguas de calidad excelentes	> 120
Aguas de calidad buena, no cantaminadas o no alteradas de manera sensible	101 - 120
Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada	61 - 100
Aguas de calidad mala, contaminadas	36 - 60
Aguas de calidad mala, muy contaminadas	16 - 35
Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas	< 15

Anexo #3

Materiales y Equipo de laboratorio y de campo utilizados en el estudio

Materiales y equipo de campo	Materiales y equipo de laboratorio
- Hoja cartográfica de Tegucigalpa	- Claves taxonómicas (Merrit y Cummins, 1989)
- Cámara fotográfica	- Estereoscopios Leica 10.5 - 45X
- Conductímetro marca Lamotte	- Cápsulas de Petri
- Oxinómetro YSI modelo 57	- Agujas entomológicas para disección
- Cintas reactivas para pH	- Pinceles
- Cinta métrica	- Frascos plásticos (para colección permanente)
- Alcohol 70%	- Frascos de vidrio (preservación)
- Tamiz y cedazos	- Papel calca
- Pinceles	- Chinógrafo
- Frascos con alcohol (colecta)	
- Pinzas	
- Agua destilada	

Viaje al corazón de Taulabé

César Mauricio Urbizo Vivas*, Patrick Durán Leiva**,
Giovanni Peraldo Huertas**, Ronald Ramírez Salazar**

RESUMEN

El presente trabajo es el resultado de una excursión en la que participaron académicos de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), de la Universidad de Costa Rica (UCR) y del Grupo Espeleológico Anthros.

Se realizó una visita exploratoria al interior de las Cuevas de Taulabé para obtener evidencia científica que explique el origen y composición de dichas cavernas, con el fin de fortalecer los vínculos académicos interuniversitarios y con grupos especializados en espeleología con lo que se logre proyectar investigación que aumente el conocimiento científico sobre esas cavernas y de sustento a mejor información para el sector turismo.

Por medio de observaciones y pruebas cualitativas se concluye que las cuevas han sido formadas en un complicado sistema hidrogeológico que afecta formaciones de rocas calizas, en donde el principal mineral formador de la morfología kárstica observada es calcita. El artículo es propositivo en la medida de que ahonda en las recomendaciones sobre las investigaciones científicas que puedan realizarse para profundizar más en el conocimiento de dichas cavernas.

Palabras clave: *Caverna, karsismo, caliza, calcita, espeleotemas, espeleología.*

ABSTRACT

The present work is the result of an interuniversity project between academics from Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Universidad de Costa Rica and Grupo Espeleológico Anthros professionals.

An exploratory visit was performed within Taulabé Caves for scientific evidence that could explain the origin and the cave chemical composition in addition to improve

* Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Facultad de Química y Farmacia.
urbizovivascesarmauricio@yahoo.es

** patrickduran@gmail.com; marinoperaldo@ucr.ac.cr; rgeoramirez@gmail.com

academic ties between the involved institutions and to provide scientific information to tourism.

Through observation and qualitative evidence is concluded that the caves have a karst formation and are mainly composed of calcite. Scientific search is recommended to improve the cave knowledge.

Keywords: *Cave, karst, limestone, calcite, espeleothems, espeleology*

INTRODUCCIÓN

El propósito de esta investigación es recabar información básica preliminar sobre el proceso de formación y características químicas de las Cuevas de Taulabé. Mancomunando esfuerzo, conocimiento y experiencia entre diversos campos del saber, se desea determinar el potencial científico de la caverna para desarrollar futuras investigaciones en conjunto que coadyuven al desarrollo del área, usando el sistema kárstico como una oportunidad de desarrollo social y económico de los pobladores de las cercanías, con lo que se propicia la conservación de tal monumento natural.

Las Cuevas de Taulabé representan un atractivo turístico importante, son fuente de trabajo y divisas para la región. Estudios científicos previos de las cavernas son escasos, dispersos, y algunos de difícil acceso. Los datos obtenidos serán de gran utilidad para dependencias del estado e instituciones como el Ministerio del Turismo, Instituto Hondureño de Antropología e Historia, Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra y otras, además de una mejor ilustración a quienes visiten las cuevas.

MARCO TEÓRICO

Flujos naturales de agua, hielo o lava pueden labrar algunos tipos de terreno provocando la formación de cavidades llamadas “**Cuevas o Cavernas**”. El ejemplo más común de formación de cuevas son las producidas por corrientes de agua ligeramente ácidas que disuelven la roca caliza, un tipo de roca compuesta principalmente de calcita, un mineral de carbonato de calcio (CaCO_3). Este fenómeno se le conoce como “**Karstificación**”. El dióxido de carbono (CO_2) gaseoso disuelto en el agua es el responsable de conferirle a ésta un pH ácido. La calcita es susceptible a las reacciones con ácido. Las reacciones químicas involucradas se describen a continuación:

El proceso químico que se lleva a cabo es el siguiente:

Reacciones Químicas de la Karstificación

I Fase: Acidulación del agua

- El dióxido de carbono se disuelve en el agua y produce ácido carbónico (H_2CO_3)
$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$$

- El ácido carbónico en agua forman los iones hidronio (H_3O^+), responsable de la acidez, e hidrogenocarbonato (HCO_3^-)



II Fase: *Disolución de la roca caliza*

- El ión hidronio ataca al carbonato de calcio con la consecuente formación de sus respectivos productos:



Un fenómeno característico de las cuevas ocurre cuando el agua de la roca disuelta se evapora y libera dióxido de carbono gaseoso al ambiente, provocando la precipitación de la calcita (carbonato de calcio).

La reacción química correspondiente se detalla a continuación:



La ciencia encargada del estudio de estas formaciones geológicas se conoce como "**Espeleología**". A las personas que ejercen esta rama del conocimiento se les conoce como espeleólogos. Para practicar la espeleología se necesita, además del conocimiento científico sobre cuevas, una condición física apropiada y un adecuado entrenamiento en técnicas de alpinismo. Es indispensable adquirir el equipo de seguridad profesional (casco, lámparas, botas, cuerdas, arnés, mosquetones, etc.) para un buen desarrollo de la actividad. Algunas personas practican la espeleología más como un deporte de aventura, por los riesgos que implica, que como una ciencia.

Llama la atención los reflejos de los haces de luz que impactan los espeleotemas de las cavernas, proyectan diferentes colores y tonos, lo que haría pensar que existen diversos minerales en la composición de los cristales que conforman dichos espeleotemas. Sin embargo, al tratarse únicamente de calcita, estos diferentes colores y tonos se explican en función de contaminantes existentes en los cristales, que pueden ser arcillas, limos, óxidos de hierro, entre otros, aparte de que existe una disposición sumamente cuidadosa de luces de diferentes colores que aumentan dichas sensaciones lumínicas.

Las “**Estalactitas**” son depósitos de calcita acumulados. Por gravedad el agua fluye hacia abajo, al evaporarse permite la formación de estructuras cónicas descendentes.

Las “**Estalagmitas**” se forman por las gotas de roca disuelta que caen de la estalactita al suelo, al evaporarse el agua forma estructuras cónicas ascendentes. Otros tipos de cuevas:

- **Cuevas Marinas** son producidas por el mar que desgasta las rocas costeras.
- **Cuevas de Hielo** son las formadas a partir del derretimiento del hielo en glaciares.
- **Cuevas de Lava** son las cavidades resultantes del enfriamiento de la parte externa de una colada, mientras que el centro de ella permanece líquida y puede fluir dejando luego una estructura similar a un tubo.

Además de la importancia geológica de las cavernas, también de manera general se puede decir que los sistemas kársticos en varias partes del mundo, tal como en el mundo maya, han sido sitios de estudios antropológicos debido al carácter místico que dichos sistemas, junto con sus espeleotemas, han despertado en las diferentes culturas. En el caso de América Central, en la región cultural mesoamericana, la cultura maya integró los sistemas kársticos de la península de Yucatán dentro de su particular cosmovisión, tal como se indica en un reportaje del sitio digital Artículo 7 (<http://a7.com.mx/vida/horizonte-academico/1052-avanza-el-registro-de-cuevas-y-cavernas-mayas-en-la-region-puuc.html>).

En el reportaje referido, se indica que han sido descubiertos restos culturales tales como “...muros con mampostería, accesos subterráneos con dinteles y jambas, petrograbados, materiales como metates, vasijas y platos, y en ocasiones hasta pintura mural sobre las paredes de las cuevas...”.

Con relación a las cuevas de Taulabé, no se han localizado vestigios culturales debido, entre otros aspectos, a que la entrada principal conocida actualmente para dichas cavernas no existía como tal antes de la construcción de la carretera a Yojoa, por lo que estuvo hasta el presente vedada en ese sector a los grupos humanos del área cultural prehispánico de Yojoa. No significa esto que no puedan localizarse en otras áreas cercanas, entradas naturales del sistema kárstico donde sí se puedan localizar restos culturales, para lo cual la investigación en dicho sistema debe ser interdisciplinario, en donde se involucren antropólogos y arqueólogos para su estudio sistemático.

CUEVAS DE TAULABÉ

Las Cuevas de Taulabé se encuentran a 140 km de Tegucigalpa, en el departamento de Comayagua, entre el Lago de Yojoa y Siguatepeque. Son consideradas monumento natural y fueron descubiertas accidentalmente en el año 1969 por una compañía israelí que trabajaba en la construcción de la carretera entre San Pedro Sula y Tegucigalpa. En marzo de 1979 Tom Miller y otros dos espeleólogos realizaron el primer plano de la caverna, tipografiando 921 m sin encontrar el final ya que esta se ramifica y profundiza conforme se avanza. La sala más alta registrada hasta el momento tiene aproximadamente 20m de altura en roca caliza, la temperatura varía entre 28-30° y está situada a 620 msnm.

MARCO GEOLÓGICO

Las Cuevas de Taulabé se encuentran constituidas geológicamente por rocas calizas pertenecientes al Grupo Yojoa. Este grupo está conformado por calizas marinas someras descritas como micritas limosas gris claro a café grisáceo, bien estratificadas, en capas de 10 a 70 cm, muy fosilíferas con abundantes bancos arrecifales de rudistas, que corresponden con bivalvos extintos, a través de la sección y estratos masivos con orbitilina hacia la base (Curran, 1981). Se debe entender que dichas cavernas se enmarcan dentro de un sistema kárstico mayor que debe ser estudiado al detalle a partir de levantamientos geológicos de detalle. Además, la dinámica kárstica del área se debe interpretar al estudiar a profundidad las características hidrogeológicas del sistema.

El Grupo Yojoa posee una edad del Cretácico Inferior al Cenomaniano, y se encuentra sobreyaciendo a la Formación Agua Fría (Mills et al., 1967; Scott y Finch, 1999). Dentro de este grupo, se reconocen dos unidades de plataforma carbonatada: La Formación Atima Superior e Inferior, localmente separadas por las lutitas Mochito (Scott y Finch, 1999).

SISMICIDAD HISTÓRICA DE COMAYAGUA

Un aspecto a tomar en consideración para incluir en la gestión que se pueda realizar en las cavernas de Taulabé, es la sismicidad cercana, que ha ocurrido en el graben de Comayagua. Uno de los primeros temblores conocidos y que está bien documentado, es el ocurrido el 14 de octubre de 1774. Peraldo y Montero (1999) estudian este sismo y refieren que afectó significativamente los edificios públicos y privados de Comayagua. Se ha referido que hundió el techo de la cárcel y cuartel de Dragones. Afectó severamente la nave central de la catedral. Los conventos de San

Francisco y La Merced también resultaron con daños de importancia. En Lejamaní afectó las torres del templo, produjo deslizamientos en el Cerro Gorra de Cuero, donde existían unas minas, y produjo otros deslizamientos importantes cerca de Lejamaní y en el área conocida durante el periodo colonial como Las Piedras. En Ajuterique parece que provocó menos daños que en las anteriores localidades referidas. Se le asigna a estos sismos epicentro cercano a Comayagua y una M_s 5,4 a 6,0. La intensidad calculada es de VII a VIII en Comayagua, VII en Lejamaní y en Las Piedras y VI en Ajuterique. Una referencia a retumbos y una continuación de los sismos réplica sugieren la cercanía del epicentro a los lugares referidos.

Otro significativo sismo que estudian Peraldo y Montero (1999) es el ocurrido el 20 de junio de 1809, que volvió a afectar significativamente la ciudad de Comayagua. En esta ciudad aparte de dañar los edificios que se reportaron para 1774, también dañó considerablemente el Hospital. La intensidad calculada para este sismo por los citados autores es de VII a VII+ y una magnitud M_s 5,7. Existen más referencias a sismos en 1610 que no están bien documentados, sin embargo, esto indica que el factor sísmico es de vital importancia de ser tomado en consideración para estimar niveles de amenaza y prever el desprendimiento de sectores del techo de la caverna, tal como se observa en la entrada de la caverna situada contiguo a la abierta al público. Un bloque decamétrico se observa caído en la entrada de la caverna, esto significa que existen fracturas o planos de buzamiento en la formación carbonatada que favorecen este tipo de desprendimientos.

No obstante, con un proceso de investigación donde pueda localizarse nueva información sobre los sismos de 1774 y de 1809, podrían variar las estimaciones de los parámetros asignados por Peraldo y Montero (1999). Se hace necesario, a su vez, estudiar a profundidad la neotectónica del área de Comayagua y alrededores para obtener mejor estimación de la amenaza sísmica sobre las cuevas de Taulabé.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRAMO DE LA CAVERNA EXPLORADA

El 16 de julio de 2011 se realizó una visita de reconocimiento a estas cavernas bajo la iniciativa de César Urbizo Vivas, profesor de química de la UNAH (Universidad Nacional Autónoma de Honduras); Patrick Durán Leiva y Giovanni Peraldo, profesores de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica (UCR) y Ronald Ramírez Salazar, estudiante de último año de la carrera en Geología de la UCR y miembro del Grupo Espeleológico Anthros de Costa Rica (ver imagen 1).



Imagen 1. De izquierda a derecha: César Urbizo Vivas, Giovanni Peraldo Huertas, Patrick Durán Leiva y Ronald Ramírez Salazar. Se aprecian las estalactitas y la forma irregular de la superficie.

La caverna está destinada al turismo, la entrada está acondicionada para todo el público. Los accesos actuales no son los accesos naturales de la caverna, fueron abiertos cuando construyeron la carretera (ver imagen 2).

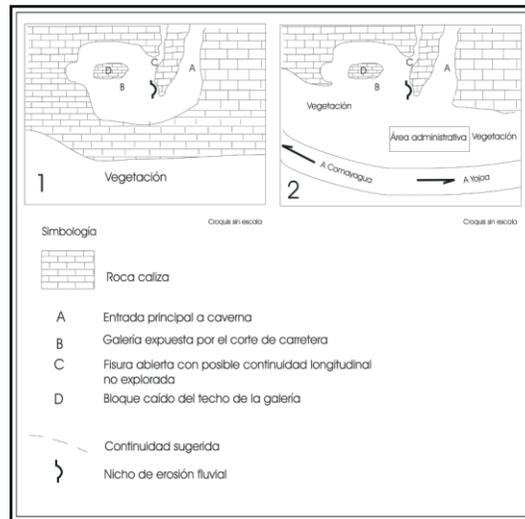


Imagen 2. Croquis de la parte externa de la caverna de Taulabé. A) Posible apariencia de la caverna antes de abrir la trocha para la carretera a Yojoa. B) Apariencia en la actualidad. Se sugiere que las galerías A (galería abierta al público) y la B (galería angosta a la par de la A) corresponden a una misma galería, solamente que durante la construcción de la carretera fue destruida la pared que la ocultaba. Es importante realizar una expedición espeleológica por la galería B.

La imagen 2 muestra las dos galerías descubiertas al abrir la trocha para la carretera Comayagua - Yojoa. En la apertura de la trocha descubrieron la caverna de Taulabé. Sugerimos que la galería B corresponde con una sección de la caverna de Taulabé, no es una caverna independiente, responde a una curva de la caverna. Esto se confirma por el hallazgo de lo que parece ser un nicho de erosión por dilución de los carbonatos de la caliza, debido a corrientes de agua. Esta evidencia sugiere un flujo continuo de agua que en el área formó una curva durante la formación de la caverna. Ese rasgo fluvial insinúa una comunicación expedita entre ambas galerías.

El recorrido en el área acondicionada para todo público consta de 300 m acompañados de un guía turístico, cuenta con accesos de cemento y barandillas de seguridad (ver imagen 3), además de iluminación artificial que facilita el desplazamiento dentro de la caverna y brinda un importante atractivo a los visitantes al iluminar con diferentes colores los diversos espeleotemas de la caverna.

Está la opción de 300 m adicionales propios para la aventura, los que no cuentan con los servicios de luz ni barandas de seguridad.

Paralelo al recorrido turístico se encuentra otra vía de la caverna, una continuación del trayecto natural, el cual fue perturbado durante la elaboración de la carretera dejando lo que se podría interpretar como otra entrada. Este acceso no ha sido explorado por guías, turistas, ni espeleólogos incluyendo a Tom Miller

El potencial de la caverna es muy alto ya que los sectores observados durante el recorrido turístico presentan desarrollo tanto vertical como horizontal de los pasajes de la caverna, además se observan evidencias de varios eventos de erosión, tales como canales que se pueden observar en el techo de la galería principal, esto se puede deber a un paleoflujo subterráneo

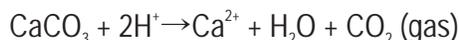
Algunas especies de seres biológicos son capaces de adaptarse y vivir bajo condiciones extremas, al amparo de las fuentes de luz artificial.

La humedad y flujo de agua evidencia un proceso activo de formación de estalactitas. Algunas de ellas se presentan de forma alineada, lo cual sustenta la existencia de patrones importantes de fisuras en la roca, que permiten la percolación de agua desde niveles acuíferos superiores, permitiendo a su vez la destrucción progresiva de la caliza por disolución del carbonato de calcio.

Un experimento cualitativo de campo es la identificación de calcita (carbonato de calcio), aprovechando la sensibilidad del mineral de reaccionar con ácidos. Se toma

una muestra y se le agrega unas gotas de solución diluida de ácido clorhídrico (HCl al 10%). El carbonato de calcio en presencia de ácidos desprende dióxido de carbono que se detecta como efervescencia.

La reacción química es la siguiente:



En el trayecto al interior de la caverna se puede observar algunas estructuras de curiosas formas que sugestionan los sentidos.

CONCLUSIONES

- Las Cuevas de Taulabé se enmarcan en un sistema kárstico que debe ser mejor estudiado, del cual se puede extraer valiosa información desde el punto de vista geológico, hidrogeológico, mineralógico y biológico para reconstruir la historia natural del área.
- Las Cuevas de Taulabé están rodeadas de leyendas y misticismo, el cual es muy atractivo para la investigación científica al intentar revelar los "misterios" de este lugar y poder aportar al conocimiento geocientífico, biológico, espeleológico y cultural de Honduras.
- La cartografía completa de la caverna es la prioridad para poder realizar las investigaciones y poder ubicar espacialmente los resultados.
- Las Cuevas de Taulabé poseen un alto potencial para ser reconocido como un gran sistema de cavernas. Entre las leyendas se dice que este sistema podría comunicarse con varios lugares como: Santa Bárbara, Lago de Yojoa, Copán y La Paz.
- El sistema kárstico del área es una oportunidad de desarrollo socioeconómico de las poblaciones del área, por ende las personas de esas comunidades deben proteger dicho sistema de la destrucción ambiental antrópica.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda una exploración de al menos una semana completa para realizar la cartografía del sistema kárstico dentro del cual se enmarca la caverna de Taulabé, mediante un levantar la topografía al detalle de la(s) caverna(s) y de geofísica.
- El proceso de levantamiento geológico, reconocimiento de flora y fauna, análisis químico de las aguas subterráneas y análisis mineralógico sería paralelo al avance en el conocimiento cartográfico del sistema kárstico de Taulabé.

- Realizar una cooperación conjunta entre la UNAH, la UCR y grupos especialistas en espeleología, tal como en Costa Rica el grupo Anthros, para llevar a cabo un estudio de mayor profundidad sobre geología, sismicidad reciente y aceleraciones *in situ*, para identificar las amenazas para los visitantes de la caverna.
- Estimular una coparticipación entre los diferentes actores sociales de las áreas cercanas y el gobierno, a fin de que el sistema kárstico pueda ser interpretado como una fuente de atracción de riqueza para las comunidades cercanas, en la medida que dichas comunidades se involucren en procesos locales de protección de ese patrimonio geológico hondureño.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios por la oportunidad de realizar este proyecto en conjunto y concluido de forma satisfactoria. Agradecemos al equipo de guías turistas de las Cuevas de Taulabé por la gentil colaboración y el apoyo brindado, especialmente a Nahún Portillo Ramírez por su amabilidad e invaluable información proporcionada. También gracias a todas las personas que ocupan un lugar especial en nuestra vida y que de manera indirecta contribuyeron en la investigación con su confianza y motivación: Dra. Marilyn Guevara Peña, César Darío Urbizo, Mauricio Javier Urbizo y Lic. Abril Urbizo Vivas.

Se desea agradecer al PNUD en la persona del Dr. Ginés Suárez y a la Alcaldía de Tegucigalpa porque sin su ayuda el encuentro entre académicos hondureños y costarricenses no hubiera sido posible como tampoco la bella aventura de viajar al corazón de Taulabé. Al M.Sc. Rolando Mora Chinchilla como Director de la Escuela Centroamericana de Geología por depositar toda su confianza en el grupo de profesores que estuvimos en Honduras dirigiendo el curso (G-5216) Campaña Geológica del año 2011. Este artículo es un importante valor agregado a la labor que se realizó en la hermana República de Honduras por parte de la Universidad de Costa Rica. Gracias a la gente linda de Honduras que nos recibió con los brazos abiertos.

BIBLIOGRAFÍA

- Mills, R. A.; Hugh, K. E.; Feray, D. E.; and Swolfs, H. C., "Mesozoic Stratigraphy of Honduras". American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 51, 1967, p. 1711-1786.
- Curran, D., "Mapa Geológico de Honduras". Hoja de Taulabé: escala 1:50,000. Instituto Geográfico Nacional, Tegucigalpa, Honduras, 1981.

Scott, R. y Finch, R., "Cretaceous Carbonate Biostratigraphy and Environments in Honduras". En: Mann, P. (ed.): Caribbean Basins. Sedimentary Basins of the World, v. 4, 1999, p. 151-166.

Peraldo, G. y Montero, W. "Sismología Histórica de América Central". Instituto Panamericano de Geografía e Historia". México. 169-172 y 196-197.

<http://www.showcaves.com/english/misc/caves/Taulabe.html>

<http://www.anthros.org/>

<http://a7.com.mx/vida/horizonte-academico/1052-avanza-el-registro-de-cuevas-y-cavernas-mayas-en-la-region-puuc.html>

Consultas efectuadas el día 3 de mayo de 2012 a las 14:00 horas.

Deficiencia de hierro y su relación con la función cognitiva en escolares

Ivette C. Rivera*, María Félix Rivera**, Rebeca Rivera***

RESUMEN

Objetivo: En Honduras no se cuenta con estudios de deficiencia de hierro y cognición, por lo que se decidió realizar un estudio con el objetivo de determinar la relación entre la deficiencia de hierro y la capacidad cognitiva en escolares de primer grado de escuelas públicas de Tegucigalpa MDC.

Sujetos y materiales: el estudio es caso control. Se realizó inicialmente un estudio de prevalencia de anemia por deficiencia de hierro y al mismo tiempo un estudio sobre deficiencia de hierro en escuelas públicas de Tegucigalpa en niños de primer grado en el año 2010, de donde se seleccionaron los niños para el presente estudio. Los niños seleccionados se distribuyeron en dos grupos, aparejados de acuerdo a edad y sexo y el nivel socioeconómico, y todos tenían niveles de folatos y cobalamina normales conformados así: Grupo 1: niños con niveles de hemoglobina mayor de 11.4 gr/dl, con ferritina menor de 15 µg/l, definidos como "niños casos". Grupo 2: niños con niveles de hemoglobina mayores de 11.4 gr/dl y ferritina normal, considerados como "niños controles". Para la determinación de la **deficiencia de hierro** en los niños, se utilizó ferritina. Se les realizaron pruebas psicológicas para determinar la capacidad cognitiva; se evaluó el coeficiente intelectual, atención, memoria y aprendizaje, madurez como ser Raven, Tomal, Bender, D2-Brickenkamp. A los padres de los escolares se les solicitó consentimiento informado y firmado. Se aplicó estadística descriptiva y, para detectar **diferencias significativas** entre los dos grupos del estudio, la prueba de diferencias de promedios (**t de Student**) con un valor de p significativo menor a 0,05.

Resultados: la media de edad en el grupo de los niños casos fue de 6.49 años (0.74

* Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Facultad de Ciencias Sociales. Escuela de Psicología. Psicóloga Asistencial del Centro Odontopediátrico y Detección de Otras Patologías (Codopa) de la Región Sanitaria Metropolitana. Secretaría de Salud. prosperoadri@yahoo.com

** Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Facultad de Medicina. Departamento de Fisiología. Médica Asistencial del Centro Odontopediátrico y Detección de Otras Patologías (Codopa) de la Región Sanitaria Metropolitana. Secretaría de Salud. mariafelixrivera@yahoo.com

*** Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Facultad de Ciencias. Escuela de Microbiología. deliariverac@yahoo.com

1DE) y en los niños casos de 6.27 años (0.45 1DE) las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p=0.26$). Se encontró que fue menor el puntaje en aprendizaje y memoria en niños con ferritina baja que los que tenían ferritina normal, ambos grupos sin anemia, y las diferencias fueron estadísticamente significativas ($p=0.02$) y no en los puntajes de atención ya que no se encontraron diferencias significativas ($p=0.81$) entre los grupos.

Conclusiones: como hemos visto, la mayoría de los estudios realizados en escolares con deficiencia de hierro coincide en vislumbrar un deterioro de dicha capacidad haciendo evidente que los escolares con déficit de hierro sin anemia tendrán problemas en el aprendizaje y por ende va a repercutir en el aprovechamiento escolar, por lo que se deben de tomar medidas necesarias y urgentes para la solución de este problema totalmente prevenible.

Palabras claves: *Hierro, cognición, escolares*

ABSTRACT

Objective: In Honduras there are no studies of iron deficiency and cognition therefore decided to conduct a study as to determine the relationship between iron deficiency and cognitive ability in first-grade public school in Tegucigalpa MDC.

Subjects and materials: case-control study. We performed an initial study of the prevalence of iron deficiency anemia and iron deficiency in public schools in Tegucigalpa first graders in 2010, where children were selected for this study. The children selected were divided into two groups paired according to age, sex and socioeconomic levels and all had normal folate and cobalamin formed as follows: Group 1: children with hemoglobin levels greater than 11.4 g / dl, ferritin below 15 ug / l defined as "children cases." Group 2: Children with hemoglobin levels greater than 11.4 g / dl and ferritin considered normal" control children". For the determination of iron deficiency in children, we used ferritina. Psychological testing was done to tests to determine cognitive psychological and assessed IQ, attention, memory and learning, maturity, such as Raven, Tomal, Bender, D2-Brickenkamp. Parents of schoolchildren were asked and signed informed consent. Descriptive statistics were applied to detect significant differences between the two studies groups, the test mean differences (t test) with a significant p value less than 0.05.

Results: The mean age in the group of children was 6.49 years cases (0.74 1SD) and children in cases of 6.27 years (0.45 1SD) the differences were not statistically significant ($p = 0.26$). was found to lower the score in learning and memory in

children with low ferritin levels than those with normal ferritin without anemia and both groups were statistically significant differences ($p = 0.02$) and not so in care scores no differences significant ($p = 0.81$) between groups.

Conclusions: As we have seen most of the studies in iron-deficient school agree envision a deterioration in that school becoming clear that iron deficiency without anemia have learning problems and thus will affect the use school so they must take urgent and necessary measures to solve this problem entirely preventable.

Keywords: *Iron, cognition, school children*

INTRODUCCIÓN

La deficiencia de hierro afecta a más de 2,000 millones de personas en todo el mundo, aproximadamente 77 millones viven en América Latina, los más afectados son las embarazadas y los niños menores de 5 años pero también escolares aunque en menor grado pero trascendente por su relación con el bajo rendimiento escolar^{1,2}. Existen muchos estudios en los últimos 30 años que documentan los efectos que la anemia por deficiencia de hierro provoca en el desarrollo mental de los niños e infantes³⁻⁹. Sin embargo se ha estado en la búsqueda de las alteraciones que provoca la deficiencia de hierro sin anemia. Por mucho tiempo se han realizado estudios buscando una relación entre los efectos que pueden tener este déficit nutricional sobre el cerebro, principalmente durante la gestación y los primeros años de vida, o sea en la fase de crecimiento rápido neuronal, por lo que la mayoría de los estudios se han concentrado en menores de dos años de edad¹¹.

Existe un consenso científico sobre el papel que juegan las deficiencias de micronutrientes en el desarrollo cognitivo y motor de los niños, en la conducta y en el logro escolar. Entre tales micronutrientes se encuentra el hierro. El cerebro presenta áreas que son ricas en hierro y experimentalmente se ha observado que son sensibles a la depleción de hierro¹². El hierro es un componente clave de muchas enzimas involucradas en las reacciones esenciales de óxido reducción y en la síntesis y catabolismo de neurotransmisores. El hierro es cofactor de la ribonucleasa reductasa, enzima que cataliza la etapa limitante de la síntesis de ADN y también es requerido para la apropiada mielinización de la médula espinal y cerebelo¹³.

La revisión realizada por Grantham señala que la mayoría de los estudios de correlación han encontrado asociación entre la anemia por deficiencia de hierro y el pobre desarrollo cognitivo, motor y problemas conductuales. Los estudios longitudinales indicaban que los niños que experimentaron anemia durante su vida temprana continúan demostrando bajo rendimiento académico durante sus años escolares, aun después de que la anemia ha sido tratada¹⁴. Las consecuencias de la deficiencia de hierro en la función neuronal no son restrictivos a la infancia o a preescolares ya que varios estudios sugieren que el aprendizaje está afectado tanto en escolares, adolescentes e incluso adultos depletados de hierro¹⁵⁻¹⁹. Una insuficiente disponibilidad de hierro en un período de alta incorporación de éste en el tejido cerebral, que coincide con el período de mielinización del tejido nervioso, puede proveer una base fisiológica para explicar los efectos conductuales observados cuando hay deficiencias del micronutriente. De la misma manera, la deficiencia de hierro afecta la regulación y la conducción de neurotransmisores

como la serotonina, la dopamina y GABA. La alteración de los receptores y transportadores de dopamina, compromete en los infantes las respuestas afectivas y el funcionamiento cognoscitivo, y de los receptores GABA, la coordinación de patrones de movimiento y memoria. La importancia consiste que cuando ocurre un déficit de hierro cerebral en etapas tempranas, los daños ocurridos persisten en la etapa adulta, más allá de la recuperación de la anemia durante los primeros meses de vida.

Estas alteraciones cerebrales se reflejan a largo plazo en un retraso del desarrollo mental y físico de los niños que han tenido anemia, y como consecuencia un menor desempeño escolar, con altos niveles de repetición de grados y deserción de la escuela primaria en comunidades económicamente pobres. La persistencia de estas alteraciones en la edad adulta, después de corregir la deficiencia, se evaluó recientemente, e indican que la cantidad de receptores de dopamina D2R es más baja en la sustancia nigra, mientras que los de serotonina se encuentran en menor densidad en los núcleos laterales y reticulares del tálamo. El déficit en el hipocampo y la corteza se relaciona con deficiencias en el aprendizaje espacial. La alteración de los receptores de dopamina, compromete en los infantes las respuestas afectivas, y de esa forma su relación con el ambiente y el funcionamiento cognitivo²⁰. En Honduras no se cuenta con estudios de deficiencia de hierro y cognición, por lo que este estudio tiene como objetivo determinar la relación entre la deficiencia de hierro y la capacidad cognitiva en escolares de primer grado de escuelas públicas de Tegucigalpa MDC.

SUJETOS Y MÉTODOS

El estudio es tipo caso control. Se realizó inicialmente un estudio de prevalencia de anemia por deficiencia de hierro y deficiencia de hierro en escuelas públicas de Tegucigalpa en niños de primer grado en el año 2010, de donde se seleccionaron los niños para el presente estudio. Los niños ya seleccionados se distribuyeron en dos grupos aparejados de acuerdo a edad, sexo y el nivel socioeconómico y todos tenían niveles de folatos y cobalamina normales conformados así: Grupo 1: niños con niveles de hemoglobina mayor de 11.4 gr/dl, con ferritina menor de 15 μ g/l definidos como "niños casos". Grupo 2: niños con niveles de hemoglobina mayores de 11.4 gr/dl y ferritina normal, considerados como "niños controles".

Laboratorio: Se les habían extraído 5 ml de sangre mediante punción venosa cubital con jeringas y agujas en horario matutino, 2ml se depositaron en tubos con EDTA para efectuar los hemogramas, utilizando un contador hematológico automatizado ABX Pentra 120; los 3 ml restantes se centrifugaron para obtener

suelo, el cual se congeló en dos alícuotas para efectuar un estudio de niveles de ferritina, ácido fólico y vitamina B12; los cuales se determinaron mediante el ensayo inmunoenzimático de micropartículas utilizando el sistema automatizado AxSYM. Las mediciones fueron realizadas por personal altamente calificado en el laboratorio de hematología de la Carrera de Microbiología de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Los niveles de hemoglobina mayores de 11.4 g/dl se consideraron como anémicos para la edad de 5 a 12 años²¹.

En cuanto a los parámetros nutricionales bioquímicos para la determinación de la deficiencia de hierro en los niños, se utilizó ferritina sérica considerando que la disminución de la ferritina implica que los depósitos de hierro están disminuidos, siendo la principal proteína que almacena el hierro, y es directamente proporcional a la cantidad de hierro almacenado. Se consideró niveles bajos de ferritina menor de 15 μ g/l según las normas internacionales emitidas por la OPS y OMS. También se consideró los niveles de cobalamina y folatos y fueron definidos según OPS-OMS considerando como niveles bajos de cobalamina menores a 203 pg/ml y de folatos menores a 4 ng/ml^{22,23}.

Estado nutricional: A todos los niños se les tomó talla y peso para clasificar el crecimiento según los parámetros propuestos por el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP) para niños mayores de cinco años aceptados por el Centro Nacional de Estadística para la Salud de Estados Unidos de América (NCHS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) donde estima: retardo moderado del crecimiento, talla entre -2 y -2.9 desviaciones estándar (DE) y retardo severo, igual o menos de -3DE²⁴. **El nivel socioeconómico:** Se estratificó según el Índice de Graffar modificado que incluye índice de vivienda (materiales de construcción, disposición de excretas y agua), escolaridad y ocupación del jefe de hogar²⁵.

Estudio psicológico: Se le realizaron pruebas psicológicas para determinar capacidad cognitiva; se evaluó coeficiente intelectual, atención, memoria y aprendizaje y madurez viso motora. Para medir la inteligencia se utilizó el test de Raven ya que es un test que mide la capacidad intelectual comparando formas y razonando analogías independientemente de la cultura, de los conocimientos adquiridos, de la habilidad verbal y manual, y de acuerdo al puntaje total obtenido se estableció el diagnóstico según los percentiles proporcionados por Raven. Se utilizó el D2-Brickenkamp como test para medir atención selectiva y concentración y Tomal como test de memoria y aprendizaje. Para madurez y percepción visomotora se utilizó el test de Bender. Para la aplicación de los test se utilizó personal calificado en administración de pruebas psicológicas.

Consideraciones éticas: A los padres de los escolares estudiados se les solicitó consentimiento informado y firmado.

Criterios de exclusión: Fueron excluidos de los estudios niños sin autorización firmada por los padres, niños con CI bajo proporcionado por Raven, con antecedentes de convulsiones, traumatismo encéfalo craneano, prematuros, bajo peso al nacer, antecedentes de hipoxia neonatal, desnutrición crónica, aguda y global.

Análisis: Se aplicó estadística descriptiva determinando distribución de frecuencias, medidas de tendencia central como la media y medidas de dispersión como la Desviación Estándar (DE). Para detectar **diferencias significativas** en los dos grupos de estudio entre las variables, se utilizó la prueba de diferencias de promedios (**t de Student**) con un valor de p significativo menor a 0,05.

RESULTADOS

El estudio contó con un total de 45 niños distribuidos de la siguiente manera: 15 en el grupo de niños con ferritina baja sin anemia, o sea "casos" y 30 en el grupo "control". La media de edad fue de los niños con ferritina baja de 6.4 ± 0.74 años 1Desviación Estándar (1DE) y de 6.2 años ± 0.45 en los controles y las diferencias no fueron significativas $p= 0.26$. En relación a la madurez visomotora medida por el test de Bender, así como en el test D2 que mide atención, las diferencias no fueron estadísticamente significativas al igual que en concentración y variabilidad, como se puede observar en el cuadro No. 1.

Cuadro No. 1. Comparación de la madurez visomotora, la concentración y atención entre los niños casos y niños controles.

Variable	Niños casos	Niños controles	t	p
Bender madurez Visomotora	6.16 (3.01)	2.35 (2.73)	1.22	0.22
D2	171.07 (60.49)	169.6 (49.12)	0.08	0.93
Concentración	48.57 (25.71)	62.92 (37.58)	1.27	0.21
Variabilidad	20.28 (30.45)	12.42 (4.75)	1.30	0.20

Entre paréntesis se presenta la desviación estándar, $p < 0.05$ es significativo.

Al evaluar memoria y aprendizaje a través del test Tomal en el subtest verbal, en el ítem de recuerdo selectivo de palabras, se observó un menor puntaje en los “niños casos” que en los “niños controles”, así mismo en el recuerdo de objetos y fue estadísticamente significativo ($p= 0.003$ y 0.02 respectivamente) y también en la subescala de recuerdo demorado el puntaje fue menor en el grupo de los niños casos que en los controles y las diferencias fueron estadísticamente significativas ($p=0.03$) y por supuesto esto repercute en el índice de memoria verbal, donde también los puntajes fueron más bajos en el grupo caso que en el control y las diferencias fueron estadísticamente significativas ($p=0.02$). En el resto de las escalas, las diferencias no fueron estadísticamente significativas como se puede observar en el cuadro No.2.

Cuadro No. 2. Comparación del test psicológico Tomal de memoria y aprendizaje entre los niños casos y los controles.

Items	Niños casos	Niños controles	t	p
Subtest verbal				
Memoria de historias	7.84 (3.05)	8.82 (2.34)	1.12	0.26
Recuerdo selectivo de palabras	7.61 (2.93)	11.18 (3.50)	3.16	0.003
Recuerdo de objetos	8.15 (1.77)	10.03 (2.48)	2.43	0.02
Dígito directo	7.84 (1.67)	8.41 (2.41)	0.76	0.44
Recuerdo de pares	8.92 (2.81)	9.66 (3.10)	0.71	0.47
Letras directo	8.76 (1.58)	8.86 (1.54)	0.18	0.85
Dígitos inverso	8.53 (2.25)	8.26 (2.76)	0.30	0.76
Letras inverso	8.46 (2.90)	8.13 (2.00)	0.40	0.68
Subtest no verbales				
Memoria de caras	9.84 (2.91)	10.28 (2.73)	0.46	0.64
Recuerdo selectivo visual	8.30 (2.78)	8.48 (3.16)	0.16	0.86
Memoria visual abstracta	9.23 (3.08)	10.25 (3.42)	0.89	0.37
Memoria secuencial visual	9.84 (3.05)	8.54 (3.51)	1.12	0.26
Memoria de lugares	8.69 (1.79)	9.26 (2.02)	0.84	0.40
Invitación manual	10.15 (1.46)	9.26 (1.68)	1.58	0.11
Subescalas para recuerdo demorado				
Recuerdo demorado de memoria de historias	7.66 (2.87)	9.4 (2.21)	2.02	0.05
Recuerdo demorado de memorias de caras	12.38 (1.38)	11.6 (1.76)	1.5	0.13
Recuerdo demorado selectivo de palabras	10.58 (0.99)	11.40 (1.11)	2.15	0.03
Recuerdo demorado recuerdo selectivo visual	9.72 (1.61)	9.16 (1.51)	1.01	0.31
Totales				
Índice de memoria verbal	86.0 (12.86)	95.41 (11.26)	2.31	0.02
Índice de memoria no verbal	92.07 (14.92)	93.47 (11.37)	0.31	0.75
Índice de memoria compuesta	87.46 (11.68)	94.52 (10.90)	1.81	0.07
Índice de recuerdo demorado	96.54 (9.55)	101.11(8.21)	1.47	0.14

Entre paréntesis se presenta la desviación estándar, $p < 0.05$ es significativo.

En resumen se encontró que fue menor el puntaje en aprendizaje y memoria en niños con ferritina baja que los que tenían ferritina normal, ambos grupos sin anemia, y las diferencias fueron estadísticamente significativas ($p=0.02$) y no así en los puntajes de atención, donde no se encontraron diferencias significativas ($p=0.81$) como se puede observar en el cuadro No. 3

Cuadro No. 3. Resumen de los puntajes obtenidos en relación a aprendizaje y atención comparativo entre niños casos y controles.

Variable	Niños casos	Niños controles	t	p
Aprendizaje	82.92 (12.82)	93.77 (14.66)	2.27	0.02
Atención	88.69 810.97)	88.87 (9.71)	0.23	0.81

Entre paréntesis se presenta la desviación estándar, $p < 0.05$ es significativo.

DISCUSIÓN

Uno de los problemas que enfrenta este estudio es el no contar con una historia o datos anteriores de anemia por deficiencia de hierro o deficiencia de hierro sino que es un corte transversal, porque los daños más severos se presentan en la primeras etapas de la vida, sin embargo es un aporte de parte nuestra para la ciencia en cuanto a la relación que existe entre deficiencia de hierro y función cognitiva en una población escolar. Se utilizó como parámetro de deficiencia de hierro el nivel de ferritina únicamente. Cuando existen problemas inflamatorios la ferritina aumenta falsamente, pero en este estudio solo se tomó escolares con ferritina por debajo de $15 \mu\text{g/dl}$, por lo que es irrelevante.

En nuestra investigación se encontró que los niños con deficiencia de hierro sin anemia obtenían menores puntajes en test psicológicos de memoria, en recuerdo selectivo de palabras y recuerdo de objetos, así mismo en el índice de memoria verbal, pero no se encontró diferencias en cuanto a atención y madurez visomotora.

Montilva y Padród, en Venezuela, estudió la relación entre el status de hierro en escolares midiendo también atención-concentración, memoria, razonamiento y discriminación visual. El promedio de puntuación en prueba de dígitos y aritmética, en niños con status de hierro normal fue de 6,57 y 8,78 respectivamente, mientras

que en deficientes de hierro fue menor de 5,25 y 7,10 ($p < 0,03$). En las pruebas de claves y figuras incompletas, que además miden la coordinación visomotora y organización visual, no se encontraron diferencias significativas al comparar los grupos al igual que en nuestro estudio²⁶.

Un estudio realizado en Estados Unidos en escolares encontró que los promedios de matemáticas que tienen que ver con memoria y repetición de dígitos eran más bajos en niños con deficiencia de hierro, comparados con los que tenían un estado de hierro normal²⁷. También una investigación realizada por Ortega y Colaboradores "en escolares" encontró los mismos hallazgos que nuestro estudio, o sea una afectación de la memoria y concluyó que los procesos de atención alterados se pueden ver en niños con anemia y posiblemente los de memoria estén más asociados con el déficit de hierro por ser más sensibles a la disminución de este mineral, con lo que estamos de acuerdo²⁸.

Los hallazgos en estos estudios apoyan el concepto que no es necesario que el deterioro del estado del hierro avance hasta su última etapa, como ser la anemia, para que la función cognitiva en los escolares sea vulnerable y sufra cambios al igual que lo encontrado en el presente estudio.

Por otra parte, si bien es cierto que en nuestro estudio no se detectaron déficits en capacidad de atención, ni madurez visomotoras en los niños con déficit de hierro, una investigación en escolares adolescentes, clasificados como deficientes en hierro, mostró algunos problemas funcionales específicos en las áreas de atención de organización visual-perceptual, aunque también en memoria visual-espacial y memoria incidental²⁹.

Las formas de medir la capacidad cognitiva varían de un estudio a otro, pero como hemos visto, la mayoría de los estudios realizados en escolares con deficiencia de hierro coincide en vislumbrar un deterioro de dicha capacidad haciendo evidente que los escolares con déficit de hierro sin anemia tendrán problemas en el aprendizaje y por ende va a repercutir en el aprovechamiento escolar, por lo que se deben de tomar medidas necesarias y urgentes para la solución de este problema totalmente prevenible.

BIBLIOGRAFÍA

1. Naciones Unidas. Sub-Comité de Nutrición de las Naciones Unidas. Comités de Coordinación Administrativa. Estado de la situación mundial en nutrición. Ginebra; 2000.

2. Erikson KM, Jones BC, Beard JL. Iron deficiency alters dopamine transporter functioning in rat striatum. *J Nutr* 2000; 130:2831-7
3. Beard JL. Iron biology in immune function, muscle metabolism, and neuronal functioning. *J Nutr* 2001;131: 568S-580S
4. Beard JL, Connor JR, Jones BC. Iron in the Brain. *Nutr Rev.* 1993;51:157-70
5. Beard JL, Erikson K, Jones BC. Neurobehavioral analysis of development iron deficiency in rats. *Behav Brain Res* 2002; 134:517-24
6. Sungthong R, Mo-Suwan L, Chongsuivatwong V. Effects of hemoglobin and serum ferritin on cognitive function in school children. *Asia Pac J Clin Nutr* 2002;11:117-122
7. Sen A, Kannani S. Deleterious functional impact of anemia on young adolescent school girls. *Indian Pediatric* 2006;43:219-226
8. Halterm JS, Kaczorowski JM, Aligne CA, Auinger P, Szilagyi PG. Iron deficiency and cognitive achievement among school-aged children and adolescents in the United States. *Pediatrics* 2001;107:1381-1386
9. Motilva M, Padrón AG. Deficiencia de hierro y algunas funciones cognitivas en escolares. *An Venez Nutr* 2000;13:196-201.
10. Pollit E. Timing and vulnerability in research on malnutrition and cognition. *Nutr Rev* 1996;54:S49-S55
11. Bryan J, Osendarp S, Hughes D, Calvaresi E, Baghurst K, Van Klinken JW. Nutrients for cognitive development in school-aged children. *Nutr Rev* 2004;62:295-306
12. Beard J. Iron biology in immune function, muscle metabolism and neural function. *J. Nutr* 2001;131: 568S-579S
13. Beard J. Iron deficiency alters brain development and functioning. *J Nutr* 2003;133(5Suppl1):1468S-1472
14. Grantham-McGregor S, Ani C. A review of studies on the effect of iron deficiency on cognitive development in children. *J Nutr* 2001;131:649S-658S
15. Groneer JA, Holtzman NA, Charney E, Mellitts E. A randomized trial of oral iron on test of short term memory and attention span in young pregnant women. *J Adolesc Health Care* 1986; 7:44-48
16. Kashyap P, Gopaldas T. Impact of hematinic supplementation on cognitive function in underprivileged school girls (8-15 Yrs of age) *Nutr Res* 1987;7:1117-26
17. Pollit E, Hathirat P, Kotchabhakdi NJ, Missell L, Valyasevi A. iron deficiency and educational achievement in Thailand. *Am J Clin Nutr* 1983;50:687-97
18. Seshadri S, Gopaldas T. Impact of iron supplementation on cognitive functions in preschool and school aged children: the Indian experience. *Am J Clin Nutr.* 1989;50:675-86
19. Soemantri AG, Pollit E, Kim I. iron deficiency anemia and educational

- achievement. *Am J Clin Nutr* 42:1221-28
20. Beard JL, Felt B, Schallert T, Burhans M, Connor JR, Georgieff MK. Moderate iron deficiency in infancy: Biology and behavior in young rats. *Behav Brain Res* 2006; 170: 224-232.
 21. World Health Organization. Iron Deficiency Anemia. Assessment, Prevention and Control. *A guide for programme managers*. 2001
 22. Assessing the iron status of populations: report of a joint World Health Organization/Centers for Disease Control and Prevention Technical consultation on the assessment of iron at the population level, 2nd ed, Geneva, World Health Organization, 2007.
(http://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/anaemia_iron_deficiency/9789241596107.pdf. consultado el 10 de marzo 2012).
 23. World Health Organization. Conclusions of a WHO Technical Consultation on folate and vitamin B12 deficiencies. *Food and Nutrition Bulletin* 2008; 29 (supplement), S238-S246
 24. Organización Mundial de la Salud. Anemias nutricionales. Serie Informes Técnicos No 405. Ginebra: OMS;1968. pp.30.
 25. Álvarez M de la L, Muzzo S, Ivanovic D. Escala para la medición del Nivel socioeconómico en el área de salud. *Rev Med Chile* 1985;113:243-249
 26. Montilva M, Padród AG. Deficiencia de hierro y algunas funciones cognitivas en escolares. *An Venez nutr* 200; 13:196-201
 27. Halterman JS, Kaczorowski JM, Aligne CA, Auinger P, Szilagyi PG. Iron deficiency and cognitive achievement among school-aged children and adolescent in the United States. *Pediatrics* 2001;107:1381-1386
 28. Ortega RM, Gonzales Fernández M, Paz L. Andrés P, Jiménez LM, Jiménez MJ et al. Influence of iron status on attention and intelectual performance of a population of spanish adolescent. *Arch Latinoam nutr* 1993;43(1):6-11
 29. Lozoff B, Jiménez E, Hagen J, Mollen E, Wolf AW. Poorer behavioral and developmental outcome more than 10 years after treatment for iron deficiency in infancy. *Pediatrics* 2000; 105: E51.

Determinación de residuos de líquidos inflamables en escombros de incendios por cromatografía de gases-FID

Henry Daniel Ponce Rodríguez*

RESUMEN

Se presenta un método para determinar trazas de líquidos inflamables en escombros de incendios, tales como gasolina, diesel y otros compuestos acelerantes, por medio de cromatografía de gases con detector de ionización de flama (FID), capaz de separar e identificar en cantidades de partes por millón con buena resolución y exactitud. Se prepararon muestras control para corroborar el proceso de extracción por medio de la técnica de adsorción pasiva con tiras de carbón activado y su posterior desorción con disulfuro de carbono (CS_2), utilizando una columna capilar de 30 metros DB-1, con una corrida cromatográfica de 31 minutos. Se obtuvo una correcta separación capaz de diferenciar entre compuestos más volátiles de aquellos con elevado punto de ebullición. Se presentan los cromatogramas obtenidos de los controles blanco, acelerantes y disulfuro; todos preparados asemejando las posibles matrices a estudiar en un posible incendio, tales como restos de papel, ropa, algodón, entre otros más.

Palabras clave: *Líquidos inflamables, Cromatografía de gases, Detector FID, Adsorción pasiva, Muestras Control, Matriz, Cromatograma.*

We present a method for determining traces of flammable liquids in fire debris, such as gasoline, diesel and other compounds accelerators, by gas chromatography with flame ionization detector (FID) capable of separating and identifying in quantities of parts per million with good resolution and accuracy. Control samples were prepared to verify the extraction process by passive adsorption technique with strips of activated coal and subsequent desorption with carbon disulfide (CS_2) using a capillary column 30 m DB-1, with a chromatographic run of 31 minutes. Was obtained a correct separation able to differentiate between compounds more volatile than those with high boiling point. Presents the chromatogram obtained from blank controls, and disulfide accelerators, all possible matrix resembling prepared to study a possible fire, such as waste paper, cloth, cotton, among others.

Key words: *Flammable liquids, gas chromatography, detector FID, passive adsorption, Control Samples, Matrix, Chromatogram.*

* Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Facultad de Química y Farmacia. Toxicólogo Forense
Laboratorio Químico-Toxicológico, Dirección de Medicina Forense. henryponcer@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El desarrollo y aplicación de la Química abarca diferentes campos, tales como la industria, la salud, tecnología y la educación, entre muchos otros. Uno de esos campos es el de la Química Forense, la cual trata de dar las bases científicas en el esclarecimiento de delitos, a fin de que impere la verdad a través de la evidencia técnica científica.

Junto a los desastres naturales, los incendios representan las mayores pérdidas de la propiedad y la vida humana en todo el mundo. Un incendio intencional, la creación deliberada de fuego para destruir la propiedad o para tomar la vida humana, es uno de los crímenes más difíciles de investigar, ya que mucha de la evidencia en el lugar de los hechos es destruida por el fuego o en el proceso de extinción del mismo.

La cromatografía de gases es uno de los métodos analíticos más utilizados, en diversos campos, debido a sus múltiples ventajas en la separación y determinación de compuestos volátiles mediante la partición del analito entre una fase gaseosa móvil y una fase estacionaria recubierta. Un gráfico que se produce, llamado Cromatograma, representa el tiempo de retención de cada compuesto (la cantidad de tiempo del compuesto retenido en la columna) frente a la respuesta del detector en términos de abundancia.

El cromatógrafo de gases se compone en general por seis partes: un gas portador, generalmente nitrógeno o helio; un puerto de inyección, a cierto grado de temperatura capaz de volatilizar la muestra; un horno, el cual es responsable de proporcionar las rampas de temperatura idóneas para la correcta separación de los componentes de la muestra; una columna capilar de carácter no polar que permita la separación en base a los puntos de ebullición de los componentes; el detector, en el presente estudio se trabajó con el detector de ionización de flama (FID), que trabaja por la combustión de eluyente de la columna en una llama para producir una corriente de iones, dicha corriente resultante es amplificada, medida y registrada; por último, un dispositivo de grabación de datos, en ese aspecto la interpretación de los datos no se basa en la concentración de un compuesto u otro, sino más bien en la respuesta del detector a un compuesto.

El método es capaz de identificar líquidos inflamables a base de petróleo, los cuales representan el mayor número de productos utilizados como acelerantes de incendios, y que suelen ser estos productos los de interés en el análisis de restos de incendios, principalmente aquellos en el rango de n-pentano al eicosano, con

puntos de ebullición entre los 36 y 205 C. Las clases comunes en este rango son la gasolina, destilados de petróleo, productos iso-parafínicos, nafténicos, disolventes aromáticos y los productos normales de alcano.

El estudio busca, además, comprobar la eficacia del proceso de extracción por medio de la adsorción pasiva con carbón activado, utilizando tiras de carbón activado, en un recipiente cerrado herméticamente exponiendo a una temperatura entre 80 y 90 C durante al menos 17 horas, con la consecuente desorción haciendo uso del disulfuro de carbono, finalizando con el análisis instrumental anteriormente detallado.

En última instancia se interpretan los datos obtenidos realizando las consideraciones que el estudio de las muestras amerita, mismas que son mínimas en los controles preparados en el presente, pero de vital importancia en los casos prácticos, así como detallar algunos de los escenarios posibles para explicar los hallazgos del laboratorio.

La idea principal es desarrollar un método capaz de determinar la presencia de dichas sustancias, con un buen límite de detección, rápido, confiable y de acorde a los insumos con que cuenta el Laboratorio Químico-Toxicológico, de la Dirección de Medicina Forense, que pueda ofrecer una prueba científica válida y verdadera en los procesos jurídicos relacionados con el uso de líquidos inflamables con el fin de provocar un incendio.

MÉTODOS Y TÉCNICAS

Diseño

Se trabaja en primera instancia con gasolina y diesel comerciales, analizándolos en el cromatógrafo de gases para observar el comportamiento de las sustancias como tal, además de corroborar el desempeño del equipo con el método propuesto. Además en el estudio se prepararon controles positivos de gasolina y diesel, así como un control negativo. Todos ellos consistían en colocar en latas de metal sin revestimiento con cierre hermético, pedazos de materiales adsorbentes de líquidos inflamables, tales como ropa, papel y algodón, entre otros.

Población

Idealmente se pensó trabajar con estándares certificados de gasolina y de diesel, pero por falta de recursos de la institución, así como debido a la conveniencia de

trabajar con los productos comerciales, ya que serán estos mismos los que se pueden encontrar en un futuro caso de incendio.

Entorno

Se realizaron todas las pruebas en el Laboratorio Químico-Toxicológico, de la Dirección de Medicina Forense, laboratorio encargado de diferentes análisis en el campo de la química forense, así como del tipo toxicológico.

Intervenciones

La técnica de extracción fue la de adsorción pasiva con tiras de carbón activado, utilizando un horno de convección, marca Precisión, modelo *economy oven*, en una temperatura de trabajo de 80C. Se utilizó una cromatografía de gases marca Varian, con una columna capilar DB-1, utilizando nitrógeno ultra puro (UHP) como gas de acarreo, con una temperatura de inyección de 230C, un detector FID a 250C utilizando hidrógeno ultrapuro y el programa de la compañía Varian *workstation*.

Estadística

Dado la naturaleza del estudio, en donde lo que se busca es desarrollar un método para determinar la presencia o no de los líquidos inflamables, no se ahonda sobre cálculos estadísticos, pero sí se analizan los diferentes cromatogramas obtenidos, centrando la mayor atención en los picos característicos de la gasolina y el diesel, utilizando como apoyo la literatura sobre derivados del petróleo.

CAPÍTULO I

Muestreo

Pese a que el presente trabajo se refiere al desarrollo de un método para la identificación de los compuestos acelerantes, y que en la mayor parte de los casos la toma de muestras es responsabilidad de otros organismos de investigación, quedando delimitada la labor del laboratorio en el desarrollo de los análisis y futura interpretación de los datos recolectados del análisis; es preciso referirnos brevemente al tema de muestreo, en lo que respecta a la adquisición, manejo, manipulación y almacenamiento de los residuos de escombros, pero debido a la poca experiencia con que cuentan los entes investigativos, es en general el laboratorio quien presenta las directrices, observaciones y recomendaciones sobre dicho proceso.

En general encontramos ciertas recomendaciones al momento de la selección de la muestra, mismos que nos servirán de guía en nuestro trabajo, para poder desarrollar un método de análisis que valore el efecto de la matriz en los resultados obtenidos, volviendo los resultados más confiables.

Entre dichas recomendaciones mencionaremos las siguientes:

- 1) La toma de muestras deberá realizarse tan pronto como sea posible, después que el fuego haya sido controlado. Debido a que existen procesos de evaporación, dilución o dispersión que disminuyen las oportunidades de coleccionar muestras positivas en caso de existir la presencia de líquidos inflamables.
- 2) El mejor lugar para recolectar muestras es en la periferia de los llamados "patrones de fluidez", lo que se evidencia a menudo por la interfaz distinta entre las zonas más frecuentemente dañadas y las zonas menos dañadas.
- 3) Materiales absorbentes como alfombras, madera blanda, tejido de la ropa, ropa de cama o cortinas, papel y el suelo, son mejores a tomar que aquellos matinales no absorbentes como el vidrio, baldosas y concreto.

El embalaje de la evidencia es de suma importancia para la preservación y protección de la evidencia, entre el tiempo en que se recolecta la misma y el momento en que esta será analizada en el laboratorio.

Debido a la naturaleza volátil de los líquidos inflamables, las muestras de escombros deben colocarse en contenedores herméticos, siendo el mejor contenedor para residuos de líquidos inflamables los de latas de metal de tipo de pintura, pero sin recubrimiento, con tapas herméticas a presión.

Tomando en cuenta lo expuesto anteriormente, se prepararon controles positivos y negativos en latas metálicas de capacidad de un galón, cerradas herméticamente (figura 1.1).

Se introdujo en cada uno residuos de materiales como papel, tela, algodón, todos materiales con buena absorción, en iguales cantidades, evitando una sobresaturación de los mismos.



Figura 1.1. Preparación de los controles de gasolina y diesel, con materiales absorbentes.

En el caso de los controles positivos de gasolina y diesel, se procedió a adicionar la cantidad de 1000 microlitros de cada especie en el recipiente correspondiente, y para el caso del control de matriz, este fue preparado adicionando únicamente los materiales absorbentes, lo que en los resultados servirá para observar los posibles efectos de matriz, valorando la significancia de la misma, así como en el descarte de las señales encontradas en el cromatograma, que puedan hallarse en los controles, lo que se traduce en la especificidad del método. (Figura 1.2)

CAPÍTULO II

Técnica de extracción y preparación

Las técnicas de separación de muestras más utilizadas son el proceso de adsorción. Adsorción es la concentración de gas o moléculas de líquido en la superficie de un sólido, llamado apropiadamente un adsorbente. En el análisis de escombros el proceso de adsorción es exclusivo en el sistema de "headspace", aunque ciertos analitos pueden separarse directamente de muestras líquidas de manera satisfactoria.

En la aplicación de headspace, el adsorbente es introducido en el espacio que

queda entre la tapa y la muestra, dentro del contenedor, y todos los compuestos volátiles son colectados y concentrados. El adsorbente es removido posteriormente y las especies adsorbidas se someten a una desorción para ser analizadas. (Figura 2.1).



Figura 1.2. Preparación del control de matriz, con materiales adsorbentes.

Primero y ante todo, el adsorbente seleccionado debe favorecer compuestos no polares. El carbón encendido, también llamado carbón activado, es el adsorbente utilizado en el análisis de los restos de fuego y generalmente es producido por la destilación destructiva de conchas de coco. Siendo especialmente utilizado para la adsorción de compuestos hidrocarburos no polares, específicamente para la colección de compuestos con un amplio rango de puntos de ebullición ($-0-260^{\circ}\text{C}$). La eficacia de la adsorción de carbono disminuye al aumentar la polaridad, por lo tanto más compuestos polares (generalmente producidos desde la matriz) presentes en el headspace se adsorberán en menor cantidad.

Adicionalmente, con el carbón activado, compuestos aromáticos poseen mucha mayor afinidad que los compuestos alifáticos. Típicamente, a menos que el adsorbente se encuentre sumamente saturado, es poco probable que dicha preferencia afectara a la medida de recuperación para la correcta identificación de líquidos inflamables presentes, siempre y cuando el analista esté consciente y compense este fenómeno en la fase de interpretación de datos.

El carbón activado es especialmente adecuado para el muestreo de hidrocarburos entre C5 y C18, y realizado adecuadamente para los compuestos C18-C20, al estar estos adecuadamente representados en el sistema de "headspace". El volumen adecuado para el "headspace" debe ser tal que haya suficiente espacio entre los compuestos volátiles a difundirse. Un volumen insuficiente favorece generalmente a los compuestos de bajo punto de ebullición, lo que puede resultar en un cambio significativo en el aparente intervalo de ebullición de los líquidos inflamables. Este es un problema típico cuando se utilizan contenedores no rígidos (bolsas de polímeros) en la recolección de las muestras.



Figura 2.1. Desarrollo del Headspace para los controles.

La composición de la matriz es otro factor significativo en el proceso de adsorción de los líquidos inflamables de los restos de incendios. Materiales absorbentes y adsorbentes en la matriz de la muestra inhibirán la volatilización. Restos carbonizados, si bien no son tan eficientes en las propiedades adsorptivas como en las tiras de carbón activado, generalmente retienen compuestos de alto peso molecular y en algunos casos compuestos aromáticos, por lo que esos tipos de compuestos serán poco representados en el headspace, y por lo tanto no se encontrarán al momento de la etapa de análisis de la muestra. En general, en la presencia de restos carbonizados, la adsorción de compuestos que eluyen por encima de C18 no serán consistente o proporcionalmente representados. Existen excepciones cuando la concentración de líquidos inflamables es muy elevada o las propiedades de adsorción de la matriz no son tan grandes.

Finalmente, el factor más determinante en el sistema de extracción es el de la temperatura. La temperatura de adsorción impacta en la composición final de las especies adsorbidas de dos maneras diferentes: temperaturas elevadas favorecen la volatilización de los compuestos que mejor representan los intervalos de ebullición de los líquidos inflamables a base de petróleo; bajas temperaturas reducirán la velocidad de desplazamiento, lo que puede distorsionar la concentración relativa de los componentes individuales de la especie adsorbida. Temperaturas elevadas se traducirá en la desorción preferencial de compuestos con puntos de ebullición inferiores, cambiando así la composición de la especie adsorbida final a los compuestos de punto de ebullición superiores. Las técnicas de "headspace" de adsorción generalmente usan las temperaturas en el rango de 60-80 °C para evitar estos dos efectos. Temperaturas en ese rango se consideran ideales para la búsqueda general y muestreo de las diferentes clases de líquidos inflamables. (Figura 2.2).



Figura 2.2. Colocación de los controles en el horno.

CAPÍTULO III

Análisis Instrumental

La cromatografía incluye una serie de técnicas que tienen en común la separación de las especies como resultado de la partición, por una desorción diferencial, entre dos fases diferentes, una estacionaria con una larga superficie de contacto y la otra, una fase móvil en contacto con la primera (Figura 3.1). La cromatografía no está restringida a las separaciones analíticas, puede también ser utilizada en la

separación de sustancias puras, el estudio de cinética de reacciones, investigaciones a nivel de estructura molecular, y la determinación de constantes fisicoquímicas, incluyendo constantes de estabilidad de complejos, entalpía, entropía y energía libre. La cromatografía de gases es una técnica única y versátil, que en su etapa inicial de desarrollo fue aplicada al análisis de gases y vapores de compuestos con mucha volatilidad. Como una herramienta analítica, puede ser utilizada para la separación directa y el análisis de muestras gaseosas, soluciones líquidas y sólidos volátiles. Puede ser aplicada a la solución de muchos problemas en varios campos como ser:

- a) **Drogas y Farmacéutica:** En el control de calidad de productos, análisis de nuevos productos y el monitoreo de metabolitos en sistemas biológicos.
- b) **Estudios Medioambientales:** En el campo de contaminación del aire, el análisis por Cromatografía de gases es fácilmente adoptado para la separación y análisis de diversas mezclas.
- c) **Industria del Petróleo:** Las compañías petroleras estuvieron entre las primeras en hacer un uso generalizado de la Cromatografía de gases. La técnica fue empleada satisfactoriamente para separar y determinar los muchos componentes en los productos de petróleo.
- d) **Pesticidas y sus residuos:** La Cromatografía de gases en combinación con detectores selectivos como el de captura de electrones (ECD), fósforo (NPD) y conductividad electrolítica, han hecho que la detección de tales compuestos y su medición sean relativamente simples.
- e) **Alimentos:** La determinación de antioxidantes y preservantes alimenticios es una parte activa en el campo de la Cromatografía de gases.



Figura 3.1. Cromatógrafo de gases Varian Cx3600.

Inyector

Debido a que el proceso de extracción de la muestra implica la desorción de las tiras de carbono activada con el disulfuro de carbono, el método precisa de una temperatura en el puerto de inyección igual a 230C, permitiendo de esta manera la volatilización de los componentes antes de que ingresen a la columna. Utilizando una microjeringa se inyecta un microlitro de los controles, estándares y blanco, aspirando primero un microlitro de aire, luego el microlitro de la solución a analizar y por último otro microlitro de aire.

Gas acarreador

En general la fase móvil utilizada más comúnmente son gases nobles como el Helio o Nitrógeno, utilizando en nuestro método el último por razones de incremento elevado en costos del Helio. Con el fin de evitar la detección de sustancias ajenas a la muestra (impurezas), la calidad del Nitrógeno debe ser ultrapura. La presión de salida del mismo es de 50PSI (lb/pulg), con la cual se alcanza una buena separación de los compuestos, así como alta resolución en los cromatogramas.

Columna y Horno

La columna capilar (Figura 3.2), la temperatura de la misma y la rampa de temperatura empleada son en gran medida el aspecto más importante del análisis, ya que la naturaleza del empaquetado de la columna, su afinidad por compuestos no polares y el incremento de la temperatura durante la corrida cromatográfica permiten la separación e identificación en las muestras. En el método presentado se trabaja con una temperatura inicial en la columna de 50C, manteniéndose por dos minutos, los cuales una vez transcurridos comenzará a incrementar a razón de 7C por minuto hasta alcanzar la temperatura final de 220C, misma que se mantendrá (hold time) por cinco minutos, por lo que obtenemos una corrida cromatográfica de 31,28minutos.

Originalmente se realizaron pruebas con una temperatura inicial en la columna de 60C, manteniéndose por 2 minutos, y con una rampa de temperatura de 10C por minuto, con un "hold time" de 10 minutos, con lo que se obtenían cromatogramas de corridas más rápidas, pero con baja resolución, observándose asimismo que el hold time era muy elevado, ya que los compuestos de interés terminan de eluir una vez alcanzada la temperatura final.

Detector de Ionización de Flama

Desde 1958 el FID se ha convertido en el detector más ampliamente utilizado en la cromatografía de gases, principalmente porque reacciona virtualmente a todos los compuestos orgánicos con una buena sensibilidad, y la respuesta no es afectada por moderados cambios en el flujo, presión o temperatura. Además el FID no responde a las impurezas comunes del gas acarreador como el dióxido de carbono y agua en operaciones normales.

El FID consiste en la difusión de una pequeña flama producida con hidrógeno y aire, que quema a los componentes que eluyen de la columna junto al gas acarreador y en nuestro método el disulfuro de carbono. El FID es un detector sensitivo de masas que responde al número de átomos de carbono que ingresan por unidad de tiempo, en donde el factor de respuesta es dado por el área o la altura de pico dividida por la masa de soluto inyectado.

En general el FID es robusto, fácil de operar, con la desventaja de ser un detector destructivo de la muestra, pero que pese a ello es el detector más popular. En el método propuesto el detector FID trabaja a una temperatura de 250C, temperatura utilizada generalmente en los métodos propuestos para la identificación de líquidos inflamables como la gasolina y diesel.



Figura 3.2. Columna DB-1 y Horno de la Columna.

CAPÍTULO IV

Resultados obtenidos

La Cromatografía de gases es capaz de cuantificar la presencia de los analitos presentes en una mezcla determinada, sin embargo, en el caso de los líquidos inflamables en escombros de incendios, la función del laboratorio estará enfocada en señalar la presencia o no de dichas sustancias, por lo que se busca desarrollar un método analítico con un buen límite de detección, el cual dependerá en gran medida del proceso de extracción y del análisis instrumental. Es sabido que el detector FID posee una sensibilidad elevada ($\sim 10^{-13}$ g/s) con un gran intervalo de respuesta lineal ($\sim 10^7$). En el método utilizado los controles se prepararon colocando 1ml de productos comerciales de diesel y gasolina, respectivamente.

En el Cromatograma de la figura 4.1 se presenta la corrida del CS_2 , utilizado para la desorción del analito; en el mismo observamos que presenta un único pico a un tiempo de retención cercano a los 2 minutos. El Cromatograma de la figura 4.2 corresponde a la corrida del producto comercial de gasolina disuelto en CS_2 , viéndose los picos característicos del analito en los primeros 10 o 15 minutos. Caso contrario ocurre con el producto comercial de diesel, el cual se presenta en el cromatograma de la figura 4.3, donde los picos característicos comienzan a aparecer a los 8 minutos y finalizan a los 25 minutos.

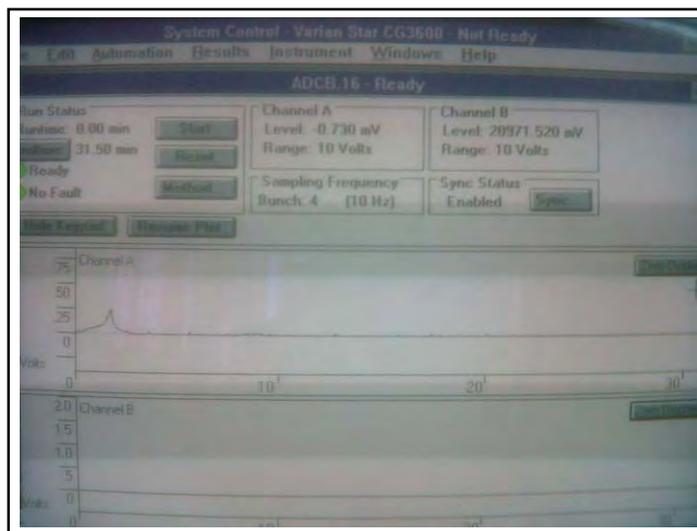


Figura 4.1. Cromatograma del CS_2

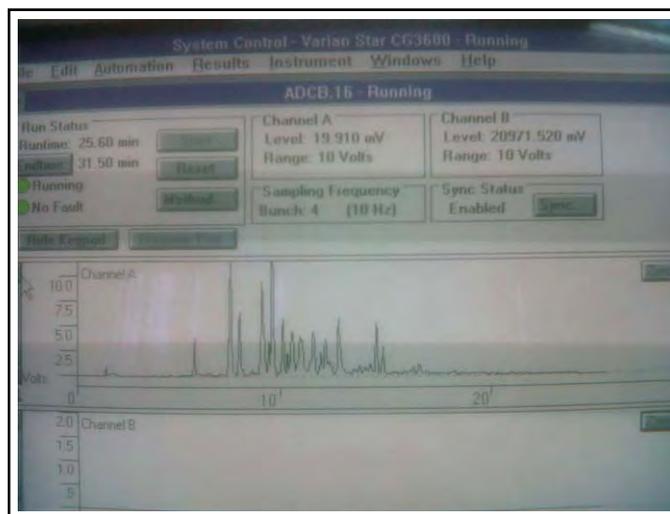


Figura 4.2. Cromatograma de producto comercial de gasolina.

Lo anterior ocurre por la volatilidad más alta de los componentes de la gasolina en comparación a los del diesel, los cuales tienen puntos de ebullición mayores. El cromatograma de la figura 4.4 nos presenta una mezcla de ambos productos comerciales en solución, en donde podemos observar la secuencia de todos los picos característicos de ambos, existiendo una zona entre los 7 y 13 minutos en que los picos son más altos por la presencia de esos compuestos en ambas mezclas.

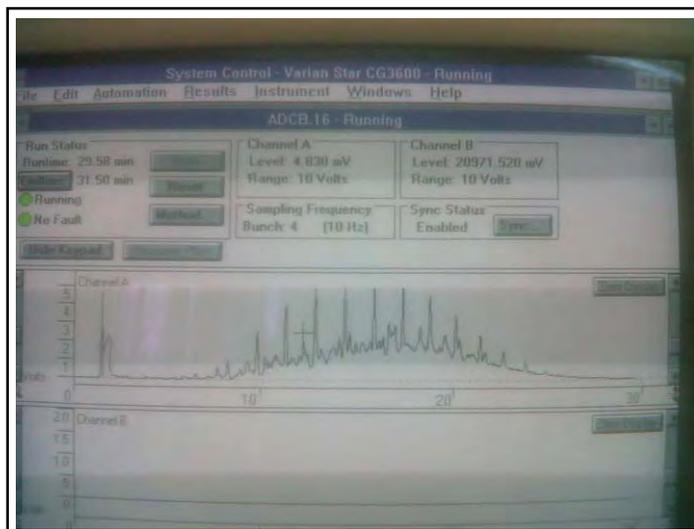


Figura 4.3. Cromatograma de producto comercial de diesel.

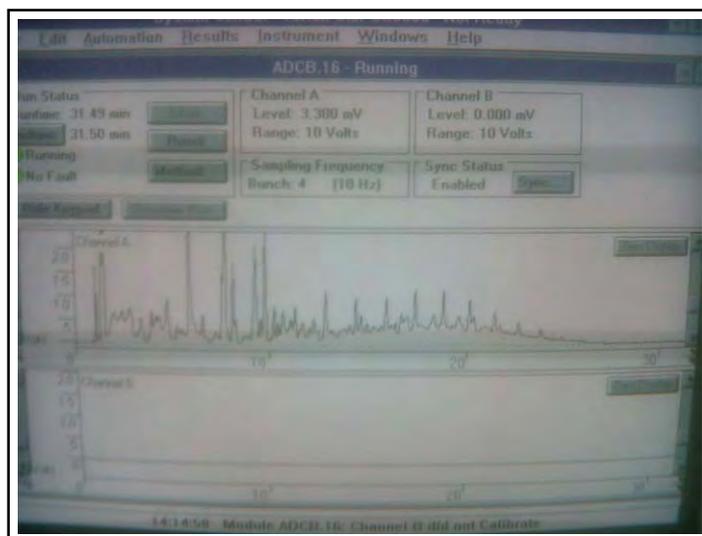


Figura 4.4. Cromatograma de mezcla de productos comerciales de gasolina y diesel.

Se presenta en el cromatograma de la figura 4.5 la corrida para el extracto del control de gasolina, posterior a su desorción con CS₂, y la inyección de 1mcl. En él podemos observar la presencia de los picos característicos, observados en el cromatograma de la solución del producto comercial. De igual forma, para el control de diesel los resultados se reflejan en el cromatograma de la figura 4.6.

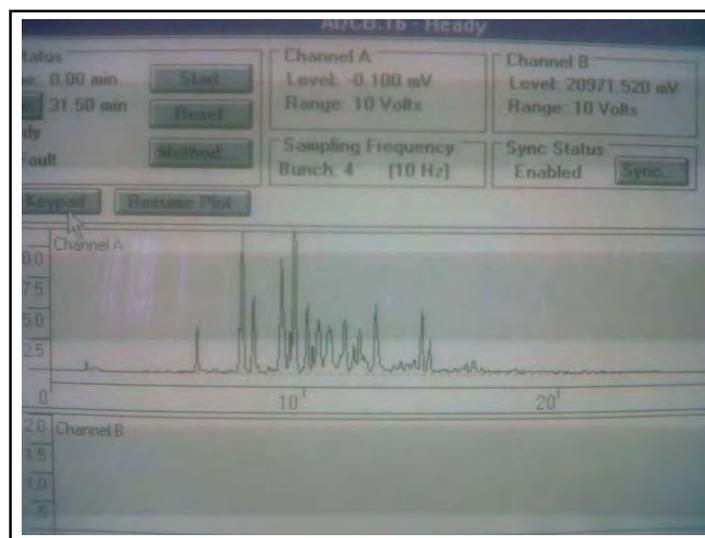


Figura 4.5. Cromatograma de control de gasolina.

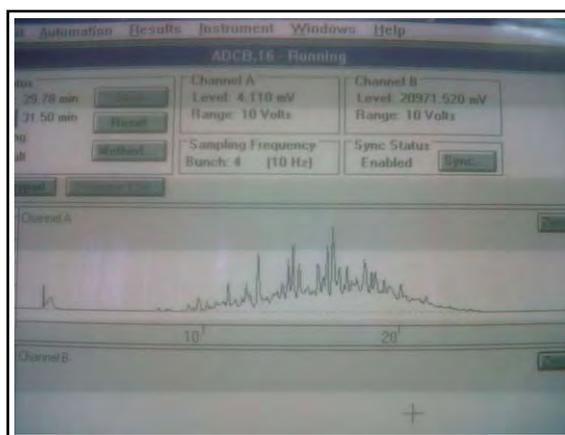


Figura 4.6. Cromatograma de control de diesel.

Desafortunadamente los datos obtenidos del análisis de los extractos de escombros no se limitan únicamente a componentes de líquidos inflamables. Algunos de los compuestos volátiles presentes en los extractos pueden incluir contaminantes de fondo, productos de pirólisis, productos de combustión incompleta y constituyente de los líquidos inflamables. Todos estos productos serán representados en los datos del cromatógrafo de gases. Esto puede resultar en patrones muy complejos en los que el analista debe discernir entre los líquidos inflamables y la contribución de la matriz. En el caso de nuestro método, el control de matriz preparado no tendrá una gran influencia de ese tipo pues no sufre ningún proceso al que sí se encontrará sometida una matriz en una investigación real. Pese a ello, el cromatograma de la figura 4.7 nos proporciona la corrida del control de matriz, en donde vemos muy pocos picos, y con poco efecto de la misma en el análisis que pueda interferir en las señales obtenidas para la gasolina y el diesel.

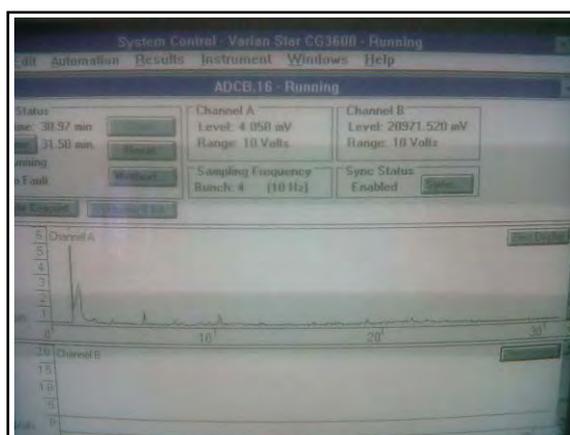


Figura 4.7. Cromatograma de control de matriz.

CONCLUSIONES

Se logró desarrollar un método analítico para la detección de gasolina y diesel con un buen límite de detección, capaz de detectar cantidades menores a los mililitros, asimismo con las ventajas de ser rápido y confiable. El método presenta la ventaja de diferenciar la presencia de mezclas volátiles "ligeras", como la gasolina, de otras más "pesadas" como el diesel, con una corrida cromatográfica de poco más de los 30 minutos.

Siendo la etapa de preparación de la muestra de carácter importante y básico, para el buen desempeño del mismo, esto por el tipo de matriz en donde se cree se encuentran los analitos, se desarrolló el método de adsorción pasiva, capaz de extraer la suficiente cantidad para ser introducida en el cromatógrafo de gases, emitiendo éste su correspondiente señal. Se verificó la temperatura y tiempo adecuados para la adsorción pasiva en el horno, entre 80 y 90°C durante al menos 16 horas.

Refiriéndonos a los cromatogramas obtenidos, estos poseen buena resolución, además de ser consistentes en los resultados obtenidos, tanto para los controles como para el control de matriz. Hablando de este último, se evaluó solamente la interferencia de una matriz preparada por el laboratorio, con las consideraciones de no ser una matriz real de escombros de incendios; pero como se menciona en el capítulo IV, las posibles señales encontradas en la matriz deben ser estudiadas y evaluadas por el analista, mismo que deberá hacer uso de su experiencia y conocimiento en análisis de este tipo.

El Laboratorio Químico-Toxicológico cuenta ya con un método preciso, confiable, rápido y adecuado a su propósito, el cual puede emplearse para la correcta identificación de líquidos inflamables en aquellos casos en que los investigadores sospechen de la presencia de algún líquido inflamable derivado del petróleo, específicamente, para mezclas como la gasolina y diesel. Una de las acciones a seguir es la correcta validación del método, a fin de verificar parámetros de desempeño del mismo como ser robustez, límite de cuantificación, linealidad, exactitud; entre otros parámetros recomendados por las normas internacionales.

AGRADECIMIENTOS

En los recientes años el Laboratorio Químico-Toxicológico ha tenido grandes avances, logrando ser parte fundamental en el esclarecimiento de casos de importancia para la sociedad hondureña, aplicando la prueba científica,

acompañada la validez técnica de sus metodologías de análisis; siendo el único laboratorio de este tipo en el país, lo que le incita y forza a seguir en constante crecimiento y mejoramiento de sus técnicas y procesos. Estos avances no fueran posibles sin el valioso y decidido apoyo de parte de la escala jerárquica desde la Directora de Medicina Forense, Dra. Lucy Marder; la Asistencia de la Dirección, Dra. Mildred Alvarenga; así como la Jefatura de los Laboratorios Criminalísticos y de Ciencias Forenses, Dra. Antonieta Zúñiga. Agradezco todo el apoyo y la confianza a la Jefa del Laboratorio Químico-Toxicológico, Dra. Alba Blanco y al decano de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Dr. René Sagastume, por ofrecerme la oportunidad de manejar el Laboratorio Instrumental de la Facultad, sitio que me ha proporcionado avances y aprendizaje en el campo del análisis químico instrumental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) R.C. Grob, e.f. Barry, L.A. Colon, t.a. Brettell, I.j Baira, R.E. Lester, C.C. Walters, et al. *Modern practice of gas chromatography*. Cuarta edición. Estados Unidos de America. Wiley-interscience. 2004.
- 2) N.N. Daied, C. Maguire, R. Newman, M. Shipp, E. Satuffer, J.D. Twibell. *Fire investigation*. Estados Unidos de América. CRC Press. 2004.
- 3) A.D. Café. *Analysis of accelerants in fire debris by capillary gas liquid chromatography*. Australia. University of Technology Sydney. 1988.
- 4) *Basic tools and resources for fire investigators: a handbook*. Estados Unidos de América. Federal emergency management agency. 1992.
- 5) P.C. Sadek. *Illustrated pocket dictionary of chromatography*. Estados Unidos de América. Wiley-Interscience. 2004.
- 6) D.A. Skoog, f.j. holler, t.a. Nieman. *Principios de análisis instrumental*. Quinta edición. España. Mcgraw hill. 2001.
- 7) P.M. I. Sandercock. "Fire investigation and ignitable liquid residue analysis- a review: 2001-207" *Forensic Science International*. 176. 2008. 93-110.
- 8) M. Frenkel, S. Tsaroom, Z. Aizenshtat, S. Kraus, D. Daphna. "Enhanced sensitivity in analysis of arson residues: an adsorption-tube/gas chromatography method" *Journal of Forensic Sciences, jfsca*. 29. 3. 1984. 723-731.
- 9) M.R. Williams, D. Fernandes, C. Bridge, D. Darrien, S. Elliott, M. Sigman. "Adsorption saturation and chromatography distortion effects on passive headspace sampling with activated charcoal in fire debris analysis" *J. Forensic sci*. 50. 2. 2005.
- 10) S. Kurata, T. Iyuzumi, H. Hirano, M. Nagai. "Discrimination between residues from kerosene or gas oil and plastics in fire debris" *Journal of the Japan Petroleum Institute*. 50. 2. 2007. 69-78.

- 11) S. Casamento, E. Kunza, E. Du Pasquier, D. Royas. "Evaluation of a portable gas chromatography for the detection of ignitable liquids" Can. Soc. Forensic sci. j. 38. 4. 2005. 191-203.
- 12) Standard test methods for ignitable liquid residues in extracts from fire debris samples by gas chromatography. astm e1387-01.
- 13) Standard practice for separation of ignitable liquid residues from fire debris samples by passive headspace concentration with activated charcoal. astm e1412-00.

Convergencia económica en América Central: Evidencia empírica, 1975-2005

Mirta Macías Ruano*, Luis Alonso Reyes**

RESUMEN

Se presentan hechos estilizados del crecimiento económico y la convergencia interregional para Centroamérica expuestos en la literatura empírica de crecimiento. Para ello, se hace un análisis de corte transversal para el período de referencia 1975-2005, y con ello establecer la existencia o no de convergencia en los niveles del Producto Interno Bruto (PIB) per cápita entre los países analizados. Adicionalmente, se indaga sobre el efecto de algunos determinantes sobre el crecimiento económico durante el período 1993-2005.

Los resultados indican que en el largo plazo (1975-2005) se acepta la hipótesis de convergencia, pero este proceso se revierte a partir de la década de 1980 y los valores de los coeficientes se reducen drásticamente en el último período 1995-2005. En cuanto a las determinantes del crecimiento económico se encontró que las variables educativas, el gasto en formación bruta de capital fijo y la tasa crecimiento poblacional son significativas estadísticamente.

Palabras Clave: *Crecimiento económico, convergencia, desigualdades, divergencia*

ABSTRACT

In this paper we present stylized facts of economic growth and interregional convergence for Central America exposed in the empirical literature growth. This makes a cross-sectional analysis for the reference period 1975-2005 and thus try to establish whether or not there is convergence between countries. Additionally, it includes an analysis with variable conditions to capture any differences between the stationary states of the various Central American economies during the period 1993-2005.

* Universidad Nacional Autónoma de Honduras-Valle de Sula. Facultad de Ciencias Económicas. Escuela de Economía. mirtamaru@hotmail.com

** Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Dirección de Investigación Científica. lreyes64@hotmail.com

The results indicate that the long-term (1975-2005) one accepts the hypothesis of convergence, but this process is reversed from the 1980's and the speed of convergence is reduced in the last period, 1995-2005. As for the determinants of economic growth, we found that educational variables, spending on gross fixed capital formation and population growth rate are statistically significant.

Key Words: *Economic growth, inequality, convergence, divergence*

INTRODUCCIÓN

Tras la década de 1980, América Central en los últimos años ha logrado recuperar su crecimiento económico, pero éste ha sido moderado e insuficiente. A excepción de Costa Rica, en el resto de países persisten antiguos problemas como la falta de competitividad y la inequidad en la distribución de la renta. En los últimos años el tema de la convergencia económica ha suscitado un creciente debate en un contexto donde las disparidades entre países crecen aún más. Al respecto, las razones son variadas, no obstante, la más aceptada y que ha sido desarrollada en trabajos como el de Barro y Sala-i-Martin es la que se refiere a los factores que explican el crecimiento económico.

Bajo estas consideraciones, una de las cuestiones más debatidas es si las disparidades entre países o regiones tienden a reducirse en el mediano y largo plazo sin o con la intervención de la acción pública. En tal sentido, nuestro interés por el tema del crecimiento económico se centra en primer lugar, en mostrar algunos hechos estilizados en cuanto a la economía centroamericana en términos de convergencia y/o divergencia en el período analizado.

Para ello se realiza un análisis de corte transversal para el período de referencia 1975-2005, y con ello intentar establecer la existencia o no de convergencia en los niveles del Producto Interno Bruto (PIB) per cápita en la región. En segundo lugar se pretende contribuir al debate sobre el tema de convergencia, un tópico poco abordado en Centroamérica, por lo que es de particular relevancia en el caso de que exista poca evidencia de convergencia, además de explicar algunas razones del por qué algunos países muestran un mayor dinamismo mientras que otros se quedan rezagados.

El trabajo se ha organizado en tres apartados: en el primero se presentan los fundamentos teóricos en los que se basa el estudio; en el segundo se analiza la evidencia empírica del crecimiento económico regional centroamericano, y adicionalmente se indaga sobre el efecto que algunos determinantes tienen sobre el crecimiento económico durante el período 1993-2005. Finalmente se presentan las conclusiones de los resultados obtenidos.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Estudios recientes sobre el crecimiento económico buscan encontrar explicaciones al comportamiento de esta variable en el tiempo y que determinantes influyen más en ella. Estos estudios han basado sus trabajos en la modelización del crecimiento,

entre ellos los modelos neoclásicos son un referente en este tema. Uno de los supuestos básicos de los modelos neoclásicos de crecimiento es que el producto o renta per cápita de las distintas economías convergen en el largo plazo. Dichos modelos predicen que los países pobres crecerán más deprisa que los ricos sólo bajo determinadas condiciones. En 1956, Solow y Swan propusieron iniciar el estudio del crecimiento económico asumiendo una función de producción neoclásica estándar con retornos constantes a escala y rendimientos marginales decrecientes al capital. Tomando las tasas de ahorro y de crecimiento de la población como variables exógenas, demostraron que estas dos variables determinan el nivel del estado estacionario del producto o renta per cápita.

Debido a que el ahorro y las tasas de crecimiento de la población varían entre los países, de igual forma alcanzan diferentes estados estacionarios. Este modelo busca encontrar las variables relevantes que inciden en el crecimiento económico de un país o región, algunas ayudan a mejorar la situación sólo en el corto plazo y otras afectan las tasas de crecimiento en el largo plazo. Se incluyen las variables que el modelo considera significativas, mostrando la incidencia de éstas en el proceso de crecimiento.

El modelo utiliza una función de producción Cobb-Douglas: $Y = AK^{\alpha}L^{1-\alpha}$ donde **K** es capital, **L** la fuerza de trabajo y **A** es el nivel tecnológico¹. La función opera bajo los supuestos de retornos constantes a escala y rendimientos marginales decrecientes al capital y al trabajo. Solow plantea una ecuación relevante dentro de su modelo: $\Delta K = sY - \delta K$, donde **K** es el capital, **Y** es el producto o ingreso de la economía de un país o región, sY representa la inversión efectiva que es igual al ingreso multiplicado por la tasa de ahorro y δ es la tasa de depreciación. Esta ecuación refleja la acumulación de capital en términos absolutos.

Se toma que $k = (K/AL)$ y teniendo en cuenta que $\Delta L/L = n$ y $\Delta A/A = g$, derivando se obtiene: $\Delta k = sy - (\delta + n + g)k$ donde $(\delta + n + g)k$ muestra la cantidad de inversión necesaria para mantener el capital constante. Aumentos de depreciación, tendrían efectos de disminución de la acumulación de capital, y por lo tanto, un menor estado estacionario del capital. Aumentos en la tasa de crecimiento de la población, causarían una disminución de la acumulación de capital per cápita efectivo.

Es necesario, que la inversión efectiva pueda sostener los movimientos o la

¹ La función opera bajo los supuestos de retornos constantes a escala y rendimientos marginales decrecientes al capital y al trabajo. Además cumple con la condición de Inada, es decir, el producto marginal del capital es 0 cuando K es alto, por otra parte, cuando K es demasiado bajo, el producto marginal es muy alto.

depreciación misma, así como el crecimiento de la población y la nueva tecnología que necesitan inversión física para producirla. Si tenemos altas tasas de crecimiento de la población, es difícil que el capital per cápita efectivo crezca, ya que habrá mayor maquinaria que repartir entre los nuevos individuos potencialmente productivos que entran al mercado.

A partir de la ecuación anterior se basa en lo que suele llamarse el equilibrio del estado estacionario. Ésto es la condición del modelo en que finaliza el aumento del capital reflejado en la ecuación de acumulación de capital per cápita, que termina con un capital fijo sin variaciones adicionales ($\Delta K = 0 \quad sy = (\delta + n + g)k$).

El equilibrio en el modelo de Solow es la senda de la convergencia de los países: una economía, mediante la propiedad de productos marginales decrecientes, tiende a decrecer su producción marginal, o dicho en otros términos, la producción total crece cada vez menos. Por lo que sy , tiende también a crecer menos, lo que eventualmente hace que se iguale a $(\delta+n+g)k$. Esta condición, mantiene el stock de capital per cápita efectivo constante, sin variaciones.

Sin embargo, en estado estacionario, es posible afirmar que el producto per cápita crece a la tasa de crecimiento de la tecnología, y el producto total crece a la tasa de crecimiento de la población y de la tecnología. El aporte de estas variables exógenas logra explicar el crecimiento en el largo plazo, es decir, cuando la economía alcanza su capital estacionario.

Basados en el modelo Solow-Swan, Barro y Sala-i-Martin (1995) desarrollan los conceptos de convergencia conocidos como convergencia Beta (β) y convergencia Sigma (σ). Se dice que existe *convergencia sigma* cuando la dispersión del producto o renta real per cápita de un grupo de países o regiones tiende a disminuir a lo largo del tiempo, midiéndose normalmente mediante la desviación estándar; y *convergencia beta*, si para ese grupo de países existe una relación inversa entre la tasa de crecimiento del PIB o renta real per cápita y el nivel inicial de ésta, o, en otras palabras, cuando los países pobres tienden a crecer más rápidamente que los países ricos, de forma que todos los países tienden a un mismo nivel, que suele llamarse estado estacionario.

A pesar de ser diferentes, los conceptos de beta y sigma convergencia están relacionados. Asumiendo que la tasa de crecimiento del producto o renta per cápita de un país o una región en un periodo dado se escriba como:

$$\log(y_{i,t}) - \log(y_{i,0}) = \alpha - \beta \log(y_{i,0}) + \mu_{i,t}$$

La tasa de crecimiento estará dada por la diferencia de los logaritmos del producto o renta per cápita final menos el valor inicial. Para aceptar la hipótesis de Beta convergencia deberá existir una relación inversa entre la tasa de crecimiento del producto o renta per cápita y su valor inicial. Cuanto mayor sea $\hat{\alpha}$, mayor será la tendencia hacia la convergencia ($\hat{\alpha} > 0$), pero el supuesto es que $\hat{\alpha}$ está entre 0 y 1².

La convergencia beta es una condición necesaria para la existencia de convergencia sigma, pero no suficiente. El anterior concepto de convergencia beta se refiere a la denominada convergencia beta absoluta o no condicional. Pero es posible distinguir también el concepto de convergencia beta condicional, que se produce cuando tan sólo existe una correlación parcial negativa entre la tasa de crecimiento del PIB o renta per cápita de un país y su nivel inicial.

Es decir, si al realizar una regresión entre la tasa de crecimiento del producto o renta per cápita, su nivel inicial, y cierto número de variables explicativas, encontramos que el coeficiente del valor inicial es negativo, se puede decir que las economías en conjunto muestran convergencia condicional.

El modelo propuesto por estos autores para el análisis de la convergencia es una ecuación no lineal de la siguiente forma:

$$\left(\frac{\ln y_{i,t} - \ln y_{i,0}}{T} \right) = \alpha - \left(\frac{1 - e^{-\beta T}}{T} \right) \ln y_{i,0} + \mu_{i,T}$$

donde $y_{i,t}$ es la renta o producto per cápita del país o región i en el momento t , T es el intervalo de tiempo entre el momento inicial 0 y t y $\mu_{i,T}$ representa el promedio de los términos de error durante el intervalo T .

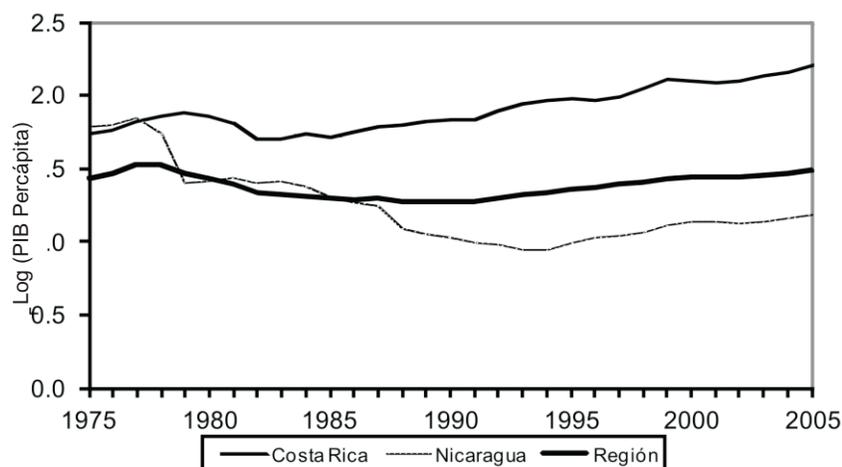
Según Sala-i-Martin (2000), la razón de utilizar esta ecuación es que el parámetro β da directamente la velocidad de convergencia de la economía sin importar la duración del periodo de estimación y, además, que el coeficiente del logaritmo del valor inicial $(1 - e^{-\beta T})/T$, es una función decreciente de la duración del periodo de estimación, además que esta es precisamente la ecuación que predice el modelo neoclásico.

² Sala-i-Martin (2000) plantea que cuando $\hat{\alpha} < 1$ se elimina la posibilidad de "adelantamientos sistemáticos". Es decir, que los países que comienzan siendo pobres acaben siendo más ricos que los que comenzaron siendo ricos. Algunos economistas sostienen que en largo plazo este hecho puede suceder, pero debido a múltiples factores y no sólo al hecho de que por ser pobre, en el futuro se volverá rico, nadie piensa que habrá adelantamientos sistemáticos.

EVIDENCIA EMPÍRICA

Los datos del PIB per cápita están expresados en valores de PPA (poder de paridad adquisitiva) en dólares a precios del 2000. Los datos ajustados del PIB per cápita de cada país permiten comparar niveles de actividad real entre los países analizados³. América Central es una región de contrastes, las disparidades entre los niveles de crecimiento económico y de bienestar en general están determinadas por diversos factores que influyen o influyeron particularmente sobre cada uno de los países, entre ellos, las guerras en la década de los ochenta, los desastres naturales en los años noventa, así como los procesos de reestructuración económica.

Gráfico N°1. Tendencia del PIB per cápita entre 1975-2005.
(PPA, en dólares a precios constantes de 2000)



Fuente: Elaboración propia, WDI 2006.

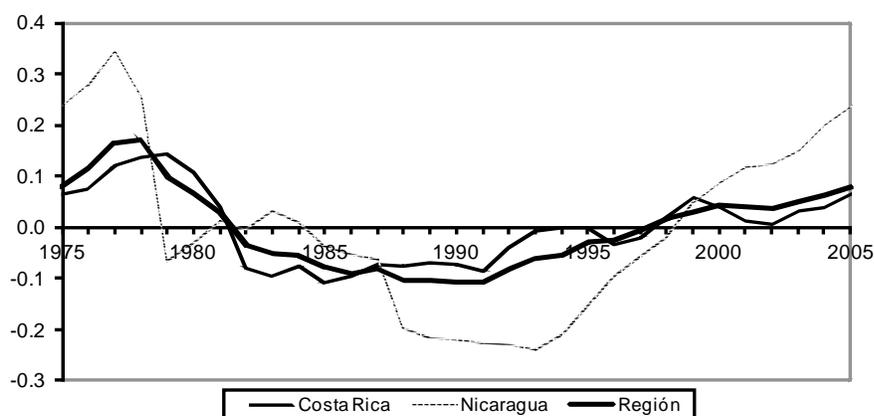
En el gráfico N° 1 se observa la evolución del PIB per cápita en la región. Al contrastar los datos vemos que Costa Rica mantiene una tendencia de crecimiento, mientras tanto, en Nicaragua ha decrecido, incluso por debajo del promedio regional. Los patrones seguidos por los países indican una evolución heterogénea del producto per cápita. Nicaragua tiene un claro descenso en su nivel a partir de finales de la década de 1970 lo que concuerda con su situación socio-política de esa época. Por su parte, la tendencia regional parece más estable durante el periodo analizado, pero al igual que Nicaragua sufre una contracción durante la

³ La información procede de la base de datos de Banco Mundial (Indicadores de Desarrollo Mundial, 2006) y Anuario Estadístico de la CEPAL (2006)

primera mitad de los años ochenta, volviendo a crecer a partir de la década de 1990 en adelante. Romer (2006) argumenta que Latinoamérica exhibe una de las pautas de crecimiento más difíciles de describir. Muchos países del área durante la década de los sesenta y setenta tuvieron elevadas tasas de crecimiento para luego caer en la década siguiente y volver a crecer en los años noventa, no sin mostrar en periodos cortos fuertes contracciones. El gráfico N°2 muestra los componentes cíclicos del producto per cápita para Costa Rica, Nicaragua y el promedio regional y se reflejan las épocas de expansión y recesión sufridas durante el período analizado⁴.

De los resultados se puede deducir que, en general, los periodos de recesión y expansión coinciden entre países. Sin embargo, Costa Rica parece adelantada, lo que es congruente, sí se toma en cuenta que es el país con el mayor producto per cápita de la región. Por otro lado, Nicaragua tuvo una recesión muy larga en los 80, de la que empieza a recuperarse al final de la muestra analizada. También se observa una significativa reducción de la volatilidad, lo que indica que los ciclos económicos son menos pronunciados al final del período.

Gráfico N° 2. Componentes cíclicos del PIB per cápita en Centroamérica, 1975-2005



Fuente: Elaboración propia, WDI 2006.

En el informe del crecimiento mundial correspondiente a 1997 del Banco Mundial, Nicaragua es catalogada como un desastre económico, el crecimiento promedio

⁴ Una forma de calcular el componente cíclico del PIB per cápita es estimar por mínimos cuadrados ordinarios una ecuación lineal de la forma: $Y_t = \hat{a} + g_t + \hat{\iota}_t$, donde Y_t representa el logaritmo del PIB per cápita en el período t , t es el año en que se está, \hat{a} y g son los parámetros a estimar y $\hat{\iota}_t$ son los residuos de la regresión que se interpretan como el componente cíclico del producto per cápita. Despejando se obtiene que $\hat{\iota}_t = Y_t - (\hat{a} + g_t)$, es decir, el valor mostrado menos la tendencia del PIB per cápita durante el período t .

entre 1960 y 1996 fue de -1,29 y la relación entre el valor final e inicial fue de 0,62 valores aproximados a los encontrados en este trabajo.

Cuadro N°1. Patrón Regional del crecimiento: 1975-2005

País	Crecimiento 1975	Niños controles
Costa Rica	1.55	1.59
El Salvador	0.02	1.01
Guatemala	0.61	1.20
Honduras	0.71	1.24
Nicaragua	-2.01	0.55
Región	0.28	1.09

Fuente: Elaboración propia, WDI 2006.

Siguiendo con la evolución de la distribución del producto per cápita se estimaron las correlaciones de las tasas de crecimiento por periodos decenales entre 1975 y 2005.

Cuadro N° 2. Correlación de las tasas de crecimiento
Períodos decenales, 1975-2005

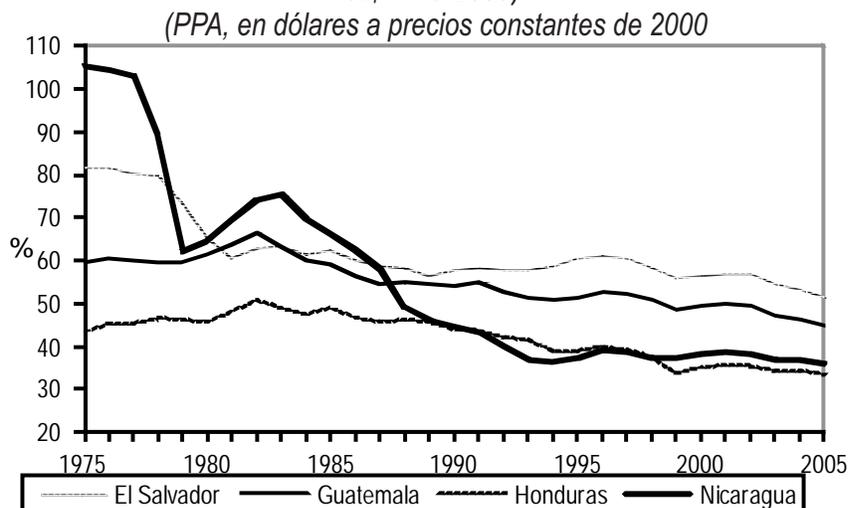
	1975-1985	1985-1995	1995-2005
1975-1985	1		
1985-1995	0.58	1	
1995-2005	-0.27	-0.26	1

Fuente: Elaboración propia, WDI 2006.

Los resultados son contrastantes, por un lado, existe correlación positiva entre las tasas de crecimiento de 1975-1985 y 1985-1995 y por otro, correlación negativa entre 1985-1995 y 1995-2005. Lo primero se explica porque las tasas de crecimiento crecieron en el período de 1985-1995 y lo segundo se debe a una contracción de las tasas en el último periodo. Reflejo de la volatilidad del crecimiento en la región y a pesar de la negatividad en la correlación se podría interpretar que las desigualdades en la distribución del producto per cápita en la región aumentan, como se verá adelante.

Otra forma de constatar esta desigualdad es calculando el nivel del PIB per cápita de Costa Rica en relación al resto de países de la región. En el gráfico N° 3 se puede distinguir que la tendencia es a la desigualdad regional. Aumenta la brecha entre el nivel del producto per cápita de los países de la región en relación al PIB per cápita de Costa Rica. El Salvador, en 1975, representaba el 80 por ciento del producto per cápita de Costa Rica, treinta años después apenas llega al 50 por ciento. El caso más dramático lo presenta Nicaragua, su PIB per cápita en 1975 estaba por encima al de Costa Rica, en 2005, esta proporción se redujo hasta llegar a un 40 por ciento del producto de Costa Rica.

Gráfico N° 3. PIB per cápita de El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua relativas a Costa Rica, 1975-2005).

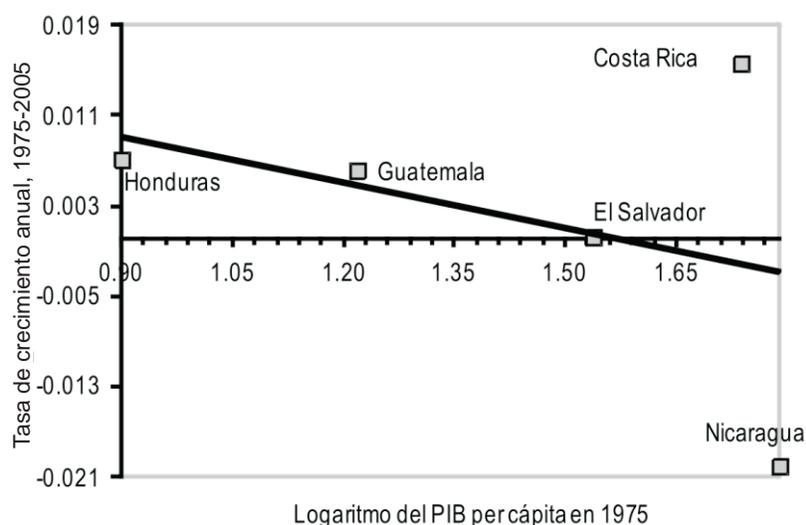


Fuente: Elaboración propia, WDI 2006.

Continuando con el análisis de la evidencia empírica se presentan los resultados de las pruebas de convergencia para los cinco países de la región (Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua). El gráfico N° 4 resume los resultados de la regresión de convergencia no condicionada en la que la variable dependiente es la tasa promedio del PIB per cápita durante el periodo de 1975 al 2005. La pendiente negativa de la recta ajustada de la regresión indica que en promedio el ritmo de crecimiento ha sido mayor en los países con un producto per cápita inicialmente menor, este es el caso de Honduras y Guatemala, indicando que presentaron tasas de crecimiento mayor que las del promedio regional.

Estos países tuvieron un desempeño que produjo convergencia al reducir sus diferencias con el resto. A pesar de esto, es Costa Rica quien tuvo un mejor desempeño que el promedio, ya que era uno de los países con mayor PIB per cápita en 1975 y fue el que mayor crecimiento tuvo en la región, es decir, se hizo más rico en términos relativos. Por su parte, Nicaragua muestra una de las caídas más drásticas del PIB per cápita del total de países de la zona. La hipótesis de convergencia señala que los países con mayores niveles iniciales de PIB per cápita tenderían a crecer a ritmos menores, pero lo que se observa con Nicaragua no es un menor crecimiento, sino una contracción de la actividad económica probablemente marcada por un periodo de crisis. De acuerdo a estudios de la CEPAL (2004), esto se debió probablemente a factores como una hiperinflación durante toda la década de 1980, además de la incertidumbre y la inestabilidad política que influyeron negativamente en su actividad productiva e inversión.

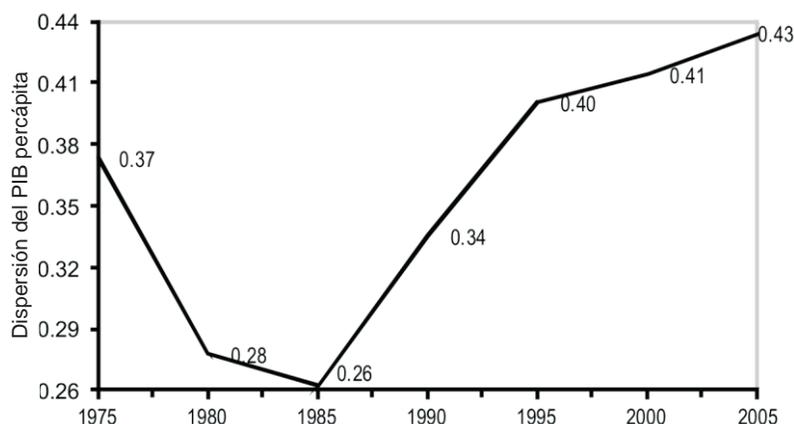
Gráfico N° 4. Convergencia Beta del PIB per cápita, 1975-2005



Fuente: *Elaboración propia, WDI 2006.*

El gráfico N° 5 muestra la tendencia en el tiempo de la dispersión del producto per cápita entre la misma muestra de países. La dispersión no es más que la desviación estándar del logaritmo natural del PIB per cápita del período analizado y si la dispersión disminuye con el tiempo se considera evidencia de convergencia σ sigma. El patrón de la sigma convergencia muestra una gradual expansión de la desigualdad, sin embargo al final del periodo se aprecia una tendencia hacia la ralentización de la convergencia.

Gráfico N° 5. Convergencia Sigma del PIB per cápita, 1975-2005



Fuente: *Elaboración propia, WDI 2006.*

La evolución de la dispersión en el tiempo tiene dos fases claramente diferenciadas: La primera fase que va de 1975 a 1985 se caracterizó por un proceso rápido de convergencia sigma, donde la dispersión decreció de 0,37 hasta el 0,26. En la fase dos, el proceso de convergencia se revierte al pasar la dispersión de 0,26 en 1985 a 0,43 en 2005. El incremento muestra las perturbaciones ocurridas durante la década de 1980 y 1990 en la región. El aumento de la convergencia sigma en este periodo refleja probablemente el efecto de la inestabilidad política sufrida en la zona sobre todo por países como El Salvador, Guatemala y Nicaragua, reduciendo fuertemente su capacidad productiva.

En 1990, la crisis de la deuda, los fenómenos naturales y la caída de los precios agrícolas, como el café afectaron considerablemente las economías de la región, principalmente a Honduras y Nicaragua. En la última década, la dispersión crece, pero tiende a desacelerarse ya que los ritmos de crecimiento son menores que en años anteriores. Los resultados nos indican que el proceso de sigma convergencia regional después de 1980 se ha detenido y a partir de entonces la distribución regional del producto per cápita se desequilibra. En el cuadro N° 3 se observan los resultados de las estimaciones de las regresiones no lineales para la misma muestra de países, en periodos sucesivos, desde 1975 hasta el 2005. En cada columna se presentan los valores de los estimadores, sus errores estándar y los R^2 de las regresiones.

Cuadro N°3. Resultados de las pruebas de convergencia.
Períodos decenales y quinquenales 1965-2005

Períodos	β	R^2	e.e regresión
1975 - 2005	0.017 (0.032)	0.141	0.014
1975 - 1985	0.060 (0.046)	0.512	0.019
1985 - 1995	-0.023 (0.038)	0.091	0.025
1995 - 2005	-0.006 (0.009)	0.147	0.007

Fuente: Elaboración propia, WDI 2006.

Los estimadores obtenidos de $\hat{\alpha}$, en su mayoría, son negativos y algunos son estadísticamente significativos. Para el período 1975-2005, el valor estimado de Beta es positivo, lo que indica que los países con menor PIB per cápita inicial crecieron más rápidamente que otros países con niveles iniciales de PIB mayores. El ajuste de la regresión es poco significativo, pero el coeficiente de convergencia, es decir, la pendiente de la recta de regresión, sugiere que el proceso de nivelación del PIB per cápita es lento. El valor de este coeficiente es de 0,017 e indica que cada año se elimina tan solo un 1,7 por ciento del diferencial del producto per cápita con respecto al promedio regional. En otras palabras, con esta velocidad de convergencia se necesitarían 41 años para cubrir la mitad de la brecha entre los países con menor nivel de producto per cápita y los de mayor nivel.

En los períodos decenales las pruebas resultaron contrastantes. En el período 1975-1985 los resultados indican una tendencia a la convergencia alta y significativa, hecho que se contrapone a una disminución de la velocidad de convergencia y a su escasa significancia estadística para el siguiente período. Una posible explicación a la variabilidad de los valores de beta convergencia sería que en la década de 1970 se presenció un proceso de convergencia que posteriormente pudo haber sido contrarrestado por una tendencia a la divergencia retomada a partir de la segunda mitad de la década de 1980. La convergencia durante esta etapa es por las altas tasas observadas por Honduras y Guatemala, superiores incluso a Costa Rica y a la contracción del crecimiento en Nicaragua y El Salvador. Las estimaciones hechas son congruentes con las tendencias observadas en la evolución de la dispersión del producto per cápita en la región. Dado que no se encontraron estudios previos del tema de convergencia en América Central, se compararon los resultados con

estudios regionales para América Latina. En el caso estudiado por Cabrera (2002) su análisis se centra en la convergencia absoluta entre los estados de México, las tasas de convergencia oscilan entre 0,035 y 0,073, para períodos decenales entre 1970-1995. En un documento del ILPES (2004) se hace un recuento de varios estudios de convergencia sobre todo en América del Sur. Las estimaciones para Chile entre 1960-1996 son de 0,009 y 0,020, valores para períodos decenales. En Colombia los coeficientes obtuvieron valores entre 0,008 y 0,057, también para períodos decenales entre 1950-1989; estos valores fueron calculados sin incluir dummies regionales. Valores próximos a los encontrados en este trabajo que fluctúan entre 0,006 y 0,060.

Para terminar, se estudian algunos factores explicativos del crecimiento económico regional. Como se definió en el apartado teórico para que exista convergencia condicional habría que encontrar una correlación parcial negativa entre crecimiento y nivel de renta o producto per cápita inicial, condicional al estado estacionario. Utilizando regresiones múltiples se puede llegar a esto, es decir introduciendo variables adicionales al modelo que actúen como aproximativa del estado estacionario. El cuadro 4 utiliza los datos del producto real per cápita, donde la variable dependiente es la tasa media anual de crecimiento del PIB per cápita entre 1993 y 2005, y en las demás columnas se incluyen diferentes variables como explicativas de la tasa de crecimiento. La primera columna incluye el logaritmo del PIB per cápita en 1993, y se observa que el coeficiente inicial es negativo, muy similar al obtenido en el cuadro N° 3 en el período de 1995-2005, continúa siendo no muy significativa, esto se podría interpretar como evidencia de convergencia condicional.

Una resultante interesante es que en las estimaciones hechas, el coeficiente del producto interior bruto per cápita inicial se vuelve negativo, incluidas las variables explicativas, a decir de Sala-i-Martin (2000), si se acepta que las variables explicativas están relacionadas con los niveles tecnológicos e institucionales que determinan la posición del estado estacionario, entonces podemos interpretar el hecho de que el coeficiente del producto inicial sea negativo como evidencia de convergencia condicional. En la columna 2 el coeficiente del logaritmo del producto inicial es negativo con un valor del 0,017. Por otra parte, los signos de los coeficientes de las variables educacionales (PRIM 93 y SEC93) son positivos, lo cual concuerda con la importancia que tiene la educación dentro del modelo de crecimiento económico estudiado. Estadísticamente resulta significativa la estimación dado su R^2 , pero las velocidades de convergencia muestran que la educación secundaria tiene una mayor incidencia en la tasa de crecimiento que lo que tiene la educación primaria. Al mejorar su nivel de educación y de formación cada persona aumenta el stock de capital humano de una nación y de allí contribuye al mejoramiento de la productividad de la economía nacional, es decir, la productividad privada del capital humano tiene un efecto externo positivo, Romer (2006). La tercera columna incluye el gasto en

ecuación y salud (GES) y una variable educativa (SEC93), esto se hizo con la finalidad de ver el efecto del gasto social en la tasa de crecimiento de los países de la zona. Los signos de los coeficientes son los esperados y el ajuste de la regresión es muy significativo, el mayor dentro del conjunto de las estimaciones hechas, el efecto que la variable del gasto social tiene sobre el crecimiento es del 15 por ciento, al parecer ha colaborado de forma importante, pero no suficiente, al resultado de la convergencia.

En la columna cuatro, se incluyeron la formación bruta de capital fijo como variable sustituta de la inversión y la tasa de crecimiento de la población más la tasa de depreciación. En el modelo Solow-Swan se hacen predicciones de este tipo utilizando la tasa de ahorro y el crecimiento poblacional para alcanzar el equilibrio del estado estacionario. El coeficiente de FC (Formación bruta de capital) es positivo, 0,068 (0,115), el crecimiento de la población más la tasa de depreciación es negativo, -0,021 (0,022), incluidas estas variables el coeficiente del PIB inicial es negativo y similar a los valores encontrados en las otras columnas. Interpretando los resultados, las predicciones del modelo Solow-Swan se cumplen.

Cuadro N° 4. Resultados de las pruebas de convergencia.
Determinantes del crecimiento, 1993-2005

	(1)	(2)	(3)	(4)
Constante	0.002 (0.012)	-0.040 (0.071)	-0.022 (0.037)	0.034 (0.054)
log PIB (93)	-0.008 (0.008)	-0.017 (0.013)	-0.012 (0.017)	-0.010 (0.012)
PRIM 93		0.008 (0.044)		
SEC 93		0.078 (0.088)	0.050 (0.082)	
GES			0.149 (0.394)	
FC				0.068 (0.115)
n+ä				-0.021 (0.022)
R ²	0.214	0.603	0.640	0.605
E.S regresión	0.007	0.009	0.008	0.008

Nota:

Las regresiones corresponden a estimaciones hechas por mínimos cuadrados no lineales de ecuaciones de la siguiente forma:

$$\left(\frac{\ln y_{i,t} - \ln y_{i,0}}{T} \right) = \alpha - \left(\frac{1 - \ell^{-\beta \cdot T}}{T} \right) * \ln y_{i,0} + \delta X_{i,0}$$

donde $Y_{i,t}$ es el PIB per cápita del país i en el periodo t , $X_{i,0}$ son variables explicativas que intervienen en la tasa de crecimiento y T es la duración del periodo. Entre paréntesis se presenta el error estándar de cada coeficiente. Las variables incluidas en las estimaciones son las siguientes:

Log PIB 93: logaritmo del PIB per cápita de 1993.

PRIM 93: fracción de la población en edad escolar matriculada en primaria en el año de 1993.

SEC 93: fracción de la población en edad escolar matriculada en secundaria en el año de 1993.

GES: gasto público en salud y educación promedio entre los años 1993 y 2005.

FC: gasto en formación bruta en capital fijo como porcentaje del PIB entre los años 1993 y 2005.

n+δ: tasa promedio (1993-2005) del crecimiento poblacional más tasa de depreciación, la cual se ha supuesto constante e igual a 0.05

CONCLUSIONES

El comportamiento del crecimiento es muy dispar en cada uno de los países analizados, a pesar de haber experimentado tasas de crecimiento positivas, el poder de predicción de la experiencia de crecimiento pasado resulta ser un predictor débil del crecimiento futuro. Al parecer, la inestabilidad del crecimiento económico estaría influyendo en el aumento de las desigualdades en la distribución del producto per cápita en la región.

Por otra parte, en las pruebas de las distintas hipótesis de convergencia para el PIB per cápita los resultados son contrastantes. Así, en el largo plazo existe convergencia en términos absolutos, siendo las estimaciones del coeficiente (beta) en los períodos decenales significativamente diferentes entre sí y las velocidades de

convergencia decrecen sobre todo en el último período. De acuerdo a Barro y Sala-i-Martin (1995) lo anterior estaría explicado, por un lado, por los ritmos de crecimiento económicos, los cuales son muy inestables por lo que cualquier cambio produce efectos excepcionales en sus resultados, ya sean negativos o positivos. Por otro lado, los llamados cambios exógenos producen fuertes perturbaciones en los procesos de convergencia. En cuanto a los efectos de los determinantes del crecimiento económico, las predicciones se cumplieron. El gasto en educación y salud resultó ser la variable con mayor nivel de influencia dentro de la contrastación de hipótesis de convergencia condicional. Las pruebas muestran una asociación estadística positiva entre ésta y las variables educativas, además que la estimación tiene la mayor significancia dentro del resto de pruebas realizadas. También se constató que la formación bruta de capital está positivamente correlacionada con la tasa de crecimiento.

A raíz de los resultados obtenidos, habría que resaltar que la evolución del crecimiento de los diferentes países analizados es desigual, por lo tanto es difícil hablar de la existencia de un patrón común. La hipótesis de convergencia para el período 1975-2005 resulta ser muy débil y lo contrario sucede en las pruebas posteriores, es decir, divergencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Banco Mundial, "Base de datos de los Indicadores de Desarrollo Mundial", 2006.
- Barro. R, "Economic Growth in a Cross Section of Countries", NBER Working Papers Series, Working Paper 3120, National Bureau of Economic Research, September 1989.
- Barro. R y Sala-i-Martin. X, "Economic Growth", McGraw-Hill Editors, 1995.
- Castellanos Cabrera. L, "Crecimiento Económico y Convergencia Regional en México" (1970-1995), en *Anuario de la DCSEA 2001*. ISBN: 96861 48582. Editorial Taller Abierto, México 2002.
- Díaz. R y Meller. P, "Crecimiento Económico Regional en Chile: ¿Convergencia?", Centro de Economía Aplicada, Universidad de Chile, Documentos de Trabajo No.180, enero 2003.
- Esquivel. G, "Convergencia Regional en México, 1940-1995", *El Trimestre Económico*, Vol. 66, No 264, octubre-diciembre, México 1999.
- Mankiw. G, Romer. D y Weil. D, "A Contribution to the Empirics of Economic Growth", NBER Working Papers Series, Working Paper 3541, National Bureau of Economic Research, December 1990.
- Sala-i-Martin, X. "Apuntes de Crecimiento Económico", Antoni Bosch Editor 2ª Edición, Barcelona 2000.

Algunos desafíos a enfrentar en la modelación hidrológica

Roberto Fredy Ávalos Lingán*

RESUMEN

El diseño y la operación de obras hidráulicas requieren, por lo general, información de caudales de un periodo largo. En nuestro país las series largas no son comunes, más aun si el sitio de interés no coincide con la red nacional de mediciones. El hidrólogo se ve con la necesidad de modelar el proceso hidrológico para poder responder a los requerimientos. El objetivo de la presente investigación es descubrir y poner a la luz algunos inconvenientes que pueden ocurrir y complicar la modelación hidrológica, situación que es común en nuestro país.

La primera parte de la investigación consiste en el análisis del comportamiento de la relación lámina de lluvia de la cuenca con los caudales por diferentes pasos de tiempo (de 1 día a 30 días), donde las magnitudes de las láminas y de los caudales fueron determinados mediante el procedimiento de la media móvil. La otra parte de la investigación es la aplicación de modelos hidrológicos conceptuales para observar el efecto de dicha relación en el resultado de la modelación.

Se concluye que para las cuencas investigadas la relación lámina de lluvia-caudal observado tiende a aumentar conforme aumenta el paso de tiempo. Para el caso de 1 día el éxito de los resultados de la modelación está relacionado con el comportamiento de la relación lluvia-caudal.

Palabras claves: *Series largas, Lámina de lluvia, Caudales observados, Relación en función del tiempo, Efecto de la relación lámina de lluvia con los caudales observados.*

ABSTRACT

The design and operation of hydraulic works require, in general, information flows from a long period. In our country, long series are not common, even more so if the site of interest does not coincide with the national network of measurements. The hydrologist is the need to model the hydrological process in order to meet the

* Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil.
robertofredy@yahoo.com

requirements. The objective of this research is to discover and bring to light some problems that can occur and complicate the hydrologic modeling, real situation in our country.

The first part of the research was the analysis of changes in the ratio of the sheet of rain basin flows couple different time steps (from 1 day to 30 days), where the magnitudes of the plates and flows were determined by the procedure of the moving average. The other part of the research is the application of conceptual hydrological models to observe the effect of that relationship on the outcome of the modeling.

We conclude that investigated the relationship watershed rainfall-flow sheet observed tends to increase with increasing time step. In the case of 1 day the success of the modeling results is related to the behavior of the rainfall-flow relationship.

Keywords: *Long series, Art of rainfall, flow observed time-dependent relationship, Effect of the rain sheet flows observed*

I. INTRODUCCIÓN

El diseño y la operación de obras hidráulicas requieren, por lo general, de una serie larga de datos de caudales. Esto se convierte en un reto para el modelador hidrológico, ya que nace la necesidad de disponer también de otras series largas de información, a mencionar: series de precipitación, de evaporación, de aforos, etc., con el fin de poder acceder y aplicar un modelo hidrológico que permita calibrar, interpolar y extrapolar caudales a través del tiempo.

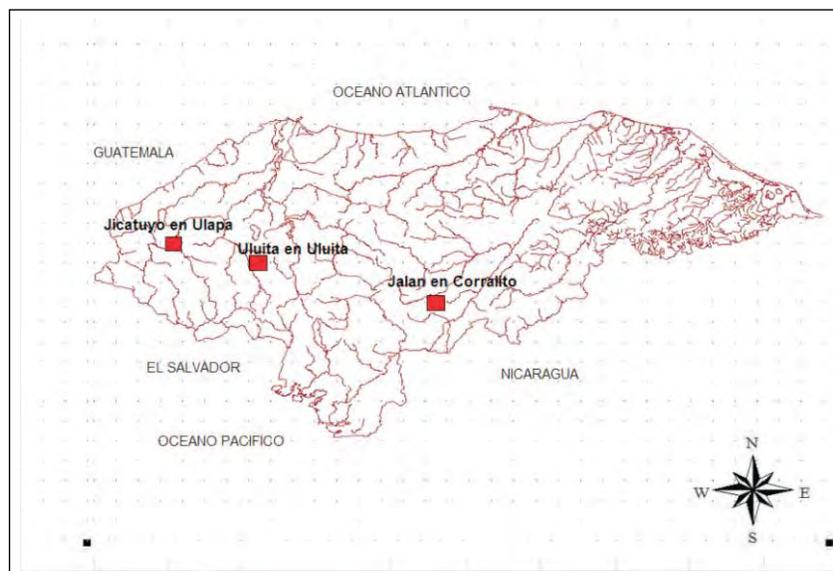
La calidad de los datos y su representatividad se constituye en un desafío que tiene que enfrentar el modelador para lograr obtener una serie larga de caudales confiables. Por otra parte, aparece la pregunta ¿qué modelo utilizar? Para el caso de Honduras no hay mucho que escoger en cuanto a modelos hidrológicos. Los existentes son pocos y han sido elaborados en otros países. El objetivo de la presente investigación es hacer una primera introducción en el tema Relación Lámina de Lluvia y Caudales Observados, con el fin de descubrir algunos inconvenientes que afectan la confiabilidad del resultado de la modelación hidrológica. Para tal efecto hemos considerado únicamente el caso de modelos hidrológicos conceptuales de balance, aunque los resultados que se obtengan pueden ser también aplicables para otros tipos de modelos.

La investigación se ha realizado con información de instituciones gubernamentales correspondientes a la zona occidental, oriental y central de Honduras; es decir, la cuenca del río Jicatuyo en Ulapa, la cuenca Uluita en Uluita y la cuenca Jalán en Corralito. Son cuencas con áreas hidrográficas diferentes, con longitudes de series diferentes y que fueron accesibles para esta investigación.

II. CUENCAS UTILIZADAS PARA LA INVESTIGACIÓN

La cuenca del río Jicatuyo en Ulapa se encuentra en la parte occidental del país en las coordenadas Lat. Norte $14^{\circ} 56' 50''$ y Lon. Oeste $88^{\circ} 36' 38''$ y a una elevación de 330 msnm. El área de la cuenca es de 3556 km². El Plano 1 muestra su ubicación. La cuenca del río Uluita en Uluita se encuentra en la parte central del país, en el Departamento de Intibucá. En el Municipio de Taulabé, entre las coordenadas: Lat Norte $14^{\circ} 32'$ y $14^{\circ} 39'$ y Long Oeste $87^{\circ} 52'$ y $88^{\circ} 01'$. El área de la cuenca es de 136 km². El Plano 1 muestra su ubicación. La cuenca del río Jalán en Corralito se encuentra al este del país, en el departamento de Olancho, en las coordenadas Lat Norte $14^{\circ} 18' 09''$ y Long. Oeste $86^{\circ} 29' 50''$. El área de la cuenca es de 1516.2 km². El Plano 1 muestra su ubicación.

PLANO 1: Honduras. Ubicación de las cuencas en investigación



III. INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para desarrollar la investigación se seleccionó tres cuencas del país: la cuenca a la estación de aforo Ulapa en el río Jicatuyo (estación manejada por la ENEE) ubicada en la parte occidental, la cuenca a la estación de aforo Uluita (estación manejada por la ENEE) ubicada en la parte central y la cuenca a la estación de aforo Corralitos (estación manejada por la ENEE) ubicada en la parte este. No fue posible disponer en esta investigación de datos para la zona norte y sur.

A parte de la distribución espacial de las cuencas seleccionadas, es importante mencionar también la variabilidad de las áreas de dichas cuencas: Ulapa (3556.0 km²), Corralito (1516.2 km²) y Uluita (136.0 km²). Se menciona la variabilidad de las áreas debido a que en nuestro país la representatividad de la lámina de lluvia es aparentemente una función del tamaño de la cuenca, por motivo de representatividad de la red de medición. Para las cuencas mencionadas se dispuso de caudales diarios (m³/s), lluvia diaria (mm) y evaporación mensual de tanque tipo A (mm). En cuanto al periodo de información, la de Ulapa fue de 1999 a 2003, para Corralito de 1990 a 1992 y para Uluita de 2001 al 2007. Series de información con diferentes longitudes. El territorio hondureño es orográficamente bien accidentado; es decir, país con abundantes montañas. Las cuencas seleccionadas caen dentro de esta categoría. Los textos recomiendan, en estos casos, aplicar el procedimiento

de isoyetas para determinar las láminas lluvia (esto implica la elaboración de un plano de isoyeta por día), información que no fue posible disponer. También existen otros procedimientos basados en la elevación, para zonas planas y semi planas; tales, gradientes de lluvia, el procedimiento de Thiesem y el promedio aritmético. Para la presente investigación se escogió simplemente el promedio aritmético para las tres cuencas.

IV. VARIACIÓN DE LA RELACIÓN LÁMINA DE LLUVIA CON CAUDALES OBSERVADOS

4.1 Generalidades

La relación lámina de lluvia con caudales observados que se quiere investigar es básicamente el comportamiento de dicha relación en función del tiempo de cálculo de 1 día, 5 días, 10 días, 15 días, 20 días y 30 días. Para cada número de días la lámina es acumulativa y los caudales son promedios; estas magnitudes fueron determinadas mediante el procedimiento de la media móvil. Las formas que hemos escogido para medir dicha relación son gráficamente y mediante el coeficiente de correlación lineal, r . (se probó con otros tipos de relaciones sin encontrar mejoras sustanciales).

4.2 Cuenca Ulapa

Para el caso de Ulapa el Cuadro 1 y las Figuras de 1 al 6 presentan los resultados. Del Cuadro 1 se observa que conforme aumenta el número de días, la relación entre la lámina de lluvia y los caudales observados también aumenta, teniendo una mayor gradiente en los tiempos de 1 a 10 días.

4.3 Cuenca Corralitos

Para el caso de Corralitos el Cuadro 2 y las Figuras del 7 al 12 presentan los resultados. Del Cuadro 2 se deduce que la relación lámina de lluvia y caudales observados aumenta conforme al número de días, presentando la mayor gradiente en el tiempo de 1 a 10 días.

4.4 Cuenca Uluita

Para el caso de Uluita el Cuadro 3 y las Figuras 13 al 18 presentan los resultados.

Del Cuadro 3 se deduce que la relación lámina de lluvia y caudales observados

aumenta conforme al número de días, presentando la mayor gradiente en el tiempo de 1 a 10 días. Los caudales (Q) de una cuenca hidrográfica dependen principalmente de la lámina de lluvia (P); por consiguiente debe de existir una relación entre ambas variables. Para nuestro caso se probó con una relación potencial, exponencial y lineal. Obteniendo relaciones más altas con la lineal. Posiblemente se debe a que los puntos de la relación $Q=F(P)$ presenta una gran dispersión.

Las estaciones pluviométricas utilizadas para determinar la lámina de lluvia para cada cuenca se basó en considerar las estaciones existentes al interior de la cuenca y las que están alrededor y relativamente cercanas a la cuenca. El caso más especial fue el de Uluita, donde no existe ni una estación de lluvia al interior de la cuenca: estaciones cercanas y relativamente cercanas fueron seleccionadas para representar la lámina de lluvia de dicha cuenca. En cuanto al número de estaciones pluviométricas a considerar en las láminas, éste no fue el mismo para cada cuenca; ya que depende de la red nacional de estaciones pluviométricas y climáticas y de su ubicación con respecto a la cuenca. En Honduras, cuando la cuenca es pequeña, la posibilidad de encontrar estaciones de lluvia para representar la lámina es menor. Posiblemente sea consecuencia de los criterios utilizados en el diseño de la red nacional de estaciones; que aparentemente está hecha para representar el comportamiento de la lluvia a una escala mayor.

Lo cierto es que en los tres casos investigados la relación de la lámina de lluvia con respecto a los caudales observados son bajos al tiempo de 1 día, pero esto aumenta conforme aumenta el tiempo. La Figura 19 presenta el conjunto de relaciones r (entre caudal observado y lámina de lluvia) de las tres cuencas en función del número de días. A pesar que solamente se ha considerado tres cuencas, esto muestra (Figura 19) que la tendencia general es aumentar la relación (r) conforme aumenta el número de días. Si empieza con una relación baja termina también con una relación baja, cuenca Uluita; lo mismo en la situación contraria, cuenca Corralito. Pero también se presenta el caso que se inicia con una relación baja y puede terminar con una relación alta, tal como lo ocurrido en la cuenca Ulapa.

V. EFECTO DE LA RELACIÓN LÁMINA DE LLUVIA CON CAUDALES OBSERVADOS EN EL RESULTADO DE LA MODELACIÓN

5.1 Generalidades

En este capítulo se quiere mostrar únicamente el efecto de la relación lámina de lluvia con los caudales observados en el resultado de la modelación de caudales

diarios (tiempo 1 día). Para el caso de las cuencas de Ulapa y Corralito se aplicó el modelo conceptual AVAMODEL y para la cuenca de Uluita fue obtenido del Estudio hidrológico del proyecto Hidroeléctrico río Uluita, elaborado por la ENEE, donde se aplicó el modelo HBV. No se pudo aplicar el mismo modelo de los dos casos anteriores por cuestión de información. Lo primordial del presente capítulo no es investigar qué modelo es más eficaz que otro, sino más bien mostrar de forma muy sencilla cómo afecta la relación entre la lámina de lluvia y los caudales observados en los resultados de la calibración.

5.2 Resultados de la modelación

5.2.1 Cuenca Ulapa

El modelo AVAMODEL fue aplicado para el periodo de 1999 a 2003. La Figura 20 muestra el resultado de la calibración y en la Figura 21 la relación caudal observado con caudal modelado. El coeficiente de correlación (r) encontrado para el caso de Ulapa es de 0.667.

5.2.2 Cuenca Corralito

Para esta cuenca el modelo AVAMODEL fue aplicado para el periodo de 1990 a 1992. La Figura 22 muestra el resultado de la calibración y la Figura 23 la relación caudal observado con caudal modelado. El coeficiente de correlación (r) encontrado para la cuenca Corralito es de 0.942.

5.2.3 Cuenca Uluita

El modelo HBV fue aplicado para esta cuenca considerando el periodo de información del 2001 al 2007. La Figura 24 muestra el resultado y en la Figura 25 la relación caudal observado con caudal modelado. El coeficiente de correlación encontrado para la cuenca Uluita es de 0.484.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La primera parte de la investigación se centró en analizar el comportamiento de la lámina de lluvia en relación a los caudales observados. Esto fue aplicado en tres cuencas ubicadas en tres zonas diferentes del país. El periodo de análisis no fue el mismo en las tres cuencas. Si esto hubiera ocurrido posiblemente los valores obtenidos en la relación (lámina de lluvia con caudales observados) de cada cuenca no hubiesen sido los mismos que los obtenidos en la presente investigación. Lo importante de la investigación es que con la información utilizada se observa

claramente que el aumento en el tiempo de análisis de 1 día a 30 días la relación tiende a aumentar; es decir, se mejora (ver Cuadro 4). Esto muestra al modelador una luz de los inconvenientes que podría enfrentar durante la modelación, a fin de estudiar mejor la lámina de lluvia y los caudales observados y no pensar que probablemente sea el modelo utilizado.

La segunda parte de la investigación es solamente una aplicación de una modelación hidrológica conceptual diaria (Tiempo 1 día), donde se observa el efecto de lo mencionado en la primera parte de la investigación en la performance del modelaje hidrológico. De esta segunda parte podemos decir que cuando mayor es la relación lámina de lluvia con caudal observado se tiende a obtener una mayor relación entre caudal observado y el caudal modelado.

VII. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se mencionarán a continuación son válidas para las cuencas investigadas:

- a. Se concluye que cuando el paso de tiempo de análisis en la relación lámina de lluvia de la cuenca y sus caudales observados aumenta (1 a 30 días) dicha relación tiende también a aumentar.
- b. Se concluye también que cuando mayor es la relación entre lámina de lluvia y caudal observado el producto esperado de la modelación hidrológica tiende también a ser de mayor calidad.

VIII. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se plantearán a continuación van dirigidas a abrir camino para continuar con la investigación sobre el tema que se ha desarrollado en el presente informe; ya que esto permitirá adquirir más conocimientos sobre lo que implica modelar una cuenca hidrográfica.

- a. Se recomienda continuar con la investigación a cuencas de la zona sur y norte del país, a fin de obtener conclusiones generalizadas.
- b. En la modelación hidrológica no sólo participa la lámina de lluvia sino también la variable evaporación (lámina de evaporación). Se recomienda, al igual como se consideró la lámina de lluvia, investigar la evaporación en relación a los resultados de la modelación con respecto a los caudales observados.
- c. En la presente investigación la variable caudal observado no ha sido analizada en sí misma. Se recomienda investigar la confiabilidad y representatividad de

dicha variable. Hay casos en el país en que los caudales observados (especialmente en cuencas pequeñas) parecen ser que pertenecen a cuencas exageradamente lluviosas y que aparentemente sobrepasan las lluvias normales y máximas observadas por la red nacional de mediciones del país. ¿Será que se necesitan más estaciones medidoras en las zonas montañosas?

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Ávalos Lingán, Roberto. (2009). Modelo AVAMODEL. Investigación del Modelaje Hidrológico. Tegucigalpa.
- Bergstrom, Sten. (1970). Modelo HBV. Hydrological Bureau Waterbalance Division. Suecia.
- Empresa Nacional de Energía Eléctrica. Organismo proporcionador de la información hidrológica
- Empresa Nacional de Energía Eléctrica. Proyecto Hidroeléctrico Uluita. Estudio Hidrológico
- Guerrero, José Luis. (2009). Calidad de la información pluviométrica y de caudales de la parte alta de la cuenca del río Choluteca. Suecia: Universidad de Uppsala.

X. ANEXOS

Cuadro 1: Ulapa. Variación del coeficiente de correlación

No. días	R
1	0.324
5	0.571
10	0.663
15	0.695
20	0.714
30	0.737

Figura 1: Ulapa. Tiempo de 1 día

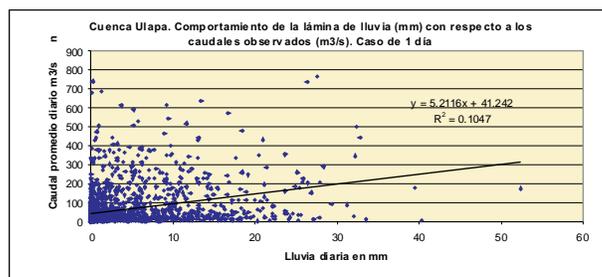


Figura 2: Ulapa. Tiempo 5 días

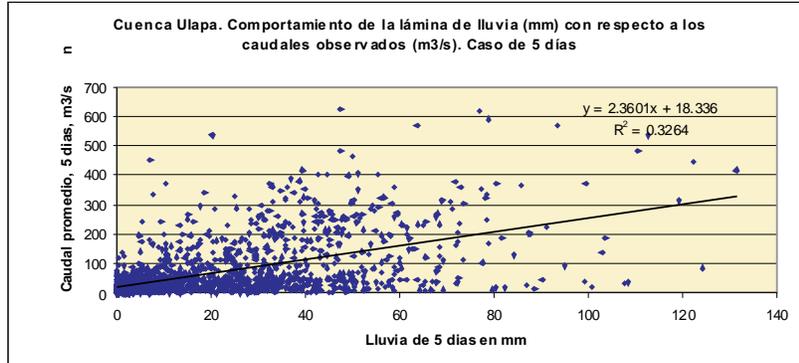


Figura 3: Ulapa. Tiempo 10 días

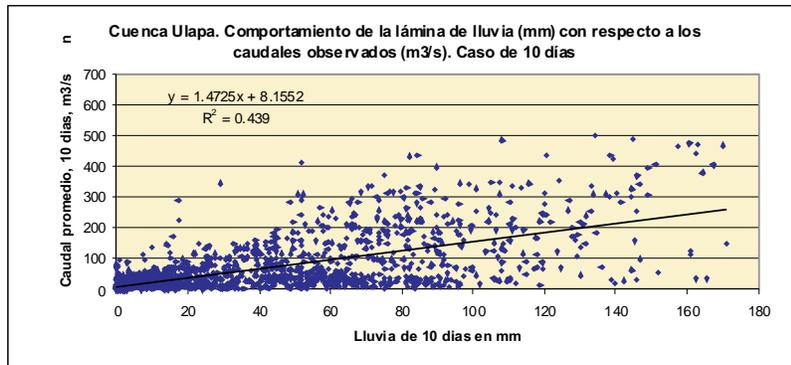


Figura 4. Ulapa. Tiempo 15 días

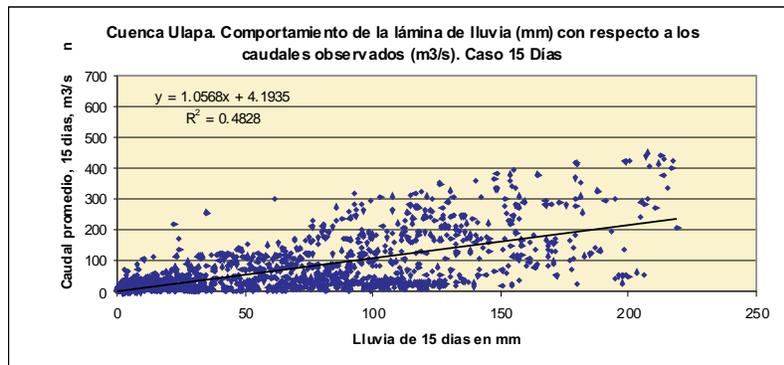


Figura 5. Ulapa. Tiempo 20 días

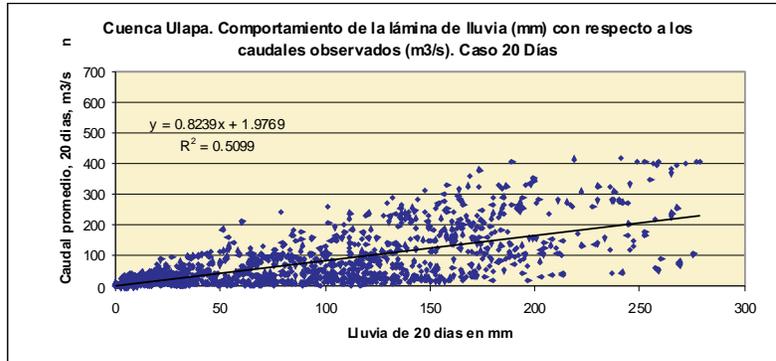
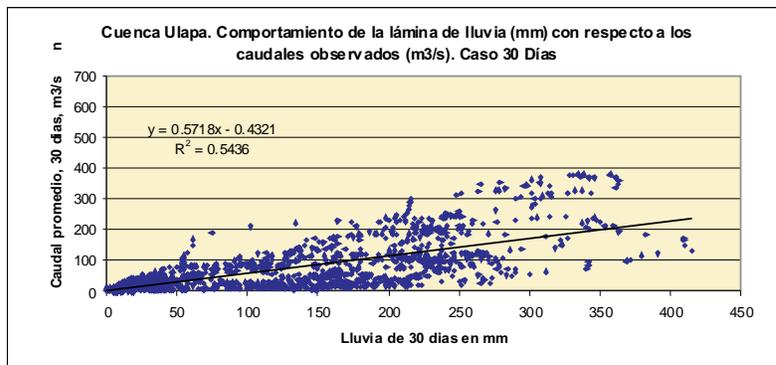


Figura 6: Ulapa. Tiempo 30 días



Cuadro 2: Corralito. Variación del coeficiente de correlación

No. días	R
1	0.537
5	0.691
10	0.740
15	0.748
20	0.747
30	0.749

Figura 7: Corralito. Tiempo 1 día

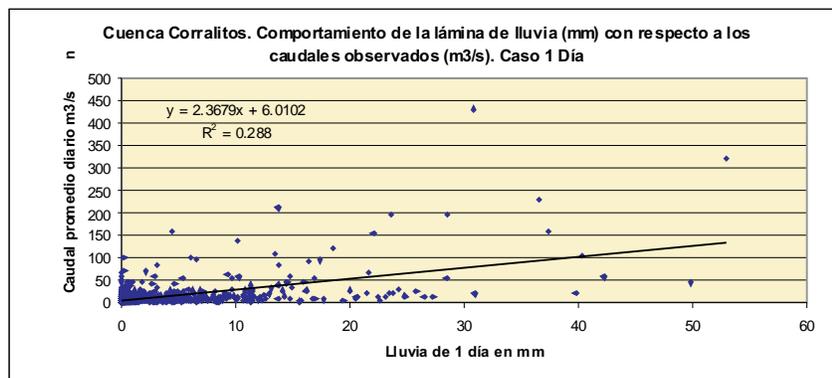


Figura 8: Corralito. Tiempo 5 días

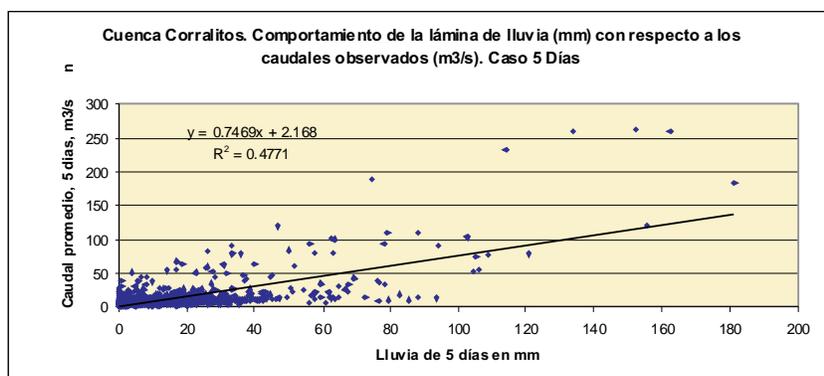


Figura 9: Corralito. Tiempo 10 días

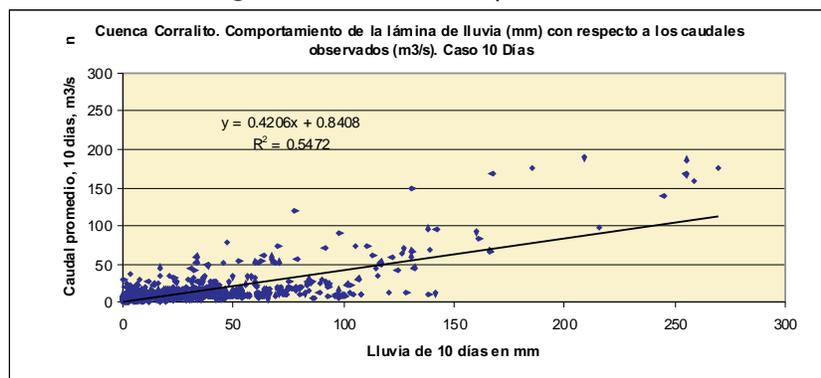


Figura 10: Corralito. Tiempo 15 días

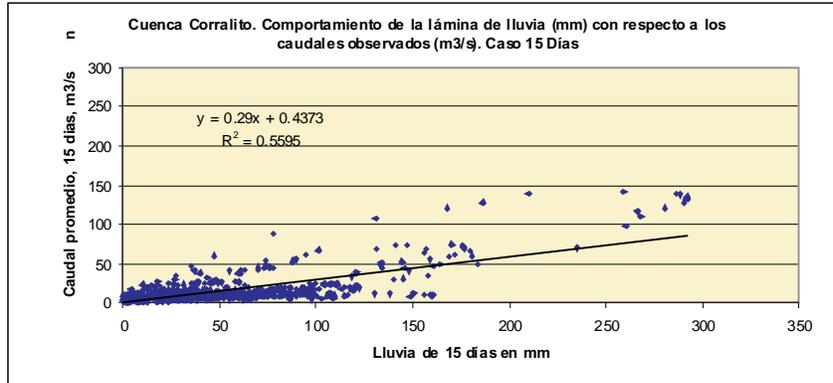


Figura 11: Corralito. Tiempo 20 días

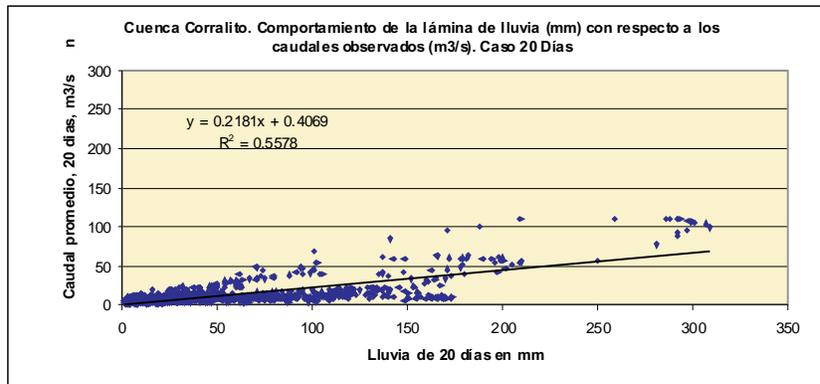
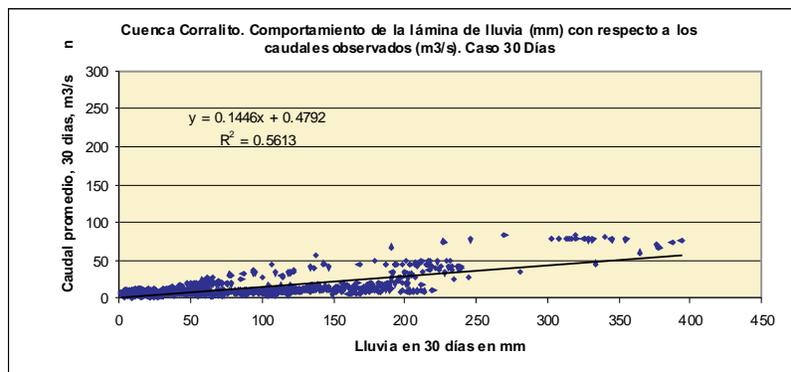


Figura 12: Corralito. Tiempo 30 días



Cuadro 3: Uluita. Variación del coeficiente de correlación

No. días	R
1	0.336
5	0.482
10	0.507
15	0.524
20	0.542
30	0.573

Figura 13: Uluita. Tiempo 1 día

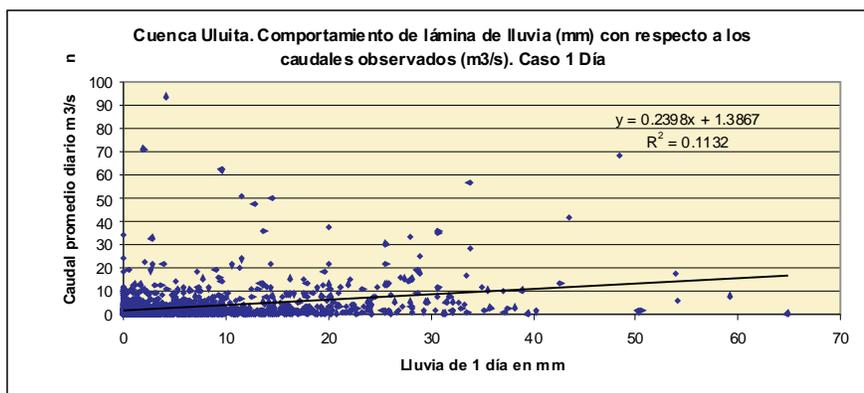


Figura 14: Uluita. Tiempo 5 días

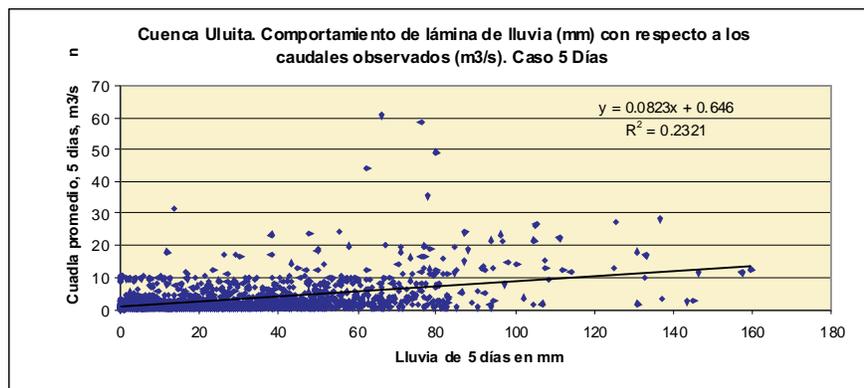


Figura 15: Uluita. Tiempo 10 días

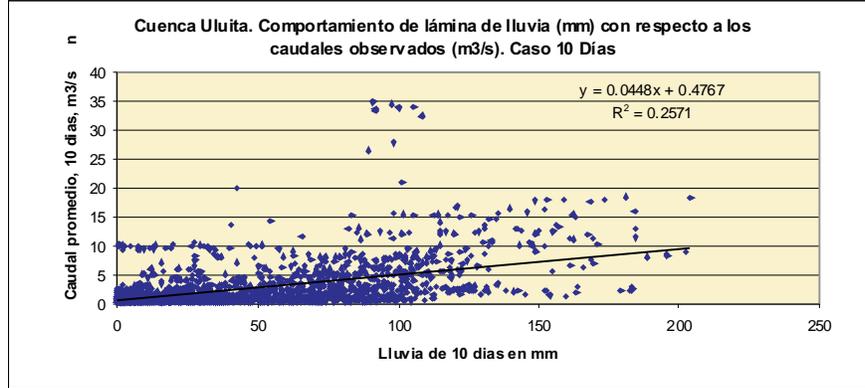


Figura 16: Uluita. Tiempo 15 días

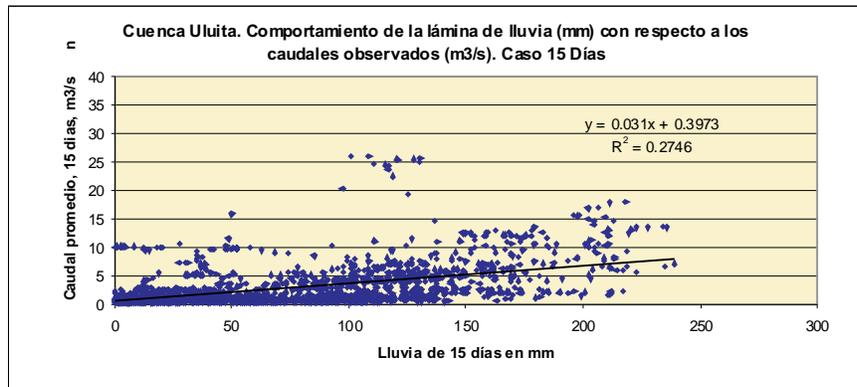


Figura 17: Uluita. Tiempo 20 días

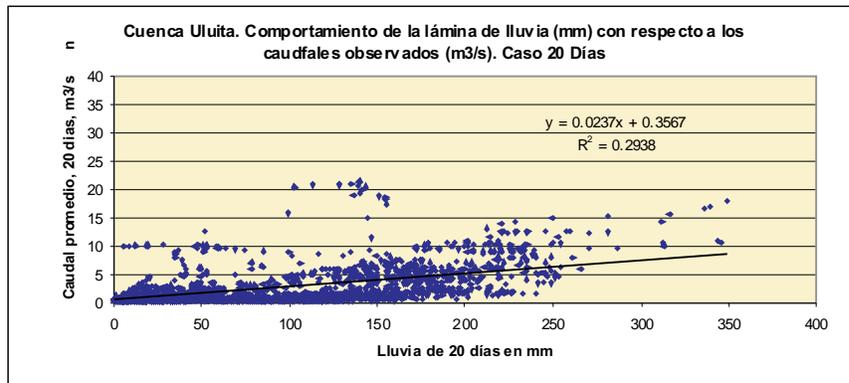


Figura 18: Uluita. Tiempo 30 días

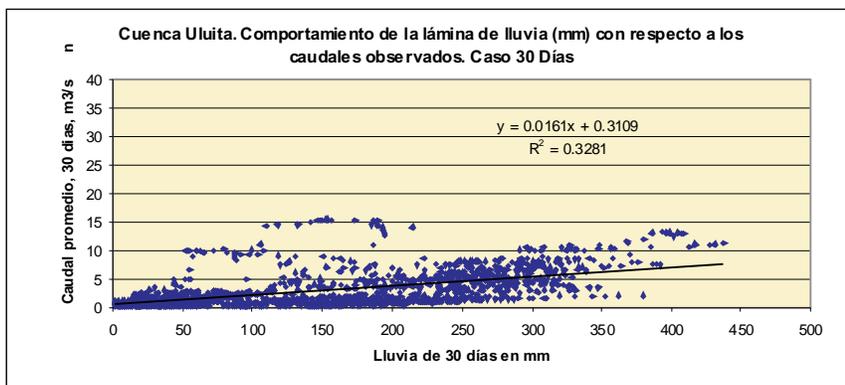


Figura 19: Comportamiento del coeficiente de correlación en función del número de días

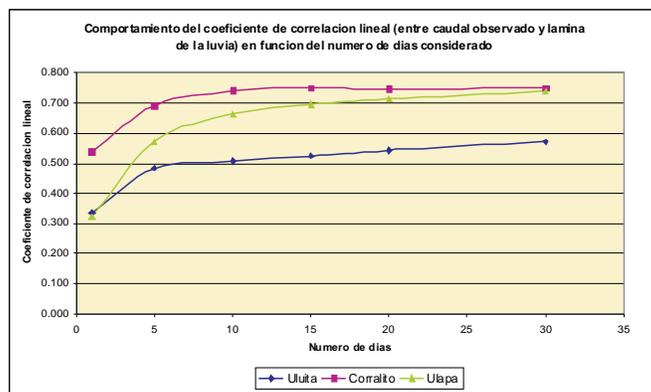


Figura 20: Cuenca Ulapa. Resultado de la Modelación

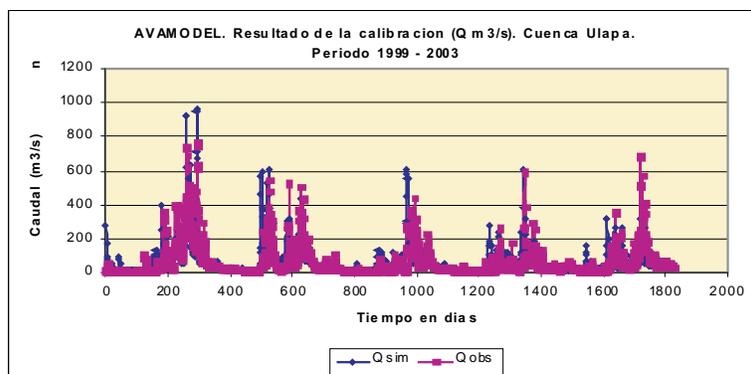


Figura 21: Cuenca Ulapa. Relación caudal observado con caudal modelado

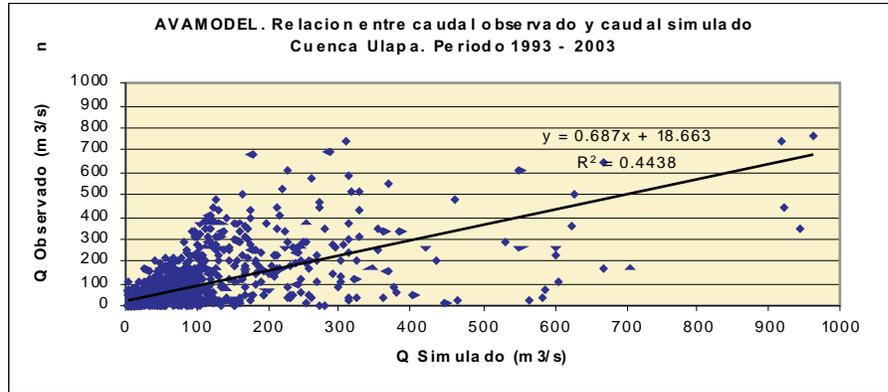


Figura 22: Cuenca Corralito. Resultado de la modelación

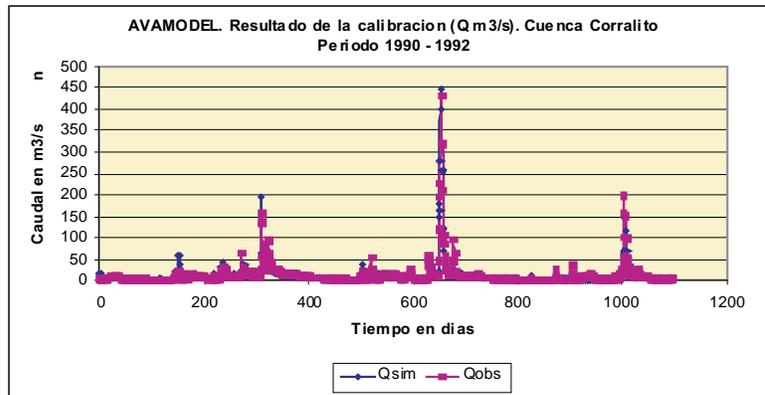


Figura 23: Cuenca Corralito. Resultado caudal observado con caudal modelado

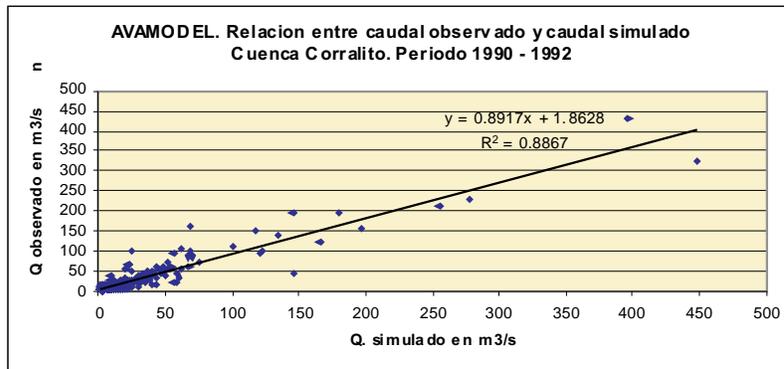


Figura 24: Cuenca Uluita. Resultado de la modelación

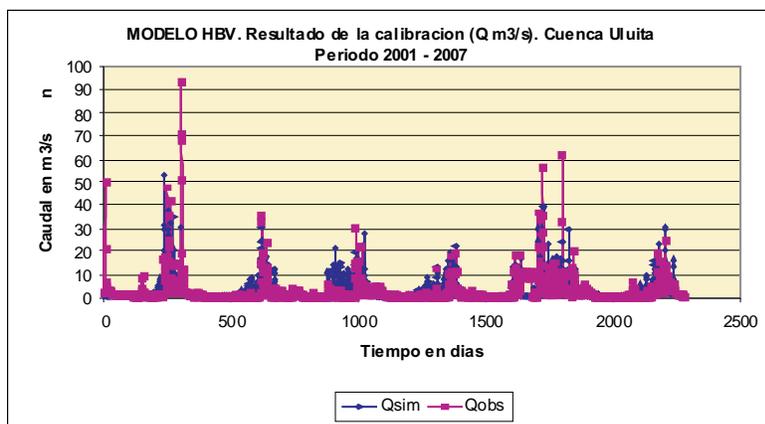
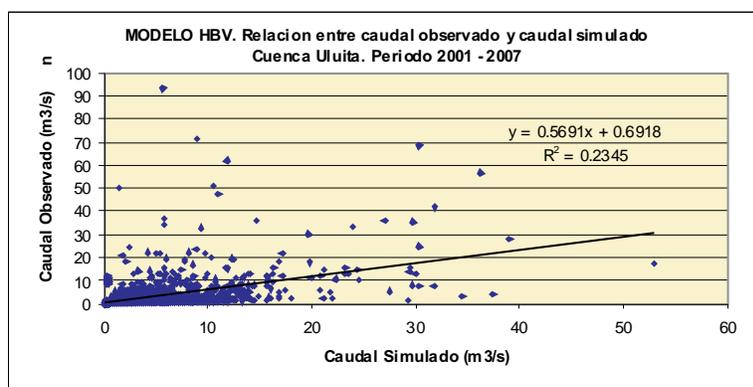


Figura 25: Cuenca Uluita. Resultado caudal observado con caudal modelado



Cuadro 4: Comportamiento de la relación (r) en función del número de días

No. días	Coeficiente de correlación lineal (r)		
	Uluita	Corralito	Ulapa
1	0.336	0.537	0.334
5	0.482	0.691	0.571
10	0.507	0.740	0.663
15	0.524	0.748	0.695
20	0.542	0.747	0.714
30	0.573	0.749	0.737

Intensidad del fondo del cielo como indicador de eyecciones coronales solares y efectos geomagnéticos

Maribel Suyapa Guerrero*, Guillermo Stemborg**, Marta Roviera***

RESUMEN

Dada la importancia del impacto de las perturbaciones de los fenómenos geoeffectivos en la magnetósfera de la Tierra y sus consecuencias sobre ella, resultan de mucho interés el estudio de todos los fenómenos solares que influyen el clima de la Tierra; en este caso las eyecciones coronales de masa solar (CME) a través de los datos del dispositivo Sky Tester del coronógrafo MICA (Mirror Coronagraph in Argentina), un telescopio solar con base en Tierra, del coronógrafo C1 de LASCO a bordo del SOHO.

En esta investigación se ha planteado una correlación entre las CME como indicador del fondo de cielo a través de las mediciones del Sky Tester que observa el brillo del cielo alrededor del disco solar o aureola, llamado halo. También se plantea la correlación entre los halos CME y los disturbios geomagnéticos por medio del índice geomagnético "K", que indica el tipo de tormentas que provocan las CME sobre la magnetósfera terrestre.

Palabras claves: *Eyecciones coronales de masa (CME), Halo, Coronógrafo, Índice K, magnetósfera, disturbios geomagnéticos*

ABSTRAC

Because of the importance of the impact of geoeffectiveshocks phenomena in Earth's magnetosphere and its impact on it, are of great interest the study of all solar phenomena that influence the Earth's climate, in this case the coronal ejections solar mass (CME) through the device data Tester Sky coronagraph MICA (Mirror coronagraph in Argentina), a solar telescope and ground-based coronagraph LASCO-C1 aboard SOHO.

* Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Facultad de Ciencias Espaciales. Escuela de Astronomía y Astrofísica. marsy3000@yahoo.com

** NASA/SOHO/LASCO INSTRUMENTS. stenburg@linpim.mgp.de

*** Instituto de Astronomía y Física del Espacio, IAFE, Argentina. rovira@iafe.uba.ar

In this research has proposed a correlation between the CME as an indicator of sky background through Sky Tester measurements observing the brightness of the sky around the solar disk called halo. We also found evidence of the correlation between the halo CME and geomagnetic disturbances through geomagnetic index "K", which indicates the type of storms that cause CMEs on the Earth's magnetosphere.

Keywords: *Coronal mass ejections (CME), Halo, Coronagraph, K Index, magnetosphere, geomagnetic disturbances*

INTRODUCCIÓN

Dada la importancia en la conexión Sol –Tierra el impacto de las perturbaciones de los fenómenos geoeffectivos en la magnetósfera de la Tierra y sus consecuencias sobre ella, resulta de mucho interés el estudio de todos los fenómenos solares que influyen el clima de nuestro planeta; en este caso el estudio de las eyecciones coronales de masa solar (CME) utilizando los datos del coronógrafo MICA (Mirror Coronagraph in Argentina), un telescopio solar con base en Tierra. Más aun con los indicios que se tienen, que con el pequeño dispositivo auxiliar Sky Tester del coronógrafo MICA se pueden predecir fenómenos solares. Aquí se trata de establecer un método que correlacione las eyecciones coronales de masa (CME) con las mediciones de ese dispositivo.

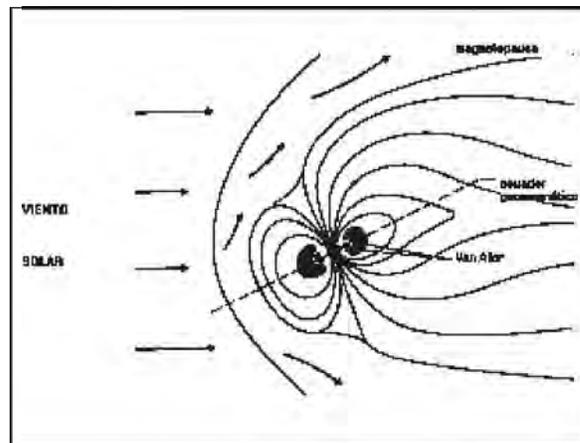
Con los sucesivos experimentos, han surgido nuevas preguntas y al mismo tiempo una mejor comprensión de la actividad solar y las CME. Es así que con el telescopio LASCO a bordo del SOHO, con su perfeccionada sensibilidad y resolución espacial, continúa esta tendencia. Se sabe que las CME se correlacionaron tempranamente con la ocurrencia de tormentas geomagnéticas (Gosling et al.1974). Estas tormentas causan diferentes clases de daños biológicos en seres humanos, animales y vegetales, sistemas de potencia, operaciones de naves espaciales, navegación aérea y líneas de conducción de petróleo, entre otros. Durante las tormentas extremas, se han visto auroras hasta en latitudes de 40. en Florida y el sur de Texas. Mientras la dinámica de estructuras eruptivas, individuales o eyectas aún no es bien conocida por medio de observaciones, parece determinante la velocidad inicial de una CME cercana al Sol para que un evento con dirección a la Tierra se convierta en una gran perturbación geomagnética.

Nuestro planeta está protegido de efectos dañinos de la radiación y del plasma caliente por la atmósfera y por una invisible cáscara magnética que desvía el plasma en el espacio; conocida como la magnetósfera. Esta es el resultado del campo magnético de la Tierra. (Ver figura 1). Una lluvia de plasma, dentro de nuestra magnetósfera, puede convertirse en tormenta magnética; o sea que perturba y penetra el campo magnético de la Tierra, comprobado con la aparición de las auroras, hasta en bajas latitudes en casos severos y extremos cualificados de acuerdo a un Índice geomagnético "K". Las tormentas se han clasificado en distintas categorías, de acuerdo al índice "K", que mide la desviación del disturbio de la componente más horizontal del campo magnético, observado sobre un magnetómetro y comparado con un día "quieto", para indicar el nivel de actividad de los tres días siguientes en tormentas magnéticas:

Tormentas	Tranquilas	Inestables	Activas	Tormentas menores	Tormentas mayores	Moderadas	Fuertes	Severas	Extremas
Índice K	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Lo antes expuesto refuerza este proyecto de investigación que presenta el análisis de dos correlaciones, una entre las CME y las mediciones que hace el coronógrafo Sky Tester por medio de la evaluación y análisis estadístico de las curvas de esas mediciones, en las que se sospechó alguna posible detección de una CME, y la otra entre las Halo CME y los disturbios en la magnetósfera de la Tierra, encontrando los índices geomagnéticos "k", que miden la desviación del campo magnético correspondientes a cada evento.

Figura 1. Campo magnético de la Tierra y Cinturón de radiación de Van Allen



METODOLOGÍA Y EQUIPO

Se realizó un conjunto de observaciones, estudios y análisis estadísticos de los datos con el fin de predecir las tormentas geomagnéticas y con el propósito de comprobar que los aumentos y caídas repentinas en la intensidad del cielo, denominados en esta investigación "Picos" medidos por el Sky Tester, son los indicadores de la ocurrencia de una CME observada en Tierra, planteada como la primera correlación. Los datos de este coronógrafo, ubicado en El Leoncito, San Juan, Argentina, correspondientes a un período de cuatro años, desde enero 1998 hasta junio 2001, en promedio unos cinco mil datos por día, fueron proporcionados

en CD por el IAFE. Con esta información se buscaron eyecciones coronales de masa, con dirección a la Tierra, en el sitio web <http://lasco-www.nrl.navy.mil/cmelist.html> de LASCO de ese período para ser estudiados; para comparar las curvas de los eventos, se revisó la página web de LASCO MPAe, que muestra esta información. Finalmente, para una mejor interpretación de las curvas, se generaron los gráficos en los software especiales para los casos con posibilidad de correlación entre CME y las observaciones del Sky Tester.

Equipo

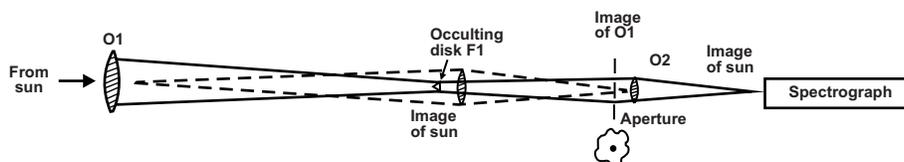
Para la concreción de los objetivos buscados se utilizaron los datos provistos por varios instrumentos:

- a) Los instrumentos auxiliares denominados Sky y Sun Tester del coronógrafo de espejo MICA (por sus siglas en inglés: Mirror Coronagraph for Argentina).
- b) El coronógrafo LASCO-C2 a bordo del Observatorio Solar y Heliosférico SOHO (por sus siglas en inglés Solar and Heliospheric Observatory).

El coronógrafo

El coronógrafo es un instrumento óptico diseñado por el astrónomo francés Bernard Lyot con el fin de observar la tenue corona solar en el rango visible del espectro de radiación, en ausencia de un eclipse solar total. Dentro del coronógrafo la imagen del Sol es eclipsada artificialmente por medio de un disco que, según la parte de la óptica donde se coloque, determinará el tipo de coronógrafo: "interno" si el disco se coloca detrás del objetivo, y "externo" si se coloca por delante. La clave de un coronógrafo es reducir al mínimo la luz dispersada dentro del instrumento. A fin de optimizar la reducción de luz dispersada dentro del instrumento, la elección del sitio donde el coronógrafo vaya a ser instalado es de fundamental importancia. Para reducir la dispersión provocada por la atmósfera terrestre, se suelen elegir lugares secos y a grandes alturas. El caso ideal es a bordo de satélites, donde los efectos ocasionados por la atmósfera terrestre desaparecen. Abajo la figura 2 muestra un coronógrafo

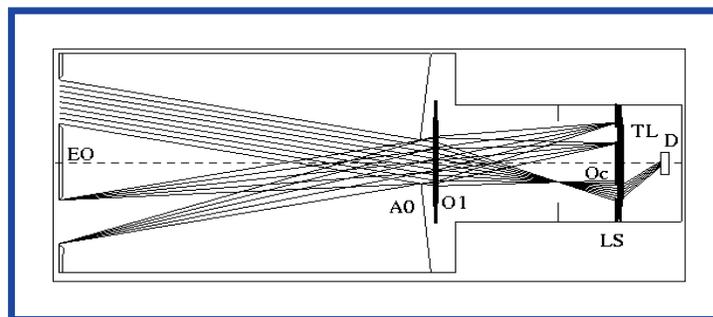
Figura 2. Coronógrafo



El MICA (Mirror Coronagraph for Argentina) es un telescopio solar con base en tierra, forma parte de un convenio de cooperación entre Argentina y Alemania. Por Argentina participan el IAFE (Instituto de Astronomía y Física del Espacio) y el OAFA (Observatorio Astronómico Félix Aguilar), por Alemania participan el MPAe (Max Planck Institute fuer Aeronomy) y el MPE (Max Planck Institute fuer Extraterrestrische Physik). El MICA actualmente se encuentra funcionando en la estación de altura Carlos Ulrico Cesco, en El Leoncito, San Juan, Argentina, a 2400 m sobre el nivel del mar a 69.30 W de longitud y 31.80S de latitud. MICA es un coronógrafo de espejo con ocultador interno. Es un Instrumento Lyot con un set completo de espejos y lentes y sistemas electrónicos y mecánicos que permiten el funcionamiento en modo automático del mismo. MICA es un coronógrafo avanzado que complementa las mediciones del LASCO. Está dedicado al estudio de eventos dinámicos en la corona solar, en la conocida línea verde coronal (línea Fe XIV a 530.3 nm), con énfasis en observaciones de fenómenos transitorios y estudios de la estructura y evolución de prominencias solares, entre otros.

El telescopio MICA tiene dos dispositivos auxiliares: el Sky Tester y el Sun Tester ubicados muy cerca del MICA; El primero observa el brillo del cielo alrededor del disco del Sol o aureola. Es muy sensible a las nubes. El SunTester mide la intensidad del disco del Sol donde el valor más alto es el brillo más intenso del disco solar. El nivel de intensidad registrado por ambos instrumentos es función de la masa de aire, así que la señal del Sun Tester en el zenit local se espera que sea baja, mientras la señal es máxima en el Sky Tester.

Figura 3. Dispositivo Sky Tester. Coronógrafo refractivo con ocultador externo.

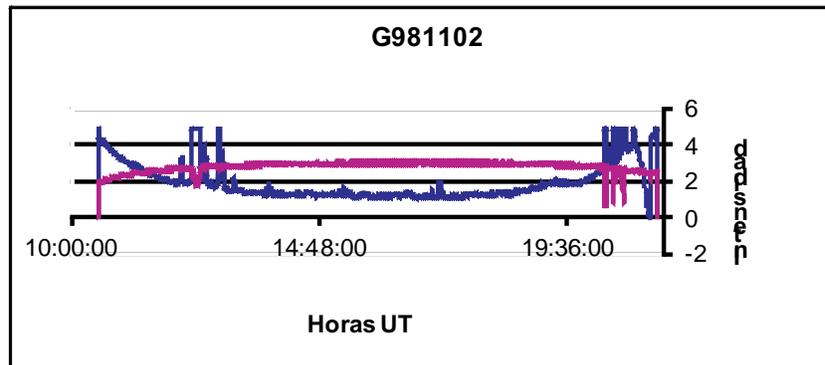


EO: Ocultador externo
A0: Apertura de entrada.
O1: Lente Objetivo
Oc: Ocultador Interno

LS: Lyot stop
TL: telelentes
D: detector (plano focal)

Las mediciones se hacen en promedio cada cinco segundos. Estos valores son usados por un software de control del telescopio que junto con la medición de la velocidad del viento, obtenida por una estación de clima automáticamente, decide si las condiciones son buenas para observar la corona solar, iniciando o parando la rutina de observación según sea el clima. La intensidad medida por los dispositivos auxiliares del telescopio MICA, Sky y Sun Tester, es medida en mili voltios que se grafican en el eje de las ordenadas y el tiempo en el eje de las abscisas. Las unidades para el tiempo son horas y minutos del tiempo universal UT (por sus siglas en inglés Universal time). Los datos se publican en forma gráfica (Ver Fig 4) en la página del telescopio MICA en internet. Los gráficos que no se encontraron en el sitio de MICA, se hicieron con un software especial.

Figura 4. Gráfico publicado por la página web del MICA.



LASCO y SOHO

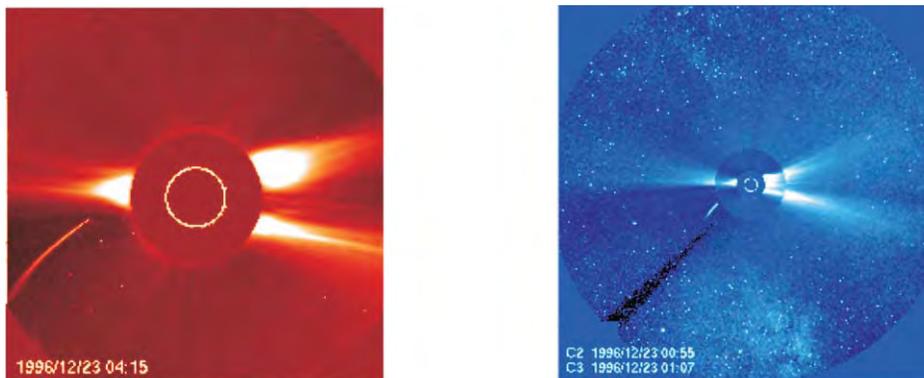
El LASCO (Large Angle and Spectrometric Coronagraph) es uno de doce instrumentos a bordo de la nave espacial SOHO, lanzada por cooperación entre la ESA y la NASA. SOHO fue lanzado el 2 de diciembre de 1995 desde el Centro Espacial Kennedy, Cabo Cañaveral, Florida.

LASCO está formado por un conjunto de tres coronógrafos que registran imágenes de la corona en luz blanca, desde 1.1 hasta 32 radios solares. (Un radio solar es aproximadamente 700,000 km., 420,000 millas ó 16 minutos de arco). LASCO incluye tres coronógrafos: el C1, C2, y C3 con campo de visión circular. El C1 es un coronógrafo reflectivo, con ocultador interno, mientras que C2 y C3 son coronógrafos con ocultador externo. Una descripción detallada de LASCO se encuentra en Brueckner et al., 1995, Solar Physics, 162, 357. LASCO y EIT proveen

a SOHO con la capacidad de fotografiar la corona solar desde su base a través de 30 radios solares. El C1 observa de 1.1 a 3 radios solares, el C2 observa de 1.5 a 6 radios solares, el C3 observa de 3.7 a 30 radios solares.

Para llevar a cabo los objetivos propuestos en esta tesis, se obtuvo de la página de LASCO la información complementaria que confirma la ocurrencia de las eyecciones coronales de masa, con datos de fecha, hora, dirección, entre otros datos. Cabe mencionar que el tiempo de duración de cada evento se calculó de los videos correspondientes. Las imágenes (Fig. 5) muestran algunos eventos observados por el coronógrafo C2 y C3.

Figura 5. Imágenes reales de la corona del Sol con fecha y hora. Del C2 de LASCO (a la izquierda): Eyecciones coronales de masa solar y un cometa pasando del C3 (derecha) eyecciones coronales de masa solar



ANÁLISIS DE DATOS E INTERPRETACIÓN

Previo al análisis de datos se hizo la lectura y organización de estos. Se continuó con un despliegue y lectura de los datos del CD en Excel. Con este arreglo se crearon varios archivos de diferente tipo, creados para hacer las aproximaciones estadísticas y gráficos respectivos.

Se buscaron en la lista de eyecciones coronales de masa (CME List)de LASCO, los eventos con dirección a la Tierra para ese período, de la que se obtuvieron 10 eventos para el año 1998, 10 para 1999, 38 para el 2000 y 41 para el 2001, haciendo un total de 99 eventos (lista1)(ver anexo A3). De estos se eliminaron 52 casos que no concuerdan con la rutina de horario de observación del MICA, quedando 47.

Obtención de rangos de tiempo para cada CME

Los rangos de tiempo de ocurrencia de los fenómenos observados por el telescopio MICA, desde enero 1998 a junio 2001, se obtuvieron de la siguiente forma: El tiempo inicial es la hora y minutos en que el coronógrafo C2 de LASCO mira por primera vez la CME. Así es que los tiempos iniciales se tomaron de la "Coronal Mass Ejection List", la cual reporta una lista de observaciones en luz blanca de los eventos más grandes de LASCO, dividida por años.

Mientras que el tiempo final de cada CME se obtuvo observando el video que corresponde a la fecha de cada evento, cocando el cursor en el video a partir de la hora de inicio del evento hasta llegar al momento en que la CME sale del campo de visión del coronógrafo C2 de LASCO, en el cual podemos apreciar el tiempo en horas y minutos que corresponde al tiempo final de la CME que nos ocupa. Se buscaron los datos dentro de cada rango de tiempo para ser analizados estadísticamente y, consecuentemente, hallar los "picos" más cercanos a la hora de ocurrencia de cada CME. Las primeras estadísticas se tomaron de los datos crudos de 40 casos de las intensidades del Sky y Sun Tester, para ser comparadas con las estadísticas finales de aproximación.

Curvas de aproximación y estadísticas

Partiendo de la colección de datos arriba mencionada, se ordenaron en tres archivos uno con los pares ordenados X e Y, en un sistema de coordenadas rectangulares, que corresponden a Tiempo e Intensidad medida por el dispositivo Sky Tester. De este formato se desprenden otros dos archivos: el de tiempo usado por el Sky Tester, que es de horas y minutos (h: m), para crear las curvas de los datos reducidas en el rango de tiempo como también las curvas de aproximación lineal. Y el otro archivo es el correspondiente a la intensidad del cielo alrededor del disco del Sol (halos). Obtenidos los rangos de tiempo (tiempo inicial – tiempo final) y las intensidades reales (Y real), medidas por el Sky Tester, se hicieron ecuaciones matemáticas, usando el programa "El Matemática", que expresan la relación entre estas dos variables por el método de mínimos cuadrados, que se utiliza para evitar juicios individuales en la construcción de cualquier curva de aproximación para ajustarse a colecciones de datos y se conoce como la mejor curva de ajuste.

Primero se calcularon las curvas para ecuaciones lineales y para ecuaciones de segundo grado, para ver la diferencia de cada una con la curva real. Al hacer las estadísticas se comprobó que la diferencia existente entre las curvas lineales con las de segundo grado es despreciable. Se continuó el análisis de datos gráficamente, se

plasmaron en todos los casos las curvas de aproximación lineales y de segundo grado, para comparar los datos reales con las tendencias ideales de las curvas de aproximación. Aunque la mejor aproximación para los datos de Sky Testees una curva exponencial, porque cuando se inicia la observación, esta parte de la curva es creciente; al final de cada observación la curva también es decreciente. Como primera aproximación se desprecia que la curva sea exponencial, entonces tomamos un rango de tiempo antes del pico y después del pico; en que el comportamiento de los valores es lineal.

En este análisis se usan ecuaciones de primer grado para aplanar este tramo de la curva de los datos reales, a los cuales se les ha calculado su promedio, mediana y desviación estándar. Se hicieron las curvas reducidas para los 47 eventos, quedando en este paso 8 CME, para hacer aún más reducido el rango de tiempo y observar la variación en la intensidad, que muestran los saltos como posibles picos.

RESULTADOS

De los aproximadamente 6.3 millones de datos obtenidos por el Sky Tester para el período estudiado, se encontraron 10 eventos para el año 1998, 10 para 1999, 38 para el 2000 y 41 para el 2001, haciendo un total de 99 eventos. De estos se eliminaron 52 casos que no concuerdan con la rutina de horario de observación del MICA, quedando 47 para ser estudiados. Para comparar las curvas de los 47 eventos, se revisó la página web de LASCO MPAe, aunque finalmente para una mejor interpretación de las curvas, siempre se generaron todos los 47 casos con posibilidad de correlación entre CME y las observaciones del Sky Tester. En la Tabla I observamos los picos encontrados numéricamente en las curvas que se analizaron primero en forma visual y después matemáticamente.

Tabla I. Eventos con "Picos" más representativos en la señal

Fecha	Intensidad del cielo (Sky Tester)	Promedio	Mediana	Desv. Estand	P+3 Desv. Estand
25/01/1998	2.10	0.0238347	0.00955706	0.0309828	0.32
06/11/1998	1.945	0.0056411	0.00421517	0.00537397	0.021
05/09/2000	1.66	0.0717459	0.0589738	0.0583165	0.0246
05/02/2001	2.60	0.000239305	0.000145813	0.000313882	0.000676

* El concepto es que si le sumamos y restamos a la media 3 veces la desviación estándar, obtenemos el intervalo en el que están contenidos el 99.9997% de los datos.

Tabla I. Resultados

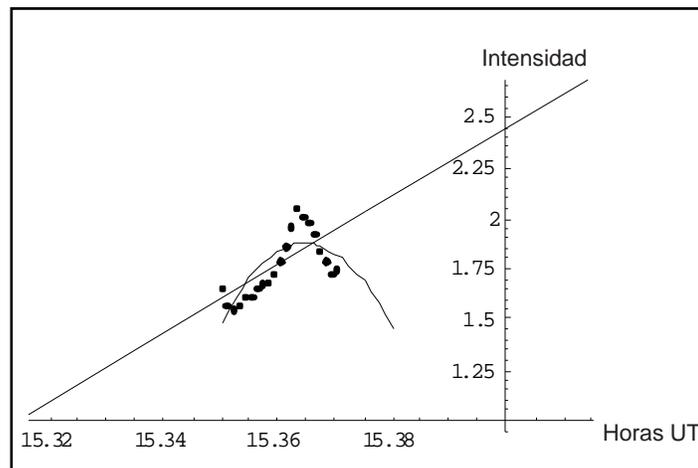
CANTIDAD DE EVENTOS ENERO '98 - JUNIO '01	COMENTARIOS
109	Con dirección a la tierra, dentro del horario de MICA
36	<ul style="list-style-type: none"> • Señal distorsionada • Ausencia de picos • 32 casos no muy definidos
4	Coinciden con la hora de la CME

De la Tabla I se puede concluir que los cuatro casos de eyecciones coronales de masa presentan: las estadísticas de la intensidad medida por el Sky Tester: donde se ve que todas las intensidades de cielo medidas por el Sky Tester son mucho mayor que el promedio más 3 veces la desviación estándar (Intensidad $i > \bar{P} + 3DSi$).

Estos datos estadísticos nos dicen que los PICOS gráficos son verdaderamente observaciones del Sky Tester de CME confirman esta propuesta la exacta coincidencia de las horas de ocurrencia de las eyecciones coronales de masa, reportadas por el C2, con los PICOS gráficos. Ver ej. siguientes:

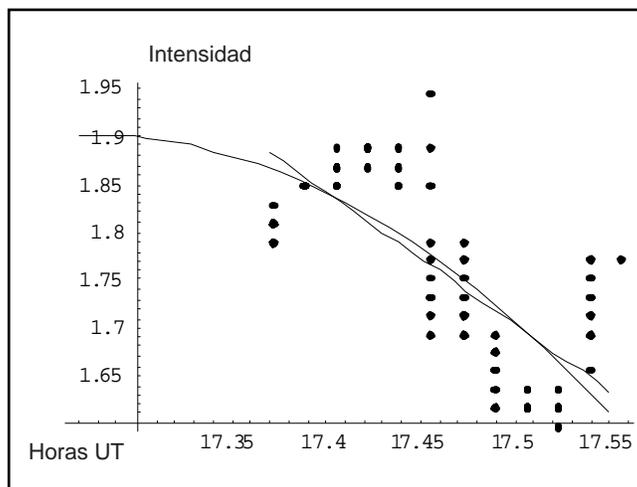
GRÁFICOS: Observaciones REALES de MICA

No. 1. Gráfico 980125



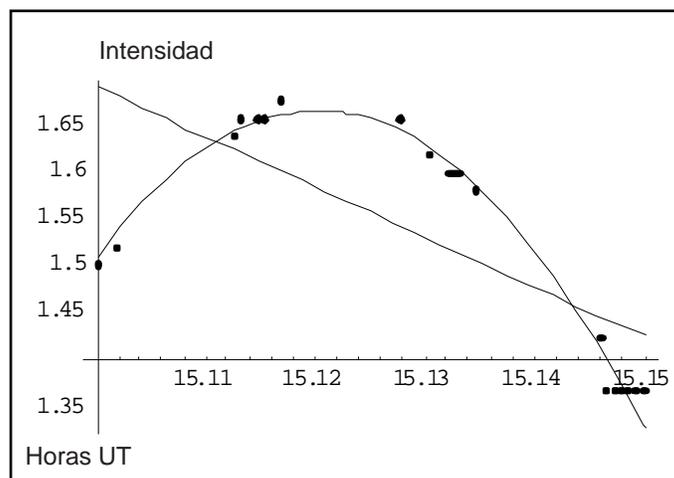
Halo CME / Pico: (15.36, 2.10)

No. 2. Gráfico 981106



CME/ Pico (17.45, 1.945)
Intensidad (mili voltios) Intensidad (mili voltios)

No. 3. Gráfico 000905



Por otra parte se sabe que el Sky Tester observa de 1.05 R.S hasta 2R.S y que el coronógrafo C2 lo hace desde 1.5 a 6 R.S, por lo que se esperaba que el Sky Tester detectara los eventos antes que el C2, pero hemos encontrado por medio del análisis gráfico que ambas observaciones son simultáneas. De los gráficos 980125, 981106, 000905 y 010205 se concluye que el Sky Tester ha detectado las CME, cuando no hay perturbaciones atmosféricas en el sitio de observación. Utilizando

como parámetros significativos la velocidad y la aceleración de las CME para documentar cada caso de las CME con dirección a la Tierra, por ejemplo vemos que la CME del 000905 presenta baja velocidad, con un frenado alto de 24m/s^2 y buenas condiciones atmosféricas, mostradas estas últimas gráficamente por el dispositivo Sun Tester. Refuerzan esta primera propuesta del proyecto, para la correlación de CME con las mediciones del Sky Tester, las distancias recorridas por las eyecciones coronales de masa encontradas a partir de su velocidad y se ha demostrado que todas están dentro del rango de observación del Sky Tester:

$$34,813.25\text{km} < D < 661,451.75 \text{ km.}$$

Cálculo del rango de distancia:

Sabemos que $1 \text{ R.S} = 696,265\text{km}$

Se toma el 5% dado por el Sky Tester, (de 1.05 R.S) = $34,813.25 \text{ km.}$

$$696,265 \text{ km} - 34,813.25 \text{ km} = 661,451.75 \text{ km.}$$

Otro factor importante en esta propuesta son las estadísticas de los datos crudos producidos por el Sky Tester (Tabla 1) demostrando que los picos gráficos del Sky Tester representan un salto repentino en la intensidad del cielo alrededor del disco que ha sido detectado por el coronógrafo Sky Tester, pero que observa menos de 12 horas diarias. Con la primera investigación del estudio de los datos antes mencionados se asume una posible correlación entre las observaciones del Sky Tester y los Halo CME, la cual puede ser confirmada con un estudio más detallado.

Tabla III. Resumen Índices "K"

No.	FECHA	FENÓMENO	(d/h/min), Índice "K"
1	25/01/1998	HALO PARCIAL	28/20:30, K=7, tormenta fuerte
2	11/05/1998	HALO PARCIAL	314/25:24, K=8, tormenta severa
3	02/11/1998	HALO PARCIAL	307/10:27, K=7, tormenta fuerte
4	06/11/1998	HALO PARCIAL	314/25:24, K=9, tormenta extrema
5	11/03/199	HALO PARCIAL	74/03:58, K=10, tormenta extrema
6	18/02/2000	FULL HALO	52/17:30, K=10, tormenta extrema
7	06/04/2000	HALO PARCIAL	96/02:45, K=9, tormenta extrema
8	16/06/2000	HALO PARCIAL	171/02:05, K=7, tormenta fuerte
9	05/09/2000	HALO PARCIAL	251/10:27, K=9, tormenta extrema
10	25/10/2000	FULL HALO	302/12:22, K=10, tormenta extrema
11	02/11/2000	HALO	307/14:49, K=7, tormenta fuerte
12	09/02/2000	HALO	43/17:04, K=10, tormenta extrema
13	10/02/2000	HALO	44/16:37, K=10, tormenta extrema
14	14/02/2000	FULL HALO	90/20:00, K=10, tormenta fuerte
15	14/04/2000	HALO PARCIAL	44/16:37, K=10, tormenta extrema

Por otra parte, de la Tabla III la segunda correlación entre Halos CME y disturbios geomagnéticos se ha encontrado a partir del índice "k", que indica la máxima desviación del disturbio, del componente más horizontal del campo magnético de la Tierra. En la tabla II podemos observar que los casos sobresalientes en este estudio son todos halos parciales que produjeron tres categorías de tormentas: fuertes, severas y extremas, con índices "K" = 7, 9, 10. En ninguno de los casos estudiados se observaron tormentas menores con índice "k"=5, ni tormentas moderadas con índice "K"=6, ambas de menor impacto en la magnetósfera de la Tierra.

En resumen, lo antes mencionado nos da los primeros indicios de que la segunda hipótesis planteada sobre la correlación entre los HALO -CME y los disturbios geomagnéticos, están correlacionados dentro de la primera etapa de esta investigación. Estos primeros indicios se pueden confirmar igual que la primera correlación, con una investigación más detallada.

DISCUSIÓN

Con esta investigación, por un lado, se han cimentado los indicios de una posible correlación de eyecciones coronales de masa con las observaciones de Sky tester ya que los cuatro eventos más representativos arrojan magníficos datos estadísticos individuales, que no son suficientes para los 109 CME con dirección a la Tierra analizados; lo contrario hubiera sido si el resultado fuese al menos un tercio con esas estadísticas. En los resultados obtenidos en la correlación entre halos CME y disturbios geomagnéticos se ve que todos estos eventos produjeron tormentas magnéticas fuertes, severas y extremas con el índice geomagnético "K" de alerta, algo ya conocido y esperado.

CONCLUSIONES

La importancia de la física solar en los efectos sobre la Tierra mantiene abiertas amplias expectativas en la investigación de ese campo, con los resultados encontrados en esta tesis no se ha llegado a establecer conclusiones específicas en cuanto a las correlaciones buscadas; de las tablas resumen vemos que la mayor parte de datos se obtuvieron entre el año 2000 y 2001, o sea la época del último máximo de actividad solar, del ciclo de 11 años que también presentó baja actividad aunque se incrementó débilmente respecto a 1989. Aun así de 99 eventos se eliminaron 52 casos que no concuerdan con la rutina de horario de observación del MICA, quedando 47 en estudio.

Cabe la hipótesis: puede ser que estos 52 eventos llegaron a la Tierra durante la noche, consecuentemente no pudieron ser observados por el telescopio solar MICA en Argentina, que tiene las limitantes de todos los telescopios con base en tierra.

Por lo que se sugiere continuar la investigación para confirmar la hipótesis, durante otras épocas de máxima actividad del Sol, en los que ocurre una gran cantidad de CME que se convierten en tormentas geomagnéticas. Porque vemos después del análisis que los aproximados 8 millones de datos de cuatro años, durante el día solar, no son suficientes, debido a que el día solar aparente (Sol sobre el horizonte) es de corta duración en esa latitud de San Juan en Argentina. Por lo tanto se necesitan muchos más datos de observación para análisis estadístico y técnico tendientes a una mejor evidencia de las correlaciones buscadas para el telescopio solar MICA.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Investigación Científica (DICU) de la UNAH y su cuerpo técnico, por el apoyo a los trabajos de investigación dentro de la Astrofísica Solar y Clima espacial, colaborando de esta manera con el crecimiento de este complejo y maravilloso campo del conocimiento en Honduras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chen James,(2000), Coronal Mass Ejections, causes and consequences, Geophysical
Howard, R. A et Al, , Journal of Geophysical Research (ISSN 0148-0227), Vol
90,1985 Sept. 1,p. 8173-8191.
http://lasco-www.nrl.navy.mil/about_lasco.html
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/descriptions/mission/english/>
http://star.mpae.gwdg.de/mica/mica_home.htm
<http://www.sec.noaa.gov/weekly/weekly97.html>
<http://Star.mpae.gwdg.de/mica/theinstrument/MICA-A.pdf>
http://www.sec.noaa.gov/ftplib/list/hpi/power_1999.txt
Hundhausen, A. J, coronal mass ejections in cosmic winds and the heliosphere, eds.
J.R. Jokipii et al., Arizona, Tucson, in press, 1996.
Hundhausen, A. 1999. The many faces of the sun: summary of the results from NASA's
Solar Maximum Mission. Edited by Keith T. Strong, Julia L.R. Saba, Bernard M.
Haisch, and Joan T. Schmelz. New York : Springer, 1999., p.143.
Koomen, M.J. et Al. 1978, Applied Optics, Volume 17, Issue 15, August 1, 1978,

Producción de bioetanol a partir del mucilago de café (*Coffea arabica*. L). CURC. UNAH. Comayagua. Honduras. 2011

Mario Renan Funes Caballero*

Carlos Luis Banegas, Hamsy Maradiaga Gonzales, Melsar Enoc Osorio Rivera,
Nelson Daniel Henríquez Flores, Néstor Eloy, Nicolás Mejía**

RESUMEN

La obtención de bioetanol a partir del mucilago de café, el cual es un producto de desecho que es arrojado a corrientes de agua, sin tratamiento alguno, ya que el productor no cuenta con alternativas de uso, causando graves problemas de contaminación. El estudio detalla acerca del aprovechamiento de mucilago generado durante el proceso de beneficiado del fruto, siendo los lugares de estudio La Libertad, en el Departamento de Comayagua y Marcala, en el Departamento de La Paz. Los dos métodos de fermentación utilizado son: en el método controlado se inocularon tres muestras, cada una con diferentes grados brix de 2000 mililitros de mucilago+2%Peso/Peso, 2000 mililitros de mucilago+4%Peso/Peso y 2000 mililitros de mucilago+6%Peso/Peso de *Saccharomyces cerevisiae* y el método no controlado sin inoculación de levadura, en el cual se utilizaron tres muestras de 2000 mililitros con diferentes grados Brix. Para cada uno de los métodos se destilaron 800 mililitros haciendo dos repeticiones de cada una de las muestras.

Los análisis realizados demuestran que existen factores que influyen para obtener rendimientos satisfactorios: la altura, concentración de azúcar, beneficiado del café y métodos de inoculación, entre otros. Con esto también se pretende sensibilizar a instituciones involucradas en la extensión rural y a los productores de café, en la implementación del bioetanol como fuente de energía alterna, como combustible de automóviles y otros usos de beneficio humano, y al mismo tiempo dar respuesta al problema ambiental que representan las aguas mieles de café (mucilago) en las distintas zonas de nuestro país.

Palabras Clave: *Mucilago, bioetanol, aprovechamiento de residuos de café*

ABSTRACT

* Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Centro Universitario Regional de Comayagua (CURC).
Ingeniero Agrónomo. funescaballero@yahoo.com

** Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Centro Universitario Regional de Comayagua (CURC).
Ingenieros Agroindustriales. www.wix.com/curcunah/cure

Getting ethanol from coffee mucilage, which is a waste product that is thrown into running water, without treatment, because the producer has no alternative use, causing serious pollution problems. The study details about the use of mucilage produced during the milling process of the fruit, being the study sites in La Libertad, Comayagua Department and Marcala, La Paz Department. The two fermentation methods used are: in the controlled method were inoculated three samples, each with different brix degrees of 2000 milliliters of mucilage +2% Weight / Weight, 2000 ml of mucilage +4% weight / weight and 2000 ml of mucilage +6% Weight / Weight of *Saccharomyces cerevisiae* and the method controlled without inoculation of yeast, which were used in three samples of 2000 milliliters with different Brix degrees. For each of the methods 800 milliliters were distilled doing two repetitions of each of the samples.

The analysis shows that there are factors that influence to obtain satisfactory yields: height, concentration of sugar, coffee processing and inoculation methods, among others. This also aims to raise institutions involved in rural extension and coffee producers in the implementation of bioethanol as alternative energy source as fuel for cars and other uses of human benefit, while responding to the environmental problem representing the wastewater of coffee (mucilage) in different parts of our country.

Key words: *Mucilage, bioethanol, use of coffee's waste.*

INTRODUCCIÓN

El mucílago de café está constituido por el mesocarpio del fruto y representa el 15-20% del peso del grano fresco; el café uva maduro presenta una composición física tal que los granos representan el 20% del fruto, el proceso de despulpado genera un 80% de rechazo que es tirado por los caficultores a las quebradas y pequeños riachuelos, todos los años, generando contaminación a las fuentes y la desaparición de especies acuáticas. El mucilago de café se puede utilizar para producir bioetanol, es un medio completo conteniendo sus características elementales. El principio activo del mucilago del café son los grados Brix, que son los que actúan en el proceso de fermentación en el cual los carbohidratos son transformados en azúcares simples por medio de la levadura del genero *Saccharomyces*, que lo convierten en etanol pasando luego por el proceso de destilado y así obtener bioetanol como producto final.

La investigación es la contribución en la producción de biocombustible, obtenida a partir de mucilago de café, debido a que existe una debilidad respecto a la falta de investigación en esta área. Estos resultados podrán aplicarse al producto de desecho de café en las diferentes zonas de nuestro país. Como resultado de este estudio se ha comprobado que la altitud de los lugares es un potencial para producir bioetanol.

Si bien es cierto que la producción de bioetanol en nuestro país apenas comienza a dar frutos, se puede empezar a implementar los conocimientos adquiridos y desarrollar tecnologías que puedan hacer de nuestro país más competitivo y contribuir de esta manera a la conservación del medio ambiente, dando alternativas que se manifiesten en el desarrollo, así como la generación de biocombustibles que puedan de alguna manera ser una alternativa de combustibles fósiles. La producción de bioetanol beneficiará a todos los productores de las zonas cafetaleras ya que en el proceso de beneficiado del café, los residuos no están siendo aprovechados, especialmente el mucilago, siendo este un factor de alto grado de contaminación al medio ambiente de nuestro país.

OBJETIVOS

Evaluar el desempeño y productividad del proceso de fermentación anaeróbica más efectiva para la obtención de bioetanol, utilizando el método controlado y el no controlado, y los factores que influyen en el rendimiento y la reducción de la contaminación mediante la utilización adecuada del mucilago de café.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de la materia prima

El mucílago fresco fue recolectado en cuatro beneficios: La Soledad, ubicado en la aldea Nueva Esperanza, Hernández, aldea Valle Bonito y La Cidra, aldea La Cidra; los beneficios pertenecen a La Libertad, Comayagua, Honduras. Las zonas cafetaleras están ubicadas a una altitud que oscila entre los 800 a 1500 msnm. El cuatro beneficio Sogimex que se encuentra ubicado en Choacapa, Chinacla, La Paz, Honduras. La zona se encuentra a una altitud de 1250 a 1300 msnm.

Las muestras en los beneficios se obtuvieron al inicio de la cosecha. El cual difiere en el momento de mayor volumen de cosecha y a la madurez del fruto. Mientras mayor sea la altitud en la que se encuentre sembrado el café, mayor es el contenido de azúcares en el fruto del café y por ende mayor es la cantidad de mucílago presente en el fruto.

Diseño Experimental

El estudio fue establecido en el laboratorio de Ingeniería agroindustrial. CURC. UNAH, mediante un diseño de bloques completamente al azar (BCA) con dos repeticiones. Los datos recolectados para las distintas variables fueron sometidos a un análisis de varianza (ANAVA, $p < 0.05$) utilizando el paquete estadístico Infostat versión 2010 de la Universidad de Córdoba. Argentina.

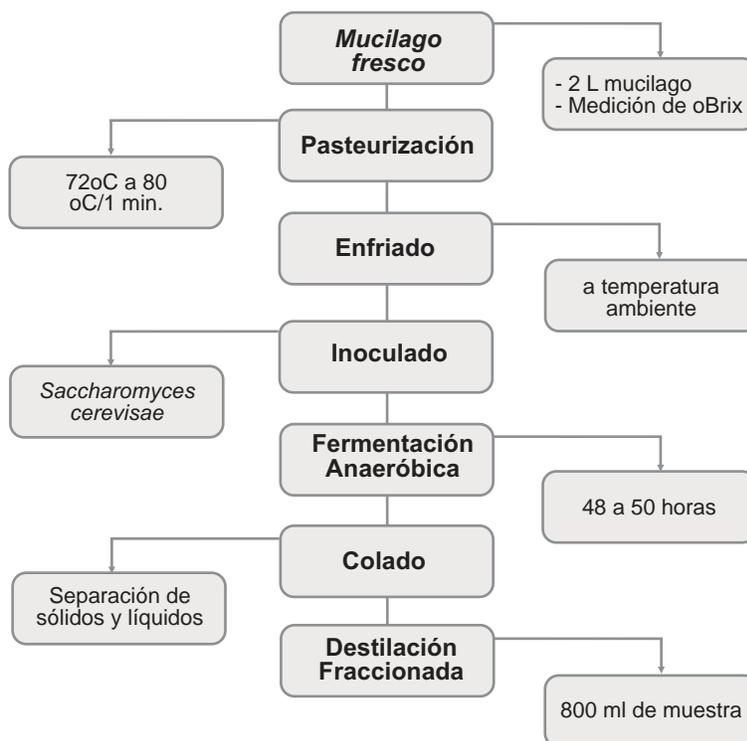
VARIABLES A EVALUAR

Porcentaje y densidad del etanol en los procesos de fermentación controlada y no controlada. Los promedios fueron sometidos a una prueba de Duncan, la cual nos permite definir si las diferencias son significativas o no ($p < 0,05$). Se empleó el programa MS Excel 2010, para realizar graficas.

Para el proceso de fermentación controlada

Se utilizaron dos litros de mucílago fresco diluido por cada tratamiento, sumando un total de seis litros de mucílago del beneficio Sogimex. En el proceso de pasteurización se inoculó con un 2%, 4%, y 6% de levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Se presenta el siguiente diagrama:

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de fermentación, método controlado. Laboratorio de Ingeniería Agroindustrial. CURC. UNAH. Comayagua. Honduras. 2011



Fermentación anaeróbica controlada

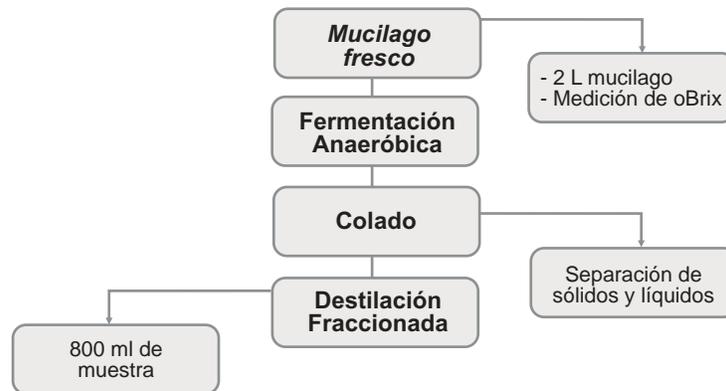
La fermentación es un proceso en el cual se llevan a cabo cambios químicos en un sustrato orgánico, ya sea en hidrato de carbono, proteína, o grasa. Estos cambios se llevan a cabo por catalizadores bioquímicos conocidos como enzimas, que son elaboradas por tipos específicos de microorganismos vivos. El método de fermentación anaeróbica controlada consiste en primera instancia del pesado inicial del producto, para luego llevar a cabo el proceso de pasteurización de 72 a 80 °C por un periodo de un minuto, para eliminar microorganismos antagónicos, posteriormente se deja enfriar el producto a temperatura ambiente y una vez efectuado esto, se inocula con levaduras *Saccharomyces cerevisiae* previamente activadas para la preparación del inoculo; se pesa la levadura en 2, 4 y 6 % Peso/Peso por separado, luego se disuelve en agua tibia y se le adiciona inmediatamente al mucílago pasteurizado. Finalmente, se deja el mucílago en

proceso de fermentación anaeróbica. Para la destilación fraccionada se toman 800 mililitros de muestra previamente colada, el proceso de colado del producto fermentado reduce el tiempo de volatilización del etanol al momento de la destilación debido a que en ella no hay presencia de sólidos pesados, los cuales dificultan el proceso de evaporación. En la pasteurización no se deben rebasar los 80 °C, con el fin de evitar que el producto se caramelicé por efecto del contenido de azúcares bajo un proceso de alta temperatura; es necesario mantener el rango de temperatura para eliminar la mayor cantidad posible de microorganismos. Una vez enfriado el producto, la levadura se debe activar con agua tibia y posteriormente diluirla en el mucilago previamente pasteurizado. Es importante monitorear frecuentemente el tiempo de fermentación, ya que ésta puede ser lenta o rápida, dependiendo de la agilización de los agentes descomponedores y del medio ácido en que se encuentren.

Proceso de fermentación no controlado

Se utilizaron dos litros de mucilago de cada beneficio de la zona de La Libertad, Comayagua, sumando 6 litros de mucilago en total. Para este método no se empleó el proceso de pasteurización, ni de inoculación, siendo así un proceso de fermentación natural, mismo que se administró a partir del diagrama de flujo presentado en la Figura 2. Una vez fermentado el producto (esto puede variar de acuerdo a la zona o a la diferencia de tratamientos respecto al contenido de grado Brix del mucilago), se realizó la destilación fraccionada en el laboratorio del Centro Universitario Regional del Centro (CURC). Por cada tratamiento se utilizaron 800 mililitros de producto fermentado para la destilación, con 2 repeticiones por cada tratamiento. Este principio de destilación fraccionada aplica tanto para el método de fermentación anaeróbica controlada como la de fermentación no controlada.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de fermentación, método no controlado. CURC. UNAH. Comayagua. Honduras. 2011



Fermentación anaeróbica no controlada

En el método no controlado, se midieron los grados Brix del mucilago, se deja fermentar el producto en ausencia de oxígeno sin pasteurizar. El tiempo de fermentación varía dependiendo de los grados Brix del mucilago. Una vez logrado esto, se realiza la destilación fraccionada tomando 2 repeticiones de 800 mililitros de muestra para cada beneficio, debe estar previamente colada.

Es importante considerar que el mucilago a recolectar debe ser fresco y con mayor contenido de azúcares. En el método no controlado puede variar, pudiendo ser más lento por no estar inoculado con levaduras en su proceso de fermentación. Si no se observa la salida de CO₂ en el proceso de fermentación, el producto está listo para destilar. En el principio de la fermentación bajo condiciones anaeróbicas, la glucosa es convertida en etanol y dióxido de carbono (CO₂) mediante el fenómeno denominado glucólisis en el ciclo de fermentación.

Proceso de destilación fraccionada

Después de haber fermentado el producto con el método controlado y no controlado (natural) y previamente colado, se procedió a realizar la destilación fraccionada.

- a. Antes de llevar el producto fermentado en el balón, se realizó una separación de sólidos y líquidos por medio de un colado. El producto a fermentar en líquido será más fácil de evaporarse al momento de la destilación, sin la presencia de sólidos pesados.
- b. Se colocó una primera muestra de 800 mililitros de producto fermentado en un balón de destilación.
- c. Se calentó muy suavemente el contenido del balón de destilación y se mantuvo así hasta que llegó a los 75 °C, sin dejar que pasara de los 80 °C.
- d. Posteriormente se recolectó el líquido destilado entre 75 a 80 °C.
- e. Se repitieron los pasos anteriores para las demás muestras a destilar, tomando nuevamente 800 mililitros de muestra, logrando así las dos repeticiones por cada tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Destilación fraccionada del método controlado

En el cuadro 1 se muestran las variables que son efecto de las diferentes concentraciones de *Saccharomyces Cerevisae* de donde se obtuvieron los

siguientes resultados:

Cuadro 1. Densidad, porcentaje de etanol, brix y volumen de etanol. Resultado de método y mediciones controladas. CURC. UNAH. Comayagua. Honduras. 2011.

Muestras (Tratamientos)	Densidad (gr/ml)	% de etanol	Brix	Vol / etanol (ml)
800 ml de mucilago con 6% de levadura	0.857 a	0.175 a	6.0	1.4
800 ml de mucilago con 4% de levadura	0.811 ab	0.075 b	5.0	0.6
800 ml de mucilago con 2% de levadura	0.751 b	0.10 b	5.5	0.8

Análisis de la densidad del alcohol etílico obtenido

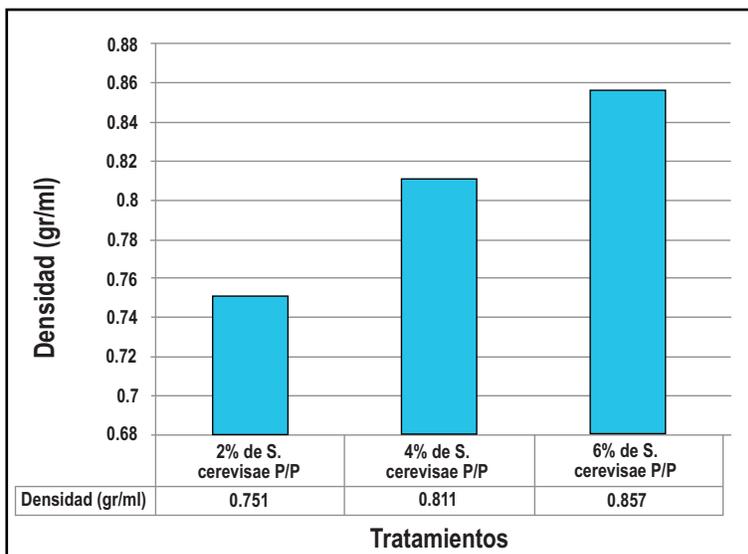
En la gráfica 1 se observan los resultados de los tres tratamientos inoculados con levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

Con 800 mililitros de mucilago inoculado con levadura al 6%Peso/Peso se obtuvo un leve aumento, con respecto a la densidad del etanol de 0.857gr/ml, en comparación con 800 mililitros de mucilago inoculado con levadura al 4%Peso/Peso, que fue de 0.811gr/ml.

Sin embargo, con 800 mililitros de mucilago inoculado con levadura al 2%Peso/Peso la densidad fue de 0.751gr/ml, siendo el tratamiento inoculado con levadura al 4% Peso/Peso el que más se acercó a la densidad real del etanol, siendo ésta de 0,795gr/ml.

Finalmente, entre las medias de la densidad de etanol obtenido hay diferencia significativa a que los tres tratamientos no presentan un mismo comportamiento, según los rangos múltiples de la prueba de Duncan.

Gráfico 1. Densidad del etanol de tres diferentes concentraciones de levadura con respecto a peso/peso. CURC-UNAH. Comayagua. Honduras. 2011

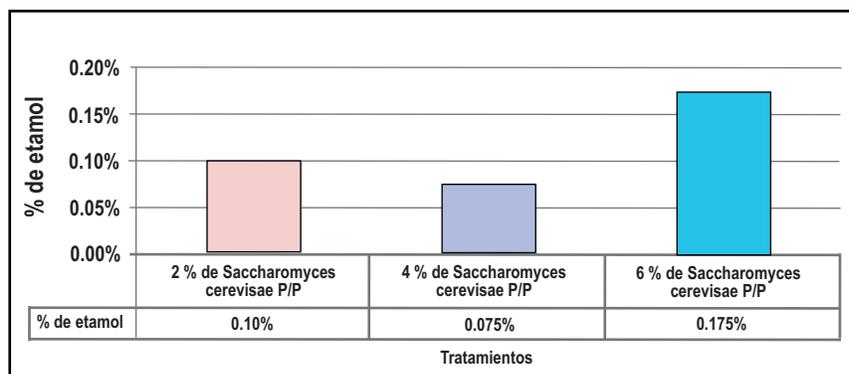


El resultado de las densidades altas en cada una de las medias de los tratamientos con respecto a la densidad real del etanol difiere significativamente. Como lo demuestran estos análisis, debido a que el mucílago fresco estaba diluido con agua y esto provocó que el contenido de azúcares disminuya. Por haber poca glucosa, el proceso del fermentado por medio de la glucólisis produce poco alcohol. Al momento de realizar la destilación fraccionada se comienza a evaporar agua y se volatiliza el etanol, y éstos al mezclarse comienzan a equilibrar sus densidades del agua. Los mejores resultados se obtienen cuando se utiliza mucílago fresco y puro, sin diluir.

Análisis del porcentaje de etanol obtenido

En el gráfico 2 " puede observar que en el tratamiento con 6%Peso/Peso de levadura se obtuvo 0.175% de etanol, mientras que en el tratamiento de 2%Peso/Peso de levadura el porcentaje fue 0.1% y en el tratamiento de 4%Peso/Peso de levadura se obtuvo un porcentaje de 0.075% a partir de 800 mililitros de mucílago destilados para cada uno de los tratamientos. Esto significa que de 800 mililitros de muestra destilada se obtiene un rango de 1.4 a 0.8 mililitros de alcohol etílico, lo cual traducido a 1,000 litros de mucílago diluido se obtendrían en promedio 1.166 litros de etanol. Sin embargo, si el mucílago es fresco y puro, sin diluir, el resultado de obtener alcohol etílico sería siete veces mayor.

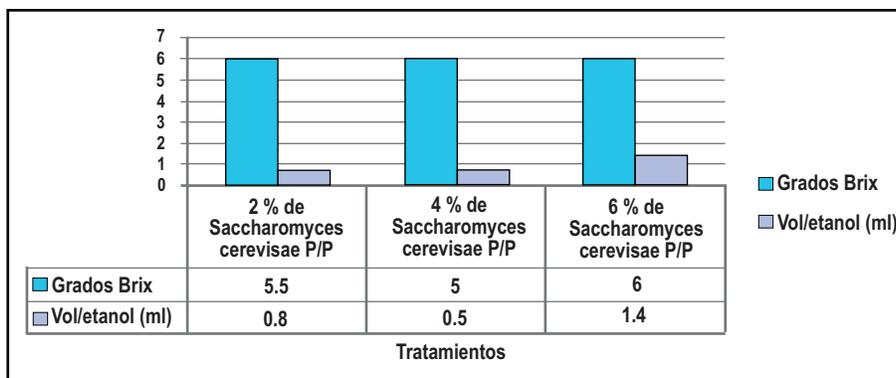
Gráfico 2. Porcentaje de etanol obtenido en 800 mililitros de muestra destilada. CURC. UNAH. Comayagua. Honduras. 2011



Relación de grados Brix con el porcentaje de etanol obtenido. Método controlado

En el gráfico 3 se observa que por cada 2 grados Brix se obtiene un 1% de alcohol etílico. En el tratamiento con 6% Peso/Peso de levadura encontramos que el mucilago contiene 6.0 grados Brix y que nuestra producción de etanol sería técnicamente de 3.0%. Por otro lado, para el tratamiento con 2% Peso/Peso de levadura, que presenta 5.5 grados brix, a producción de etanol sería de 2.75%, y para el tratamiento con 4%Peso/Peso la llevadura tiene 5.0 grados brix y la producción de etanol sería de 2.5%. Los tres tratamientos con levadura fueron inoculados en 2 litros de mucilago fresco diluido.

Gráfico 3. Efecto de grados Brix del mucilago fresco con respecto al porcentaje de etanol obtenido en 800 mililitros de muestra. Método Controlado. CURC. UNAH. Comayagua. Honduras. 2011



El beneficio Sogimex, que se encuentra a una altitud que oscila entre 1924 a 2006 msnm y cuya relación de grados Brix de las muestras son: Para el tratamiento con 6%Peso/Peso de levadura tenía 6.0 grados Brix, mientras que el tratamiento con 2%Peso/Peso de levadura tenía 5.5 grados Brix y el tratamiento con 4%Peso/Peso de levadura tenía 5.0 grados Brix, siendo estas cantidades de grados Brix no recomendables para la producción de bioetanol ya que tiene que ser mayor de 8 grados Brix para obtener mejores rendimientos en la producción. Otra variable importante que determina el porcentaje de etanol es qué tan diluido se encuentre el mucilago, ya que al momento del proceso de despulpado el mucilago tiende a mezclarse con el agua, lo que ocasiona que la concentración de grados Brix del mucilago disminuya.

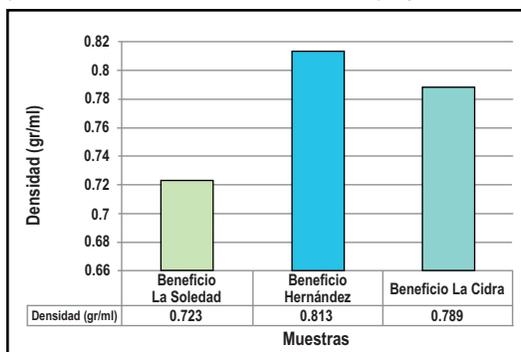
Destilación fraccionada del método no controlado

En el cuadro 2 se representan los mismos parámetros aplicados en el método controlado, únicamente diferenciado por las inoculaciones y pasteurización no aplicada a estas muestras. Y se detalla las variables a discutir que son de los tres diferentes Beneficios: Beneficio La Soledad, Beneficio Hernández y Beneficio La Cidra, ubicados en la zona de La Libertad, Comayagua en donde se calcularon cada uno de estos por separado.

Análisis de la densidad del alcohol etílico obtenido

En el gráfico 4 se muestran los resultados de las densidades de los tres diferentes beneficios, siendo la densidad del Beneficio Hernández de 0,813gr/ml mientras que la del Beneficio La Cidra es 0,789gr/ml y la del Beneficio La Soledad de 0,712gr/ml, siendo la muestra del Beneficio La Cidra la que más se acercó a la densidad real del etanol que es de 0,795gr/ml.

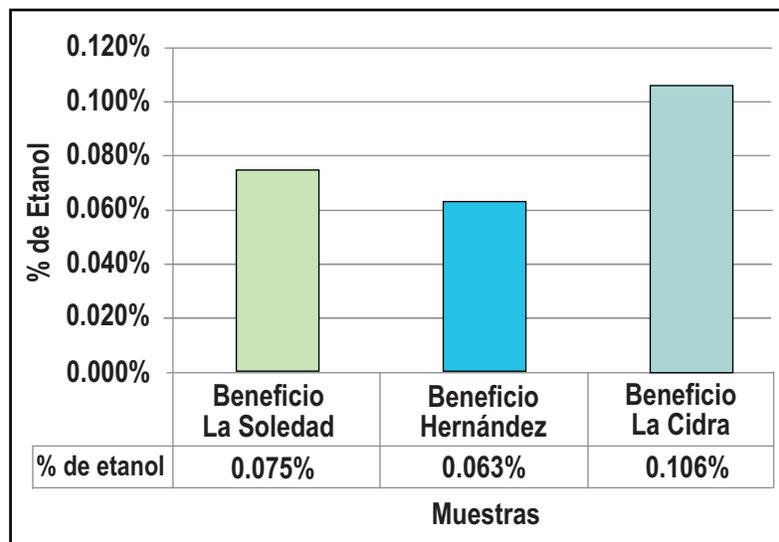
Gráfico 4. Densidad del etanol de tres diferentes Beneficios: La Soledad, Hernández y La Cidra. CURC. UNAH. Comayagua. Honduras. 2011



Análisis del porcentaje de etanol obtenido

Los porcentajes de alcohol etílico obtenidos en los tres diferentes Beneficios son: Beneficio La Cidra 0.106%, mientras que en el Beneficio La Soledad es 0.075% y en el Beneficio Hernández es de 0.063%. En este tratamiento no se utilizaron cultivos de *Saccharomyces cerevisiae*. (Gráfico 5).

Gráfico 5. Porcentaje de etanol obtenido en 800 mililitros de muestra destilada. CURC. UNAH. Comayagua. Honduras. 2011

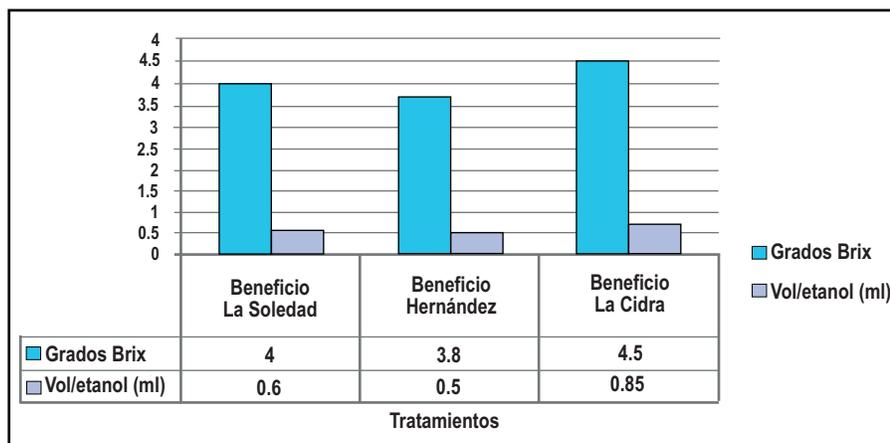


Relación de grados Brix con el porcentaje de etanol obtenido. Método no controlado

Según el gráfico 6, por cada 2 grados Brix se obtiene un 1% de alcohol etílico. En la muestra del Beneficio La Soledad se encontró que el mucilago contenía 4.0 grados Brix y que nuestra producción de etanol sería técnicamente de 2.0%.

Por otro lado, para el caso del Beneficio Hernández, que presenta 3.8 grados Brix, la producción de etanol sería de 1.9%, y para el caso del Beneficio La Cidra, que tiene 4.5 grados Brix, la producción de etanol sería de 2.25%.

Gráfico 6. Efecto de grados Brix del mucilago fresco con respecto al porcentaje de etanol obtenido en 800 mililitros de muestra, método no controlado. CURC. UNAH. Comayagua. Honduras. 2011.



Los lugares en estudio presentan las siguientes producciones: en la zona de La Libertad se producen 110,852 quintales oro por el periodo y, conociendo datos, para obtener un quintal oro se necesitan 5.7 quintales de café uva. En las zonas en estudio se han implementado los beneficios ecológicos, dicha clasificación se basa en el consumo de agua que cada uno de estos gasta y dentro del intervalo conocido se maneja 180–250 litros de agua consumida por qq oro (IHCAFE 2011). Tomando como punto de partida esta información se calcula que la materia prima disponible para tal situación planteada será: 110,852 qq oro X 250 litros de agua = 27,713,000 litros de agua con mucilago. De las cuales, según los datos del IHCAFE, el 60% del rechazo representa mucilago y el otro 40% es pulpa, con lo que la materia prima disponible sería: 27,713,000 litros de agua con mucilago X 60% = 16,627,800 litros de mucilago. Se obtendrían 20,784.75 litros de etanol (5,530.8 galones) por temporada ya que de cada 1000 litros de mucilago se obtendrían 1.25 litros de etanol.

En la zona de Macala se producen 54,912.28 qq oro durante la temporada y tomando en cuenta la relación arriba descrita de café uva y oro, por lo tanto se tiene que: 54,912.28 qq oro X 250 litros de agua = 13,728,070 litros de agua con mucilago. Y de acuerdo a los datos proporcionados por el ihcafe en relación al porcentaje de mucilago comprendido en las aguas mieles de detalla: 13,728,070 litros de agua con mucilago X 60% = 8,236,842 litros de mucilago. Por lo que el volumen de etanol producido durante la temporada constaría de 10,296.05 litros (2,739.8 galones).

CONCLUSIONES

- Es posible obtener bioetanol en proporciones mayores si se cuenta con un equipo que requiera menos agua en el despulpado del café para recolectar mucílago más puro.
- Los productores no se ven interesados en implementar esta clase de tecnologías, ya que no cuentan con los medios suficientes y les es más factible producir abonos orgánicos del mucílago y otros subproductos del café.
- Si se llegara a producir bioetanol, el método más factible para la obtención es utilizando el método de fermentación controlado inoculado con *Saccharomyces cerevisiae* al 2%, 4% y 6%.
- La altura de las zonas y el tiempo de recolección de las muestras influyen en la producción de bioetanol, ya que a mayor altura sobre el nivel del mar y en plena cosecha del café, mejor será la materia prima y la concentración de azúcares que ayudarán a la fermentación.
- Es importante recordar que el bioetanol emite igual (o muy similar) cantidad de CO₂ que los combustibles fósiles y si bien uno de sus beneficios es ser un recurso renovable, el verdadero incentivo en su uso está en el balance global de CO₂, pues las plantas necesarias para producir bioetanol consumen más CO₂ del que emite el bioetanol producido. Desde el punto de vista energético aun se debate si su balance es favorable o desfavorable.
- El proceso resulta barato dado que la materia prima no tiene hasta ahora un valor comercial (producto de desecho) y los insumos son de fácil acceso, por lo que resultaría atractivo a la industria comparado con el etanol de caña de azúcar.
- El control de temperatura influye gradualmente en el proceso de la destilación fraccionada, ya que a temperaturas inferiores a 70 °C se destila metanol, y por arriba de los 70 °C se destila etanol, considerando que la temperatura de ebullición del etanol es de 78°C.

RECOMENDACIONES

- Es necesario dar mayor importancia a los procesos investigativos, facilitando laboratorios y asignando personal encargado de llevar a cabo análisis que se requieran en cualquier estudio. Así mismo contar con los instrumentos, equipo, material e instalaciones necesarios para desarrollar trabajos eficientes con resultados más claros.
- Se recomienda hacer destilaciones para la obtención de bioetanol con mucílago inoculado ya que éste dará mejores resultados.
- Es importante tomar en cuenta la época de recolección del mucílago pues éste es

mejor cuando el grano está en óptimo estado de maduración, por lo que se recomiendan los meses de noviembre a enero.

- Se recomienda seguir realizando futuras investigaciones con respecto a las diferentes materias vegetales de desecho que tengan potencialidad para producir los alcoholes y reducir los contaminantes del planeta.
- Para lograr una producción a nivel industrial se deberían construir plantas pilotos en diferentes zonas en donde existan asociaciones de productores o beneficios grandes, para obtener mucho mucílago y así obtener etanol.

BIBLIOGRAFÍA

ADECAFEH (Asociación de Exportadores de Café de Honduras). 2005. Origen del café (en línea). Tegucigalpa, HN. Consultado el: 4 de septiembre del 2011.

Disponible en <http://www.mayanet.hn/adecafeh/elgrano.htm>

Chan, Y. 2006. Industrialización de alimentos, frutas y vegetales. Guácimo, CR, en línea. <http://www.UniversidadEARTH.com>

Fessenden, R. J.; Fessenden, J. S. 1982. Química orgánica, 2. ed. México, D.F. Iberoamericana. 1075 p.

IHCAFE. (Instituto Hondureño del Café). 2001. Manual de Caficultura. Instituto Hondureño del café. Tegucigalpa. M.D.C. 203 p.

INFOCOOP (Instituto Nacional de Fomento Cooperativo, CR). 2006. Café Cooperativa. Palmares. Consultado el: 26 de septiembre del 2011. Disponible en:

<http://infocoop.bankoi.com/costaricacoop/tev/estandar/pag.php?id=130>

Pérez Fonseca, K.; Molina Villalobos, K. 2005. Una alternativa de desarrollo local sostenible: Asociación Agroecoturística de la Argentina de Pocora, Limón, Costa Rica. *In* Congreso Internacional de Casos Exitosos de Desarrollo Sostenible del Trópico (1, 2005, Veracruz, MX). [Memorias] (en línea). Veracruz, MX, Universidad de Veracruz. Consultado el 26 de septiembre del 2011. Disponible en

<http://www.uv.mx/CITRO/reunion/acrobat/E1PDF13.pdf#search=%22%22Una%20alternativa%20de%20desarrollo%20local%20sostenible%22%22>

Producción de bioetanol, biogás y biofertilizantes a partir de los desechos del beneficiado del café en Marcala. La experiencia de COMSA Honduras, Consultado 26 sep. 2011. Disponible en:

<http://www.snvla.org/mm/file/HN%20SNV05%20%20Bioetanol%20v7%20Centroamerica.pdf>



Notas
Informativas

CONVOCATORIA

Especial para Análisis e Interpretación de Bases de Datos

Instituto Nacional de Estadística, INE Observatorio de la Violencia, IUDPAS, UNAH

TEMAS

- Territorio**
 - Climatología
 - Medio ambiente
 - Uso del suelo
 - Silvicultura
 - Servicios públicos
- Salud**
 - Salud reproductiva
 - Morbilidad
 - Nutrición
 - Adolescentes embarazadas
- Pobreza**
 - Necesidades básicas insatisfechas
 - Línea de pobreza
 - Población que vive con menos de \$1 diario
 - Metodologías para medir la pobreza
- Mercado Laboral**
 - Mercado laboral
 - Desempleo
 - Trabajo juvenil
 - Trabajo infantil
 - Desempleo
- Violencia**
 - Homicidios
 - Lesiones
 - Suicidios

UNAH

Fecha límite de postulación
15 de Junio de 2012

Para mayor información:
www.unah.edu.hn
Bar click en Investigación

Contacto
Dirección de Investigación Científica
Departamento de Proyectos de Investigación
Edif. Fl. 3er. piso, cubículo 301, Tel (504) 2231-0678
Edwin Medina, investigacionunah.proyectos.em@gmail.com
Jorge Amador, investigacionunah.proyectos.ja@gmail.com
Javier Sanchez, investigacionunah.proyectos.js@gmail.com

CONVOCATORIA para Postular **Proyectos** de Investigación **Financiados** con **BECAS** de **INVESTIGACIÓN**

Becas Sustantivas de Investigación

Becas para docentes egresados de postgrado

Becas Básicas de Investigación

Becas para estudiantes de postgrado

Becas para estudiantes de grado

Fecha límite de postulación
15 de junio,
2012

Para mayor información:
www.unah.edu.hn
Dar click en Investigación

 **UNAH**


Contacto
Dirección de Investigación Científica
Departamento de Proyectos de Investigación
Edif. FI, 3er. piso, cubículo 301, Tel (504) 2231-0678
Edwin Medina, investigacionunah.proyectos.em@gmail.com
Jorge Amador, investigacionunah.proyectos.ja@gmail.com
Javier Sánchez, investigacionunah.proyectos.js@gmail.com

CONVOCATORIA A PARTICIPAR EN EL RECONOCIMIENTO BIENAL DE LA UNAH A LA EXCELENCIA EN LA INVESTIGACIÓN

FECHA DE PRESENTACIÓN:

Los informes finales de las investigaciones deben ser entregados en la Dirección de Investigación Científica a más tardar el viernes 18 de mayo a las 3:00 p.m.

LUGAR DE PRESENTACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN:

Dirección de Investigación Científica, Edificio F1, 3er. piso, Cubículo 301, Teléfono: 2231-0678, o Ext. 151.

CONTACTO EN LA DIRECCIÓN

Departamento de Política de Investigación
KARLA FLORES, investigacionunah.politica.kf@gmail.com

La Universidad Nacional Autónoma de Honduras convoca a sus investigadores a presentar sus trabajos de investigación cuyos resultados hayan sido obtenidos en los últimos dos años (entre abril 2010 y marzo 2012).

El objetivo es reconocer, incentivar y potenciar la investigación de calidad realizada en la UNAH y estimular la continuidad del trabajo investigativo.

Este es un reconocimiento bienal, que se iniciará a partir del año 2012 y se entregará en dos categorías:

1. Excelencia en la investigación orientada a mejorar la calidad de vida de la población del país o de la región centroamericana.
2. Excelencia en la investigación orientada a contribuir al desarrollo de la ciencia y la tecnología.



UNAH



DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

UNAH

CURSO **GESTIÓN DE LA** **INVESTIGACIÓN** **2012**

Información
Dirección de Investigación Científica
Edificio F1 (4A), 3er. piso,
Cubículo 301, Tel: 2231-0678
investigacionunah.encuentros.
fm@gmail.com

Viernes
29 de junio
"Sala Alfred Binet"

Inscripción
Profesores e investigadores UNAH:
7 horas Lps. 100.00
14 horas Lps. 200.00
Profesionales de otras universidades
7 horas Lps. 500.00
14 horas Lps. 1,000.00

Edificio F1 (antes Edif. 4A)
Cuarto piso
8:00 a.m - 5:00 p.m

CRITERIOS PARA LA PUBLICACIÓN EN LA REVISTA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

De los requisitos generales:

1. Doble espacio en todo el artículo, letra Arial Narrow, tamaño 12.
2. Inicie cada sección o componente del artículo después de donde terminó el anterior.
3. El artículo debe contener como mínimo:
 - Página del título
 - Resumen y palabras clave (en español e inglés)
 - Texto
 - Agradecimientos académicos y técnicos
 - Referencias bibliográficas
 - Tablas (en páginas por separado) y leyendas.
4. La estructura del artículo y el peso porcentual de sus componentes serán los siguientes:
 - Título y autores en una página
 - Resumen y palabras clave en una página
 - Introducción 5% - 10%
 - Métodos y técnicas 5% - 10%
 - Análisis o Desarrollo del tema 70% (dividirlo en tres o cuatro capítulos)
 - Conclusiones 5% - 10%
 - Bibliografía 5%
5. La extensión total de los artículo tendrá un máximo de 17 páginas, a doble espacio.
6. Tamaño de ilustraciones, no debe superar las 4´x 5´ pulg.
7. Incluya las autorizaciones para la reproducción de material anteriormente publicado o para la utilización de ilustraciones que puedan identificar a personas.
8. Adjunte la cesión de los derechos de autor y formularios pertinentes.
9. El texto del artículo se mecanografiará o imprimirá en papel blanco (8,5´x 11 pulgadas), con márgenes de 2 cm., a cada lado (superior, inferior, derecho e izquierdo). El papel se escribirá a una sola cara.
10. Las páginas se numeran consecutivamente comenzando por el título. El número de página de ubicará en el ángulo inferior derecho de cada página.
11. La copia en soporte electrónico (en disquete, chip o correo electrónico); debe tener las siguientes consideraciones:
 - Cerciorarse de que se ha incluido una versión del manuscrito en el disquete.
 - Incluir en el disquete solamente la versión última del manuscrito.
 - Especificar claramente el nombre del archivo.
 - Etiquetar el disquete con el formato y nombre del fichero.
 - Facilitar la información sobre el software y hardware utilizado.

De los requisitos del Artículo:

1. La página del título contendrá:

- El título del artículo, que debe ser conciso pero informativo. Su objeto es dar a conocer al lector el contenido esencial del artículo. No debe sobrecargarse con información. Debe ser corto (no exceder de 15 palabras).
- El nombre de cada uno de los autores, acompañados de su grado académico más alto y su afiliación institucional.
- El nombre del departamento o departamentos e institución o instituciones a los que se debe atribuir el trabajo.
- El nombre, email, teléfono o extensión (si es UNAH) y la dirección del autor responsable de la correspondencia.
- El nombre y la dirección de autor al que pueden solicitarse separatas, o aviso de que los autores no las proporcionarán.

2. Autoría, para concederte a alguien el crédito de autor, hay que basarse únicamente en su contribución esencial en lo que se refiere a:

- a. La concepción y el diseño del estudio, recogida de los datos, o el análisis y la interpretación de los mismos;
- b. La redacción del artículo o la revisión crítica de una parte sustancial de su contenido intelectual; y
- c. La aprobación final de la versión que será publicada.

Los requisitos anteriores tendrán que cumplirse simultáneamente. La participación exclusivamente en la obtención de fondos o en la recogida de datos o la supervisión general del grupo de investigación no justifica la autoría.

3. Resumen y Palabras Clave, la segunda página incluirá un resumen (entre las 150 y 250). En él se indicarán los objetivos del estudio, los procedimientos básicos (la selección de los sujetos de estudio o de los animales de laboratorio, los métodos de observación y analíticos), los resultados más destacados (mediante la presentación de datos concretos y, de ser posible, de su significación estadística), y las principales conclusiones. Se hará hincapié en aquellos aspectos del estudio o de las observaciones que resulten más novedosos o de mayor importancia. Tras el resumen los autores deberán presentar e identificar como tales, de 3 a 10 palabras clave que facilita el indizado del artículo y se publicarán junto con el resumen (versión en español e inglés de ambos).

4. Introducción. Se indicará el propósito del artículo y se realizará de forma resumida una justificación del estudio. En esta sección del artículo, únicamente, se incluirán las referencias bibliográficas estrictamente necesarias y no se incluirán datos o

conclusiones del trabajo. La introducción debe explicar la finalidad del artículo. Los autores deben aclarar qué partes del artículo representan contribuciones propias y cuales corresponden a aportes de otros investigadores.

5. Método. Puede organizarse en cinco áreas:

- a. Diseño: se describe el diseño del experimento (aleatorio, controlado, casos y controles, ensayo clínico, prospectivo, etc.)
- b. Población sobre la que se ha hecho el estudio. Describe el marco de la muestra y cómo se ha hecho su selección.
- c. Entorno: indica dónde se ha hecho el estudio (escuela, comunidades, hospitales, campos agrícolas, etc.)
- d. Intervenciones: se describen las técnicas, tratamientos (utilizar nombres genéricos siempre), mediciones y unidades, pruebas piloto, aparatos y tecnología, etc.)
- e. Análisis estadístico: señala los métodos estadísticos utilizados y cómo se han analizados los datos.

Describa con claridad la forma como fueron seleccionados los sujetos sometidos a observación o participantes en los experimentos (pacientes o animales de laboratorio, también los controles). Indique la edad, sexo y otras características destacadas de los sujetos. Dado que en las investigaciones la relevancia del empleo de datos con la edad, sexo o raza puede resultar ambiguo, cuando se incluyan en un estudio debería justificarse su utilización.

Se indicará con claridad cómo y porqué se realizó el estudio de una manera determinada. Se ha de especificar cuidadosamente el significado de los términos utilizados y detallar de forma exacta como se recogieron los datos (por ejemplo, qué expresiones se incluyen en la encuesta, si se trata de un cuestionario autoadministrado o la recogida se realizó por otras personas, etc.).

Describa los métodos, aparataje (facilite el nombre del fabricante y su dirección entre paréntesis) y procedimientos empleados con el suficiente grado de detalle para que otros investigadores puedan reproducirlos resultados. Se ofrecerá referencias de los métodos acreditados entre ellos los estadísticos; se darán referencias y breves descripciones de los métodos que aunque se hallen duplicados no sean ampliamente conocidos; se describirán los métodos nuevos o sometidos o modificaciones sustanciales, razonando su utilización y evaluando sus limitaciones.

Identifique con precisión todos los fármacos y sustancias químicas utilizadas, incluya los nombres genéricos, dosis y vías de administración. En los ensayos clínicos aleatorios se aportará información sobre los principales elementos del estudio, entre ellos el protocolo (población a estudio, intervenciones o exposiciones, resultados y razonamiento del análisis

estadístico), la asignación de las intervenciones (métodos de distribución aleatoria, de ocultamiento en la asignación a los grupos de tratamiento), y el método de enmascaramiento.

Cuando se trate de artículos de revisión, se ha de incluir una sección en la que se describirán los métodos utilizados para localizar, seleccionar, recoger y sintetizar los datos. Estos métodos se describirán también en el resumen del artículo.

- 6. Ética.** Cuando se trate de estudios experimentales en seres humanos, indique qué normas éticas se siguieron. No emplee, sobre todo en las ilustraciones, el nombre, ni las iniciales, ni el número de historia clínica de los pacientes. Cuando se realicen experimentos con animales, se indicará la normativa utilizada sobre cuidados y usos de animales de laboratorio.
- 7. Estadística.** Describa los métodos estadísticos con el suficiente detalle para permitir que un lector versado en el tema con acceso a los datos originales, pueda verificar los resultados publicados. En la medida de lo posible, cuantifique los hallazgos y presente los mismos con los indicadores apropiados de error o de incertidumbre de la medición (como los intervalos de confianza). Se evitará la dependencia exclusiva de las pruebas estadísticas de verificación de hipótesis, tal como el uso de los valores P, que no aportan ninguna información cuantitativa importante. Analice los criterios de inclusión de los sujetos experimentales. Proporcione detalles sobre el proceso que se ha seguido en la distribución aleatoria. Describa los métodos de enmascaramiento utilizados. Haga constar las complicaciones del tratamiento. Especifique el número de observaciones realizadas. Indique las pérdidas de sujetos de observación (como los abandonos en un ensayo clínico). Siempre que sea posible, las referencias sobre el diseño del estudio y métodos estadísticos serán de trabajos vigentes (indicando el número de las páginas). Especifique cualquier programa de ordenador, de uso común, que se haya empleado. En la sección de resultados resume los datos, especifique los métodos estadísticos que se emplearon para analizarlos. Se restringirá el número de tablas y figuras al mínimo necesario para explicar el tema objeto del trabajo y evaluar los datos en los que se apoya. Use gráficos como alternativa a las tablas extensas.
- 8. Resultado.** Presente los resultados en el texto, tablas y gráficos siguiendo una secuencia lógica. No repita en el texto los datos de las tablas o ilustraciones; destaque o resume tan sólo las observaciones más importantes.
- 9. Discusión.** Haga hincapié en aquellos aspectos nuevos e importantes del estudio y en las conclusiones que se derivan de ellos. No debe repetir, de forma detallada, los datos u otras informaciones ya incluidas en los apartados de introducción y resultados. Explique en el apartado de discusión el significado de los resultados, las limitaciones del estudio, así como, sus implicaciones en futuras investigaciones. Se compararán las observaciones realizadas con las de otros estudios pertinentes.

10. **Conclusiones.** Relaciones la conclusiones con los objetivos del estudio, evite afirmaciones poco fundamentadas y conclusiones insuficientemente avaladas por los datos. En particular, los autores deben abstenerse de realizar afirmaciones sobre costos o beneficios económicos, salvo que en su artículo se incluyan datos y análisis económicos. Podrán incluirse recomendaciones cuando sea oportuno.
11. **Agradecimientos.** Incluya la relación de todas aquellas personas que han colaborado pero que no cumplan los criterios de autoría, tales como, ayuda técnica recibida, ayuda en la escritura del manuscrito o apoyo general prestado por el jefe del departamento. También se incluirá en los agradecimientos el apoyo financiero y los medios materiales recibidos. Los agradecimientos a Dios pertenecen al ámbito privado, se espera que no se incluyan en este apartado.
12. **Referencias bibliográficas.** Numere las referencias consecutivamente según el orden en que se mencionen por primera vez en el texto. Evite citar resúmenes o referencias de originales no publicadas. Tampoco cite una "comunicación personal", salvo cuando en la misma se facilite información esencial que no se halla disponible en fuentes públicamente accesibles, en estos casos se incluirán, entre paréntesis en el texto, el nombre de la persona y la fecha de la comunicación. En los artículos científicos, los autores que citen una comunicación personal deberán obtener la autorización por escrito.

La referencias bibliográficas se conforman generalmente de la siguiente manera:

Libro: apellidos e iniciales del nombre. Si son más de 7 autores necesitan sólo los 7 primeros y se pone la expresión et al. Título del libro. Número de Edición (ed.). Lugar de Publicación. Editorial. Año de Publicación.

Revista: Apellidos e iniciales del nombre. Título del artículo (entre comillas). Título de la Revista. Lugar de Publicación. Editorial. Volumen y Número de la Revista. Fecha de Publicación y Número de Página.

Periódico: Apellidos e iniciales del nombre. Título del artículo (entre comillas). Título del periódico. Ciudad donde se edita. País. Año y número del periódico. Fecha de Publicación y Número de Página.

Página Web: Apellidos e iniciales del nombre. Título del artículo (entre comillas).

Dirección de web. Fecha de Publicación o Consulta.

13. **Tablas.** Numere las tablas consecutivamente en el orden de su primera citación en el texto y asígneles un breve título a cada una de ellas. En cada columna figurará un breve encabezamiento. Las explicaciones precisas se pondrán en notas a pie de página, no en la cabecera de la tabla.

En estas notas se especificarán las abreviaturas no usuales empleadas en cada tabla. Como llamadas para las notas al pie, utilícese los símbolos siguientes en la secuencia que a continuación se indica: *, †, ‡, ¶, **, ††, ‡‡, etc. Identifique las medidas estadísticas de variación, tales como la desviación estándar, el error estándar de la media. Asegúrese de que cada tabla se halle citada en el texto.

- 14. Ilustraciones (figuras).** Las figuras estarán dibujadas y fotografiadas de forma profesional; no se aceptarán la rotulación a mano. Se aceptarán un tamaño aproximado de 127´ 17 mm (5´ 7 pulgadas), sin que en ningún caso supere 203´ 254 mm (8´ 10 pulgadas). Las letras, números y símbolos serán claros y uniformes en todas las ilustraciones; tendrán, además, un tamaño suficientes para que sigan siendo legibles. Los títulos y las explicaciones detalladas se incluirán en las leyendas de las ilustraciones y no en las misma ilustraciones. Las figuras no se doblarán ni se montarán sobre cartulina. Las microfotografías deberán incluir en sí mismas un indicador de la escala. Los símbolos, flechas y letras usadas en éstas tendrán el contraste adecuado para distinguirse del fondo. Si se emplean fotografías de personas, éstas no debieran ser identificables; de lo contrario, se deberá anexar el permiso por escrito para poder utilizarlas. Las figuras se numerarán consecutivamente según su primera mención el texto.
- 15. Leyendas de las ilustraciones.** Los pies o leyendas de las ilustraciones se mecanografiarán.
- 16. Unidades de medida.** Las medidas de longitud, talla, peso y volumen se deben expresar en unidades métricas (metro, kilogramo, litro) o sus múltiplos decimales. Las temperaturas se facilitarán en grados Celsius y las presiones arteriales en milímetros de mercurio. Todos los valores de parámetros hematológicos y bioquímicos se presentarán en unidades del sistema métrico decimal, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
- 17. Abreviaturas y símbolos.** Utilice únicamente abreviaturas normalizadas. Evite las abreviaturas en el título y en el resumen. Cuando en el texto se emplee por primera vez una abreviatura, ésta irá precedida del término completo, salvo si se trata de una unidad de medida común.
- 18.** Conserve una copia de todo el material enviado.



UNAH



Edificio F1, 3er piso, cubículo 301

Tel: 2231-0678 ó Ext. 151

web: www.unah.edu.hn