



N° 54

Avances en Ciencia y Tecnología
30 años

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY

Abril 2011

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

Dr. Mario Jaramillo Paredes
RECTOR

Lcdo. Joaquín Moreno Aguilar
VICERRECTOR

Ing. Jacinto Guillén García
DECANO GENERAL DE INVESTIGACIONES

Econ. Carlos Cordero Díaz
DECANO GENERAL ADMINISTRATIVO FINANCIERO

UNIVERSIDAD - VERDAD

Revista de la Universidad del Azuay

Director

Dr. Claudio Malo González
Consejo Editorial

Dr. Oswaldo Encalada Vásquez
Arq. Diego Jaramillo Paredes
Dr. Juan Morales Ordóñez

Diagramación

Mario Merchán Barros

Diseño de portada

MasakiSanto

Este número ha sido coordinado por el PhD Gustavo Chacón Vintimilla
Profesor de la Universidad del Azuay

La responsabilidad por las ideas expuestas en esta revista corresponde exclusivamente a sus autores

Se autoriza la reproducción del material de esta revista siempre que se cite la fuente

Canjes y donaciones: Biblioteca <<Hernán Malo González>> de la Universidad del Azuay

ISSN 13902849

Avda. 24 de mayo N° 7-77 y Hernán Malo

www.uazuay.edu.ec

Apartado Postal 981

Teléfono: 2881-333

Cuenca - Ecuador

**Avances en
Ciencia y Tecnología
30 años**

CONTENIDO

Nota editorial	7
La Facultad de Ciencia y Tecnología: 30 años después Zúñiga Germán y Chacón Gustavo	9
Antropología y tecnología Malo Claudio	15
La tecnología en la antigüedad Encalada Oswaldo	29
Elaboración de yogur deslactosado mediante un modelo de hidrólisis Sánchez Claudio	43
Obtención de ácido cítrico por <u>Aspergillus niger</u> Sánchez Claudio	61
Algunos productos de las colmenas de la abeja melífera (<u>Apis mellifera</u>) como indicadores para el monitoreo de metales pesados en el ambiente urbano de Cuenca Aguilar Juan, Álvarez Pedro, Molina Paúl y Zárate Edwin	77
Productos fitosanitarios en los cultivos de la parroquia San Joaquín, Cuenca, Ecuador: un estudio de caso Arias Ruth, Navas Daniel, Vázquez David y Zárate Edwin	99
Características de las colecciones del género <u>Solanum</u> (Solanaceae) presentes en el Herbario Azuay y primera aproximación a su clasificación Ansaloni Raffaella	119

Reproducción de quinua (<u>Polylepis reticulata</u>) a partir de acodos en los páramos de la provincia del Azuay Calderón Juan	137
Consumo de gasolina, emisiones de CO ₂ y eficiencia de fuentes móviles en la provincia del Azuay, Cuenca, Ecuador López Andrés	171
Elmer, una herramienta computacional para EDP'S en aplicaciones de ingeniería mecánica Viteri Hernán	185
El método de elementos finitos aplicado a la solución de armaduras hiperestáticas Carpio María Paula, Maita Gisella, Proaño Mayra y García Hernán	221
Una solución de monitor fisiológico para aplicaciones médicas Pérez Leonel, Reyes Bruno y Feijó Marlon	229
Prototipo de tarjeta de entrenamiento para micro controladores UDA_USB_2.0 para la enseñanza en electrónica Pérez Leonel	247
Manufactura esbelta en empresas de la ciudad de Cuenca Crespo Pedro	265
Tecnología, economía y universidad Nivelo René	283

Nota editorial

Una de las interpretaciones de universalidad, de la que proviene universidad, es el afán, sin límites, de abordar todas las áreas del conocimiento humano, tanto para preparar profesionales en cada una de ellas como para incursionar en las áreas ocultas del conocimiento por las que permanentemente se aventura el ser humano. La diversidad es esencial a la realidad física y humana, de allí que la universidad, que busca no tener límites en la vinculación a esa realidad, tiene también que ser diversa, proceso que puede darse desde sus inicios o con el tiempo al abordar cada vez más áreas del conocimiento.

Lo que es hoy Universidad del Azuay, hace cuarenta y tres años se inició con una unidad humanística, la Facultad de Filosofía y Letras, partiendo de la orientación académica que el Seminario San León Magno tenía. Este centro de estudios superiores se consolidó siendo necesario crear otras unidades académicas que respondan a las exigencias de la sociedad de nuestro tiempo, creándose la segunda facultad, la de Ingeniería Comercial. Preocupación de los directivos de la universidad fue hacer frente a las áreas técnicas razón por la cual se creó la facultad de Ciencia y Tecnología hace treinta.

Esta unidad académica se ha desarrollado a lo largo de su existencia haciendo frente a ámbitos que requieren docencia e investigación. Los espacios de la tecnología en el mundo contemporáneo son cada vez mayores, al igual

que la demanda –a veces- exigencia- del entorno social que debe adecuar sus formas de vida y organización a las nuevas demandas que se crean y a las necesidades que de ellas provienen. La Facultad de Ciencia y Tecnología, con equilibrio y seriedad, sin caer en improvisaciones ni inmediateismos, ha ampliado progresivamente las carreras de esta índole.

Los avances de la humanidad han sido, en gran medida, avances en el campo tecnológico. Su ritmo se ha incrementado cada vez con mayor aceleración haciendo que, con frecuencia, lo que se consideraba avanzado hace un decenio, se torne obsoleto. Esencial a la Universidad es estar al día en los cambios, pero quizás en el de la tecnología es más importante porque las innovaciones impactan prácticamente en todos los campos de las actividades humanas. Con plena conciencia, los que han hecho y hacen esta unidad académica, han demostrado su adecuación a las innovaciones para responder con eficiencia a las demandas de la sociedad.

La Facultad de Ciencia y Tecnología: 30 años después

1. Contexto histórico

La Facultad de Ciencia y Tecnología se ha desarrollado en un contexto de cambio y acondicionamiento a los requerimientos de la sociedad y su demanda según el avance científico-tecnológico regional y mundial. En primera instancia la Facultad nació con el fin de cubrir las necesidades de profesionales en el ámbito tecnológico. De esta forma, el 18 de mayo de 1981, bajo el amparo del convenio suscrito entre la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede en Cuenca (PUCE-SC), establecida en 1968, y la Comunidad Salesiana del Ecuador, el Instituto Técnico Superior Salesiano se incorporó a la PUCE-SC como parte de sus facultades académicas, pasando luego a ser la Escuela de Tecnología Industrial.

En el marco del mismo convenio se crearon luego las carreras de Tecnología Industrial en Mecánica Automotriz, Mecánica Industrial, Matricería y Electro-mecánica. Debido a la complejidad que representó el incremento del número de carreras y su administración, las carreras funcionaron adscritas a la Facultad de Ciencias de la Administración. Posteriormente y con el afán de conceder una visión acorde a los objetivos y materias tratadas por especialidades, se creó la Facultad de Diseño y Tecnología, esta vez con las Escuelas de Diseño y Tecnología Industrial, ya en 1985.

Con el auge minero y agropecuario, en 1987, se estableció la de Tecnología Minera que, más tarde, se convirtió en la Escuela de Ingeniería en Minas, y la carrera de Tecnología en Agrozootecnia.

En un momento las especializaciones de diseño por un lado y de tecnología por otro, hicieron que en sesión del Consejo de Facultad del día 26 de enero 1989, se decidiera respaldar la división de la Facultad de Diseño y Tecnología; en consecuencia, el Consejo General de la Sede, creó la Facultad de Ciencia y Tecnología como se la conoce hasta hoy. En el mismo año de 1989, se crearon también las carreras de Biología y Tecnología en Alimentos.

Paralelamente el 9 de junio de 1989 la Escuela de Tecnología Industrial, dirigida por la Comunidad Salesiana, se separó de la Universidad y nació la Escuela de Ciencias Industriales con las Carreras de Tecnología en Mecánica Automotriz, en Electrónica y Mecánica Industrial.

La Universidad pasó a ser autónoma y se convirtió en la Universidad del Azuay - UDA, mediante Ley No. 99, sancionada el 16 de agosto de 1990 y publicada en el Registro Oficial No. 506, el 23 de agosto del mismo año.

Debido a la necesidad de que las tecnologías concedan títulos profesionales de tercer nivel, excepto por Biología que ofrecía titulación al nivel de licenciatura, y a petición de la Facultad, el Consejo Universitario, el 28 de abril de 1998, propició la creación de las Escuelas de Ingeniería en Alimentos e Ingeniería Electrónica; el 19 de septiembre de 2000, la Escuela de Ingeniería Mecánica, con la carrera de Ingeniería en Mecánica Automotriz, y la de Ingeniería Agropecuaria. Biología sin embargo, modificó su objeto y, en los días 2 y 16 de julio de 1997, el Consejo de Facultad resolvió la formación de la Escuela de Biología del Medio Ambiente.

Por diferentes razones socio-económicas al nivel de la región y del Ecuador, las Ingenierías Agropecuaria y en Minas debieron cesar sus funciones y cerrar sus puertas. Sin embargo, las demandas sociales y la especialización continuaron haciéndose presentes en otros ámbitos hasta el punto de diversificar aún más la oferta académica y seguir modificando el objeto de algunas carreras. En este sentido el 22 de abril de 2003 se fundó la Escuela de Ingeniería de la Producción y Operaciones; el 15 de mayo de 2007, la Escuela de Biología, Ecología y Gestión; el 22 de abril de 2008, la Escuela de Ingeniería Civil y Gerencia de Construcciones. Con el resurgimiento de la importancia minera, en el 20 de octubre de 2009, el Consejo Universitario resolvió sobre la reapertura de la carrera de Ingeniería en Minas.

2. Presente y futuro

En la actualidad la Facultad de Ciencia y Tecnología ofrece siete carreras:

- 1 Biología, Ecología y Gestión;
- 2 Ingeniería de la Producción y Operaciones;
- 3 Ingeniería en Alimentos;
- 4 Ingeniería Electrónica;
- 5 Ingeniería en Mecánica Automotriz;
- 6 Ingeniería Civil y Gerencia de Construcciones; e,
- 7 Ingeniería en Minas.

La Facultad de Ciencia y Tecnología, a lo largo de su historia, ha buscado afanosamente responder con responsabilidad académica a las necesidades de la región y del País, detectando problemas y auscultando requerimientos, para solucionarlos y satisfacerlos. En el campo de la infraestructura, la Facultad se ha visto beneficiada con la dotación de aulas, talleres y laboratorios, así como de materiales y equipos. Al momento la Facultad dispone de un moderno bloque de

aulas con un auditorio para los actos más trascendentes. Los laboratorios están puestos al servicio de la colectividad, sobre todo de los estudiantes, y han comenzado procesos serios de acreditación y certificación de sus análisis con la norma ISO 17025:2006. Los talleres responden a las necesidades de tecnología de punta, con renovación y actualización de equipos, según las demandas académicas de cada carrera.

En el plano académico se ha adelantado sobremedida en la elaboración y desarrollo de actividades, proyectos y programas, con la única intención de introducir cambios de acuerdo con los adelantos científicos y tecnológicos. Con regularidad, la Facultad tiene el privilegio de recibir profesionales de diferentes organizaciones nacionales e internacionales que comparten sus experiencias en eventos de charlas y seminarios. Tres de los eventos que se encuentran ya institucionalizados son las Jornadas de Ciencia y Tecnología, las Jornadas de Biología y las Jornadas de Alimentos; en el primer caso, se trata de un evento general anual de toda la Facultad, organizado por estudiantes y docentes, en donde los laboratorios y talleres de todas las escuelas abren sus puertas para mostrar sus trabajos e investigaciones a la gran mayoría de colegios de las provincias del Azuay y Cañar; paralelamente, se recibe a conferencistas de reconocido prestigio que exponen sus trabajos en diferentes áreas. En el 2011 se realizarán las VI Jornadas de Ciencia y Tecnología. La Escuela de Biología comenzó con la tradición de generar un espacio de reflexión entre estudiantes y profesores, a través de la organización de sus propias Jornadas anuales; en el 2011, Biología organizará su VIII evento. La Escuela de Alimentos por su parte, organizará sus IV Jornadas.

Bajo el amparo de la Nueva Ley de Educación Superior y la perspectiva de aseguramiento de la calidad de la educación en el País, la Facultad de Ciencia y Tecnología, así como la Universidad del Azuay en su totalidad, se encuentra en un

proceso riguroso de debate, consenso y planificación para alcanzar la acreditación de sus carreras.

Siguiendo la misma línea del alcance de objetivos educacionales, los estudiantes tienen una alternativa práctica para obtener su título a través de la organización y ejecución de programas de graduación, desarrollados no solamente en el campus de la Universidad, sino en otros países como España, Cuba y Argentina. De esta forma, las escuelas de Electrónica, Alimentos, Producción y Operaciones, y Mecánica Automotriz se han beneficiado de estos cursos actualizando, reforzando y, en algunos, innovando conocimientos y prácticas preprofesionales.

El aseguramiento de la calidad en la educación significa también proveer al estudiantado de la posibilidad de continuar con su educación en programas de postgrado al nivel de maestría. En este sentido, el desarrollo de varias iniciativas de postgrados en directa vinculación con el pregrado, ha sido también importante. Los ámbitos de estos postgrados han ido desde las telecomunicaciones hasta la gestión tecnológica, y desde las biotecnologías hasta la gestión ambiental. No solamente los postgrados sino también la propia actividad de docentes y estudiantes ha permitido que muchos de ellos accedan a programas nacionales e internacionales, en algunos casos inclusive, al nivel de doctorado.

Todo lo mencionado hasta aquí no se hubiera podido consolidar si no hubiese sido por la permanente y decidida visión de la Facultad en la búsqueda de relaciones con otras instituciones u organismos, mediante convenios de colaboración. Los convenios suscritos han permitido principalmente perfeccionar el nivel académico de los estudiantes con su participación directa en proyectos y programas de la institución que los acoge. Adicionalmente estas relaciones han permitido entrar en verdaderos procesos de vínculo con la colectividad,

transfiriendo tecnología en algunos casos, recibéndola en otros, sin descuidar los temas sociales y el contexto político-económico en el que se desenvuelve, y cumpliendo con la propia misión y visión de la Universidad.

Finalmente en estos treinta años de vida de la Facultad de Ciencia y Tecnología, y a lo largo de su trayectoria, la sociedad ecuatoriana se ha beneficiado con sobresalientes profesionales que, a título indicativo únicamente, en los dos últimos años, ha graduado a más de 70 estudiantes en el área de ciencias, a más de 130 estudiantes en el área de ingeniería, y a 10 estudiantes del área de las tecnologías. Indudablemente y en última instancia, estos treinta años fructíferos de vida de la Facultad responden necesariamente al apoyo imperecedero y a la confianza depositada por la sociedad cuencana primero y por el resto del Ecuador en su conjunto.

Cuenca, a 22 de febrero de 2011

Ing. Germán Zúñiga Cabrera
DECANO

Dr. Gustavo Chacón Vintimilla
SUBDECANO

Antropología y tecnología

Malo Claudio

*Instituto de estudios de régimen seccional del
Ecuador, Decanato de Investigaciones,
Universidad del Azuay,
Av. 24 de Mayo 7-77,
Cuenca Ecuador.
Correspondencia: cmalo@uazuay.edu.ec*

“La nueva física sigloveintina fue la que hizo posible esta eclosión de objetos e instrumentos de todas clases, esta eficientísima técnica de las últimas décadas que tanto ha contribuido a elevar, en forma prodigiosa, el nivel de vida de las gentes durante el último medio siglo. Se afirma y con razón que si dicho nivel se elevó, algo así como de 2 a 4 de la época del imperio romano a comienzos del siglo xx, durante el transcurso de este siglo se elevó en cambio de 4 a 50, esto es, casi infinitamente más que durante los últimos dos mil quinientos años”

Francisco Álvarez González

Resumen

Nos diferenciamos de los demás integrantes del reino animal por nuestra capacidad de razonar, pero ese razonamiento lo usamos para modificar creativamente el entorno elaborando objetos. Al tradicional denominador “homo sapiens”, algunos antropólogos han propuesto “homo hábiles” destacando la capacidad de elaborar objetos. La elaboración de objetos es posible gracias a la capacidad humana de saber, creativamente, cómo se llevan a cabo las transformaciones, lo que da lugar a la aparición y desarrollo de las técnicas y tecnologías. La historia de la humanidad es en gran medida la de los progresos tecnológicos en cuyas innovaciones se han dado hitos como la aparición de la agricultura y la revolución industrial por su impacto en el ordenamiento social. Los avances tecnológicos requieren conocimiento de los materiales, sus posibilidades y límites, y disponibilidad de las fuentes de energía, desde la limitada a la de los músculos hasta la atómica. El uso de las tecnologías soluciona y crea necesidades con el propósito de mejorar la calidad de vida, pero puede producir efectos negativos como el deterioro de nuestro planeta por su uso irresponsable.

Abstract

Our human capacity to reason distinguishes us from the rest of the animal kingdom. We use our reasoning ability creatively to make the tools with which we interact with, and modify, the environment. The term *homo habilis* designates one ancestral species of homo sapiens and calls attention to this tool-making skill. Thanks to our

comprehension of how to bring about transformations, we can create new objects in a continual process of technical and technological innovation. Human history is, to a large extent, shaped by technological evolution, with the invention of agriculture and the industrial revolution having the most profound impacts on social organization. Technological development presupposes an understanding of materials, their properties and limitations, and of sources of energy, from the muscular to the atomic. Technology helps us to meet our needs and improve our standards of living, at the same time it creates new needs. The irresponsible use of our technological genius can result in deleterious consequences for our home planet.

Homo sapiens y homo habilis

Hasta lo que sabemos el planeta tierra es el único en el universo en el que hay vida. Las condiciones de los entornos físicos son diferentes y las múltiples especies animales, para garantizar su sobrevivencia, han tenido que adaptarse a las condiciones de cada hábitat a lo largo de la evolución de las especies. Los seres humanos, que somos parte del reino animal, no estamos exentos de esta condición. Por mucho que quisiéramos vivir dentro de las aguas como los peces no podríamos hacerlo ya que hay condicionamientos biológicos que limitan esta forma de adaptación.

Nos diferenciamos de los demás integrantes del reino animal por cuanto podemos razonar, reflexionar, incorporar en forma de ideas a nuestra mente elementos del mundo exterior, analizarlos desde perspectivas diferentes y crear estrategias para hacerlos frente con propósitos gestados

en nuestro interior y, al retornar a los objetos, intervenir para modificarlos y lograr lo que buscamos. No se limita nuestra existencia a adaptarnos al medio sino a adaptar el medio a nuestras formas de vida, a construirlo de acuerdo con nuestras aspiraciones y edificar nuestra morada. Los animales al adaptarse al hábitat responden a los estímulos provenientes de él. Los seres humanos actuamos en cuanto tomamos la iniciativa para conformar de alguna manera la realidad.

Vivir no se limita a razonar, vivir es actuar con una proyección al futuro que de alguna manera lo podemos anticipar. Actuar supone realizar actividades en el presente para obtener resultados en el futuro con el propósito de mejorar nuestras condiciones de vida. El instinto entre los demás integrantes del reino animal organiza sus vidas; es similar a un programa informático al que cada especie sujeta su conducta. En la especie humana los instintos están supeditados a la razón en sus relaciones con el medio. En nuestro caso las culturas establecen pautas para que los instintos se manifiesten.

La razón puede usarse para elaborar mediante la imaginación mundos irreales, o para conformar sistemas teóricos relacionados con algún problema; pero en la gran mayoría de los casos recurrimos a la razón para actuar y con gran frecuencia modificar el medio según las metas que nos pongamos o las necesidades que queramos resolver. Homo sapiens es el término más generalizado para destacar la capacidad de razonar, que nos diferencia de los demás integrantes del reino animal. Como alternativa algunos antropólogos han propuesto homo hábilis dando especial importancia a la capacidad de elaborar objetos con múltiples propósitos de acuerdo con nuestras aspiraciones

y necesidades. Para establecer la antigüedad de los seres humanos, además de las características biológicas se da especial importancia a la presencia de objetos hechos por él, por rudimentarios que sean, junto a las osamentas.

Nuestra creatividad se manifiesta de múltiples maneras cuando nos relacionamos con el hábitat en el que vivimos. Podemos actuar creativamente para modificar los elementos naturales con una finalidad utilitaria y satisfacer de mejor manera nuestras necesidades prácticas como las de movilizarnos o elaborar recipientes. También, siendo los únicos integrantes del reino animal capaces de descubrir la belleza de la realidad externa y expresarla creativamente, modificamos lo que está fuera para convertirlo en obras de arte, apuntando a la intensificación de las emociones de los contempladores.

Técnicas y tecnologías

Para modificar los elementos externos con fines utilitarios es necesario desarrollar los procesos que nos encaminen al fin previsto. Los cambios que buscamos los elaboramos inicialmente en nuestras mentes; para trasladarlos a la realidad externa hay que recurrir a una serie de acciones condicionadas por las características de los materiales y los cambios que en ellos introducimos. Se interviene con orden para trasladar a los materiales correspondientes las ideas surgidas en nuestro interior siguiendo caminos adecuados para lograr el fin propuesto, lo que da lugar al desarrollo de las técnicas que, organizadas sistemáticamente, se transforman en tecnologías muy cercanamente vinculadas a las ciencias naturales.

Dentro de este contexto se podría decir que los seres humanos hacen presencia en la tierra cuando elaboran objetos con finalidades prácticas, procesos que cada vez se tornan más complejos a causa de la ampliación de la realidad conocida y la posibilidad de idear cambios en el futuro. Podemos afirmar que, en gran medida, la historia de la humanidad es la historia de los cambios tecnológicos que, además de la finalidad práctica inmediata, inciden en la organización de las colectividades y en visiones, metas e ideales de la vida individual y colectiva. Si vivir es hacernos en el tiempo, las innovaciones tecnológicas contribuyen a modificar los modelos de vida. Las diferencias entre nuestros remotos antepasados que comenzaron a usar las lascas y nuestras vidas que cada vez con más fuerza recurren a la informática, son enormes.

En la larga etapa nómada, se desarrollaron tecnologías para mejorar las relaciones con el medio, comenzando con herramientas básicas para modificar los materiales y sacar el mayor provecho posible. La tradicional periodización de la historia nos habla de la edad de piedra, anterior a la de los metales, en la que se recurre a estos materiales para hacer herramientas y recipientes, además de otros de más fácil manipulación como la madera.

Al depender para la subsistencia de la caza, la pesca y la recolección, se crearon una serie de tecnologías para facilitar estas tareas. En el caso de la cacería se inventaron armas para poder atrapar con más seguridad a las presas, destacándose el arco y la flecha. Además de estos enfrentamientos con armas se crearon diversos medios para cazar como las trampas variables según el tipo de animal buscado y las condiciones específicas

del área. Para lograr éstos propósitos se desarrollaron tecnologías que respondían a razonamientos específicos.

Hitos en los cambios tecnológicos

Es imposible comprender la revolución agrícola al margen de la tecnología. La intervención humana en la tierra para asumir la iniciativa de sembrar implica profundos cambios tecnológicos en la producción de alimentos. Para ser exitosos en estos cambios se requirieron herramientas nuevas con relación a la época nómada, comenzando con el almocafre, antes de recurrir a la fuerza de las bestias para roturar la tierra y depositar las semillas, cada vez se modernizaron estas herramientas que culminaron con el arado para aprovechar una nueva fuente de energía. Tuvo el ser humano que inventar una variedad de herramientas manuales con propósitos similares.

La herramienta no se agota en el objeto material, hay elementos no materiales fundamentales como saber con qué finalidad se las hace, cómo se las hace y cómo se las utiliza con el mayor provecho posible. La agricultura consolidó la vida sedentaria y la reserva de lo producido llevó a que un buen número de personas dispusieran de más tiempo para incursionar en innovaciones destinadas a producir objetos útiles como fue el caso de la cerámica cuya tecnología ha mejorado notablemente con el paso de los años.

A parte de conocer la idoneidad de la arcilla, se dio todo un complejo proceso de preparación, modelado y quema que con el tiempo llevó a que se construyeran hornos con el fin de aprovechar mejor la temperatura del fuego. Se

inició y consolidó luego la metalurgia. Al margen de cómo fueron descubiertas las propiedades de los metales de amplia difusión como el cobre y el hierro, su utilización exige un complejo proceso que se inicia con la extracción de tierra que contiene el metal, continúa con la fundición y culmina en la elaboración de múltiples objetos útiles que requieren de herramientas cada vez más complejas.

La vida sedentaria y la producción de excedentes indujeron cambios en las formas de vida. El caso de la habitación llevó a que se construyeran casas firmes ubicadas en lugares permanentes para toda una vida y generaciones posteriores, lo que implica una amplia variación de innovaciones tecnológicas. El excedente posibilitó el desarrollo de lo suntuario y el incremento de necesidades secundarias con las consiguientes variaciones tecnológicas y diseños con este propósito. Lo suntuario no se limita al adorno, se vincula también a objetos que satisfacen necesidades primarias como es el caso de los palacios en viviendas y templos para ceremonias religiosas. En la vestimenta, el adorno sobrepasa la mera necesidad de protegerse de las inclemencias del clima.

La revolución industrial cercana a nosotros – estamos hablando de cerca de diez mil años entre los inicios de la agricultura y la industria- fue ante todo tecnológica, tanto en la producción como en el transporte. La máquina y el ferrocarril se consideran símbolos de este salto tecnológico quedando para el pasado el predominio de la producción artesanal y del transporte por tierra a caballo. La utilización de fuentes de energía más eficientes llevó a cambios profundos en las formas de vida acelerando el proceso de urbanización en mengua de la mano de obra agrícola, compensada por la incorporación de

nuevas tecnologías a este proceso imprescindible en la producción de alimentos.

Estamos viviendo crecientes cambios tecnológicos en el campo de la informática cuyas innovaciones se producen a un ritmo cada vez más acelerado. Hay quienes creen que los efectos en el ordenamiento social y los hábitos de vida tendrán similares intensidades que los de la revolución agrícola e industrial. Sin pretender anticipar el futuro hay signos que estamos experimentando que dan consistencia a esta afirmación. Es posible constatar estas pautas de conducta de generación a generación, que van más allá del aprovechamiento de nuevas tecnologías

El deterioro ecológico de nuestro planeta se debe, en muy buena medida, a los avances tecnológicos que introducen nuevos materiales y deshechos para los que las condiciones de la Tierra no están debidamente preparadas. No cabe olvidar que uno de los factores preocupantes de nuestros días es el gigantesco crecimiento de la población debido a los avances tecnológicos de la medicina curativa y preventiva. Buena parte de los efectos negativos como la contaminación ambiental se mitigarán mediante innovaciones tecnológicas que están en marcha, como las de generar energía limpia, aunque no podemos hablar de su generalización.

Materia y energía

Los seres humanos modificamos los materiales del entorno mediante procesos tecnológicos que van de lo elemental a lo altamente complicado. Entre las tecnologías de elaboración de puntas de flecha de la obsidiana y la

fisión nuclear para energía atómica, las distancias son gigantescas. Estos cambios parten de un conocimiento de nuevos materiales y sus propiedades.

El tránsito del uso de la piedra como material único para determinadas herramientas y objetos a los metales y dentro de los metales del bronce al hierro han sido tan importantes que en la tradicional clasificación cronológica de la historia se habla de la edad de piedra y los metales y dentro de éstos la del hierro. Cada vez se cuenta con nuevos materiales cuyas propiedades se desconocían dándose un proceso doble. El nuevo material se usa para satisfacer nuevas necesidades y las nuevas necesidades llevan a encontrar propiedades en materiales no explotados, como ocurrió con el caucho a causa de la expansión de los vehículos automotores.

De enorme importancia es la elaboración de materiales no naturales y de la expansión de su uso. Se dice que vivimos la era del plástico, es decir que la elaboración de este material que no se encuentra en minas como el hierro y el uranio. Este material sintético cubre cada vez más áreas de objetos necesarios para la vida cotidiana. Muy difícil sería imaginar qué ocurriría en nuestros días si es que, en un momento dado, desapareciera todo lo que está hecho con plásticos y la posibilidad de elaborar este material.

La energía es otro elemento esencial para los avances tecnológicos. No es posible cambio alguno sin energía. Leslie White sostiene que la cultura se desarrolla cuando la cantidad de energía de la que disponen las personas, por cabeza y por año se acrecienta o en la medida en que aumenta la eficacia de los medios tecnológicos para aplicar

esta energía al trabajo o al incrementarse ambos factores simultáneamente. Nuestros más remotos antepasados contaban tan solo con la fuerza de su cuerpo que daba lugar a mejores resultados si es que las herramientas que hacían eran más eficientes. Con la difusión de la agricultura y la ganadería se incorpora a la vida comunitaria la energía de los animales a la vez que se desarrollan tecnologías para sacar mayor provecho, como el uso de la rueda. Uno de los más importantes factores para el gran salto de la Revolución Industrial es la incorporación de fuentes de energía, inicialmente del carbón y luego del petróleo, que inciden en el incremento de la producción y la rapidez y capacidad de carga del transporte. Luego de su difusión el petróleo ha tornado más eficientes las actividades de producción de energía eléctrica y transporte.

Siempre han existido energías naturales como las del agua y el aire, en este caso las tecnologías se han desarrollado para su mejor aprovechamiento como el caso de los molinos para granos que funcionaban con el movimiento del agua y con el viento. En nuestros días, a causa del deterioro de nuestro planeta por los efectos contaminantes negativos del petróleo, se da cada vez más importancia para contar con centrales eléctricas recurriendo para su generación a estas fuentes primarias mediante cambios tecnológicos para su concentración y distribución. Las centrales hidroeléctricas tienen amplia difusión y se tiende a implementarlas cada vez más. Algo similar, aunque en menor escala, ocurre con la energía eólica.

Los materiales y el tipo de energía no son factores aislados, hay entre ellos una fuerte interrelación. Lewis Mumford, en su obra *Técnica y Civilización*. Al analizar los cambios tecnológicos en los últimos mil años divide en tres períodos:

el eotécnico en el que predominan el agua y la madera; el paleotécnico, el carbón y el hierro y el neotécnico, la electricidad y las aleaciones. Cada fuente de energía se incrementa y perfecciona. En el caso de la eléctrica su generación se ha incrementado sustancialmente debido a la imparable demanda; igual ocurre con las aleaciones que cada vez generan más materiales finales según las propiedades que se requiera.

Los seres humanos hacemos frente a las necesidades que se presentan recurriendo a la razón con el fin de lograr las mejores soluciones posibles. Los avances tecnológicos cumplen con estos propósitos y cada vez son mayores en cuanto funciona el principio de que las necesidades crecen a medida que son satisfechas y porque somos insaciables en la búsqueda de satisfacer de mejor manera las mismas necesidades.

En nuestros días los avances tecnológicos en comunicación son los que se considera han ocasionado mayores modificaciones en las formas de vida de las personas de diversas culturas, dando lugar a uno de los preocupantes problemas como es el de la globalización. Remontándonos a un pasado no muy lejano, las noticias de lo que ocurría en España llegaban tarde a las colonias americanas, el largo tiempo que duraba la navegación que cruzaba el Atlántico originaba una demora entre la decisión de la autoridad correspondiente y su ejecución en los lugares a los que se dirigía. En nuestros días podemos mirar en el momento en que ocurren acontecimientos que tienen lugar en las más remotas regiones del planeta, acceder a la información casi inmediata de datos que buscamos y tomar decisiones desde lugares lejanos que se ejecutan casi de inmediato. El calificativo de “Aldea Global” que

se ha dado a nuestro planeta no es una mera metáfora, si nos referimos a la comunicación y difusión de datos, tiene lugar con similar rapidez a la movilidad comunicacional de una aldea en la que todos los habitantes se conocen.

Si las colectividades humanas están ordenadas por principios y normas morales acatadas en amplio grado por todos los habitantes, es evidente el impacto de los cambios tecnológicos en la calificación de sus efectos como buenos o como malos. Los avances tecnológicos en sí mismos no pueden merecer estos apelativos, pero sí la manera como las personas usan estas innovaciones. Las innovaciones tecnológicas pueden ser utilizadas con fines constructivos o destructivos, para mejorar las condiciones de vida de un ser humano o para deteriorarla. Como he afirmado en algunas ocasiones, un bisturí en manos de un cirujano puede salvar una vida, en la de un delincuente, acabar con ella. Con relación a la internet hay quienes enfatizan en sus ventajas y en los peligros de su uso. Lo que en definitiva cuenta es la decisión de las personas sobre los fines con que recurren a esta innovación.

Nos diferenciamos de los demás integrantes del reino animal por nuestra capacidad de razonar, pero ese razonamiento lo usamos para modificar creativamente el entorno elaborando objetos. Al tradicional denominador “homo sapiens”, algunos antropólogos han propuesto “homo hábiles” destacando la capacidad de elaborar objetos. La elaboración de objetos es posible gracias a la capacidad humana de saber, creativamente, cómo se llevan a cabo las transformaciones, lo que da lugar a la aparición y desarrollo de las técnicas y tecnologías. La historia de la humanidad es en gran medida la de los progresos tecnológicos en cuyas innovaciones se han dado hitos

como la aparición de la agricultura y la Revolución Industrial por su impacto en el ordenamiento social. Los avances tecnológicos requieren conocimiento de los materiales, sus posibilidades y límites, y disponibilidad de las fuentes de energía, desde la limitada a la de los músculos hasta la atómica. El uso de las tecnologías soluciona y crea necesidades con el propósito de mejorar la calidad de vida, pero puede producir efectos negativos como el deterioro de nuestro planeta por su uso irresponsable.

Bibliografía

- Álvarez González, Francisco
Supuestos Metafísicos de las Ciencias, 1996,
Universidad Autónoma de Centro América, San José
- Ginzberg, Eli
Tecnología y Civilización, 1965, UTEHA, México D.F.
- Harris, Marvin
Nuestra Especie, 2001, Alianza Editorial, Madrid
- Kennedy, Paul
Hacia el Siglo XXI, 1993, Plaza Janés, Barcelona
- Munford, Lewis
Técnica y Civilización, 1971, Alianza Editorial, Madrid

La tecnología en la antigüedad

Encalada Oswaldo

Escuela de Comunicación Social,

Facultad de Filosofía,

Universidad del Azuay

Correspondencia: osencava@hotmail.com

Resumen:

El presente trabajo es una breve y parcial revisión de la tecnología en la edad antigua. La cultura griega inventó la máquina de vapor, pero no le pudo encontrar un uso práctico. Examinamos también la tecnología en los tiempos míticos y en los antiguos libros de religión.

Palabras clave: *Homo habilis*, máquina de vapor, Arquímedes, tecnología en la edad antigua.

Abstract:

The present work is a brief and partial revision of technology in ancient age. The Greek culture invented the steam engine, although a practical use of it was not found. We also examine technology in mythical times and in the ancient books of religion.

Key words: *Homo habilis*, steam engine, Archimedes, technology on ancient age.

El Homo habilis.- Una de las adjetivaciones que mejor definen al ser humano es la de *Homo habilis*, es decir hombre (en sentido general) apto para, capaz de; lo que se entiende como: hombre hábil para hacer determinadas cosas o para hacerlas con habilidad. Y las cosas que hace son artefactos, artificios y artilugios. Estos tres vocablos incorporan una raíz común, que es *arte*.

Artefacto es “obra mecánica hecha según arte” (DRAE,2001:219). Artificio; “arte, primor, ingenio o habilidad con que está hecho algo” (DRAE,2001:221). Artilugio: “mecanismo, artefacto, sobre todo si es de cierta complicación”. (DRAE,2001:221)

En las tres definiciones hay una referencia a algo hecho con cierto grado de habilidad o arte. Lo que en latín es arte es en griego *texné*: arte, oficio, habilidad para algo. *Texnites* es artesano, artista, hábil para algo. Con la raíz *texné* se ha formado la palabra tecnología, definida en el DRAE como “conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico”. (2001:2144)

La tecnología y la Revolución Industrial.- Es muy común considerar que la tecnología y la Revolución Industrial son fenómenos que van juntos; pero no es así. La Revolución Industrial potenció (y creó también, naturalmente) el uso de grandes máquinas, sobre todo con la generalización del uso del vapor como energía. Las primeras máquinas de vapor de Watt comenzaron a funcionar en 1776; sin embargo hay que reconocer que Watt no fue el verdadero descubridor de la capacidad energética del vapor de agua. El más lejano antecedente -dentro de su época- se encuentra en Denis Papin, quien en 1690 creó un artilugio

formado por un cilindro donde la propiedad expansiva del vapor de agua obligaba a subir a una especie de pistón, que luego descendía al condensarse el vapor y convertirse nuevamente en agua. Este artefacto quedó como un juguete, sin uso práctico. Thomas Savery en 1699 construyó la primera máquina de vapor y la instaló en una mina, por esta razón se la conoció como “el amigo de los mineros”. Hacia 1712 Thomas Newcomen construyó su primera máquina de vapor.

Los cimientos más antiguos.- Energía, movimiento, transmisión estos son los tres componentes tecnológicos básicos, y los tres fueron descubiertos por el *Homo hábilis* hace muchísimo tiempo. De los tiempos prehistóricos nos llega la rueda, elemento cultural que permitió luego, la fabricación del carro de guerra (el de dos caballos), el de transporte (de dos o cuatro ruedas como las carretas y los carrmatos) y la carretilla, que es un carro pequeño y de una sola rueda.

De la antigüedad, sobretodo grecorromana, tenemos muchas más noticias verdaderas. Así, Arquitas de Tarento (400 A.C.) fue el inventor de la polea, del tornillo, y es el más antiguo –dentro del tiempo histórico- antecedente de la robótica, pues se sabe que construyó un artilugio semejante a una paloma, con todos los mecanismos necesarios para volar, aunque no consiguió hacerlo.

Hacia el año 287 A.C. nace Arquímedes, uno de los grandes genios de la antigüedad; a este griego la humanidad le debe algunos principios científicos y muchos artefactos. Estudió los diferentes tipos de palancas y las posibilidades de su uso. A él se debe aquella célebre frase: “Dadme un punto de apoyo y levantaré la tierra”.

También se le atribuye el invento del tornillo sin fin, artilugio que permite elevar el agua hasta un nivel superior, bien para regadío o para otros objetivos; sin embargo se afirma que el tornillo sin fin ya fue conocido mucho tiempo antes y era usado en los barcos para achicar el agua de los interiores.

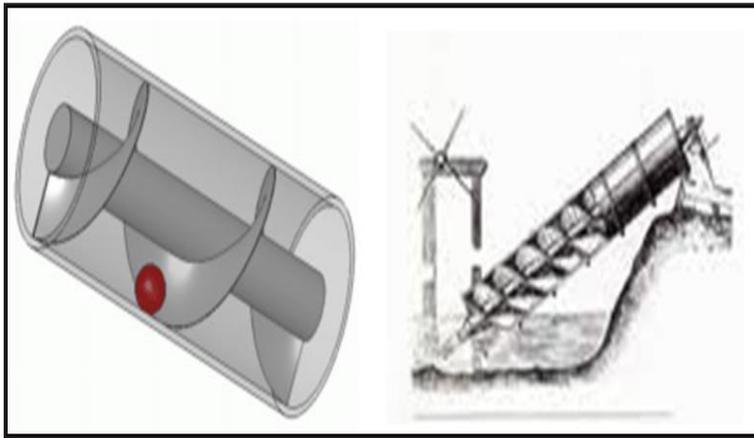


Gráfico 1. El tornillo sin fin

Hacia el año 270 A.C. Ctesibio inventó un órgano y un reloj de agua “que alcanzó gran popularidad. Consistía en un corcho que ascendía con el nivel del agua del depósito inferior. El corcho estaba unido a una varilla provista de muescas que empujaba un engranaje a medida que ascendía, el cual a su vez hacía girar una saeta que señalaba los números del 1 al 12. Los griegos llamaron a este dispositivo *clepsidra* (ladrón de agua), pues el agua goteaba plácidamente, vaciando el depósito superior”. (Asimov,1990:62)

Otro hito de enorme importancia en el desarrollo de la tecnología fue Herón de Alejandría (siglo I C.D.), quien fue el creador de un odómetro, de la dioptra (artefacto considerado como el primer teodolito). Se lo considera también como un antecedente de la robótica por haber construido unos autómatas; pero por sobre todo esto Herón es recordado por haber construido la primera máquina de vapor de la historia, la llamó *eolípila*, lo que se podría traducir como *el balón de Eolo* (el dios griego del viento). “Construyó una esfera hueca a la que se unían dos tubos curvos, cuyas aberturas apuntaban en direcciones opuestas. Cuando el agua hervía en la esfera, el vapor escapaba por los tubos y, como resultado de lo que ahora llamamos ley de acción y reacción, hacía girar rápidamente la esfera. (El moderno aspersor de césped funciona de esta misma forma, utilizando la fuerza de la corriente de agua en lugar del vapor)”. (Asimov, 1990:73).

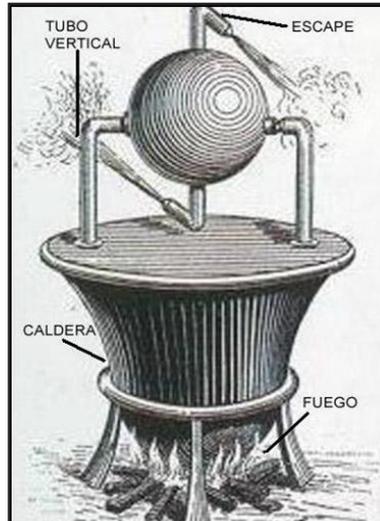


Gráfico 2. La primera máquina de vapor, la eolípila

Sin embargo esta máquina de vapor quedó como un juguete porque nunca se le buscó una aplicación práctica o utilitaria. También creó la llamada fuente de Herón, artilugio que lograba el movimiento del agua y su salida como un pequeño surtidor, gracias únicamente a la presión atmosférica y a la gravedad, las mismas razones que operan en los vasos comunicantes.

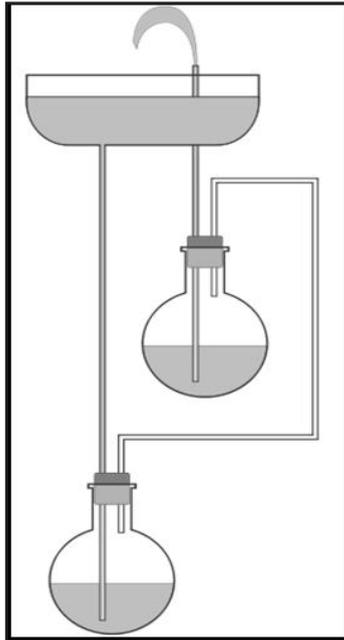


Gráfico 3. La fuente de Herón

Los ingenios bélicos.- Las actividades militares también se beneficiaron de la creatividad humana. En latín, las diversas máquinas y artefactos bélicos reciben el nombre genérico de *tormenta*. Dentro de esta clase de aparatos se encuentran la catapulta (en griego significa arrojar hacia

abajo). “En su primera forma se asemejaba a un arco gigantesco e inmóvil, que precisaba de muchos hombres para tensarlo. Cuando se soltaba, estrellaba contra las murallas de la ciudad no una pequeña flecha, sino una gran piedra, o bien la proyectaba sobre las murallas de manera que cayese dentro de la ciudad”. (Asimov,1990:51).

Además de la catapulta estaban el onagro (nombre del asno salvaje), la ballista o balista, el escorpión, máquinas que formalmente pueden ser considerados como variedades menores de la catapulta. Para tomar las ciudades y las fortalezas se usaban torres de asedio asentadas sobre ruedas –el famoso caballo de Troya podría ser considerado como una variedad de esto-, y para abatir las puertas de la ciudades estaba el ariete (del latín *aries*, el carnero), especie de viga gruesa en cuyo extremo había una cabeza de carnero, de metal. Un grupo de guerreros golpeaba las puertas con el ariete, hasta conseguir romperlas.

Arquímedes fue un genio militar, defendió a ciudad de Siracusa contra el asedio de los romanos. “Con gran exactitud y con muchísimo ruido lanzaban flechas y piedras contra los romanos. Los soldados romanos quedaron aterrorizados. Unas palancas enormes lanzaban grandísimos pesos sobre los barcos romanos, hundiéndose muchos de ellos. Arquímedes empleó palancas y poleas para enganchar con una especie de garras la proa de las galeras romanas. Tirando de las cuerdas los soldados de Siracusa podían levantar en el aire dichas proas. Algunas de las galeras fueron levantadas incluso fuera del agua y fueron lanzadas contra los acantilados.

También se utilizaron grandes espejos para reflejar la luz del sol sobre los barcos romanos: moviendo los espejos

de cierta forma Arquímedes conseguía reflejar suficiente luz sobre los barcos hasta provocar su incendio”. (Jonas,1976,68-69). Estos espejos recibieron el nombre de espejos ustorios.

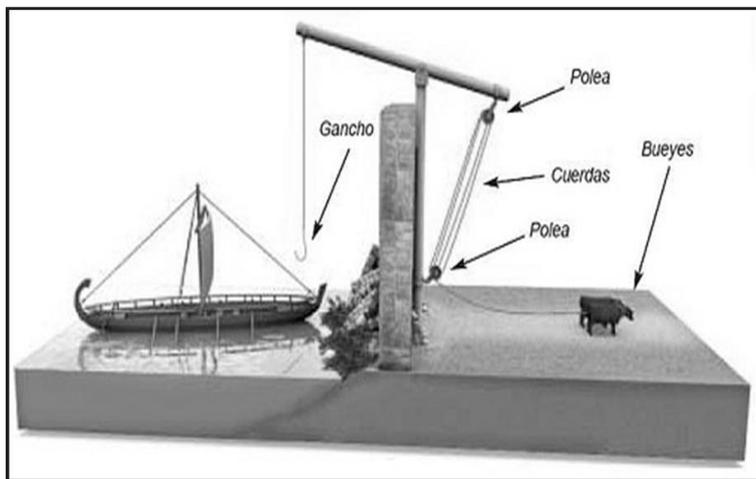


Gráfico 4. Las poleas de Arquímedes

La tecnología árabe.-. La cultura árabe también aportó a la tecnología. Puso una rueda con aspas en la corriente de un río, y así logró conseguir el movimiento. Estas ruedas servían para elevar el agua –mediante los cangilones- desde la superficie del río hasta un nivel superior, con lo que se podía usar para el regadío. Además eran utilizadas como molino para moler diferentes granos. Este artificio recibió los nombres de aceña, noria o azud (las tres palabras son de origen árabe).

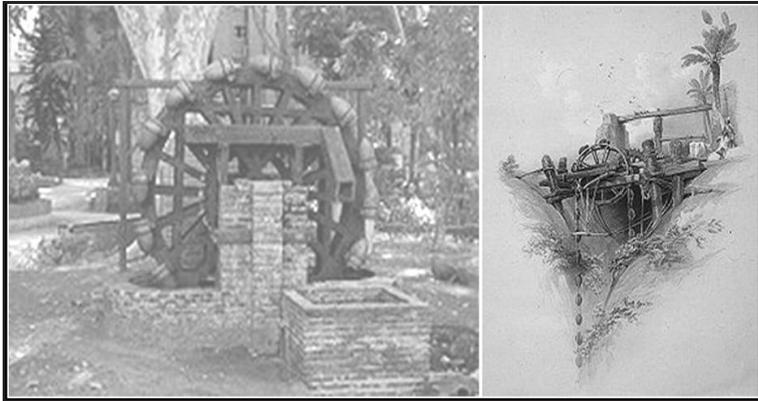


Gráfico 5. Tipos de norias

La tecnología en China.- La antigua civilización china fue muy adelantada en comparación con la cultura europea contemporánea. Los chinos inventaron la pólvora, la brújula, la imprenta; pero para el tema que nos incumbe cabe anotar que 220 años A.C, en el reinado del emperador Shih Huang Ti (el mismo que ordenó quemar los libros y construir la famosa muralla) los chinos habían inventado una ballesta automática y un extraño artilugio para hacer circular mercurio como si fuera el agua de los ríos en una maqueta gigantesca. Para el enterramiento de este emperador se elaboró una colosal tumba, “sobre esa base se instaló un sarcófago y todo un imperio en miniatura, con un palacio, casas de campo, ministerios, oficinas, toda suerte de objetos curiosos y raros. Ballestas automáticas guardaban aquellas riquezas de los ladrones. Con mercurio se dibujaron los ríos, el Río Amarillo, el Río Azul y el mar. Una máquina hacía circular el mercurio”. (Caillois, 1998:144)

La tecnología en los tiempos míticos.- Dentro de la mitología griega encontramos algunas curiosas noticias sobre artefactos y máquinas; pero como se trata del tiempo mítico no todo puede ser aceptado de manera literal. Atenea era la diosa patrona de los herreros y de todas las artes mecánicas; sin embargo el verdadero constructor de los artilugios era Hefesto, el herrero divino, que era además, cojo. La habilidad de este dios era tanta que logró fabricar unos trípodes automóbiles y autocontrolados: “Fabricaba veinte trípodes que debían permanecer arrimados a la pared del bien construido palacio y tenían ruedas de oro en los pies para que de propio impulso pudieran entrar donde los dioses se congregaban y volver a la casa”. (Homero,1986:270).

Hefesto fue el iniciador de la robótica, pues había construido una mujeres mecánicas: “Salió cojeando, apoyado en dos estatuas de oro que eran semejantes a vivientes jóvenes, pues tenían inteligencia, voz y fuerza, y hallábanse ejercitadas en las obras propias de los inmortales dioses. Ambas sostenían cuidadosamente a su señor”. (Homero,1986:271). Hefesto es también el creador de la fragua, de una silla mecánica cuyos brazos podían atrapar al que se sentara en ella.

Hay otro caso de un robot llamado Talos. “Talos era también el nombre del sirviente de bronce con cabeza de toro que Zeus había regalado a Minos para que guardara Creta. Algunos dicen que era un superviviente de la raza de bronce surgida de los fresnos; otros, que fue forjado por Hefestos en Cerdeña, y que tenía una única vena que iba de su cuello a los tobillos, donde la taponaba un alfiler de bronce. Su tarea consistía en rodear la isla de Creta

tres veces al día corriendo y arrojar piedras a cualquier embarcación extranjera; y también visitar tres veces al año, a un ritmo más pausado y agradable, todos los pueblos de Creta mostrando las leyes de Minos inscritas en tablillas de bronce”. (Graves I,2002:420)

Y un caso más: Leucipe, una mujer griega de Tegea –la ciudad del Peloponeso-, “erigió un altar a Ártemis Ortosia y mandó hacer un jabalí mecánico con cabeza de hombre enteramente de oro, que cuando se le persigue se refugia en el templo y pronuncia las palabras: ‘¡perdóname la vida!’”. Lamentablemente no se conoce el nombre del artífice de esta especie robótica.

Otro personaje llamado Talos, este, discípulo de Dédalo, fue el inventor de la sierra. “Talos recogió un día por casualidad la mandíbula de una serpiente –algunos dicen que era el espinazo de un pez – y al ver que podía utilizarla para cortar un palo por la mitad, copió el modelo en hierro e inventó la sierra”. (Graves I,2002:416). “Su invención de la sierra se ha destacado con toda justicia; los cretenses tenían diminutas sierras giratorias de doble dentada para los trabajos más minuciosos y las utilizaban con extraordinaria destreza”. (Graves I,2002:424). Este Talos inventó también la rueda del alfarero y un compás para trazar círculos.

La primera fosforera también fue inventada en el tiempo mítico, lamentablemente no existe una descripción adecuada del artificio. Al hablar de la diosa Hestia, que es un numen del hogar, se dice: “Su fuego es tan sagrado que si por accidente o en señal de luto se apaga, se reaviva con una ruedecilla de encender”. (Graves I,2002;95)

Finalmente a la diosa Atenea se le atribuye la invención de la flauta, la trompeta, el arado, el rastrillo, la silla de montar, el carro, el barco, los objetos de cerámica.

Los ingenios en los antiguos textos religiosos.- Si el campo mítico es inseguro, muchísimo más lo es el de los antiguos textos religiosos. En la Biblia y en el Ramayana encontramos descripciones de ingenios extraordinarios, situación que ha llevado a lucubraciones estrambóticas, antojadizas y disparatadas. Así en la Biblia el profeta Ezequiel tuvo la siguiente visión: “Las cuatro ruedas eran iguales y, por la manera que estaban hechas, brillaban como el topacio. Parecía como si dentro de cada rueda hubiera otra rueda. Podían avanzar en cualquiera de las cuatro direcciones sin tener que volverse”. (Ezequiel,1,16).

Y en el Ramayana se encuentra el vehículo llamado *pushpaka*. “Hijo del monarca de la tierra, yo cuidaré de que te conduzcan a tu ciudad. Hay un carro llamado pushpaka, carro incomparable, celeste, resplandeciente como el sol y que marcha por sí mismo (...) El carro volaba como un gran nube empujada por el viento”. (Valmiki,2006:301).

Lo de Ezequiel es una visión, es decir, una creación de la fantasía, como dice el DRAE al definir el término *visión*. Igual cosa debe decirse del texto hindú.

Bibliografía:

Asimov, Isaac.

Cronología de los descubrimientos científicos. Ariel, Barcelona, 1990

Caillois, Roger.

El mito y el hombre. Breviarios del Fondo de Cultura Económica México. 1998

Graves, Robert.

I Los mitos griegos, Alianza editorial, Madrid, 2002

II Los mitos griegos, Alianza editorial, Madrid, 2009

Homero.

La Ilíada. La montaña mágica, Bogotá, 1986

Jonas, Arthur.

Arquímedes y sus maravillosos descubrimientos. Edime, Madrid, 1976

Valmiki.

Ramayana. Libresa, Quito, 2006

La Biblia.

Sociedades Bíblicas Unidas, s/lugar, 1979

Real Academia Española.

Diccionario de la lengua española. Espasa Calpe, Madrid, 2001

Wikipedia

Elaboración de yogur deslactosado mediante un modelo de hidrólisis

Sánchez Claudio

*Escuela de Ingeniería en Alimentos,
Facultad de Ciencia y Tecnología,
Universidad del Azuay,
Av. 24 de Mayo 7-77,
Cuenca, Ecuador.*

Correspondencia: csanchez@uazuay.edu.ec

Resumen

El propósito del presente trabajo fue la aplicación de un proceso tecnológico de hidrólisis para obtener materia prima de elaboración de yogur deslactosado. Las condiciones de la hidrólisis incluyeron una temperatura de 40 °C y 0,14% de lactasa Maxilact L2000. El modelo de hidrólisis se basó en la determinación del punto crioscópico con intervalos de tiempo de 15 min. Esta técnica se fundamenta en la disminución del punto de congelación a medida que aumentan los solutos, al producirse hidrólisis de lactosa y la consecuente formación de glucosa y galactosa; así, se incrementa la relación de solutos en la solución. La materia óptima para la elaboración del yogur fue de un 54%, reduciendo de esta manera los recursos, el tiempo y los insumos.

Palabras clave: hidrólisis, biotecnología, yogur deslactosado, lactasa, modelo

Abstract

The present work shows the application of hydrolysis as the technological process for obtaining of raw material in delactosed yogurt production. Hydrolysis was performed with a temperature of 40 °C and 0.14% of lactase Maxilact L2000. The hydrolysis model was based in the determination of the cryoscopic point with 15 min. time intervals. The technique is based in the decrease of the freezing point while solutes increase when the hydrolysis of the lactose form glucose and galactose; in this sense, the solutes relation in the solution increases. The optimum material for yogurt production was 54%, reducing resources and time.

Key words: hydrolysis, biotechnology, delactosed yogurt, lactase, model

1. Introducción

El proceso de hidrólisis consiste en el tratamiento enzimático de la leche, que contiene lactosa por medio de una enzima conocida como lactasa. La lactasa, también conocida como B-galactosidasa o B-D-galactósido galactohidrolasa, se

Nomenclatura

E° = concentración inicial de la enzima
 S_0 = concentración inicial de sustrato
ES = Complejo enzima- sustrato
P = Concentración de galactosa
GI = Concentración de glucosa
 k_1, k_2, k_3 = constantes específicas de velocidad
 k_i = Constante de inhibición
 k_M = Constante de Michaelis-Menten
X = Concentración de lactosa

aísla de una cepa de la levadura Kluyveromices lactis e hidroliza la lactosa en glucosa y galactosa. Puede así obtenerse una hidrólisis total o parcial de la lactosa en el sustrato, mediante el control de varios parámetros que influirán de una u otra manera sobre la cinética de la reacción enzimática.

Es importante el conocimiento de la cinética enzimática para la determinación de las condiciones óptimas de actividad enzimática y para la determinación de las velocidades de conversión máximas. El conocimiento de los datos cinéticos permite diseñar el proceso de manera que se logre la máxima economía tanto en tiempo como en recursos, en la conversión de los sustratos en productos.

El modelo a seguir durante este tratamiento, será el de Michaelis-Menten, que propone una cinética enzimática sin inhibición con formación de producto, donde la ecuación cinética integrada sería:

$$E^0 * t = \left(\frac{S_0}{k_2}\right)x - \left(\frac{k_m}{k_2}\right)\ln(1 -$$

El tratamiento está encaminado a solucionar algunos importantes problemas dietéticos (intolerancia a la lactosa en leche de consumo, por ejemplo), y tecnológicos.

Tanto la galactosa como la glucosa formadas son azúcares más saludables que la lactosa original. Además, la mezcla glucosa galactosa es de dos o tres veces más dulce que la lactosa con lo que el procedimiento disminuirá la cantidad de azúcares necesarios.

La hidrólisis de la lactosa también contribuye en diferentes características del producto como la solubilidad, la lactosa presenta solubilidad del 18 % en agua a 25°C, la glucosa en las mismas condiciones de 50% y la galactosa del 25 %; viscosidad: la glucosa y la galactosa presentan baja viscosidad lo que permite alta concentración de sólidos sin que ocurra cristalización. Cuerpo, textura, sabor: son modificados debido a la liberación de galactosa. El sabor queda más acentuado. Reacción de Maillard: la glucosa y la galactosa son más reactivas que la lactosa a temperaturas elevadas al $\text{pH} > 5$ en relación con las proteínas. De 2,5 a 5 veces más. Por lo que se debe regular los tratamientos térmicos al tratar con materia prima que ha sido hidrolizada.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, en el presente trabajo se intenta obtener una leche parcialmente hidrolizada como materia prima para la elaboración de yogur deslactosado. Se consideraron los parámetros de temperatura, tiempo y crioscopia, los cuales se utilizaron para controlar el porcentaje de hidrólisis, obteniendo así la materia prima. Posteriormente se iniciaría el procedimiento de fermentación por transformación de la lactosa en ácido láctico gracias a la acción del fermento LAB. De igual manera en este punto se mantuvo una temperatura constante y se controló el tiempo.

2. Materiales y métodos

- 1.1. Enzima.** La lactasa Maxilact L2000 con la que se va a trabajar durante todo el proceso de hidrólisis será posteriormente inactivada por acción del calor, para que no interfiera en el proceso de fermentación.

- 1.2. **Sustrato.** Está constituido por leche entera cuyo porcentaje de lactosa inicial es de 1.70%.
- 1.3. **Determinación de lactosa.** Se realizó utilizando el método de prueba NMX-F-219-1972 para la determinación de lactosa de la leche, según la dirección general de normas mexicanas.
- 1.4. **Porcentaje de hidrólisis.** Para su determinación se realizó crioscopia, cuyo fundamento se basa en la disminución del punto de congelación a medida que aumentan los solutos, los que incrementan debido a que cuando se produce la hidrólisis de la lactosa, se forman, glucosa y galactosa incrementando la relación de solutos en la solución.
- 1.5. **Condiciones de operación.** Para la Hidrólisis se trabajó con un porcentaje de enzima de 0,14%, manteniendo una temperatura constante de 40 °C. Luego de sembrada la enzima se procedió a determinar el punto crioscópico cada 15 minutos, hasta obtener un porcentaje de hidrólisis cercano al 50%. Luego de lo cual se procedió a inactivar la enzima por acción del calor durante 5 minutos a 85 °C.

Para la elaboración del yogur se realizó primero la determinación de la lactosa residual, con el objeto de determinar si con el contenido de lactosa podría llegar a una acidez característica de este producto 60-120 °D. Una vez obtenido este valor se procedió a regular la temperatura de la materia prima a 40 °C; pero antes, se colocaron todos los aditivos necesarios. Alcanzada dicha temperatura se

realizó la siembra del fermento LAB. Finalmente se procedió a incubar a 40 °C las muestras durante un período de dos horas y se determinó su porcentaje de acidez cada 30 minutos. Una vez terminado este tiempo unas muestras se conservaron a la misma temperatura y las otras se llevaron a refrigeración, para luego de 10 horas determinar los cambios en cada una.

3. Resultados y discusión

Durante el análisis crioscópico realizado en el proceso de hidrólisis se obtuvieron los siguientes resultados:

Tiempo (min)	Punto crioscópico (°C)	°H	Y
0	-0,4582	0,4744	474,42
15	-0,6156	0,6374	637,39
25	-0,6497	0,6727	672,71
30	-0,6614	0,6848	684,82

Con los datos y mediante la siguiente fórmula se obtiene el porcentaje de hidrólisis:

$$x = \frac{y - 537}{2,74}$$

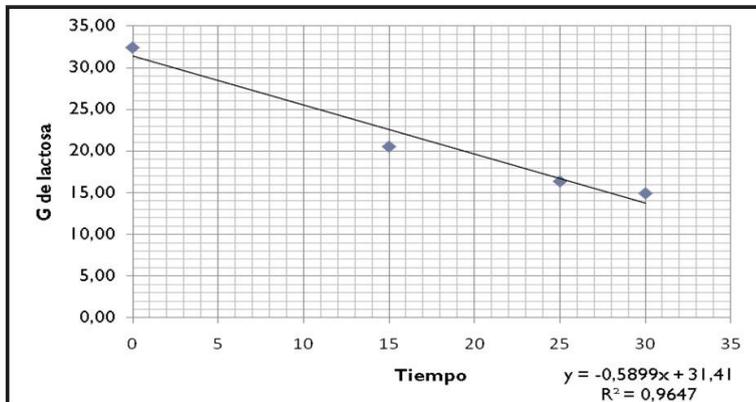
En donde:

x = % de hidrólisis

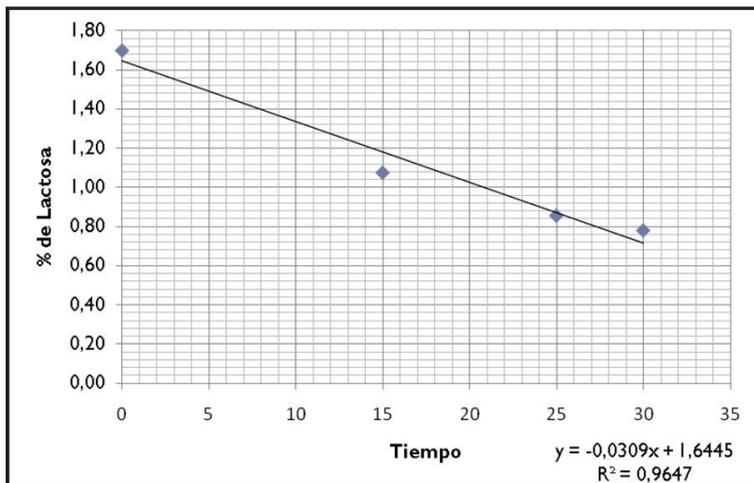
y = valor en Horvet del punto crioscópico de la leche después de la hidrólisis, multiplicado por 1000.

Tiempo	Punto	%	Y	% de
(min)	Crioscópico (°C)	Hidrólisis		Lactosa
0	-0.4582	22.8374	474.42	1.70
15	-0.6156	36.6419	637.39	1.08
25	-0.6497	49.5279	672.71	0.86
30	-0.6614	53.9402	684.82	0.78

En el siguiente gráfico se observa la cantidad de lactosa en mg vs el tiempo.



En el segundo gráfico se observa el porcentaje de lactosa vs el tiempo.



Se puede observar claramente que la línea presenta una pendiente negativa en cuanto, que a medida que el tiempo transcurre el porcentaje de hidrólisis que se está realizando es mayor, siendo igual al 54% cuando ha transcurrido 30 minutos de iniciada la siembra de la enzima lactasa Maxilact L2000. Por otro lado, el modelo de hidrólisis que se ha construido basándonos en una determinación indirecta, en este caso la crioscopia, presenta valores muy cercanos a los reales, lo que se determinó mediante el análisis de la lactosa residual luego del tiempo de 30 minutos, obteniendo una diferencia de 0.1%.

1.1. Determinaciones de lactosa realizados:

Los datos de la tabla pertenecen al volumen del titulante:

	Volumen del titulante
Patrón 5%	15,3
Leche	5,5
Leche hidrolizada	9,85
Yogur 66°D	2,4
Yogur 88°D	0,4

Estos valores se multiplican por el volumen del titulante, la normalidad del mismo y por el miliequivalente del cobre (en mg) para obtener los miligramos de cobre equivalentes al óxido cuproso formado por el azúcar reductor.

$$\text{Mg de Cu}_2\text{O} = \text{V. titulante} \times 0,1\text{N} \times 63,54$$

Con el valor de óxido cuproso resultante se buscó en tablas el valor equivalente en hidrato de lactosa, obteniéndose los siguientes datos:

	mg Lactosa	mg Glucosa
Patrón de lactosa	61,4	-
Leche	21,3	-
Leche hidrolizada	39,1	28,6
Yogur 66°D	8,5	7,8
Yogur 88°D	0	0

Luego de obtener los valores respectivos en la tabla de la cantidad de hidrato de lactosa correspondiente a los mg de óxido de cobre se determina el porcentaje de lactosa mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Lactosa} = \frac{M \times 10 \times 100}{P}$$

En donde:

M = Peso en gramos de la lactosa.

P = Peso en gramos de la muestra utilizada para el análisis.

10 = Parte alícuota

	% de lactosa
Patrón lactosa 5%	4,912
Leche	1,704
Leche hidrolizada	0,840
Yogur 66°D	0,056
Yogur 88°D	0,000

Como podemos observar, en la determinación de la lactosa residual se obtuvo un porcentaje de 0,84%, un valor muy cercano al obtenido mediante el modelo realizado con crioscopia. Lo que nos da a entender que esta determinación presenta valores muy relacionados con la cinética de la hidrólisis.

3.2. Elaboración de yogur deslactosado

Se partió de la leche anteriormente hidrolizada. Para el proceso de elaboración de yogur con la siguiente formulación:

	G	%
Leche	1900	99,27
Citrato	5,7	0,3
Carragenato	3,8	0,2
Azúcar	0,2	3,8
Fermento YC - 180	0,026	0,5
Total =	1913,79	100

A continuación se detallan las características del sustrato inicial:

S =	1,70	%
S0 =	0,84	%
E0 =	0,14	%
Hidrólisis =	53,95	%
Acidez 1 =	17,00	°D
Acidez 2 =	120,00	°D
Pm lactosa =	342,30	g/mol
Pm A. Láctico =	90,08	g/mol
X =	-3,000	g/kg

Como se puede notar existe un valor negativo de lactosa residual lo cual nos indica que no es posible obtener un yogur con 120°D, que se había planteado en un inicio, ya que no existe la cantidad de sustrato necesario para que las bacterias LAB produzcan el suficiente ácido láctico para llegar a dicha acidez.

	g/kg	Mol ácido	Mol lactosa	Lactosa
Acidez 1	1,7	0,01887	0,00471	1,6149
Acidez 2	12	0,13321	0,033303	11,3998

Por lo tanto se realizó el siguiente cálculo para determinar la acidez que podrá tener el producto final, con las características de nuestra materia prima:

$$\text{Mol de ácido} = \frac{\text{(g/Kg de ácido)}}{\text{(PM de ácido láctico)}}$$

$$\text{Mol de lactosa} = \frac{\text{(Mol de ácido)}}{(4)}$$

$$\text{g/Kg de lactosa} = \text{(Mol de lactosa)} \text{ (PM de lactosa)}$$

La acidez a la que es posible llegar con la cantidad de lactosa que se tiene se calcula de la siguiente forma:

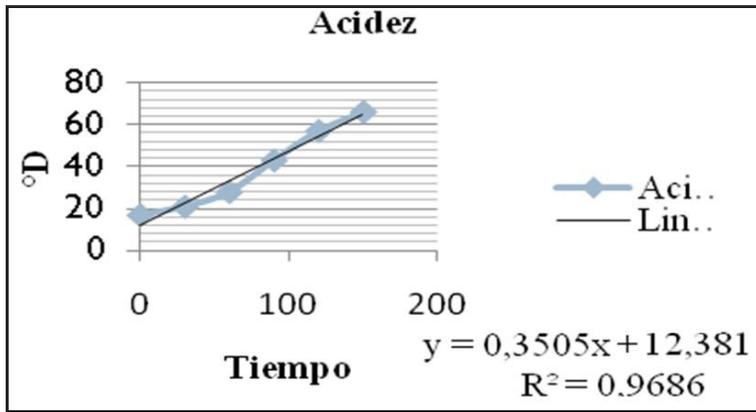
$$\begin{array}{r}
 \text{gr} \\
 \text{----- de lactosa So X acidez 2} \\
 \text{kg} \\
 \text{Acidez} = \text{-----} \\
 \text{gr} \\
 \text{----- de lactosa de La acidez 2} \\
 \text{kg}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \text{gr} \\
 8,400 \text{ ----- X } 120^{\circ}\text{D} \\
 \text{kg} \\
 \text{Acidez} = \text{-----} \\
 11,3998\text{gr/kg}
 \end{array}$$

Acidez máxima = 88,4220°D

Con el fin de comprobar los cálculos anteriores se realizó un seguimiento del incremento de acidez del yogur incubado a 40°C obteniéndose los siguientes resultados:

Tiempo (min)	Acidez
0	17
30	21
60	28
90	43
120	57
150	66



Como se ve en la figura una vez adicionado el fermento LAB, el porcentaje de acidez va subiendo, en relación con el tiempo, iniciando con un valor de 17 ° D, y terminado en 66 °D para un tiempo de 2 horas y media.

Luego de lo cual, a un determinado número de muestras se las llevó a refrigeración para detener la acción del fermento y, a otras, se las dejó a la misma temperatura con el objeto de observar si la acidez aumentaba. En las muestras que se conservaron a 40 °C, por un período de 10h, se determinó un porcentaje de acidez de 88 °D, lo que anteriormente fue estimado por el contenido de lactosa con el que se partió para la elaboración del yogur.

La otra mitad de ellas que se refrigeró y la acidez que se obtuvo al día siguiente fue de 68°D.

Como último aspecto de este trabajo se realizó la determinación del contenido nutricional de la bebida de yogur realizada mediante la ayuda del programa de cálculo nutricional CESNID, obteniendo la siguiente tabla:

Información nutricional

Yogur deslactosado (0,05% de lactosa)

Por cada porción de 100g

	g	Calorías
Carbohidratos	0,1304	0,5216
Grasa	2,7	24,3
Proteínas	3,74	14,96
		39,7816
RDR		1,98908

4. Conclusiones

En este ensayo se demuestra la posibilidad de determinar la vida útil de un producto biológicamente activo tal como el yogur, ya que las bacterias LAB (baterías ácido lácticas) cuyo principal sustrato es la lactosa, la misma que con el proceso de hidrólisis se ve modificado el sustrato nutricio siendo directamente proporcional este compuesto a la formación de ácido láctico, proveniente de la transformación de la lactosa.

Al final del proceso se puede observar que el producto obtenido tiene un contenido de lactosa, muy bajo por el proceso de hidrólisis, lo que lo hace apto para el consumo de personas con intolerancia a este disacárido, ya que en tales concentraciones no representa gran riesgo.

5. Agradecimientos

Se deja constancia del reconocimiento al soporte brindado por los laboratorios de Microbiología y Ambiental, y al apoyo de los estudiantes de séptimo ciclo de la Escuela de Ingeniería en Alimentos, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del Azuay.

6. Literatura citada

Fonseca E. Carrasco A. Pardo A. Caracterización cinética de la hidrólisis de lactosa utilizando β -galactosidasa libre e inmovilizada por atrapamiento. Epsilon. Colombia. 2004.

Fonseca E. Peñaloza R. Sánchez L. Obtención de dulces de leche con lactosa hidrolizada por enzima inmovilizada, Colombia. Epsilon 1(1): 91-102. 2003.

Eliécer J. Producción y aplicación de enzimas industriales. Colombia. Grupo de investigación Asubagroin. 2003.

Brown G. Operaciones Básicas de ingeniería Química. Editores Marín S. A. Barcelona. España. 1955.

Cakebread.S. Dulces elaborados con azúcar y chocolate. Editorial Acribia. Zaragoza. España. 1975.

Carrara C. Rubiolo A. The immobilization of β -galactosidase of chitosan. *Biotechn. Prog* 10: 220-224. 1994.

Carrara C. Determination of kinetics parameters for free and immobilized β -galactosidase. *Process Biochemistry*. 1995.

- Fonseca E. Peñaloza R. Sánchez L 2003. Obtención de dulces de leche con lactosa hidrolizada por enzima inmovilizada, Colombia. *Epsilon* 1(1): 91-102.
- Fogler HS. Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas. Prentice Hall. 3ra. Edición. México. 968 pp. 2001.
- Gist BNV 1981. Maxilact 2000, Technical Data Sheet, Delft, Netherlands. 10 pp. 2000.
- Mahoney R, Whitaker J. Stability and enzymatic properties of β -galactosidase from *Kluyveromices Fragilis*. *Food Biotechnol*. 1, 327. 1977.
- Martínez BC. Estadística y Muestreo. ECOE Ediciones, Bogotá DC. 879 pp.
- Scragg A 1996. Biotecnología para Ingenieros, Sistemas biológicos en procesos tecnológicos. 1ra. Ed. Limusa, México. 410 pp. 2002.
- Shu Kla TP. Beta-galactosidase technology a solution to the lactose problem, critical. Review. *Food Technology* 5: 325-339. 1995.
- Weetall H, Noshir B 1974. The preparation of immobilized lactase and its use in enzymatic hydrolysis of acid whey. *Biotechnol Bioeng* 16: 295.

Obtención de ácido cítrico por Aspergillus niger

Sánchez Claudio

Escuela de Ingeniería en Alimentos,

Facultad de Ciencia y Tecnología,

Universidad del Azuay,

Av. 24 de Mayo 7-77,

Cuenca, Ecuador.

Correspondencia: csanchez@uazuay.edu.ec

Resumen

En este trabajo se estudiaron las características, variables y el rendimiento de la obtención de ácido cítrico, a partir de Aspergillus niger. El desarrollo de las esporas y la producción del ácido cítrico se realizó en dos medios: 1) mínimo y 2) papa-glucosa. Mediante determinaciones de azúcares y ácido cítrico final, se estableció que el medio óptimo para el desarrollo y producción de ácido es el medio mínimo. En el medio mínimo # 1 se obtuvo 0,07 %, en el # 4, 0,05 % y en el de papa-glucosa, 0,04 % de ácido cítrico. En cuanto a la determinación de la biomasa, se incrementó en 173 % con relación a todos los medios, una indicación de lo propicio de las condiciones con las que se trabajó.

Palabras clave: ácido cítrico, Aspergillus niger, proceso de obtención, rendimiento

Abstract

The present work studied the process of obtaining citric acid from Aspergillus niger; it included the characteristics, variables and performance of the method. The development of spores and the production of citric acid were done in two substrates: 1) minimum and 2) potato-glucose. Through the determination of sugars and final citric acid, the optimum substrate for the development and production of acid was the minimum. In the minimum substrate # 1, it was obtained 0.07 %, in the # 4, 0.05 %, and in the potato-glucose substrate, 0.04 %. Biomass determination increased 173 % with respect to all substrates, an indication of the favorable conditions with which the procedure was conducted.

Key words: citric acid, Aspergillus niger, performance, process

1. Introducción

La principal fuente de ácido cítrico, antes de que se desarrollaran los procesos microbianos, fueron los cítricos (los limones contienen 7%-9 % de ácido cítrico). Actualmente más del 99 % de la producción mundial de ácido cítrico se produce microbiológicamente. El 70 % se utiliza en la industria de alimentos y bebidas ya que el sabor de los jugos de frutas, sopas, aceites, panificados, vino, salsas y aderezos, caramelos, helados y mermeladas se aumenta o se preserva por adición de ácido cítrico. El 20% se destina a productos farmacéuticos como el citrato de hierro y ácido cítrico que se usan como conservantes

de la sangre almacenada así como en tabletas, pomadas y preparaciones cosméticas. En la industria química (10 % restante) el ácido cítrico se utiliza como agente antiespumante, como reblandecedor y para el tratamiento de textiles. En la industria metalúrgica los metales puros se producen como citratos metálicos.

En la actualidad, para la producción comercial de ácido cítrico, sólo se utilizan mutantes de Aspergillus niger. Para el presente trabajo es importante conocer más de dicho microorganismo.

Este hongo es empleado en varios procesos industriales por la variedad de enzimas que produce. Los ácidos cítrico y glucónico son obtenidos comercialmente por el uso de este microorganismo. Así mismo se producen preparaciones enzimáticas y algunos antibióticos. Tiene un uso potencial como bioinsumo para la elaboración de biofertilizantes.

La obtención del ácido cítrico, que en un principio se realizaba mediante el crecimiento en una superficie estática, ahora se lleva a cabo en fermentadores aeróbicos con agitación. Generalmente se utilizan como materia prima las melazas. El ácido cítrico es un producto metabólico primario y se forma en el ciclo de los ácidos tricarboxílicos. La glucosa es la principal fuente de carbono utilizada para la producción de ácido cítrico. La ruta bioquímica que lidera la producción de ácido cítrico fue descubierta 50 años atrás, muchos estudios inequívocamente demostraron que el ácido cítrico es formado principalmente por la ruta glucolítica, y una subsecuente condensación de Carbono 4 y Carbono 2, una de las claves encontradas en dichas investigaciones fue que el rendimiento de ácido cítrico excede en un 60 % únicamente cuando no se pierde el

dióxido de carbono liberado durante la reacción de la piruvato deshidrogenasa. Consecuentemente demostraron que la biosíntesis de ácido cítrico involucra el catabolismo glucolítico de la glucosa a dos moles de piruvato de las cuales una es convertida en acetil coenzima A (por pérdida de un mol de dióxido de carbono) y la otra en oxalacetato (por unión de la mol de piruvato con el dióxido de carbono liberado), finalmente se condensan estos dos precursores a ácido cítrico.

Recientes estudios del comportamiento de la enzima responsable de esta condensación (piruvato carboxilasa) demostraron que el oxalacetato formado no es inmediatamente utilizado por la reacción de la citrato sintasa, lo cual es imposible debido que la reacción de la piruvato carboxilasa está localizada en el citosol, por lo que este es primero reducido a malato, por la citosol malato deshidrogenasa, ingresando a la mitocondria a través de la vía malato-citrato. La mayor producción de ácido cítrico es obtenida con sacarosa como fuente de carbono, mientras que con glucosa los resultados son bajos ya que existen dos transportadores para la glucosa pero difieren en la afinidad por la misma. La una con menor afinidad está presente únicamente en altas concentraciones de glucosa, como aquellas usadas en la fermentación de ácido cítrico. Los científicos calcularon que la cantidad de glucosa transportada durante la ideofase puede ser debida únicamente a la difusión pasiva con lo cual se explica por qué el transporte de la glucosa procede sin inhibición a pesar de las altas concentraciones de ácido cítrico en el medio, el cual ha demostrado ser inhibidor de ambas glucosa permeazas. La Invertasa extracelular del Aspergillus niger hidroliza toda la sacarosa disponible dentro de las primeras etapas de fermentación.

1.1. Medio óptimo de fermentación

- Alta concentración de azúcar.- En general entre el 14 y 22%. Con lo cual favorece la mantención de una condición glucolítica activa y un efecto osmorregulador.

- Baja concentración de fosfatos.- entre 0.02 y 0.10%, favoreciendo a la inhibición por Me^{2+} lo cual se acentúa con fosfatos facilitando la desviación a subproductos.

- pH ácido (pH<4.0).- Favorece la extracción de citrato, además a pH de 4.5 se activa la glucosa oxidasa extracelular que desvía el sustrato de la vía glucolítica, produciendo ácido glucónico.

- Alta disponibilidad de oxígeno.- ($dO_2 > 140$ mbar) permite mantener la condición glucolítica activa.

- Alta concentración de ion amonio.- Activación de la fosfofructoquinasa (directa y por reversión de la inhibición por citrato), de piruvato quinasa (directa), de citrato sintasa (directa). Inhibición de α -cetoglutarato deshidrogenasa.

- Baja concentración de cationes metálicos divalentes.- En especial hierro, zinc y manganeso.

- Toxicidad directa e interferencia como cofactores de enzimas catabólicas.

2. Materiales y Métodos

- Cultivos

Microorganismos: se utilizó Aspergillus niger que se encontraba desarrollado en agar papa- glucosa. De esta

cepa se replicó en cajas petri que contenían 20ml del mismo medio de cultivo para favorecer la esporulación, cultivado por 7 días a 28°C.

Cosecha de esporas: Luego de que transcurrió el periodo de crecimiento se suspendieron las esporas en 5ml de agua destilada estéril. Se agitó y traspasó la suspensión a un tubo estéril.

Inoculación y medios de cultivo: se inocularon 50 ml de medio papa – glucosa o medio mínimo (en erlenmeyers de 250ml) con 500µl de la suspensión de esporas. Para la inoculación del biorreactor (2,5L) se utilizaron 125ml de un cultivo de 48horas en medio mínimo.

El medio papa - glucosa contiene infusión de papas 4 g/l y glucosa 20g/l (pH=5,1).

El medio mínimo contiene sacarosa 140g/l; (NH₄)₂ SO₄ 2,5g/l; MgSO₄ 7H₂O 1; 1g/l, NaCl 0,15g/l; KH₂PO₄ 0,15g/l; ZnSO₄ 7H₂O 1,5mg/l; CuSO₄ 5H₂O 240µg/l; FeSO₄ 7H₂O 100µg/l (pH= 5,5).

Condiciones de cultivo: los Erlenmeyers se incubaron a 28°C con agitación vigorosa durante 10 días. En el biorreactor se mantuvo el cultivo a 28°C y dO₂>30 %. Después de 48h de cultivo se ajustó el pH a 3 por adición de H₂SO₄ 1N, cultivándolo en las mismas condiciones por otras 48h.

Cosecha: los cultivos se filtraron sobre papel filtro previamente pesado, colocado un embudo Buchner conectado a una trampa de agua. El micelio se lavó 2 veces con 50ml de agua destilada para eliminar restos de carbohidratos que podrían caramelizarse durante la determinación de peso seco. Se guardó el filtrado sobre

el que se realizó la determinación de hidratos de carbono totales y ácido cítrico. Para determinar la eficacia de este trabajo se realizaron los siguientes análisis:

Peso seco: se retiraron los papeles filtro de los embudos, se los colocó en una cápsula de porcelana previamente pesada y se desecó en la estufa a 105°C hasta peso constante. Se obtuvo la masa del micelio por diferencia.

Determinación de carbohidratos totales: se utilizó el método de la antrona. Este compuesto aromático de color amarillo reacciona con los hidratos de carbono generando un compuesto de color verde, que absorbe a $\lambda=625\text{nm}$. La reacción se llevó a cabo en medio ácido para favorecer la hidrólisis total de los azúcares y evitar que interfieran las mezclas parciales de mono y disacáridos.

Reactivo antrona: 140mg de antrona en 4ml de Etanol y 100ml de ácido sulfúrico 62,5 % en agua. Calentar a 60°C hasta completar la dilución del reactivo. Filtrar y guardar en botella caramelo a 4°C.

Soluciones estándar: Solución de sacarosa 0,1 % y de glucosa 0,1 %.

Procedimiento: En un tubo se colocó la muestra o solución estándar hasta un volumen de 150 μl + 1,5ml de reactivo antrona, se agitó cuidadosamente e incubó a 100°C por 10min. Se detuvo la reacción introduciendo los tubos en agua fría. Se midió la absorbancia a $\lambda=625\text{nm}$ diluyendo la muestra alrededor de 1/250 a 1/400.

Determinación de ácido cítrico: se basa en la reacción de la piridina y el ácido cítrico en presencia de anhídrido acético, formando un compuesto amarillo que absorbe a $\lambda=435\text{nm}$.

Soluciones estándar: solución de ácido cítrico 0,1%.

Procedimiento: en un tubo se colocaron las muestras o solución estándar hasta un volumen de 125 μ l + 700 μ l de anhídrido acético, se mezcló por inversión. Se agregó 160 μ l de piridina. Se mezcló e incubó a 30°C por 20 min. Se midió la absorbancia a $\lambda=435$ nm diluyendo la muestra alrededor de 1/40 a 1/100.

3. Resultados

Se calculó el rendimiento de ácido cítrico respecto al azúcar consumida, la biomasa producida y la productividad volumétrica.

Tabla 1. Determinación de biomasa.

			Xi	
PESO MICELIO	0,62g	620,5mg	124,1	mg/ml
PESO MICELIO	0,56g	561,5mg	112,3	mg/ml
VOLUMEN	5ml			
			118,2	mg/ml
			Xf	
PESO MICELIO	0,59g	585,9mg	117,18	mg/ml
PESO MICELIO	2,86g	2855,6mg	571,12	mg/ml
PESO MICELIO	1,4g	1403,6mg	280,72	mg/ml
VOLUMEN	5ml			
			323,0066	mg/ml

$$\Delta x = Xf - Xi$$

$$\Delta x = 323,0066 - 118,2$$

$$\Delta x = 204,8 \text{ mg/ml}$$

$$\% \text{ de incremento de biomasa} = 173,26$$

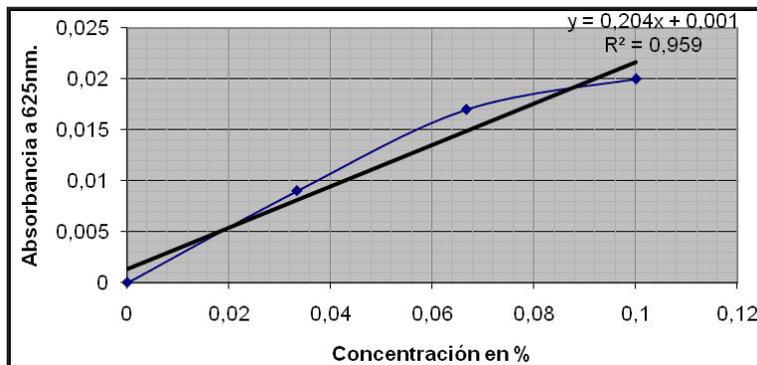
En la tabla anterior se puede observar claramente que en todos los medios se dio un incremento de la biomasa lo que nos indica que los compuestos utilizados son óptimos para el desarrollo o crecimiento del *Aspergillus*.

- Determinación de azúcares y ácido cítrico

Tabla 2. Determinación de glucosa.

Estándares	X_i	Y_i
0/150	0	0
50/100	0,0333333	0,009
100/50	0,0666667	0,017
150/0	0,1	0,02

Figura 1. Curva de calibración



En la figura 1 se puede observar el modelo matemático para la determinación de glucosa, presente en los medios con los que se trabajó para la obtención del ácido cítrico, para ello se prepararon estándares partiendo de una solución de glucosa 0,1%. Los resultados obtenidos aplicando este modelo fueron los siguientes (ver tabla 3):

Tabla 3. Resultados del modelo

	Y = absorbancia de la muestra		X= concentración		Por Dilución 1	Por dilución 2
Medio1	Y1 =	0,02	X1 =	0,091666	12,22	17,07
Medio4	Y2 =	0,003	X2 =	0,018545	2,47	3,03
Medio Papa GL	Y3 =	0,015	X3 =	0,067156	4,47	9,45

Tabla 4. Comparación de la glucosa entre los resultados con los valores iniciales

	Total	Medio 1	Medio 4	Papa glucosa
Glucosa	20,00	0,00	0,00	20,00
% Glucosa	1,95	0,00	0,00	1,95
Resultados de Ab		17,07	3,03	9,45

Se puede observar que en este caso hubo un incremento en la concentración de la glucosa, si bien esta es consumida por el hongo para su desarrollo y producción de ácido cítrico, este mismo hongo hidroliza tanto el almidón (medio Papa-GI), como la sacarosa (medios 1, 4), produciendo el incremento de este azúcar en los medios. Este incremento es favorable puesto que una concentración alta de glucosa favorece al desarrollo del hongo y una mayor producción de ácido cítrico.

- *Determinación de sacarosa.*

Tabla 6. Determinación de sacarosa

Estándares	Xi	Yi
0 /150	-	0
50 /100	0,033	0,01
150 / 0	0,100	0,115

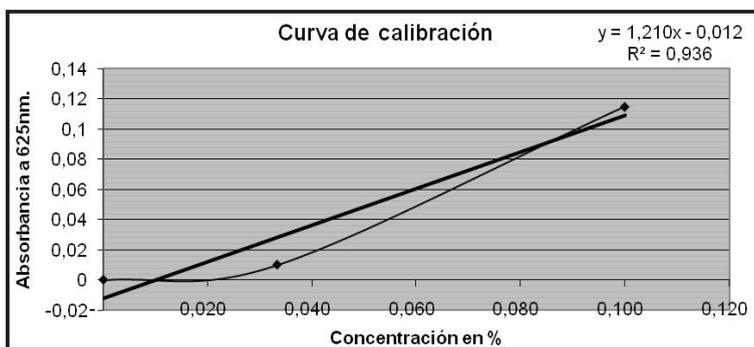


Figura 2. Curva de calibración

	Y = absorbancia de la muestra		X = concentración		Por Dilución 1	Por Dilución 2
Medio 1	Y1 =	0,013	X1 =	0,02	2,77	3,87
Medio 4	Y2 =	0,009	X2 =	0,02	2,33	2,86
Medio Papa GI	Y3 =	0,018	X3 =	0,02	1,66	3,50

Medio
mínimo 1145,74 G

Tabla 7. Comparación de la sacarosa entre los resultados con los valores iniciales

	Total	Medio 1	Medio 4	Papa glucosa
Sacarosa	140,00	105,00	35,00	0,00
% Sacarosa	12,22	9,16	3,05	0,00
Resultados de Ab		3,87	2,86	3,50

Se puede observar en este caso que en los medios 1 y 4 existió una reducción del contenido de sacarosa, esto se debe al hecho de que el hongo es capaz de hidrolizar esta mediante la enzima sacarasa, para que pueda ser consumida en forma de glucosa y fructosa. En el caso del medio papa glucosa se puede observar que se generó sacarosa, por la hidrólisis del almidón presente en este medio.

- Determinación de ácido cítrico.

Tabla 8. Determinación de ácido cítrico

Estándares	X_i	Y_i
0 / 125	0	0
10 / 115	0,008	0,004
30 / 95	0,024	0,012
50 / 75	0,040	0,025
70 / 55	0,056	0,046

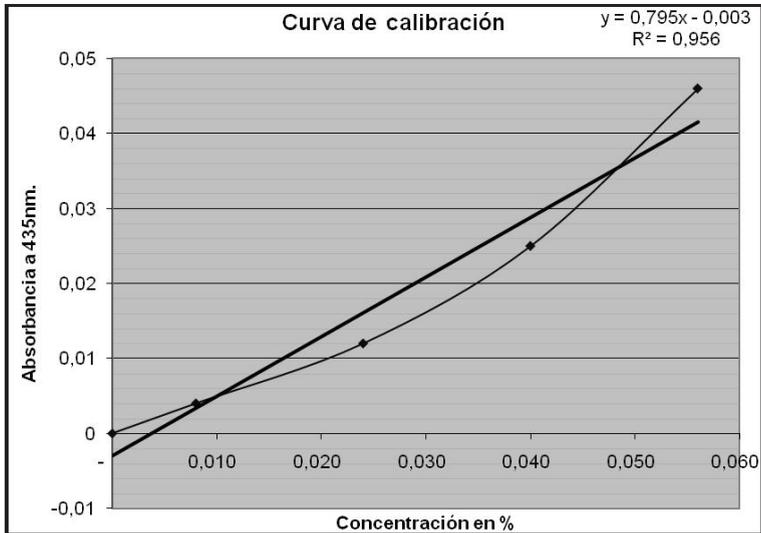


Figura 3. Curva de Calibración

Tabla 9. Producción de ácido cítrico

	Y = absorbancia de la muestra		X = concentración		Dilución 1
Medio 1	Y1 =	0,039	X1 =	0,05	0,07
Medio 4	Y2 =	0,03	X2 =	0,04	0,05
Medio Papa GI	Y3 =	0,012	X3 =	0,02	0,04

En esta tabla se observa claramente que existió una mayor producción de ácido cítrico en el medio 1, pues en este medio existen condiciones más favorables para el crecimiento y desarrollo del hongo.

4. Conclusiones

Con todo lo anotado anteriormente podemos decir entonces que para la producción de ácido cítrico es necesario tomar en consideración las condiciones en las que se trate de obtener, ya que estas son de vital importancia para el desarrollo del mismo, resaltando entre estas la presencia de iones, fosfatos, concentración de azúcar, etc. Sin embargo a pesar de las condiciones favorables se ha podido demostrar que pueden existir desviaciones de la ruta metabólica provocando la producción de otros metabolitos como ácido glucónico o acético, disminuyendo así la cantidad de ácido producido.

Cuando las condiciones o el ambiente en el cual se trata de desarrollar dicho ácido no son las apropiadas se producen desviaciones que no favorecen el desarrollo, manteniendo, estabilidad en la ruta metabólica y en la producción de tal ácido.

5. Agradecimientos

Se deja constancia del reconocimiento al soporte brindado por los laboratorios de Microbiología y Ambiental, y al apoyo de los estudiantes de séptimo ciclo de la Escuela de Ingeniería en Alimentos, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del Azuay.

6. Literatura citada

- Rick Aldeen. Gail L. Woods. Cathy A. Petti. *Aspergillus galactomannan Antigen*.- ARUP Laboratories. 2004.
- Gretty K. Villena y Marcel Gutiérrez Correa. *Biopelículas de Aspergillus niger para la producción de celulosas. Algunos aspectos estructurales y fisiológicos*. Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM. 2003
- Alex Sáez Vega. Liliana Flores Valdez. Andrés Cadavid Rendon. *Caracterización de una Cepa de Aspergillus niger y Evaluación de la producción de ácido cítrico*. Universidad EAFIT. Medellín. Colombia. 2002.
- Suárez- Herrera. Martha Alicia. Cerino Córdova. Felipe de Jesús. Sánchez-González. Mónica Noel. García Ham. *Empleo de Aspergillus niger en la biorremediación de ambientes contaminados con Cr (vi) y fenol*. Laboratorio de Biotecnología. FCQ. UANL. Sagrario. 2007.
- Romero Gómez S. *Producción de Invertasa por Aspergillus niger en Fermentación Líquida y Fermentación Sólida*. Universidad Autónoma Metropolitana. 2001.
- López Ríos C. Zuluaga Meneses A. Herrera Penagos S. Ruiz Colorado N. Medina de Pérez V. *Producción de ácido cítrico con Aspergillus niger NRRL 2270 a partir de suero de leche*. Universidad Nacional de Colombia Medellín. 2006.
- Revistas Alimentos Argentinos. *Ácido cítrico. El ingrediente que nos falta*. Dirección de Industria Alimentaria.S.A.G.P. y A. 2009. <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/alimentos/inicio.htm>. Utilización de *Aspergillus niger*. Última visita 15 de noviembre de 2009. Consultado en: <http://www.siac.net.co/sib/catalogoespecies/especie.do?idBuscar=546&method=displayAAT>. Useche Y. Peña Venegas C. Cardona Vanegas G. *Aspergillus niger Tiegh*. Última visita 22 de enero de 2010.

7. Anexo

Aplicación en la Industria Alimenticia del Ácido cítrico

Sector	Uso
Bebidas	Saborizante y regulador del pH; incrementa la efectividad de los conservantes antimicrobianos
Dulces y conservas	Acidulante y regulador del pH para lograr una óptima gelificación
Caramelos	Acidulante y regulador del pH con el objetivo de alcanzar la máxima dureza de los geles
Verduras procesadas	En combinación con ácido ascórbico, previene la oxidación
Alimentos congelados	Ayuda a la acción de los antioxidantes; inactiva enzimas previniendo pardeamientos indeseables; inhibe el deterioro del flavor y el color
Frutas y hortalizas enlatadas	Disminuye el pH; al actuar como quelante; previene la oxidación enzimática y la degradación del color, resalta el sabor.
Aceites y grasas	Previene la oxidación
Confitería y repostería	Se utiliza como acidulante, resaltador de sabores y para optimizar las características de los geles
Quesos pasteurizados y procesados	En forma de sal, como emulsificante y texturizante
Lácteos	Estabilizante en cremas batidas
Productos de la Pesca	Para bajar el pH en presencia de otros conservantes o antioxidantes
Carnes	Se utiliza como auxiliar del procesado y modificador de textura

Algunos productos de las colmenas de la abeja melífera (Apis mellifera) como indicadores para el monitoreo de metales pesados en el ambiente urbano de Cuenca

Aguilar Juan, Álvarez Pedro, Molina Paúl y Zárate Edwin*

*Escuela de Biología, Ecología y Gestión,
Facultad de Ciencia y Tecnología,
Universidad del Azuay,
Av. 24 de Mayo 7-77,
Cuenca Ecuador.*

**Correspondencia: ezarate@uazuay.edu.ec*

Resumen

La reciente preocupación de los países exportadores de miel de abeja por el colapso de sus colmenas debido a la contaminación ambiental, ha permitido la evaluación de las abejas y de los productos asociados como indicadores de calidad ambiental. Se realizó una investigación piloto en Cuenca y sus alrededores con un muestreo de polen, miel y cera para determinar la concentración de metales pesados. Los resultados mostraron que el polen es un buen indicador para concentraciones de Cd y, la cera, de

Pb. Las concentraciones de metales encontradas fueron, sin embargo, al nivel de trazas y, por tanto, no infringen el Codex Alimentarius impuesto para la miel y el polen. En conclusión, parece existir concordancia general en torno a la importancia de las abejas y sus productos, y su papel como indicadores de la calidad del ambiente, por lo que las colmenas de la región no parecen estar colapsando como a niveles internacionales.

Palabras clave: metales pesados, indicador ambiental, colmena, *Apis mellifera*, colmenas colapsadas.

Abstract

Collapsing bee hives due to environmental contamination causes concern in countries that export bee honey. Bees and products are currently being evaluated as environmental quality indicators. We conducted a pilot research with pollen, bee honey and wax to measure heavy metal concentrations in the city of Cuenca and its surroundings. Results showed that pollen is a good indicator for Cd concentrations and wax for Pb concentrations. Heavy metal concentrations were present at only a trace level and thus are in agreement with the Codex Alimentarius imposed on honey and pollen. Therefore, this is in agreement with the importance of bees and products, and their role as environmental indicators, although it seems that bee hives in the region are not in a collapsing situation such as in international levels.

Key words: heavy metals, environmental indicator, bee hive, *Apis mellifera*, collapsing bee hives.

1. Introducción

Las abejas pertenecen al grupo de los Aculeatos, o insectos con aguijón, del orden de los Himenópteros (Fernández 2002); comprenden aproximadamente 20.000 especies a nivel mundial (Molina 1978, Roubik 1989), y su importancia ecológica y socio-económica es grande e invaluable (Lietaer 2009). En el Neotrópico las especies de abejas constituyen el principal grupo de polinizadores de las angiospermas y han desarrollado diferentes comportamientos, algunos de los cuales la humanidad aprendió a aprovechar y manejar para obtener diferentes productos (Roubik 1989).

Dada la estrecha relación entre las abejas y las angiospermas, la apicultura aparece hace 8.000 años con la colección de miel de abeja silvestre; desde entonces, se han descubierto diferentes beneficios y productos del cultivo de abejas: miel, propóleos, polen, jalea real, cera y apitoxina (Núñez 2003). Las abejas melíferas, del género Apis, aprovechan cualquier espacio disponible para nidificar (Vélez-Ruiz 2009) y generar productos. Sin embargo, los productos apícolas son producidos en un ambiente afectado por diferentes fuentes de contaminación. Este hecho está disminuyendo las poblaciones de abejas y su producción; así, los apicultores localizan y excluyen las fuentes de contaminación (Suescún et al. 2008).

Al parecer Einstein enunció que: “Si las abejas desaparecieran del Planeta, al hombre sólo le quedarían cuatro años de vida”; parece una cifra acertada ya que la tercera parte de los alimentos que consumimos depende de la polinización en alguna instancia de su producción

(Cruz 2010); los primeros reportes de pérdida de abejas empezaron en Estados Unidos en 1996 y, actualmente, el fenómeno es conocido como “Desorden de las Colonias Colapsadas- DCC” (Cruz 2010). El 27 de febrero de 2007, el periódico *The New York Times* publicó una nota tan alarmante como extraña: “Sin razón aparente, las abejas mueren en masa a lo largo de Estados Unidos” y, al parecer, Italia, España, Francia y Argentina son países que también presentan DCC en su población de abejas, con la consecuente disminución en la producción de miel (Cruz 2010).

La abeja melífera, introducida en América, puede recorrer áreas considerables en búsqueda de recursos para el desarrollo de su colonia; sus productos entonces heredan las propiedades de las plantas que ocupan ese territorio (Vandame 1999). De forma similar, los productos pueden acumular la contaminación de esa localidad, lo que permite utilizar estos productos como indicadores de calidad ambiental (Fernández et al. 1994). Las abejas, además de cumplir con las características propias de un indicador de calidad ambiental (Reyes-Novelo et al. 2009), presentan ventajas de manejo, obtención y muestreo selectivo, apoyándose en la apicultura (Gorza 2007). En este sentido, la miel puede interpretarse como un “apéndice acumulador” que complementa la información obtenida de la colonia, sin destruirla, en especial con relación a la acumulación de metales pesados, isótopos radiactivos y plaguicidas (Fernández et al. 1994).

Los problemas de acumulación de contaminantes parecen estar presentándose también en Ecuador según los apicultores de la región Austral –ECOABEJAS-, quienes reportan disminución en la producción y pérdida de sus

colmenas. Dado que un posible fundamento propone a los metales pesados como culpables del DCC, este estudio pretende analizar la concentración de algunos de ellos en productos apícolas para proponer el monitoreo del ambiente urbano e industrial con técnicas relativamente sencillas y con grandes perspectivas, como es el estudio las colmenas.

2. Materiales y métodos

La recolección de datos y muestras se realizó en el periodo septiembre 2010 - enero 2011. En primera instancia se establecieron las colmenas a estudiar, tomando en cuenta la base de datos de ECOABEJAS y las recomendaciones de los apicultores; se seleccionaron tres colmenas de producción de miel que presentan diferentes características paisajísticas dentro del cantón Cuenca, por lo tanto se buscó una en buenas condiciones para la apicultura, una sometida a pocos disturbios ambientales locales y una en un sector con muchos disturbios ambientales. Además se tomaron datos adicionales de producción, edad y raza de las colmenas; luego se entrevistó a los apicultores para conocer sobre los problemas actuales que atraviesan las abejas locales.

En una segunda instancia, se procedió a hacer un reconocimiento a nivel local de cada colmena en un radio de 0,5 km², y se catalogaron las actividades que ocurren en estas localidades. Luego, se colectaron muestras, para luego cuantificar las concentraciones de los metales Cd (Cadmio) y Pb (Plomo) en la miel, cera y polen. Los análisis se realizaron en el Laboratorio Ambiental de la Facultad de Ciencia y Tecnología, en la Universidad del Azuay.

Las muestras colectadas fueron deshidratadas a 50 °C durante una semana; una vez que las muestras estuvieron secas se pesaron y luego fueron calcinadas a 400 °C por cuatro horas para la obtención de cenizas, las cuales fueron digeridas con HNO₃ al 50%), a temperatura ambiente. Posteriormente, se filtraron las muestras y se aforaron con agua destilada a un volumen de 50 ml para hacer la especiación en el espectrofotómetro de absorción atómica (Fredes y Montenegro 2006). El espectrofotómetro fue calibrado a 283,3 nm para el análisis de Pb, y a 230,8 nm para el Cd. Se realizó una curva de calibración de cada uno de estos metales para establecer con regresión las concentraciones de Pb y Cd en cada muestra.

3. Resultados

Luego del sondeo de la situación de alrededor de 500 panales distribuidos en el Azuay, la preocupación mayor apícola se vincula con la pérdida de colmenas que han sido afectadas hasta la fecha; más del 50 % de los panales manejados han desaparecido; de un grupo de 24 panales manejados a nivel casero, solo han resistido 7; la persona informante alude a la proliferación de industrias en el sector y las fuertes sequías de los últimos años como los causantes de las pérdidas de colmenas. Adicionalmente el informante mencionó que el promedio de producción por colmena es un equivalente a 70 lb, con un mínimo de 30 y un máximo de 70; de esta forma, la pérdida de colmenas conduce a la disminución significativa en su producción.

De cada panal estudiado se colectó alrededor de 2 g de miel, cera y polen. El primer panal seleccionado estuvo ubicado en la zona de Cahapata (Patamarca), cerca

del Parque Industrial, y presenta diversas actividades contaminantes (**Tabla 1; Anexo 1**); esta colmena lleva 12 años produciendo aunque su reina actual (Carniola) tiene solo un año, y su producción en el último año fue regular; el segundo panal estuvo ubicado en un jardín cercano al Cementerio Municipal, rodeado principalmente de tráfico vehicular como mayor fuente de contaminación local (**Tabla 1; Anexo 1**), lleva produciendo menos de un año, tiene una reina desconocida, y su producción es baja; el tercer panal se encuentra en LLacao, al noreste de Cuenca, su ubicación no presenta mayores disturbios (**Tabla 1; Anexo 1**), tiene una reina Italiana y fue establecido hace seis meses.

Tabla 1.- Datos de la situación local de las colmenas

Patamarca		Cementerio		LLacao	
Vegetación	Disturbios	Vegetación	Disturbios	Vegetación	Disturbios
Bosque eucalipto	Aserradero			Bosque eucalipto	
Chaparro nativo	Camal Municipal			Matorral nativo	
Cultivos	Fábrica Colineal			Cultivos	
Frutales	Tráfico		Tráfico		Tráfico
Jardines		Jardines			
Pastos		Pastos		Pastos	
Ribera río Machángara		Parque			

Los resultados de laboratorio, al 21 de diciembre de 2010, expresaron ausencia de Cadmio en la miel del Cementerio, de Plomo en la miel de Patamarca y LLacao, y ausencia de Plomo en Patamarca (**Figura 1; 2**). En lo que respecta a las muestras en las cuales se detectaron metales pesados, se pudo establecer que en la contaminación por Cadmio, los productos de las colmenas analizadas están muy relacionados, de esta forma el polen siempre presentó cantidades similares y correspondientes a las encontradas en la miel (**Figura 1; 2**). En cuanto al Plomo se encontró que la cera es un buen indicador para este metal, ya que presentó concentraciones elevadas, sin embargo el polen de LLacao presentó el valor más alto para este metal.

Figura 1.- Resultados de las concentraciones en partes por millón (ppm) de Cadmio en los productos de las colmenas.

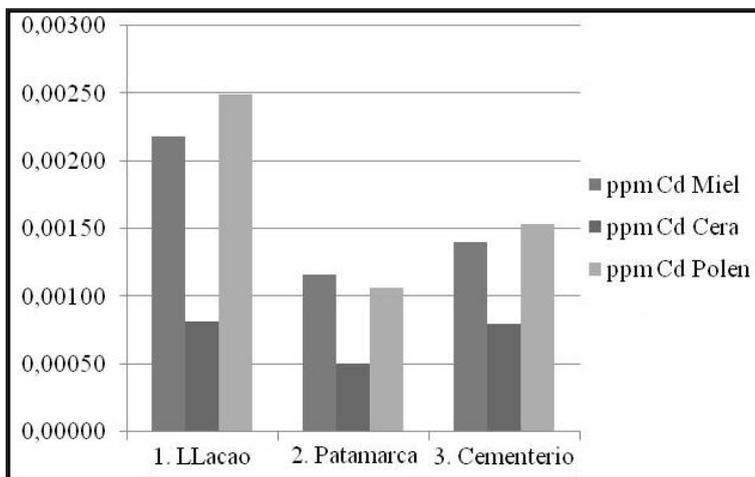
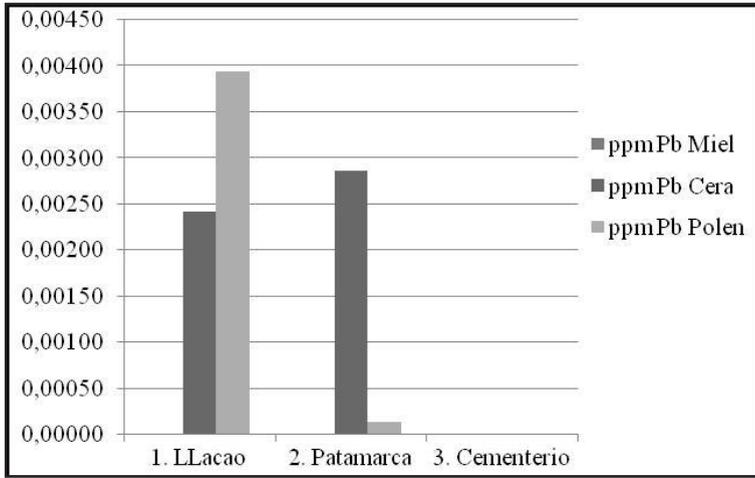


Figura 2.- Resultados de las concentraciones en partes por millón (ppm) de Plomo en los productos de las colmenas.



En lo que respecta a la contaminación local, los datos se revisaron con un análisis de varianza entre grupos con un intervalo de confianza del 95%, tomando en cuenta dos situaciones, la contaminación por Cadmio y por Plomo, en los tres componentes analizados (miel, cera y polen); en lo que respecta al Cadmio (**Figura 3**), LLacao resultó ser la localidad con mas contaminación, y el Cementerio y Patamarca demostraron presentar menos contaminación teniendo desviaciones estándar similares; en lo que respecta al Plomo (**Figura 4**), LLacao obtuvo valores más altos, seguido de Patamarca y el Cementerio, este último sin presentar el metal en ninguno de los componentes analizados.

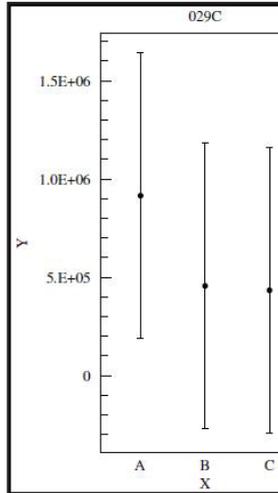


Figura 3.- Análisis de varianza entre grupos con un intervalo de confianza del 95%, analizando la contaminación por Cadmio en las tres localidades (A: LLacao; B: Patamarca; C: Cementerio).

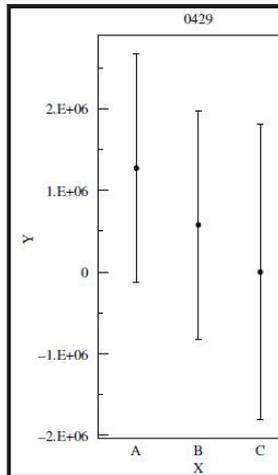


Figura 4.- ANOVA entre grupos con un intervalo de confianza del 95%, analizando la contaminación por Plomo en tres localidades (A: LLacao; B: Patamarca; C: Cementerio).

Para determinar el componente (miel, cera y polen) que expresó mejor la contaminación para cada uno de los metales pesados analizados se realizó, de igual forma, un ANOVA y se obtuvo que el producto de las colmenas que expresó mejor la contaminación por Cadmio fue el polen (**Figura 5**), y por Plomo la cera (**Figura 6**).

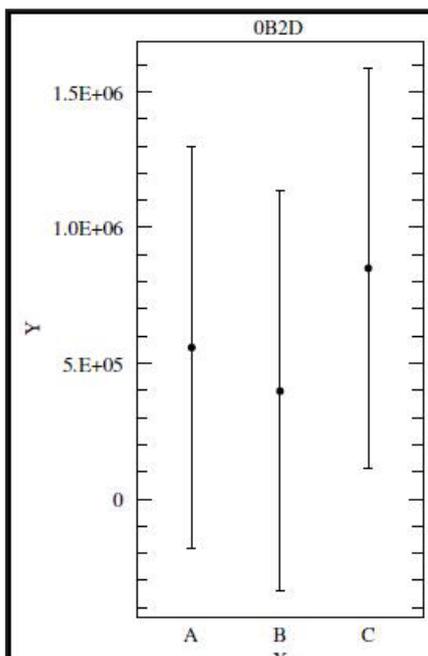


Figura 5.- ANOVA entre grupos con un intervalo de confianza del 95%, analizando la contaminación por Cadmio entre los productos de las colmenas (A: miel; B: cera; C: polen).

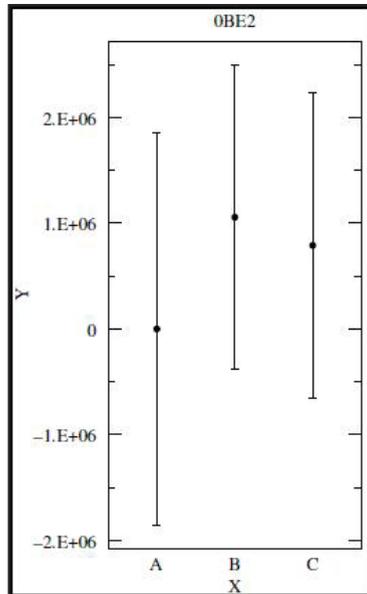


Figura 6.- Análisis de varianza entre grupos con un intervalo de confianza del 95%, analizando la contaminación por Plomo entre los productos de las colmenas (A: miel; B: cera; C: polen).

4. Discusión

En general existe concordancia en la utilización de la miel como indicador de contaminación por metales pesados, isótopos radiactivos y plaguicidas (Fernández *et al.* 1994). Los resultados obtenidos en el laboratorio en esta investigación demostraron la factibilidad de usar los productos de las colmenas como indicadores de calidad ambiental, a pesar de no expresar exactamente lo que se esperaba, probablemente debido a la falta de inclusión de una mayor cantidad de réplicas y un muestreo temporal, por ejemplo en un año con la opción de introducir otras variables

importantes como la calidad de las fuentes melíferas. Los resultados fueron sin embargo coherentes al momento de interpretar y analizar la situación atmosférica local, demostrando que las muestras de LLacaco, una zona con mucha vegetación y pocas intervenciones contaminantes; según lo mencionado por Fernández et al., (1994), tal vez se deba a que el contenido en Pb y Cd varía según la zona o región de producción y la fuente floral, ubicando a la abundante vegetación de esta localidad como una fuente mayor de contaminación para las colmenas y sus productos.

En cuanto a las concentraciones de los metales analizados (**Anexo 2**), se obtuvo que ninguna de las muestras contenía niveles peligrosos para la salud humana (Fernández et al. 1994); siendo la muestra de polen de LLacaco la que presentó mayores concentraciones de Cadmio (0,00249) y Plomo (0,00393).

Revisando otros posibles indicadores de contaminación atmosférica se puede encontrar a los líquenes según el efecto que tienen las alteraciones producidas por la contaminación sobre estas comunidades. Así se pueden encontrar especies tolerantes o sensibles que expresan la calidad del aire de un área específica (Canseco et al. 2006). Las ventajas que poseen los líquenes para ser utilizados como bioindicadores de lectura inmediata en los trópicos se basan en que los trabajos pueden ser realizados sin la identificación taxonómica de las especies involucradas, siendo fácilmente discernibles a simple vista (Hawksworth et al. 2005), y por el hecho de ser bioacumuladores de contaminantes al no poseer un sistema de excreción; sin embargo para que esto se lleve a cabo se deben tener inventarios previos de la comunidad

de líquenes de la zona. Los beneficios de las abejas son mucho mayores, siendo polinizadoras y productoras, su uso trae beneficios ecológicos y para el hombre; además su cualidad cosmopolita las convierte un instrumento comparable mundialmente.

5. Conclusiones

Las muestras de los productos de las colmenas analizadas expresaron que la localidad con más contaminación por Cadmio y Plomo es LLacao, a diferencia de lo supuesto en las visitas de reconocimiento a las localidades, probablemente por acción de factores ajenos a este estudio, como el transporte de contaminantes por el viento, o el radio tomado en cuenta para catalogar las actividades contaminantes fue muy pequeño (Reyes & Gallardo 2008); sin embargo, se demostró que estos productos son acumuladores de metales pesados, y que pueden expresar el grado de contaminación ambiental al que están expuestas las colmenas a nivel local, cumpliendo con el objetivo planteado. También se concluye que el producto de las colmenas que expresó mejor la contaminación por Cadmio fue el polen, y por Plomo la cera; acordando con lo concluido por Saavedra et al., (2007), quien plantea al polen apícola como uno de los productos con la mejor característica como indicador. A pesar de encontrar trazas de estos metales pesados en los productos de las colmenas, las concentraciones encontradas no infringen el Codex Alimentarius (1995) impuesto para la miel y el polen.

Aparentemente, existe una concordancia general en torno a la importancia de las abejas y sus productos, y su papel

como indicadores de la calidad del ambiente, a pesar de la escasez de datos en cuanto a la producción nacional de miel y otros productos apícolas; parece ser que las colmenas ecuatorianas no están siendo afectadas por el fenómeno del Desorden de las Colonias Colapsadas; finalmente, los datos de estudio constituyen el primer paso para evaluar la situación de las abejas a nivel local y, eventualmente, nacional.

6. Agradecimientos

Se agradece la colaboración de ECOABEJAS por la información proporcionada y el acceso a su base de datos de ubicación y de productos de colmenas. El Laboratorio de Química Ambiental de la Universidad del Azuay determinó los metales pesados en las muestras colectadas. Se deja constancia del reconocimiento al principal informante de este estudio, el Sr. Naún Zumba, un apicultor presidente de FENADE y miembro de ECOABEJAS; es también un microempresario de productos melíferos (APIZUM). Finalmente, se agradece la participación del Dr. Gustavo Chacón quien realizó la edición de este artículo.

7. Literatura citada

- Calatayud, F. Simó, E. 2001. Importancia de las abejas melíferas y otros insectos como agentes polinizadores de las plantas cultivadas silvestres de la comunidad valenciana. *En línea en:* www.culturaapicola.com.ar/apuntes/floraapicola/polinizacion.pdf.
- Canseco, A. Anze, R, Franken, M. 2006. Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. Unidad de Calidad Ambiental, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés. ACTA NOVA; Vol. 3, N° 2, junio 2006. Pp: 286-307. *En línea en:* <http://www.ucbcba.edu.bo/Publicaciones/revistas/actanova/documentos/v3n2/v3.n2.Canseco.pdf>
- Codex Alimentarius. Frutas y hortalizas elaboradas y congeladas rápidamente. Vol. 5, 2ª edición; Roma, Italia: Secretaria del Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias.1995.
- Cruz, Antonio. 2010. Colapsan las colmenas en nueve países: La misteriosa desaparición de las abejas. EMEEQUIS, 01 de febrero de 2010. Pp.: 44-49. *En línea en:* <http://www.m-x.com.mx/xml/pdf/209/44.pdf>
- Fernández, M.C. Subrá, E. Ortiz, A. 1994. La miel, indicador ambiental. Centro Regional Apícola de Castilla-La Mancha. Guadalajara.
- Fernando Fernández C. 2002. Filogenia y Sistemática de los himenópteros con aguijón en la Región Neotropical (Hymenoptera: Vespomorpha). Instituto Humboldt. Bogotá D.C. Colombia. *Proyecto de Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología Sistemática PRIBES 2002*. C. COSTA, S. A. VANIN, J. M. LOBO & A. MELIC (Eds.). Monografías Tercer Milenio. vol. 2, SEA, Zaragoza, Julio-2002. pp.: 101–138.

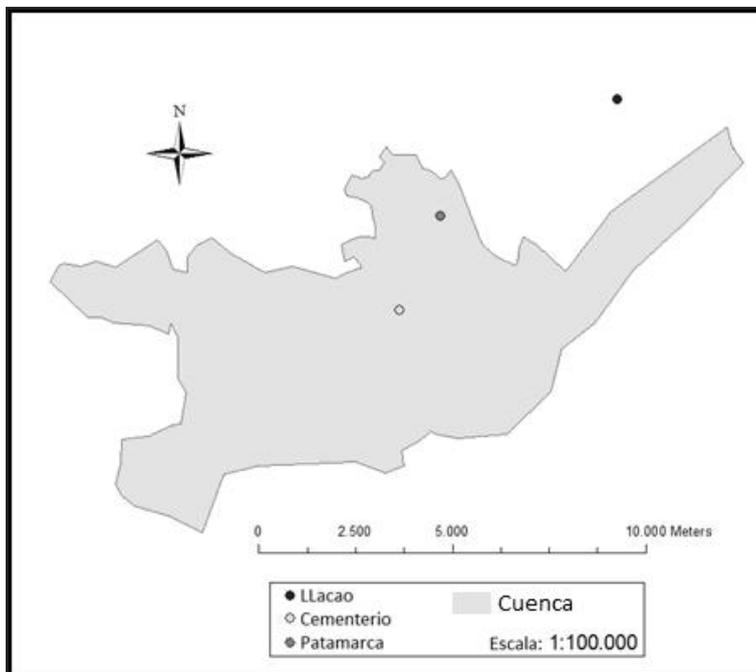
- Fredes, C. y Montenegro, G. 2006. Contenido de metales pesados y otros elementos traza en mieles de abeja en Chile. Departamento de Ciencias Vegetales, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. *Cien. Inv. Agr.* 33(1): 57-66. 2006. *En línea*: www.rcia.puc.cl
- Gorza, E. 2007. Biomonitorio con Abejas: Estaciones Gemelas con Análisis Simultáneos. Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur. *En línea en*: www.beekeeping.org/articulos/biomonitorio_abejas.pdf.
- Gutiérrez, M. Rodríguez-Malvaer, A. Vit, P. 2008. MIEL DE ABEJAS: UNA FUENTE DE ANTIOXIDANTES. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. FUERZA FARMACÉUTICA. Año 12 Vol. I Enero 2008. Pp: 39-45
- Hawksworth, D. Teresa Iturriaga, T y Ana Crespo, A. 2005. Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Departamento de Biología Vegetal II, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense, Madrid, España y Departamento de Biología de Organismos, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Baruta, Edo. Miranda, Venezuela.* *Rev Iberoam Micol* 2005; 22: 71-82
- Lietaer, Charlotte. 2009. Impact of beekeeping on forest conservation, preservation Impacto de la apicultura en la conservación de los bosques, la conservación of forest ecosystems and poverty reduction de los ecosistemas forestales y la reducción de la pobreza. XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina, 18 – 23 Octubre 2009 Buenos Aires, Argentina.
- Molina, P.A. 1978. Las abejas. Algunas notas sobre su importancia y clasificación. *Actualidades Biológicas* 7(25): 79-84.

- Menzel, R. 1993. Associative learning in honey bees. Institut für Neurobiologie, Neurobiologie, Königin-Luise-Straße Germany Alemania. 9 February De febrero. *En línea en:* www.culturaapicola.com.ar/apuntes/revistaselectronicas/apidologie/24-3/01.pdf
- Núñez, A. 21/08 de 2003 PRODUCTOS DE LA COLMENA. Apiarios La Rinconada Las Piedras, Uruguay. *En línea:* <http://apicultura.port5.com>
- Ramírez, R. y G. Montenegro. 2004. Certificación del Origen Botánico de Miel y Polen Corbicular Pertenecientes a la Comuna de Litueche, VI Región de Chile. Departamento de Ciencias Vegetales. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. CIENCIA E INVESTIGACIÓN AGRARIA. pp: 197-212
- Reyes-Novelo, E. Meléndez, V. Delfín, H. Ayala, R. 2009. Abejas silvestres como Bioindicadores en el Neotrópico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 10: 1-13
- Reyes Carrillo, J & Gallardo, O. 2008. Las abejas melíferas biomonitores de metales pesados en el aire. Asociación nacional de médicos veterinarios especialistas en abejas, a. C. Memorias 15° congreso internacional de actualización apícola del 28 al 30 de mayo del 2008. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Rivera J, Losada H, López M, Cortes J, Vieyra J y Grande D. 2007. Sistema de producción de miel en las áreas peri-urbanas de Milpa Alta, sureste de Ciudad de México. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 19, Article #29. Retrieved October 28, 2010. *En línea en:* <http://www.lrrd.org/lrrd19/2/rive19029.htm>
- Roubik, D. 1989. Ecology and natural history of tropical bees. Cambridge University Press, New York.

- Saavedra, Agni R, Di Bernardo, María L, Rondon, Carlos *et al.* Determinación de plomo en polen apícola de *Brassica napus* L. del Páramo de Misintá, estado Mérida, Venezuela. *INHRR*, jun. 2007, vol.38, no.1, p.6-10. ISSN 0798-0477.
- Schumacher M, Schmidt J, Egen W. Lethality of «killer» bee stings. *Nature* 1989; 337(6206): 413.
- Suescún, L. Vit, P. 2008. Control de calidad de la miel de abejas producida como propuesta para un proyecto de servicio comunitario obligatorio. Apiterapia y Bioactividad (APIBA), Departamento Ciencia de los Alimentos, Facultad de Farmacia y Bioanálisis, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. FUERZA FARMACÉUTICA. Año 12. Vol. I Enero 2008. pp: 6-15
- Vandame, R. & Miguel Ángel De Felipe H. 1999. Curso de capacitación sobre control alternativo de *Varroa* en la apicultura. - Julio de 1999 - *En línea en:* <http://www.cladead.com/cursos/APICU/APICU-000001/IMAGES/Curso%20Varroa.pdf>
- Vélez-Ruiz, Rita Isabel. 2009. Una aproximación a la sistemática de las abejas silvestres de Colombia. Tesis de Magíster en Ciencias – Entomología. Área Curricular en Ciencias Naturales. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. *En línea en:* www.bdigital.unal.edu.co
- VIT, Patricia. 2004. Productos de la colmena secretados por las abejas: Cera de abejas, jalea real y veneno de abejas. *INHRR*. [online]. June 2005, vol.36, no.1 [cited 28 October 2010], p. 35-42. Available from World Wide Web: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid

9.- ANEXOS:

Anexo 1.- Mapa de ubicación de las colmenas seleccionadas.



Anexo 2.- Resultados de las concentraciones de metales pesados de las localidades estudiadas.

Localidad	Muestra	ppm Cd	ppm Pb
1. LLacaco	Miel	0,002181467	0
	Cera	0,000813378	0,002414873
	Polen	0,002496124	0,003937984
2. Patamarca	Miel	0,001165189	0
	Cera	0,000504509	0,002866327
	Polen	0,001067246	0,00014167
3. Cementerio	Miel	0,0014	0
	Cera	0,001067246	0
	Polen	0,001534502	0

Productos fitosanitarios en los cultivos de la parroquia San Joaquín, Cuenca, Ecuador: un estudio de caso

Arias Ruth, Navas Daniel, Vázquez David y Zárate Edwin*

*Escuela de Biología, Ecología y Gestión,
Facultad de Ciencia y Tecnología,
Universidad del Azuay,
Av. 24 de Mayo 7-77,
Cuenca Ecuador.*

**Correspondencia: ezarate@uazuay.edu.ec*

Resumen

El uso de productos fitosanitarios está muy difundido en la producción agrícola del Ecuador y su mal manejo trae consecuencias negativas para la salud humana y de los ecosistemas. El presente estudio pretendió conocer el tipo de productos fitosanitarios que se usan en la producción de hortalizas de la parroquia San Joaquín, a sabiendas de que esta realidad puede estar repitiéndose en otras parroquias. La exploración demostró que la mayoría de los insecticidas que utilizan los agricultores pertenecen a las categorías III y IV (moderadamente peligroso a ligeramente peligroso); aunque existe también un alto porcentaje (36%) de uso de un producto organofosforado (Malatión) perteneciente a la categoría I (extremadamente peligroso). El herbicida más utilizado fue el glifosato (62,5 %). Los fertilizantes orgánicos (gallinaza) y

los químicos (urea) se usan en proporciones similares. En general los agricultores no usan protección para la aplicación de los productos. En consecuencia la calidad ambiental de la parroquia San Joaquín, en especial la de los cuerpos de agua, está afectada por el uso indiscriminado de productos fitosanitarios y abonos, con influencia decisiva en la salud de los agricultores y los consumidores.

Palabras clave: insecticida, herbicida, organofosforado, agricultura, calidad ambiental, salud

Abstract

The use of pesticides is common in the agricultural production of Ecuador; its mismanagement has negative impacts in human health and in ecosystems. The present study wanted to know the type of pesticides that are currently used for the production of vegetables in the San Joaquín Parish, previously knowing that this reality may be also occurring in other parishes. The survey showed that the majority of the pesticides used by farmers belongs to the categories III and IV (moderate dangerous to slightly dangerous). A high percentage (36%) of an organophosphorus product (Malathion – category I: extremely dangerous) is also used. The most used herbicide was glyphosate (62.5%). Organic (hen droppings) and chemical (urea) fertilizers were used in similar proportions. In general, farmers avoid using protection for product applications. Therefore, environmental quality in the San Joaquín parish, including water courses, is affected by the indiscriminate use of pesticides and manure products, which in turn decisively influences the health of farmers and consumers.

Key words: insecticide, herbicide, organophosphorus, agriculture, environmental quality, health

1. Introducción

En la actualidad el empleo de plaguicidas, fertilizantes sintéticos, compuestos orgánico-sintéticos, así como herbicidas son indispensables para satisfacer la creciente demanda de alimentos a nivel mundial (Gutiérrez y Londoño 2009). Aunque su uso ha generado beneficios en la producción agrícola su empleo inadecuado ha producido diferentes formas de contaminación ambiental (Pierre y Betancourt, 2007). En muchos países de Sudamérica, el control de su uso es limitado o inexistente. Los productos fitosanitarios son utilizados como plaguicidas para el control de plagas, como herbicidas para el control DE malezas y como fertilizantes. Cada uno de estos productos tiene sus dosis y formas de uso recomendados; sin embargo, las plagas y malezas se hacen cada vez más resistentes, lo que obliga a aumentar las dosis y las frecuencias de aplicación. Este hecho hace que se encuentren residuos de plaguicidas en los alimentos (Pérez et al., 2009).

Los plaguicidas son clasificados por su toxicidad en:

Categoría toxicológica	Etiqueta
I Extremadamente peligroso	Roja
II Altamente peligroso	Amarilla
III Moderadamente peligroso	Azul
IV Ligeramente peligroso	Verde

La parroquia San Joaquín ha sido tradicionalmente productora de variados productos agrícolas para la ciudad

de Cuenca y la región. Así, este estudio se dirigió hacia la búsqueda de información sobre el tipo de productos fitosanitarios utilizados en su actividad agrícola para poder hacer recomendaciones a los agricultores de esta parroquia.

2. Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo dentro de la parroquia rural de San Joaquín, que está ubicada 7 kilómetros al noroeste de la ciudad de Cuenca. Limita al norte con la parroquia Sayausí, al sur con la parroquia Baños, al este con la ciudad de Cuenca, y al oeste con las parroquias de Chaucha y Molleturo. Está constituida por una población de 5.126 habitantes, y posee una extensión de 880,5 ha.

La principal ocupación es la agricultura y ganadería, el 34% de la población se ocupa en estas, de hecho el 14.97% de su territorio se ocupa en el cultivo de hortalizas. Las especies más cultivadas son: col, *Brassica oleracea* L, 48.18 ha, culantro *Coriandrum sativum* L. 15.93 ha, zanahoria *Daucus carota* L. 13.63 ha, lechuga 8.35 ha *Lactuca sativa* L. coliflor *Brassica oleracea* var. *Botrytis* 6.45, perejil *Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss, 3.03 ha; ajo *Allium sativum* L. 1.37 ha; acelga, *Beta vulgaris* var. *Cicla*, 0.53 ha; espinaca, *Spinacia oleracea* L. 0.30 ha y apio 0.23 ha *Apium graveolens* L. Aunque también se cultiva cebolla *Allium cepa* L., rábano *Armoracia rusticana* L. remolacha: *Beta vulgaris* L. y nabo *Brassica rapa* L. La producción es vendida en los mercados de la ciudad de Cuenca y de las provincias de El Oro y Guayas.

Se realizaron 65 encuestas (Anexo 1) a los pequeños agricultores de la Parroquia de San Joaquín para determinar: principales plagas que afectan a sus cultivos; productos agroquímicos que utilizan para combatir a las plagas, principales fertilizantes que utilizan, principales herbicidas que utilizan, tipo de protección que usan al momento de la aplicación de los productos agroquímicos y cantidad y periodicidad de uso.

También se realizaron encuestas a las principales tiendas agrícolas (TA) (Anexo 2) dentro de la zona urbana de Cuenca, así como a las ubicadas dentro de la parroquia de San Joaquín para determinar: principales plaguicidas, herbicidas y fertilizantes vendidos; tipo de asesoramiento que brindan a sus clientes; clase de protección que venden para la aplicación de los productos agroquímicos.

Análisis de los datos

Los resultados de las encuestas fueron tabulados dentro de una base de datos para realizar el respectivo análisis de porcentajes. La estimación de cantidad de fertilizantes usados se llevó a cabo a partir de que el área cultivada es de 1'318.109 m².

3. Resultados

Encuestas en las tiendas agroquímicas

Dentro de las tiendas de agroquímicos se logró contabilizar 14 insecticidas con rangos de toxicidad que van desde altamente peligrosos a ligeramente peligrosos (Tabla 1).

Tabla 1. Lista de insecticidas encontrados en las principales tiendas de agroquímicos en la parroquia San Joaquín

Nombre comercial	Compuesto	Plaguicida	Familia química	Grado de toxicidad
Maneg	<i>Maneg</i>	Fungicida	Dithiocarbamate	III
Furadan	Carbofurano	Insecticida, Nematicida, Acaricida,	Carbamate	I
Poncho de aguas (cimoxamil+mancosed)	ancoced	Insecticida, Nematicida	piretroide	III
Phyton Mancosed	mancoced	Fungicida	Dithiocarbamate	II
Derosal	carbendazima	Fungicida, Metabolita	Benzimidazole	II
Mata babosas (metal aldehido)	metalaldehido	Molluscicida	Cyclo-octane	II
Funginol Radol	Fungicida	Metalaxil- M(Phenylamide)	Phenylamide	III
Kocide	hidróxido de cobre	Fungicida, Bactericida	Inorganic compound	IV
Daconil	clorotalonil	Fungicida	Chloronitrile	II
Mertec	tiabendazol	Fungicida	Benzimidazole	I
curacron	profenofos	Insecticida, Acaricida	Organophosphate	II
Cipermetrina	Cipermetrina	Insecticida	Pyrethroid	III
Piretron	piretroide	insecticida	Pyrethroid	III
Piretrin	piretroide	insecticida	Pyrethroid	III

Herbicidas

Los herbicidas que se pueden comprar en las tiendas de agroquímicos se han clasificado en dos clases. La primera compuesta por herbicidas no selectivos como: Ranger, Glifosato y Radound up, todos compuestos por glifosato. Es posible encontrar estos productos en un 75 %, 62,5 %, y 6,3 %, respectivamente, de las TA.

Tabla 2. Nombre comercial de los herbicidas que se pueden comprar en las TA. Porcentaje de TA que lo expende. Grado de toxicidad.

Nombre comercial del producto	Herbicidas selectivos	Herbicidas Totales	Porcentaje de TA que venden	Clasificación de Toxicidad
Ranger	x		75 %	IV
Glifosato	x		62,50 %	IV
Round up	x		6,3 %	IV
Linurón		x	31,5 %	IV
Dacocida		x	12.6 %	II

La segunda compuesta por herbicidas selectivos como: Linuron, Dacocida, y 2-4 D esterbutílico, cada uno presente dentro de las TA en un 31,5 %, 6.3 % y 12,6 respectivamente. (Tabla 1).

Los herbicidas de la primera clase están clasificados dentro de la categoría IV, es decir, Ligeramente Peligroso. En la segunda clase el Linurón está dentro de la categoría IV, mientras que Dacocida pertenece a la categoría II.

También se encontró que el glifosato es comprado para ser usado en las casas de la ciudad, para eliminar las malezas de los patios y aceras.

Fertilizantes

Los principales fertilizantes vendidos son: urea (U), esta, es comprada en libras por los pequeños agricultores de la zona, así como para ser usada dentro de las casas para el cultivo de plantas ornamentales. 10-30-10 (NPK), que presenta compradores y uso iguales a los de la U. Los Fertilizantes químicos (FQ) son vendidos en un 56%, estos son comprados en su mayoría por pequeños agricultores. El Humus es vendido en un 31%, que es comprado por las familias de la ciudad para ser usado en el cultivo de plantas ornamentales y/o cultivo de hortalizas de consumo personal (Figura 1).

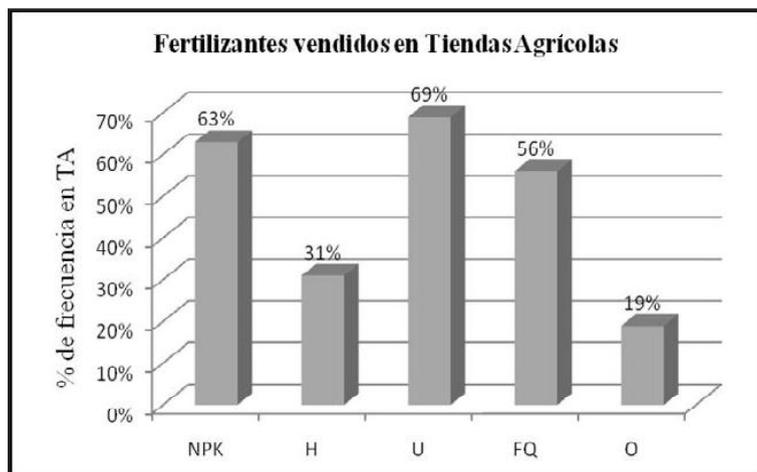


Figura 1. Porcentaje de presencia de los Fertilizantes en las TA. 10-30-10 (NPK), Humus (H), Urea (U), Fertilizantes químicos (FQ) y Otros (O).

Asesoramiento brindado

Muchos de los clientes de las TA, solo compran los productos que necesitan. En otras ocasiones algunos traen un pedazo de la planta afectada y solicitan asesoramiento para combatir el problema. En estos casos la asesoría brindada consiste en recomendar un producto, cantidad a usar y periodicidad de aplicación.

Insumos de protección para la aplicación de los agroquímicos

Los únicos insumos de protección con los que cuentan las TA son mascarillas, pero en el 98% de los casos no son compradas. Y las casas proveedoras facilitan folletos informativos sobre todo cuando está saliendo al mercado un nuevo producto, pero no existen verdaderos eventos de capacitación y prevención de accidentes o envenenamiento de los usuarios y del ambiente en general.

Encuestas a los pequeños agricultores

Plagas:

Las principales plagas dentro de los cultivos son: lanchara (L) en un 84%, este es un hongo que ataca tanto a la raíz como a hojas y tallo de las plantas. Biñauí (B) en un 80%, que afecta principalmente la producción de coles, lechugas, nabos, al comerse sus hojas. Pulgón (P) presenta una incidencia, también, del 80% y afecta a todas las hortalizas por igual, al absorber la savia de la planta. Babosas (Bs) un 68%, estas afectan los sembríos de la misma forma que los biñauís. Mariposa (M) que está presente en un 48% de cultivos se comen igualmente las hojas, en especial de las coles, brócoli y coliflor. Finalmente en un 20% de

frecuencia se encuentran otras plagas como el gusano blanco, polillas, entre otras (Tabla 3).

Tabla 3. Porcentaje de incidencia de las principales plagas presentes dentro de los cultivos en San Joaquín. Biñai (B), Mariposa (M), Pulgón (P), Babosas (B), Lancha (L) y Otros, (O)

<i>Plaga</i>	<i>B</i>	<i>M</i>	<i>P</i>	<i>Bs</i>	<i>L</i>	<i>O</i>
% de incidencia	80%	48%	80%	68%	84%	20%

Plaguicidas

Los principales plaguicidas usados son para matar principalmente insectos, luego hongos y babosas. Dentro de los insecticidas destaca el uso de Kañon plus, que es usado por el 52 % de los agricultores, seguido por el Domix, ambos con un grado de toxicidad III. También se usa malatión en un 36 %, este tiene un grado de toxicidad I. Dentro de los fungicidas usados el 44 % usa Radomix, seguido por Coraza en un 36 %. Pero el producto más usado es el Mata babosas que presenta un grado de toxicidad de III (Tabla 4).

Tabla 4. Porcentaje de agricultores que usan los diferentes productos

Porcentaje de agricultores que lo usan	Nombre comercial	Plaguicida	Familia química	Grado de toxicidad
4%	Patrón	Insecticida		IV
4%	Cipermetrina	Insecticida	Pyrethroide	III
32%	Domix	Insecticida	Pyrethroide	III
52%	Kañon plus	Insecticida	Pyrethroide	III
4%	Karate	Insecticida	Pyrethroide	III
36%	Malatión	Insecticida acaricida	Organo-fosforados	I
8%	Thionex	Insecticida acaricida	Organo-fosforados	II
4%	Azufre micronizado	Fungicida, Acaricida	inorgánico	
44%	Funginol radómil	Fungicida	Phenylamide	IV
4%	Cobre	Fungicida		III
12%	Mancozeb	Fungicida		IV
36%	Coraza	Fungicida		IV
8%	VITAVAX-300	Fungicida		III
4%	Azucó	Fungicida		IV
64%	Mata babosa	Helicida		III

Herbicidas

El uso de herbicidas obedece a dos instancias. La primera es después de la cosecha (antes de la nueva siembra), en esta algunos agricultores usan Glifosato (G) para eliminar las “malas hierbas” de los sembríos, así como para mantener los límites sembrío-quicuyo (*Penisetum clandestinum*).

La segunda instancia es durante el periodo siembra-cosecha, mediante el producto llamado Linuron (L), herbicida selectivo, se eliminan las “malas hierbas” de los sembríos; durante la aplicación de este producto muchas veces también es aplicado el insecticida – en caso de estar presente alguna plaga– y/o fertilizante químico.

El 70.8% de los agricultores hacen uso de los herbicidas en las instancias antes explicadas, mientras que el 17 % usa solo glifosato y el 13 % solo Linurón. La alternativa para el no uso ya sea de Glifosato o Linurón es el deshierbe manual. (Figura 2)

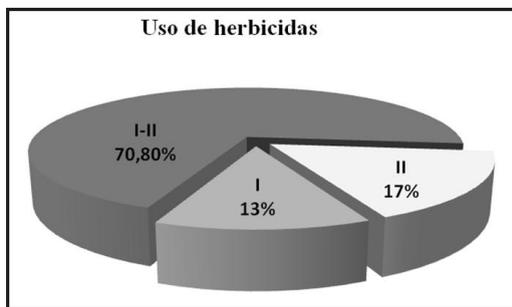


Figura 2. Porcentaje de agricultores que usan herbicidas tanto antes de la siembra como entre siembra-cosecha, (I-II), solo antes de la siembra (I) y solo durante el periodo siembra-cosecha (II).

Fertilizantes

El abono de pollo (AP) es usado por el 92% de los agricultores, la urea (U) por un 64%, y el abono foliar (FQ) por un 88% (Figura 3).

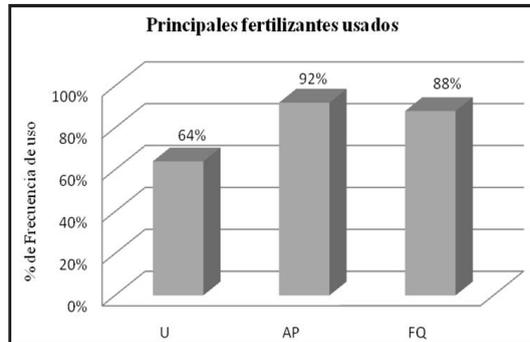


Figura 3. Porcentaje de agricultores que usan diferentes tipos de fertilizantes en cultivo dentro el Cantón San Joaquín. Urea (U), Abono de Pollo (AP), Fertilizantes químicos (FQ)

También se estableció que el uso de fertilizantes obedece a los siguientes casos.

I Caso, se fertiliza el suelo con AP únicamente antes de la siembra. Es comprado por sacos directamente a los camiones que lo traen desde Guayaquil. La cantidad usada responde al tipo de hortaliza cultivada, no obstante se puede decir que en promedio se emplean entre 20-25 sacos por cada 300 m².

II Caso, se fertiliza periódicamente con U durante el periodo comprendido entre la siembra y cosecha

III Caso, se fertiliza con FQ conjuntamente en la aplicación de los herbicidas o plaguicidas; la periodicidad de esta fertilización depende de la plaga tratada, o cantidad de maleza presente dentro del cultivo. El 48%, de los agricultores hacen uso de fertilizantes en los tres casos, el 24% en el I-III, el 8 % en el I caso, mientras que el 20% restante mantiene algunas combinaciones, entre los tres casos, poco significativas de uso. (Tabla 5)

Tabla 5. Porcentajes de agricultores que usan fertilizantes en los diferentes casos. I caso: antes de la siembra, II entre la siembra y la cosecha, III con la aplicación de herbicidas y/o plaguicidas.

Combinación	I-II caso	I-III caso	I caso	otros
% de uso	48%	24%	8%	20%

También se calculó la cantidad de sacos de abono de pollo usados dentro de toda el área cultivada. Esto corresponde a más o menos 87874 sacos de abono de pollo antes de una siembra. Durante el año se producen 3 siembras, es decir que al año se emplean, aproximadamente, 263622 sacos, en toda la parroquia de San Joaquín.

Fuente de información para el uso de los agroquímicos

La mayoría de los agricultores conocen qué producto tienen que usar para cada problema. En algunos casos los productos son recomendados entre vecinos. Para su aplicación se debe usar la protección adecuada, sin embargo los agricultores de San Joaquín no utilizan ningún tipo de protección más que, y en muy pocos casos,

chompas viejas con las que cubren su nariz y boca. En muchos casos esta falta de preocupación por usar protección refleja el poco conocimiento de las propiedades y características de toxicidad de los productos usados.

4. Discusión y conclusiones

La falta de un control por parte de las autoridades sanitarias y del ambiente y de salud ha causado serios problemas en la salud de muchos trabajadores, en otros países. Dentro de la Parroquia San Joaquín no existe un control sobre la cantidad y tipo de productos fitosanitarios usados lo que podría sugerir un peligro potencial ya que el uso de una dosis mayor puede significar riesgos de fitotoxicidad al cultivo y/o aumenta costos de producción (Vega, Rodríguez, Díaz, Bujanos, Sánchez, Martínez, Lagunes, Garzón 2008)

Dentro de San Joaquín no existe ningún tipo de control para plagas que no sea el químico, una de las grandes desventajas de esto es que en muchas ocasiones algunas plagas secundarias pueden convertirse en plagas muy perjudiciales cuando se ha eliminado, mediante plaguicidas, la población de sus enemigos naturales o de sus competidores (Powers y McSorley 2001). Si bien es cierto no existe información disponible que nos permita afirmar que en San Joaquín ocurre esto también es cierto que son ampliamente conocidos los riesgos que ofrece el uso de estos compuestos (Flores y Lancelle) que nos permite predecir que esto podría ocurrir.

La exposición a los plaguicidas puede tener efectos agudos, crónicos y a largo plazo. (Ferrer, 2003), siendo

mayor el peligro cuando no se usa protección al momento de aplicarlos, como ocurre en San Joaquín. Además al permanecer por mucho tiempo en contacto con los plaguicidas, la persona es más propensa a enfermedades cancerígenas e intoxicaciones

En San Joaquín los agricultores están en contacto directo con los herbicidas, que aplican, reportándose ya efectos tóxicos directos, por exposición accidental o deliberada, a herbicidas que contienen glifosato, que en nuestro caso es el compuesto de todos los herbicidas no selectivos usados. De igual manera ocurre con el uso de productos organofosforados, ya que estos absorben rápidamente por todas las vías (respiratoria, gastrointestinal, ocular y dérmica), la vía inhalatoria es la más rápida (Perayre, Leiva, Pastó, Jódar, 2007).

La eliminación de malezas mediante herbicidas presenta ciertos riesgos, los mismos que están asociados con la compatibilidad física y química de los herbicidas, la modificación de la selectividad sobre el cultivo y la afección de la eficacia sobre alguno de los tipos de malezas presentes (López y Vigna 2002) sin embargo es la utilizada en San Joaquín ya que la otra alternativa es la manual, la que requiere más tiempo y esfuerzo.

En países desarrollados, la producción agropecuaria es considerada como una de las principales actividades productivas responsables de la contaminación difusa de cursos de agua, debido a que genera el enriquecimiento con nutrientes, principalmente N y P (Alfaro y Salazar 2005) para la fertilización del suelo se llegan a usar hasta 25 sacos de gallinaza por cada 300 m². Esto podría estar generando gran cantidad tanto de N como P que por

escorrentía pueden llegar a fuentes de agua, más aún si se tiene en cuenta que dentro de los sembradíos existen sistemas de riego.

En el caso del humus, considerado como un abono orgánico de fácil asimilación de nutrientes por las plantas, se ha logrado determinar que la mayoría es comprado para el cultivo de plantas ornamentales dentro de las casas de la ciudad y no para cultivos productivos.

5. Agradecimientos

Se deja constancia del reconocimiento a los informantes y colaboradores de la parroquia San Joaquín, así como a la Escuela de Biología, Ecología y Gestión por el apoyo brindado durante la ejecución de este trabajo.

6. Literatura citada

- Alfaro M, Salazar F, 2005. Ganadería y contaminación difusa, implicancias para el Sur de Chile. Agricultura Técnica. 65:3 Págs. 330-340
- Cavieres M. 2004. Exposición a pesticidas y toxicidad reproductiva y del desarrollo en humanos. Análisis de evidencia epidemiológica y experimental. Revista Médica de Chile. 132(7)
- Esquivel V, Cano O, López E. 1997. Control químico de malezas en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agronomía Mesoamericana 8(1): 53-58.
- Ferrer A. 2003. Intoxicación por plaguicidas. ANALES Sis San Navarra. 26(1): 155-171
- Flores V, Lancelle, H. el Uso de plaguicidas en la producción hortícola en el área de influencia de la ciudad de corrientes (Argentina). Disponible en:
<http://www1.unne.edu.ar//cyt/2002/08-Exactas/E-021.pdf>
- Gehin A, Guillaume YC, Millet J, Guyon C, Nicod L. 2005. Vitamins C and E reverse effect of herbicide-induced toxicity on human epidermal cells HaCaT: A biochemometric approach. 288:219.
- Gimeno Cuenca, Y., Cuchi, J.A. (1997). *Contaminación por nitratos en el acuifero de Apiés (Huesca)*. Geórgica, revista de Espacio Rural, nº 5. Escuela Universitaria Politécnica de Huesca.
- Gutiérrez J, Londoño A. 2009. Determinación de plaguicidas organoclorados y organofosforados en tomates de mercado de cadena en las ciudades de Pereira y

Armenia, Colombia. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas. 8(3): 165-171.

Jorgenson J. 2009. A Review of Research on Their Production, Environmental Deposition and Fate, Bioaccumulation, Toxicology, and Epidemiology in the United States. Environ Health. 1: 113-139

Kaczewer, J. Toxicología del Glifosato. En línea:
http://www.alternativaycambio.cpm.ar/archivos/Toxicologia_del_glifosato_por_Jorge_Kaczewer.pdf

Lagunes T, y Villanueva, J. 1994. Toxicología y Manejo de Insecticidas. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. México. 264 p.

López R, Vigna M. 2002. Evaluación de mezclas de diversos tipos de herbicidas en trigo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Ministerio de agricultura, ganadería, acuicultura y Pesca del Ecuador. En línea en:
<http://www.sica.gov.ec/agro/insumos/plgregece.htm>

Perayre, M. Leiva, E. Pastó, L. Jódar, R. 2007. Síndrome intermedio en el transcurso de una intoxicación por organofosforados a pesar de una infusión continua de pralidoxima. Anales de Medicina Interna. 24:3 Págs.: 129-131.

Pérez A, Segura A, García R, Colinas T, Pérez M, Vázquez A, Navarro H. 2009. Residuos de plaguicidas organofosforados en Cabezuela de brócoli (*Brassica oleracea*) determinados por cromatografía de gases. Rev. Int. Contaminación Ambiental 25(2): 103-110.

Pierre, F; Betancourt, P. 2007. Residuos de plaguicidas organoclorados y organofosforados en el cultivo de cebolla en la depresión de Quíbor, Venezuela. *Bioagro* 19(2): 67-78.

Piñero, M; Izquierdo, P; Allara, M; García. U. 2007. Residuos de plaguicidas organoclorados en 4 tipos de aceites vegetales.

Prieto, J. La agricultura y la ganadería en zonas de Montaña para el siglo XXI.

Powers, L.E. y McSorley, R., 2001. "Principios ecológicos en agricultura". International Thomson Editores Spain Paraninfo, S.A. Madrid 2001.

Martínez A, Reyes I, y Reyes N. 2007. Citotoxicidad del glifosato en células de sangre periférica humana. *Biomédica*. 27: 594-604.

SINERGIA. Proyecto: Life sinergia. Disponible.
<http://www.lifesinergia.org/index2.htm>

Vega, M. Rodríguez, C. Díaz, O. Bujanos, R. Sánchez, D. Martínez, L. Lagunes, A. Garzón, J. 2008. Susceptibilidad a Insecticidas en dos poblaciones mexicanas del Salerillo, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae) *Agrociencia*. 42:463-471.

Características de las colecciones del género Solanum (Solanaceae) presentes en el Herbario Azuay y primera aproximación a su clasificación

Ansaloni Raffaella

Herbario Azuay (HA),

Escuela de Biología, Ecología y Gestión,

Facultad de Ciencia y Tecnología,

Universidad del Azuay.

Av. 24 de Mayo 7-77,

Cuenca, Ecuador.

Correspondencia: ransaloni@uazuay.edu.ec

Resumen

Se han seleccionado algunos descriptores que pueden servir para la clasificación del género Solanum a partir de muestras del Herbario Azuay (HA). Además de los datos de colección como altitud, latitud, longitud y hábito de la planta. Se han utilizado la relación largo ancho de las hojas, el largo de la inflorescencia o infrutescencia y la magnitud de la pubescencia. Los primeros análisis evidencian que la clusterización jerárquica ofrece una primera división en grupos afines y que la clasificación con el método Cart es la que más se aproxima a la realidad,

con tasas de error cercanas al 20 y 25%. Este tipo de análisis fundamentado en descriptores y datos básicos podría facilitar la clasificación de las especies vegetales.

Palabras clave: Solanum, descriptores, clusterización jerárquica, método Cart, clasificación.

Abstract

We selected some descriptors that can be used for the classification of Solanum genus from the Azuay Herbarium (HA) specimens. In addition to data collection such as altitude, latitude, longitude and habit of the plant, we have used the length / width ratio of leaves, the length of the inflorescence or infructescence and magnitude of pubescence. The first analysis shows that the hierarchical clustering provides an initial division into similar groups and that the classification method Cart is the closest to reality, with error rates close to 20 and 25%. This type of analysis based on descriptors and basic data might facilitate the classification of plant species.

Key words: Solanum, descriptors, hierarchical clustering, Cart method, classification

1. Introducción

1.1 Problemática en la clasificación de la familia *Solanaceae* y en específico del género *Solanum*.

La familia *Solanaceae* comprende aproximadamente 147 géneros y 2930 especies, que tienen una distribución cosmopolita, aunque la riqueza de especies es mayor en el neotrópico. En el Ecuador están presentes 351 especies y 35 géneros. [1]

Esta familia incluye plantas herbáceas y leñosas, tanto erectas como trepadoras. Su principal característica es la presencia de alcaloides. Pertenecen a esta familia botánica un gran número de especies con importancia económica (alimentos, industria, medicina).

La subdivisión en géneros y especies se fundamenta en el hábito, tipo de flor e inflorescencia, características de los elementos florales, tipo de fruto y de tricomas, además en los contenidos de alcaloides.

El género *Solanum* es el más numeroso de la familia, con unas 1500 especies, que, además de características morfológicas, comparten características químicas, como el alto contenido de alcaloides tóxicos en las hojas. [2]

Pertenecen a este género especies con características macroscópicas y de hábito muy diferentes, resultando un tanto complicada la taxonomía de este grupo, que a su vez es dividido en secciones, las mismas que agrupan especies afines.

Los grupos de especies son definidos utilizando fundamentalmente caracteres de: a) estructura simpodial, b) forma de la hoja, c) morfología de los tricomas, d) morfología de la inflorescencia, e) tipo de cicatriz del pedicelo, f) morfología del pedicelo frutal, g) morfología de la semilla. [3]

Las dificultades en la sistemática de esta familia y de este género resultan magnificadas por la falta de claves taxonómicas. Todavía no existe el volumen relativo a *Solanaceae* en la Flora del Ecuador, solamente Flora Neotrópica trata sistemáticamente una parte del género *Solanum*.

1.2 Selección de descriptores que se puedan medir en colecciones de herbario:

Por la característica propia de una colección de herbario, compuesta por material seco y aplanado, que además debe ser conservada intacta, no es posible tomar en cuenta todas las características que tiene una planta fresca. Sin embargo, la muestra herborizada es acompañada por una serie de informaciones sobre el lugar de colección y otras, que son ingresadas a la base de datos, juntamente con el nombre científico de la planta y con los datos taxonómicos complementarios.

Por estas razones se debe complementar la base de datos con mediciones específicas de algunos parámetros, llamados descriptores, que deben aportar información para la clasificación taxonómica.

1.3 Características de las colecciones presentes en el HA

Cuenta con más de 7000 colecciones de aproximadamente 1500 especies de plantas de la flora regional pertenecientes a 200 familias vegetales ordenadas sistemáticamente. Dispone de una importante colección de la flora de los bosques nativos de Azuay y Cañar, con énfasis en la cuenca del río Paute. Se cuenta también con importantes especímenes de los páramos de Nabón, frutales nativos comestibles, las plantas del jardín botánico e Histórico Atocha la Liria, en Ambato, Parque nacional Cajas, etc.

Todas las muestras que ingresan al Herbario deben tener los siguientes datos asociados: fecha y lugar exacto de colección, con las respectivas coordenadas y altitud, breve descripción de la planta, colector, eventualmente información sobre uso. Las colecciones reportan en su etiqueta también el nombre científico, la familia y el nombre de quien las identificó. Todos estos datos y los anteriores son incluidos en la base de datos en formato Access del Herbario.

1.4 Experiencias de clusterización en *Caricaceae* mediante descriptores morfológicos.

Existen algunos estudios que toman en cuenta descriptores basados en la morfología de las plantas y que intentan agruparlas en función de ellos. Criollo en la tesis realizada en 2003 [4] logró analizar en forma satisfactoria algunas plantas *Caricaceae*, encontrando una nueva especie dentro de este grupo. El número de descriptores utilizados en este estudio era muy elevado, así como los ejemplares

vivos analizados, lo que lo vuelve no replicable para nuestro caso.

1.5 Objetivos

Con base en la experiencia previa y en la información contenida en la base de datos del Herbario Azuay, este trabajo se propone buscar descriptores adecuados en muestras secas, que puedan ser utilizados para clasificar en forma coherente las colecciones del género *Solanum*.

En específico se busca:

- 1) Seleccionar las variables adecuadas y útiles desde la base de datos.
- 2) Utilizar descriptores cuantitativos, medibles en las muestras secas.
- 3) Categorizar en forma numérica las variables cualitativas de utilidad.
- 4) Agrupar las muestras en forma coherente con la clasificación botánica.

2. Materiales y métodos

2.1 Extracción desde la base de datos del Herbario de la información de *Solanaceae*:

Se pasaron los datos desde Access a Excel, para su ordenamiento y análisis.

2.2 Selección de los registros relativos al género de interés (*Solanum*).

2.3 Eliminación de las colecciones para las cuales no es posible realizar las mediciones:

Algunas muestras son recientes y están registradas en la base de datos, pero sólo parcialmente montadas, por lo que no se pueden todavía encontrar ordenadas y con posibilidad de manipularlas.

- 2.4 Eliminación de las variables sin valor para la Taxonomía:
Además de la variable “uso” se eliminaron el número de colección y otros datos accesorios sin importancia. Se conservó el número de herbario de cada colección, porque nos permite su identificación rápida.
- 2.5 Toma de medidas sobre todas las muestras de herbario y cálculo de medianas:
Se midió el largo y el ancho de las hojas en tres hojas por colección, calculando su relación; se midió largo y ancho del fruto, longitud de la inflorescencia o de la infrutescencia, que son caracteres taxonómicos importantes [2, 3]. Se calcularon las medianas, para obtener un solo valor de cada variable por muestra.
- 2.6 Transformación de variables:
- Se asignó un orden numérico creciente según la abundancia de los tricomas, asignando el valor 0 a las muestras glabras. La numeración de la pubescencia va de 0 a 4.
 - Para el hábito de la planta, se asignaron 5 categorías: 1 = hierba, 2 = subfrútice, 3 = arbusto, 4 = árbol, 5 = trepadora leñosa. Siendo esta una variable cualitativa, se asignó el valor 1 para presente y 0 para ausente en cada categoría.
 - Finalmente, se transformaron los datos de latitud y longitud, para poderlos utilizar en el análisis, ya que estaban expresados en grados, primos y segundos, en un formato no compatible con Excel, por lo que tuvieron que ser transcritos uno a uno.
- 2.7 Introducción de las medidas a la base de datos en Excel.
- 2.8 Primera exploración de los datos:
El análisis estadístico se realizó en el programa SCAN (Todeschini, 1995).

La exploración se realizó utilizando diferentes técnicas, entre las cuales se optó por el análisis clúster. Se excluyeron del análisis un gran número de variables alfanuméricas.

2.9 Eliminación de los datos faltantes

De la misma manera, en base al primer análisis se eliminaron los casos incompletos, ya que la asignación de valores a los datos faltantes no fue apropiada con ningún método, para aquellos muy incompletos.

Las variables de las cuales se pudo llenar adecuadamente los datos faltantes fueron: largo de la inflorescencia o infrutescencia, latitud y longitud.

2.10 Clasificación del género *Solanum*

Como último paso se intentó clasificar las colecciones de *Solanum*, o sea al grupo más heterogéneo y abundante de la familia, con los métodos CART y KNN, en el intento de obtener una división en grupos que reflejen sus características taxonómicas, debido a la difícil clasificación que presenta con los métodos clásicos de la sistemática.

3. Resultados y discusión

3.1 Variables:

La mayor parte de la información contenida en la base de datos es de tipo cualitativo. Las únicas variables numéricas que pudieron ser utilizadas son las de ubicación. En cuanto a las mediciones hechas en el herbario, tenemos una variable ordinal, que es la abundancia de tricomas, en orden creciente de 0 a 4. La medición del tamaño del fruto se pudo hacer para pocas muestras, razón por la que se eliminó esta variable del análisis.

El hábito se codificó con números 0 y 1 en 5 diferentes categorías, como se explicó en la metodología.

Las variables utilizables para el análisis estadístico fueron, por lo tanto, once, de las cuales cinco corresponden a la calificación del hábito, mientras las otras seis son: latitud, longitud, altitud, tricoma, relación largo/ancho hoja y largo inflorescencia.

Dentro de género *Solanum* el total de las muestras analizadas fue de 116, pertenecientes a 23 diferentes especies, existiendo 22 muestras de este género no determinadas. De estas 23 especies, 9 están representadas por una sola muestra, lo que impide incluirlas en el proceso de clasificación, por lo que se analizaron sólo en el análisis clúster.

3.2 Análisis Clúster

El análisis con PCA no dio buenos resultados, siendo necesarios 8 componentes para poder llegar a una varianza acumulada de 77,5%. Probablemente esto se debe al limitado número de variables realmente cuantitativas, lo que impide su correcta valoración dentro de los componentes. (Anexo 1).

Dentro de los métodos probados, se escogió un método de clúster jerárquico, calculando la distancia según el método Manhattan, por la cantidad de variables categóricas. Se probaron diferentes métodos de escalado de variables, finalmente se optó por el auto-escalado, que dio una representación mejor de las mismas.

Los clúster hallados con un nivel de similitud del 60% son 19, siendo esta la aproximación mejor a la real subdivisión de este género. La distancia Euclídea, al mismo nivel de similitud, da un número de 35 clústeres, ofreciendo, por lo tanto, un dendrograma excesivamente complejo. (Figuras 1 y 2).

Figura 1: Análisis clúster con distancia Manhattan

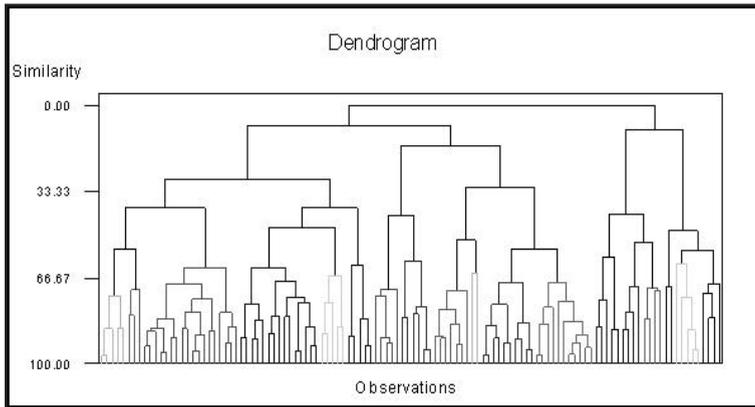
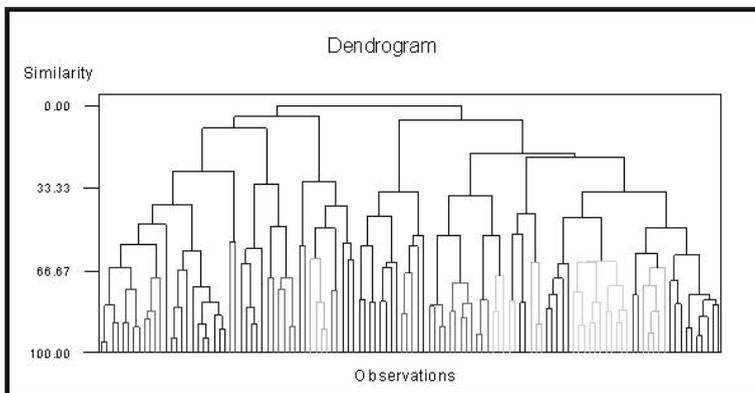


Figura 2: Análisis clúster con distancia Euclídea



Los grupos identificados evidencian que no hay homogeneidad dentro de algunas especies, pero sobre todo reparten las especies no identificadas dentro de varios clústers, por lo que podemos pensar en la presencia de 4 diferentes grupos o probables diferentes especies no determinadas taxonómicamente y no pertenecientes a las especies ya clasificadas.

3.3 Clasificación:

Para la clasificación se eliminaron las especies representadas por un solo individuo, quedando un total de 107 muestras de 14 especies diferentes, por un total de 15 categorías, ya que las especies no identificadas se agruparon en una única categoría. Se utilizó el método de clasificación CART [5] por no requerir condiciones específicas en la distribución de las variables. El método KNN no fue adecuado para este conjunto de datos.

Las variables utilizadas por este sistema de clasificación son: la relación largo – ancho de las hojas, la pubescencia y en menor medida el largo de la inflorescencia, o sea variables fácilmente medibles en el herbario, además la altitud, mientras que el origen de la muestra no es relevante, como se observa en el siguiente gráfico de clasificación.

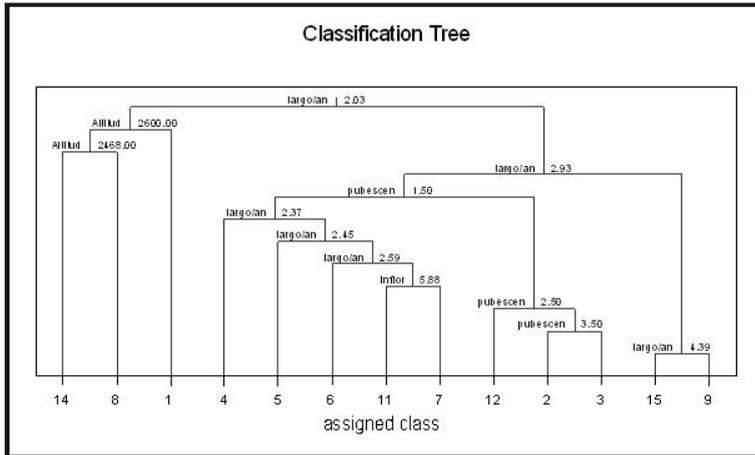


Figura 3: Árbol de clasificación con el método Cart.

El error en fitting es $ER = 0.1776$ y utilizando el método leave one out, se obtiene un error en predicción $ER_{cv} = 0.2617$

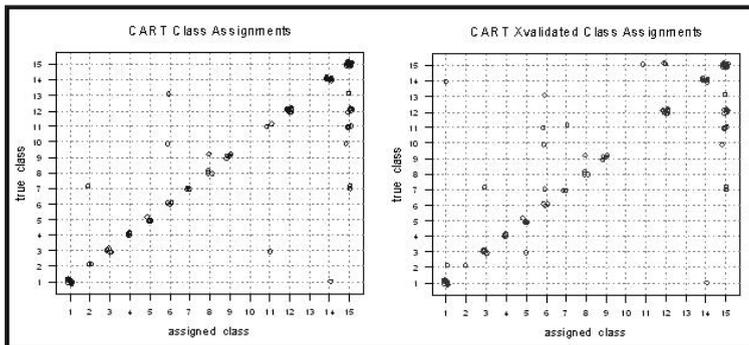


Figura 4: Gráfico de asignación de clases con el método Cart.

Como se evidencia en los gráficos la clasificación obtenida es buena pero no exacta, habiendo un 26% de error en predicción. Los descriptores seleccionados permiten llegar con una cierta aproximación a la sistematización de las muestras secas. Sin embargo para el grupo 15, que corresponde a las especies no clasificadas, no se observan separaciones en fitting y solo una reubicación de 3 muestras en cross - validation. Esto nos indica que las variables seleccionadas no aportan ningún elemento adicional para la clasificación de muestras que no pueden ser sistematizadas con los métodos comunes de la taxonomía, por lo que es necesario buscar otros descriptores, no mencionados en la bibliografía, pero que son conocidos por los especialistas de este género, aunque todavía no sistematizados.

Se evidencia que 19 de las 107 muestras están mal clasificadas, sin embargo 6 pertenecen a las especies *S. nigrescens* y *S. nigrum*, cuya clasificación es incierta e inexacta.

En predicción el número de muestras mal clasificadas sube a 28, de las cuales 8 corresponden a las 8 mencionadas colecciones. Esto indica que seleccionando sólo las muestras identificadas por expertos, sin discrepancias en su taxonomía, es posible llegar a un mayor nivel de precisión con el sistema de clasificación propuesto.

Corriendo el mismo análisis a estas 8 muestras, el error rate se reduce a $ER = 0.1515$ y en predicción $ER_{cv} = 0.2323$.

4. Conclusiones

Los sistemas de clusterización y sobre todo de clasificación utilizando un método robusto como Cart nos permiten acercarnos a las variables que acompañan las colecciones de herbario, que frecuentemente son cualitativas y categóricas, para su uso en la clasificación de las muestras.

La medición de algunos descriptores, fácilmente identificables en las muestras, permite llegar a una clasificación taxonómica parecida a la que se obtiene con los métodos tradicionales, pero no restringida a los expertos y accesible a todos.

Para cada género y familia botánica se deben previamente fijar los parámetros más importantes a medir y además tener un número suficiente de muestras por cada categoría presente.

5. Agradecimientos

El autor agradece a Sandra Carmona, Tamara Santacruz, Josué López y Sofía Guillén por la paciente toma de datos de herbario. Adolfo Verdugo ha impulsado el trabajo con las Solanáceas y Danilo Minga ha sugerido una serie de descriptores, de la cual se han tomado los que era posible medir sin dañar las muestras de herbario. Sobre todo gracias a Piero Tripaldi por las correcciones y consejos y por el contagioso entusiasmo.

6. Literatura citada

- [1] Freire Fierro, A. 2004. Botánica sistemática Ecuatoriana, Missouri Botanical Garden, QCNE, RLB, Fundacyt, Funbotánica. Missouri, USA, p. 121-122.
- [2] Izco, J. (Coord.), 2004. Botánica, 2da edición. McGraw-Hill – Interamericana de España, Madrid, España. P. 606-608.
- [3] Knapp, S., 2002, Solanum section Geminata (Solanaceae), Flora Neotrópica Monograph 84, Published for Organization for Flora Neotropica by The New York Botanical Garden, New York, USA, 404 p.
- [4] Criollo, S., 2003, Caracterización morfológica de *Vasconcellea xheilbornii*, *V. stipulata* y *V. cundinamercensis* en las prov. de Azuay, Cañar y Loja, Tesis de grado, Escuela de Biología de la Universidad del Azuay, Ecuador.
- [5] Todeschini, R. 1995. Introduzione alla chemiometria: Strategie, metodi e algoritmi per l'analisi e il modellamento dei dati chimici, farmacologici e ambientali. Dipartimento di scienze dell'ambiente e del territorio. Università degli studi di Milano, Italia.

7. Anexos

ANEXO 1: Principal Component Analysis

Calculated from Correlation Matrix by SVD

Eigenvalue	1.8674	1.6047	1.5485	1.2928	1.1444	1.0617
Proportion	0.170	0.146	0.141	0.118	0.104	0.097
Cumulative	0.170	0.316	0.456	0.574	0.678	0.775

Eigenvalue	0.8825	0.8290	0.4236	0.3454	0.0000
Proportion	0.080	0.075	0.039	0.031	0.000
Cumulative	0.855	0.930	0.969	1.000	1.000

Eigenvectors

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Altitud	0.252	0.193	-0.263	0.396	0.125	-0.485
Hierba	0.133	0.152	0.174	-0.111	-0.815	-0.228
Subfruti	0.409	-0.267	0.311	-0.321	0.315	-0.144
arbusto	-0.529	-0.189	0.300	0.369	0.204	-0.182
árbol	0.085	0.479	-0.444	-0.351	0.287	0.082
trepador	0.212	-0.261	-0.306	0.307	-0.255	0.518
pubescen	-0.345	-0.052	-0.111	-0.335	-0.088	-0.192
largo/an	0.545	-0.042	0.296	0.184	0.102	-0.114
lat	0.050	-0.606	-0.223	-0.186	0.039	0.146
long	0.020	-0.389	-0.308	-0.238	-0.106	-0.514
inflor	0.012	-0.113	-0.423	0.369	-0.003	-0.220

Variable	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11
Altitud	-0.062	-0.406	-0.462	-0.201	0.000
hierba	0.115	0.171	-0.185	-0.048	0.348
subfruti	-0.269	0.012	-0.263	0.424	0.348
arbusto	0.126	-0.004	0.065	-0.125	0.589
árbol	0.164	0.131	0.122	-0.158	0.520
trepador	-0.284	-0.346	0.144	0.066	0.375
pubescen	-0.767	-0.024	0.019	-0.346	0.000
largo/an	-0.108	0.208	0.477	-0.523	0.000
lat	0.287	0.210	-0.418	-0.471	-0.000
long	0.255	-0.299	0.490	0.161	0.000
inflor	-0.200	0.701	0.025	0.302	-0.000

Reproducción de quinua (*Polylepis reticulata*) a partir de acodos en los páramos de la provincia del Azuay

Calderón Juan

*Escuela de Biología, Ecología y Gestión,
Facultad de Ciencia y Tecnología,
Universidad del Azuay,
Av. 24 de Mayo 7-77,
Cuenca Ecuador.*

Correspondencia: e-mail: jcaldero@uazuay.edu.ec

Resumen

La *Polylepis reticulata* es una especie vinculada a procesos de captura de neblina y regulación de caudales en el ecosistema páramo. Las experiencias de reproducción con esta especie son escasas y, en general, difíciles debido a sus requerimientos fisiológicos específicos. De esta forma, este estudio pretendió establecer las respuestas de enraizamiento inducido sobre acodos mediante la aplicación de diferentes concentraciones de ácido 3 indolacético (IAA); por otro lado se pretendió realizar una selección del material vegetativo, analizar los efectos de diferentes sustratos para el acodado, la aplicación del biorregulador y las condiciones de manejo. Para cada ensayo se establecieron lotes de 150 acodos con tres repeticiones, evaluados frente a un testigo también de 150 individuos. Los mejores resultados se obtuvieron mediante la aplicación de 5 cm³ de una solución de IAA a

1000 ppm, empleando como sustrato una mezcla de Turba BM2 – musgo (50:50 %) y utilizando amarres con piola sobre ramillas carentes de elementos florales y localizadas a ras de suelo, con una respuesta del 82% de enraizamiento. Bajo condiciones controladas previo a la poda y enfundado, alcanzó el 80% de prendimiento, demostrando que el método utilizado es promisorio para la reproducción de *Polylepis reticulata* en el ecosistema páramo.

Palabras claves: *Polylepis reticulata*, ácido 3 indolacético, IAA, enraizamiento inducido, acodos, reproducción

Abstract

Polylepis reticulata is normally linked to cloud interception and flow regulation in the paramo ecosystem. Reproduction practices of this species are scarce and, in general, difficult due to specific physiological requirements. This study wanted to establish induced rooting responses on cuttings with different concentrations of 3 indol acetic acid (IAA); additionally, this study wanted to select vegetative plant material, analyze different substrates for the cuttings, apply a bioregulator and establish management conditions. For each essay, 150 cuttings were established with three repetitions, and one control also with 150 cuttings. The best results were obtained with the application of 5 cm³ of an IAA solution at 1000 ppm. The substrate was a mix of peat BM2 – moss (50:50 %) and using cord tying in small basal branches free of floral elements. The rooting response was 82%. Under controlled conditions before pruning and bagging, initial growth success was 80%. The method is therefore promising for the reproduction of *Polylepis reticulata* in the paramour ecosystem.

Key words: *Polylepis reticulata*, indoacetic acid 3, IAA, induced rooting, plant cuttings, reproduction

1. Introducción

La *Polylepis reticulata* es considerada como una especie emblemática dentro del entorno montañoso por su singular belleza e irremplazable función en el ciclo hídrico de la montaña y ha constituido una verdadera fuente energética en las travesías migratorias y comerciales por los fríos páramos andinos. Se encuentra cubriendo superficies de todo orden, desde planadas con ligeras pendientes hasta empinadas zonas rocosas, entrelazando sus raíces como verdaderos anclajes que les permiten su sustentación, “constituyendo la vegetación clímax del piso ecológico peneño y alto andino, y cumpliendo un eficiente trabajo de retención de suelos (Lazcano y Espinoza, 2001).

La *Polylepis reticulata* se encuentra ampliamente distribuida dentro de la delimitación del Parque Nacional Cajas. Es conocida también como “quinua” o “árbol de papel”. Ha sido descrita como una planta que puede formar árboles o arbustos de hasta 12 m de altura, los troncos son retorcidos y su corteza se presenta en un color café anaranjado que se desprende en delgadas láminas como papel, las flores y hojas frecuentemente se recubren de fina pubescencia, sus hojas son alternas y crecen en agrupaciones en los ápices de las ramas; presentan inflorescencias en racimos pendulares poco llamativos de hasta 8 cm de largo, las flores miden 5 mm de largo y son de color verdoso (Romoleroux, 1996).

Por generaciones se ha intentado reproducirla, tenerla cerca de espacios habitables a menor altura, posiblemente en algunos casos con éxito, en otros casos no dejó de ser un intento. La *Polylepis reticulata* es una especie

muy difícil de reproducir y de muy lento crecimiento; y, quizá sean éstas las razones por las que continuamente se han buscado especies foráneas que reemplacen sus dominios naturales. Por esta razón se ha visto necesario investigar la problemática reproductiva de la especie a fin de sugerir mecanismos que garanticen su permanencia en el entorno, pues se encuentra amenazada por el desarrollo y las condiciones climáticas potencialmente cambiantes.

El objetivo del presente trabajo buscó socializar las experiencias alcanzadas en un proceso experimental sustentado en el comportamiento fisiológico de la especie, al cual se lo ha potenciado mediante el uso de biorreguladores de crecimiento radicular (auxinas) con miras a establecer un protocolo de reproducción confiable que garantice propuestas de reforestación, programas de conservación y recuperación de bosques nativos de altura, sin descartar aplicaciones agrosilvopastoriles tan necesarias en nuestras comunidades andinas.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

En el Parque Nacional Cajas (PNC), los fragmentos de bosque localizados hacia el sector noreste están dominados por la *Polylepis incana* y la *Polylepis reticulata*, y en los bosques que están hacia el suroccidente cerca de los límites del PNC en los flancos externos de la cordillera occidental las especies dominantes son *Polylepis weberbaueri* o *Polylepis lanuginosa* (Minga et al., 2008).

Tabla 1
Riqueza y estructura de remanentes de bosques de *Polylepis*
del PNC en parcelas de 1000 m²

Localidad	Altitud	Riqueza dominante	Densidad	Área basal (m ²)
Patoquinoas	3750	<i>Polylepis reticulata</i> (81 %)	304	7,9
San Luis B	3940	<i>Polylepis reticulata</i> (97 %)	468	7,0
Migüir A	3550	<i>Polylepis incana</i> (95 %)	158	6,5
Totoracocha	3700	<i>Polylepis reticulata</i> (79 %)	145	6,3
Migüir B	3520	<i>Polylepis incana</i> (95 %)	136	5,8
Napale	3900	<i>Polylepis reticulata</i> (82 %)	236	5,8
Guagrahuma	3594	<i>Polylepis incana</i> (98 %)	78	5,6
San Luis A	3940	<i>Polylepis reticulata</i> (95 %)	354	5,2
Toreadora	3800	<i>Polylepis reticulata</i> (75 %)	91	4,9
Avilahuayco	3740	<i>Polylepis reticulata</i> (90 %)	478	3,9
Guabidula	3450	<i>Polylepis reticulata</i> (61%)	106	3,6
TOTAL			2554	62,4
PROMEDIO			232	5,7

Tomado de: “Composición florística, productividad y regeneración natural en bosques de quínoa (*Polylepis* spp.) en el Parque Nacional Cajas” (Minga et al., 2008)

Se ha registrado su presencia en las inmediaciones de la represa de Chanlud, en el sector de la represa de Labrados, en la vertiente de la laguna Luspa, en las inmediaciones de la Laguna Mamamag y sus vertientes, en las margenes del río Quínoas, en Guabidula y se extiende hasta las inmediaciones de las entradas de LLaviuco y Mazán, en las zonas altas de San Fernando específicamente en el sector de Quimsacocha, en la llanura del río Shincata en

la zona de Bestión, perteneciente al cantón Yacuambi provincia de Zamora Chinchipe (Vasco, 2009) entre otros.

2.1.1 Estación de Illincocha

Se encuentra a 44,5 km en la vía Cuenca Molleturo Naranjal, 1 km al occidente del Centro de Interpretación de Toreadora, dentro del Parque Nacional Cajas, localizada a 3874 m s.n.m., rodeada de un remanente boscoso de 0,96 ha que se extiende entre un rango altitudinal entre 3985,3 y 4023,2 m s.n.m. (Fernández de Córdova y Santillán 2006). Es uno de los bosques más significativos de *Polylepis reticulata* existentes en el Parque Nacional Cajas, muy valioso por la diversidad de especies acompañantes y la presencia de ejemplares de gran edad que se encuentran inmersos en una gradiente rocosa con una serie de cuevas que conservan vestigios de la ocupación de los caminantes que transitaron por la zona desde tiempos posiblemente prehispánicos y que posteriormente, ya en el periodo republicano, marcaron el conocido Camino de García Moreno que da testimonio del intercambio comercial de nuestra provincia con los poblados costeros. Paralelamente, podemos encontrar a poca distancia de la estación de Illincocha, los bosques: de la Chica Toreadora, el bosque de la gran laguna Toreadora y de la Lagunas Unidas, los bosques de Patoquinoas, localizados entre la carretera Cuenca Molleturo y la Laguna de Patoquinoas; el bosque de Cucheros que se encuentra en la entrada hacia el conjunto de las lagunas de Burines, Osohuayco y Mamamag. Las distancias de estos bosques a la carretera oscilan entre los 400 m y 2 km; y, mantienen una distancia entre 200 m y 4 km entre los puntos de carretera y la estación, constituyendo de esta manera una fuente importantísima

de material vegetativo para los estudios de reproducción de *Polylepis*.

2.1.2 Bosque de Guabidula

Se localiza a una altura de 3480 m.s.n.m. Constituye un remanente de lo que inicialmente fuera un bosque primario en la zona, que fue talado para cubrir la demanda de madera para la fabricación de ladrillo en la parroquia de Sayausí. Se estima que tiene una edad de 70 años y ha sido afanosamente conservado por su propietario el Cnel. Enrique Vanegas.

2.1.3 Campamento de Quimsacocha

Pertenece a la compañía IAMGOLD. Cuenta con tres bosques bien definidos de *Polylepis* de gran interés para la compañía que lleva adelante un plan de forestación con miras a expandir los espacios de captación de agua, en procura de recuperar los daños causados por personas ajenas que repetidamente han ocasionado incendios del pajonal comprometiendo los perímetros de expansión de los bosques.

2.1.4 Campamentos de Chanlud y Labrados

Se encuentran bajo la administración de ELECAUSTRO. Se trata de dos campamentos rodeados por bosque alto-andinos que se extienden hasta la zona de pajonal y parches de *Polylepis reticulata*. Constituyen zonas estratégicas de condensación que regulan los caudales del río Machángara, que alimenta los equipos de generación eléctrica de Saymirín y la planta de tratamiento de agua potable de Tixán.

2.2. La problemática de reproducción de *Polylepis reticulata*

A pesar de la amplia distribución de la especie dentro de los límites y en los espacios de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas, no se ha podido establecer experiencias individuales o comunitarias sobre procesos reproductivos de *Polylepis reticulata*, y los lugareños se han limitado a la extracción de plántulas del bosque para cualquier emprendimiento particular. La *Polylepis reticulata* es una especie muy difícil de reproducir fuera de sus condiciones naturales y muy exigente en cuanto a sus requerimientos de humedad, temperatura, sustrato, y luminosidad necesarias. Si a estas condiciones se suma el lentísimo crecimiento de las plantas y la falta de estudios sobre el tema, se puede ya entender las razones por las que no se ha insistido en su reproducción.

A partir del año 2004 se pudo establecer la respuesta de enraizamiento de acodos de *Polylepis reticulata* a la aplicación de tres biorreguladores de crecimiento radicular (auxinas): ácido 3 indolacético (IAA), ácido indolbutírico (IBA) y ácido 1-Naphtalenacético (NAA), obteniéndose los mejores resultados con aplicaciones de 5 cc de solución de 1000ppm de IAA en acodos (Calderón et al 2006; Calle y Córdova 2009), cuya información, si bien constituyó un avance cualitativo del proceso, requería establecer la interrelación de variables paralelas que podían estar interfiriendo en el proceso de obtención de plantas, y que constituyeron el justificativo de la investigación cuyos resultados se exponen en el presente trabajo.

2.3. Modelo Experimental

Para alcanzar los objetivos planteados se estableció una plantilla experimental que analice las respuestas del material vegetativo disponible considerando el tipo de ramilla, la altura de la ramilla en la planta, el diámetro de la ramilla, el tipo de sustrato empleado en el acodado, modificaciones del acodado y las alternativas del trasplante del acodo. Cada experiencia ha sido realizada en lotes de 150 individuos con tres repeticiones, es decir 450 ramillas para establecer la respuesta de cada punto de concentración del biorregulador o para cada variante de sustrato o material vegetativo, confrontando sus resultados con un lote de 150 individuos que conforman un testigo, generalmente de concentración cero o en condiciones específicas. Para la experimentación con acodos se ha tomado la referencia de mejor respuesta equivalente a la concentración del biorregulador IAA de 1000 ppm. Se podrá identificar claramente los ensayos en la propuesta inicial del trabajo y aquellos que han surgido en el transcurso del proyecto, y que se resumen en la siguiente tabla:

2.3.1 Acodado de:

1. Ramillas con elementos de floración.
2. Ramillas sin elementos de floración
3. Ramillas localizadas a ras de suelo.
4. Ramillas que se localizan hasta 50 cm del suelo
5. Ramillas que se localizan entre 50 y 100 cm del suelo.
6. Ramillas de *Polylepis* con un espesor comprendido hasta 0,8 cm de diámetro.
7. Ramillas comprendidas entre 0,8 y 1,6 cm de diámetro.

8. Ramillas de diámetro mayor a 1,6 cm de diámetro.

En el amarre del acodo

9. Sustitución de las bridas plásticas por piola nailon # 4.

En el sustrato del acodo

10. Acodado con turba al 100%.
11. Sustitución del 50% de turba por musgo.

En el trasplante de acodos

12. Trasplante de acodos en platabandas.
13. Enfundado de los acodos en umbráculo.
14. Efecto del musgo en el enfundado, sobre el porcentaje de prendimiento.

2.4. Técnica de acodado y su optimización

2.4.1 Acodado

El acodado constituye una técnica tradicional de reproducción vegetativa muy utilizada en especies de interés comercial. Acodar significa enraizar esquejes que todavía están unidos a la planta madre, por lo que no requieren un control tan exigente (Toogood 2000). Consiste en realizar un corte de unos tres a cinco centímetros en el tallo de la planta en cuya herida se procede a aplicar una pequeña cantidad de tierra o musgo esfagno y se lo recubre. Se puede modificar el proceso aplicando un biorregulador de crecimiento radicular (conocidos en el mercado como enraizante u hormonas de enraizamiento), y se lo recubre con tierra o musgo esfagno. Se envuelve

el tallo con plástico negro, fijándolo por debajo y por arriba del corte mediante una cinta adhesiva, así el plástico negro retiene la humedad sin favorecer el crecimiento de algas. Se lo deja durante un periodo de un año vigilando el crecimiento de raíces, ya que cuando son evidentes se debe proceder a cortar el tallo por debajo del cepellón de raíces y replantar el acodo. (Toogood 2000).

Para la experimentación, se realizó un corte superficial de unos 5 cm aproximadamente manteniendo la corteza adherida al tallo de la ramilla. A unos 5 centímetros por debajo del corte, se sujeta un fragmento de plástico polisombra (sarán 80 %) de 25 x 25 cm, mediante una brida plástica. En el espacio de la corteza descubierta de la ramilla se procedió a rociar 5 centímetros cúbicos de la solución del biorregulador IAA de concentración 1000 ppm.

Sobre el bridado inferior y retenido por el sarán, se coloca el material de cobertura, en este caso Turba BM2. Luego se procede a cubrir con el sarán y se brida en la parte superior quedando en una disposición similar al envuelto de un caramelo. El material de cobertura debe estar humedecido para mejorar su compactación.

2.4.2 Tiempo de acodado

Los porcentajes de enraizamiento comprendidos en 90 días de seguimiento, alcanzaron un 52 y 62 % de respuesta para acodos terrestres y aéreos respectivamente (Calderón et. al 2006; Calle y Córdova 2009). Se amplió el tiempo de acodado a 180 días, procurando empatar con la temporada de invierno que se extiende entre diciembre y mayo. Pasado estos meses de mayor precipitación, los acodos corren riesgo de desecamiento en los meses de julio y

agosto, por lo que deben ser cosechados y mantenidos bajo condiciones controladas.

3. Desarrollo del experimento

3.1. Optimización del proceso de reproducción a partir de acodos

3.1.1 Acodado de ramillas con elementos de floración versus ramillas carentes de elementos de floración.

La *Polylepis* puede presentar, según la época, ramillas con elementos típicos de floración que cumplen con su ciclo generando semilla. Se pudo observar que la presencia de elementos de floración producía una alta mortalidad de los acodos que no alcanzaban desarrollo radicular al ser inducidas. Se procedió a cuantificar la respuesta aplicando un ensayo sobre tres lotes de 150 ramillas, (450 individuos) escogidos a diferentes alturas en las plantas madres, comparados frente a un lote similar de 450 individuos pero carentes de estos elementos florales igualmente seleccionados a diferentes alturas en las plantas madres.

3.1.2 Comportamiento de las ramillas en relación con su altura en la planta madre.

Los ensayos preliminares establecieron una mayor respuesta de enraizamientos en acodos terrestres comparados con los aéreos. Para verificar esta viabilidad del material vegetativo, se cuantificó el enraizamiento y su relación con la altura de la ramilla en la planta tomándose en cuenta:

1. Ramillas que se encuentran a nivel del piso.
2. Ramillas dispuestas hasta 50 cm de altura.
3. Ramillas que se encuentran entre 50 y 100 cm de altura.
4. Ramillas comprendidas entre 100 y 175 cm de altura.

3.1.3 Influencia del diámetro de la ramilla en el proceso de enraizamiento

Se realizó una serie experimental en la que se trataron tres grupos: ramillas de diámetro menor o igual a 0,8 cm; ramillas comprendidas entre 0,8 y 1,6 cm de diámetro; y, ramillas de diámetro mayor a 1,6 cm. Bajo el mismo modelo experimental, aplicando 5 centímetros cúbicos de biorregulador IAA de concentración 1000 ppm, utilizando turba BM2, cobertura de sarán al 80% negro, en un tiempo de respuesta de 6 meses, sin considerar la altura de la ramilla en la planta, pero sí seleccionando individuos sin elementos de floración.

3.1.4 Modificación al proceso de acodado

Sustitución de las bridas plásticas por piola nylon # 4.

El aflojamiento de los acodos por efectos del viento comprometió un 14% del total de ramillas acodadas. Como alternativa se sustituyó las bridas de amarre con piola plástica de nylon para darle mayor estabilidad.

3.1.5 Sustitución del 50% de la turba por musgo en el material de acodado

La poca sostenibilidad de la turba pura utilizada como material enraizante, sugirió sustituir un 50% de la misma con musgo del sector. Se procedió a realizar el acodado bajo las mismas condiciones propuestas es decir empleando la misma concentración de biorregulador, se sujetó con piola plástica, recubrimiento con sarán y en el mismo tiempo de enraizamiento de 6 meses, operando de la siguiente manera: Se realiza el corte del acodo y la aplicación del biorregulador. Paso seguido se procede a tomar un pequeño manto de musgo sobre el cual se coloca la turba BM2 y se envuelve alrededor del corte, para finalmente sujetar el sarán con piola plástica. Se aplicó sobre material vegetal libre de estructuras florales.

3.2. Trasplante de acodos

3.2.1 Trasplante de acodos en platabandas

La primera experiencia de trasplante a platabandas se realizó en la estación de Quimsacocha, perteneciente a la parroquia San Gerardo, Cantón San Fernando, Provincia del Azuay en las instalaciones de la Empresa Minera IAMGOLD. Se procedió con 12000 acodos enraizados mediante la aplicación del biorregulador IAA en concentración de 1000 ppm, los mismos que luego de un tiempo de 6 meses de aplicación fueron cosechados y trasplantados en una platabanda instalada con un sistema de riego por surco y en un segundo caso mediante un sistema de aspersión.

3.2.2 Trasplante de acodos en fundas y adaptación bajo umbráculo

Para la segunda opción para el trasplante de los acodos, se consideró la construcción de un umbráculo en la estación de Illincocha, dispuesto con una malla de protección plástica (sarán blanco al 50 % de luminosidad), provisto de un sistema de riego por nebulización compuesta por 9 nebulizadores de 75 litros por hora de capacidad, con presión mínima de trabajo de 2,5 atmósferas, un tanque de reserva de 1000 litros de capacidad, una bomba hidroneumática, sistema de filtración y red de distribución con tubería de 1 pulgada. Se estableció un sistema de riego de 1 hora diaria, garantizando así la luminosidad, humedad y temperatura necesarias para estimular el proceso de adaptación de las plántulas.

3.2.2.1 Enfundado de los acodos

Se partió con un lote de 5000 acodos que fueron sometidos a un enfundado (fundas de 7 x 14 pulgadas), evitando el maltrato de las raíces por efectos del desprendimiento de la turba empleada como sustrato y procediendo al llenado de las fundas con una mezcla tierra negra-turba en relación 9:1

3.2.3 Efecto de la poda del acodo previo al enfundado, sobre el porcentaje de prendimiento

La defoliación que se produce luego del enfundado, propuso algunas modificaciones al proceso. Se observó que mientras más follaje presentaba el acodo previo al enfundado, más violenta resultaba la defoliación por lo que se pensó que se debía al esfuerzo realizado por la

planta para absorber nutrientes con las pocas raíces disponibles. Se sugirió una poda drástica del acodo previo al enfundado. y los resultados fueron sorprendentes. Se logró alcanzar niveles de prendimiento de hasta el **67 %** del total de acodos enfundados.

3.2.4 Efecto del musgo sobre el porcentaje de prendimiento

Para evitar el desprendimiento de material de enraizamiento y la ruptura de las raíces al proceder a abrir los acodos para el trasplante se utilizó musgo para la envoltura del acodo. Se observó que durante el tiempo de aplicación del acodo, el musgo tiende a formar una verdadera red alrededor de la ramilla evitando que se produzca el rompimiento de las raíces formadas. El ensayo se realizó con 2000 ramillas considerando un tiempo de enraizamiento de 6 meses.

4. Resultados

4.1 Acodado de ramillas con elementos de floración versus ramillas carentes de elementos de floración.

Tabla # 2

Ensayo	Tipo	% Enraizamiento
Ramillas con elementos florales	a	4,2
Ramillas sin elementos florales	b	52

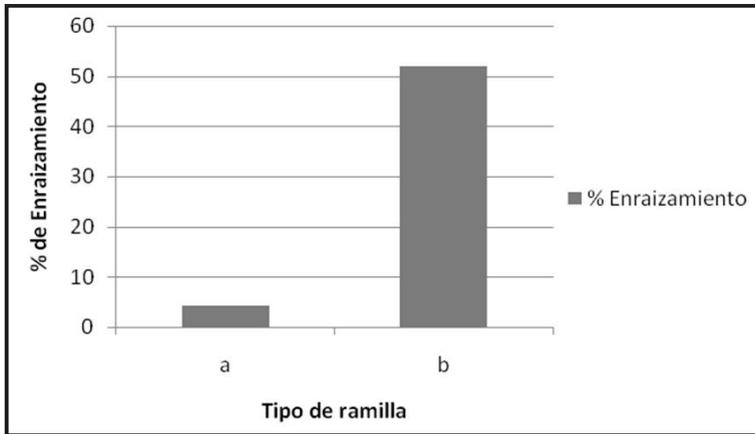


Gráfico # 1

Respuesta de ramillas con elementos de floración (a); sin elementos de floración (b).

Estos resultados confirmaron la poca respuesta de este tipo de ramillas con elementos de floración (a).

4.2 Comportamiento de las ramillas en relación con su altura en la planta madre

1. Las ramillas que se encuentran a ras de suelo enraízan en un 78 %, certificando la mayor viabilidad en comparación con ramillas que se localizan a mayores alturas.
2. Ramillas localizadas entre 0 y 50 cm de altura de la planta alcanzan un 70 % de enraizamiento.
3. Ramillas comprendidas entre 50 y 100 cm de altura de la planta enraízan hasta un 63 %.

4. Ramillas comprendidas entre 100 y 175cm alcanzan un 52 % de enraizamiento.

Tabla # 3

Ensayo de altura	Altura	% Enraizamiento
Ramillas 0 m.	0	78
Ramillas 0- 0.5 m.	50	70
Ramillas 0.5-1 m.	100	63
Ramillas 1-1.75 m.	175	52

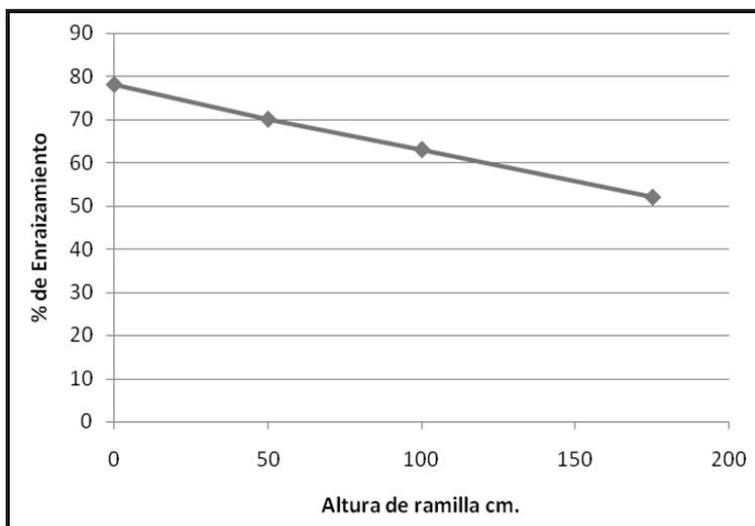


Gráfico #2

Porcentaje de enraizamiento de ramillas según su altura en la planta.

4.3. Influencia del diámetro de la ramilla en el proceso de enraizamiento

Los resultados obtenidos concluyen con las siguientes respuestas:

Tabla # 4

Diámetro cm.	Tipo	% Enraizamiento
Ramillas 0 - 0,8 cm	a	8
Ramillas 0,8- 1,6 cm	b	47
Ramillas > 1,6. cm	c	12

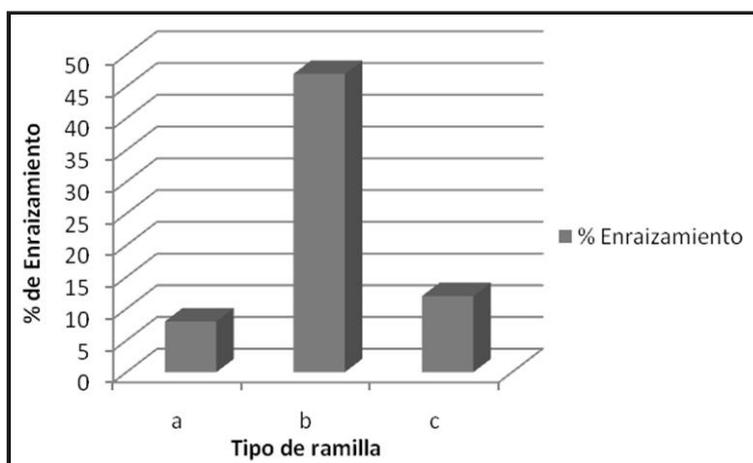


Gráfico # 3

Respuesta de las ramillas y su relación con el diámetro.

4.4. Sustitución de las bridas plásticas por piola nylon # 4

Aplicando esta modificación se incrementó el porcentaje de enraizamiento, dependiendo de la localización de las ramillas en la planta madre. Para las ramillas a ras de suelo, este porcentaje recuperado alcanza un 80 %; para las ramillas localizadas hasta 50 cm de altura se incrementa al 76 %; para las ramillas colocadas entre 50 y 100 cm de altura se establece un incremento al 70 %; y, para las ramillas comprendidas entre 100 y 175 cm de altura se ha recuperado al 62 %.

Tabla # 5

Ensayo de altura	Altura de la ramilla	Enraizado con bridas	Enraizado con piola
Ramillas 0 m.	0	78	80
Ramillas 0- 0.5 m.	50	70	76
Ramillas 0.5-1 m.	100	63	70
Ramillas 1-1.75 m.	175	52	62

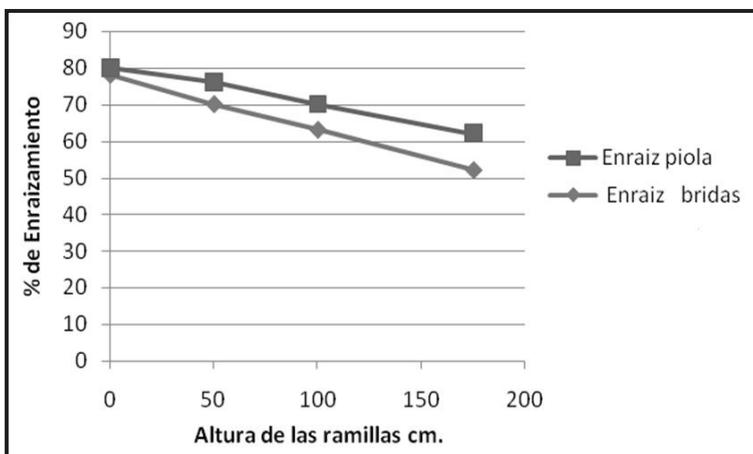


Gráfico # 4

4.5 Sustitución del 50 % de la turba por musgo en el material de acodado.

En general se ha establecido un incremento de un 1 a 2% sobre los distintos tipos de ramillas clasificadas por altura en la planta.

Tabla # 6

Ensayo de altura	Altura	Enraizamiento bridas BM2	Enraizamiento piola BM2	Musgo-BM2-Piola
Ramillas 0 m	a	78	80	82
Ramillas 0- 0,5 m	b	70	76	77
Ramillas 0,5-1 m	c	63	70	72
Ramillas 1-1,75 m	d	52	62	64

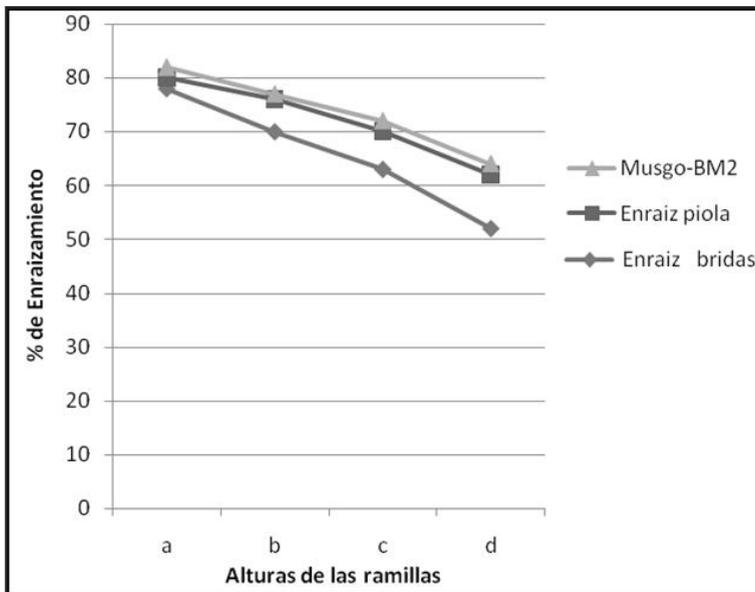


Gráfico # 5
Efecto de la sustitución de los amarres y de aplicación de musgo en el acodo.

4.6 Resultados del trasplante de acodos

En platabandas se determinó un 30 % de prendimiento, mientras que los acodos enfundados y protegidos bajo el umbráculo presentaron un 45 % de prendimiento.

4.7 Efecto de la poda del acodo previo al enfundado, sobre el porcentaje de prendimiento

La poda previa al enfundado del acodo enraizado y la adaptación bajo el efecto del umbráculo alcanzó un prendimiento del 67 %.

4.8 Efecto del musgo sobre el porcentaje de prendimiento

Se obtuvieron los mejores resultados de enraizamiento con un promedio del 82% en los acodos y se alcanzó un 80 % de prendimiento en las fundas, que con seguridad pasaron a la siguiente fase de trasplante final en el campo.

Las experiencias alcanzadas en el trasplante de acodos, pueden ser sintetizadas en la siguiente tabla:

Tabla# 7

Trasplante del acodo	Ensayo	% de Prendimiento
En platabanda	a	30
Enfundado	b	45
Poda y enfundado	c	67
Enraizado en turba+ musgo + poda, y enfunde	d	80

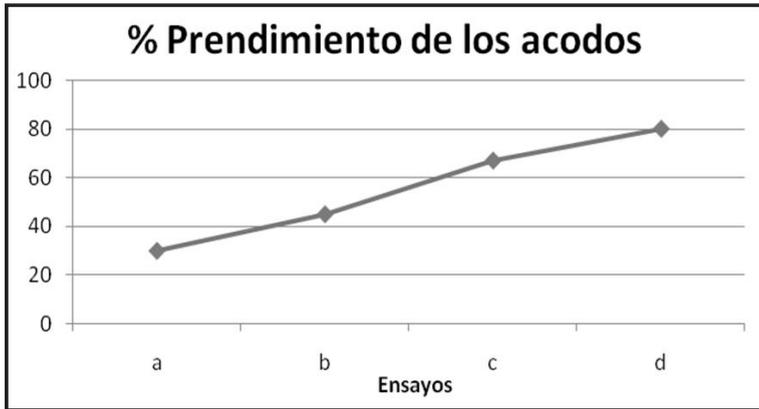


Gráfico # 6

Prendimiento de acodos en platabandas (a); enfundados (b); poda y enfunde (c); enraizados en turba – musgo, poda, y enfunde (c)

4.9. Síntesis del trabajo experimental

Para mejor comprensión del proceso experimental del acodado han sido resumidos en la tabla # 8 y el gráfico # 7 ,que permite analizar los datos obtenidos en el proceso de acodado, mientras que la tabla # 9 y el gráfico # 8 resumen las respuestas que corresponden al proceso de trasplante de acodos.

Tabla # 8

Síntesis de los ensayos de acodado de *P. reticulata*

Ensayo #	Material vegetal	Concentración del biorregulador	Tipo de amarre		Material de cobertura del acodo		% Enraizamiento
			Bridas	Piola	Turba BM2	Musgo-BM2 (50/50)	
1	Ramillas con floración	IAA 1000 ppm	x		x		4,2
2	Ramillas sin de floración	IAA 1000 ppm	x		x		52
3	Ramillas altura 0 cm.	IAA 1000 ppm	x		x		78
4	Ramillas altura 0-cm	IAA 1000 ppm	x		x		70
5	Ramillas altura 50-100 cm	IAA 1000 ppm	x		x		63
6	Ramillas altura 100-175 cm	IAA 1000 ppm	x		x		52
7	Diámetro de ramilla < 0.8 cm	IAA 1000 ppm	x		x		8
8	0.8 -1.6 cm	IAA 1000 ppm	x		x		47
9	>1.6 cm	IAA 1000 ppm	x		x		12
10	Ramillas altura 0 cm.	IAA 1000 ppm		X	x		80
11	Ramillas 0-5 cm de alto	IAA 1000 ppm		X	x		76
12	Ramillas 50-100 cm alto	IAA 1000 ppm		X	x		70
13	Ramillas 100-175 cm	IAA 1000 ppm		X	X		62
14	Ramillas altura 0 cm.	IAA 1000 ppm		X		x	82
15	Ramillas altura 0-5 cm	IAA 1000 ppm		X		x	77
16	Ramillas altura 50-100 cm	IAA 1000 ppm		X		x	72
17	Ramillas altura 100-175 cm	IAA 1000 ppm		X		x	64

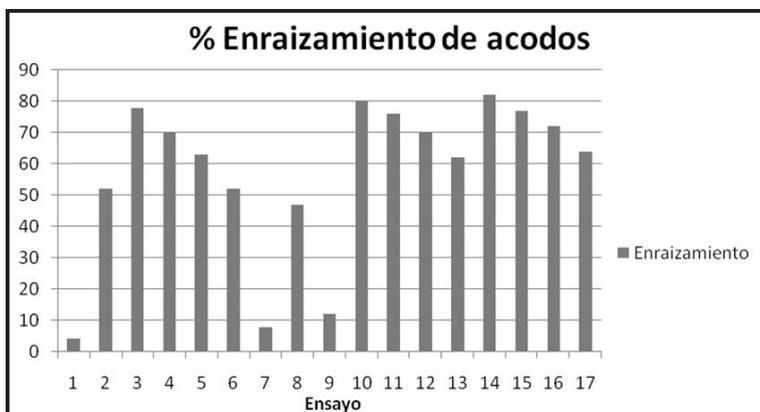


Gráfico # 7

Relación de ensayo/respuesta en el acodado de *P. reticulata*

Tabla # 9

Síntesis de los ensayos / respuesta en el trasplante y prendimiento de acodos

Ensayo	Trasplante de acodos	Podado	Sustrato de obtención del acodo			Sustrato de trasplante			% Prendimiento
			Tierra Negra	BM2	Musgo	Tierra Negra	BM2	Musgo	
1	En platabanda		x	x		X			30
2	Enfundado bajo umbráculo			x		X	x		45
3	Enfundado bajo umbráculo.	x	x	x		x	X		67
4	Enfundado bajo umbráculo	X	x	x	x	X	X	x	80

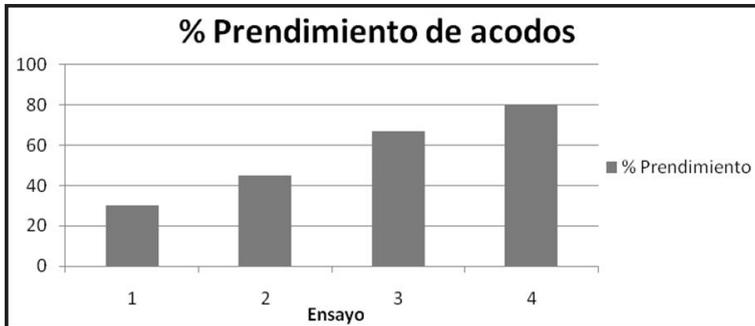


Gráfico # 8

Síntesis de ensayo/respuesta del trasplante y prendimiento de acodos de *P. reticulata*

5. Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio comprenden experiencias realizadas entre los años 2004 y 2008. El estudio ha podido confirmar la tendencia de enraizamiento de acodos cuya respuesta necesariamente requiere de un proceso de inducción con IAA. Este hecho da a entender la dificultad de reproducción en condiciones normales que justifican la no existencia de emprendimientos reproductivos de *Polylepis reticulata* para cubrir la demanda de plantas.

El proceso experimental ha permitido establecer algunos comportamientos válidos para la optimización del proceso de reproducción de *Polylepis reticulata*. El análisis considera el empleo constante de IAA en concentración 1000 ppm, y el registro de datos en un tiempo de seis meses.

5.1. En el acodado

5.1.1 Selección del material vegetativo

La selección previa del material vegetativo sobre el cual se realizan los acodos sugiere descartar el acodado de ramillas con elementos florales que han emitido un 4,2 % de respuesta con relación con el 52 % de enraizamiento manifiesto en las ramillas de crecimiento exentas de elementos de floración (tabla 2). Será conveniente diferenciar si este tipo de ramillas son específicas de floración, o caso contrario establecer la temporada de acodado para evitar esta interferencia que conlleva pérdidas de recursos y tiempo.

5.1.2 Selección de la ramilla de acuerdo a su altura en la planta

La localización de la ramilla en la planta ha demostrado una gran influencia en las respuestas de enraizamiento. Tanto en los ensayos de acodado utilizando bridas plásticas como piola nailon, y, turba BM2 como mezclas Turba-musgo, los mejores resultados se han obtenido en las ramillas localizadas a ras de suelo (altura 0), que certifican la tendencia de reproducción natural posiblemente por encontrarse mejor protegidas contra el viento y en mejores condiciones de humedad. Sería conveniente valorar los resultados de la aplicación del método en condiciones menos favorables de precipitación lluviosa como las que se marcaron entre el 2008 y 2010, para valorar la sensibilidad del proceso y las condiciones de regeneración natural en tiempos de estiaje e incrementos de temperatura por efectos del calentamiento global.

Si se considera que apenas un 2 a 5 % del material disponible para el acodado se encuentra a ras de suelo y puede variar dependiendo del estado de madurez del bosque, Se ve importante generar espacios repoblados con plantas jóvenes para disponer de material reproductivo y el aprovechamiento de las ramillas de mayor altura mediante un acodado con amarres consistentes (utilizando piola nailon) para evitar el movimiento causado por el viento y la ruptura de las raíces.

5.1.3 Relación de diámetros de las ramillas con el porcentaje de enraizamiento

Los acodos de mayor viabilidad, han resultado ser aquellos comprendidos entre 0,8 y 1,6 cm de diámetro con un 47 %, obtenidos mediante bridado y uso de turba como sustrato, frente al 8 % y 12 % en diámetros menores y mayores respectivamente. (Tabla 4). Aunque no se ha podido determinar el tiempo necesario para disponer del material vegetativo en este diámetro, si se puede tener la certeza de la viabilidad de los paquetes celulares responsables del enraizamiento del acodo.

5.2. En el trasplante de acodos

El trasplante de acodos, ha permitido establecer el prendimiento en diferentes condiciones:

1. En platabandas al aire libre, los acodos alcanzan un 30 % de prendimiento, aun en condiciones de riego controlado. Posiblemente el problema de evapotranspiración, los cambios drásticos de temperatura tengan relación con las repuestas obtenidas en el ensayo.

2. Realizando un enfundado de los acodos obtenidos con turba BM2 y manteniéndolos en condiciones controladas del umbráculo alcanzan un 45 % de prendimiento.
3. La poda previa al enfundado, registró un incremento al 67 % de prendimiento, lo que sugiere la disminución del follaje para controlar la evapotranspiración del acodo.
4. El trasplante de acodos obtenidos mediante el uso de amarres con piola nailon, utilizando musgo-turba (50:50) para evitar el desmoronamiento del material y la ruptura de las raíces estaría vinculado con las respuestas de enraizamiento y la estabilidad luego del trasplante y prendimiento final. (Tabla 7).

6. Conclusión

Si bien las ramillas que se extienden a ras de suelo pueden activar procesos de enraizamiento natural cuando son enterradas, este fenómeno no siempre es manifiesto ni ha sido establecido el tiempo requerido para que se lleve a cabo, por lo tanto es necesario inducir el proceso para garantizar el enraizamiento en los términos de respuesta establecidos (80 %). En el caso de las ramillas que no se encuentran en contacto con el suelo, resulta obligatoria la inducción con IAA para la obtención de plantas. El proceso de reproducción vegetativo por acodado se encuentra limitado por la vulnerabilidad de los paquetes radiculares de los acodos que se desprenden con mucha facilidad por lo que se sugiere el empleo de musgo u otro material consolidante del paquete radicular para impedir su desprendimiento en los procesos posteriores de enfundado y trasplante final. Para la adaptación de los acodos

enraizados se sugiere el enfundado y mantenimiento bajo protección.

En términos generales se podría sugerir la aplicación del siguiente protocolo:

- Aplicar el proceso en ramillas lo más próximas al suelo.
- Se recomienda el enraizamiento de acodos empleando musgo y turba en una relación 50:50.
- La aplicación de 5 cm³ de IAA de concentración 1000 ppm.
- Utilizar amarres de piola nailon que garanticen la estabilidad del acodo.
- Enfundar el acodo en una mezcla Tierra negra – Turba (9:1); y,
- Mantener las plantas bajo condiciones del umbráculo al 50 % de luminosidad y riego controlado.

7. Agradecimientos

Se deja constancia del reconocimiento a la Universidad del Azuay y a la Empresa Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca (ETAPA) por facilitar este trabajo y por el financiamiento otorgado. A la Empresa IAMGOLD, a la empresa Electro Generadora del Austro S.A., al Coronel Enrique Vanegas y al personal que colaboró con el trabajo de campo y laboratorio: Oswaldo Calle, Álvaro Córdova, Rómel Macancela, Paúl Sarmiento; a Floro Benavides, Verónica Ortiz y Lorena Ortiz por la confianza y apoyo brindados. Gustavo Chacón hizo importantes comentarios tanto al proyecto como a este artículo y tradujo el resumen al inglés.

8. Bibliografía

- Calderón Juan, Calle Oswaldo, Córdova Álvaro, Macancela Rómel, Sarmiento Paúl. 2006. "Enraizamiento inducido en *Polylepis reticulata* en el bosque de Cucheros Parque Nacional Cajas". 2006. Informe preliminar no publicado.
- Calle O, Córdova A, 2009. "Determinación de un método de enraizamiento inducido hormonalmente para *Polylepis reticulata* en la zona de Cucheros. Parque Nacional Cajas Provincia del Azuay". Cuenca – Ecuador, Universidad del Azuay. 34pp.
- ECOAN, 2005. "Evaluación de la biodiversidad de los Bosques de *Polylepis* del Corredor de Conchucos – Huaraz". 213pp.
- Fernández de Córdova C, Santillán V, 2006. "Evaluación de la importancia de los parches de quinua (*Polylepis* spp.) como refugio para especies de micro mamíferos no voladores en el Parque Nacional Cajas (PNC)". 45 pp.
- Hurtado Daniel, Merino M, 1987. "Cultivo de tejidos Vegetales", Editorial Trillas. México. 231pp.
- Jorgensen Peter, Ulloa Carmen, 1994. "Seed Plants of High Andes of Ecuador – a checklist. Departament of Sistematic Botany, University of Aarhus in collaboration with Departament de Ciencias Biológicas", Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Lazcano Juan Mario, Espinoza Desiderio. 2001 "Tendencia en el uso de la leña en dos comunidades con bosques de *Polylepis* con énfasis en variables económicas". Revista Boliviana de Ecología y conservación Ambiental. 9: 61 -77

- Lazo E, Ordóñez M, 2005. "La influencia de la Quema sobre el suelo y la vegetación en un ecosistema de pajonal de la reserva Mazán Parque Nacional Cajas", Cuenca-Ecuador. Universidad del Azuay. 53 pp.
- ECOAN. 2005. "Evaluación de la biodiversidad de los bosques de Polylepis del corredor de Conchucos". <http://www.ecoan.org.np/newsletters> (en línea). Consulta: 25 de Enero de 2008
- Encalada O. 2004. "La gestión del Parque Nacional Cajas, con énfasis en la estrategia de desarrollo comunitario, en el marco del proceso de descentralización". En: J Anhalzer Parque Nacional Cajas. Etapa. Municipalidad de Cuenca, Ecuador. 107 pp.
- Minga D, Verdugo A, Clavijo X, Chacón G, 2008. "Composición florística, productividad y regeneración natural en bosques de Quínoa (Polylepis spp.) en el Parque Nacional Cajas", Cuenca-Ecuador. Universidad del Azuay, ETAPA. 37 pp.
- Romoleroux, K. 1994. "The family Rosaceae in Ecuador". Tesis de Ph.D, Universidad de Aarhus, Dinamarca. 219pp.
- Romoleroux, K. "Polylepis en el Ecuador: Aspectos taxonómicos y ecológicos. Herbario QCA, Departamento de Biología Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Romoleroux Katya. Fitogeografía y Estado de Conservación de Polylepis en Ecuador". <http://www.joethejuggler.com/Funbotanica/2nda/Resumenes/Romoleroux.html>. Consulta: 5 de Enero de 2007
- Serrano F, Minga D. 2002. "La diversidad vegetal en el Parque Nacional Cajas". Reporte para CEMAPRIMES.

Ulloa C, Álvarez S, Jorgensen P, Minga D. 2004. "Cien plantas silvestres del páramo". Parque Nacional Cajas-Etapa-Missouri Botanical Garden. Cuenca, Ecuador. 100 pp.

Consumo de gasolina, emisiones de CO₂ y eficiencia de fuentes móviles en la provincia del Azuay, Cuenca, Ecuador

López Andrés

*Escuela de Ingeniería Mecánica,
Facultad de Ciencia y Tecnología,*

Universidad del Azuay,

Av. 24 de Mayo 7-77,

Cuenca, Ecuador.

Correspondencia: alopezh@uazuay.edu.ec

Resumen

En el presente artículo se realiza una comparación de las emisiones provenientes de vehículos convencionales e híbridos, pasando por el conocimiento de algunas características propias del parque automotor de la localidad, en la cual se centra el artículo, “la Provincia del Azuay”. Estas particularidades se basan en datos del INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) respecto al número de vehículos, igualmente se realizó encuestas a propietarios de vehículos, enfocadas en el recorrido, consumo y por lo tanto rendimiento promedio de los motores de combustión interna con ciclo Otto,

que son utilizados mayoritariamente en nuestro territorio. Posteriormente con la información recopilada se plantea una reacción de combustión utilizando valores reales medidos con un analizador de gases. Para culminar se demuestra que mediante la eficiencia de los vehículos no solo podemos tener un ahorro energético importante, sino también contribuir con la disminución de gases que provocan el efecto invernadero en nuestro planeta.

Palabras clave: motores, rendimiento, híbridos, combustible

Abstract

The present article makes a comparison of the emissions from conventional and hybrid cars, taking into consideration the intrinsic features of the total number of cars in the Azuay province. These features were analyzed from the INEC (National Institute of Statistics and Censuses, in Spanish). Also, several interviews to car owners were conducted to obtain data on the driving distance cover, consumption and thus average performance of the internal combustion engines with Otto cycle, which are the main type of engines used in our region. Later on, with the gathered information, we propose a type of combustion reaction using actual values measured with a gas analyzer. To conclude, we show that through car efficiency we cannot only have important energy savings, but also decreases in greenhouse gases.

Keywords: engine, performance, hybrids, fuel

1. Introducción

En la provincia del Azuay existían 73.405[1] vehículos matriculados hasta el año 2007, siendo un número relevante dentro del parque automotor nacional, contabilizando el 7,97% del total en el país. Estos vehículos con MCI (motores de combustión interna) generan emisiones con un alto porcentaje de CO₂. Este gas ha llegado a convertirse en el principal precursor del efecto invernadero [2], problema de gran envergadura en la actualidad. Por lo tanto se realizará una comparación con la alternativa de mayor eficiencia para el consumo de combustible y disminución de CO₂, como es el caso de los vehículos híbridos.

Se realiza el cálculo de las emisiones de CO₂, provenientes de fuentes móviles convencionales en relación directa con el rendimiento (kilómetros/combustible) y cuanto se puede disminuir de emisiones de CO₂ y aumentar la eficiencia, con el uso de tecnología de punta, actualmente producida por empresas automotrices de vanguardia a nivel mundial.

El trabajo se llevó a cabo solo en vehículos que funcionan con gasolina, en la provincia del Azuay, debido a que la cantidad de automotores que utilizan este combustible es muy superior al que utilizan Diesel, siendo el 91,4% versus al 8,6%, también es de gran importancia destacar que las emisiones de CO₂ en porcentaje de volumen provenientes de motores OTTO, es superior a los motores de ciclo Diesel[2]. Esto no quiere decir que se deba descartar las emisiones de los motores que consumen gasoil, sin embargo, se debe realizar otro estudio debido a sus diferentes características.

La delimitación territorial del trabajo (Azuay), se debe a que las estadísticas nacionales de transporte realizan la clasificación por provincias, como resultado de la matriculación vehicular, por lo tanto se utilizan los datos del INEC (cantidad de vehículos matriculados en el año 2007) en la realización de este artículo.

1.1. Desarrollo del tema

Para determinar el consumo de gasolina, eficiencia y disminución de CO₂ proveniente de fuentes móviles es necesario considerar los siguientes aspectos: Cantidad de vehículos matriculados en la provincia del Azuay, recorrido promedio de vehículos, consumo total de gasolina en base al recorrido (rendimiento), determinación de la cantidad de CO₂ emitido, eficiencia de los vehículos híbridos en comparación con los convencionales.

a) Vehículos matriculados en el Azuay: se presenta la tabla No. 1 con el total de vehículos matriculados en el Azuay en el año 2007, con la clasificación por tipo de combustible; es totalmente perceptible la mayor cantidad de vehículos a gasolina que circulan en la región, la clasificación otros es insignificante y representa los vehículos con GLP o combustible no clasificado en el proceso de matriculación.

Tabla No. 1. Vehículos matriculados en el Azuay, por tipo de combustible

Fuente: INEC cuadro No. 12, Cuadros de transporte.2007

Vehículos matriculados en el Azuay, por tipo de combustible								
PROVIN- CIA	TOTAL		GASOLINA		DIESEL		OTROS	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
TOTAL PAÍS	920.197	100%	825.257	89,7%	94.636	10,3%	304	0,0%
AZUAY	73.405	100%	67.106	91,4%	6.290	8,6%	9	0,0%

b) Rendimiento y consumo vehicular: para determinar el consumo de combustible fue necesario realizar encuestas a propietarios de vehículos, (según la clasificación del INEC), que circulan en la provincia del Azuay, el resultado se presenta en la tabla No. 2.

Tabla No. 2. Consumo de combustible por tipo de vehículo

Fuente: Elaboración autor, basado en encuestas de usuarios de vehículos

Cuadro resumen de encuestas para determinación de consumo de combustible					
Encues- tados	Cantidad total de vehículos matriculados	Tipo	Rendi- miento (km/lt)	Recorrido promedio (Km/mes)	Combus- tible consumido (lt/mes)
217	26.352	Automóvil	10,44	1.777	4.488.102
169	13.133	Jeep	8,45	1.470	2.286.238
175	20.907	Camione- tas	7,85	1.984	5.293.175
82	1.681	Furgoneta (P)	9,64	1.798	313.860
70	217	Furgoneta (C)	8,61	1.419	37.937
Total consumo vehículos gasolina					12.419.312

(P) pasajeros

(C)Carga

Tabla No. 3. Consumo de combustible por tipo de vehículo

Fuente: Elaboración autor, basado en encuestas de usuarios de vehículos

Tipo	Rendimiento (km/lt)	Recorrido (km/mes)
	Desviación Estándar	Desviación Estándar
Automóvil	2,91	1.440,49
Jeep	3,00	1.084,32
Camionetas	2,78	2.469,79
Furgoneta (P)	3,02	973,89
Furgoneta (C)	3,87	33,59

b) CO₂ emitido: las emisiones teóricas de un motor Otto[3], en lo referente a CO₂ para una combustión normal son del 14% en volumen, sin embargo es necesario realizar una prueba de comprobación de la bibliografía consultada. Esta medida se llevó a cabo con un analizador de gases marca MAHA modelo MGT-5, según esta muestra los resultados confirman que mientras la relación aire combustible (λ) se acerca a 1 (combustión ideal), el valor de CO₂ se aproxima a 14%.

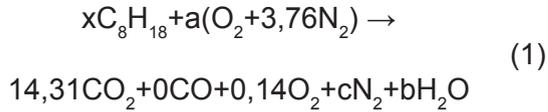
Por lo tanto para los cálculos se tomarán valores reales medidos (tabla No. 4), emisiones del vehículo a gasolina Chevrolet Luv Dmax con placas AGC-063, prueba realizada el 14 de abril de 2009.

Tabla No. 4. Muestra de emisiones tomadas con analizador de gases MAHA MGT-5

Fuente: Pruebas Centro de Revisión y control vehicular Mayancela-Cuenca

DATOS TOMADOS ANALIZADOR DE GASES MAHA MGT-5		
GASES	RALENTÍ	2500 RPM
CO (%Vol)	0,00	0,06
CO ₂ (%Vol)	14,31	14,34
CO corr (%Vol)	0,00	0,06
O ₂ (%Vol)	0,14	0,17
λ	1,006	1,006
RPM	830	2480

Al contar con el volumen presente en las emisiones, es necesario plantearse la reacción (1) de combustión ideal (por no considerar compuestos intermedios como HC, MP, SO_x, etc.), para el cálculo de la cantidad total de CO₂ producido en relación con la masa de ingreso de combustible. Sabiendo que para gases ideales, las fracciones de volumen son equivalentes a las fracciones molares[4], se puede escribir una reacción inversa, partiendo como dato de los porcentajes en volumen de los componentes más importantes de emisiones y presentando también nitrógeno y agua en concentraciones desconocidas tenemos:



Los coeficientes desconocidos x, a, c, b son determinados por el balance de masa en la reacción.

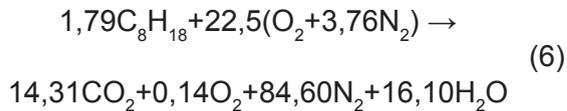
$$\begin{aligned}
 \text{N}_2: & \quad 3,76a = c \\
 & \text{de (5) } c = 84,60
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\text{C:} \quad 8x = 14,31 \rightarrow x = 1,79 \tag{3}$$

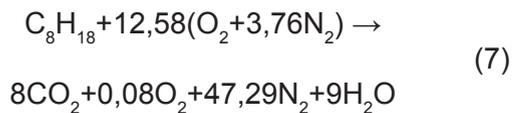
$$\text{H:} \quad 18x = 2b \rightarrow b = 16,70 \tag{4}$$

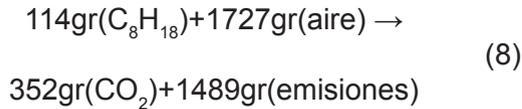
$$\text{O}_2: \quad a = 14,31 + 0,14 + \frac{b}{2} \rightarrow a = 22,5 \tag{5}$$

Sustituyendo los valores tenemos



Para conocer la combustión de 1 kmol de gasolina se divide para 1,79, así la reacción queda de la siguiente forma





En esta reacción y realizando un balance de masa (8), se comprueba las entradas como salidas, sin embargo lo relevante es la relación de masa entre combustible y CO_2 (9).

$$\text{Relación} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{m_{\text{C}_8\text{H}_{18}}} = \frac{352\text{gr}}{114\text{gr}} = 3,08 \tag{9}$$

Los 12.419.312 de litros de gasolina que se consumen equivalen a 9.054.121,205 kg en masa de combustible debido a que su densidad[5] es de 0,73gr/cc.

Y con la relación encontrada (9) podemos calcular la cantidad de CO_2 proveniente del combustible utilizado por el parque automotor (10).

$$m_{\text{CO}_2} = 3,08 \times 9.054.121,205 = 27.886.693,3\text{kg} \tag{10}$$

Se emiten 27.886,7 toneladas de CO_2 mensuales, en la provincia del Azuay, provenientes del parque automotor matriculado hasta el 2007.

c) Vehículos más eficientes: en nuestro medio los vehículos de mayor rendimiento son los híbridos, y se

utiliza el Toyota Prius (el de mayor comercialización nacional), como modelo para la comparación de consumo y emisiones de CO₂.

Según la página[6] web de Toyota en la que se presentan las características principales del Prius, consta un rendimiento de 1216 km por tanque de combustible y una potencia de 134 hp; el tanque de combustible tiene una capacidad de 11,9 galones, por lo tanto el rendimiento es de 102,18km/ gl. También el instituto para la diversificación y ahorro de la Energía de España, presenta en su página[7] web varios modelos de vehículos híbridos con su rendimiento el cual es muy similar al analizado. Se realiza una comparación con una línea base de vehículos convencionales y un escenario con todo el parque automotor propulsado por tecnología híbrida.

Tabla No. 5. Comparación consumo vehículos convencionales-híbridos

Fuente: Elaboración autor

Comparación consumo vehículo convencional-híbridos				
Tipo de vehículo	Número de vehículos	Rendimiento promedio (km/lt)	Recorrido (km/mes)	Consumo combustible (lt/mes)
VEHÍCULO CONVENCIONAL	62290	8,9	1690	12.419.312
VEHÍCULO HÍBRIDO	62290	27,00	1690	3.899.279
		Diferencia de consumo		8.520.033

El consumo de gasolina total es de 3.899.279 lt en volumen y 2.842.713,43 Kg en masa de los vehículos híbridos, generando 8.755.557,38 Kg de CO₂ al ambiente.

La energía[8] que produce un litro de gasolina es 31.850KJ, por lo tanto también se puede comparar lo que sucede en el ahorro energético, con un vehículo más eficiente (tabla 5).

Tabla No. 6. Comparación combustible, emisiones y energía

Fuente: Elaboración autor

Comparación combustible, emisiones y energía			
	Gasolina (kg)	CO₂ (kg)	Energía (TJ)
Convencional	9.054.121,20	27.886.693,31	1.091.494,68
Híbrido	2.842.713,43	8.755.557,38	342.695,50
Diferencia	6.211.407,77	19.131.135,93	748.799,18

2. Conclusiones

Es evidente que las emisiones de CO₂[9] solo se pueden disminuir desde dos aspectos, el primero es disminuir el uso del vehículo, (problema de conciencia ciudadana, de mayor complejidad), y el segundo es utilizar los avances tecnológicos, que en esta ocasión se analizó con los

vehículos híbridos, para condiciones particulares de uso y cantidad de vehículos. Se ha demostrado que las emisiones disminuyen mensualmente en 19.131,14 toneladas de CO₂ siendo el 68,6% de ahorro (229.573,63 toneladas anuales) al usar mejor tecnología y en cuanto a la parte energética la variación es muy importante, generándose un ahorro energético de 748.799,18TJ mensuales que es el 68,6% (8.985.590,19TJ anuales).

3. Agradecimientos

Se deja constancia del reconocimiento al apoyo y colaboración recibidos de Juan Calderón, Gustavo Álvarez, Judith Narváez y Gustavo Chacón.

4. Literatura citada

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Censos.
www.inec.gov.ec
- [2] J.M. Alonso, Técnicas del Automóvil, Motores, 10ª Ed.
- [3] Gerschler, Tecnología del automóvil, Tomo 2, 1999, pp 290.
- [4] CENGEL Thermodynamics 5th Ed. Cap. 15 Chemical Reactions
- [5] ÁNGEL SANZ GONZALEZ. Tecnología de la automoción. Tomos 2.2. Editorial Bruño. Barcelona. España.1986
- [6] Página de Toyota.
www.empiezaelfuturo.com/php/index.php
- [7] Instituto para la diversificación y ahorro de la Energía España,
www.idae.es/coches
- [8] VAN WYLEN, fundamentos de termodinámica, Limusa Wiley, México, 2003
- [9] El medio ambiente y el automóvil, el reto del vehículo automóvil frente a la reducción global de CO₂. Dossier de inversiones editoriales.

ELMER, una herramienta computacional para EDP's en aplicaciones de ingeniería mecánica

Viteri Hernán

*Escuela de Ingeniería Mecánica,
Facultad de Ciencia y Tecnología,
Universidad del Azuay,
Av. 24 de Mayo 7-77,
Cuenca, Ecuador.*

Correspondencia: hviteri@uazuay.edu.ec

Resumen

ELMER es un programa de licencia libre empleado para la solución de ecuaciones diferenciales parciales (EDP's) mediante el método numérico de elementos finitos (MEF). Con el fin de caracterizar este programa se analizaron diversos casos en dos y tres dimensiones en el campo de la ingeniería mecánica; los resultados obtenidos mediante este programa fueron validados a través de programas comerciales de métodos numéricos y con la solución analítica. Además se realizó una evaluación de las principales características con el propósito de validar su aplicación.

Palabras clave: Elementos finitos, Licencia Pública General, Software libre, ELMER

Abstract

ELMER is a free license software package used to solve partial differential equations (PDE's), using the finite elements numeric method. With the aim of characterizing this program three diverse cases in two and three dimensions were analyzed, focused on mechanical engineering applications. The results gathered with this software were validated with numeric methods licensed software and with the analytical solution of the cases. Furthermore, an evaluation of the main features of this software is performed, focusing on the strengths and weakness of this computational aid.

Key words: Finite element, General Public License, Free software, ELMER

1. Introducción

El desarrollo de las técnicas numéricas, la alta velocidad de las computadoras y los códigos eficientes de programación ha permitido la aplicación de modelos matemáticos en las diferentes áreas de la ciencia y la tecnología proporcionando una disminución notable del tiempo requerido para desarrollar un producto nuevo.

En el presente trabajo se realizó la caracterización al software libre *ELMER* licenciado bajo la filosofía "licencia pública general (General Public License GPL) para el modelamiento de problemas con elementos finitos.

Se inicia con una descripción sobre la configuración básica del programa, así como, los modelos físicos que se pueden aplicar. A continuación se realizó la simulación de problemas aplicados a la transferencia de calor, mecánica de sólidos y de fluidos en dos y tres dimensiones en el campo de la ingeniería mecánica. Los resultados obtenidos fueron validados a través de programas comerciales de métodos numéricos y mediante la solución analítica de la ecuación diferencial que rige el fenómeno en particular. Finalmente se realizó la caracterización del programa Elmer en el cual se aplican determinadas herramientas de evaluación, teniendo en cuenta criterios como: el tipo de análisis permitido, la compatibilidad con programas CAD, el tipo de soporte ofrecido, la actualización de las versiones, el tipo de interfaz de usuario implementado, entre otros.

Configuración básica

Elmer es un conjunto de programas ejecutables, muchos de ellos se pueden utilizar en forma independiente, actualmente se utiliza como preprocesador el ejecutable ElmerFront / ElmerGui, como procesador el paquete ElmerSolver y como postprocesador el ejecutable ElmerPost, también dispone de herramientas como: ElmerGrid, MATC, Mesh2D, ElmerParam, etc. Las cuales pueden funcionar en forma autónoma. En la figura 1 se indican los componentes básicos del programa.

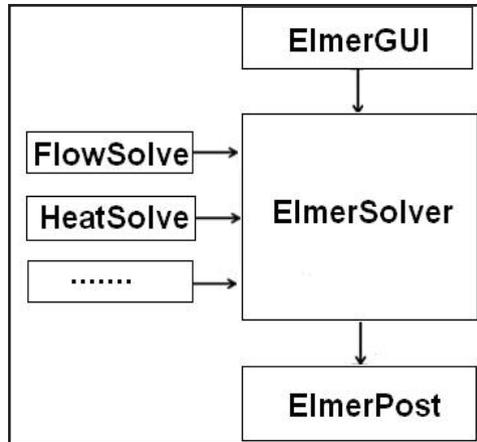


Figura 1. Componentes del programa Elmer

1.1 ElmerFront

Mediante este paquete se define el modelo numérico que se va a utilizar, la ejecución se realiza mediante líneas de comando, como características principales el programa dispone de un entorno gráfico ElmerGUI por el cual se accede a otros ejecutables como el ElmerSolver y ElmerPost, se puede importar CAD en dos dimensiones (2D) y mallados en dos y tres dimensiones (3D) de otros programas, no dispone de herramientas para CAD pero se pueden realizar mallados 2D estructurados y no estructurados utilizando un mallador propio (mesh2d). En la tabla 1 se indican los formatos de entrada que admite el programa Elmer.

Tabla 1. **Formatos de entrada**

Archivo	Extensión	Formato
CAD 2D	*.egf	Elmer
	*.unv	Neutral de I-deas
	*.igs	Iges
Malla 2D/3D	mesh.header	Elmer
	*.inp	Abaqus
	*.fdneut	Fidap
	*.unv	I-deas
	*.unv	I-deas
Propio	*.emf	Elmer

En la tabla 2 se indican los formatos de salida y asociados que permite el programa Elmer.

Tabla 2. **Formatos de salida**

Archivo	Extensión	Formato
Salida	*.egf	ElmerFront
	*.unv	Elmer
	*.sif	ElmerSolver
Asociados	*.edf	
	*.esf	

1.2 ElmerGui

A través de este paquete se define el modelo numérico, la ejecución se realiza mediante líneas de comandos, las

principales características son: interfaz de usuario gráfica de Elmer, generador de mallas y presenta un entorno intuitivo.

1.3 ElmerSolver

Se realiza la resolución de las EDPs de propósito general, la ejecución se realiza mediante líneas de comando (ElmerSolver file.sif). En la tabla 3 se indican los archivos de entrada, salida y asociados que permite este paquete.

Tabla 3. **Formatos de ElmerSolver**

Archivo	Extensión	Formato
Entrada	*.sif	ElmerFront
	mesh.header	Malla de Elmer
Salida	*.ep	ElmerPost
	*.result	ElmerSolver
	*.dat	Matlab
Asociados	SOLVER.KEYWORDS	
	ELMERSOLVER_STARTINFO	

1.4 ElmerPost

Mediante este programa se visualizan los resultados de la solución de las EDP's realizadas en el ElmerSolver, la ejecución se realiza mediante líneas de comandos (ElmerPost), presenta una interfaz gráfica, los estilos de visualización pueden ser de superficie, contornos, vectores, cortes, animaciones, etc. Los archivos de entrada y salida con las que se puede trabajar en este paquete se indican en la tabla 4.

Tabla 4. **Formatos de ElmerPost**

Archivo	Extensión	Formato
Entrada	*.ep	ElmerPost
Salida	ps, ppm, jpg	
	*.mpeg	

1.5 Características del programa Elmer

El programa Elmer ofrece una variedad de métodos y técnicas para el modelamiento de fenómenos físicos descritos por ecuaciones diferenciales parciales, a continuación se indican algunos de estos modelos.

- *Mecánica de fluidos*: Ecuaciones de Navier-Stokes para fluidos compresibles e incompresibles, Stokes y Reynolds, modelo de turbulencia: $k-\varepsilon$, v^2-f .
- *Transferencia de calor*: Modelos para conducción, radiación y cambios de fase.
- *Transporte de especies*: ecuación genérica convección-difusión.
- *Elasticidad*: Ecuación general de la elasticidad, materiales isotrópicos y anisotrópicos, comportamiento lineal y no lineal, modelos para placas y pared delgada.
- *Acústica*: Ecuación de Helmholtz.
- *Electromagnetismo*: Electrostática, medios conductores, magnetismo, inducción electromagnética.
- *Microfluidos*: Ecuación de Poisson-Boltzmann.
- *Mecánica Cuántica*: Teoría de la densidad funcional.
- *Problemas de superficie libre*: Técnicas Lagrangianas.

Una de las potencialidades del programa Elmer es el acoplamiento de modelos programados que se activan a través de palabras claves, por ejemplo, se puede analizar problemas termo-fluido-dinámicos como la determinación de las velocidades en la ecuación de Energía o fuerzas de flotación en las ecuaciones de Navier-Stokes; en el campo termomecánico se analiza las tensiones térmicas en la ecuación de elasticidad; problemas termoeléctricos para determinar el calor por efecto de Joule; problemas electro-magneto-fluidodinámicos, etc. También existe la posibilidad de acoplar otros términos en los diferentes modelos que dispone el programa Elmer, los cuales deben ser programados.

2. Casos de estudio en la ingeniería mecánica en 2 dimensiones

Se presentan varios modelos en dos dimensiones con el propósito de establecer las características principales del programa Elmer, en el primero se analiza la transferencia de calor en estado estacionario en una placa, en el segundo caso se estudia una viga en voladizo sujeta a una carga estática y el tercer caso consiste en el análisis de un fluido en régimen laminar alrededor de una esfera. En los dos primeros casos se realiza la solución analítica, en cada uno de ellos se exponen los modelos obtenidos, se realiza la simulación en el programa Elmer y en otros programas comerciales, finalmente se contrastan los resultados obtenidos por los diferentes métodos.

2.1 Problema de conducción de calor bidimensional en estado estable en una placa.

El presente caso tiene por finalidad analizar el proceso de transferencia de calor en estado estacionario en una placa, el análisis se realiza a través del método analítico al resolver el problema de transferencia de calor, también se aplicará un método numérico (diferencias finitas) para resolver las EDPs que rigen este fenómeno y finalmente se realiza en el programa Elmer (elementos finitos).

Para condiciones de estado estable en dos dimensiones sin generación de calor y con una conductividad térmica constante, el flujo de calor se obtiene mediante la ecuación de Laplace:

$$\nabla^T D \nabla \theta = \frac{\partial \theta^2}{\partial x^2} + \frac{\partial \theta^2}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

La solución de la ecuación anterior dará la temperatura de un cuerpo bidimensional, en función de las dos coordenadas espaciales independientes “ x ” y “ y ”. La solución analítica de la ecuación anterior se expresa mediante la ec. 2:

$$\frac{T - T_1}{T_2 - T_1} = \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1} + 1}{n} \frac{\sin n\pi x \sinh\left(\frac{n\pi y}{W}\right)}{W \sinh\left(\frac{n\pi H}{W}\right)}$$

Donde: T = temperatura del nodo de interés, T_1 y T_2 = temperatura constante (condición de Dirichlet), H = altura de la placa, W = ancho de la placa, x , y = coordenadas del punto de interés.

Para determinar la temperatura en los nodos se utiliza el programa FDPDE, el mismo que resuelve la ecuación del calor mediante el método de diferencias finitas. La discretización de la placa que se aplicó fue de 50*50 nodos distribuidos en forma simétrica. En la figura 2 se indica la distribución de la temperatura en la placa.

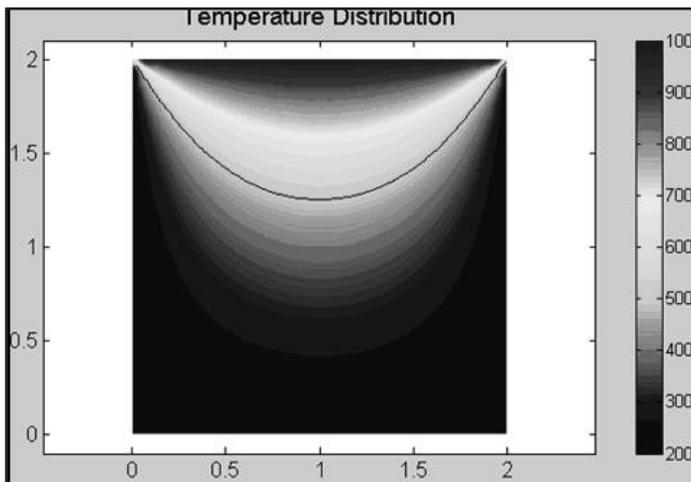


Figura 2. Distribución de la temperatura

Utilizando el programa Elmer, se realiza la simulación de la transferencia de calor, con una discretización en la que se emplean 442 elementos cuadriláteros, se obtiene una distribución uniforme del flujo de calor en la placa según se muestra en la figura 3.

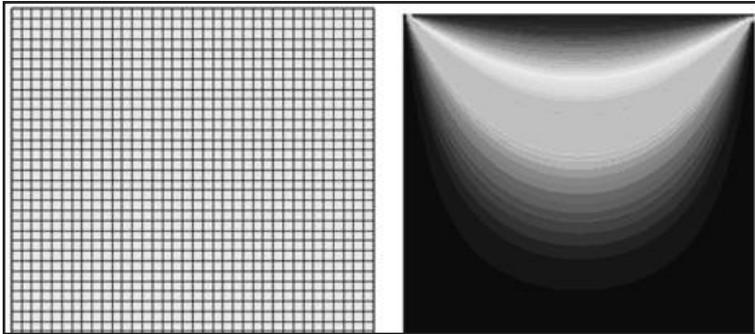


Figura 3. Discretización y distribución de la temperatura mediante el programa Elmer.

Como se observa en las figuras anteriores, el calor se distribuye en forma simétrica hacia el centro de la placa, esto se debe a las condiciones del contorno, la temperatura descende a medida que existe una mayor distancia con respecto al borde superior de la placa. En la tabla 5 se muestran los errores de los programas numéricos con respecto al analítico; en general, mientras más fina es la malla se obtiene una mejor aproximación al método analítico.

Tabla 5. Errores de los programas numéricos con respecto al analítico

Nodo	Coordenadas		Error del programa FDPDE	Error del programa Elmer
			Fino (36*36)	Fino (36*36)
	x	y	(%)	(%)
A	2/3	4/3	0.23	0.15
B	4/3	4/3	0.03	0.14
C	2/3	2/3	0.13	0.02
D	4/3	2/3	0.13	6.77e-3

2.2 Problema de una viga bidimensional en voladizo.

En la figura 4 se muestra una viga en voladizo de sección constante (t), que soporta una carga puntual en el extremo libre (P); para este caso se aplica la teoría de la tensión plana y se considera que el material es homogéneo e isotrópico. Se desea determinar la distribución de tensiones en una sección a $\frac{1}{4}$ de la luz. Se asume que el material tiene un módulo de elasticidad constante (E) y se conoce la relación de Poisson (ν). El análisis se realiza a través del método analítico y se utiliza los programas Elmer y COSMOS 4.0, para la simulación del problema.

En un prisma cuando las fuerzas de masa son constantes, el problema elástico puede verse simplificado mediante la utilización de una cierta función ϕ llamada *función de tensiones* o *función de Airy*. A partir del equilibrio interno y teniendo en cuenta que las fuerzas volumétricas son nulas, se obtiene la ecuación (4):

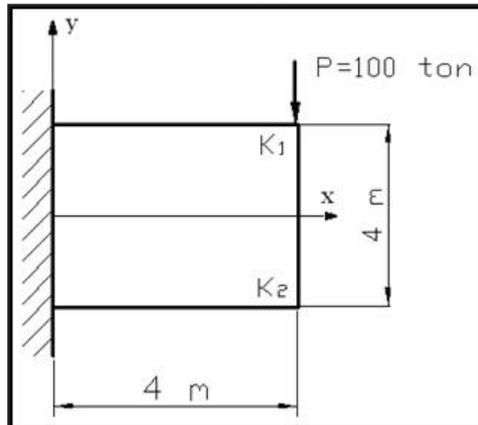


Figura 4. Viga bidimensional en voladizo

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} ; \sigma_y = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} ; \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y}$$

Resolviendo las ecuaciones anteriores se obtiene la solución analítica para el esfuerzo normal “σ” y el esfuerzo cortante “τ”, que se expresan como:

$$\begin{cases} \sigma_x = -\frac{P}{I_z}(L-x)y \\ \sigma_y = 0 \\ \tau_{xy} = -\frac{P}{2I_z}\left[y^2 - \left(\frac{h}{2}\right)^2\right] \end{cases} \quad (5)$$

En la figura 5 se indica la discretización de la viga mediante elementos triangulares y los esfuerzos normales en la dirección “x”, se realiza la importación de los resultados obtenidos en el programa Elmer al postprocesador del programa GiD 7.2.

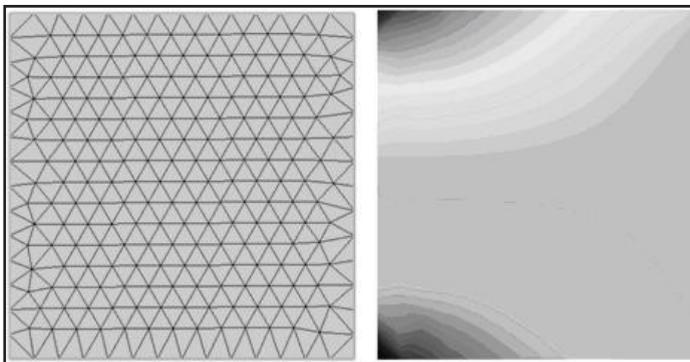


Figura 5. Preproceso y postproceso de la viga bidimensional

En la figura 6 se indican los perfiles del esfuerzo normal en la dirección "x" encontrados con los modelos desarrollados en Elmer y Cosmos, comparándolos con el perfil analítico se aprecia que los resultados obtenidos son similares debido a que los modelos así como el método analítico se realizaron en forma bidimensional.

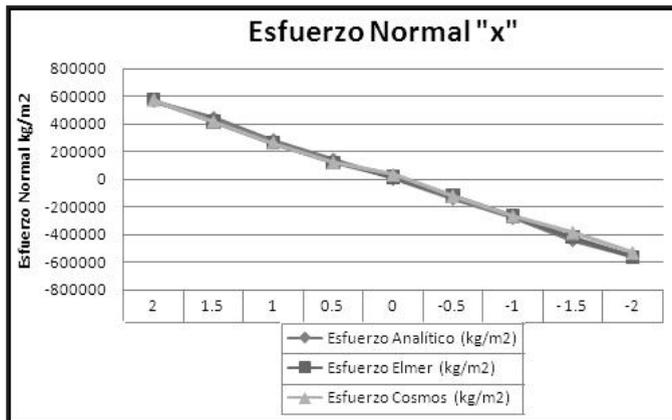


Figura 6. Valores de los esfuerzos en la dirección x mediante los métodos numéricos y el analítico

2.3 Análisis de problemas de mecánica de fluidos mediante elementos finitos.

El movimiento de los fluidos en ciertos pasajes y en general en formas complejas, desafía el análisis directo por medio de las ecuaciones que lo gobiernan. Algunos ejemplos de estos son el flujo interno de válvulas, bombas, ventiladores y compresores, en tomas de motores y múltiples de escape y alrededor de proyectiles, aeronaves o barcos. Las ecuaciones diferenciales parciales que gobiernan la mecánica de los fluidos

incluyen la ecuación de continuidad (conservación de la cantidad de movimiento), las ecuaciones de Navier-Stokes (conservación del momento o segunda ley de Newton) y la ecuación de la energía (conservación de la energía o primera ley de la termodinámica). Estas ecuaciones son complejas, se relacionan íntimamente y no son lineales, lo que hace imposible una solución analítica general, excepto para un número limitado de problemas especiales en los que es posible reducir las ecuaciones con el fin de llegar a soluciones analíticas. Debido a que la mayoría de problemas prácticos no caen en esta categoría limitada, se emplean métodos numéricos para determinar la solución de dichas ecuaciones. Se dispone de métodos numerosos para efectuar lo anterior, a los que en conjunto se les denomina *dinámica de fluidos computacional* (CFD), los cuales utilizan el método de los elementos finitos para reducir las ecuaciones complejas que lo gobiernan, a un conjunto de ecuaciones algebraicas en puntos discretos o nodos sobre cada elemento pequeño dentro del fluido.

2.3.1 Problema de un flujo laminar alrededor de una esfera

Cuando una corriente de fluido se mueve alrededor de un cuerpo, tiende a adherirse a la superficie en la porción de la longitud del cuerpo. Después de cierto punto, la capa límite delgada se separa de la superficie, lo que hace que se forme una estela turbulenta (figura 7). La ecuación de momentum aplicada a la capa límite se puede obtener utilizando el método de Von Kármán.

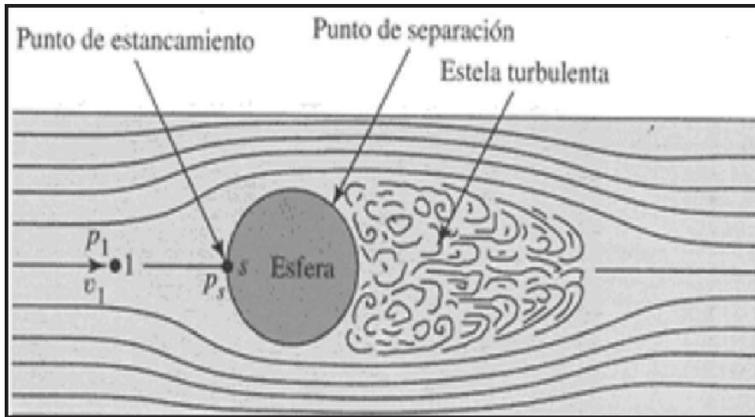


Figura 7. Presión estática del fluido

Se considera el siguiente problema en el que se conocen las siguientes propiedades del fluido: densidad (ρ) y la viscosidad (μ), las mismas que se mantienen constantes. El perfil de la velocidad del fluido al ingreso del conducto se considera parabólico y tiene una velocidad máxima en la dirección horizontal $\mu_x = \mu_{max}$ y el componente vertical es cero $\mu_y = 0$. En la salida del ducto solamente la componente vertical es definida $\mu_y = 0$ ya que por defecto una discretización débil impone una condición de presión cero si el componente de la velocidad normal no es definida. La condición de no deslizamiento es considerada para todas las paredes del círculo y del conducto. En la figura 8 se muestran las dimensiones y las condiciones del contorno.

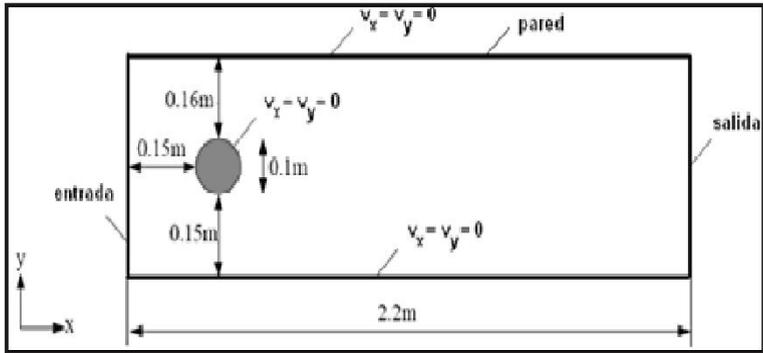


Figura 8. Medidas y condiciones del contorno del ducto.

Para la creación de la geometría y discretización de la figura se utiliza el programa Gambit por cuanto permite exportar el modelo para los programas Elmer y Fluent en los cuales se realiza la simulación computacional. Para la etapa del preproceso se toma en cuenta que la región del círculo presenta el efecto de capa límite por lo que se utilizan elementos triangulares no estructurados. En la figura 9 se indica la geometría discretizada del ducto y del agujero.

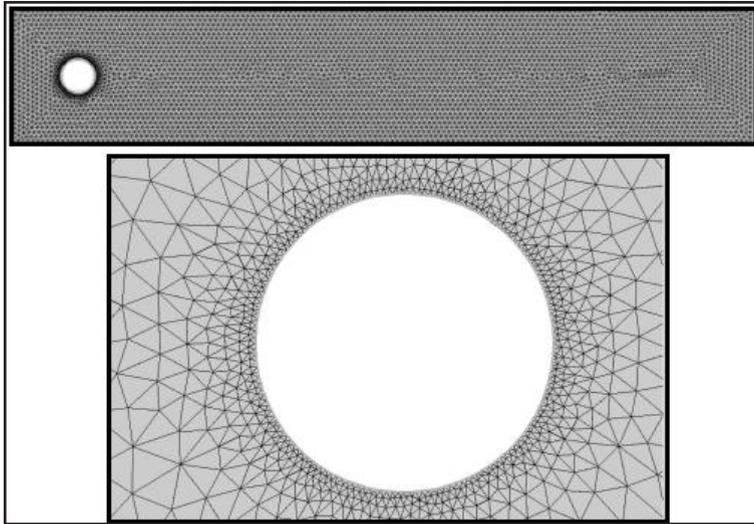


Figura 9. *Discretización del ducto*

Una vez realizada la simulación se pueden apreciar los resultados en el postprocesador del ElmerPost en diferentes intervalos de tiempo, según se observa en la figura 10.

El número de Reynolds para este caso es alrededor de 100, resultando un estado inestable por cuanto el número crítico de Reynolds es alrededor de 90, al reducir la velocidad del fluido el número de Reynolds disminuye por lo que el sistema parte de una solución en estado estacionario, al contrario, al incrementar la velocidad del fluido la vorticidad de von Karman será más pronunciada hasta obtener un movimiento caótico del fluido.

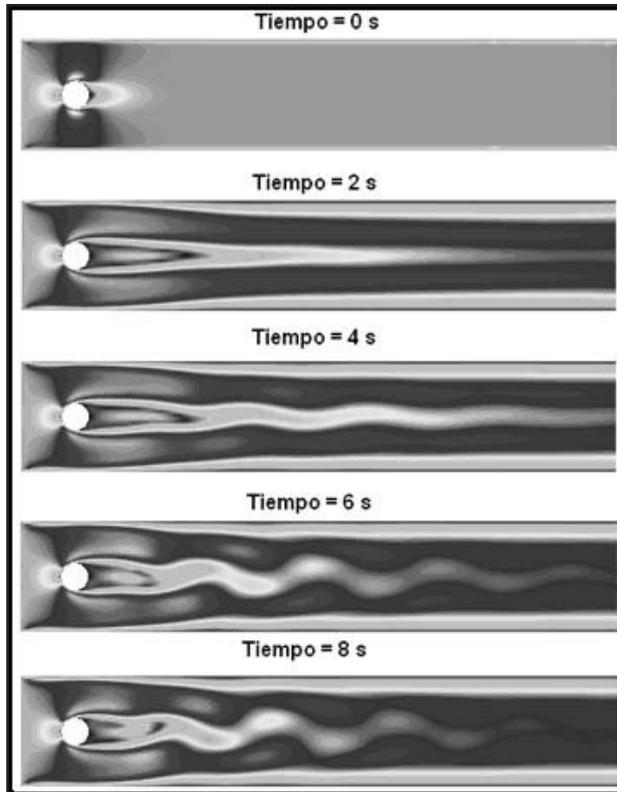


Figura 10. *Velocidad del fluido en diferentes intervalos de tiempos*

En la gráfica 11 se muestra los perfiles de la velocidad absoluta obtenida en un mismo nodo en diferentes intervalos de tiempo en los programa Elmer y Fluent, se aprecia que existe una dispersión de los resultados, esto se debe a que los modelos de resolución que utilizan los procesadores de estos aplican diferentes preconditionadores.

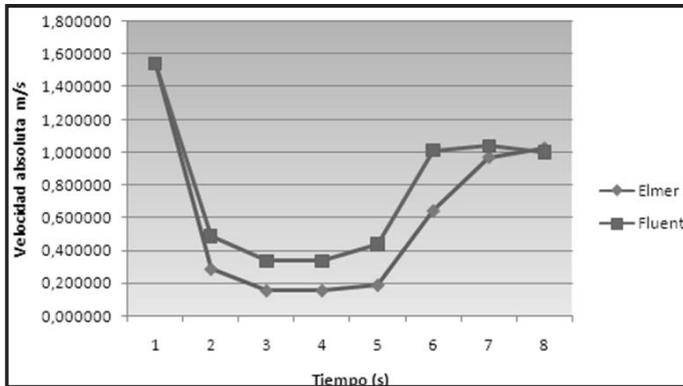


Figura 11. Resultados de la velocidad mediante los programas Elmer y Fluent

3. Casos de estudio en la ingeniería mecánica en 3 dimensiones

Se desarrollaran dos modelos en 3D con el propósito de establecer las potencialidades del programa Elmer en aplicaciones en el campo de la ingeniería mecánica; en el primer caso se analizará la transferencia de calor en estado estacionario en superficies extendidas y el segundo caso trata sobre el análisis de la distribución de esfuerzos en una placa cuadrada con un agujero en el centro y sometida a un esfuerzo de tracción.

3.1 Transferencia de calor en superficies extendidas

Una superficie extendida es un sólido que transporta energía por conducción, eliminando dicha energía por convección (y/o radiación) hacia los alrededores. La aplicación más frecuente de una superficie extendida es aumentar la rapidez de transferencia de calor entre un

sólido y un fluido contiguo; en la figura 12 se indica la configuración geométrica de un intercambiador de calor cilíndrico.

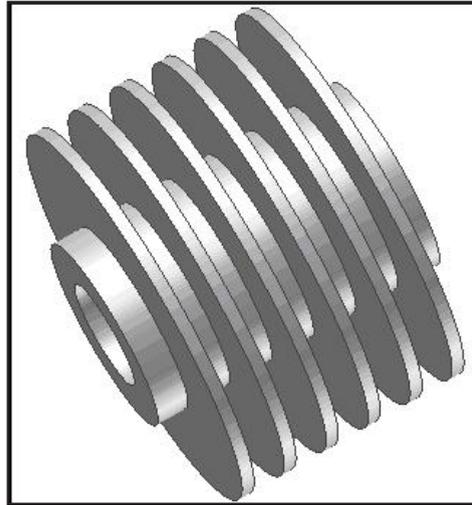


Figura 12. Geometría del intercambiador de calor

La distribución de temperatura mediante el método analítico a lo largo de una aleta circular se deriva de la ecuación diferencial tipo Bessel que rige el problema.

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_b - T_{\infty}} = \frac{I_0(mr)K_1(mr_2) + K_0(mr)I_1(mr_2)}{I_0(mr_1)K_1(mr_2) + K_0(mr_1)I_1(mr_2)}$$

Para obtener la distribución de temperaturas en el intercambiador de calor en las aletas no es recomendable realizar la modelación completa de la geometría debido al costo computacional que implica, haciendo uso de la

simetría del cuerpo se analiza en la cuarta parte de una aleta. La construcción de la geometría se hizo en el programa Inventor 9.0 y se importó al programa Gambit 2.2.30 donde se discretizó la geometría y se definieron las condiciones del contorno, el archivo obtenido se graba en formato FDNEUT para convertirlo posteriormente en formato Elmer a través de los comandos que dispone el programa ElmerGUI. En la figura 13 se indica la geometría y la discretización de la misma.

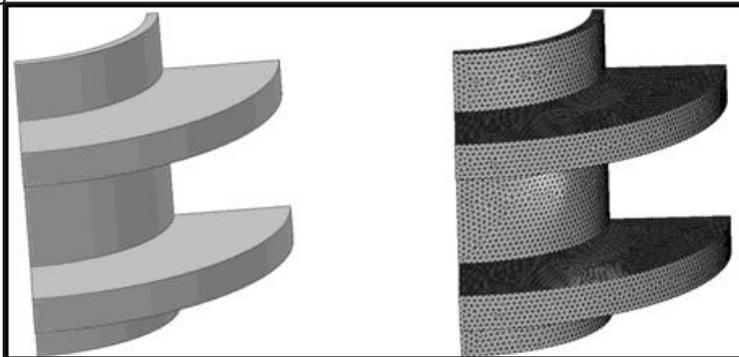


Figura 13. Geometría realizada en el programa Inventor y discretizada en el programa Gambit

Los resultados se obtuvieron en el postprocesador que dispone el programa GiD7.2 por cuanto se puede determinar fácilmente los valores de temperatura en los diferentes nodos, en la figura 14 se indica la distribución de temperatura y los valores a lo largo de la superficie extendida.

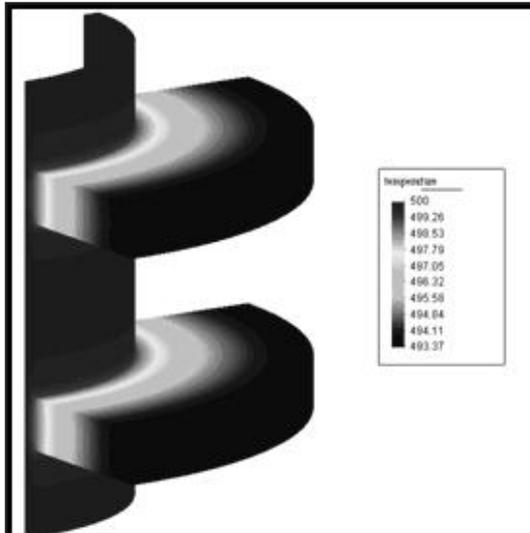


Figura 14. *Distribución de temperatura*

En la gráfica 15 se indican los perfiles de temperatura encontrados con los modelos desarrollados en los programas de elementos finitos Elmer y COSMOS 4.0, comparándolos con el perfil analítico se aprecia que los resultados obtenidos por las simulaciones son similares pero existe una diferencia de estos con relación al método analítico debido a que este modelo matemático fue simplificado con el objeto de obtener una ecuación fácil de resolver lo que lleva a resultados con un margen de error.

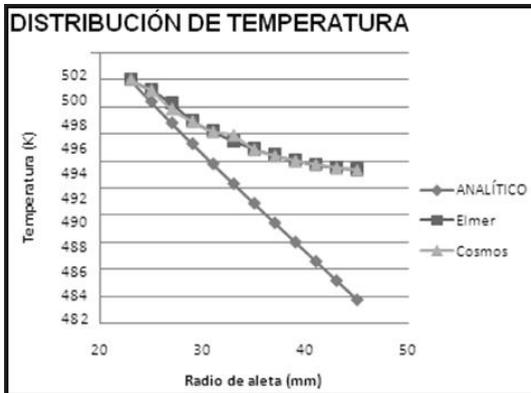


Figura 15. Comparación del perfil de temperaturas a lo largo de la aleta, obtenido con los programas Elmer, Cosmos y el analítico.

3.2 Análisis de una placa con agujero circular sometida a un esfuerzo de tracción

Se considera una placa rectangular en cuyo centro se realiza un agujero circular de radio pequeño en comparación con las dimensiones de la misma. Sometida a una tracción uniforme en la dirección del eje “x”, como se indica en la figura 16.

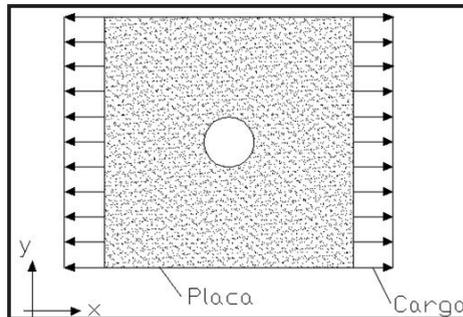


Figura 16. Placa sujeta a tensión

Para la solución analítica se considera que el comportamiento del material está dentro de la zona elástica, por lo que se utiliza la teoría de la elasticidad bidimensional, la misma que se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_x = \sigma_\theta = \frac{p}{2} \left(2 + \frac{r_1^2}{\rho^2} + 3 \frac{r_1^4}{\rho^4} \right)$$

Donde: σ_x = Esfuerzo normal, p = Presión uniforme, r_1 = Radio del agujero, μ = Distancia al centro de la placa donde se obtiene el esfuerzo.

En la zona adyacente al agujero de la placa se origina una concentración de esfuerzos alta en relación con otras partes de la placa, por tal razón, se realiza una discretización más fina en este sector, con el propósito de obtener resultados más precisos; en la figura 17 se muestra la placa mallada mediante elementos de volumen tetraédricos, la misma que se obtuvo en el programa Gambit 2.2.30.

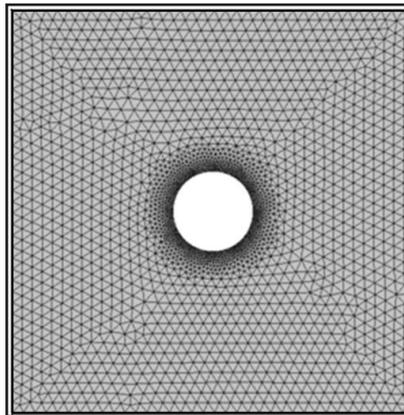


Figura 17. Discretización de la placa

En la figura 18 se indican los resultados del postproceso de la distribución de esfuerzos en la placa mediante el programa Cosmos 4.0; nótese que la mayor concentración de esfuerzos de tensión se encuentra en la parte superior e inferior del agujero.

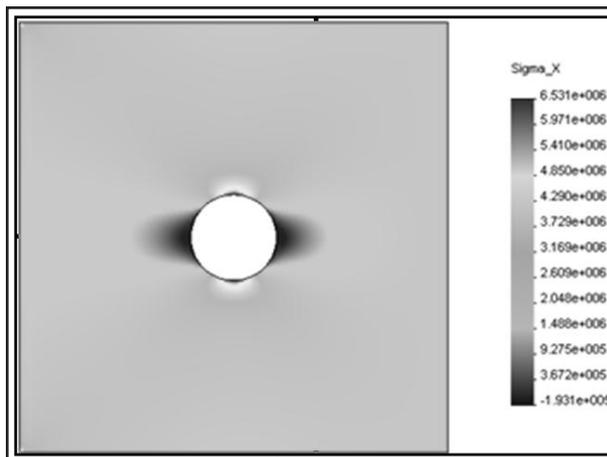


Figura 18. *Distribución de esfuerzos en la placa*

En la figura 19 se indican las gráficas de los esfuerzos realizados por los programas Elmer y Cosmos, comparándolos con el perfil analítico se aprecia que los resultados obtenidos mediante los programas son similares, no así con el método analítico por cuanto este fue deducido a partir del campo bidimensional.

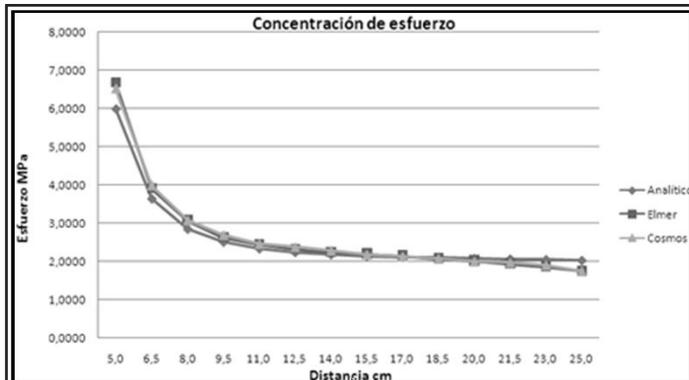


Figura 19. Comparación de los resultados mediante los programas y el método analítico.

4. Caracterización del programa ELMER

En el creciente mundo de los programas con licencias GPL, se encuentra una amplia variedad de software de elementos finitos, con diferentes características, capacidades, campos de aplicación, modos y plataformas de trabajo; sin embargo, todos tienen en común el libre uso y acceso a los códigos fuente, que le permiten al usuario el mejoramiento y adaptación del programa a sus necesidades particulares. A continuación se hace una revisión de las características más relevantes del programa Elmer.

4.1 Campo de aplicación

Una primera forma de clasificar al programa de elementos finitos es de acuerdo a su campo de aplicación, desde este punto de vista al programa Elmer se lo clasifica como un programa para uso básico general (sección 1.5). Una de las principales características del programa es la posibilidad

de acoplar diferentes modelos en un mismo problema. Varios de estos modelos matemáticos vienen cargados por defecto en el programa ElmerGUI, mientras que otros se pueden subir al ElmerGUI, en cambio, los modelos que no se pueden trabajar en el programa ElmerGUI deben programarse en los archivos con extensión *.sif del Solver del programa Elmer.

4.2 Características del programa Elmer

La facilidad de crear un modelo, realizar los cálculos y visualizar los resultados, así como la rapidez con la que un usuario se habitúa al trabajo con un nuevo programa son elementos relevantes para evaluar un programa. En función de las características establecidas por la norma ISO-9126 y para estos tipos de programas que se basan en la resolución de ecuaciones diferenciales mediante métodos numéricos se ha procedido a calificar algunas características que se presentan a continuación.

4.2.1 Funcionalidad

El programa Elmer cuenta con una interfaz separada en módulos de preprocesamiento, procesamiento y postprocesamiento, el manejo de los comandos e instrucciones de una gran variedad de modelos se realiza en el programa ElmerGUI, cuando se requiere aplicar un modelo que no dispone el programa ElmerGUI es necesario digitalizar el texto en una línea de comando en el procesador del Elmer en formato *.sif; por lo que resulta imprescindible el conocimiento del nombre y sintaxis de cada uno de los comandos, o por lo menos la consulta constante del manual del usuario. Se destaca la carencia de un buen preprocesador, si el modelo se trata de un

problema bidimensional o tridimensional es preferible realizar esta etapa en otros programas. El postproceso que dispone el programa Elmer permite trabajar por defecto con dos programas: el ejecutable ElmerPost y el VTK; ambos permiten visualizar superficies, contornos, vectores, animaciones, pero se requiere en algunos casos utilizar los paquetes que dispone el programa ElmeGUI, por ejemplo, para visualizar las líneas de corriente es necesario cargar el solver streamlines; otra opción es exportar el archivo a otro programas, como por ejemplo, al programa GiD el mismo que dispone de mayores opciones. En la tabla 6 se indica una valoración de la funcionalidad del programa Elmer.

Tabla 6. Funcionalidad del programa Elmer

Elmer	Valoración				
	1	2	3	4	5
Preprocesador	x				
Procesador				x	
Postprocesador			x		

4.2.2 Confiabilidad

Se refiere a la capacidad del programa de mantener su nivel de ejecución bajo condiciones normales en un período establecido. En general el programa Elmer durante la resolución de las ecuaciones diferenciales que rigen el problema físico es bastante fiable, es decir no presenta “cuelgues” del mismo, salvo cuando las condiciones del contorno o las propiedades del cuerpo no están bien definidas o ingresadas.

Los resultados obtenidos en los casos de estudio aplicados a la ingeniería mecánica en dos y tres dimensiones fueron confiables y buena exactitud de los algoritmos numéricos implementados en este programa. En el caso de existir una falla del programa, no es posible restablecer el nivel de operación y recobrar los datos que hayan sido afectados directamente por la misma. En la tabla 7 se indica la valoración de la confiabilidad del programa.

Tabla 7. Confiabilidad del programa Elmer

Elmer	Valoración				
	1	2	3	4	5
Fiabilidad					x
Precisión					x
Restablecimiento de operación	x				

4.2.3 Eficiencia

Esta característica permite evaluar la relación entre el nivel de funcionamiento del programa y la cantidad de recursos usados. La velocidad del procesamiento de datos y los tiempos de respuesta en problemas bien estructurados, como por ejemplo, el preconditionador que se aplique, el modelo numérico de resolución que se utilice, el grado de exactitud que se desea, así como las condiciones de contorno llevan a una convergencia rápida. En la tabla 8 se indica una valoración de la eficiencia del programa en función de los problemas que se analizaron.

Tabla 8. Eficiencia del programa Elmer

Elmer	Valoración				
	1	2	3	4	5
Velocidad de procesamiento				x	
Tiempo de respuesta				x	

4.2.4 Facilidad de uso

El programa Elmer no tiene un buen preprocesador, por lo que es recomendable importar la geometría discretizada de otros programas; en relación a la aplicación del modelo numérico, propiedades del material y las condiciones del contorno al problema resulta fácil si se encuentra disponible en el programa ElmerGUI, caso contrario la aplicación de estas condiciones se torna más complicado. El postprocesador de Elmer es amigable en lo referente a la visualización de resultados, no así para obtener valores de resultados en los nodos de la malla, para este caso, es necesario ejecutar mediante líneas de comando o importar a otro postprocesador.

El programa Elmer dispone de una buena documentación referente a manuales de instalación, tutoriales, foros e información en internet, la misma que puede ser consultada por el usuario para iniciar y profundizar en el manejo del programa. Los paquetes ejecutables que dispone este programa carecen de ayuda dentro del mismo y buena parte de la documentación se encuentra escrita en el idioma inglés, existiendo poca información en español.

En relación con la facilidad de manejo del programa se evaluó la pertinencia de las instrucciones y recomendaciones realizadas, así como la sencillez para entender las mismas, siendo en general no muy amigable para el usuario. En la

tabla 9 se indica una valoración en relación con la facilidad de uso por parte del usuario.

Tabla 9. Facilidad de uso

Elmer	Valoración				
	1	2	3	4	5
Facilidad de uso			x		
Información				x	

4.2.5 Mantenimiento

El programa Elmer se puede descargar de la internet con facilidad, por cuanto tiene una licencia GPL, sin costo alguno y se pueden obtener además otros paquetes relacionados con el programa Elmer.

Los programas con licencias GPL se caracterizan por su continua evolución y mejoramiento permanente debido a la contribución que realizan los usuarios al código original. Con el fin de evaluar este parámetro se revisó las fechas de publicación de las diferentes versiones lanzadas, desde el nacimiento del programa hasta la fecha. En la figura 19 se indica la evolución del programa Elmer.

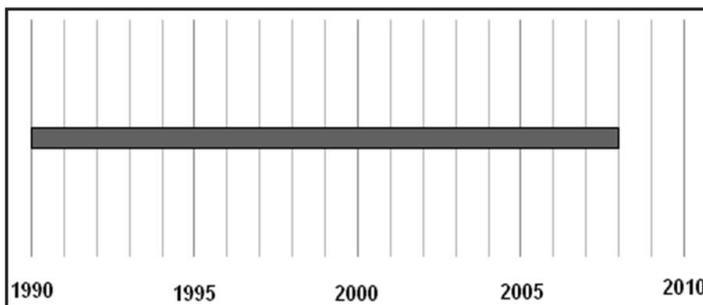


Figura 19. Evolución del programa Elmer

4.2.6 Portabilidad

Pese a que el movimiento del software libre inicia con aplicaciones en sistemas Unix, difundándose posteriormente en el sistema Linux, resulta conveniente contar con versiones de los programas compatibles en diferentes sistemas operativos. Desde este punto de vista, el programa Elmer puede trabajar en los sistemas operativos: Linux, Windows y Mac, sin necesidad de hacer ninguna modificación.

Resulta importante conocer el lenguaje de desarrollo de modo que se puedan entender las diferentes posibilidades para la manipulación o modificación de los códigos libres. El código del programa Elmer está escrito en Fortran.

5 Conclusiones

- El programa permite una gran flexibilidad en el estudio de problemas de diferente naturaleza, pues admite la formulación de modelos no tradicionales a partir de la definición de la ecuación diferencial parcial asociada al fenómeno que se desea estudiar; el acoplamiento de los diferentes modelos es una fortaleza del programa lo cual tiene un impacto fuerte en la metodología de trabajo y en la adaptación al manejo del programa, especialmente para usuarios que migran de paquetes comerciales, en los cuales la formulación de los elementos está establecida de antemano.
- La caracterización del programa Elmer se basó en el análisis de problemas aplicados en la ingeniería

mecánica cuyos resultados fueron validados a través del método analítico y con otros programas comerciales, siendo en general un programa funcional, confiable y eficiente, uno de los inconvenientes está relacionado con la facilidad de uso por cuanto se requiere conocimientos en el campo de los métodos numéricos para aplicar los modelos matemáticos así como las condiciones del contorno.

- Uno de los principales inconvenientes es que dispone de un preprocesador muy limitado para realizar la construcción y discretización en geometrías complejas, además este programa al ser un procesador para propósitos multifísicos carece de características específicas en determinadas áreas para estabilizar en un único campo.
- La parte medular del programa es el procesamiento de los modelos matemáticos del fenómeno físico que se desea analizar, no así en los otros módulos (preprocesador y postprocesador). Por este motivo la conectividad con diferentes programas CAD o de graficación de datos es una característica común del programa.
- El programa tiene un gran dinamismo en la evolución y mejoramiento del código, lo cual se refleja en la actualización del programa; esto se debe al aporte permanente de los usuarios al código fuente del mismo.

6 Agradecimientos

A Paúl Álvarez por su apoyo en métodos numéricos. A la Universidad del Azuay por su apoyo en el uso de los laboratorios. A Gustavo Chacón por la revisión del borrador de este artículo.

7 Literatura citada

CSC – IT Center for Science. 2009 Elmer Tutorials. Finland.

CSC – IT Center for Science. Elmer Models Manual. 2009. Finland.

CSC – IT Center for Science. Elmer Solver Manual. 2009 Finland.

INCOPRERA, Frank. 1999 Fundamentos de transferencia de calor. México. Prentice Hall. 4ª edición.

MOHNEY, Suzanne. 2004. FDPDE Toolbox Users Guide. USA. The Pennsylvania State University.

ORTIZ, Luis. 1998. Elasticidad. España. Mc GRAW-HILL. 3ª edición.

El método de elementos finitos aplicado a la solución de armaduras hiperestáticas

**Carpio María Paula, Maita Gisella, Proaño Mayra y
García Hernán***

*Escuela de Ingeniería Civil y Gerencia de
Construcciones, Facultad de Ciencia y Tecnología,
Universidad del Azuay.*

*Av. 24 de Mayo 7-77,
Cuenca, Ecuador.*

**Correspondencia: hgarcia@uazuay.edu.ec*

Resumen

La solución de elementos hiperestáticos (armaduras, marcos) ha sido un problema para los ingenieros porque se llegaba a plantear un gran sistema de ecuaciones lineales que, sin la ayuda de la computadora, era muy difícil de resolver; con el desarrollo de métodos numéricos que ayudan en la solución de problemas reales, el método de elementos finitos ha sido un puntal importante para simplificar y agilizar el cálculo estructural; este trabajo aplicó la teoría más simple del método a la solución de armaduras hiperestáticas, utilizando herramientas actuales y disponibles en el medio; para esto se procedió a la resolución de una celosía en base al concepto de equilibrio estático, aplicando el Método de los Elementos

Finitos (MEF), revisando algunos ejemplos para poder establecer una rutina aplicable a todos los casos y buscando una herramienta de conexión que facilite de manera gráfica la concepción del problema; se obtuvo las propiedades físicas de la celosía, sin necesidad del cálculo manual, obteniendo las fuerzas, deformaciones y esfuerzos de todos los elementos que forman la armadura, que sirven para el diseño final de los elementos. Se puede concluir destacando que el método de elementos finitos sirve para resolver desde los sistemas más simples hasta los más complejos y que es el método más utilizado actualmente en el cálculo estructural.

Palabras clave: Celosía, armadura, Método de los Elementos Finitos (MEF), rutina, herramienta

Abstract

The solution of hyper-static elements like trusses and frames is difficult because of the solution of a large system of linear equations without computers; the significant progress of technology helped the development of numerical methods for the solution of real problems; the finite element method has been the mainstay in the solution of engineers problems and structural problems; the objective of this work was to apply the basics of the method in the solution of hyper static 2d trusses, using current and available software; in this way the results are graphical, the program gives forces, stresses, and deformations so it is possible to design any element. The conclusion of the work indicates that the method of finite element can be used to solve simple problems and complex problems, and that is the most used method for structural engineers.

Key words: Lattice, trusses, Finite Elements Method (FEM), routine, tool, support

1. Introducción

En la estática se encuentran varios elementos entre ellos están las celosías, las cuales serán tratadas en este trabajo. Una celosía o armadura es el conjunto de elementos bidireccionales, barras, unidos interiormente por nudos rígidos que no transmiten momentos y exteriormente por diferentes tipos de apoyo.

Conceptualmente resolver una celosía, implica determinar las tensiones a las que están sometidos cada uno de sus elementos. Este trabajo se realizó para que el estudiante tenga una herramienta que se emplee en la resolución de una celosía, buscando obtener resultados exactos. La rutina se codificó de tal manera que pueda resolver cualquier celosía planteada utilizando datos que el estudiante debe ingresar, se buscó que el tiempo de resolución sea el menor posible, siendo este únicamente el empleado en la introducción de datos.

Muchos problemas físicos de la ingeniería y ciencia son representados por medio de ecuaciones diferenciales, y la solución de estas ecuaciones por medio de métodos analíticos es casi imposible. El método de los elementos finitos (MEF en español, FEM en inglés), es un método numérico general que resuelve ecuaciones diferenciales aproximando las soluciones.

El MEF ha sido pensado para ser usado en computadoras. Conociendo las condiciones de cada problema, se puede predecir el comportamiento de un sistema estructural, mecánico, térmico, eléctrico y químico.

Para hacer esta rutina empleamos el MEF, conociendo qué es una celosía y para su resolución se consideró como un sistema de dos dimensiones donde los elementos están en el plano XY .

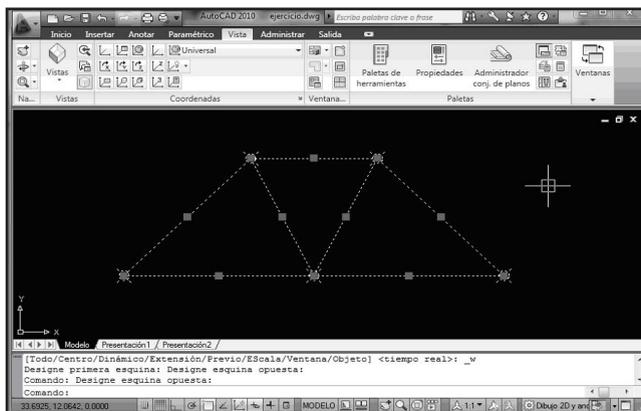
Los elementos bidimensionales recolectan bastante información, y el MEF trabaja muy bien con este tipo de elementos. La mejor manera de almacenar esta información es en una matriz, y por eso, el código trabaja solo con matrices en las cuales se guardan todos los datos necesarios.

2. Materiales y métodos

El desarrollo de la rutina se realizó en MATLAB, un programa de cálculo técnico y científico, que se basa en el uso de matrices. Para la ejecución de dicha rutina, se utilizaron las aplicaciones de AutoCAD y Microsoft Excel como herramientas de apoyo.

Previo a la ejecución del pseudocódigo, se requiere dibujar la celosía a resolver en AutoCAD, con el fin de obtener sus coordenadas, las cuales son exportadas a la hoja de cálculo de Microsoft Excel.

Una vez obtenidas las coordenadas, se calcula mediante una subrutina realizada en Visual Basic, las propiedades de cada elemento de la celosía, debiendo ingresar además, las condiciones a la que esta está sometida.



The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

COORDENADAS		
X	Y	Z
1	20,30577	8,999298
2	26,30577	8,999298
3	32,30577	8,999298
4	24,30577	12,9993
5	28,30577	12,9993

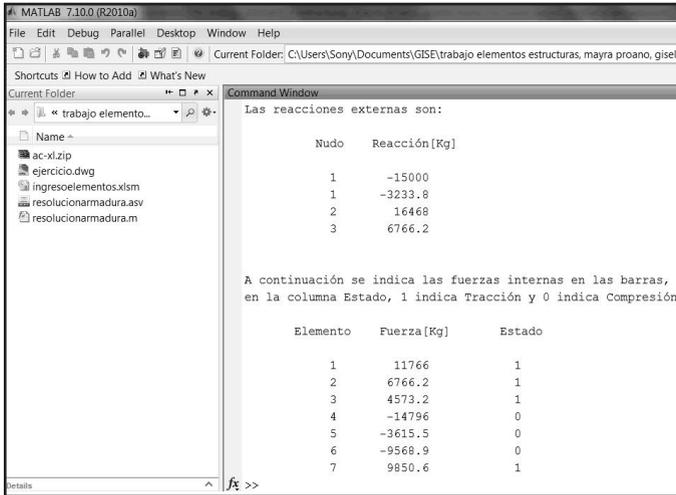
1	1	1	0	0	0
2	0	1	1	0	0
3	1	0	0	1	0
4	0	1	0	1	0
5	0	1	0	0	1
6	0	0	1	0	1
7	0	0	0	1	1

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

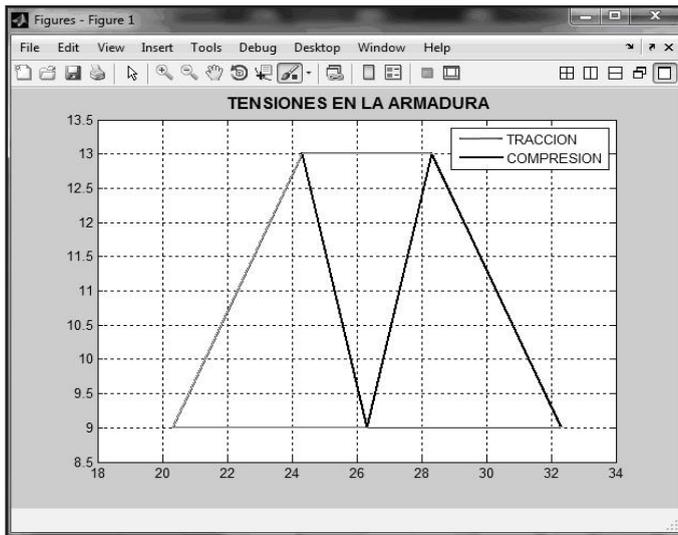
Nº ELEM.	NUDOS QUE SE UNEN		LONGITUD (m)	ANGULO DE INCLINACION (RAD)	SECCION TRANSV. (m2)	MODULO DE ELAST. (Kg/m2)	BORRAR APOYOS	No. NUDO	Sentido	APOYOS	FUERZAS
1	1	2	6,00	0,00	0,002	2,00E+10		1	X	1	0
2	2	3	6,00	0,00	0,002	2,00E+10		1	Y	1	0
3	1	4	5,66	0,79	0,002	2,00E+10		2	X	0	0
4	2	4	4,47	2,03	0,002	2,00E+10		2	Y	1	0
5	2	5	4,47	1,11	0,002	2,00E+10		3	X	0	0
6	3	5	5,66	2,36	0,002	2,00E+10		3	Y	1	0
7	4	5	4,00	0,00	0,002	2,00E+10		4	X	0	0
								4	Y	0	-10000
								5	X	0	15000
								5	Y	0	-10000

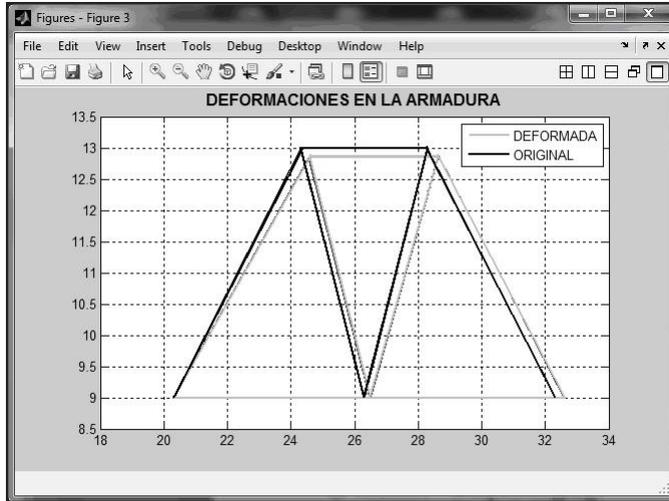
3. Resultados

Finalmente se ejecuta la rutina en MATLAB, a lo largo de la cual se detallan las instrucciones a seguir para obtener las deformaciones, reacciones y tensiones de cada elemento, lo que constituye la resolución de la celosía.



Además la rutina genera ilustraciones que muestran de forma gráfica los estados en los que cada elemento está trabajando, pudiendo ser tracción o compresión; así como también, las deformaciones de cada uno.





Después que se probaron varios ejemplos de celosías se pudo concluir que los resultados tienen mayor exactitud. Se buscaba principalmente reducir el tiempo en la resolución de la celosía, y esto se logró puesto que únicamente se emplea tiempo en la introducción de los datos.

4. Discusión

La introducción de los datos es simple y evita confusión gracias a que se obtienen directamente del gráfico, utilizando para esto el programa Autocad.

La información de la armadura se presenta claramente en Excel, donde se ingresan las propiedades físicas del material.

Desde Matlab se obtienen los valores de Excel para hallar los resultados de las fuerzas, deformaciones y esfuerzos.

Se ha comprobado con la ayuda de programas comerciales los resultados obtenidos, coincidiendo exactamente.

Se puede indicar que la solución que utiliza el programa creado es confiable y sirve para resolver cualquier tipo de celosía, además que es ilustrativo y ayuda en la enseñanza del método de elementos finitos.

5. Agradecimientos

Se deja constancia del apoyo brindado por la Escuela de Ingeniería Civil y Gerencia de Construcciones de la Universidad del Azuay, por sus docentes y el uso de los laboratorios para la realización de este trabajo.

6. Literatura citada

A First Course in Finite Elements. Jacob Fish and Ted Belytschko. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.

Cálculo de estructuras por el método de elementos finitos, Eugenio Oñate, centro internacional de métodos numéricos, segunda edición, septiembre 1995.

El método de los elementos finitos, O.C. Zienkiewics – R. L. Taylor, McGraw- Hill, Cuarta edición, 1994.

Resistencia de materiales, Timoshenko, S.P, Espasa Calpe, 1970.

Una solución de monitor fisiológico para aplicaciones médicas

Pérez Leonel*, Reyes Bruno y Feijó Marlon

Escuela de Ingeniería Electrónica,

Facultad de Ciencia y Tecnología,

Universidad del Azuay,

Av. 24 de Mayo 7-77,

Cuenca Ecuador

**Correspondencia: leonel@uazuay.edu.ec*

Resumen

Los registros fisiológicos son una de las técnicas más utilizadas en estudios clínicos para obtener información que permita generar diagnósticos de manera rápida. Las tecnologías de monitoreo se consideran de primera opción cuando se necesita obtener información en “tiempo real”. Este artículo describe el proceso de desarrollo de un prototipo de monitor fisiológico de bajo costo basado en un micro controlador. El diseño fue pensado de manera modular. En este sentido se implementaron tres módulos analógicos de bioseñales: Electrocardiografía, Fonocardiografía e Impedanciometría plestismográfica. Un cuarto módulo consiste de una unidad basada en un micro controlador orientado al control de todas las funciones del equipo: internas, de interface con el paciente y con el personal clínico que lo opera.

Palabras clave: monitor, bioseñal, electrocardiografía, fonocardiografía, impedancia, bioeléctrica

Abstract

Physiological registration systems are mostly used for clinical studies to obtain information for diagnosis criteria. Monitoring technologies are of first choice when information is needed “in real time”. This paper describes the development process of an experimental prototype for a physiological monitor of low cost, based on a microcontroller. The presented design was thought to be modular. Three bio signal analog modules were implemented: Electrocardiography, Phonocardiography and Impedance plethysmography. A fourth module consists of a micro controller based unit oriented to control internal, patient interface and clinical personnel operator related functions.

Key words: monitor, biosignal, electrocardiography, phonocardiography, impedance, bioelectric

1. Introducción

Las técnicas de monitoreo de parámetros fisiológicos a partir de la adquisición y procesamiento de bioseñales constituyen uno de los métodos más utilizados en el área clínica para la obtención de diagnósticos de manera inmediata. La obtención en “tiempo real” de resultados es la principal ventaja de las técnicas de monitoreo a diferencia de otras técnicas de diagnóstico que por su

naturaleza necesitan de un tiempo de análisis que muchas veces resulta crítico en el tratamiento de numerosas patologías que se pudieran presentar en un paciente.

Este artículo pretende describir las etapas de desarrollo de un prototipo de monitor de tres parámetros fisiológicos desarrollado en la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Azuay. La investigación devino en la fabricación de un prototipo de monitor capaz de adquirir, visualizar y procesar hasta cierto nivel tres tipos de eventos fisiológicos: señal electro cardiográfica superficial en reposo, sonidos cardíacos y variación de la impedancia del tórax. Los eventos fisiológicos registrados han sido tratados según el protocolo de tres técnicas de registro: Electrocardiografía, Fonocardiografía e Impedanciometría biológica.

1.1. Electrocardiografía

La electrocardiografía es quizá la técnica de registro más extendida y que ha dado lugar a la concepción de una amplia gama de equipos electro – médicos. Un electrocardiograma es un registro de la actividad bio - eléctrica del miocardio. Los impulsos eléctricos generados en las denominadas células “marcapasos” del nodo sinuauricular del corazón se propagan hacia todas las zonas de éste provocando su estimulación eléctrica. En respuesta a los estímulos eléctricos se producen contracciones mecánicas organizadas que permiten que se bombee la sangre desde sus cámaras hacia las diferentes estructuras del organismo. Los eventos electro – mecánicos descritos dan lugar a lo que se denomina Ciclo Cardíaco. La actividad eléctrica no sólo se propaga a través de todo el miocardio sino que puede también registrarse sobre la piel lo que da

origen a los registros electrocardiográficos superficiales. En la **figura 1** se muestra un registro electrocardiográfico superficial normal tomado según el posicionado de electrodos correspondiente a la “derivación II”. En el registro de bioseñales una derivación constituye una forma estandarizada para colocar los electrodos de registro. El módulo de electrocardiografía del prototipo descrito implementa dos derivaciones electrocardiográficas de manera física: Derivación I y Derivación II; el resto se implementan en el *firmware* mediante operaciones de cálculos.

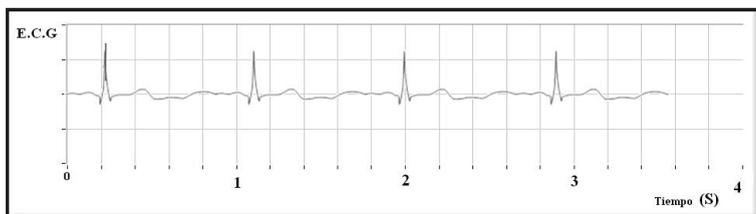


Figura 1. Registro electrocardiográfico normal correspondiente a la derivación II.

Los registros electrocardiográficos son de altísimo valor diagnóstico para estudios cardiológicos y en muchos otros ámbitos clínicos. No es objetivo de este artículo incluir una discusión de los posibles diagnósticos derivados del análisis de la señal electrocardiográfica.

1.2. Fonocardiografía

La fonocardiografía es el registro de la actividad sonora del corazón. Los sonidos cardíacos tienen su origen en la actividad mecánica del miocardio durante el Ciclo Cardíaco. La técnica de Fonocardiografía se desarrolló para mejorar

a través de análisis automáticos los resultados obtenidos con el estetoscopio acústico tradicional.

El registro de las señales de audio generadas por el corazón se conoce como fonocardiograma. Los fenómenos acústicos normalmente perceptibles se producen, ya sea por la contracción de la musculatura cardíaca y/o por el cierre de las válvulas de los orificios aurículo - ventriculares y arteriales. En la **figura 2** se muestra el aspecto de un registro fonocardiográfico normal.

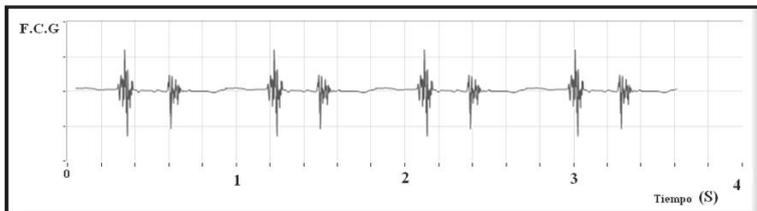


Figura 2. Registro fonocardiográfico normal.

El fonocardiograma permite documentar la frecuencia, temporización, intensidad relativa, timbre, tono, calidad y localización precisa de los diferentes componentes de los sonidos cardíacos en tiempo real. No es objetivo de este artículo incluir posibles diagnósticos derivados del análisis de la señal fonocardiográfica.

1.3. Impedanciometría biológica (bioimpedancia)

Las medidas de la variación de la impedancia eléctrica de los tejidos permiten emitir diagnósticos siempre y cuando la zona bajo análisis presente un cambio en su dimensión, en sus propiedades dieléctricas o en su conductividad.

Dentro de los ámbitos principales de aplicación de las medidas de impedancia eléctrica de los tejidos se pueden mencionar: el estudio de los cambios de impedancia asociados con el sistema circulatorio y la respiración y la determinación indirecta de características específicas de los tejidos corporales. En el primer caso se persigue obtener información cualitativa y cuantitativa sobre cambios de volumen en los pulmones, corazón, arterias periféricas y venas. Se conoce este fenómeno como variación pletismográfica de impedancia. El segundo ámbito se enfoca hacia la determinación indirecta de características específicas de los tejidos corporales tales como: nivel de hidratación, volúmenes de fluidos, volúmenes intra y extra celular, entre otras aplicaciones. El módulo de impedanciometría del equipo que se describe en este artículo fue diseñado para monitorear las variaciones la bioimpedancia del tórax en humanos, con el objetivo de relacionar sus variaciones asociadas a cambios de volumen que se producen durante el Ciclo Respiratorio. En la **figura 3** se muestra un registro normal de las variaciones de la impedancia del tórax como consecuencia de las expansiones y contracciones que se producen cuando el paciente respira. A partir de la onda mostrada en la figura 3 se puede calcular la Frecuencia Respiratoria en tiempo real.

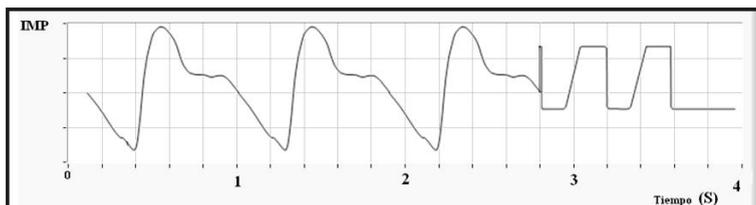


Figura 3. Registro de variación de la impedancia del tórax asociado a cambios de volumen en él

2. Materiales y métodos

2.1. Conceptualización del equipo

Los objetivos que permitieron conceptualizar el diseño del monitor pueden resumirse en cuatro fundamentales: modularidad, interface de usuario simple, portabilidad, dependencia tecnológica local y bajo costo.

- Modularidad

En la **figura 4** se muestra un diagrama de bloques simplificado del monitor. En el diagrama se destacan cuatro módulos principales: Módulo de E.C.G (Electrocardiografía), Módulo de F.C.G (Fonocardiografía), Módulo I.M.P (Impedanciometría pletismográfica) y un Módulo Digital Inteligente basado en un micro controlador.

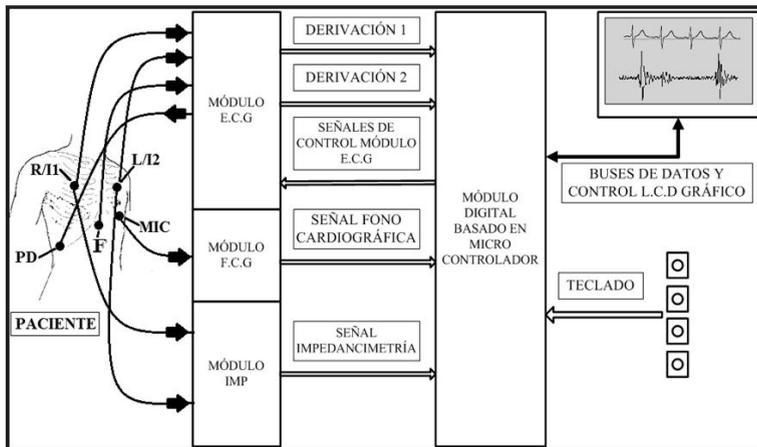


Figura 4. Diagrama de bloques simplificado del diseño del monitor.

La misma concepción modular que se muestra en el esquema de la **figura 4** fue concebida como idea física para el equipo, lo que significa que pueden conectarse o desconectarse los módulos analógicos (E.C.G, F.C.G e IMP) al módulo digital sin que se pierda la funcionalidad del equipo.

- Interface de usuario simple

Este objetivo defiende la idea de un diseño de interface de usuario lo más simple posible. En tal sentido las opciones de configuración y operación del monitor pueden manipularse empleando únicamente cuatro teclas. El número de pantallas de usuario que se muestran en el L.C.D gráfico también fue optimizado.

- Portabilidad

La portabilidad del monitor es una de las metas físicas más importantes desde su conceptualización. El pequeño tamaño de las tarjetas que lo componen, la optimización del consumo energético en aras de utilizar baterías poco pesadas y un ensamblaje compacto constituyen tres aspectos que garantizan que el monitor se ubique dentro de la categoría de equipos portables.

- Dependencia tecnológica local y bajo costo

Cuando se conceptualiza un equipo, es necesario pensar desde su etapa de diseño en el ámbito tecnológico en que su fabricación física será posible. Puede con certeza afirmarse que el prototipo que aquí se presenta puede ser fabricado en su totalidad considerando las posibilidades tecnológicas locales. Dos factores principales avalan este hecho: los

componentes utilizados existen en el mercado local y las tarjetas de circuito impreso que constituyen el equipo fueron diseñadas utilizando tecnología *Through hole*.

La existencia de componentes “locales” evita la dependencia de importaciones no comunes, lo que implica que los proveedores generalmente mantienen un *stock* de las partes electrónicas que utiliza el diseño. La existencia en el mercado de componentes a su vez garantiza menores costos y la inmediatez en caso de algún mantenimiento correctivo.

La tecnología denominada *Through hole* aunque no garantiza un alto grado de miniaturización, en el medio local resulta económica y fácil de reparar. Esta tecnología se caracteriza por un montaje de componentes cuyos pines traspasan las dos caras externas de una tarjeta de circuito impreso; los componentes y el ensamble de tarjetas *Through hole* resultan mucho más económicos para la fabricación de series cortas y para la reparación que su contraparte *S.M.D (Surface Mount Devices)* según las posibilidades tecnológicas locales.

Finalmente los costos bajos previstos para el diseño son el resultado de la conjugación de los cuatro aspectos discutidos y constituyen un fuerte indicador de competitividad para poder insertar el diseño dentro de pequeños mercados o para garantizar una futura inserción del equipo dentro del sistema público de salud.

2.2. Desarrollo del equipo

La etapa de desarrollo del prototipo consideró como primera fase el montaje en soportes transitorios del

hardware de cada uno de los módulos descritos y la realización de pruebas parciales de adquisición de las bioseñales en cada uno utilizando herramientas de visualización y procesamiento *National Instruments*[™] antes de implementar el módulo de adquisición de datos basado en un micro controlador.

La segunda fase de la etapa de desarrollo se centró en el diseño, programación y puesta a punto del *firmware* de control del equipo. Dentro de las funciones de *firmware* de control se pueden citar dos principales: adquisición y procesamiento de las señales analógicas entregadas por todos los módulos de bioseñales y gestión de la interface del equipo (teclado y L.C.D gráfico). La programación del *firmware* se desarrolló empleando lenguaje ensamblador y lenguaje C para micro controladores de la casa *Microchip*[™]. Las aplicaciones auxiliares que sirvieron de apoyo para realizar pruebas de adquisición fueron desarrolladas en *Labview*[™]. El micro controlador utilizado en este diseño es un PIC18F452 de tecnología *Microchip*[™] perteneciente a la serie 18FXXXX. Los micro controladores de esta tecnología son de bajo costo y alta eficiencia.

Después de realizar las pruebas correspondientes a las fases uno y dos del desarrollo se consideró la fabricación definitiva de las tarjetas analógicas que conforman los tres módulos de bioseñales y el módulo basado en un micro controlador.

3. Resultados

Los resultados se ilustran a partir de las pruebas sobre los módulos analógicos E.C.G e I.M.P. Los resultados

obtenidos en pruebas realizadas al módulo de F.C.G (fonocardiografía) no se incluyen en esta sección. Las bioseñales obtenidas en pruebas de adquisición de datos realizadas sobre los módulos E.C.G e IMP se ilustran en las figuras siguientes en dos formatos distintos: las señales adquiridas hacia una computadora utilizando una tarjeta *National Instruments*[™] y las señales adquiridas utilizando un convertidor analógico – digital incorporado a un micro controlador y visualizadas en el L.C.D gráfico que utiliza el equipo.

La **figura 5** muestra resultados de la adquisición de la señal electrocardiográfica con una tarjeta de tecnología *National Instruments*[™] y su visualización en un instrumento virtual de prueba programado en *LabView 7.2 (student version)*.

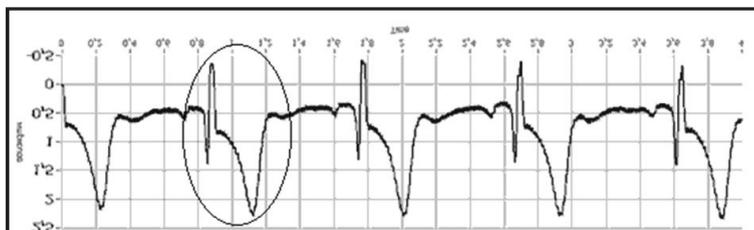


Figura 5. Señal de E.C.G adquirida con tarjeta *National Instrument*[™]. Fase desarrollo – pruebas. Fuente: documento original de la tesis.

La **figura 6** muestra la señal de E.C.G adquirida utilizando el convertidor analógico – digital incorporado a un micro controlador PIC18F452 de tecnología *Microchip*[™]. La señal se visualiza en el soporte que utiliza el equipo (L.C.D gráfico).

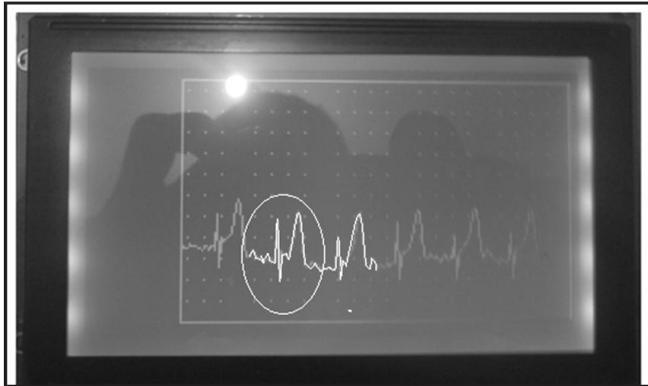


Figura 6. Señal de **electrocardiografía** adquirida con la tarjeta de adquisición basada en un micro controlador (PIC18F452) que utiliza el equipo y exhibida en una pantalla de prueba en el L.C.D gráfico. Fase: desarrollo – pruebas. Fuente: documento original de la tesis. Se ha resaltado la señal correspondiente a dos ciclos cardíacos (de los seis presentados) para facilitar su visualización.

La **figura 7** muestra resultados de la adquisición de la señal de **impedanciometría** con una tarjeta de tecnología *National Instruments*[™] y su visualización en un instrumento virtual de prueba también programado en *LabView* 7.2 (*student version*).

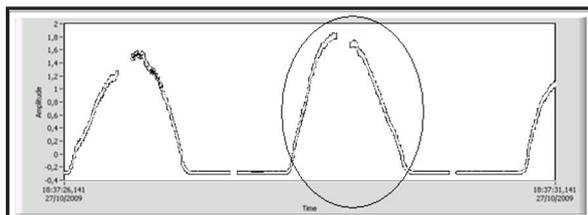


Figura 7. Señal de **impedanciometría** adquirida con tarjeta *National Instrument*[™]. Fase desarrollo – pruebas. Fuente: documento original de la tesis.

La **figura 8** muestra la señal de impedanciometría pero adquirida utilizando otro canal del convertidor analógico – digital incorporado a un micro controlador PIC18F452 de tecnología *Microchip*™. La señal se visualiza en el soporte que utiliza el equipo (L.C.D gráfico).

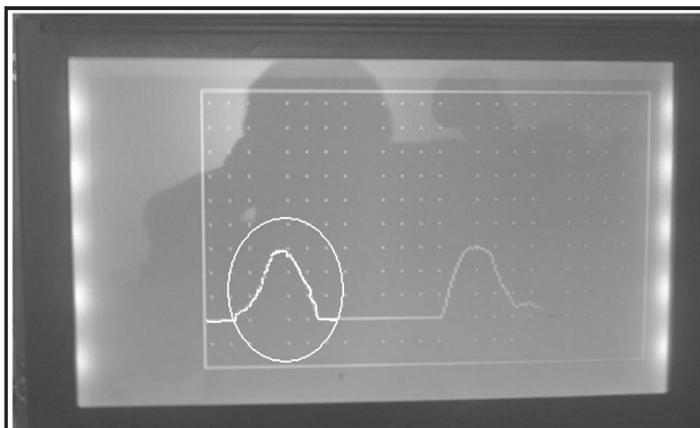


Figura 8. Señal de **impedanciometría** relacionada con eventos respiratorios adquirida con la tarjeta de adquisición basada en el micro controlador (PIC18F452) que utiliza el equipo y exhibida en una pantalla de prueba en el L.C.D gráfico. Fase: desarrollo – pruebas. Fuente: documento original de la tesis. Se ha resaltado la señal correspondiente a los dos ciclos presentados para facilitar su visualización.

Como muestra de los resultados derivados de la fabricación de las tarjetas componentes del equipo se exhiben en las **figuras 9 y 10** las vistas superiores de las tarjetas de los módulos de E.C.G e IMP respectivamente.

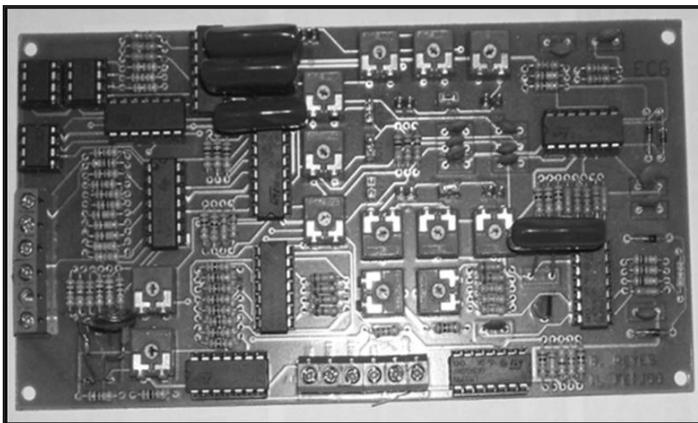


Figura 9. Vista superior de la tarjeta que realiza el módulo de E.C.G del equipo. Fuente: Documento original de la tesis.

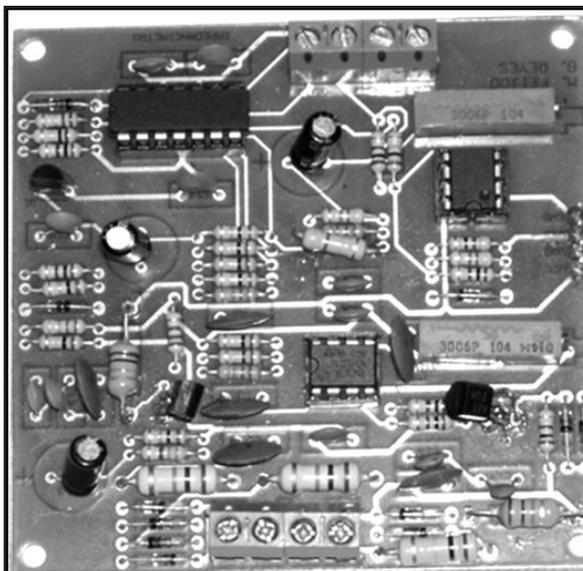


Figura 10. Vista superior de la tarjeta que realiza el módulo de IMP del equipo. Fuente: Documento original de la tesis.

4. Discusión

A pesar de que las plataformas utilizadas para realizar la adquisición de las bioseñales presentadas en la sección anterior difieren en la resolución que emplean se puede apreciar que en ambos casos las señales obtenidas son aceptablemente legibles: esto se refiere a que en ambos casos la calidad de la señal exhibida en el L.C.D gráfico es muy similar a la adquirida con la tarjeta *National Instrument™*; aun considerando que esta última maneja una resolución mayor. Desde el punto de vista funcional se considera válida entonces la aplicación de un micro controlador como el utilizado para realizar la adquisición de las bioseñales de los tres módulos analógicos que componen el equipo.

La fabricación física de las tarjetas se destacó por la aplicación total de la tecnología *Through hole* que resulta económica en nuestro medio y por su tamaño aceptablemente pequeño. Los componentes electrónicos empleados son comunes en el mercado y de relativo bajo costo. En torno a estas especificaciones puede decirse que se logró un prototipo experimental de monitor modular, portable y de bajo costo completamente pensado en función de las posibilidades tecnológicas de nuestro medio.

El soporte de *hardware* diseñado para este equipo permitirá incorporar otras versiones de *firmware* capaces de implementar técnicas de procesamiento y diagnóstico automático de las bioseñales adquiridas sin incrementar significativamente los costos de desarrollo. Otros aspectos, tales como pruebas estrictas de seguridad eléctrica no se contemplan en esta fase de prototipo como parte de su validación.

5. Conclusión

Queda demostrada entonces la completa capacidad para el desarrollo de equipos para la adquisición y procesamiento de bioseñales dentro del marco de condiciones locales y además se abre el espacio a la realización de mejoras en su diseño, que permitan la fabricación definitiva de una serie corta del mismo, así como a su validación clínica.

6. Agradecimientos

Se destaca la valiosa colaboración de la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Azuay en la realización de las pruebas funcionales del monitor. Se reconoce también la gran utilidad de un número significativo de voluntarios seleccionados dentro de los propios estudiantes de Ingeniería Electrónica.

7. Literatura citada

- [1]. Reyes Bruno, Feijoo Marlon. Tesis de Grado. Diseño y Construcción de un Monitor de tres parámetros fisiológicos. Universidad Del Azuay, Cuenca; Ecuador. 2009.
- [2]. Webster, John G. Medical Instrumentation, Application and design. Ed. Houghton Mifflin, Dallas Geneva, Illinois – Hopewell, New Jersey. 1978. pp, 359 – 362.
- [3]. Prutchi, David – Norris Michael. Design and Development of Medical Electronic Instrumentation: a practical perspective of the design, construction and test of medical devices. Ed. John Wiley & Sons, Inc. 2005. Capítulos 1, 2 y 3.
- [4]. Bronzino, Joseph D. The Biomedical Engineering Handbook: Second Edition. Chapter 13 Principles of Electrocardiography by Berbar, Edward J. Indiana University/Purdue; University at Indianapolis. Chapter 70 Biopotential Amplifiers by Joachim H. Nagel, University of Stuttgart. Chapter 73 Bioelectric Impedance Measurements Robert Patterson, University of Minnesota. Ed. Joseph D. Bronzino. Boca Raton, U.S.A; FL.: CRC Press LLC. 2000.

Prototipo de tarjeta de entrenamiento para micro controladores UDA_ USB_2.0 para la enseñanza en electrónica

Pérez Leonel

*Escuela de Ingeniería Electrónica,
Facultad de Ciencia y Tecnología,
Universidad del Azuay,
Av. 24 de Mayo 7-77,
Cuenca Ecuador.*

Correspondencia: leonel@uazuay.edu.ec

Resumen

Las tarjetas de entrenamiento para micro controladores son elementos que facilitan los procesos de enseñanza – aprendizaje de estas tecnologías en las carreras de ingeniería electrónica. Este artículo presenta un prototipo de tarjeta de entrenamiento modelo UDA_USB_2.0 diseñado para la escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Azuay. Se resumen las etapas del proceso de desarrollo del prototipo desde el diseño, la fabricación hasta su aplicación. Basado en experiencias y resultados obtenidos se incluyen útiles recomendaciones para el diseño de tarjetas de entrenamiento.

Palabras clave: micro controlador, tarjeta, entrenamiento, hardware, USB

Abstract

Microcontroller's training cards are elements that facilitate the processes of teaching - learning of these technologies in electronic engineering. This article presents a training card prototype model UDA_USB_2.0 designed for the School of Electronic Engineering at the University of Azuay. The paper summarizes the stages of the development process of the prototype from its design, manufacturing to its application. Based on previous results it is included useful recommendations for the design of training cards.

Key words: microcontroller, card, training, hardware, USB

1. Introducción

En el entorno tecnológico actual las tecnologías “inteligentes” constituyen una opción de primer orden para los diseñadores de prototipos electrónicos. Dentro de tales tecnologías los micro controladores ocupan un lugar cimero en popularidad de elección para encarar proyectos de diversa índole. Un micro controlador es un Circuito Integrado (*chip*) que encapsula en su interior gran cantidad de circuitos electrónicos programables capaces de realizar múltiples funciones y de comunicarse con otros circuitos externos (periféricos externos) a través de puertos. La alta tasa de acogida de los micro controladores se justifica por tres causas fundamentales: su bajo costo, altísima flexibilidad y cada vez más alta capacidad de integración de elementos de *hardware*¹ para muy diversos usos.

1 Se entiende por *hardware* un conjunto de circuitos electrónicos, que apoyan el funcionamiento de un sistema inteligente o programable.

El diseño e implementación de aplicaciones basadas en un micro controlador se apoyan en diversas herramientas virtuales y “físicas” denominadas “herramientas de desarrollo”. Dentro de las herramientas físicas encuentran un espacio especial las Tarjetas de Entrenamiento. Una Tarjeta de Entrenamiento está constituida por un *hardware* de relativo uso general; lo que significa que con una Tarjeta de Entrenamiento se puede poner a prueba el funcionamiento de diversos proyectos antes de decidir su fabricación definitiva en grandes series. Se puede establecer una estrecha analogía entre una Tarjeta de Entrenamiento y la Tarjeta Principal (*mainboard*) de una computadora: ambas constituyen un conglomerado de circuitos que apoyan el trabajo de un procesador “inteligente” y permiten la implementación de diversas aplicaciones basadas en técnicas de programación.

Las Tarjetas de Entrenamiento encuentran aplicación en dos ámbitos principales: en el diseño y “puesta a punto” de proyectos basados en micro controladores a escala industrial y en la docencia dedicada a la enseñanza de tecnologías basadas en micro controladores. Este artículo describe la concepción, el diseño y resultados derivados de la aplicación práctica de un modelo de Tarjeta de Entrenamiento utilizada en primera como herramienta para la enseñanza de tecnologías basadas en micro controladores en la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Azuay.

1.1. Las tarjetas de entrenamiento en procesos de enseñanza de micro controladores

Sin intenciones de describirlas todas, en la **figura 1** se esquematizan las etapas del proceso de desarrollo de

una aplicación basada en un micro controlador desde la “conceptualización” de la idea hasta la etapa de depuración de errores o “puesta a punto”, que necesariamente genera una suerte de realimentación dentro del proceso.

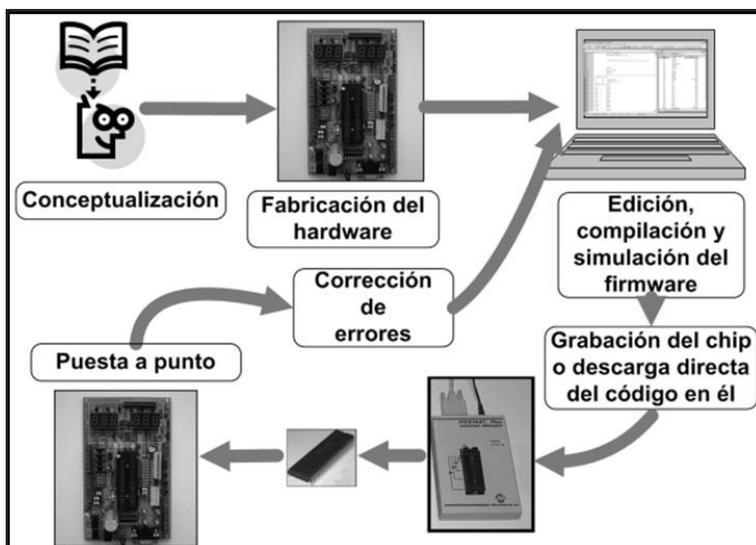


Figura 1. Proceso de desarrollo de una aplicación basada en un micro controlador (esquema).

La etapa de “fabricación del *hardware*” suele ser, en los procesos de enseñanza de micro controladores, la más crítica. Varias razones justifican esta aseveración:

Casi siempre el hardware utilizado para un proyecto basado en un micro controlador puede ser considerado como un conjunto de circuitos de “mediana” a alta complejidad desde el punto de vista constructivo. Tal grado de dificultad genera alta probabilidad de errores y alta tasa de empleo de tiempo en labores de montaje

(poco productivas en la formación de ingeniería). Las dos consecuencias mencionadas recaen sobre todo en los estudiantes novatos que ingresan al primer nivel de enseñanza de micro controladores.

Por otra parte, si se considera que la calidad del diseño y la fabricación del *hardware* de un proyecto basado en micro controladores es la única garantía de que los errores observados pudieran estar relacionados con un mal diseño del *firmware*² puede concluirse que sin garantías de funcionamiento del hardware el proceso de enseñanza se estanca en las primeras etapas del desarrollo de aplicaciones (figura 1).

Otras de las ventajas atribuibles a la inclusión de Tarjetas de Entrenamiento como herramientas didácticas es la relacionada con la homogeneidad y equidad que puede lograrse en torno al desarrollo de las prácticas de aprendizaje. Lo anterior significa que una vez que el estudiante fabrica su Tarjeta de Entrenamiento sobre un soporte confiable³ todas las prácticas que realice un grupo de aprendices serán idénticas en cuanto a grado de dificultad técnico - material y objetivos específicos a medida que avanza el desarrollo de la cátedra.

Pueden citarse muchas otras razones que justifican la enseñanza de micro controladores basada en Tarjetas de Entrenamiento. Los resultados de la aplicación de la Tarjeta de Entrenamiento UDA_USB_2.0 a la enseñanza de micro controladores (y otras cátedras) en los niveles séptimo a décimo de la carrera de Ingeniería Electrónica

2 Se entiende por *firmware* el programa que se ejecuta en un micro controlador.

3 Entiéndase por “*soporte confiable*” una Tarjeta de Circuito Impreso industrial correctamente diseñada y fabricada.

de la Universidad del Azuay muestran que el modelo didáctico basado en su inclusión funciona.

2. Materiales y métodos

2.1. Conceptualización de la tarjeta de entrenamiento para micro controladores UDA_USB_2.0

En la **figura 2** se muestra el aspecto físico de la última versión de la Tarjeta de Entrenamiento UDA_USB_2.0

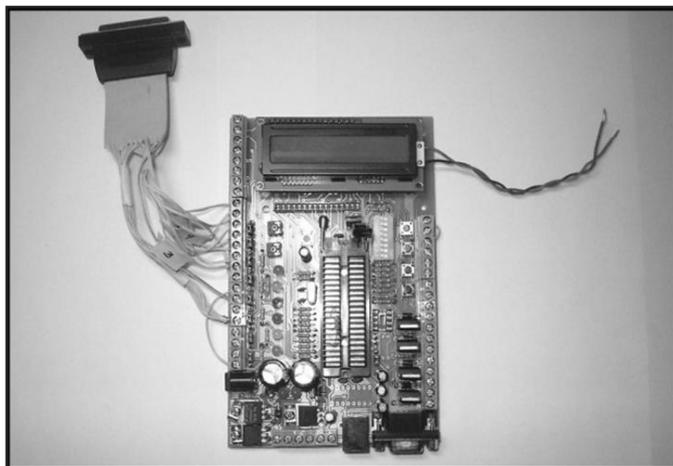


Figura 2. Aspecto físico de la Tarjeta de Entrenamiento UDA_USB_2.0 última versión utilizada actualmente en la Escuela de Ingeniería Electrónica.

El diseño de la tarjeta estuvo marcado por cinco objetivos fundamentales: flexibilidad, robustez, compacidad, bajo costo e interconectividad. La flexibilidad se entiende por la capacidad de generar la mayor capacidad de aplicaciones posibles con ella. Según registros del autor desde la

introducción de versiones anteriores hasta la actual se han implementado con ella alrededor de cuatrocientos proyectos de diferentes grados de complejidad y áreas de aplicación. La robustez garantiza que la tarjeta debe protegerse contra accidentes técnicos que son muy comunes en la enseñanza durante la puesta en marcha de prototipos por parte de estudiantes novatos. La compacidad garantiza que se integran la mayor cantidad posible de periféricos conectados al micro controlador en el menor espacio posible y la posibilidad de conmutar sus funciones de acuerdo con las necesidades de una aplicación específica. El bajo costo de la tarjeta es una consecuencia directa de su diseño y proceso de fabricación: la tarjeta fue concebida tratando de utilizar una placa de circuito impreso para realizar el montaje de componentes basada en tecnología *through hole*⁴ con dimensionado optimizado (a mayor tamaño mayor costo de fabricación). La tecnología *through hole* es en la fábrica local de circuitos impresos relativamente económica con respecto a la *S.M.D*⁵ (*surface mount device*) y además permite montaje y reparaciones fáciles por parte de los estudiantes. Adicionalmente considérese parte de la optimización de costos el hecho de que todos los componentes electrónicos involucrados se ofrecen en el mercado local. Finalmente la interconectividad es la capacidad de la tarjeta de permitir conexión total del micro controlador con periféricos externos a él si es que alguna aplicación lo requiriera o el diseñador no deseara utilizar ninguno de los periféricos incluidos.

4 Por tecnología de montaje de componentes *through hole* se entiende aquella en que los pines de componentes pasan de un lado a otro de la tarjeta a través de huecos horadados en ella.

5 Por tecnología *S.M.D* se entiende aquella en que los componentes son montados sobre una única cara (superficie) de una placa de circuito impreso.

La **figura 3** muestra un diagrama de bloques simplificado de la última versión de la Tarjeta de Entrenamiento UDA_USB_2.0

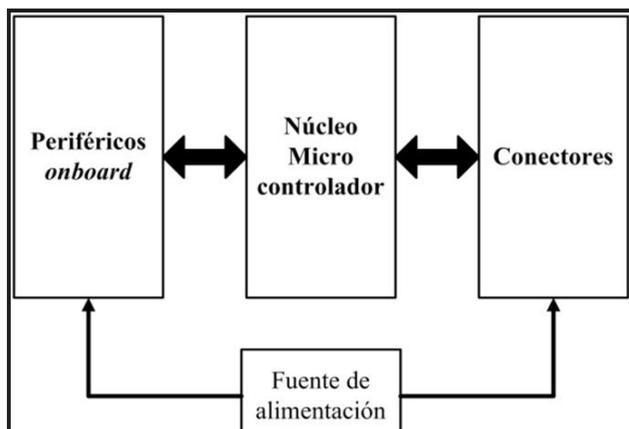


Figura 3. Diagrama de Bloques simplificado de la Tarjeta UDA_USB_2.0

La estructura del diseño es bastante simple si se divide finalmente en tres bloques fundamentales: núcleo micro controlador, periféricos internos (*onboard*) y conectores. El núcleo microcontrolador es la base inteligente de los proyectos desarrollados cuyo *firmware* cambiará en función de los objetivos del diseñador. Los periféricos internos pueden entenderse como un conjunto de circuitos que permiten de manera inmediata realizar la prueba de aplicaciones; dentro de este grupo pueden citarse: leds, displays de siete segmentos de leds, pulsantes, interruptores, displays de tinta líquida matriciales y gráficos; entre otros. Los conectores son el grupo de entidades (estándares o no) que garantizan la interconectividad del micro controlador con periféricos externos a la tarjeta e interfaces de comunicación tales como **RS232C**, **I²C** y **USB 2.0**

3. Resultados

3.1. Recursos de *hardware* incluidos en la Tarjeta UDA_USB_2.0

Los recursos de hardware de una Tarjeta de Entrenamiento se pueden clasificar en dos grupos: los incluidos en la tarjeta (periféricos *onboard*) y los externos que pueden conectarse a ella. En función de lo anterior, la tarjeta UDA_USB_2.0 dispone de los siguientes recursos:

- Seis *displays* de 7 segmentos en conexión multiplexada agrupados en dos grupos de 3 dígitos cada uno configurables para la tecnología de cátodo común o ánodo común.
- Interface completa para *L.C.D* matricial *onboard* con opciones para control de luz de fondo y que utilicen formato de comunicación paralela, RS232C ó I²C.
- Interface completa para *L.C.Ds* gráficos que utilicen formato de comunicación paralela, RS232C ó I²C.
- Seis *L.E.Ds onboard*.
- Cuatro interfaces de potencia *onboard* que pudieran implementarse mediante transistores bipolares o *M.O.S.F.E.T* según la compatibilidad de los pines con la huella física.
- Cuatro pulsantes *onboard* tipo *push buttom* conectados a líneas protegidas contra sobre corriente.
- Ocho interruptores *onboard* tipo *D.I.P* conectados a líneas protegidas contra sobre corriente.
- Posibilidad de conexión protegida para teclado matricial externo.
- *Socket* para memoria serial I²C Microchip serie 24XXXX.

- Interface RS232C.
- Interface USB 2.0
- Conectores y *jumpers* para garantizar la conectividad absoluta de todos los puertos del micro controlador.
- Compatibilidad total con micro controladores de 40 pines tecnología Microchip™ 18FXXXX o inferiores.
- Fuente de alimentación simple o doble (+5V, +12V y -12V) con conector de acceso para extender su uso en periféricos externos a la aplicación.
- Protección contra inversión de polaridad.
- Oscilador externo basado en cristal de cuarzo.

3.2 Ámbitos de aplicación de la Tarjeta de Entrenamiento UDA_USB_2.0

La extensión del uso práctico de la tarjeta de entrenamiento dentro y fuera del ámbito docente afortunadamente ha sido un excelente indicador del éxito de las intenciones que dieron vida a cada una de sus versiones.

El primer nivel de enseñanza de micro controladores en la carrera de Ingeniería Electrónica de la U.D.A comienza en el séptimo ciclo y con él la fabricación y familiarización con el prototipo de tarjeta de entrenamiento (actualmente en su versión UDA_USB_2.0). La tarjeta se convierte pronto en la base de *hardware* para la realización de múltiples prácticas cuyo grado de complejidad culmina con propuestas particulares de proyectos de investigación para el proyecto final.

En cátedras de niveles superiores se diseñan prototipos más complejos que abren puertas a investigaciones con resultados más sólidos. La **figura 4** muestra una

aplicación de control de una maqueta de mano articulada mediante alambres musculares, que demuestra una clara convergencia de tecnologías: Instrumentación Virtual representada por hardware de *National Instruments*™ y el Software de Control de la mano desarrollado en *LabView*™ y micro controladores representada en la gráfica por el uso de dos Tarjetas de Entrenamiento UDA_USB_2.0



Figura 4. Convergencia tecnológica. Tecnología *National Instruments*™ y Tarjetas de Entrenamiento involucradas en el control de una mano articulada por alambres musculares (Robótica Industrial, 10^{mo} ciclo).

Otra muestra de la presencia de la Tarjeta de Entrenamiento se exhibe en la **figura 5**. Esta investigación arrojó como resultado la fabricación a escala de un prototipo funcional que recrea todo el proceso automático para realizar el pintado de vehículos. Los detalles del *hardware* de control se muestran en la esquina inferior derecha de la imagen. La Tarjeta de Entrenamiento en este prototipo se involucra en la adquisición y procesamiento de datos, comunicación con una computadora y el correspondiente software de control y con otras tarjetas que realizan interfaces de potencia o funciones auxiliares.



Figura 5. Tarjeta de Entrenamiento involucrada en el control de una reproducción escala del proceso de pintado automático de vehículos. Cátedra Micro controladores II, 8^{vo} ciclo.

Como resultado de esta investigación también se diseñaron dos variantes de software de control para ser ejecutados en la computadora: una sobre *Labview™*

(*student version*) y otra sobre *JAVA™*, por lo que puede considerarse un buen ejemplo este proyecto de aplicación integrada de diferentes tecnologías de programación a los diseños electrónicos.

4. Discusión

4.1. Diseño de tarjetas de entrenamiento

Sería útil compartir algunas recomendaciones que pudieran resultar interesantes al lector para el diseño de Tarjetas de Entrenamiento. Se resumen a continuación algunas que según experiencias personales son las más importantes:

- Antes de pensar en un diseño concreto de *hardware* para la tarjeta es recomendable pensar en las actividades prácticas de entrenamiento para las cuales esta será utilizada. Las actividades prácticas o simplemente “prácticas” deben ser concebidas atendiendo a un nivel de complejidad gradual y cronológicamente enlazadas con las intenciones del desempeño teórico de la cátedra. Aunque parezca imposible todo esto puede concebirse sin haber decidido la tecnología exacta de micro controladores que será usada.
- Al concebir el diseño de *hardware* considere su flexibilidad tratando de lograr que los puertos asociados al micro controlador puedan ser utilizados en la mayor cantidad de funciones posibles asociadas con los periféricos *onboard* que se pretendan incluir. Incluya el número adecuado de *jumpers* o el sistema de multiplexado necesario sin abarrotar la tarjeta de los primeros o hacer demasiado complejo el segundo

sistema. Ya en este punto es necesario conocer a fondo la tecnología del micro controlador y periféricos que utilizará la tarjeta. La **figura 6** ilustra una de las soluciones de “jumpeado” con el objetivo de flexibilizar el control de la luz de fondo (*backlight*) del L.C.D matricial según posición del jumper JMP21 ya sea con intensidad de luz fija (posición 1 – 2) o luz “dimerizada” (posición 2 -3).

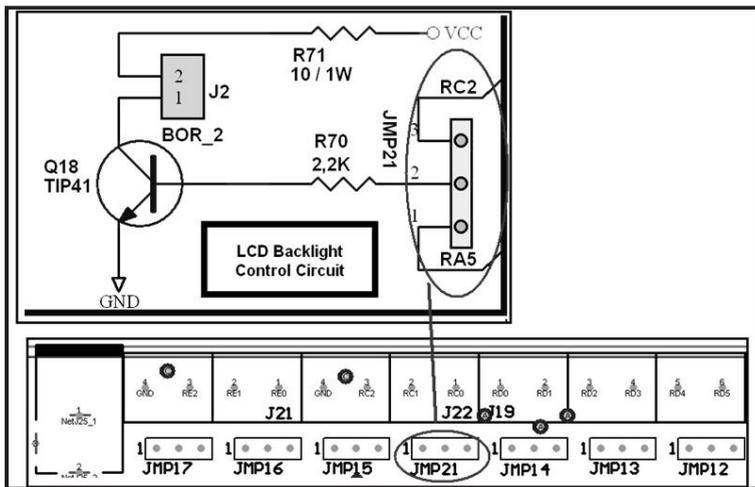


Figura 6. Solución para flexibilizar el control de la luz de fondo del L.C.D matricial que permite dos opciones: luz fija o dimerizada. La solución amplía el espectro de posibilidades académicas al diseñar prácticas que utilizan el L.C.D para aplicaciones portátiles. Arriba: fragmento del esquema eléctrico. Debajo: *jumper* físico en la tarjeta.

- Trate de garantizar la interconectividad total de cada una de las líneas de puerto del micro controlador con el exterior sin afectar el funcionamiento de periféricos onboard que pudieran utilizar las mismas en una

aplicación dada. Esto se logra pensando una y otra vez el sistema de multiplexado de funciones para los periféricos *onboard*.

- Garantice las seguridades eléctricas necesarias para preservar la integridad de la tarjeta ante el impacto de maniobras impropias. Es típico optar por proteger su fuente de alimentación contra inversión de polaridad, proteger con resistencias limitadoras las líneas de puerto que utilicen interruptores o pulsantes y diseñar los conectores de alimentación e interfaces de manera robusta y con suficiente accesibilidad; entre otras recomendaciones.
- Trate de optimizar el espacio físico de la tarjeta de circuito impreso haciéndolo lo más pequeño posible sin sacrificar la maniobrabilidad y visibilidad de los periféricos *onboard* y los elementos de conmutación on board (*jumpers*, por ejemplo). Recuerde que la tarjeta es académica y los costos de ella son un tema crítico.
- Piense en una tecnología de fabricación local y económica para la tarjeta de circuito impreso. Compatibilice las huellas (*footprints*) de los componentes que utilice en la medida de lo posible con los componentes más comunes en el mercado local, así como en posibles variantes de conexión para algunos de ellos. La figura 7 muestra cómo el diseño de la tarjeta UDA_USB_2.0 considera la posibilidad de asimilar cualquiera de los dos formatos físicos de L.C.D matriciales presentes en el mercado.

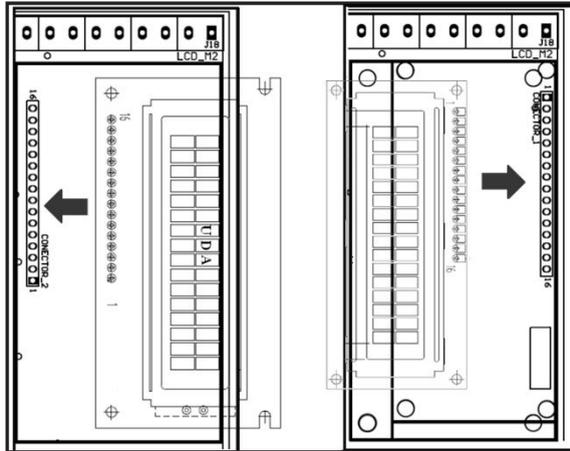


Figura 7. Diseño especial de conectividad que considera la posibilidad de conectar dos tipos de L.C.D matriciales: con conector en la parte inferior (figura izquierda) y con conector en la parte superior (figura derecha). Los tipos mencionados de L.C.D matriciales son los más comunes en el mercado.

- Optimice costos. La optimización de costos siempre será resultado de una adecuada política de diseño que involucra todas las etapas desde la conceptualización del proyecto hasta su fabricación a nivel de prototipo. Lo anterior es extensivo para cualquier área del diseño en ingeniería. Recuerde: los estudiantes recibirán con beneplácito cualquier ahorro posible.
- Elabore todos los documentos necesarios para que la tarjeta pueda ser ensamblada y utilizada dentro del área académica. Una Tarjeta de Entrenamiento sin documentación es un elemento inservible dentro del proceso. Dentro de la documentación se recomienda elaborar tres documentos principales: Plano Eléctrico, Guía de Compra y Montaje y Manual del Usuario.

5. Conclusión

El uso de una tarjeta de entrenamiento dentro de los procesos de enseñanza de micro controladores ha demostrado ser ventajoso por las siguientes razones:

Se comprueba su utilización en numerosos proyectos de variados niveles de complejidad y aplicables a otras cátedras del currículum de la carrera.

Se ha logrado un alto grado de equidad en cuanto a oportunidades se refiere dentro del proceso de enseñanza aprendizaje de micro controladores. Esto significa que todos los estudiantes comparten las mismas prácticas sobre un mismo *hardware* sin necesidad de recursos adicionales.

La exclusividad de los diseños es quizá una de las razones más importantes. Esto significa que como el diseño de la tarjeta es único (exclusivo para la U.D.A) no existirán aplicaciones de *firmware* no elaboradas por nuestros estudiantes que puedan ser probadas sobre ella. Con ello se garantiza la originalidad de las investigaciones.

6. Agradecimientos

El proceso de validación de la tarjeta respondió a la colaboración comprometida de los estudiantes de séptimo y octavo nivel de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Azuay. Se reconoce en general el apoyo de los docentes de la misma Escuela.

7. Literatura citada

- [1]. L. Pérez. Tarjeta de Entrenamiento. UDA_USB_2.0. Manual del Usuario. Escuela de Ingeniería Electrónica. Universidad del Azuay, Cuenca; Ecuador. 2010.
- [2]. L. Pérez. Micro controladores Microchip™ serie 18FXXXX. Notas Académicas. Escuela de Ingeniería Electrónica. Universidad del Azuay, Cuenca; Ecuador. 2010.
- [3]. Microchip technology, Inc. PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet 28/40/44-Pin High-Performance, Enhanced Flash USB microcontrollers with nanoWatt Technology. 2004.

Manufactura Esbelta en empresas de la ciudad de Cuenca

Crespo Pedro

Escuela de Ingeniería de la Producción y Operaciones, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del Azuay, Av. 24 de Mayo 7-77, Cuenca Ecuador.

Correspondencia: pcrespo@uazuay.edu.ec

Resumen

Este trabajo pretendió evaluar si el modelo de Gestión Lean (Lean Manufacturing, Lean Management, Manufactura Esbelta, Lean Thinking) se está aplicando en las empresas de manufactura y de servicios de la ciudad de Cuenca, Ecuador. El trabajo consta de dos partes: la primera es una recopilación de información sobre el Pensamiento Lean y sus bases teóricas; la segunda es un análisis de algunas empresas de la ciudad de Cuenca con relación a la implementación de las herramientas de la Manufactura Esbelta. Los resultados de este estudio indican que un elevado porcentaje de empresas está iniciando la aplicación del sistema de Gestión Lean; sin embargo, la implementación de sus herramientas es compleja, puesto que ello exige un gran cambio de mentalidad.

Palabras clave: Manufactura Esbelta, Filosofía Lean, Pensamiento Lean, Kaisen

Abstract

The objective of this work was to assess whether or not the model Lean Management (Lean Manufacturing, Lean Management, and Lean Thinking) is being applied in the manufacturing and servicing companies located in Cuenca, Ecuador. This work consists of two parts: first, we compiled information on Lean Thinking and its theoretical basis; second, we analyzed selected companies located in Cuenca with respect to the implementation of Lean Manufacturing tools.

The results of this study indicated that a high percentage of companies are beginning with the implementation of the Lean Management System; however the implementation of its tools is complex and claim changes in mentality options.

Key words: Lean Manufacturing, Lean Philosophy, Lean Thinking, Kaisen

1. Introducción

Para muchas empresas de manufactura y servicios, su supervivencia se centra en la competencia basada en el tiempo. Para ellas el medio de capturar su nicho de mercado es a través de encontrar métodos para acortar el ciclo desde la recepción del pedido hasta la entrega del producto. El reto se relaciona con la innovación de nuevos productos y su desarrollo, entrega en lotes más pequeños y con más frecuencia, precios cada vez menores, cero defectos y alta confiabilidad del producto o servicio (Gaither y Frazier 1999).

Muchas investigaciones encaminadas a la búsqueda de alternativas de modelos de gestión que ayuden a las empresas a cumplir con las necesidades de sus clientes concluyen que existe una tendencia elevada hacia la adopción del modelo de Gestión Lean. Este modelo de gestión inició con principios desarrollados en Japón y luego en Norteamérica, por lo que se utilizarán los términos japoneses e ingleses y su traducción al español.

1.1 Datos históricos

A finales de los años 80 los industriales norteamericanos se preguntaban por que el Japón les estaba quitando el mercado de la industria automotriz; ¿qué estaban haciendo mejor que ellos? El inicio de esta investigación la lideró el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) que conformó un grupo de tres personas: James P. Womack, Daniel T. Jones y Daniel Roos quienes en 1990 viajan al Japón a observar qué estaba pasando en la industria automotriz. Gracias a la apertura de la industria automotriz japonesa, lograron ingresar en muchas empresas de manufactura; y en una de ellas, la Toyota Motor Company se dieron cuenta de que había una manera diferente de hacer las cosas en las líneas de ensamblaje. Los tres catedráticos e investigadores entregaron su informe con una publicación "*The Machine that Changed the World*" (La máquina que cambió al mundo) (Womack et al 1992), introduciendo y acuñando el término "*Lean Manufacturing*" (Manufactura Esbelta) para referirse al Sistema de Producción Toyota (TPS).

Las estrategias de producción y sus varias herramientas administrativas cuyo principal objetivo era ayudar a eliminar

todas las operaciones que no agregaban valor al producto, la relación y gestión con sus proveedores, el diseño y desarrollo del producto, y la importancia en la atención al cliente que se mantenía en Toyota era realmente la “máquina” que estaba cambiando al mundo (Womack y Jones 2007). Lo que comprendieron los directivos de Toyota (luego de haber visitado a inicios de los años 40 las fábricas de Ford en los Estados Unidos) es que la *producción en masa* no funcionaría en el Japón.

Nuevamente el paradigma “producción en masa = bajo costo” no logró romperse en el ambiente industrial norteamericano, increíblemente aún cuando en 1926 Henry Ford manifestara: *“Uno de los más notables logros que ha mantenido el bajo precio de los productos Ford, ha sido el acortar el ciclo de producción. Mientras más tiempo permanezca el artículo en el proceso de manufactura y mientras más se mueva dentro de él, mucho mayor será su costo final”*.

Sakichi Toyoda fue el fundador del Grupo Toyoda en 1902, empresa que se dedicaba a la fabricación de telares automáticos. Kiichiro Toyoda, su hijo, en 1936 luego de pasar un año en las fábricas de Ford Motor Company en Detroit convence a su padre Sakichi para instalar una planta de ensamblaje de automóviles en Japón. Su fortaleza era el profundo conocimiento que obtuvo sobre el sistema de producción Ford el cual quería aplicar al ensamblaje de cantidades pequeñas, además de su conocimiento sobre logística de materiales dentro del proceso productivo que lo llevó a diseñar un sistema que lo llamó “*Just in Time*” (Justo a Tiempo). Su apoyo, brazo ejecutor y el hombre detrás del llamado “Sistema de Producción Toyota” (Toyota Production System-

TPS) fue Taiichi Ohno, considerado su creador y el padre del sistema *Kankan*. Dos fueron los conceptos que llevaron a Ohno a la creación de su sistema TPS: el primero como él lo decía en muchas ocasiones con una sonrisa fue tomado del libro de Henry Ford (Today and Tomorrow-1926) y el otro concepto fue el sistema de operación de los supermercados norteamericanos en donde pudo observar el continuo abastecimiento de productos a las estanterías.

Es interesante observar la visión y seguridad (aunque con un poco de audacia) de la aventura que estaban por iniciar Sakichi y Kiichiro Toyoda junto a Taiichi Ohno, teniendo en cuenta que el 90% de la producción de automóviles en el Japón estaba en manos de las empresas norteamericanas Ford Motor Company y General Motors. El tercer miembro de la familia Toyoda que ingresa al negocio en el año 1950 como director administrativo fue Eiji Toyoda quien inmediatamente viaja a los Estados Unidos de Norteamérica para estudiar el sistema norteamericano de ensamblaje automotriz. Uno de los procesos más importantes que aprende en este viaje fue el sistema de sugerencias en las plantas de Ford. Eiji adapta este concepto dentro de la nueva empresa Toyota Motor Corporation y lo llama *Kaisen*.

El Dr. Edward Deming quien llevó al Japón el concepto del Control Estadístico de Proceso (SPC) y el consultor de calidad Shigeo Shingo con la implementación de su sistema contra errores *Poka-Yoke* y el sistema de reducción de tiempo de cambio de matrices y moldes *SMED*, fueron personas claves para la consolidación final del Sistema de Producción Toyota.

1.2 Bases teóricas de la Gestión Lean

La Gestión Lean basa su aplicabilidad en dos pilares fundamentales:

- El mejoramiento continuo (Kaisen)
- El respeto por la gente (empleados, obreros, accionistas, proveedores y clientes)

Estos dos pilares se sustentan en el aprendizaje de resolución de problemas mediante experimentos realizados por uno mismo, con sus propias manos; aprendizaje de cómo el pensamiento Lean se puede aplicar a diferentes sectores, aprendizaje del Kaisen (mejoramiento continuo) y aprendizaje del principio básico “Ir a ver” (*Go to see-Genchi Genbutsu*) e “Ir a la planta y a la línea de ensamble” (*Gemba*) (Larman y Vodde 2009).

Los pilares soportan el objetivo del Pensamiento Lean que consiste en entregar rápidamente artículos de valor agregado para el cliente y la sociedad, utilizando el menor tiempo de proceso de producción, con la más alta calidad y al menor costo posible. Dentro de esta “Casa de Lean”, se encuentran 14 principios del Pensamiento Lean y sus herramientas de gestión.

- 1- Tome sus decisiones de gerencia con una filosofía a largo plazo, incluso a expensas de metas financieras a corto plazo.
- 2- Desarrolle un proceso de flujo continuo con el objeto de sacar los problemas a la superficie. Elimine los desperdicios (*Muda*) (sobreproducción, esperas, transporte, procesos que no añaden

valor, exceso de inventario, defectos, exceso de movimientos por mal diseño de lay out y gente subutilizada) por medio de la mejora continua (Kaisen).

- 3- Utilice el sistema "Pull" generado por el cliente para evitar sobreproducción.
- 4- Nivele la producción (*Heijunka*); no sobrecargue ni a la gente ni a los equipos.
- 5- Construya una cultura para resolver problemas de producción, de autoridad para detener el proceso.
- 6- Estandarice las tareas y procesos como fundamento de la mejora continua.
- 7- Utilice controles visuales para evitar problemas ocultos; utilice las 9'S:
 - * *Seiri* (organización)
 - * *Seiton* (orden)
 - * *Seiso* (limpieza)
 - * *Seiketsu* (control visual)
 - * *Shitsuke* (disciplina y hábito)
 - * *Shikari* (constancia)
 - * *Shitsukoku* (compromiso)
 - * *Seishoo* (coordinación)
 - * *Seido* (estandarización)
- 8- Utilice únicamente tecnología confiable y completamente probada que sirva a su gente y al proceso.
- 9- Produzca líderes que entiendan a fondo el trabajo, vivan la filosofía y enseñen a otros.
- 10- Desarrolle gente excepcional y equipos que sigan la filosofía de su empresa.
- 11- Respete su cadena de socios y proveedores motivándoles y ayudándoles a mejorar.
- 12- Vaya y observe por sí mismo para entender completamente la situación.

- 13- Tome decisiones lentamente considerando todas las posibles opciones e implemente las decisiones inmediatamente.
- 14- Sea una empresa de aprendizaje a través de la reflexión persistente y la mejora continua.

1.3 Herramientas

Las herramientas que se utilizan para la reducción de *Muda* en la Manufactura Esbelta son:

- *Sistema Pull*: es una técnica para producir partes solamente cuando el cliente lo solicite.
- *Kankan*: Método para mantener un ordenado flujo de material, las tarjetas Kankan se utilizan para indicar los puntos de orden, cuánto material, de dónde y cuándo se necesita.
- *Celdas de trabajo*: es una técnica de distribución de máquinas o personas en una distribución en U para mejor utilización de la gente y mejora de la comunicación.
- *Mantenimiento Productivo Total (TPM)*: es una metodología de mantenimiento que evita las paralizaciones y mejora la calidad del producto.
- *Administración Total de la Calidad (TQM)*: es un sistema administrativo utilizado para la mejora continua de las operaciones en todas las áreas de la compañía.
- *SMED*: es una técnica para reducir el tiempo de cambio de herramientas en un proceso de fabricación de un producto a otro.
- *VSM (Value Stream Mapping)*: es una herramienta para ver y entender el flujo de información y materiales necesarios para hacer un producto.
- *9's*: Es un concepto que hace referencia a la

implementación y mantenimiento de áreas de trabajo más organizadas, limpias y seguras (normalmente se utiliza la herramienta 5` s).

- *Justo a Tiempo (JIT)*: Es una filosofía enfocada a la eliminación de todo lo que se considere *Muda* en el proceso productivo. *JIT* es producir en el último momento posible el mínimo número de unidades.
- *Jidoka*: se refiere a la verificación de la calidad integrada al proceso.
- *Andon*: Es una herramienta que muestra el estado de la producción mediante la administración de señales audibles y visuales.
- *Poke-Yoke*: Son mecanismos que ayudan a prevenir errores antes de que sucedan.

2. Materiales y métodos

El presente trabajo se basó en una encuesta llevada a cabo en 14 empresas de manufactura y 3 empresas de servicios localizadas en la ciudad de Cuenca, Ecuador. La encuesta estaba encaminada a recopilar información sobre el conocimiento por parte de las empresas: de los fundamentos de la Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing), sobre las herramientas que de este modelo de gestión están utilizando, sobre la decisión de implementar el modelo, los inconvenientes que encontraron en su aplicación, y las mejoras que obtuvieron luego de la implementación y validación del sistema de gestión. La encuesta fue contestada por ejecutivos de alto nivel de las empresas (Gerentes Generales y Gerentes de Producción).

3. Resultados

* El 88% de las empresas encuestadas han escuchado en algún momento el término "Manufactura Esbelta" o "Lean Manufacturing" y tienen una idea básica de sus fundamentos (Gráfico N° 1); la encuesta demuestra que solamente el 76% de las empresas conoce y aplica herramientas y conceptos de este modelo de gestión (Gráfico N° 2).

Gráfico N° 1

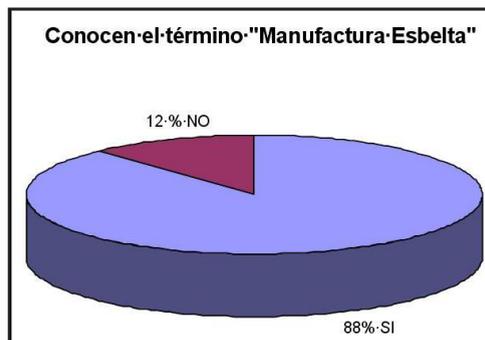
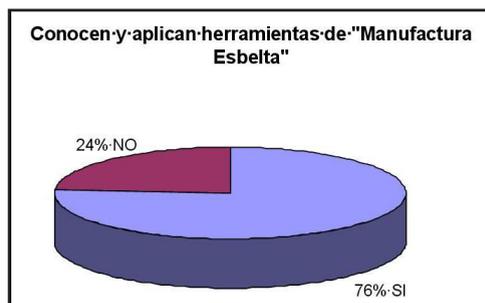


Gráfico N° 2

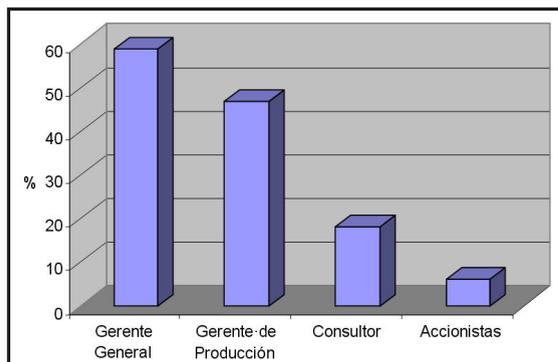


- La implementación del modelo Lean en las empresas analizadas se realizó por iniciativa individual o conjunta de: la Gerencia General, la Gerencia de Producción, una empresa consultora o la Junta de Accionistas (Tabla N° 1 y Gráfico N° 3).

Tabla N° 1

Ejecutivo de la empresa que motivó la implementación de Lean	% de empresas en las que motivó
Gerente General	59%
Gerente de producción	47%
Empresa consultora	18%
Junta de Accionistas	6%

Gráfico N° 3



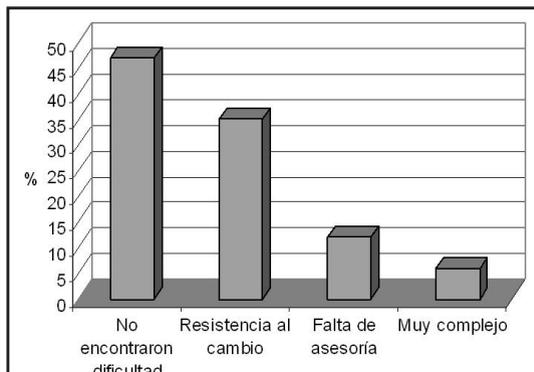
- Al momento de implementar las herramientas de la Manufactura Esbelta en sus procesos, algunas

empresas manifiestan no haber encontrado ningún inconveniente; un porcentaje encontró falta de apoyo y resistencia al cambio sobre todo de mandos medios y obreros, una minoría lo encontró muy complejo, y otras necesitaron asesoría externa. (Tabla N° 2).

Tabla N° 2

Inconvenientes implementar Lean	para	% de empresas que encontró este inconveniente
Muy complejo		6%
Falta de asesoría		12%
Resistencia al cambio		35%
No encontraron dificultad		47%

Gráfico N° 4



- En cuanto a las herramientas de Manufactura Esbelta utilizadas por cada una de las empresas podemos observarlas en la siguiente tabla (Tabla N° 3).

Tabla N° 3

Empresa	Sistema de sugerencias	JIT	Kanban	TPM	TQM	Círculos de calidad	Kaisen	5's	Poka-Yoke	Sistema Pull	Celda de manufactura	SMED	Sistema visual	Six Sigma
A	X		X	X	X		X	X	X			X	X	X
B				X		X		X						
C														
D			X											
E	X		X			X	X					X		
F														
G	X			X	X	X	X				X			
H			X	X	X		X	X	X			X		X
I	X					X		X						
J													X	
K			X		X			X	X			X		
L			X				X	X	X		X	X		
M														
N			X	X	X		X	X	X	X	X		X	
P			X					X						
Q			X			X	X							
R														

La tabla N° 4 es un resumen de la utilización de estas herramientas:

Tabla N° 4

Herramienta Lean	% de empresas que lo utilizan
Sistema de sugerencias	24%
JIT	24%
Kanban	41%
TPM	24%
TQM	29%
Círculos de calidad	35%
Kaisen	41%
5's	47%
Poka-Yoke	12%
Sistema Pull	6%
Celdas de manufactura	18%
SMED	24%
Sistema visual	18%
Six-Sigma	12%

- Las empresas encuestadas registran que con la implementación de los conceptos, herramientas y sistemas de la Manufactura Esbelta mejoraron varios aspectos, entre los que están (Tabla N° 5):

Tabla N° 5

Aspecto que se mejoró	
Calidad del producto	46%
Productividad	46%
Relación con proveedores	15%
Entrega del producto al cliente	38%
Relaciones humanas	23%

- Finalmente algunos sistemas y herramientas de gestión que las empresas encuestadas indican fueron de gran ayuda y complementarias para la implementación y funcionamiento de los conceptos de la filosofía Lean son:
 - Sistema ISO 9001-2008
 - TOC (Teoría de las Restricciones)
 - Ingeniería robusta
 - Estandarización
 - Estaciones de verificación
 - Mejora del Lay-Out
 - Verificación del Takt Time
 - Aplicación de ERP;SAP
 - Respuesta rápida
 - Auditorias escalonadas

4. Discusión

El análisis de los resultados obtenidos muestra que un elevado porcentaje de empresas aplica el sistema de Gestión Lean. Se puede considerar que las mismas tienen conocimientos de esta filosofía con tendencia a ampliar su aplicación. Es interesante observar que esta filosofía está cimentada en muchas empresas de la ciudad, las mismas que sin lugar a dudas serán referentes en el País. Sin embargo parece que las empresas encontraron algunos inconvenientes para su implementación, puesto que ello exige un gran cambio de mentalidad, algo que es decididamente delicado (Cuatrecasas 2010). Puede resultar difícil cambiar la forma en que una persona hace las cosas; aún más difícil es cambiar la forma en que toda una compañía hace las cosas (Nahmias 2007).

Se observa que es la Gerencia General de las empresas la que ha motivado en un gran porcentaje la implementación del sistema de Gestión Lean, lo que da la autoridad suficiente a los diferentes departamentos del área de producción en empresas de manufactura y de operaciones en empresas de servicios para hacer los cambios necesarios.

En cuanto a las herramientas de gestión utilizadas, se ve el uso dominante de las técnicas 5`s y Kanban seguido muy de cerca por la implementación de los Círculos de calidad, del Kaisen y el SMED. Todas estas herramientas se complementan y van de la mano, siendo con toda seguridad las que llevaron a las empresas encuestadas a mejorar la productividad de sus procesos y la calidad de sus productos.

Si un porcentaje interesante de empresas (18%) ha manifestado que la implementación del sistema de Gestión Lean vino a través de un Consultor o una empresa de Consultoría, entonces desde la visión de universidad se sugiere:

- Que se incluya en la malla curricular de la carrera de Ingeniería de la Producción y Operaciones (IPO) de la Universidad la materia “Manufactura Esbelta”.
- Que se conforme un Centro de Innovación Tecnológica, Capacitación y Consultoría Empresarial dentro de la Universidad como apoyo a las Pymes y Gran Industria en el campo de la Manufactura Esbelta, con la participación de docentes y estudiantes de la carrera de IPO.

5. Agradecimientos

El autor agradece a cada uno de los Gerentes Generales y Gerentes de Producción de las empresas: Plásticos Rival, Compañía Ecuatoriana del Caucho S.A., Chi-Vit Ecuador S.A., Pasamanería S.A., Cuenca Bottling Company C.A., Propartes, ElecAustro S.A., Cerámicas Graitman, Fibro Acero S.A., PlastiAzuay S.A., Cerámica Andina C.A., Indurama S.A., Colineal, Cartopel, Hospital Santa Inés, Banco del Pichincha Sucursal Cuenca y Tugalt S.A. por el apoyo brindado para la realización de este trabajo. Se reconoce las sugerencias de Gustavo Chacón sobre el borrador de este artículo.

6. Literatura citada

Cuatrecasas Arbós Lluís. 2010. Cómo implementar realmente el Lean Management. ¿Sentido común o tamaño de lotes pequeños? Disponible en: <http://www.institutolean.org>. Última visita 17/01/2011.

Gaither Norman, Frazier Greg. 1999. Administración de Producción y Operaciones. Octava Edición. International Thomson. México. 846 pp.

Nahmias Steven. 2007. Análisis de la Producción y las Operaciones. Quinta Edición. México. 784 pp.

Womack James P., Jones Daniel T. y Daniel Roos. 1992. La Máquina que cambió al Mundo. McGraw-Hill. Análisis de Fernández Zulima. Disponible en: <http://revecap.com/revista/numero/03/pdf/fernandez.pdf>. Última visita 17/01/2011.

Womack James P., Jones Daniel T. 2007. Soluciones Lean. Gestión 2000. Barcelona. 295 pp.

Larman Craig, Vodde Bas. 2009. Lean Primer. Disponible en: <http://www.leanprimer.com>. Última visita 17/01/2011.

Tecnología, economía y universidad

Nivelo René

*Escuela de Administración de Empresas,
Facultad de Ciencias de la Administración,
Universidad del Azuay,
Av. 24 de Mayo 7-77,
Cuenca, Ecuador.*

Correspondencia: rnivelo@uazuay.edu.ec

Resumen

El objetivo del presente trabajo es dar a conocer la importancia de la tecnología en la actividad económica, en donde se estudia la productividad y la competitividad como características fundamentales; así como la información y el conocimiento como variables determinantes. En este contexto, cuanto mayor tecnología tengan las empresas, más segmentos del mercado pueden cubrir; por tanto, información, tecnología y capacidad de gestión empresarial son la base para el mejoramiento de la productividad y la competitividad. Otra característica fundamental de la economía es el funcionamiento en red, las grandes empresas están conectadas a redes de pequeñas y medianas empresas, por lo tanto es una red de redes. Las empresas inteligentes ven en la cooperación con las universidades un método ágil y rentable de descubrimiento y lanzamiento de innovaciones de ruptura. Esta cooperación ayuda a mantener su ventaja competitiva y, de igual

manera, a dispersar los costes iniciales de la investigación y desarrollo entre un ecosistema investigador mucho más amplio. De esta forma, los elementos clave que se han observado a lo largo del tiempo para inventar, producir y difundir, tienen que ver con la capacidad tecnológica y humana que nace justamente de las universidades.

Palabras clave: productividad, competitividad, planificación flexible

Abstract

The objective of the present work is highlighting the importance of technology in the economic activity where productivity and competitiveness are studied as fundamental characteristics, as well as information and knowledge as determinant variables. In this context, companies with more technology, more market segments can cover; thus, information, technology and business management capacity are the basis to increase productivity and competitiveness. Another fundamental characteristic in economy is the operation in network; large companies are connected to small to medium company networks, thus it is a network of networks. Intelligent companies see cooperation with universities a profitable and rapid method for discovering and for the launching of rupture innovations. This cooperation helps maintaining competitiveness advantage and dispersing initial costs of research and development among an ample researcher ecosystem. Additionally, in time, observed key elements to invent, produce and spread are linked to the human and technological capacity born precisely in the universities.

Keywords: productivity, competitiveness, flexible planning

1. Tecnología, economía y universidad

En el transcurso de los siglos la humanidad ha transitado un largo y tortuoso camino para poder desarrollar tecnologías que le permitan realizar sus actividades cada vez más rápidas y mejores, en su propio beneficio. Se ha recorrido desde la era de la agricultura, la industrialización, se viaja al espacio sideral y hoy se navega en la red.

En la actualidad se está caminando en la era de la informática, en donde la economía sobrelleva nuevas transformaciones y se denomina la Nueva Economía; es en este contexto en que se circunscribe y realiza este ensayo, que permitirá un mejor juicio de la importancia de la Tecnología en la actividad económica.

La actividad económica se caracteriza principalmente por dos conceptos: la productividad y la competitividad, definiendo a la primera, como el número de bienes o servicios que se producen por unidad de tiempo. Mejorar la productividad lleva al progreso, que se deriva de la aplicación de varios esfuerzos como: la adquisición de nuevas y mejores tecnologías; el aumento del trabajo, ya sea incrementando el número de trabajadores o extendiendo la jornada laboral; y finalmente se aumenta la productividad mediante una capacitación continua de los empleados y trabajadores.

En cuanto a la competitividad, que significa cómo las empresas, países, regiones etc., obtienen participación en los mercados para vender sus bienes y servicios; en este afán, la ampliación de los mercados a lo largo de la historia económica ha sido muy beneficiosa para los países

Industrializados y ha favorecido en muy menor grado a los países poco desarrollados.

A los dos conceptos anteriores se suman la Información y el conocimiento que son variables determinantes de la productividad y la competitividad; en este punto es ineludible exteriorizar lo siguiente: si se tiene conocimiento y tecnología pero no se dispone de capital, se puede llegar a generar un mayor capital financiero, como sucede en los países desarrollados. Empero, si se dispone de capital y no tiene tecnología ni conocimiento, se perderá, probablemente, el capital invertido, como ha sucedido y sucede en varios países poco desarrollados, y también ocurren este tipo de pérdidas en varios países desarrollados.

Al respecto se han realizados estudios, mediante análisis econométricos, donde se demuestra que cuanto más tecnología tienen los sectores económicos o las empresas de un país, más segmentos del mercado se cubren. Por ejemplo, la empresa finlandesa Nokia, que dispone una alta tecnología, en estos momentos es la segunda productora de teléfonos móviles del mundo y la primera europea.

2. Información, tecnología y globalización

Existe una correlación directa entre la tecnología y la información. La tecnología actual procesa la información, pero si no se dispone de una auténtica información, el resultado será erróneo. Las nuevas tecnologías hacen que el manejo de la información tenga un papel decisivo, ya que se puede procesar con gran flexibilidad y de transmisión rápida. De donde se colige que Información, tecnología

y capacidad de gestión empresarial, es la base para el mejoramiento de la productividad y la competitividad.

En este sentido las empresas procuran siempre captar nuevos mercados y las exportaciones e importaciones son actividades centrales en las economías globalizadas. Por globalizadas debe entenderse que se trabaja como una unidad en tiempo real a nivel mundial. Diligencias económicas que se cumplen a través de una red de interconexiones.

Por ejemplo, los mercados de capitales estén interconectados, porque la infraestructura tecnológica existente permite la interconexión instantánea de capitales. Y los ordenadores están programados para que cualquier fondo de inversión pueda cambiar de moneda, de acciones, a nivel mundial, siguiendo las ocasiones de rentabilidad y evitando pérdidas financieras.

Por otro lado, los centros tecnológicos transfieren su conocimiento en función de la capacidad de las empresas. Produciéndose instantes de monopolio momentáneo, que son periodos cortos, porque quien no sigue con la nueva tecnología, se queda obsoleto. En los países de poco desarrollo estos momentos de monopolio son tiempos más largos debido fundamentalmente al no conocimiento inmediato y capacidad de absorción, principalmente por los costes de adquisición.

Asimismo, la mano de obra más cualificada está globalizada. Como son los analistas financieros, los periodistas, los tecnólogos, los consultores, entre otros. Este tipo de personas circulan a nivel mundial en los mercados de trabajo. Y como los mercados más importantes y más

dinámicos están interconectados, es fundamental para las empresas adquirir la capacidad de penetrar en los grandes mercados.

3. Planificación flexible

Otra característica fundamental de la economía es que funciona en red. La tecnología ha mejorado con las redes y tiene la ventaja de la flexibilidad y de la adaptación rápida a la demanda. Con las nuevas tecnologías de la información se puede tener mayor flexibilidad y mayor coordinación de las decisiones con las tareas y compromisos. Esto se concreta en la aparición de una nueva forma de actividad económica que se llama la empresa-red.

Si observamos lo que ha pasado en el mundo de las empresas en los últimos años. Las grandes compañías se han descentralizado cada vez más, dando autonomía de decisión a departamentos y divisiones. Por ejemplo, IBM, fabricante de ordenadores, estaba a punto de desaparecer como empresa; entonces, creó varias pequeñas empresas. Cada una de ellas con autonomía e incluso compiten en ciertos mercados en cierta línea de producto. IBM sigue siendo la unidad de capital, la unidad de estrategia financiera; pero cada departamento, cada mercado nacional y cada sucursal, trabajan con una gran independencia.

Las grandes empresas están conectadas a redes de pequeñas y medianas empresas, por tanto es una red de redes. Y, en los últimos años se ha impuesto como práctica las alianzas estratégicas entre grandes empresas, y no constituyen oligopolios tradicionales.

Como un ejemplo se tiene: IBM, Toshiba y Siemens, que se pusieron de acuerdo para producir un chip de telecomunicaciones para el mercado alemán. En ese proyecto cada uno pone su personal, partes de su empresa, su capital, su tecnología. Y el proyecto operativo de esa empresa es ese chip, para ese mercado y en ese momento.

Cuando terminan el producto convenido. Se deshacen y cada empresa se dedica a sus propias actividades. Por tanto, es un proyecto concreto que se constituye en torno a una red que utiliza las redes que cada uno dispone.

Esto tiene consecuencias importantes, porque si bien la unidad de acumulación de capital es una empresa, la unidad operativa real en la economía es una red; y es la red la que emplea, ordena. Al ser un elemento de Planificación Flexible, cambia de forma y de componentes y también cambia la fuerza de trabajo.

4. Colaboración universidad - empresa

Los inventos e innovaciones proceden de varias fuentes y circunstancias. Las empresas inteligentes son conscientes de que mantener la productividad y la competitividad implica modernizar su negocio en toda la cadena de valor y apoyo. Y el progreso de las ciencias fundamentales es la única condición de garantizar que los sectores económicos principalmente los industriales, con sus respectivas empresas continuaran siendo innovadoras a mediano y largo plazo.

En la actualidad es muy importante que las actividades de Investigación y Desarrollo -I&D-sean eficientes y reporten un ROI (retorno de la inversión) seguro y rentable. Los fabricantes e innovadores necesitan ser buenos conocedores de las ciencias básicas; pero su finalidad principal, en su empresa, no es el de hacer progresar la ciencia en general, sino de descubrir cómo hacer o desarrollar determinado elemento que les permita tener éxito en el mercado.

Para desarrollar las ciencias básicas se recurre en forma cada vez más creciente a la colaboración de las universidades o instituciones dedicadas a la investigación, y los investigadores de las empresas usaran sus experiencias y recursos para acelerar el invento y desarrollo de aplicaciones prácticas.

En realidad, las empresas inteligentes ven en la cooperación con las universidades un método ágil y rentable de descubrimiento y lanzamiento de innovaciones de ruptura.

5. La red universitaria abierta

Se considera que son dos los motivos por los que la investigación universitaria tiene una relevancia creciente. Hoy las ideas fluyen por las universidades punteras y entre sus profesores, más que por los laboratorios de las empresas, por prestigiosos que sean.

La cooperación estrecha de las empresas con universidades que se encuentran en la vanguardia del conocimiento y la investigación le ayuda a mantener su ventaja competitiva

y, de igual modo, a disgregar los costes iniciales de la I&D entre un ecosistema investigador mucho más amplio.

David Tennenhose, prestigioso tecnólogo de Intel, opina que es mejor compartir costes y riesgos a través de acuerdos de colaboración entre universidades y empresas; además, manifiesta que se debe aprovechar adecuadamente los contactos universitarios, los mismos que permitirán acceder a los resultados producidos por la comunidad investigadora de la universidad.

Como corolario se puede aseverar que los elementos claves, que se ha observado a lo largo del tiempo para inventar, producir y difundir, es la capacidad tecnológica y humana que nace de las universidades.

Finalmente, según los profesores de la Universidad Federal de Santa María, Rio Grande do Sul, Brasil, Fiegenbaum y Rondines, la utilización de tecnologías es un precepto básico y fundamental en las economías, para que los países puedan alcanzar el desarrollo económico y el aumento de la productividad a través del progreso técnico.

6. Bibliografía

Bill Gates;

El camino al Futuro, McGraw-Hill, Segunda Edición (1996)

Don Tapscott & Anthony D. Williams;

Wikinomics, La nueva Economía de las multitudes Inteligentes, Ediciones Paidós Ibérica S.A. (2007)

Economía & Tecnología;

Centro de Pesquisas Económicas, Universidad Federal do Paraná, Curitiba (2005)

José Silvestre Méndez Morales;

La economía en la Empresa, McGraw-Hill, Interamericana Editores, S.A. de C.V. (2007)

Michael E. Porter;

Ser Competitivo, Nuevas Aportaciones y Conclusiones, Ediciones Deusto (2003)

Paúl A. David y Dominique Foray;

Una introducción a la economía y a la sociedad del saber; paul.david@economics.ox.ac.uk; Dominique.foray@oecd.org (25/012011)

Peter F. Drucker;

Drucker para todos los días, Grupo Editorial Norma (2006)

www.lafactoriaweb.com/articulos/castells7.htm (21/02/2011)

www.cce.edu.uv/ensenian/catcomp (25/01/2011)

Wikipedia