



# PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2020

Cartera de proyectos

## CRÉDITOS

Compilación: Dirección de Proyectos, Vicerrectoría de Investigación y extensión.

## TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

Derechos reservados ©

## Tabla de contenido

PROYECTO 1: VALIDACIÓN FUNCIONAL ENFOCADA EN EL RETORNO ENERGÉTICO Y RIGIDEZ DE COMPONENTES PROTÉSICOS (PYLON Y PIE) FABRICADOS MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE MANUFACTURA ADITIVA Y ESCANEADO 3D.....	4
PROYECTO 2: MODELADO DE LA FUTURA PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS PARA REALIZAR ESTUDIOS DE ELÉCTRICOS Y AMBIENTALES PARA COSTA RICA .....	7
PROYECTO 3: DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE INTERCAMBIO TÉRMICO CON ESPONJA METÁLICA COMO ELEMENTO DE TRANSFERENCIA DEL CALOR.....	9
PROYECTO 4: DISEÑO DE UN MODELO DE DECISIÓN PARA LA ORGANIZACIÓN DE LOS RECURSOS SEGÚN LA DISPONIBILIDAD DE ESTOS, MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS. APLICACIÓN EN EL SERVICIO DE CONSULTA EXTERNA DEL HOSPITAL SAN CARLOS.....	12
PROYECTO 5: IDENTIFICACIÓN DE FALLAS EN INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS .....	14
PROYECTO 6: SISTEMA ROBOTIZADO SEMIAUTOMÁTICO PARA LIMPIEZA DE CIELORRASOS METÁLICOS EN INDUSTRIA Y MATRICES DE PANELES FOTOVOLTAICOS .....	16
PROYECTO 7: ESTUDIO DE MATRICES EXTRACELULARES CONDUCTORAS (MECC) PARA EL CRECIMIENTO DE CÉLULAS IN VITRO .....	18
PROYECTO 8: METODOLOGÍA PARA EL RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DE PATRONES DEL PENSAMIENTO COMPUTACIONAL EN ESTUDIANTES DE LA EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA PARA MEJORAR LOS PROCESOS DE GESTIÓN.....	20

PROYECTO 9: MODELO DE PREDICCIÓN DE LA POBREZA EN COSTA RICA: UNA HERRAMIENTA PARA LOS PROGRAMAS DE ASISTENCIA SOCIAL .....22

PROYECTO 10: ELABORACIÓN DE UN INSTRUMENTO PARA LA ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE COMPETENCIAS DE COMPORTAMIENTO EN LOS DESARROLLADORES DE SOFTWARE Y GERENTES DE PROYECTOS DEL SECTOR DE TECNOLOGÍAS DIGITALES EN COSTA RICA. ....24

PROYECTO 11: IMPACTOS E IMPULSORES DE LA HERBIVORÍA DE INSECTOS EN EL CICLO DE NUTRIENTES EN LOS BOSQUES A NIVEL MUNDIAL.....27

PROYECTO 12: IMPULSO TECNOLÓGICO A LOS SISTEMAS AGROFORESTALES PARA LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE FIBRAS NATURALES PARA EXPORTACIÓN: CULTIVO DE ABACÁ (MUSA TEXTILIS NÉE) COMO ALTERNATIVA VERSÁTIL PARA PRODUCTORES RURALES EN COSTA RICA .....

30

PROYECTO 13: IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS Y APLICACIONES DE BAJO COSTO PARA EL ESTUDIO DE LA FISIOLOGÍA DE ESPECIES ARBÓREAS DEL TRÓPICO MESOAMERICANO COMO HERRAMIENTA PARA SU CONSERVACIÓN. ....33

PROYECTO 14: DINÁMICA DE LA COBERTURA FORESTAL Y HUMEDALES DE COSTA RICA: BASES DE DATOS 1960/45 PARA LA COMPRESIÓN DE LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN Y DETERIORO DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS .....

35

PROYECTO 15: MEJORAMIENTO DEL PAQUETE TECNOLÓGICO DE PRODUCCIÓN CLONAL EN AMBIENTE PROTEGIDO DE TECTONA GRANDIS Y CORDIA ALLIODORA .....

37

PROYECTO 16: TÉCNICAS DE SILVICULTURA INTENSIVA PARA EL AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE PLANTACIONES CLONALES DE TECA Y MELINA .....

39

PROYECTO 17: SÍNTESIS DE MADERA MAGNÉTICA A BASE DE NANO PARTÍCULAS DE HIERRO EN ESPECIES FORESTALES PROVENIENTES DE PLANTACIONES DE RÁPIDO CRECIMIENTO EN COSTA RICA. ....	41
PROYECTO 18: OPTIMIZACIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL DEL PROGRAMA NACIONAL DE FOMENTO DE SISTEMAS SILVOPASTORILES CARBONO-NEUTRAL.....	43
PROYECTO 19: UTILIZACIÓN DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANTS) EN LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y ESTADO DE DESARROLLO DE PLANTACIONES FORESTALES.....	45
PROYECTO 20: TRATAMIENTO TÉRMICO Y QUÍMICO COMO MEJORA DEL PROCESO DE DENSIFICACIÓN DE TRES MADERAS DE PLANTACIONES FORESTALES .....	47
PROYECTO 21: CORROSIÓN DEL CONCRETO REFORZADO Y DEGRADACIÓN DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS (CODE_MEC3): ETAPA 3 ESTUDIO EXPERIMENTAL Y MODELACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO REFORZADO POR CAUSA DE LA CORROSIÓN. ....	49
PROYECTO 22: PROPUESTA DE UN ÍNDICE DE SALUD ESTRUCTURAL PARA PUENTES (BHI) PARA COSTA RICA .....	51
PROYECTO 23: IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS NO INVASIVAS PARA EL ESTUDIO PATOLÓGICO EN EDIFICACIONES PATRIMONIALES.....	53
PROYECTO 24: EL DISEÑO DEL PAISAJE URBANO DESDE LA DIVERSIDAD SOCIAL, CULTURAL Y AMBIENTAL DEL CONJUNTO DEL PASEO DE LAS DAMAS EN COSTA RICA: CASO DE LOS PARQUES NACIONAL, ESPAÑA Y MORAZÁN .....	56
PROYECTO 25: HERRAMIENTAS DE GESTIÓN Y CONSERVACIÓN PROGRAMADA EN INTERVENCIONES DE BIENES INMUEBLES PATRIMONIALES EN COSTA RICA.....	59

PROYECTO 26: MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL BAJO UNA PERSPECTIVA HOLÍSTICA .....	61
PROYECTO 27: MODELACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES MULTIESPECTRALES, EN EL PACÍFICO CENTRAL DE COSTA RICA .....	63
PROYECTO 28: EFECTO DEL BIOCARBÓN EN LA DINÁMICA HÍDRICA DE UN SUELO VOLCÁNICO EN FUNCIÓN DE LOS CAMBIOS DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS E HIDRÁULICAS .....	65
PROYECTO 29: GEN-FW: UNA GENERALIZACIÓN DEL PROBLEMA DE FERMAT-WEBER CON APLICACIONES AL PROCESAMIENTO DE DATOS ....	67
PROYECTO 30: VENTANAS INTELIGENTES: APLICACIONES A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE FACHADAS.....	69
PROYECTO 31: ESTUDIOS DE TURBULENCIA Y TRANSPORTE EN EL PLASMA ECRH DEL STELLARATOR SCR-1 .....	71
PROYECTO 32: ANÁLISIS DE IMÁGENES Y CUANTIFICACIÓN DEL COLOR PARA EL DIAGNÓSTICO DEL CÁNCER DE PIEL TIPO MELANOMA EN COSTA RICA. ....	73
PROYECTO 33: INFLUENCIA DEL POLIMORFISMO Y LA FORMACIÓN DE CO-CRISTALES EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE FÁRMACOS ANTIHIPERTENSIVOS .....	75
PROYECTO 34: MONITOREO AMBIENTAL DE MERCURIO EN ZONAS MINERAS ARTESANALES Y ZONAS URBANAS DE COSTA RICA, Y ACCIONES PARA LA MITIGACIÓN DE SU IMPACTO AMBIENTAL.....	77
PROYECTO 35: REMOCIÓN DE FLUORURO Y ARSÉNICO CON PIEDRA PÓMEZ MODIFICADA .....	80

PROYECTO 36: ELABORACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD PARA EL MONITOREO DE LOS RÍOS EN GUATEMALA QUE APOYEN PROGRAMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL .....	83
PROYECTO 37: DESARROLLO DE SISTEMA PARA EVALUACIÓN BIOMECÁNICA DE IMPLANTES PARA PRÓTESIS ÓSEO-INTEGRADAS EN MODELOS MÍMICOS DE HUESO IMPRESOS EN 3D .....	85
PROYECTO 38: DESARROLLO DE UN SISTEMA PCT (PRESIÓN-COMPOSICIÓN-TEMPERATURA) PARA MEDIR LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO EN INTERMETÁLICOS NANOESTRUCTURADOS DE TIFE PRODUCIDOS POR TORSIÓN DE ALTA PRESIÓN (HPT) .....	87
PROYECTO 39: DESARROLLO DE CELDAS BIOFOTOVOLTAICAS UTILIZANDO LA PROTEÍNA BACTERIORODOPSINA.....	89
PROYECTO 40: NANOBIOFERTILIZANTES: USO DE ARCILLAS EN LA PREPARACIÓN DE EMULSIONES DE PICKERING PARA FORMULADOS AGRÍCOLAS A PARTIR DE BIOMASA MICROALGAL DE ARTHROSPIRA MÁXIMA .....	92
PROYECTO 41: PRODUCCIÓN DE MUTANTES DE ARROZ (ORYZA SATIVA) TOLERANTES A HERBICIDAS UTILIZANDO RAYOS GAMMA PARA CONTRIBUIR CON EL MANEJO SOSTENIBLE DEL CULTIVO .....	95
PROYECTO 42: DESARROLLO DE UNA MEZCLA DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS PARA EL INCREMENTO DE LA VIDA ÚTIL POST-COSECHA DE LA CEBOLLA EN LA ZONA NORTE DE CARTAGO .....	97
PROYECTO 43: CARACTERIZACIÓN DE ACTIVIDAD LIPASA ENDÓGENA DE ESPECIES DE MICROALGAS Y DESARROLLO DE TRANSESTERIFICACIÓN IN SITU PARA LA PRODUCCIÓN DE ÉSTERES ETÍLICOS DE ÁCIDOS GRASOS, COMO MATERIA PRIMA PARA BIOCOMBUSTIBLES .....	99
PROYECTO 44: ALIMENTÓMICA DE MICROALGAS: DETERMINACIÓN DE METABOLITOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS EN BIOMASAS	

MICROALGALES PARA LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS FUNCIONALES .....	101
PROYECTO 45: PROCESO DE DOMESTICACIÓN DEL COYOL (ACROCOMIA ACULEATA) COMO UNA ALTERNATIVA BIOENERGÉTICA EN COSTA RICA, FASE II .....	104
PROYECTO 46: EVALUACIÓN DE UN SISTEMA BIOLÓGICO EUCARIOTA (NICOTIANA TABACUM) PARA LA PRODUCCIÓN DE INSULINA HUMANA RECOMBINANTE, CON MIRAS AL ESCALAMIENTO EN BIORREACTOR ....	107
PROYECTO 47: FORMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE USO TÓPICO A PARTIR DE EXTRACTOS DE FRESA (FRAGARIA X ANANASSA., VARIEDAD FESTIVAL) RICOS EN ANTOCIANINAS .....	109
PROYECTO 48: DESARROLLO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE UN BIO-MATERIAL Y SUBPRODUCTOS A PARTIR DE LA FIBRA DE LA HOJA DE LA PIÑA.....	111
PROYECTO 49: EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD ASOCIADA A LA CALIDAD SEMINAL DE VERRACOS EN GRANJAS PORCINAS DE LA REGIÓN HUETAR NORTE .....	113
PROYECTO 50: CARACTERIZACIÓN DEL DAÑO OXIDATIVO POR EL HUMO DEL CIGARRO EN CÉLULAS EPITELIALES NORMALES Y SU POSIBLE QUIMIPREVENCIÓN CON EXTRACTOS DE MANZANA Y CIRUELO .....	115

## **PROYECTO 1: Validación funcional enfocada en el retorno energético y rigidez de componentes protésicos (pylon y pie) fabricados mediante tecnologías de manufactura aditiva y escaneo 3D**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Ingeniería Médica

### **Escuelas participantes:**

Proponente Diseño Industrial

Participante Ingeniería en Producción Industrial

Participante Ingeniería de los Materiales

**Investigador Coordinador:** Olga Sánchez Brenes, MBA.

Contacto: [olsanchez@tec.ac.cr](mailto:olsanchez@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Según datos del Taller Nacional de Órtesis y Prótesis (TNOP) entre el 2011 y el 2013 se experimentó un aumento de 71% en la demanda de pacientes que requieren los servicios de este taller, siendo las amputaciones por debajo de la rodilla (amputaciones transtibiales) las de mayor crecimiento con una elevación en la demanda de 186,5%. Para resolver esta demanda el TNOP y las clínicas privadas implementan dispositivos protésicos de diferentes calidades y precios que no necesariamente se adecuan a las necesidades específicas de cada paciente, ya que son componentes estándar que no permiten un ajuste adecuado para asegurar la satisfacción de los pacientes. Bajo esta problemática, desde el 2012, el Laboratorio de Ergonomía Aplicada del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ergoTEC) inicia con la investigación en este tema y se desarrollan a partir del 2016 los primeros componentes protésicos impresos en 3D de bajo costo (pie, pylon y socket), mediante la implementación de nuevas tecnologías y materiales, con el objetivo de adecuar estos dispositivos a las necesidades funcionales y fisiológicas de los pacientes. En las fases de investigación I y II se desarrollaron componentes protésicos impresos en 3D y se realizó su validación estructural de acuerdo con las normas ISO 31028 e ISO 22675. A partir de las validaciones y resultados obtenidos en las primeras fases de investigación se plantea la siguiente pregunta ¿Cómo garantizar que los componentes protésicos diseñados en ergoTEC (pie y pylon) cumplen con los estándares de calidad del mercado y se adecuan a las necesidades funcionales de los pacientes? Para responder a esta pregunta, se plantea validar la funcionalidad de los componentes protésicos (pylon y pie) enfocada en la rigidez y el retorno energético, como medio para

adaptar su respuesta biomecánica a las necesidades funcionales de pacientes. El objetivo principal de esta propuesta de investigación es validar la funcionalidad de los componentes protésicos (pylon y pie) enfocada en la rigidez y el retorno energético, como medio para adaptar su respuesta biomecánica a las necesidades funcionales de los pacientes. Esta validación se hará mediante la comparación de los dispositivos protésicos desarrollados (pie y pylon) con componentes protésicos comerciales por medio de ensayos mecánicos; con el propósito de comparar su funcionalidad en términos de retorno energético y rigidez. A partir de estas pruebas se realizará un proceso iterativo de diseño y la validación mediante simulación computacional. Como resultados de esta fase se espera obtener mejoras funcionales del diseño del pie y el pylon protésico que permitan una correcta personalización en relación con el nivel funcional, peso y dimensiones del paciente.

**Palabras clave:** amputado, pie protésico, pylon protésico, impresión en tres dimensiones, manufactura aditiva, almacenamiento y retorno energético, rigidez

### **Abstract**

According to data from the Taller Nacional de Ortesis y Prótesis (TNOP) between 2011 and 2013, there was a 71% increase in the demand for patients who require the services of this center, with amputations below the knee (transtibial amputations) the fastest growing ones with an increase in demand of 186.5%. To solve this demand, the TNOP and private clinics implement prosthetic devices of different qualities and prices that do not necessarily adapt to the specific needs of each patient, because

they are standard components that do not allow an adequate adjustment to ensure patient satisfaction. Under this problem, since 2012, the Laboratory of Applied Ergonomics of the Technological Institute of Costa Rica (ergoTEC) begins with research on this topic and the first low-cost 3D prosthetic components (foot, pylon) are developed from 2016 and socket), through the implementation of new technologies and materials, in order to adapt these devices to the functional and physiological needs of patients. In research phases I and II, 3D printed prosthetic components were developed and structural validation was carried out in accordance with ISO 31028 and ISO 22675. Based on the validations and results obtained in the first phases of the investigation, the following question arises: How to ensure that the prosthetic components designed in ergoTEC (foot and pylon) comply with the quality standards of the market and adapt to the functional needs of the patients? To answer this question, it is proposed to validate the functionality of the prosthetic components (pylon and foot) focused on stiffness and energy return, as a means to adapt their biomechanical response to the functional needs of patients. The main objective of this research proposal is to validate the functionality of the prosthetic components (pylon and foot) focused on stiffness and energy return, as a means to adapt their biomechanical response to the functional needs of patients. This validation will be done by comparing the developed prosthetic devices (foot and pylon) with commercial prosthetic components by means of mechanical tests; with the purpose of comparing its functionality in terms of energy return and rigidity. From these tests, an iterative design and validation process will be carried out through computational simulation. As a result of this phase, it is expected to obtain functional improvements of the design of the foot and the prosthetic pylon

that allow a correct customization in relation to the functional level, weight and dimensions of the patient.

**Keywords:** amputee, prosthetic foot, prosthetic pylon, three-dimensional printing, additive manufacturing, energy storing and returning, stiffness.

## **PROYECTO 2: Modelado de la futura penetración de Vehículos Eléctricos para realizar estudios de eléctricos y ambientales para Costa Rica**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Ingeniería Eléctrica, Electrónica e Ingeniería de la Información

### **Escuelas participantes:**

Proponente Ingeniería Electromecánica

Participante Matemática

**Investigador Coordinador:** Gustavo Adolfo Gómez Ramírez, M.Sc.

Contacto: [ggomez@tec.ac.cr](mailto:ggomez@tec.ac.cr)

### **Resumen**

La creciente integración de los vehículos eléctricos (VEs) en los sistemas eléctricos de potencia plantea la necesidad de estimar el posible futuro mercado de éstos en las redes eléctricas, y con ello, poder establecer escenarios de análisis para realizar estudios de cargabilidad, flujos de potencia, estabilidad entre otros. Por esta razón, el siguiente trabajo de investigación propone un modelo de predicción de futuros mercados de vehículos eléctricos en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) en cada una de las barras de la red eléctrica, y de esta manera se podrá modelar condiciones de la red ante una alta penetración de VEs calculados a partir de una metodología con sustento matemático. La metodología considerará variables: técnicas como el crecimiento de la demanda eléctrica, socioeconómicas como crecimiento vehicular, económicas tales como índices al consumidor, PIB, inflación entre otras. No cabe duda, que este tipo insumos será de vital importancia para los planificadores del SEN, economistas, mercadólogos, entre otros. Se planteará por lo tanto un modelo híbrido Markov-MonteCarlo o similar para la predicción de mercados futuros de vehículos eléctricos ante un mercado en creciente desarrollo y auge.

**Palabras clave:** Markov, Monte-Carlo, Vehículos eléctricos, predicción.

### **Abstract**

The increasing integration of electric vehicles (VEs) in the electric potential energy system raises the need to estimate the future market of these in the electrical networks and with it, to be able to establish scenarios of analysis that can help to study the loadability, flows of power, stability, and others. For this

reason, the following research proposes a model of prediction of future markets of electrical vehicles in the electrical national system (SEN) in each of the bars of the electrical network and subsequently it will be able to shape conditions of the network before a high penetration of VEs calculated from a methodology with applied mathematics. The methodology will consider technical variables like the growth of the electrical demand, socioeconomic variables as traffic growth, and other like the economic ones as indexes to the consumer, PIB, inflation among others. There is no doubt that this type of inputs will be vital for the planners of the SEN, economists and others. Therefore, we propose an hybrid model of Markov-MonteCarlo for the prediction of future markets of electrical vehicles in front of an increasing market in development.

**Keywords:** Markov, Monte-Carlo, Electric Vehicles, Prediction.

## **PROYECTO 3: Desarrollo y evaluación de un dispositivo de intercambio térmico con esponja metálica como elemento de transferencia del calor.**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Ingeniería de los Materiales, Ingeniería Mecánica

### **Escuelas participantes:**

Proponente Ingeniería en Producción Industrial

**Investigador Coordinador:** Dra. Marcela Meneses Guzmán

Contacto: [mameneses@tec.ac.cr](mailto:mameneses@tec.ac.cr)

### **Resumen**

El consumo de energía en el mundo crece de continuo. La investigación en esta área trata de buscar oportunidades para reducir la demanda de energía, por ejemplo, de equipos residenciales para aplicaciones de Calentamiento, Ventilación y Aire Acondicionado, HVAC. El componente principal de un equipo HVAC es el intercambiador de calor, quienes además juega un rol fundamental en una variedad de aplicaciones industriales, produciendo un impacto significativo en la eficiencia energética, costo y dimensiones del sistema de intercambio térmico. Por lo tanto, la posibilidad de contar con un intercambiador de calor más eficiente y compacto es una alternativa interesante. En este proyecto se plantea desarrollar un sistema de intercambio térmico compacto y eficiente que introduzca esponjas metálicas como elementos innovadores de intercambiador del calor. La solución que se desea investigar mediante el proyecto es la de aumentar la superficie de transferencia térmica con materiales celulares espumas metálicas de celda abiertas o esponjas metálicas (open cell metal foam o metal sponge, en inglés). El propósito es brindar una alternativa a los sistemas de intercambio térmico que usan las aletas a forma de láminas, de más compleja manufactura, y que requieren inversiones importantes en su mantenimiento. Se valora, además, la posibilidad de incorporar en las esponjas mecanismos de transferencia de calor usando efectos magnetocalóricos, que representan soluciones muy novedosas, pero aún poco investigadas. En este último caso, debido a la complejidad del tema y al proceso previo de estudio, el desarrollo de la investigación se realiza con el apoyo de un trabajo de Doctorado en Ingeniería, con una dedicación específica al tema del intercambio térmico con efectos magnetocalóricos. En el proyecto se usan dos métodos

efectivos para evaluar los dispositivos de intercambio térmico, el trabajo experimental y modernas técnicas computacionales, apoyadas con enfoques que involucran competencias analíticas avanzadas (Big Data), simulación avanzada y modelado virtual de componentes, automatización, entre otros, temas integrados bajo el concepto de INDUSTRIA 4.0. Para los experimentos, se diseña y se construye el sistema del flujo al intercambiador, con accesorios e instrumentos para la adquisición de datos. Además, se diseña y se fabrica el componente principal del intercambiador, seleccionando esponjas metálicas y otros materiales. Se planifican los experimentos y se evalúa el desempeño térmico del sistema. Con los primeros resultados, se prevé hacer ajustes al intercambiador para su configuración final y con la ayuda además del concepto de Digital Twins se considera estudiar en un entorno virtual el comportamiento físico real del componente. Para el trabajo de modelación y simulación se investigan los modelos computacionales de energía y flujo. Se usa software computacional (CAE) de última generación como Comsol Multiphysics, Ansys, y Matlab para el modelo del dispositivo de intercambio térmico y se simula el intercambiador del banco experimental con el propósito de validar los resultados computacionales. Mejorado el modelo, este se usa para simular otros casos de interés, evaluando el intercambiador en distintas condiciones que permitan establecer su eficiencia en términos más generales.

**Palabras clave:** esponjas metálicas, intercambiador de calor compacto, ensayos no destructivos, métodos computacionales y experimentales.

## Abstract

The consumption of energy in the world grows continuously. The investigation in this area looks for opportunities to reduce the demand of energy, for example, of residential equipment for applications of Heating, Ventilation and Air Conditioning, HVAC. The main component of an HVAC equipment is the heat exchanger, which also plays a fundamental role in a variety of industrial applications and has a significant impact on energy efficiency, cost and dimensions of the thermal system. Therefore, the possibility of having a more efficient and compact heat exchanger is an interesting alternative. This project aims to develop a compact and efficient thermal exchange system that introduces metal sponges as innovative elements of the heat transfer. The solution investigated by the project is to increase the thermal transfer surface by using cellular materials (open cell metal foams or metal sponges). The purpose is to offer an alternative to the systems of thermal exchange using fins to form sheets, which needs more complex manufacture and important investments in their maintenance. It is also valued the possibility of incorporating heat transfer mechanisms in the sponges using magnetocaloric effects, which represent very novel solutions, but still little investigated. In the latter case, the development of the research is accomplished through a work of a Doctorate in Engineering, due to the complexity of the subject and study, needing a specific dedication. The project uses two effective methods to evaluate thermal exchange devices, experimental work and modern computational techniques, supported by adequate methods for the design of experiments and data analysis. We use traditional statistical techniques with Minitab and BigData methodologies with R program. For the experiments, the flow system to the exchanger is designed and

constructed using accessories and instruments for data acquisition. In addition, the main component of the exchanger is designed and constructed selecting metal sponges and other materials. The experiments are planned and the thermal performance of the system is then evaluated. By analysing the first results, adjustments are made to the exchanger for its final configuration. For the modeling and simulation work, energy and flow computational models are investigated. New-generation computer software (CAE) is used, such as Comsol Multiphysics, Ansys, and Matlab for modelling and simulating the experimental thermal exchange device and to validate the computational results. Improved the model, this is used to simulate other cases of interest, evaluating the exchanger under different conditions to establish its efficiency in more general terms.

**Keywords:** metal sponge, compact heat exchanger, no destructive testing, computational and experimental methods

## **PROYECTO 4: Diseño de un modelo de decisión para la organización de los recursos según la disponibilidad de estos, mediante la simulación de eventos discretos. Aplicación en el servicio de consulta externa del Hospital San Carlos**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnología, Ciencias Médicas y de la Salud

**Sub área:** Computación y Ciencias de la Información, Otras Ingenierías y Tecnologías, Ingeniería Médica, Ingeniería Clínica

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería en Producción Industrial

Participante Escuela de Ingeniería en Computación, San Carlos

**Investigador Coordinador:** Ing. Felix Badilla Murillo

Contacto: [fbadilla@tec.ac.cr](mailto:fbadilla@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Las listas de espera para recibir una atención médica dentro de los sistemas de seguridad social no es un problema exclusivo para Costa Rica. Canadá, Inglaterra, España, Nueva Zelanda y Australia son pioneros en la generación de publicaciones relacionadas con el tema y sobre la situación que enfrentan cada uno de estos países. Las listas de espera responden claramente a una diferencia entre la tasa de servicio y la tasa de llegada, donde la segunda resulta mayor.

Los modelos de simulación de eventos discretos son una herramienta de gran ayuda para apoyar el proceso de toma de decisiones porque permiten tener una representación del sistema real, en el que es capaz realizar cambios en las variables y elementos más representativos para estimar el comportamiento que tendrán variables de respuesta de interés, en este caso particular se desea analizar el comportamiento de la lista de espera de un servicio de consulta externa en un hospital de consulta externa al realizar diferentes escenarios.

**Palabras clave:** Simulación Industrial, Ingeniería de procesos, Ingeniería Industrial, Consulta externa, Lean Healthcare

## **Abstract**

Waiting lists to receive medical care within social security systems is not an exclusive problem for Costa Rica. Canada, England, Spain, New Zealand and Australia are pioneers in the generation of publications related to the topic and the situation facing each of these countries. The waiting lists responded to a difference between the service rate and the arrival rate, where the second is higher.

Simulation models of discrete events are a great help to support the decision-making process, because they allow to have a representation of the real system, in which it is able to make changes in the most representative variables and elements to estimate the behavior that affect response variables of interest, in this particular case we want to analyze the behavior of the waiting list of an external consultation service in an external consultation hospital when performing different calculations.

**Keywords:** simulation, healthcare, process, industrial engineering, patient's attention.

## PROYECTO 5: Identificación de fallas en instalaciones solares fotovoltaicas

### Periodo de ejecución:

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ciencias Naturales y Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Ingeniería Eléctrica, Electrónica e Ingeniería de la Información

### Escuelas participantes:

Proponente Ingeniería en Electrónica

Participante Ingeniería en Computación

Participante Física

Participante Ingeniería Electromecánica

**Investigador Coordinador:** Dr. Carlos Meza Benavidez

Contacto: [cmeza@tec.ac.cr](mailto:cmeza@tec.ac.cr)

## Resumen

La sociedad e industria de hoy en día se encuentra en la búsqueda continua de reducción de costos de vida y de producción, con las exigencias de utilizar prácticas amigables con el ambiente para contribuir al compromiso actual del TEC, el país y el mundo en el marco del Desarrollo Sostenible. Afortunadamente, la tecnología de generación fotovoltaica (FV) logra aportar en estos aspectos, implicando que cada día existan más instalaciones de generación con mayor número de paneles solares; aspecto en el cual el TEC se ha unido de forma destacada. El aprovechamiento de todo sistema de generación eléctrico depende de su rendimiento, el cual es máximo bajo condiciones de funcionamiento óptimo; esto ha implicado un incremento día a día de las prácticas de mantenimiento que atienden las problemáticas que surgen de forma indeseada. Debido a esto se ha desarrollado amplia investigación para la detección de condiciones subóptimas en sistemas FV, llevando a la existencia de una gama de técnicas de detección de fallas en paneles solares. Cada método cuenta con sus capacidades y limitaciones, implicando que las instalaciones FV deban saber cómo seleccionar y usar una o varias técnicas en sus planes de mantenimiento. El proyecto pretende específicamente explorar tres de los métodos de identificación de fallas más utilizados: inspección visual, termografía infrarroja y análisis de variables eléctricas, para compararlas entre sí y aportar conocimiento científico para la selección de cada una. Adicionalmente, sabiendo que son distintas, se implementará un nuevo método que las combine para lograr el máximo aprovechamiento de las tres. Para esto la investigación pretende desarrollar un experimento que aproveche tecnología e infraestructura que tiene el TEC, como lo son: una gran instalación FV en

funcionamiento con características para investigación, vehículos no tripulados (drones), sistemas de instrumentación meteorológica, entre otros.

**Palabras clave:** Sistemas fotovoltaicos, identificación de fallas, termografía, inspección visual, análisis de variables eléctricas

## **Abstract**

The society and industry of today is in the continuous search of reduction of life and production costs, with the demands of using environmentally friendly practices to contribute to the current commitment of the TEC, the country and the world in the framework of Sustainable Development. Fortunately, photovoltaic (PV) generation technology manages to contribute in these aspects, implying that there are more and more generation facilities with a greater number of solar panels; aspect in which the TEC has joined prominently. The use of the entire power generation system depends on its performance, which is maximum under optimal operating conditions; This has implied a one-day increase in maintenance practices that address the problems that arise undesirably. Due to this, extensive research has been developed for the detection of suboptimal conditions in PV systems, problems with the existence of a range of solar panel fault detection techniques. Each method has its capabilities and limitations, implying that PV installations must know how to select and use one or more techniques in their maintenance plans. The project specifically aims to explore three of the most commonly used fault identification methods: visual inspection, infrared thermography and analysis of electrical variables, to compare them with each other and provide scientific knowledge for the selection of each

one. In addition, knowing that they are different, a new method will be implemented that combines to achieve maximum use of the three. For this, the research aims to develop an experiment that takes advantage of the technology and infrastructure that TEC has, such as: a large PV installation in operation with characteristics for research, unmanned vehicles (drones), meteorological instrumentation systems, among others

**Keywords:** Photovoltaic systems, fault identification, thermography, visual inspection, analysis of electrical variables

## **PROYECTO 6: Sistema robotizado semiautomático para limpieza de cielorrasos metálicos en industria y matrices de paneles fotovoltaicos**

### **Periodo de ejecución:**

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Ingeniería Eléctrica, Electrónica e Ingeniería de la Información

### **Escuelas participantes:**

Proponente Ingeniería en Electrónica

Participante Ingeniería Electromecánica

**Investigador Coordinador:** Dr. Carlos Meza Benavidez

Contacto: [cmeza@tec.ac.cr](mailto:cmeza@tec.ac.cr)

### **Resumen**

Las actividades de limpieza son monótonas y costosas pero fundamentales para cumplir con normas de sanidad o para asegurar el funcionamiento óptimo de los sistemas. Si el elemento que se requiere limpiar se encuentra a gran altura o en sitios de difícil acceso representa un riesgo importante para un operario humano. Éste es el caso de los cielorrasos metálicos de las industrias alimentarias y el conjunto de paneles de una instalación solar. Estos sistemas se encuentran a alturas elevadas y tienen propiedades comunes como que contienen estructuras metálicas y conforman áreas rectangulares. La presente propuesta plantea el desarrollo de un sistema robotizado semiautomático que tiene como objetivo reducir los costos y los riesgos asociados a la limpieza de cielorrasos metálicos y matrices de paneles solares fotovoltaicos. El proyecto se desarrollará en conjunto con la empresa Ecohemia quién estará cubriendo la totalidad de los gastos operativos del proyecto. Robos de limpieza, fotovoltaico, industria alimentaria

### **Abstract**

Cleaning activities are monotonous and expensive but essential to comply with sanitation standards or to ensure optimal operation of systems. If the element that needs to be cleaned is located at high altitude, it represents an important risk for a human operator. This is the case of metal ceilings of food industries and arrays of panels of a photovoltaic installation. These systems have several common properties such as containing metal structures and forming rectangular areas. This

proposal proposes the development of a semi-automated robotic system that aims to reduce the costs and risks associated with the cleaning of metal ceilings and arrays of photovoltaic panels. The project will be developed jointly with the company Ecolhemia who will be covering all the operational expenses of the project Cleaning Robot, Photovoltaic, Food Industry

## **PROYECTO 7: Estudio de matrices extracelulares conductoras (MECC) para el crecimiento de células in vitro**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ciencias Médicas y de la Salud

**Sub área:** Biotecnología de la salud

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería Electrónica

Participante Escuela de Biología

**Investigador Coordinador:** Dr. Juan José Montero Rodríguez

Contacto: [jjmontero@tec.ac.cr](mailto:jjmontero@tec.ac.cr)

## **Resumen**

En este proyecto se pretende estudiar el efecto de una matriz porosa, producida en condiciones supercríticas a la cual se le ha agregado un polímero conductor de la electricidad en estudios in vitro. Esta matriz conductora podría funcionar como una matriz extracelular para el crecimiento de tejido biológico. Los resultados obtenidos permitirían mejorar las metodologías de crecimiento de tejido biológico, tales como mioblastos de músculo esquelético o células neuronales, lo cual traería beneficios a la salud pública. La inyección de células suspendidas en un medio apropiado, ha constituido por excelencia una de las mejores maneras de realizar terapia celular en las zonas dañadas. El crecimiento celular requiere de matrices extracelulares (MEC) que simulen las condiciones naturales de crecimiento. La matriz extracelular desempeña un papel importante en la morfogénesis de tejidos y órganos, el mantenimiento de la estructura y función de las células y los tejidos, además de afectar la respuesta del huésped ante diversos estímulos. Existen tejidos que requieren estimulación eléctrica, tales como células nerviosas y músculo esqueléticas. Dado lo anterior es que la ingeniería de tejidos busca por medio de andamios recubiertos de células funcionales mejorar la regeneración muscular. Al proveer un soporte, así como el adecuado estímulo eléctrico, no sólo se genera una ubicación más controlada de las células, sino que también provee el microambiente adecuado para que se dé una acción sinérgica entre señales biofísicas y biomecánicas que mimetizan tanto in vivo como in vitro el nicho de las células musculares, lo cual permite su expansión y posterior regeneración normal. En este trabajo se pretende estudiar la viabilidad de una matriz porosa constituida por un polímero conductor electro-estimulable, en el

crecimiento y diferenciación de tejido muscular. La evaluación del crecimiento celular se caracterizará con técnicas de última tecnología, que permiten la evaluación en 3D del desarrollo celular en dichos andamios, esto permitirá comprender las características óptimas de los andamios que propicien que dicho crecimiento produzca tejidos diferenciados y tener una noción de los mecanismos que participan en el crecimiento, fijación y diferenciación celular.

**Palabras clave:** Matriz extracelular, polímero, señales eléctricas, diferenciación celular, electro-estimulación

## **Abstract**

This proposal is intended to study the effect of a conductive porous matrix, produced under supercritical conditions, as an electrically conductive polymer in vitro studies. This conductive matrix could function as an extracellular matrix for the growth of biological tissue. The in vitro results would allow improving the methodologies of growth of biological tissue, such as skeletal muscle myoblast or neuronal cells, which would bring benefits to the public health. An Injection of suspended cells into an appropriate medium has been one of the best ways to perform cell therapy in damaged areas. Cell growth requires extracellular matrices (ECMs) that simulate natural growth conditions. The extracellular matrix plays an important role in the morphogenesis of tissues and organs, maintenance of the structure and function of cells and tissues, as well as affect the host response to various stimuli. There are tissues that require electrical stimulation, such as nerve cells and skeletal muscle. Given the above is that tissue engineering seeks through

scaffolds coated with functional cells to improve muscle regeneration. Providing a support, as well as adequate electrical stimulation, not only generates a more controlled location of the cells, but also provides the appropriate microenvironment for a synergistic action between biophysical and biomechanical signals that mimic both in vivo and in vivo vitro the niche of the muscular cells, which allows its expansion and subsequent normal regeneration. In this work we intend to study the viability of a porous matrix constituted by an electro-stimulable conductive polymer, in the growth and differentiation of muscle tissue. The evaluation of cellular growth will be characterized by techniques of the latest technology, which allow the 3D evaluation of the cellular development in these scaffolds, this will allow to understand the optimal characteristics of the scaffolds that propitiate that this growth produces differentiated tissues and to have a notion of the mechanisms that participate in cell growth, fixation and differentiation.

**Keywords:** Extracellular matrix, polymer, electrical signals, Cellular differentiation, electro-stimulation

## **PROYECTO 8: Metodología para el reconocimiento automático de patrones del Pensamiento Computacional en estudiantes de la educación general básica para mejorar los procesos de gestión**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ciencias Naturales

**Sub área:** Computación y Ciencias de la Información

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería en Computación

Participante Escuela de Matemática

Participante Área Académica de Ingeniería en Computadores

**Investigador Coordinador:** Ing. Liliana Sancho Chavarría, MSc.

Contacto: [lsancho@tec.ac.cr](mailto:lsancho@tec.ac.cr)

## **Resumen**

El desarrollo del Pensamiento Computacional es indispensable para mejorar las condiciones sociales y de empleabilidad de las personas. Este tipo de pensamiento incentiva el uso de la abstracción, planificación, la descomposición de los problemas en las partes que los constituyen, el aprendizaje de habilidades para la especificación, análisis y la solución de problemas. Además de contribuir con la formación del pensamiento crítico, la creatividad y la cooperación entre los alumnos. Sin embargo, en la actualidad no se cuentan con metodologías robustas y escalables que permitan estudiar las enormes bases de código fuente existentes, producto de ejercicios, exámenes y tareas para reconocer los patrones de aprendizaje predominantes y determinar el cumplimiento de objetivos, competencias y metas planteadas. Como consecuencia, se requiere efectuar el análisis exhaustivo de habilidades, conocimientos, resultados y niveles de aprendizaje de alumnos para identificar los puntos de mejora de los objetivos de aprendizaje, planes de estudio, ejercicios y el desarrollo de las habilidades de los estudiantes. Como consecuencia, esta investigación tiene por fin definir una metodología de análisis avanzado del código fuente generado por los estudiantes con el fin de correlacionar los objetivos de aprendizaje con las habilidades de Pensamiento Computacional desarrolladas los alumnos de forma automática.

**Palabras clave:** Análisis avanzado de código, gestión educativa, evaluación de la formación, metodología escalable

## **Abstract**

The development of Computational Thinking is essential to improve the social conditions and employability of people. This type of thinking encourages the use of abstraction, planning, the decomposition of problems in the parts that constitute them, the learning of skills for specification, analysis and problem-solving. In addition, it contributes to the formation of critical thinking, creativity, and cooperation among students. However, there are no robust and scalable methodologies to study the enormous codebases that are produced by the solution of exercises, exams, and projects to recognize the predominant learning patterns and determine the fulfillment of objectives, the level of competencies achieved, and the goals accomplished. Consequently, it is necessary to carry out an exhaustive analysis of skills, knowledge, results, and levels of the performance of students to identify points of improvement to accomplish the learning objectives and amend the curricula and exercises. Therefore, this research aims to define a methodology of advanced and automatic source code analysis using as a basis the code generated by the students in order to correlate the learning objectives with the Computational Thinking skills developed by the students.

**Keywords:** Advanced code analysis, educational management, training evaluation, scalable methodology

## **PROYECTO 9: Modelo de predicción de la pobreza en Costa Rica: Una herramienta para los programas de asistencia social**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ciencias Naturales

**Sub área:** Computación y Ciencias de la Información

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Administración de Empresas

**Investigador Coordinador:** Dr. Martín Solís Salazar

Contacto: [marsolis@tec.ac.cr](mailto:marsolis@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Los programas de asistencia social orientados a combatir la pobreza requieren de un método para definir quiénes son los beneficiarios. El método debe ser capaz de identificar a las personas en condiciones de pobreza e incluso discriminar entre quienes se encuentran en situaciones de mayor pobreza o vulnerabilidad, ya que generalmente los recursos son limitados. Uno de los métodos más utilizados por organismos internacionales y organizaciones gubernamentales es el Proxy Mean Test (PMT). Este test intenta predecir la pobreza mediante una ecuación que se construye con un número pequeño de variables de las encuestas de hogares. Varios estudios llevados a cabo en diferentes países han demostrado que el Proxy Mean Test incluyó cantidades significativas de hogares no pobres como beneficiarios de programas sociales y a la vez excluyó otros que se encuentran en condiciones de pobreza (i.e Lucia, 2014; Kidd y Wyldi, 2011). Incluso hay un estudio realizado en Costa Rica (Delgado, 2017), donde se demuestra que el PMT pudo haber ocasionado errores de inclusión de 29% en el programa Avancemos y 21% en el programa de bienestar familiar del IMAS. Por esta razón en la presente investigación se propone generar un método para predecir el grado de pobreza de los hogares utilizando algoritmos de aprendizaje de máquina. Para entrenar y evaluar los algoritmos propuestos se usarán datos de la encuesta de hogares de propósitos múltiples que se realiza todos los años en Costa Rica por parte del Instituto Nacional de Estadística y Censos. Esta investigación podría contribuir a que se asignen de mejor manera los recursos destinadas a la atención de la pobreza, y mejorar así la efectividad de los programas sociales. Además, también podría ser de utilidad a organismos

internacionales como el Banco Mundial que hoy en día aún utilizan el PMT para identificar a hogares en condiciones vulnerables.

**Palabras clave:** pobreza, Proxy Mean Test, aprendizaje de máquina

## **Abstract**

Social assistance programs aimed at combating poverty require a method to define the beneficiaries. The method must be able to identify people in conditions of poverty and even discriminate between those who are in situations of greater poverty or vulnerability since resources are generally limited. One of the most used methods by international organizations and government organizations is the Proxy Mean Test (PMT). This test attempts to predict poverty through an equation that is constructed with a small number of variables from household surveys. Several studies carried out in different countries have shown that the Proxy Mean Test included significant amounts of non-poor households as beneficiaries of social programs and at the same time excluded others that are in poverty (ie Lucia, 2014; Kidd and Wyldi, 2011). There is even a study conducted in Costa Rica (Delgado, 2017), which shows that the PMT may have caused errors of inclusion of 29% in the Advance program and 21% in the IMAS family welfare program. For this reason, in the present investigation, it is proposed to generate a method to predict the degree of household poverty using machine learning algorithms. To train and evaluate the algorithms, the multi-purpose household survey that is carried out every year in Costa Rica by the National Institute of Statistics and Censuses

will be used. This research could contribute to a better allocation of resources destined to the attention of poverty, and thus improve the effectiveness of social programs. In addition, it could also be useful to international organizations such as the World Bank that today still use the PMT to identify households in vulnerable conditions.

**Keywords:** poverty, Proxy Mean Test, machine learning,

## **PROYECTO 10: Elaboración de un instrumento para la estimación del nivel de competencias de comportamiento en los desarrolladores de software y gerentes de proyectos del sector de tecnologías digitales en Costa Rica.**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de abril del 2020 al 01 de abril del 2022

**Área:** Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnología, Ciencias Sociales

**Sub área:** Computación y Ciencias de la Información, Otras Ingenierías y Tecnologías, Economía y Negocios

### **Escuelas participantes:**

Proponente Administración de Empresas

Participante Carrera Administración de Tecnología de la Información

**Investigador Coordinador:** Dra. Grettel Brenes Leiva

Contacto: [gbrenes@tec.ac.cr](mailto:gbrenes@tec.ac.cr)

## **Resumen**

El uso de la tecnología digital genera un cambio trascendental que impone nuevas exigencias a toda la sociedad, en especial, para aquellos perfiles de puestos que se relacionan de manera directa con el uso de las tecnologías digitales (TD), porque son las personas y no solo la tecnología, quienes transforman las organizaciones. De ahí, surge la necesidad de asegurarse de que esta fuerza de trabajo tenga o desarrolle un conjunto de competencias de comportamiento que los preparen para desempeñar sus puestos eficientemente. La literatura, presenta la existencia de marcos generales de competencias digitales especialmente en la Unión Europea, que por su naturaleza son referencias de carácter general y amplios, orientados principalmente al sector de la educación y la administración pública. No obstante, el alcance de estos marcos de referencia no llega a la construcción de instrumentos para estimar el nivel de las competencias digitales ni de comportamiento en los colaboradores de sectores o contextos específicos, como es el de tecnología digitales, que se pretende alcanzar en esta investigación. Ante este vacío, la literatura llama a los estudiosos a realizar instrumentos en esta línea de investigación, que permitan realizar estimaciones de la existencia y el nivel de las competencias digitales y de comportamiento, en los diferentes grupos laborales. Se investigó a nivel de Costa Rica, para comprobar si se había elaborado este tipo de instrumentos en el sector de las empresas de tecnología digitales y no se encontró evidencia alguna a nivel nacional. Es por esta razón, que esta propuesta está orientada a elaborar un instrumento para la estimación del nivel de competencias de comportamiento (conocidas comúnmente como habilidades blandas) en los colaboradores

del sector de tecnologías digitales de Costa Rica, que permita identificar y medir las competencias de comportamiento, específicamente para dos grupos fundamentales de colaboradores del sector TD: los desarrolladores de software, considerados de primera línea que atienden los servicios o productos que solicitan las organizaciones, y el otro grupo, es el de los gerentes de proyectos que tienen a cargo el personal ya citado. Para alcanzar los objetivos de esta propuesta se utilizará un enfoque mixto de investigación. En la primera fase, se hará un estudio preliminar exploratorio para detectar cuáles son las competencias consideradas como las más importantes por expertos de este sector. A partir de la información recopilada, se procede con la segunda fase cuantitativa que consiste en determinar la confiabilidad y la validez del instrumento propuesto.

**Palabras clave:** competencias, competencias de comportamiento, instrumento de medida, sector TI, gestión de talento humano.

## **Abstract**

The use of digital technology generates changes that imposes new demands on society as a whole, especially for those job profiles that are directly related to the use of digital technologies (TD), because it is people and not just technology that transform organizations. Hence, there is a need to ensure that this workforce has or develops a set of behavioral competencies that prepare them to perform their jobs efficiently. The literature presents the existence of general frameworks of digital competences especially in the European Union, which by their

nature are general and broad references, oriented mainly to the education sector and public administration. However, the scope of these reference frameworks does not extend to the construction of tools for estimating the level of digital competences or behavior in collaborators in specific sectors or contexts, such as digital technology, which this research aims to achieve. Faced with this void, the literature calls on scholars to develop instruments in this line of research that allow for estimates of the existence and level of digital and behavioral competencies in different work groups. Research was carried out in Costa Rica to verify whether this type of instrument had been developed in the sector of digital technology companies and no evidence was found at the national level. It is for this reason; this proposal is oriented to elaborate an instrument for the estimation of the level of behavioral competencies (commonly known as soft skills) in the collaborators of the digital information technologies sector of Costa Rica. This instrument will allow people to identify and measure the behavioral competencies, specifically for two fundamental groups of collaborators of the TD sector such as the software developers, considered the first line that attend the services or products that the organizations request, and the other group, is the one of the project managers in charge of the already mentioned personnel. A mixed research approach will be used to achieve the objectives of this proposal. In the first phase, an exploratory study will be carried out to detect which competencies the experts, in this sector, consider the most important. Based on the information gathered, the second quantitative phase consists of determining the reliability and validity of the proposed instrument.

**Keywords:** competences, behavioral competences, measuring instrument, IT sector, human talent management

## **PROYECTO 11: Impactos e impulsores de la herbivoría de insectos en el ciclo de nutrientes en los bosques a nivel mundial**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de junio del 2020 al 30 de junio del 2021

**Área:** Ciencias Naturales

**Sub área:** Ciencias de la Tierra y del Ambiente

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería Forestal

**Investigador Coordinador:** Ing. María Rodríguez Solís, M.Sc.

Contacto: [maria.rodriguez@tec.ac.cr](mailto:maria.rodriguez@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Un grupo de investigación de ecología forestal de la Universidad de Lun invita al Tec a ser parte de un proyecto global que estudia el impacto y factores de control de los insectos herbívoros en la biomasa y el almacenamiento de carbono. La función del TEC es establecer y monitorear un ensayo en un Bosque Seco Tropical para generar información que caracterice la herbivoría mensual de un ecosistema prístino. En otros países se estudia el efecto en bosques secundarios, paisajes agrícolas y gradientes altitudinales y latitudinales. Los costos de monitoreo de campo y análisis de laboratorio serán aportados por la Universidad de Lun, Suecia, incluyendo un asistente de campo y un estudiante asistente de laboratorio. Los investigadores solo requieren supervisar y realizar 4 visitas de campo, y por lo sencillo del ensayo y supervisión no se requiere de horas investigador. Este estudio tiene un gran impacto científico y para el TEC es una gran oportunidad de aprovechar su experiencia en ese campo y ser parte de este proyecto. En los anexos se incluye una traducción de una versión abreviada del proyecto y los protocolos de campo (Anexos A, B, C). La justificación de este estudio global se debe que los modelos actuales de los impactos del cambio climático no consideran los efectos de los insectos herbívoros, fundamentales para la estructura y función del ecosistema forestal. Siempre se tratan como constantes, se incluyen como un factor de perturbación o simplemente se ignoran. Aunque se sabe que los insectos herbívoros son el grupo más diverso y abundante en especies, el impacto de los insectos en los ecosistemas forestales es en gran parte desconocido. El proyecto propuesto utilizará un nuevo enfoque interdisciplinario y pionero para proporcionar la información más completa disponible hasta la fecha de las

tasas, los factores subyacentes y los impactos finales de los aportes de nutrientes clave de los herbívoros invertebrados en los ecosistemas forestales de todo el mundo. Específicamente, se propone: (1) Establecer una red global de parcelas de monitoreo de herbivoría de insectos en los principales tipos de bosques naturales y en gradientes ambientales naturales clave (temperatura, lluvia, desarrollo de ecosistemas), así como sitios perturbados por humanos (tala, incendios, sequías, CO<sub>2</sub>), para monitorear las influencias naturales y antropogénicas en el ciclo de herbivoría y nutrientes en el contexto del cambio climático. (2) Realizar experimentos de campo y laboratorio para examinar los efectos de las excretas de herbívoros en los procesos del suelo bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad. (3) Integrar esta información en un modelo de ecosistema de vanguardia, para generar predicciones más precisas sobre el secuestro de carbono forestal bajo el cambio climático futuro. La red establecida formará la base para un esfuerzo único de monitoreo global a largo plazo. El proyecto representa una combinación de varias disciplinas para proporcionar ideas fundamentalmente novedosas en un área de importancia urgente para la sociedad como lo es el cambio climático. En el caso del TEC solo se concentrará en establecer un ensayo de herbivoría en un bosque seco muy poco alterado en el Parque Nacional de Sana Rosa por un periodo de un año siguiendo los mismos protocolos de otras regiones.

**Palabras clave:** BOSQUE SECO TROPICAL, RECICLAJE DE NUTRIENTES, COSTA RICA, HERBIVORÍA, HOJARASCA

## **Abstract**

A forest ecology research group from the University of Lun (Sweden) invites Tec to be part of a global research project that studies the impact and control factors of herbivorous insects on biomass and carbon storage. TEC's role is to establish and monitor a trial in a Tropical Dry Forest to generate information that characterizes the monthly herbivory of a pristine forest ecosystem. In other countries the Swedish group studies the effect of secondary forests, agricultural landscapes, elevational and latitudinal gradients. Field monitoring and laboratory analysis costs will be contributed by the University of Lun, Sweden, including materials, travel expenses, a field assistant and a student laboratory assistant. The researchers only need to supervise and carry out 4 field visits, and for the simplicity of the trial and supervision. This proposal therefore does not require or request neither a budget nor investigator hours. The study has a great scientific impact and for the TEC it is a great opportunity to take advantage of their experience in that field of study and be part of this project. The annexes include a translation of an abbreviated version of the project and the field protocols. Current models of the impacts of climate change do not consider the effects of herbivorous insects, fundamental for the structure and function of the forest ecosystem. They are always treated as constants, included as a disturbance factor, or simply ignored. Although herbivorous insects are known to be the most diverse and abundant group of species, the impact of insects on forest ecosystems is largely unknown. The proposed project will use a pioneering new interdisciplinary approach to provide the most comprehensive information available to date on the rates, underlying factors, and ultimate impacts of key nutrient inputs from invertebrate herbivores on forest

ecosystems worldwide. Specifically, it is proposed: (1) Establish a global network of insect herbivory monitoring stations in the main types of natural forests and at key natural environmental gradients (temperature, rainfall, ecosystem development), as well as human-disturbed sites (logging, fires, droughts, CO<sub>2</sub>), to monitor natural and anthropogenic influences on the herbivory and nutrient cycle in the context of climate change. (2) Conduct field and laboratory experiments to examine the effects of herbivorous excreta on soil processes under different conditions of temperature and humidity. (3) Integrate this information into a state-of-the-art ecosystem model, to generate more accurate predictions about forest carbon sequestration under future climate change. The established network will form the basis for a single long-term global monitoring effort. The project represents a powerful combination of various disciplines to provide fundamentally novel ideas in an area of urgent importance to society such as climate change.

**Keywords:** TROPICAL DRY FOREST, NUTRIENT CYCLING, COSTA RICA, HERBIVORY, LITTER, LITTER BIOMASS, CARBON CYCLING.

## **PROYECTO 12: Impulso tecnológico a los sistemas agroforestales para la producción sostenible de fibras naturales para exportación: cultivo de abacá (*Musa textilis* Née) como alternativa versátil para productores rurales en Costa Rica**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ciencias Agronómicas

**Sub área:** Agricultura, forestería y pesca

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería Forestal

Participante Escuela de Biología

Participante Escuela de Química

Participante Escuela de Agronomía

**Investigador Coordinador:** Dr. Dagoberto Arias Aguilar

Contacto: [darias@tec.ac.cr](mailto:darias@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Costa Rica ha realizado diversos esfuerzos para reducir la deforestación, manejar y conservar los bosques, reforestar y establecer sistemas agroforestales (SAF). Ello lo ha posicionado como uno de los países latinoamericanos, que ha recuperado su cobertura forestal de manera satisfactoria. Estos esfuerzos además han promovido el desarrollo sostenible y equitativo en las zonas rurales, a fin de contribuir con la política de Cambio Climático y Carbono Neutralidad planteada por el Gobierno de nuestro país. De esta manera, pequeños y medianos productores han jugado un papel importante en este logro nacional, pues las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales son actividades que producen madera, son rentables, diversifican la producción en las fincas y prestan servicios ambientales que colaboran en la reducción del cambio climático. Asimismo, protegen la biodiversidad, el agua y generan belleza escénica (ONF, 2013) El abacá también conocido como cáñamo de Manila, produce una fibra natural que se extrae de la vaina de las hojas que rodean el tallo de la planta *Musa textilis*, pariente cercana del banano y nativa de Filipinas, que ha sido ampliamente distribuida en los trópicos húmedos. Se usa principalmente para la producción de papeles especiales y se reportan más de 300 productos a nivel mundial, siendo ampliamente conocidas las bolsas de té y filtros para café. Cada tallo debe cortarse en tiras, las cuales son raspadas en una máquina para remover la pulpa. El contenido de lignina está por encima del 15%. El abacá es valorado por su gran resistencia mecánica, siendo una de las fibras más resistentes y que no sufren deterioro al estar en agua salada. No se cuenta con la información científica, pero la fibra de Costa Rica tiene propiedades superiores y diferentes a las de Ecuador y

Filipinas, por lo que su uso está reservado para productos muy especializados. Además, se conoce que el rendimiento por unidad de área es superior en Costa Rica. Se tiene evidencia científica que el cultivo y la fibra tiene mejores características si se maneja bajo sombra. La problemática que justifica el proyecto propuesto por el TEC viene respaldada por las cartas de apoyo que apuntan hacia la falta de conocimiento científico tecnológico sobre sistemas agroforestales para la diversificación del cultivo de abacá que permita nuevos usos para darle mayor valor agregado al producto de exportación y abrir nuevos emprendimientos a nivel nacional. Interesa la producción de fibra bajo sombra en sistemas agroforestales, utilizando especies de 2 maderas valiosas, con buenas prácticas que permita alcanzar la certificación RainForest Alliance y con modalidad de producción orgánica. Actualmente hay más de 100 pequeños productores de comunidades indígenas en baja Talamanca que requieren el acompañamiento técnico de este proyecto (se adjunta un video explicativo en este link: [https://drive.google.com/open?id=1qBL\\_O47vNHTZ6ltPSofT6EzFpb6vNUXg](https://drive.google.com/open?id=1qBL_O47vNHTZ6ltPSofT6EzFpb6vNUXg))

**Palabras clave:** Musa textilis, abaca, agroforestería, fibras naturales, especies maderables, cultivo in vitro

## Abstract

Costa Rica has made various efforts to reduce deforestation, manage and conserve forests, reforest and establish agroforestry systems (AFS). This has positioned it as one of the Latin American countries that has recovered its forest cover in a

satisfactory manner. These efforts have also promoted sustainable and equitable development in rural areas, in order to contribute to the policy of Climate Change and Carbon Neutrality proposed by the Government of our country. In this way, small and medium producers have played an important role in this national achievement, since forest plantations and agroforestry systems are activities that produce wood, are profitable, diversify production on farms and provide environmental services that help reduce climate change. They also protect biodiversity, water and generate scenic beauty. Abaca, also known as Manila hemp, produces a natural fiber that is extracted from the pod of leaves surrounding the stem of the Musa textilis plant, a close relative of the banana and native to the Philippines, which has been widely distributed in the humid tropics. It is mainly used for the production of special papers and more than 300 products are reported worldwide, being widely known tea bags and coffee filters. Each stem must be cut into strips, which are scraped in a machine to remove the pulp. The lignin content is above 15%. The abaca is valued for its great mechanical strength, being one of the most resistant fibers and do not suffer deterioration by salt water. There is no scientific information, but the fiber of Costa Rica has properties superior and different to those of Ecuador and the Philippines, so its use is reserved for very specialized products. It is also known that the yield per unit area is superior in Costa Rica. There is scientific evidence that the crop and fiber have better characteristics if handled under shade. The problem that justifies the project proposed by the TEC is the lack of scientific and technological knowledge about agroforestry systems in association with the cultivation of abaca and about new uses that will give greater added value to the export product and open new ventures at the national level. The production of fiber under

shade in agroforestry systems, using valuable wood species, with good practices under RainForest Alliance certification and with organic production modality is of interest. Currently, there are more than 100 small producers from indigenous communities in Lower Talamanca who require technical support for this project.

**Keywords:** *Musa textilis*, abaca, agroforestry, natural fibers, timber species, in vitro cultivation.

## **PROYECTO 13: Implementación de tecnologías y aplicaciones de bajo costo para el estudio de la fisiología de especies arbóreas del trópico mesoamericano como herramienta para su conservación.**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ciencias Naturales

**Sub área:** Otras Ciencias Naturales

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería Forestal

Participante Escuela de Física

**Investigador Coordinador:** Dr. Dagoberto Arias Aguilar

Contacto: [darias@tec.ac.cr](mailto:darias@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Existe una reducida de estudios consideran los aspectos ecofisiológicos de las especies tropicales, debido al alto costo de la instrumentación, dificultad de adaptarse a las condiciones de los bosques tropicales y poseer metodologías complejas o limitadas a condiciones de laboratorio y con personal altamente calificado. Si se combina con que Costa Rica cuenta con más de 2000 especies arbóreas, la limitación actual de investigación es muy limitada y en ciertos aspectos subutilizada al gran recurso biológico que cuenta el país. En contra parte la evolución tecnológica de la última década ha permitido desarrollar y comercializar dispositivo, microcontroladores a un precio accesible y con una calidad de resolución que permitiría con conocimiento científico desarrollar instrumentación con la misma calidad, precisión y eficiencia de los equipos existentes en el mercado. El proyecto propuesto pretende Integrar en un dispositivo las aplicaciones de los principios ópticos y colorimétricos que ayuden a la caracterización y estudios de atributos fisiológicos de especies tropicales como herramienta para su conservación. Se pretende implementar un microscopio de papel de bajo coto, complementado con un dispositivo de uso múltiple que permita caracterizar macroscópicamente, colorimétricamente e hiperespectralmente. El desarrollo del dispositivo pretende que tenga una funcionalidad y precisión compatible con los dispositivos existentes en mercado; en el desarrollo del dispositivo se pretende la validación de cada módulo del equipo que sea complementario con el microscopio y sea operativo con muestras de madera y hojas. Estos elementos permitirán que la ecofisiología se convierta en una herramienta fundamental como criterio de identificación de especies (permite entender y cuantificar características únicas

de cada especie), para el entendimiento de los bosques, para comprender la dinámica de acumulación de carbono, conservación de agua y medio subsistencia de especies de fauna amenazada.

**Palabras clave:** Instrumentación, fisiología, anatomía, colorimetría.

### **Abstract**

There is a reduced number of studies considering the ecophysiological aspects of tropical species, due to the high cost of instrumentation, difficulty adapting to tropical forest conditions and having complex methodologies or limited to laboratory conditions and with highly qualified personnel. If it is combined with Costa Rica having more than 2000 tree species, the current research limitation is very limited and in certain aspects underutilized the great biological resource that the country has. On the other hand, the technological evolution of the last decade has allowed the development and commercialization of devices, microcontrollers and microprocessors at an accessible price and with a quality of resolution that would allow with scientific knowledge to develop instrumentation with the same quality, precision and efficiency of the existing equipment in the market. The proposed project aims to integrate in a device the applications of the optical and colorimetric principles that help the characterization and studies of physiological attributes of tropical species as a tool for their conservation. It is intended to implement a low-level paper microscope, complemented with a multiuse device that allows macroscopically and hyperspectrally characterization. The

development of the device is intended to have a functionality and accuracy compatible with existing devices in the market; in the development of the device, the validation of each module of the equipment that is complementary to the microscope and is operative with samples of wood and leaves is intended. These elements will allow ecophysiology to become a fundamental tool as a criterion for the identification of species (allows understanding and quantifying unique characteristics of each species), for the understanding of forests, to understand the dynamics of carbon accumulation, water conservation and medium subsistence of threatened fauna species.

**Keywords:** Instrumentation, physiology, anatomy, colorimetry.

## **PROYECTO 14: Dinámica de la cobertura forestal y humedales de Costa Rica: bases de datos 1960/45 para la comprensión de los procesos de restauración y deterioro de los servicios ecosistémicos**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ciencias Naturales

**Sub área:** Ciencias de la Tierra y del Ambiente

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería Forestal

**Investigador Coordinador:** Ing. Dorian Carvajal Vanegas

Contacto: [dcarvajal@tec.ac.cr](mailto:dcarvajal@tec.ac.cr)

## **Resumen**

El análisis de tendencias de cambio de la cobertura forestal se ve matizado por procesos de deforestación y de recuperación. Costa Rica ha pasado por diferentes etapas, hasta finales de 1990 predominó los procesos de deforestación y luego ha seguido una etapa de procesos recuperación de la cobertura forestal como resultado de cambios en la política, la economía y las leyes. Entender estas dinámicas de cambio de cobertura, permite evaluar el impacto de las estrategias de conservación y de desarrollo del país, permitiendo a los decisores acceder a una información científica que les faculte una mejor toma de decisiones. Los programas de pago de servicios ambientales, la red de áreas de conservación y corredores biológicos, y la planificación del uso de los recursos, requieren de una acertada clasificación del uso de la tierra y de la cobertura forestal, para lograr una mejor planificación y evaluación de sus programas. Por eso desde 1986, se ha logrado levantar una información de capas con niveles de resolución muy aceptables (3 ha unidad de mapeo). Entre 1972 y 1985 se generó algunas capas de cobertura y uso de la tierra, pero con un nivel de resolución poco aceptable (+60 ha unidad de mapeo). Estas diferencias se deben a las diferentes resoluciones de las imágenes que generaban los distintos satélites disponibles desde 1972. Antes de 1970 las estimaciones de cobertura forestal son verdaderamente imprecisas, dado que fueron realizadas con fuentes de información no verificables. Para lograr una base de datos completa, se requiere de una línea base con la cual se pueda comparar los cambios al delimitar las coberturas originales del país. Esta línea base se puede construir digitalizando las hojas cartográficas de los años 1960 y 1945, que cuentan con una delineación de la cobertura forestal por

interpretación de fotografías áreas de esos años. Esta base nunca ha sido disponible en formato digital y es un desperdicio de información que en esta propuesta proponemos corregir. Esta base será un gran aporte para el análisis científico de los cambios de diferentes ecosistemas, bosques y humedales, durante el tiempo, dado que se constituye en la mejor línea base de comparación. Esta base permitirá por ejemplo indicar la pérdida real de la extensión de manglares, humedales lacustres, permitirá evaluar la fragmentación de los bosques originales y su nivel de recuperación o pérdida, como también realizar un análisis de tendencias y los factores que han promovido tanto la deforestación como la restauración.

**Palabras clave:** Bosque, humedales, cobertura forestal, servicios ecosistémicos, digitalización.

### **Abstract**

The analysis of trends in forest cover change is nuanced by deforestation and recovery processes. Costa Rica has gone through different stages, until the late 1990s the processes of deforestation predominated, then a stage of forest cover recovery processes followed as a result of changes in policy, economy and laws. Understanding these dynamics of change of coverage, allows to assess the impact of conservation and development strategies in the country, allow decision makers to access scientific information that allows them to make better decisions. Payment programs for environmental services, the network of conservation areas and biological corridors, and resource use planning, require a proper classification of land use and forest cover, to achieve better planning and evaluation

of your programs That is why since 1986, it has been possible collect information from layers with very acceptable resolution levels (3 ha mapping unit). Between 1972 and 1985, some layers of land cover and use were generated, but with an unacceptable level of resolution (+60 ha mapping unit). These differences are due to the different resolutions of the images generated by the different satellites available since 1972. Before 1970, forest cover estimates are truly inaccurate, since they were made with unverifiable sources of information. To achieve a complete database, a baseline is required with which the changes can be compared by delimiting the country's original forest cover. This baseline can be constructed by digitizing the cartographic sheets of the 1960s and 1945s, which have a description of the forest cover by interpreting photographs of those years. This base has never been available in digital format and is a waste of information that in this proposal we propose to correct. This base will be a great contribution to the scientific analysis of the changes of different ecosystems, forests and wetlands, over time, since it constitutes the best basis for comparison. This base will allow, for example, to indicate the real loss of the mangrove extension, the wetlands, will allow to evaluate the fragmentation of the original forests and their level of recovery or loss, as well as to carry out an analysis of trends and on the factors that have promoted both deforestation and restoration.

**Keywords:** Forest, wetlands, forest cover, environmental services, digitization.

## **PROYECTO 15: Mejoramiento del paquete tecnológico de producción clonal en ambiente protegido de *Tectona grandis* y *Cordia alliodora***

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ciencias Agronómicas

**Sub área:** Agricultura, forestería y pesca

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería Forestal

Participante Escuela de Ingeniería Agrícola

Participante Ingeniería de los Materiales

**Investigador Coordinador:** Ing. Yorlery Badilla Valverde, M.Sc.

Contacto: [ybadilla@tec.ac.cr](mailto:ybadilla@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Costa Rica cuenta desde el año 2002, con la Cooperativa Mejoramiento Genético Forestal (GENFORES), que tiene como objetivo el mejoramiento de la productividad de las plantaciones forestales de la región. En todos estos años se ha logrado seleccionar, propagar, multiplicar y evaluar materiales superiores. Para la reproducción de los materiales seleccionados, se ha adaptado la técnica de propagación con miniestaquillas, basado en minijardines clonales en ambiente protegido. Cuyos principales beneficios son la uniformidad de las plantas producidas, la captura del 100% del ADN de los árboles seleccionados, un control eficiente ambiental y de las actividades de manejo del minijardín clonal. Sin embargo, al adaptarse el invernadero clonal a especies tropicales como la teca, melina y algunas nativas, se ha encontrado grandes vacíos de conocimiento. Entre ellos los más importantes se relacionan con un desconocimiento de sus necesidades nutricionales, el efecto del sustrato en el desarrollo radicular de las plantas madre, programación óptima del fertirriego, densidad óptima de siembra en los minijardines, frecuencia de cosecha, posibilidad de utilizar reguladores de crecimiento, entre otros. Los costos de producción de plantas en general, son sumamente altos y no competitivos a nivel internacional. El uso de clones se ha generalizado en el país en más de un 60% dado su impacto en la producción de madera. Existe una demanda creciente de asistencia técnica en materia de técnicas de producción de clones, no solo en el país, sino también en la región latinoamericana. El último manual técnico sobre el tema fue publicado en el 2004, basado en un paquete tecnológico de pequeña y mediana escala de producción. Mientras que la técnica sobre el tema ha evolucionado notablemente en los

últimos 10 años. Por tanto, este proyecto propone mejorar el paquete tecnológico y disminuir los costos de producción de clones a nivel comercial de las especies *Tectona grandes* (teca), la de mayor tasa de reforestación en la región tropical latinoamericana y, *Cordia alliodora* (laurel), una de las especies nativas con mayor proyección y demanda creciente en el mercado por su calidad de madera en el país. Con cuyo conocimiento se desarrollará un Manual Técnico actualizado sobre el tema que permitirá ampliar la proyección y soporte técnico al sector forestal regional.

**Palabras clave:** silvicultura clonal, teca, laurel, sustratos, ambiente protegido, absorción de nutrientes, costos de producción, fertirriego, reguladores de crecimiento,

### **Abstract**

Since year 2002, Costa Rica develops the Tree Improvement Cooperative (GENFORES) with the aim of improving plantations productivity in the región. In these years it has been possible the selection, propagation and comercial production of plus trees. Mini cuttings have been the best option of comercial reproduction, based on mini clonal gardens managment under environmental-controlled conditions. Among its benefits there are uniformity in plants production, capture of 100% of DNA from superior trees, an efficient environmental control conditions. However, when this technology was adapted to tropical tree species like teak, melina and some native species, it has been found several and important gaps of knowledge. Among others, the most important are related to nutrition needs, fertilization programs, substrate quality, clonal garden plant density, harvest

frequency, irrigation programming, etc. Production costs in our conditions are very high and non competitive internationally. Besides, clone's usage has been generalized in the country over 60% of the planted area due to its effect in wood production. A demand on technical support about this matter is growing not only in Costa Rica, but in the Latin American region. The last technical manual was published in year 2004, based on a technological package related to small and medium size producers. The techniques on this issue have been evolving rapidly and notably in the last 10 years. Therefore, this project pretends to improve the technological package of clonal production at comercial scale of *Tectona grandes* teak), the tree most planted in the Latin American tropical region and, *Cordia alliodora* (laurel), one of the most promising native trees. As part of the main products of the project, there will be an actualized technical manual, which will allow to provide technical support and projection to the forestry sector in the región.

**Keywords:** clonal forestry, teak, laurel, substrates, nutrients uptake, costs, irrigation, clonal garden, growth regulators

## **PROYECTO 16: Técnicas de silvicultura intensiva para el aumento de la productividad de plantaciones clonales de teca y melina**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ciencias Naturales, Ciencias AGronómicas

**Sub área:** Ciencias de la Tierra y del Ambiente, Agricultura, forestería y pesca

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería Forestal

**Investigador Coordinador:** Ing. Mario Guevara Bonilla, M.Sc.

Contacto: [maguevara@tec.ac.cr](mailto:maguevara@tec.ac.cr)

## **Resumen**

La ausencia de paquetes tecnológicos actualizados referentes a técnicas de silvicultura intensiva en plantaciones clonales de teca y melina es una de las serias deficiencias que presenta el sector reforestador costarricense. Con la finalidad de revertir esta situación esta propuesta de investigación pretende generar protocolos de silvicultura intensiva para el incremento de la productividad y calidad y valor económico de plantaciones clonales de teca y melina tanto para producción de madera para aserrío como para producción de tarimas. A través del método de análisis de casos se evaluará e intervendrá en plantaciones de teca y melina con problemas serios de productividad. De manera simultánea se establecerán plantaciones piloto con ambas especies, donde se aplicará todas las técnicas desarrolladas que permitan eliminar todas las barreras o limitantes de producción (preparación del suelo, drenaje, corrección de acidez, fertilización, control de maleza, espaciamiento óptimo, uso de clones de alto rendimiento, entre otros). Con base en estas experiencias de campo, se pretende mejorar los paquetes tecnológicos existentes en plantaciones clonales de teca y melina. Así también se incluirá una nueva modalidad silvicultural de producción intensiva de madera para tarimas en 30 meses, aplicando todos los conocimientos mencionados. Como parte del proyecto se determinará un nuevo modelo de costos de silvicultura intensiva para ambas especies. Esta propuesta viene a continuar los esfuerzos realizados por el grupo de silvicultura intensiva en el proyecto “Desarrollo de un programa de silvicultura intensiva para el aumento de la productividad de plantaciones forestales”, incorpora el elemento innovador de ver la respuesta específica de clones a la aplicación de enmiendas y fertilización y pretende

unificar conocimientos sobre las mejores técnicas silviculturales desarrolladas en los últimos años por la Escuela de Ingeniería Forestal, en vinculación directa con las empresas del país.

**Palabras clave:** Tectona grandis, Gmelina arborea, Costa Rica, Silvicultura intensiva

### **Abstract**

The absence of updated technological packages concerning intensive forestry techniques in clonal plantations of teak and melina is one of the serious shortcomings of the Costa Rican reforestation sector. With the purpose of reversing this situation, this research proposal aims to generate intensive forestry protocols for the increase in productivity and quality and economic value of clonal plantations of teak and melina both for timber production for sawmill and for pallet production. Through the case analysis method, teak and melina plantations with serious productivity problems will be evaluated and intervened. Simultaneously, pilot plantations with both species will be established, where all the techniques developed that will eliminate all barriers or production limitations (soil preparation, drainage, acidity correction, fertilization, weed control, optimal spacing, use of high-performance clones, among others). Based on these field experiences, it is intended to improve the existing technological packages in clonal plantations of teak and melina. This will also include a new silvicultural modality of intensive wood production for pallets in 30 months, applying all the aforementioned knowledge. As part of the project, a new intensive forestry cost model will be determined for both species. This proposal continues the efforts made by the

intensive forestry group in the project "Development of an intensive forestry program to increase the productivity of forest plantations", incorporates the innovative element of seeing the specific response of clones to the application of amendments and fertilization and intends to unify knowledge on the best silvicultural techniques developed in recent years by the School of Forest Engineering, in direct connection with companies in the country.

**Keywords:** Tectona grandis, Gmelina arborea, Costa Rica, Intensive silviculture

## **PROYECTO 17: Síntesis de madera magnética a base de nano partículas de hierro en especies forestales provenientes de plantaciones de rápido crecimiento en Costa Rica.**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ingeniería y Tecnología, Ciencias Agronómica

**Sub área:** Nanotecnología, Agricultura, forestería y pesca

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería Forestal

Participante Escuela de Física

**Investigador Coordinador:** Dr. Alexander Berrocal Jiménez

Contacto: [aberrocal@tec.ac.cr](mailto:aberrocal@tec.ac.cr)

## **Resumen**

El crecimiento en el uso de redes electrónicas inalámbricas, así como también las generados por los aparatos electrónicos, como teléfonos celulares, redes locales, Internet entre otras, ha generado que la salud y la vida de las personas esté siendo afectada cada vez más por las ondas electromagnéticas. Recientemente, múltiples investigaciones buscan el desarrollo de materiales protejan a las personas de la radiación de las ondas electromagnéticas, a los que se les conoce como materiales absorbentes de ondas electromagnéticas (MAOE). Estos materiales deben cumplir con ciertas propiedades como peso ligero, delgados y alta capacidad de absorción. Varios materiales de construcción han sido desarrollados para tal fin, uno de ellos es la madera con propiedades magnéticas. En Costa Rica este tipo de materiales modificados no se han desarrollado y tampoco se han estudiado en detalle, a pesar del potencial que tiene el país, con especial énfasis en el concepto aceptado de que las maderas de plantaciones forestales son un como un importante reservorio para el almacenamiento de carbono. El presente proyecto busca producir madera con características magnéticas, de especies de plantaciones. Para esto, se tratará la madera con nanopartículas de hierro, de esta manera se buscará dar una opción de madera magnetizada en el mercado y a su vez generar un aporte de mayores beneficios para la salud de las personas y el medio ambiente. Es por esta razón que la presente propuesta desarrolla la base de conocimiento para aplicar el proceso de magnetización a madera de *Vochysia ferruginea*, *Hieronyma alchorneoides*, *Tectona grandis*, *Vochysia guatemalensis* y *Cordia alliodora*. Como objetivos específicos se tiene: Caracterizar el proceso de magnetización en productos sólidos de madera aserrada,

tableros de partículas y tableros de madera contrachapada de cinco especies de rápido crecimiento de plantaciones forestales. Los tres productos magnetizados se caracterizarán químicamente por medio de SEM, XRD, FT-IR, TGA, EDS mapping, espectroscopia de UV y se realizarán las mediciones magnéticas por medio de un magnetómetro. Las propiedades físicas y mecánicas de los tres productos magnetizados se evaluarán con los estándares tradicionales (normas ASTM) para la madera. Palabras clave magnetismo, biomateriales, ondas electromagnéticas, tableros de madera, MAOE

## **Abstract**

The growth in the use of wireless electronic networks, as well as those generated by electronic devices, such as cell phones, local networks, Internet among others, has generated that the health and life of people is increasingly affected by electromagnetic waves. Recently, multiple investigations seek the development of materials to protect people from radiation from electromagnetic waves, which are known as electromagnetic wave absorbing materials (EWAM). These materials must meet certain properties such as light weight, thin and high absorption capacity. Several building materials have been developed for this purpose, one of them is wood with magnetic properties. In Costa Rica, these types of modified materials have not been developed and have not been studied in detail, despite the potential that the country has, with special emphasis on the accepted concept that forest plantation timber is an important reservoir for carbon storage This project seeks to produce wood with magnetic characteristics of plantation species. For this, the wood will be treated with iron

nanoparticles, in this way it will seek to give a choice of magnetized wood in the market and in turn generate a contribution of greater benefits for the health of people and the environment. It is for this reason that this proposal develops the knowledge base to apply the wood magnetization process of *Vochysia ferruginea*, *Hieronyma alchorneoides*, *Tectona grandis*, *Vochysia guatemalensis* and *Cordia alliodora*. The specific objectives are: To characterize the magnetization process in solid sawn wood products, particle boards and plywood boards of five species of fast-growing forest plantations. The three magnetized products will be chemically characterized by means of SEM, XRD, FT-IR, TGA, EDS mapping, UV spectroscopy and magnetic measurements will be performed using a magnetometer. The physical and mechanical properties of the three magnetized products will be evaluated with traditional standards (ASTM standards) for wood.

**Keywords:** magnetism, biomaterials, electromagnetic waves, wood boards, EWAM

## **PROYECTO 18: Optimización del componente forestal del programa nacional de fomento de sistemas silvopastoriles carbono-neutral**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ciencias Agronómicas

**Sub área:** Agricultura, forestería y pesca

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería Forestal

**Investigador Coordinador:** Dr. Olman Murillo Gamboa

Contacto: [omurillo@tec.ac.cr](mailto:omurillo@tec.ac.cr)

## **Resumen**

La ganadería es la actividad de mayor uso del suelo, presente en más de 1,5 millones de ha, aproximadamente un 30% del territorio (INEC 2014). La crisis de precios de la carne, la baja tecnología que emplean los ganaderos, junto con el robo de ganado, los embates del cambio climático y la debilidad de sus organizaciones gremiales, explican que sea hoy día una actividad vulnerable, asociada a pobreza y a bajo desarrollo humano. Las cosas empeoran dado que muchos no son sujetos de crédito por su condición legal o imposibilidad de pignorar sus bienes. Los sistemas silvopastoriles (SSP) han sido promovidos durante décadas y un abundante conocimiento ha sido generado. Sin embargo, no ocurrió un verdadero matrimonio como se esperaba entre el sector forestal y el sector ganadero. El proyecto abordará prioritariamente, pequeños y medianos ganaderos en todas las zonas bajas del país (0 a 1000 msnm). En un esfuerzo conjunto entre el FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal), CORFOGA (Corporación de Fomento Ganadero) y el TEC (Escuela de Ing. Forestal), se trabajará en la puesta en marcha de un programa nacional, permanente y sostenible, de conversión de fincas ganaderas en sistemas silvopastoriles carbono-neutrales. Con especial énfasis en mejorar la competitividad y la condición económica de los pequeños y medianos productores de ganado bovino, en los cantones de menor desarrollo humano del país. Estratégicamente CORFOGA ha establecido en todo el país una red de 20 Escuelas de Campo, como sitios de fomento del SSP, con lo que espera consolidar su estrategia de fomento y asistencia técnica al sector. Como parte del trabajo, el FONAFIFO buscará consolidar un modelo innovador de financiamiento (crédito + PSA) del componente forestal y

necesidades conexas del SSP. El Tec buscará optimizar el diseño del componente forestal del sistema, con el propósito de desarrollar opciones de plantación de especies maderables de alto valor comercial. Así como determinar la relación de árboles por especie para lograr un balance de carbono del SSP. Palabras clave Ganadería, silvopastoril, forestación, producción forestal, crédito rural, economía, carbon

## **Abstract**

Livestock production is the land usage activity most distributed, present in over 1.5 million ha, around 30% of the country surface (INEC 2014). Meat price crisis, low technology utilized by farmers, along with cattle theft, effects of climate change and the weakness of their organizations, explain that today it is a vulnerable activity, associated with poverty and low human development. Situation becomes worst, since most of small farmers are not subjected to credit possibilities, because of their legal condition or impossibility of using their goods to face credits. Silvopastorils systems has been promoted for decades and, an abundant amount of knowledge has been generated. However, never occurred a real marriage between forestry and livestock sectors as expected. The project will attend as a priority, small and medium farms around the country, in the lowlands of the country (0 to 1000 ovsl). In a joint effort between FONAFIFO (National Financial Forestry Found), CORFOGA (Livestock Development Corporation) and TEC (Forest Engineering School), it is going to be implemented a national permanent program for the improvement of livestock farms, to be converted into Silvopastoril Systems carbono-neutral. With special emphasis in improving competitiveness and economical situation of

small and medium cattle producers, from counties under lower human development in the country. CORFOGA strategically, has established a network of 20 Field Schools throughout the country, as capacitation sites, and expected as essential in their development strategy. As part of the strategy, FONAFIFO will develop an innovative financial model (credit + ESP) for the forestry componente of the SSP. Tec will optimize the plantation of several woody tree species in the SSP, with the purpose of developing several plantation options with highly valuable tree species. As well as determining the number of trees needed in order to achieve carbono balance in the SSP.

**Keywords:** Livestock, forestation, forest production, rural financement, forest economy, carbon

## **PROYECTO 19: Utilización de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) en la evaluación de la calidad y estado de desarrollo de plantaciones forestales**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ciencias Naturales, Ciencias Agronómicas

**Sub área:** Computación y Ciencias de la Información, Agricultura, forestería y pesca

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería Forestal

Participante Escuela de Ingeniería Agrícola

**Investigador Coordinador:** Dr. Edgar Ortiz Malavasi

Contacto: [eortiz@tec.ac.cr](mailto:eortiz@tec.ac.cr)

## **Resumen**

El monitoreo de la actividad forestal normalmente requiere del establecimiento y medición de parcelas de monitoreo, con el fin de conocer las características dasométricas básicas de calidad y estado de desarrollo de las plantaciones forestales (sanidad, número de árboles/ha, diámetro y altura de los árboles), así como del volumen comercial y la cantidad de CO<sub>2</sub> acumulado. Este monitoreo es caro, los productores con contratos de PSA deben reportarlo al FONAFIFO, y también usarlo para mejorar la productividad de las plantaciones. Los VANTs han demostrado tener gran versatilidad para realizar múltiples funciones, además con el uso de sensores de fácil adaptación y cámaras alta resolución se puede derivar información de la calidad y estado de desarrollo tanto de cultivos como plantaciones forestales. Sin embargo, para esto se de protocolos para usar los VANTs eficientemente, y de modelos que relacionen los datos tomados con los VANTs, con información de campo, así como validar su exactitud. El proyecto permitirá desarrollar protocolos para el monitoreo de plantaciones forestales que reducirán los costos de las actividades de seguimiento y evaluación de las mismas, y en segunda instancia dará paso a obtener información más precisa y detallada de la salud general de los árboles, su tamaño, y productividad. Lo anterior permitirá el desarrollo de una silvicultura de precisión orientada a incrementar la productividad de las plantaciones y la reducción de costos de producción.

**Palabras clave:** Drones, Planificación de vuelos, Traslape entre fotos, Monitoreo de plantaciones forestales

## **Abstract**

Forest plantation monitoring normally requires the establishing of permanent measurement plots (PMP) to evaluate plantation variables, such as number of trees, diameter, tree height, tree diseases, as well as plantation volume and biomass. Forest plantation monitoring is expensive, plantation farmers and FONAFIFO must report it, and use this evaluation to improve the productivity of forest plantations. The unmanned aerial vehicles (UAVs or Drones) have demonstrated to have great potential to perform multiple functions, and with the use of additional sensors, and medium to high-resolution cameras it is possible to produce information to evaluate the quality and state of development of the forest plantations as well as plantations of other crops. However, its use requires protocols to use comprehensive them, and the calibration of models to relate data taken from the UAVs with tree field data, as well as to validate these models. This project was design to develop protocols to use efficiently UVAs in forest plantation monitoring, as well as, to provide precise data of tree health, their size, and productivity. The aim is to provide data to make possible the progress of a silviculture of precision to increase forest plantation productivity and to reduce management costs.

**Keywords:** Drones, Fly planning, Photo overlaps; Forest plantation monitoring

## **PROYECTO 20: Tratamiento térmico y químico como mejora del proceso de densificación de tres maderas de plantaciones forestales**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Ingeniería de los Materiales

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería Forestal

Participante Escuela de Química

**Investigador Coordinador:** Dr. Roger Moya Roque

Contacto: [rmoya@tec.ac.cr](mailto:rmoya@tec.ac.cr)

## **Resumen**

La densificación de la madera utilizando fuerzas de compresión combinadas con temperatura y vapor de agua es llamada densificación termo-hidro-mecánica. Sin embargo, la madera densificada es sensible a la humedad y la liberación de fuerzas internas y tiende a recuperar sus dimensiones iniciales. Este fenómeno es llamado set-recovery o recuperación de dimensiones y puede ser reducido mediante la modificación térmica y química de la madera. En Costa Rica el proceso de densificación es sumamente novedoso y está siendo aplicado a especies maderables de rápido crecimiento con densidades de menos de 0,45 g/cm<sup>3</sup>. En la actualidad ya se ha trabajado en la densificación de la madera de *Alnus acuminata*, *Vochysia ferruginea* y *Vochysia guatemalensis*, sin embargo, a pesar de que se logró aumentar su densidad hasta un 80%, la madera densificada tiende a recuperar sus dimensiones iniciales al ser sometida a cambios de humedad. Por lo que este proyecto de investigación tiene como objetivo realizar una modificación térmica posterior al proceso de densificado y una modificación química con acetilación y furfuración a la madera previo al densificado. Para comprobar los tratamientos anteriores se evaluará la estabilidad dimensional de la madera mediante absorción de agua, el porcentaje y cambios en la porosidad de la madera, aumento de la dureza y los cambios en su anatomía de la madera.

**Palabras clave:** set recovery, maderas de rápido crecimiento, densidad, calor, acetilación, furfuración

## **Abstract**

The densification of wood through the use of compressive forces combined with temperature and steam is called thermo-hydro-mechanical densification. However, densified wood is sensitive to moisture and to the release of internal forces and tends to recover its initial dimensions. This phenomenon is called set-recovery, and can be reduced by thermal and chemical modification of the wood. In Costa Rica, the densification process is extremely new and is being applied to fast growing timber species with densities of less than  $0.45 \text{ g/cm}^3$ . At the present time, work has already been done on the densification of the wood of *Alnus acuminata*, *Vochysia ferruginea* and *Vochysia guatemalensis*, however, although it was possible to increase its density up to 80% the wood tends to recover its initial dimensions when subjected to changes in humidity. So, this project aims to perform a thermal modification after the densification process and a chemical modification with acetylation and furfuration prior to densification. Then densified wood will be evaluated in its dimensional stability, water absorption, the percentage and changes in the porosity of the wood, hardness and changes in its anatomy.

**Keywords:** set recovery, fast growing woods, density, heat, acetylation, furfuration.

**PROYECTO 21: COrrrosión del concreto reforzado y DEgradación de sus propiedades MECánicas (CODE\_MEC3): Etapa 3 Estudio experimental y modelación de la degradación de propiedades mecánicas del concreto reforzado por causa de la corrosión.**

**Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Ingeniería de los Materiales, otras Ingenierías y Tecnologías

**Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería en Construcción

Participante Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales

**Investigador Coordinador:** Lic. Rommel Cuevas Kauffmann

Contacto: [rcuevas@tec.ac.cr](mailto:rcuevas@tec.ac.cr)

**Resumen**

En el sector construcción, el concreto y el refuerzo metálico son materiales de mucha importancia, aunque sean muy vulnerables por los agentes atmosféricos, como en el caso de su degradación por corrosión. El estudio de la carbonatación del concreto por causa del gas CO<sub>2</sub>, que permea su matriz porosa y eventualmente fracturada, es un requisito fundamental para establecer la probabilidad de que el concreto se degrade, que el refuerzo metálico enfrente mecanismos de corrosión y para evaluar finalmente la durabilidad de la estructura civil. El grado de carbonatación del concreto puede indicar existencia de corrosión en la región de la varilla de refuerzo e indicar el nivel de degradación de las propiedades mecánicas del material y de los elementos de la estructura. El uso de la modelación computacional y de técnicas experimentales no destructivas para la caracterización, mediante perfilajes con rayos x o gamma, de materiales porosos como el concreto, se considera por parte de la comunidad científica un método con un elevado potencial de desarrollo. En esta tercera etapa de la hoja de ruta asociada a la investigación, el objetivo del proyecto es investigar y modelar, mediante programas computacionales de alto desempeño, el proceso de degradación de las propiedades mecánicas del concreto reforzado, como consecuencia de los fenómenos sinérgicos de carbonatación y de corrosión ambiental. Se propone llevar a cabo ensayos en cámara de carbonatación acelerada, sucesivos estudios de las muestras carbonatadas y corroídas y pruebas mecánicas con el propósito de contar con valores experimentales, mediante los cuales analizar los resultados de las simulaciones obtenidas con el modelo computacional. El fin último es el de investigar y poder predecir los cambios de las propiedades mecánicas del

concreto reforzado debido a los procesos de degradación por carbonatación y corrosión. En particular el proyecto, donde confluyen conocimientos distintos de alto valor, representa una valiosa oportunidad para desarrollar trabajo interdisciplinario, fomentando además relaciones interdepartamentales con posible establecimiento de vínculos nacionales e internacionales.

**Palabras clave:** concreto, corrosión del refuerzo, degradación mecánica, modelación computacional.

### **Abstract**

In the construction sector the concrete and the steel bars represent still the key components, although they are very vulnerable by the atmospheric agents, as in the case of their degradation caused by corrosion. The study of the concrete carbonation, due to the CO<sub>2</sub> which permeates the porous and fractured structure of the concrete, is a fundamental issue for establishing conditions of the concrete degradation. In the same time the carbonation controls the reinforcing bar corrosion and the durability of the whole civil structure. The value of the concrete carbonation may show existence of corrosion around the reinforcing bar, denote deterioration of the mechanical properties of the material and finally of the structure. Computational modeling and experimental non destructive testing for the characterization of porous materials as the concrete, by using for instance x and gamma scanning profiles, are considered both very powerful methods for the scientific community. In this third step of the route map associated to the research, the purpose of the project is to model the mechanical deterioration of the reinforced concrete, under the effect of

carbonation and corrosion. The research study considers to develop a computational work using high performing software, coupling these complex phenomena in a comprehensive model. Also, the project proposes to carry out experimental tests in an accelerated carbonation chamber, successive studies of the carbonated and corroded specimens and mechanical testing. The goal is to generate experimental values and make a comparison between these and the computational results, to validate the model experimentally. The main aim of the research is the study of the degradation process of the reinforced concrete under conditions of atmospheric carbonation and corrosion, to be able to forecast its deteriorated mechanical properties. The proposed research involves different knowledge of high values and represents an evaluable opportunity to develop interdisciplinary work, encouraging relationship between different areas with international scientific links.

**Keywords:** concrete, reinforcing bar corrosion, mechanical deterioration, computational modeling

## **PROYECTO 22: Propuesta de un índice de salud estructural para puentes (BHI) para Costa Rica**

### **Periodo de ejecución:**

Del 29 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Computación y Ciencias de la Información, Ingeniería Civil

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería en Construcción

**Investigador Coordinador:** Ing. Giannina Ortiz Quesada

Contacto: [gortiz@tec.ac.cr](mailto:gortiz@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Costa Rica no cuenta con una metodología rigurosa, que incluya las variables requeridas y su nivel de complejidad, para calificar la condición de la salud estructural de un puente o estructura de paso. Actualmente algunas instituciones utilizan criterios diversos para asignar una calificación a la evaluación de una estructura y esto genera que, por ejemplo, una institución califique una estructura con un 70 (escala de 0 a 100) y otra lo califique con un 4 (en una escala de 1 a 5), sin que exista una equivalencia entre escalas. Esto genera que al querer priorizar se tengan criterios diferentes. Por lo que esta propuesta pretende estandarizar un índice de la condición de la salud estructural de un puente, que permita priorizar y asignar recursos sin generar confusión y de forma objetiva. El cálculo de este índice involucra el análisis de la complejidad de variables y criterios estadísticos y probabilísticos.

**Palabras clave:** salud estructural, evaluación, monitoreo, inteligencia de negocios

## **Abstract**

Costa Rica does not have a methodology, which includes the required variables and its level of complexity, to qualify the structural health condition of a bridge or passage structure. Currently, some institutions use different criteria to assign a rating to the evaluation of a structure and this causes, for example, an institution to rate a structure with a 70 (scale from 0 to 100) and another one to rate it with a 4 (on a scale 1 to 5), without there being an equivalence between scales. This results in wanting to prioritize having different criteria. Therefore, this

proposal intends to standardize an index of the structural health condition of a bridge, which allows prioritizing and allocating resources without generating confusion and in an objective way. The calculation of this index involves the analysis of the complexity of variables and statistical and probabilistic criteria.

**Keywords:** structural health, evaluation, monitoring, business intelligence

## **PROYECTO 23: Implementación de técnicas no invasivas para el estudio patológico en edificaciones patrimoniales**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Conservación del Patrimonio

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Arquitectura y Urbanismo

Participante Escuela de Ingeniería Forestal

**Investigador Coordinador:** Dr. David Porras Alfaro

Contacto: [dporras@tec.ac.cr](mailto:dporras@tec.ac.cr)

## **Resumen**

La conservación del patrimonio es una necesidad para cualquier país, dada su relevancia en el fortalecimiento del sentido de pertenencia e identidad nacional. En un período de crisis como el actual, donde la situación económica amenaza con restringir presupuestos para el patrimonio cultural, es fundamental gestionar eficientemente los recursos para su conservación e invertirlos desde un criterio científico. Generalmente, el estudio de edificios patrimoniales requiere un análisis desde la patología de la construcción para poder definir su estado de conservación. Tradicionalmente las técnicas utilizadas son muy básicas, principalmente centradas en identificación visual de las lesiones presentes en los materiales y mediante procedimientos destructivos, que requieren recolectar muestras del material y la estructura para procesarla en el laboratorio, que puede resultar desfavorable respecto a la integridad del edificio. Adicionalmente, en ocasiones la lesión es de difícil o peligroso acceso lo que complica el proceso de evaluación de lesiones en edificaciones patrimoniales. Por lo que es necesario el uso correcto y con respaldo científico de técnicas no invasivas que ayuden a mejorar la eficiencia y eficacia de los procedimientos y las soluciones. El proyecto, desarrollado desde una perspectiva multidisciplinar, busca generar conocimiento y experiencia en la implementación de técnicas no invasivas, como termografía, fotogrametría, ultrasonido, digitalización mediante escáner láser, microscopía, entre otras, para el estudio patológico de edificaciones patrimoniales costarricenses. Se eligió, como caso de estudio el Museo Nacional de Costa Rica por ser un conjunto de edificaciones patrimoniales emblemáticas y protegidas por ley, en las cuales se pueden analizar lesiones en diversos tipos de

materiales, variados sistemas constructivos del siglo XIX y XX utilizados comúnmente en el país, ofreciendo la oportunidad de estudiarlas en un solo lugar; además, se cuenta con un amplio proceso documentado de intervenciones, al menos durante los últimos 13 años. Este proyecto ofrece una oportunidad de vinculación del TEC con el Museo Nacional de Costa Rica, una institución de amplio prestigio en la conservación del patrimonio cultural y natural, siendo de beneficio mutuo la generación de conocimiento en cuanto a la implementación de técnicas no invasivas aplicadas al patrimonio, que permita el mejoramiento de procesos en esta materia a nivel nacional. Al finalizar el proyecto los principales productos serán al menos un artículo científico para publicar en una revista indexada, una guía para el análisis patológico de edificaciones patrimoniales mediante la aplicación de técnicas no invasivas; una exposición conjunta TEC - Museo Nacional de Costa Rica, centrada en la perspectiva arquitectónica, histórica y patológica del inmueble, y el uso de técnicas no invasivas al servicio del análisis patológico de edificaciones patrimoniales; además del expediente digital (base de datos) del Museo Nacional y la memoria técnica del estudio histórico y arquitectónico del complejo edificatorio del Museo Nacional. Estos productos servirán de insumo a los profesionales para la correcta toma de decisiones a la hora de establecer los procesos de conservación y restauración de edificios patrimoniales costarricenses.

**Palabras clave:** Patología de la construcción, patrimonio edificado, lesiones de edificaciones, patrimonio cultural, Costa Rica.

## **Abstract**

The conservation of heritage is a necessity for any country, given its relevance in strengthening the sense of belonging and national identity. In a period of crisis like the current one, where the economic situation threatens to restrict budgets for cultural heritage, it is essential to efficiently manage resources for their conservation and invest them from a scientific criterion. Generally, the study of heritage buildings requires an analysis of the construction pathology in order to define their conservation status. Traditionally, the techniques used are very basic, mainly focused on visual identification of the injuries present in the materials and through destructive procedures, which require collecting samples of the material and structure to process it in the laboratory, which can be unfavorable with the integrity of the building. Additionally, sometimes the damage is difficult or dangerous to access, which complicates the process of assessing injuries in heritage buildings. Therefore, the correct and scientifically supported use of non-invasive techniques that help improve the efficiency and effectiveness of procedures and solutions is necessary. The project, developed from a multidisciplinary perspective, seeks to generate knowledge and experience in the implementation of non-invasive techniques, such as thermography, photogrammetry, ultrasound, laser scanning and microscopy, among others for the pathological study of Costa Rican heritage buildings. The National Museum of Costa Rica was chosen as a case of study because it is a set of emblematic heritage buildings and they are protected by law, in which damages can be analyzed in different types of materials, various construction systems of the XIX and XX century commonly used in the country, offering the opportunity to study them in one place; in addition, there is an extensive

documented process of interventions, at least during the last 13 years. This project offers an opportunity to link the Instituto Tecnológico de Costa Rica with the National Museum of Costa Rica, an institution of great prestige in the conservation of cultural and natural heritage, with the mutual benefit of generating knowledge regarding the implementation of non-invasive techniques applied to heritage that allows the improvement of processes in this matter at the national level. At the end of the project, the main products will be at least one scientific article to publish in an indexed journal, a guide for the pathological analysis of heritage buildings through the application of non-invasive techniques; a joint exhibition TEC - National Museum of Costa Rica, focused on the architectural, historical and pathological perspective of the property, and the use of non-invasive techniques at the service of the pathological analysis of heritage buildings; in addition to the digital file (database) of the National Museum and the technical memory of the historical and architectural study of the building complex of the National Museum. These products will serve as input for professionals for the correct decision making when establishing the processes of conservation and restoration of Costa Rican heritage buildings.

**Keywords:** Construction pathology, building heritage, building damage, cultural heritage, Costa Rica. P

## **PROYECTO 24: El diseño del paisaje urbano desde la diversidad social, cultural y ambiental del Conjunto del Paseo de las Damas en Costa Rica: Caso de los Parques Nacional, España y Morazán**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Humanidades

**Sub área:** Otras humanidades

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Arquitectura y Urbanismo

Participante Escuela de Ingeniería Forestal

Participante Escuela de Ciencias Sociales

**Investigador Coordinador:** Dra. Laura Chaverri Flores

Contacto: [lauchaverri@tec.ac.cr](mailto:lauchaverri@tec.ac.cr)

## **Resumen**

El diseño del espacio público latinoamericano ha estado condicionado con tendencias globalizantes de tradición eurocéntrica y antropocéntrica inscritos en paradigmas de la modernidad/colonialidad, que invisibilizan la diversidad que habita nuestro territorio. Los planteamientos geométricos y arquitectónicos, la inserción de especies exóticas y el diseño para una hegemonía social, han sido criterios a seguir en el diseño. No fue hasta mitad de siglo XX, que el arquitecto del paisaje Roberto Burle Marx, incorpora un nuevo planteamiento para el diseño, aprovechando la diversidad florística de nuestros trópicos. El Paseo de las Damas, conforma una senda que une los parques Morazán, España y Nacional, generando un conjunto urbano artístico, patrimonial y cultural de trascendental relevancia. El diseño de estos sitios ha pasado por un largo proceso de transformaciones ambientales, sociales y culturales poco estudiados, en donde resalta la composición de diseño orgánico del Parque España y la conformación más formal de los otros dos parques. Es así como el problema a resolver en esta investigación se resume en las siguientes preguntas: ¿Cuál ha sido la evolución del diseño de estos parques, sus influencias conceptuales e ideológicas y su relación con la promoción de las diversidades socio-ecológicas y la gestión del turismo sostenible? ¿Qué recomendaciones pueden proponerse para el diseño del espacio público, el fomento de la diversidad sociocultural, ambiental y turística y la descarbonización del distrito el Carmen? Se plantea un trabajo de equipo interdisciplinario que incorpora profesionales de tres Escuelas del Instituto Tecnológico de Costa Rica, del Departamento de Historia Natural del Museo Nacional de Costa Rica, de la Municipalidad de San José y de la Universidad

Central de Venezuela. Por medio de fotos aéreas, planos históricos y fotografías, se realizará un estudio de la evolución de los parques, analizando los cambios en cuanto a vegetación y obras artísticas, así como los procesos de patrimonialización y concepción. La metodología incluirá trabajo de campo para el mapeo y levantamiento de las especies y de elementos arquitectónicos. Se realizarán talleres participativos y entrevistas para identificar el grado de sentido de pertenencia de los usuarios, así como una evaluación comparativa de los parques, de acuerdo a su diversidad biológica y con base metodológica de “Las Claves para el éxito del espacio público” de ONU HABITAT; de Gehl y Svarre, entre otros. Gracias a la síntesis de los resultados, la discusión del equipo multidisciplinario y la consulta de información bibliográfica, se propondrán estrategias para realizar acciones en los parques que puedan convertirse en una guía para elaborar propuestas en el distrito. Con este trabajo se espera obtener un análisis comparativo y evolutivo de los tres parques, así como fichas de análisis de especies y de componentes arquitectónicos y artísticos, planos de vegetación, y de diversidad social según temporalidad, y estudio de identidad y patrimonialización de los parques y grupos sociales asociados. Se concluirá con recomendaciones para el diseño del espacio público y del paisaje para incrementar la diversidad biológica, social y cultural en la ciudad, fortaleciendo el patrimonio cultural y ambiental del paisaje urbano.

**Palabras clave:** Paisaje urbano, diversidad socio-ambiental, diseño del paisaje, gestión del turismo sostenible, servicios ecosistémicos.

## **Abstract**

The design of Latin American public space has been conditioned by globalizing tendencies of Eurocentric and anthropocentric tradition inscribed in the paradigms of modernity/coloniality, which invisibilize the diversity that inhabits our territory. The geometric and architectural approaches, the insertion of exotic species and the design for a social hegemony, have been criteria to follow in the design. It was not until the middle of the 20th century that the landscape architect Roberto Burle Marx incorporated a new approach to design, taking advantage of the floristic diversity of our tropics. The “Paseo de las Damas” forms a path that joins the Morazán, Spain and National Parks, generating an urban artistic, heritage and cultural complex of transcendental relevance. The design of these sites has gone through a long process of environmental, social and cultural transformations understudied, where the organic design composition of the Spain Park and the more formal conformation of the other two parks underscores. The problem to solve in this research is summarized in the following questions: What has been the evolution of the design of these parks, their conceptual and ideological influences and their relationship with the promotion of socioecological diversities and the management of sustainable tourism? What recommendations can be proposed for the design of public space, the promotion of socio-cultural, environmental and tourist diversity and the decarbonization of the Carmen district? An interdisciplinary team work is proposed that incorporates professionals from three schools of the Costa Rica Institute of Technology, the Natural History Department of the Costa Rica National Museum, the Municipality of San José and the Venezuela Central University. By means of aerial photos,

historical plans and photographs, a study of the evolution of the parks will be carried out, analysing the changes in terms of vegetation and artistic works, as well as the processes of patrimonialisation and conception. The methodology will include field work for the mapping and survey of species and architectural elements. Participatory workshops and interviews will be carried out to identify the degree of sense of belonging of the users, as well as a comparative evaluation of the parks, according to their biological diversity and based on the methodology of "The Keys for the success of public space" by UN HABITAT, Gehl and Svarre, among others. Thanks to the synthesis of the results, the discussion of the multidisciplinary team and the consultation of bibliographic information, strategies will be proposed to carry out actions in the parks that can become a guide to elaborate proposals in the district. With this study, it is achieved to obtain a comparative and evolutionary analysis of the three parks, as well as analysis sheets of species and architectural and artistic components, vegetation plans, and of social diversity according to temporality, and study of identity and patrimonialization of the parks and associated social groups. It will conclude with recommendations for the design of public space and landscape to increase biological, social and cultural diversity in the city, strengthening the cultural and environmental heritage of the urban landscape.

**Keywords:** Urban landscape, socio-environmental diversity, landscape design, sustainable tourism management, ecosystem services.

## **PROYECTO 25: Herramientas de gestión y conservación programada en intervenciones de bienes inmuebles patrimoniales en Costa Rica**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Ingeniería Civil

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Arquitectura y Urbanismo

Participante Escuela de Ingeniería en Construcción

**Investigador Coordinador:** Arq. José Pablo Bulgarelli Bolaños

Contacto: [jpbulgarelli@tec.ac.cr](mailto:jpbulgarelli@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Los proyectos de intervención de bienes inmuebles patrimoniales presentan complejidades técnicas, legales y financieras, diferentes a las de una obra nueva, lo que implica una modificación en los procesos de gestión, tanto en las fases de diseño y construcción, como de las etapas de uso del inmueble. A pesar de que el Estado Costarricense, por medio de diversas entidades, es el propietario de aproximadamente el 80% de los bienes inmuebles patrimoniales, este no cuenta con protocolos institucionales que sistematizan los procesos de intervención, de modo que el país no cuenta con estándares mínimos que garanticen el aprovechamiento de los recursos invertidos en estos tipos de proyectos. La Escuela de Arquitectura y Urbanismo y la Escuela de Ingeniería en Construcción del TEC, en conjunto con el Departamento de Arquitectura de la Universidad de Bologna; el Departamento de Expresión Gráfica y el Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción (IUACC) de la Universidad de Sevilla; y el Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural (CICPC) del Ministerio de Cultura y Juventud (MCJ), pretenden desarrollar esta investigación mediante el análisis de información documental y de experiencias previas a partir del criterio de expertos nacionales e internacionales. El trabajo colaborativo entre estas instituciones pretende integrar metodologías HBIM (Heritage Building Information Modeling), con la sugerida por el PMI (Project Management Institute) para gestionar, administrar y dirigir las fases de ejecución, cierre y conservación programada de proyectos de intervención de bienes inmuebles patrimoniales en Costa Rica. Los productos que se obtendrán, al finalizar el proyecto, serán un protocolo de las fases de

ejecución, de cierre y de conservación programada en el ciclo de vida de los proyectos de intervención de bienes inmuebles patrimoniales. Asimismo, se producirán herramientas de gestión para dichas fases y dos artículos científicos a publicarse en revistas indexadas. Estos productos servirán como insumo a todos aquellos profesionales de la industria de la construcción que laboren en ámbito de la conservación del patrimonio arquitectónico.

**Palabras clave:** Bien cultural mueble, gestión del proyecto, conservación de los bienes culturales, métodos de planificación.

## **Abstract**

The intervention projects in historical buildings, which are architectural heritage, present technical, legal and financial complexities, different from those of a new construction, which implies a modification in the management processes, both in the design and construction phases, as of the stages of use of the building. Although the Costa Rican State, through many entities, owns approximately 80% of those buildings, it does not have institutional protocols that systematize the intervention processes, so that the country does not have standards minimums that guarantee the use of the resources invested in these types of projects. The Architecture and Urbanism School and the Construction Engineering School in TEC, in collaboration with the Architecture Department of the University of Bologna, the Graphic Expression Department and the University Institute of Architecture and Sciences of the Construction (IUACC) in The University of Seville, and the Center for Research and Conservation of Cultural Heritage

(CICPC) in the Ministry of Culture and Youth (MCJ), intends to develop this research through the analysis of documentary information and previous experiences based on the criteria of national and international experts. The collaborative work between these institutions intends to integrate HBIM (Heritage Building Information Modeling) methodologies, with that suggested by the PMI (Project Management Institute) to manage, manage and direct the phases of execution, closure and scheduled conservation of intervention projects in historical buildings in Costa Rica. The products that will be obtained, at the end of the project, will be a protocol of the execution, closing and planned conservation in the life cycle of intervention projects in historical buildings. Likewise, management tools will be produced for these phases and two scientific articles to be published in indexed journals. These products will serve as input to all those professionals in the construction industry who work in the field of architectural heritage conservation.

**Keywords:** Movable cultural property, Cultural property preservation, Planning methods, intervention protocols, Project management.

## **PROYECTO 26: Mejoramiento de la gestión integrada del recurso hídrico en la cuenca del río Tempisque mediante la determinación del caudal ambiental bajo una perspectiva holística**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnología, Ciencias Sociales

**Sub área:** Ciencias Biológicas, Otras Ingenierías y Tecnologías, Otras ciencias sociales

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería Agrícola

Participante Escuela de Biología

**Investigador Coordinador:** Dra. Isabel Guzmán Arias.

Contacto: [iguzman@tec.ac.cr](mailto:iguzman@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Hasta hace poco tiempo no había existido la necesidad de estudiar a profundidad los requerimientos de caudal ambiental dentro del marco nacional del otorgamiento de concesiones, sin embargo, aproximadamente en los últimos 25 años, esa visión ha cambiado por múltiples causas, una de ellas es el cambio y la intensidad en los usos de la tierra que han aumentado drásticamente la demanda de agua, y en consecuencia han provocado la urgencia de atender las solicitudes de concesión desde un punto de vista de gestión integrada del recurso hídrico. Este proyecto responde precisamente a la necesidad que tiene el país de contar con una o varias metodologías de cálculo caudal ambiental en sus ríos, especialmente cuando los conflictos por el uso del agua se han incrementado entre comunidades, empresas y grupos ambientalistas. En esta propuesta, se cumple con la tercera etapa en la ruta de investigación trazada, donde se validará una metodología holística previamente seleccionada en la cuenca del río Tempisque. Esta cuenca representa una opción ideal para este estudio, tanto por sus condiciones climáticas, como por la gran cantidad de aprovechamientos de agua a lo largo de su cauce, es decir, al realizar esta investigación se obtendrían resultados para un escenario complejo y de alto impacto socioeconómico que se podrían aplicar a otros ríos del país. Previo a este proyecto, se han realizados dos investigaciones sobre otras metodologías existentes a nivel internacional, en una se validó una metodología hidrológica para una cuenca piloto: subcuenca del río Birrís; y en otra se probó una metodología hidrobiológica para la subcuenca del río Pejibaye. En esta ocasión, la propuesta pretende avanzar en la ruta de investigación y elevar el nivel de complejidad, aplicando una metodología holística en

la cuenca del río Tempisque, donde se integran los componentes hidrológico, biológico y sociocultural. El principal resultado esperado de este proyecto es una metodología validada para la determinación de caudal ambiental que sirva de aporte a la gestión que actualmente opera el gobierno de Costa Rica.

**Palabras clave:** Caudal Ambiental, Concesión de Agua, Recurso Hídrico, Costa Rica

### **Abstract**

Until recently there had been no need to study in depth the requirements of environmental flow within the national framework of granting concessions, however, approximately in the last 25 years, that vision has changed for multiple reasons, one of them is the change and intensity in land uses that have drastically increased the demand for water, and consequently have caused the urgency to meet concession requests from an integrated water resource management point of view. This project responds precisely to the country's need to have one or more methodologies for calculating environmental flows in its rivers, especially when conflicts over water use have increased between communities, companies and environmental groups. In this proposal, the third stage in the research route is completed, where a holistic methodology previously selected in the Tempisque river basin will be validated. This basin represents an ideal option for this study, both for its climatic conditions, and for the large amount of water use along its riverbed, that is, when conducting this research, results would be obtained for a complex and high-impact scenario. socioeconomic that could be applied to other rivers in the country. Prior to this project, two

investigations have been carried out on other existing methodologies at an international level, in one a hydrological methodology was validated for a pilot basin: sub-basin of the Birrís river; and in another one a hydrobiological methodology was tested for the sub-basin of the Pejibaye river. On this occasion, the proposal aims to advance the research route and raise the level of complexity, applying a holistic methodology in the Tempisque river basin, where the hydrological, biological and sociocultural components are integrated. The main expected result of this project is a validated methodology for the determination of environmental flow that serves as a contribution to the management currently operated by the government of Costa Rica.

**Keywords:** Environmental discharge, water concession, water resource, Costa Rica

## **PROYECTO 27: Modelación del rendimiento del cultivo de palma de aceite a partir de imágenes satelitales multiespectrales, en el Pacífico Central de Costa Rica**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Otras Ingeniería y Tecnologías

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería Agrícola

**Investigador Coordinador:** Ing. Natalia Gómez Calderón

Contacto: [ngomez@tec.ac.cr](mailto:ngomez@tec.ac.cr)

## **Resumen**

El cultivo de palma aceitera, es uno de los tres que tienen más área ocupada en Costa Rica. Ha pasado de 16.830,20 ha en 1984 a 92.456 ha en 2017. Un factor de éxito es que el 63,7% de las áreas sembradas están en manos de pequeños productores independientes y cooperativas. El pronóstico previo a la cosecha del racimo de fruta fresca, es un medio importante para evaluar producción total y, por lo tanto, proporciona información útil para las decisiones de gestión relacionadas con el presupuesto de almacenamiento, distribución y comercialización, pero debido a la variabilidad climática, hay fluctuación del rendimiento de producción de la palma aceitera. A pesar de existir métodos de planificación del cultivo y de estimación de la cosecha, las predicciones tienen amplios márgenes de error, debido a muestreos aleatorios del personal de campo. Por otro lado, las palmas de aceite al ser árboles perennes, tienen una estructura de dosel similar a un bosque, en comparación con otros cultivos agrícolas; por lo tanto, la teledetección de las palmas de aceite puede basarse en imágenes aéreas o satelitales. Cuando se utilizan imágenes para monitorear plantaciones, las diferentes condiciones de las regiones del mundo han sido un desafío para los investigadores. Específicamente en el trópico, el mapeo de la cobertura vegetal es un reto debido a la cubierta nubosa predominante y biomasa densa que puede confundirse con bosques u otros cultivos. Localmente, se dispone de imágenes satelitales multiespectrales de acceso libre, que suministran información de hasta 11 longitudes de onda (bandas), con resoluciones aceptables debido a que las zonas de manejo del cultivo de palma aceitera en Costa Rica superan las 4 hectáreas. Automatizar las estimaciones y reducir los márgenes

de error con el fin de mejorar la gestión en toda la cadena del cultivo de palma aceitera, es un requerimiento urgente de los productores. Debido a la variabilidad climática del Pacífico Central de Costa Rica, es urgente encontrar relaciones entre la multispectralidad de las imágenes de acceso libre disponibles, rendimiento, condiciones climáticas, edáficas y la edad del cultivo, con el fin de explicar y predecir la producción en tiempos de desfase seguros para la gestión de la producción, a partir de imágenes satelitales que les permita a los productores una gestión más eficiente con tecnología disponible que no les represente inversiones onerosas.

**Palabras clave:** Teledetección, sistemas de información geográfica, imágenes satelitales, aprendizaje automático, modelado de sistemas agrícolas

## **Abstract**

Oil palm cultivation is one of the three that have the most occupied area in Costa Rica. It has gone from 16,830.20 ha in 1984 to 92,456 ha in 2017. A success factor is that 63.7% of the planted areas are in the hands of small independent producers and cooperatives. The pre-harvest forecast of the fresh fruit cluster is an important means to evaluate total production and, therefore, provides useful information for management decisions related to the storage, distribution and marketing budget, but due to variability climatic, there is fluctuation of the production yield of the oil palm. Despite the existence of crop planning and crop estimation methods, the predictions have wide margins of error, due to random sampling of field personnel. On the other hand, oil palms, being evergreen trees,

have a canopy structure similar to a forest, compared to other agricultural crops; Therefore, remote sensing of oil palms can be based on satellite or aerial images. When images are used to monitor plantations, different conditions in world regions have been a challenge for researchers. Specifically, in the tropics, mapping of vegetation cover is a challenge due to the predominant cloud cover and dense biomass that can be confused with forests or other crops. Locally, multispectral satellite images of free access are available, which provide information of up to 11 wavelengths (bands), with acceptable resolutions because the management areas of oil palm cultivation in Costa Rica exceed 4 hectares. Automate estimates and reduce error margins in order to improve management throughout the oil palm crop chain, is an urgent requirement of producers. Due to the climatic variability of the Central Pacific of Costa Rica, it is urgent to find relationships between the multispectrality of the available free access images, yield, climatic, edaphic conditions and the crop age, in order to explain and predict the production in times of safe lag for production management, based on satellite images that allow producers a more efficient management with available technology that does not represent costly investments.

**Keywords:** Remote sensing, geographic information systems, satellite images, machine learning, cropping systems modelling

## **PROYECTO 28: Efecto del biocarbón en la dinámica hídrica de un suelo volcánico en función de los cambios de sus propiedades físicas e hidráulicas**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de abril del 2020 al 31 de marzo del 2022

**Área:** Ciencias Naturales

**Sub área:** Ciencias de la Tierra y del Ambiente

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ingeniería Agrícola

**Investigador Coordinador:** Dra. Karolina Villagra Mendoza

Contacto: [kvillagra@tec.ac.cr](mailto:kvillagra@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Los cambios extremos y rápidos de las condiciones ambientales conllevan nuevos retos en las prácticas agrícolas. La conservación del suelo se ha convertido en una labor primordial para promover la agricultura sostenible y la seguridad alimentaria. El biocarbón se considera una opción para la conservación del suelo, sin embargo, los efectos del biocarbon sobre el suelo tienden a ser muy complejos y específicos al tipo de fuente de carbón usada, forma térmica de producción, clima, tipo de suelo y dosis de aplicación. Por esta razón, cualquier estudio sobre el impacto del biocarbón como enmienda contribuye a entender mejor la interacción entre las diversas variables y el efecto en el ambiente. Este proyecto pretende estudiar el efecto del biocarbón, como enmienda, en la dinámica hídrica del suelo por medio de los cambios en las propiedades físicas e hidráulicas de los suelos enmendados. En este estudio se analizarán los principales parámetros del suelo. Se evaluarán las propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas de las enmiendas con el fin de determinar las condiciones del suelo para el transporte y retención de agua. El estudio se realizará en pequeñas parcelas con unidades de muestreo (plántulas), donde se aplicará el biocarbón en dos dosis (5 y 10% del peso seco). La producción se correlacionará con los tratamientos para evaluar adicionalmente la funcionalidad productiva de la enmienda. Los resultados de este estudio permitirán evaluar el efecto del biocarbón en la producción y la cuantificación en los cambios de las propiedades físicas del suelo que puedan dar información sobre la viabilidad del uso del biocarbón como opción para una agricultura sostenible.

**Palabras clave:** agricultura sostenible; biocarbón; dinámica hídrica; producción; propiedades del suelo; suelo volcánico.

## **Abstract**

Extreme and rapid changes in environmental conditions lead to new challenges in agricultural practices. Soil conservation has become a primary task to promote sustainable agriculture and food security. Biochar is considered an option for soil conservation, however, the effects of biochar on the soil tends to be very complex and specific to the type of biomass source used, thermal production process, climate, soil type and application rate. For this reason, any study on the impact of biochar as an amendment contributes to a better understanding of the interaction between the various variables and the effect on the environment. This project aims to study the effect of biochar, as an amendment, on the soil's water dynamics through changes in the physical and hydraulic properties of amended soils. In this study the main soil parameters will be analyzed. The physical, hydraulic and mechanical properties of the amendments will be evaluated in order to determine the conditions of soil for transport and water retention. The study will be carried out in small plots with sampling units (seedlings), where the biochar will be applied in two doses (5 and 10% of the dry weight). Production will be correlated with treatments to further evaluate the productive functionality of the amendment. The results of this study will allow the evaluation of the effect of biochar on production and quantification on changes in the physical properties of the soil that can give information on the feasibility of using biochar as an option for sustainable agriculture.

**Keywords:** sustainable agriculture; biocarbon; water dynamics; production; soil properties; volcanic soil.

## **PROYECTO 29: Gen-FW: Una generalización del problema de Fermat-Weber con aplicaciones al procesamiento de datos**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ciencias Naturales

**Sub área:** Matemática

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Matemática

Participante Escuela de Ingeniería Forestal

**Investigador Coordinador:** Dr. Juan Pablo Soto Quirós

Contacto: [jusoto@tec.ac.cr](mailto:jusoto@tec.ac.cr)

## **Resumen**

El presente proyecto propone y justifica una generalización del problema de Fermat-Weber (o simplemente, problema FW). El problema FW propone encontrar un vector que minimiza la suma de distancias ponderadas a otros vectores dados en un espacio vectorial, donde el vector a minimizar está representado mediante una transformación lineal. La solución del problema FW tiene diversas aplicaciones en ingeniería, por ejemplo, en el diseño de algoritmos de navegación y en la conectividad de red móvil con sensor inalámbrico, entre otras. Los modelos matemáticos que proponemos generalizan el problema FW en dos aspectos: 1) Consideran transformaciones no lineales, a diferencia del problema FW que solo considera transformaciones lineales. 2) Calculan las transformaciones (lineales o no lineales) óptimas que pertenecen a un conjunto con una estructura predeterminada, a diferencia del problema FW que no optimiza la transformación lineal asociada. Las características mencionadas anteriormente permitirán que el error numérico obtenido en los modelos propuestos sea menor que el error obtenido en el problema FW. Adicionalmente, aplicaremos la generalización del problema FW en el área de procesamiento de datos, particularmente en aplicaciones en el campo de la ingeniería forestal, en particular, en el análisis de firmas hiperespectrales y corteza de árboles. La generalización del problema FW propuesta permitirá simplificar el proceso de análisis de firmas hiperespectrales en maderas y hojas entre los 310 y 1100 nanómetros, permitiendo determinar la firma biotípica de cada especie. Lo anterior facilitaría su identificación en campo, ya sea con instrumentaciones terrestres o imágenes satelitales multibandas. Por otro lado, facilitará el proceso de identificación de cortezas de especies arbóreas mediante la

generación de la foto biotípica de una especie, lo cual simplificaría el proceso de identificación y estudio de cortezas de especies tropicales.

**Palabras clave:** Fermat-Weber, optimización, datos biotípicos, firmas hiperespectrales, corteza arbóreas

## **Abstract**

This project proposes and justifies a generalization of the Fermat-Weber problem (or simply, FW problem). The problem FW proposes to find a vector that minimizes the sum of weighted distances to other vectors given in a vector space, where the vector to be minimized is represented by a linear transformation. The solution of the FW problem has several applications in engineering, for example, in the design of navigation algorithms and in the mobile network connectivity with wireless sensor, among others. The mathematical models that we propose generalize the FW problem in two aspects: 1) They consider nonlinear transformations, unlike the FW problem that only considers linear transformations. 2) Calculate the optimal (linear or non-linear) transformations that belong to a set with a predetermined structure, unlike the FW problem that does not optimize the associated linear transformation. The characteristics mentioned above will allow the numerical error obtained in the proposed models to be less than the error obtained in the FW problem. Additionally, we will apply the generalization of the FW problem in the area of data processing, particularly in applications in the field of forest engineering, in the analysis of hyperspectral signatures and tree bark. The generalization of the proposed FW problem will simplify the process of analysis of hyperspectral signatures in wood and

leaves between 310 and 1100 nanometers, allowing to determine the biotypic signature of each species. This would facilitate their identification in the field, either with terrestrial instrumentation or multi-band satellite images. On the other hand, it will facilitate the process of identifying tree bark species by generating the biotypic photo of a species, which would simplify the process of identification and study of bark of tropical species.

**Keywords:** Fermat-Weber, optimization, biotypic data, hyperspectral signatures, tree bark

## **PROYECTO 30: Ventanas inteligentes: Aplicaciones a la eficiencia energética en el diseño arquitectónico de fachadas.**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Ingeniería de los Materiales

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Física

Participante Escuela de Química

**Investigador Coordinador:** Máster Natalia Murillo Quirós

Contacto: [nmurillo@tec.ac.cr](mailto:nmurillo@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Las ventanas son elementos indispensables para modular la entrada de luz natural, necesaria para la salud, que regulan además el tránsito de radiación que define la temperatura interna de un recinto y, por lo tanto, el uso de aires acondicionados. Una ventana inteligente es un sistema capaz de modular sus propiedades ópticas y térmicas debido a un estímulo externo que permite modular el paso de la energía solar. En esta área entre los desarrollos más prometedores se encuentran las ventanas inteligentes termocrómicas, las cuales poseen un gran potencial de unir el diseño arquitectónico y la necesidad de reducir nuestra huella de carbono. Una de las limitantes actuales de las ventanas inteligentes termocrómicas es su coloración, que varía de marrón-transparente a azul-opaco al ser calentadas. De esta manera, el desafío es poder mantener un sistema termocrómico energéticamente estable y barato, que al mismo tiempo se produzca en diferentes colores que permitan incorporarlas al diseño arquitectónico de fachadas. La posibilidad de incorporar en esta propuesta un punto de vista estético basado en el color impulsaría su uso como una opción en el diseño como un vitral/ventana inteligente, para esto se propone el uso de cristales líquidos termotrópicos. Los más recientes avances en ventanas inteligentes apuntan al uso de dióxido de vanadio cuya característica es poseer una temperatura crítica a los 68°C donde presenta una transición semiconductor-metal en la que aumenta la reflexión en el rango infrarrojo del espectro solar, con lo que se evita el calentamiento interno del edificio, y a la vez se deja prácticamente inalterado el paso de la parte visible del espectro solar. Con el fin de sintetizar compuestos cuya temperatura de transición se encuentre en un rango cercano al

ambiente, se introducen diferentes porcentajes de dopajes con tungsteno en el rango entre 0.05 a 2 % en peso. En este proyecto se propone diseñar una ventana termocrómica que combine el óxido de vanadio dopado con tungsteno y cristales líquidos en una matriz polimérica. Esta mezcla se puede laminar o utilizar como recubrimiento en sustratos de vidrio generando diferentes aspectos visuales que en conjunto con la capacidad de auto regulación del dióxido de vanadio ofrece un gran potencial en el diseño arquitectónico de la mano con la reducción del consumo energético en edificios.

**Palabras clave:** ventanas inteligentes, termocromismo, dióxido de vanadio, cristal líquido

## **Abstract**

Windows are indispensable elements for the regulation of natural light in buildings, necessary for occupational health, which also controls the radiation flow that determine the internal temperature of a room, therefore, the utilization of air conditioners. A smart window is a system that modulates its optical and thermal properties through an external stimulus to regulate the passage of solar energy. Among the most promising developments are the thermochromic windows, which have a great potential to combine the architectural design with the reduction of the carbon footprint. One of their technological limitations is their color, which varies from brown-transparent to blue-opaque when heated. The challenge is then to maintain an energy-stable and inexpensive thermochromic system, while producing different colors that allow incorporating them into the façades design. Incorporating an aesthetic point of view based

on architectural design would promote its use as color stained glass / smart window system. Smart windows based on nanoparticles of Tungsten doped Vanadium dioxide, which typically exhibits a semiconductor metal transition at critical temperature lower than 68 ° C. At such transition it increases the reflection in the infrared range of the solar spectrum, preventing warming internal of the building without sacrificing its illumination. In order to bring the transition temperature closer to the room temperature, tungsten doping levels between 0.05 to 2% in weight are required. We propose a thermochromic window that combines tungsten doped vanadium oxide with and liquid crystals in a polymeric matrix. This mixture can be laminated or used as a coating on glass substrates, which generates different colors that together with the self-regulating capacity of vanadium-based dioxides, offers great potential for the architectural design and the reduction of energy consumption in buildings.

**Keywords:** Smart Windows, thermochromics, vanadium dioxide, liquid crystal

## **PROYECTO 31: Estudios de turbulencia y transporte en el plasma ECRH del Stellarator SCR-1**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ciencias Naturales

**Sub área:** Ciencias Físicas

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Física

Participante Escuela de Ingeniería Electrónica

**Investigador Coordinador:** Dr. Iván Vargas Blanco

Contacto: [ivargas@tec.ac.cr](mailto:ivargas@tec.ac.cr)

## **Resumen**

En esta nueva fase de desarrollo aplicado del Stellarator SCR-1, se continua con la caracterización y optimización del dispositivo de confinamiento magnético y el plasma producido. Se plantea la profundización en el estudio del comportamiento de la turbulencia y el transporte en el borde del plasma confinado, así como el análisis de la interacción de campos eléctricos radiales producidos externamente y su relación con estos modos turbulentos. Se contrastarán estos resultados con los obtenidos recientemente en el Stellarator TJ-II. Además, se propone desarrollar un sistema de conversión de energía para regular la corriente eléctrica en las bobinas del SCR-1 y adicionalmente se propone implementar una antena para el sistema de calentamiento que permita optimizar la deposición de energía en el plasma

**Palabras clave:** Stellarator; turbulencia, transporte, ECRH

## **Abstract**

In this new phase of applied development of the SCR-1 stellarator, in order to continue with the characterization and optimization of the magnetic confinement device and the plasma of SCR-1, this work studies the behavior of turbulence flows and their particles transport in the edge of the confined plasma, as well as the analysis of the externally produced radial electric field interaction and its relationship with these turbulent modes to contrast with the recent results, obtained at the TJ-II stellarator. In addition, it is proposed to develop an energy conversion system to regulate the electric current in the coils of the SCR1 and additionally it is proposed to implement an

antenna for the heating system that optimizes the deposition of energy in the plasma.

**Keywords:** Stellarator, turbulence, transport, ECRH

## **PROYECTO 32: Análisis de imágenes y cuantificación del color para el diagnóstico del cáncer de piel tipo melanoma en Costa Rica.**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ciencias Naturales

**Sub área:** Ciencias Físicas

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Física

**Investigador Coordinador:** Dr. Ernesto Montero Zeledón

Contacto: [emontero@tec.ac.cr](mailto:emontero@tec.ac.cr)

## **Resumen**

El melanoma es uno de los tipos de cáncer de piel más agresivos, sin embargo, es posible su cura si se realiza una detección temprana. Mediante técnicas de medición utilizadas en imágenes, se puede realizar la caracterización de algunos de los parámetros que la Academia Americana de Dermatología ha considerado claves para la detección del melanoma. Estos parámetros son conocidos como el ABCDE del melanoma: asimetría, irregularidad de los bordes, cambios de color, diámetro y evolución. En nuestro país, muchos médicos utilizan los criterios del ABCDE, sin embargo, la gran mayoría se basa en la observación y las estimaciones cualitativas. En este proyecto se pretende establecer criterios de medición para los diferentes parámetros, que faciliten al médico observar la evolución del melanoma y que le permitan llevar un registro de ello.

**Palabras clave:** Cáncer de piel, Melanoma, ABCDE, imágenes

## **Abstract**

Melanoma is one of the most aggressive skin cancers, however, it is possible to cure it if an early detection is performed. By measurement techniques used in imaging, you can characterize some of the parameters that the American Academy of Dermatology has considered key to the detection of them. These parameters are known as the ABCDEs of melanoma: asymmetry, irregularity of borders, variety of colors, diameter and evolution or change. In our country, many doctors use the ABCDE criteria, however, the vast majority is based on qualitative observation and estimates. This project aims to

establish measurement criteria for the different parameters, to make it easier for the doctor to observe the evolution of melanoma and to allow it to keep track of it.

**Keywords:** Skin cancer, Melanoma, ABCDEs, images

## **PROYECTO 33: Influencia del polimorfismo y la formación de co-cristales en las propiedades físicas de fármacos antihipertensivos**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ciencias Médicas y de la Salud

**Sub área:** Ciencias Médicas

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Física

**Investigador Coordinador:** Dr. Ernesto Montero Zeledón

Contacto: [emontero@tec.ac.cr](mailto:emontero@tec.ac.cr)

## **Resumen**

El control de calidad de las materias primas para producir fármacos es fundamental para garantizar su eficacia en el tratamiento de las enfermedades. La industria farmacéutica invierte muchos recursos en análisis de precursores y productos terminados, sin embargo, en ocasiones los usuarios manifiestan diferencias en la efectividad terapéutica de distintos lotes de medicamentos. Se ha propuesto que una de las posibles causas por las que se producen diferencias en la efectividad de los medicamentos de una misma marca o entre los medicamentos de igual composición, pero de distinta marca, es la formación de co-cristales y de polimorfos de los principios activos. En Costa Rica existe una importante industria farmacéutica de medicamentos genéricos y este tipo de situaciones son frecuentes. Para estudiar esta situación, se propone el estudio de dos principios activos relacionados con un padecimiento muy frecuente en la población costarricense, como lo es la presión alta. Los principios activos que estudiaremos serán provistos por la compañía farmacéutica Calox y la Facultad de Farmacia de la UCR, colaborarán con los análisis de caracterización.

**Palabras clave:** Principio activo, antihipertensivo, co-cristal, polimorfo

## **Abstract**

The quality control of raw materials to produce drugs is essential to ensure their effectiveness in the treatment of diseases. The pharmaceutical industry invests many resources in the analysis of precursors and finished products, however, sometimes users

show differences in the therapeutic effectiveness of different batches of medicines. It has been proposed that one of the possible causes of differences in the effectiveness of drugs of the same brand or between drugs of the same composition, but of different brands, is the formation of co-crystals and polymorphs of active principles. In Costa Rica there is an important pharmaceutical industry of generic medicines and these types of situations are frequent. To study this situation, it is proposed to study two active principles related to a very frequent condition in the Costa Rican population, such as high blood pressure. The pharmaceutical company Calox will provide the active principles, and the Faculty of Pharmacy of the UCR, will collaborate with the characterization analysis

**Keywords:** Active substance, antihypertensive, co-crystal, polymorph

## **PROYECTO 34: Monitoreo ambiental de mercurio en zonas mineras artesanales y zonas urbanas de Costa Rica, y acciones para la mitigación de su impacto ambiental**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ciencias Naturales

**Sub área:** Ciencias Químicas

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Química

**Investigador Coordinador:** M.Sc. Carlos Calleja Amador

Contacto: [ccalleja@tec.ac.cr](mailto:ccalleja@tec.ac.cr)

## **Resumen**

El mercurio es un reconocido neurotóxico que provoca daños irreversibles en el sistema nervioso central, especialmente en niños. Está dispersado globalmente, y es monitoreado en el mar y la atmósfera. El monitoreo de mercurio atmosférico es complejo, pero reviste gran importancia biológica y sanitaria. Una técnica novedosa para el monitoreo de mercurio gaseoso es el muestreo pasivo de aire (PAS). PAS requiere el diseño e instalación de dispositivos que retienen el mercurio del aire que circula. Un diseño de tales dispositivos ha sido estudiado por investigadores de la Universidad de Toronto, Canadá, usando carbón activado y azufre. A nivel global, se están realizando esfuerzos para controlar la exposición al mercurio con el Convenio de Minamata sobre Mercurio (firmado en octubre, 2013 y ratificado por Costa Rica por decreto en noviembre, 2016). El Convenio es Ley de la República 9391 desde 2016. La implementación del Convenio le corresponde a la Dirección de Gestión y Calidad Ambiental (DIGECA) del MINAE. DIGECA ha señalado que actualmente en el país no hay monitoreo ambiental del mercurio, por lo que esta propuesta constituiría una contribución para el cumplimiento del Convenio y para el establecimiento de un plan de acción para minimizar y controlar las emisiones de mercurio. De acuerdo con el último inventario de emisiones de mercurio realizado por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), es importante monitorear emisiones asociadas a: minería artesanal, actividad volcánica y corrientes de residuos sólidos. De acuerdo con el PNUMA, la minería artesanal es la segunda fuente en importancia de emisiones de mercurio al aire, sólo superada por la quema de carbón de hulla, que no se utiliza Costa Rica. Otros combustibles fósiles aportan menores cantidades de mercurio,

y las emisiones volcánicas poseen un impacto aún menor. Esta propuesta cuantificaría el mercurio gaseoso en zonas mineras nacionales, y en algunas zonas urbanas. También se estudiará la concentración de mercurio total en aguas superficiales y sedimentos de las zonas de estudio. El sistema de muestreo PAS y el análisis químico de las muestras correspondientes serían aportados por la Universidad de Toronto, Canadá. Esta propuesta corresponde a un proyecto en curso. Los recursos financieros el primer año de proyecto serían aportados por la empresa CASIO (con su subsidiaria en Costa Rica ASEPRO S.A.) CASIO (de origen japonés) es aliado del PNUMA en el Convenio de Minamata. Se solicita el apoyo de la VIE para el segundo y tercer año (2020 y 2021). La instalación, control y envío de los PAS a Toronto, junto con el análisis de agua y sedimentos, serían realizados por nuestro grupo de investigación en mercurio del TEC (actualmente el M.Sc. Carlos E. Calleja es parte del grupo de expertos en liberaciones ambientales de mercurio designado por PNUMA y DIGECA para el Convenio). Los resultados obtenidos constituirían un aporte para una línea base de concentraciones ambientales de mercurio, y sería útil para establecer un programa continuo de monitoreo ambiental. La propuesta incluye la transferencia de resultados, el diseño y elaboración de material educativo de divulgación acerca del tema, webinars dirigidos a poblaciones meta especializadas, y un taller acerca de la problemática ambiental y sanitaria para promover la continuidad del monitoreo.

**Palabras clave:** mercurio, mercurio total, muestreo pasivo, minería artesanal, Convenio de Minamata, Costa Rica.

## Abstract

Mercury is a recognized neurotoxin that affects the learning capability of infants, and produces irreversible damages on the central nervous system. It is a global pollutant, frequently monitored by several countries in the ocean and in the atmosphere. Gaseous mercury monitoring in the atmosphere is a complex task due to its wide dispersion, but it is of great importance because air is not only a potential route of exposure for different living species, but also an exchange matrix from which could introduce mercury to the trophic chain. A novel technique for gaseous mercury monitoring is passive air sampling (PAS). PAS requires the design and installation of a selective device for mercury binding when air circulates inside. Other research groups have worked on the design and environmental calibrations of PAS, including a group of the University of Toronto, Canada. Their PAS design uses a sorbent composed of vegetable carbon covered by a bonded sulfur phase selective for mercury. Globally, there are several efforts to control mercury exposure with the enforcement of the Minamata Convention (signed by the Costa Rican government in October 2013, and ratified by the Congress in November 2016). It became Law 9391 in 2016. The Dirección de Gestión y Calidad Ambiental (DIGECA) of the Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) is the central government office responsible for its implementation. DIGECA has noted the relevance of mercury monitoring in Costa Rica, currently inexistent. Therefore, this proposal aims to contribute both, with relevant data required by DIGECA for the compliance of the Minamata Convention, and with a baseline required to establish a Reduction Plan for mercury emissions in the future. A mercury emissions inventory conducted by MINAE indicates the

importance of environmental monitoring of emissions from artisanal gold mining, fossil fuels and volcanic activity. UNEP ponders artisan gold mining as the second source of environmental mercury, the first being char coal burning. While, a minor source is burning of other fossil fuels, followed by volcanic emissions. This proposal aims study of gaseous mercury emissions from artisanal gold mining in different regions of the country, and its potential correlation to mercury in surface water. Additionally, it targets to study gaseous mercury in an urban area to determine to possible contribution emitted from fuel combustion. This proposal is currently a project in course, where the first year is fully financed by CASIO as partner of UNEP for the Minamata Convention. The requested support from VIE is required for the second and third years (2020 and 2021). The University of Toronto will provide the PAS samplers and its chemical analysis. While our research group at TEC will perform study on the nearby water surface as well as the deployment, surveillance and shipping of the samplers to Canada. The results of this research will be the first study on environmental gaseous mercury available in Costa Rica expecting that it will to become the baseline towards the establishment of a continuous monitoring plan and defining actions to control mercury emissions and next steps. In addition, the resulting data on mercury emissions will be available for the scientific community and for DIGECA-MINAE as a feedback to coordinate a workshop on mercury current situation in Costa Rica.

**Keywords:** mercury, disolved mercury, passive sampling, artisan gold mining, Minamata Convetion, Costa Rica

## **PROYECTO 35: Remoción de fluoruro y arsénico con piedra pómez modificada**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Ingeniería Ambiental

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Química

Participante Escuela de Ingeniería en Construcción

**Investigador Coordinador:** Dr. Luis Guillermo Romero Esquivel

Contacto: [lromero@tec.ac.cr](mailto:lromero@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Varias fuentes de agua subterránea contaminadas con arsénico se han reportado en el país desde el año 2009. El Instituto de Acueductos y Alcantarillados (AyA) ha tenido que cambiar fuentes de agua, mezclado contaminadas y sin contaminar o en el peor de los casos implementado sistemas de remoción que utilizan adsorbentes importados con altos costos operativos para la institución y que no podrían ser costeados por acueductos rurales (ASADAS) debido a sus limitados recursos. Por otro lado, en el año 2014, el Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA) reportó en la zona de Limón y Cartago fuentes contaminadas de fluoruro. Ambos contaminantes producen efectos crónicos en la salud de los consumidores y sus efectos pueden ser potenciados al coexistir en el agua. Esta propuesta busca encontrar una opción de tratamiento de agua contaminada con arsénico y fluoruro, específicamente, producir y evaluar a nivel de laboratorio y a nivel piloto el uso de piedra pómez modificada con óxidos de hierro-aluminio (Fe/Al) y hierro-manganeso (Fe/Mn). Si bien el grupo de investigadores proponente de este proyecto ya ha desarrollado un material adsorbente a base de piedra pómez recubierta de óxidos de hierro para la remoción de arsénico, el uso de mezclas de óxidos como las sugeridas, según se reporta en la literatura, vendría a mejorar la capacidad de remoción de arsénico. Además, existe evidencia de la posibilidad de remover fluoruro, contaminante al cual no se le está dando ningún tratamiento actualmente en el país por parte del AyA y menos aún por ASADAS. Dichos resultados, son bastante prometedores y muestran que ambos materiales presentan altas capacidades de remoción de estos contaminantes individualmente. Sin embargo, no ha sido

reportada la remoción conjunta de ambos iones. En esta propuesta se pretende realizar estudios en laboratorio sobre la producción y caracterización de la pómez recubierta con Fe/Al y con Fe/Mn. En estos estudios se incluirá ensayos tipo batch para determinar la capacidad de remoción de arsénico, de fluoruro y de ambos contaminantes. Posteriormente, dependiendo de la disponibilidad de pozos contaminados con cada contaminante o con ambos, se procederá a implementar al menos dos sistemas piloto. Así, será necesario diseñar, construir, operar y monitorear los dos sistemas piloto basados en filtración y con esto, poder brindar una guía para la construcción y operación de sistemas de tratamiento a escala real. Con base en la experiencia adquirida se obtendrá como producto final un sistema de tratamiento capaz de remover arsénico y fluoruro o ambos marca TEC. Este producto, será pionero en el país específicamente en el tema de la remoción de fluoruro posicionando al TEC como experto en el tema y será de vital importancia para aportar a solucionar problemáticas de salud pública con las que lucha el país. Adicionalmente, considerando que este tipo de contaminantes se encuentran a nivel global, el uso de los adsorbentes reviste importancia internacional.

**Palabras clave:** Tratamiento de agua, adsorción, arsénico, fluoruro, piedra pómez modificada.

## **Abstract**

Several sources of groundwater contaminated with arsenic have been reported in the country since 2009. The Institute of Aqueducts and Sewers (AyA) has had to change water sources,

mixed contaminated and uncontaminated or in the worst case implemented systems of removal that use imported adsorbents with high operating costs for the institution and that could not be paid for by rural aqueducts (ASADAS) due to their limited resources. On the other hand, in 2014, the Costa Rican Institute for Research and Teaching in Nutrition and Health (INCIENSA) reported contaminated sources of fluoride in the Limón and Cartago area. Both pollutants produce chronic effects on the health of consumers and their effects can be enhanced by coexisting in water. This proposal seeks to find a treatment option for water contaminated with arsenic and fluoride, specifically, to produce and evaluate at the laboratory level and pilot level the use of modified pumice stone with iron-aluminum oxides (Fe / Al) and iron-manganese (Fe / Mn). Although the group of researchers proposing this project has already developed an adsorbent material based on pumice coated with iron oxides for arsenic removal, the use of oxide mixtures as suggested, as reported in the literature, would come to improve arsenic removal capacity. Besides, there is evidence of the possibility of removing fluoride, a contaminant that is not currently being treated in the country by AyA and even less by ASADAS. These results are absolutely promising and show that both materials have high removal capacities of both pollutants individually. However, the joint removal of both ions has not been reported. This proposal intends to carry out laboratory studies on the production and characterization of the pumice coated with Fe / Al and with Fe / Mn. These studies will include batch tests to determine the ability to remove arsenic, fluoride and both contaminants. Subsequently, depending on the availability of wells contaminated with each contaminant or with both, at least two pilot systems will be implemented. Thus, it will be necessary to design, build, operate and monitor the two pilot

systems through filtration and with this, to be able to guide the construction and operation of treatment systems on a full scale. Based on the experience acquired, a treatment system capable of removing arsenic and fluoride or both TEC brand will be obtained as the final product. This product will be a pioneer in the country specifically in the matter of fluoride removal positioning the TEC as an expert in the subject and will be of vital importance to help solve public health problems with which the country struggles. Additionally, considering that these types of pollutants are found globally, the use of adsorbents is of international importance.

**Keywords:** Water treatment, adsorption, arsenic, fluoride, modified pumice Stone.

## **PROYECTO 36: Elaboración de un índice de calidad para el monitoreo de los ríos en Guatemala que apoyen programas de gestión ambiental**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ciencias Naturales

**Sub área:** Ciencias de la Tierra y del Ambiente

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Química

**Investigador Coordinador:** Dr. Guillermo Calvo Brenes

Contacto: [gcalvo@tec.ac.cr](mailto:gcalvo@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Los mares de América Latina son de gran riqueza, debido a condiciones oceanográficas en las que las corrientes tropicales se mezclan con aguas antárticas y subantárticas. Sin embargo, la contaminación que drenan los ríos hacia los mares, los crecientes asentamientos humanos alrededor de la costa, la sobrepesca y una creciente actividad agrícola, limitan los beneficios ecosistémicos. Aunque las fuentes de contaminación son de naturaleza local, estas adquieren dimensiones transnacionales al llegar a los mares y traspasan las fronteras a causa de las corrientes marinas que transportan material de un país a otro, por lo que el tema de contaminación debe ser abordado por varios países en conjunto. La mayoría de los países comparten costas con ecosistemas y recursos compartidos y la región centroamericana no es la excepción. Guatemala es el país más poblado de Centroamérica con 17 millones, la actividad agrícola en esa zona viene creciendo, principalmente con monocultivos que demandan una gran cantidad de agua. Las densidades poblacionales altas y un uso agrícola intensivo del suelo tienen impactos negativos en el ambiente. Además, Guatemala no tiene un reglamento de calidad de agua que permita el monitoreo de la calidad de sus ríos y su efecto sobre los océanos que apoyen programas de gestión ambiental. Investigadores del ITCR han llevado a cabo monitoreos a lo largo del país evaluando la calidad de las aguas. También se han evaluado una serie de índices de calidad del agua (ICAs) y se han desarrollado nuevos ICAs. Además, se han evaluado una serie de indicadores de calidad fisicoquímicos y microbiológicos. Por medio de métodos estadísticos se han determinado cuales indicadores de calidad evalúan mejor la calidad de las aguas. Esta experiencia

desarrollada en el pasado es importante compartirla con otros países con el fin de establecer nexos de colaboración regional que mejoren la calidad de sus ríos, y por ende, repercutan en una mejor calidad de nuestras aguas marinas regionales, que tienen una importante repercusión en temas económicos, relacionados con el turismo y la pesca, la seguridad alimentaria, aspectos sociales y ambientales. La normativa que utilice cada país debe ser aquella que se adapte mejor a las condiciones ambientales propias y los índices que se utilicen deben ser desarrollados de acuerdo con la normativa específica de cada país de la región por lo que el objetivo del proyecto es desarrollar un índice de calidad que sea veraz para evaluar la calidad de las aguas de los ríos y que contemple la realidad ambiental de Guatemala.

**Palabras clave:** Contaminación de ríos, índices, indicadores de calidad del agua

## **Abstract**

The seas of Latin America are of great wealth, due to oceanographic conditions in which tropical currents mix with Antarctic and sub-Antarctic waters. However, the pollution that drains the rivers to the seas, the growing human settlements around the coast, overfishing and growing agricultural activity, limit the ecosystem benefits. Although the sources of pollution are of a local nature, they acquire transnational dimensions when they reach the seas and cross the borders because of the sea currents that transport material from one country to another, so the issue of contamination must be addressed by several countries as a whole. Most countries share coasts with shared

ecosystems and resources and the Central American region is no exception. Guatemala is the most populous country in Central America with 17 million, agricultural activity in that area has been growing, mainly with single-crop farming that demand a large amount of water. High population densities and intensive agricultural land use have negative impacts on the environment. In addition, Guatemala does not have a water quality regulation that allows monitoring of the quality of its rivers and their effect on the oceans that support environmental management programs. ITCR researchers have carried out monitoring throughout the country evaluating water quality. A series of water quality indices (ICAs) have also been evaluated and new ICAs developed. In addition, a series of physicochemical and microbiological quality indicators have been evaluated. Through statistical methods it has been determined which quality indicators best assess water quality. This experience developed in the past is important to share with other countries in order to establish links of regional collaboration that improve the quality of their rivers, and therefore, have a better quality of our regional marine waters, which have an important impact on economic issues, related to tourism and fisheries, food security, social and environmental aspects. The regulations used by each country must be the one that best adapts to the own environmental conditions and the indices used must be developed in accordance with the specific regulations of each country in the region, so the objective of the project is to develop an index of quality that is truthful to evaluate the quality of river waters and that contemplates the environmental reality of Guatemala.

**Keywords:** Contamination of rivers, indexes, water quality indicators

## **PROYECTO 37: Desarrollo de sistema para evaluación biomecánica de implantes para prótesis óseo-integradas en modelos mímicos de hueso impresos en 3D**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Ingeniería de los Materiales

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales

Participante Escuela de Biología

Participante Escuela de Diseño Industrial

**Investigador Coordinador:** Dr. Teodolito Guillén Girón

Contacto: [tguillen@tec.ac.cr](mailto:tguillen@tec.ac.cr)

## **Resumen**

La investigación y desarrollo de prótesis en miembros inferiores se ha caracterizado por la implementación de materiales con una alta resistencia mecánica - funcional, sin embargo, permiten una configuración y personalización limitada debido a los procesos convencionales de fabricación. Uno de los componentes que tiene impactos significativos en la adaptación e implementación de prótesis es el socket, el cual permite el contacto entre el miembro residual y la prótesis, además de ser el medio de acople de la prótesis, este componente debe ser altamente personalizado y está sujeto a factores de uso que dificultan un correcto ajuste tales como su complejidad geométrica, cambios de volumen del miembro residual, biomecánica, sudoración. Estos factores tienen efectos significativos en los pacientes, los cuales pueden ser completamente incapaces de usar prótesis de socket, o deciden no usarla debido a los problemas asociados tales como irritación de piel, úlceras, dolor, problemas de marcha, entre otros. Recientemente los problemas de socket han logrado ser reducidos mediante la implementación de prótesis oseointegradas, las cuales reemplazan el socket por un implante metálico que es acoplado directamente en el hueso del miembro residual. La osteointegración se define como "el enlace estructural realizado en el punto de contacto donde se encuentran el hueso humano y la superficie de un implante sintético". La presente propuesta se centra en el desarrollo de sistemas para implementar implantes metálicos oseointegrados impresos en 3D, los cuales permitan, mediante la aplicación de tecnologías CAD-CAM-CAE, una correcta personalización, ajuste de los implantes y posibilidades de ampliar los campos de aplicación de estos dispositivos médicos.

**Palabras clave:** Prótesis, osseointegración, implantes metálicos, manufactura aditiva, caracterización mecánica, ensayos mecánicos

## **Abstract**

Research and development of prosthesis in inferior members has been characterized by the implementation of materials with a high mechanical - functional resistance, however, they allow a limited configuration and personalization due to the conventional manufacturing processes. One of the components that has significant impacts on the adaptation and implementation of prosthesis is the socket, which allows contact between the residual limb and the prosthesis, as well as being the means of coupling the prosthesis, this component must be highly personalized and it is subject to factors of use that hinder correct adjustment such as geometric complexity, volume changes of the residual limb, biomechanics, sweating. These factors have significant effects on patients, who may be completely unable to use socket prostheses, or decide not to use it due to associated problems such as skin irritation, ulcers, pain, gait problems, among others. Recently, socket problems have been reduced by the implementation of osseointegrated prostheses, which replace the socket with a metallic implant that is directly coupled to the bone of the residual limb. Osseointegration is defined as "the structural bond made at the point of contact where the human bone and the surface of a synthetic implant are located". The present proposal focuses on the development of systems to implement osseointegrated metal implants printed in 3D, which allow, through the application of CAD-CAM-CAE technologies, a correct

personalization, adjustment of the implants and possibilities of expanding the fields of application of these medical devices.

**Keywords:** Prosthesis, osseointegration, metal implants, additive manufacturing, mechanical characterization, mechanical tests

**PROYECTO 38: Desarrollo de un sistema PCT (presión-composición-temperatura) para medir la capacidad de almacenamiento de hidrógeno en intermetálicos nanoestructurados de TiFe producidos por torsión de alta presión (HPT)**

**Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Ingeniería de los Materiales

**Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales

**Investigador Coordinador:** Dr. Jorge Cubero Sesín

Contacto: [jcubero@tec.ac.cr](mailto:jcubero@tec.ac.cr)

**Resumen**

En esta propuesta, se plantea el desarrollo de un sistema PCT (presión-composición-temperatura) que permita realizar mediciones de la capacidad de almacenamiento de hidrógeno, particularmente, en materiales de compuestos intermetálicos nanocristalinos sintetizados por medio de deformación plástica severa (SPD, por sus siglas en inglés). Estos materiales podrían representar un aporte importante para una economía basada en hidrógeno como fuente de energía. Se plantea usar SPD para estabilizar fases metaestables de estos materiales en condiciones ambientales, ya que compuestos de Ti-Fe dopados de otros elementos se pueden modificar a nivel microestructural por medio de SPD y obtener resultados beneficiosos en el almacenamiento de hidrógeno en estado sólido, mediante la formación de hidruros metálicos estables con altas densidades volumétricas de hidrógeno absorbidas, gracias a un incremento en la cantidad de fronteras de grano y vacancias en el compuesto nanocristalino producido por SPD. El objetivo de este proyecto es desarrollar las capacidades para evaluar la capacidad de almacenamiento en estado sólido del hidrógeno en la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Para este propósito se pretende construir un instrumento que permita medir la capacidad de almacenamiento de hidrógeno utilizando los intermetálicos preparados en el proyecto VIE que precede, y es primera fase, de esta propuesta. Este instrumento permitiría iterar sobre la composición química y estructura de nuevos materiales nanoestructurados con altas capacidades de almacenamiento de hidrógeno., así como las propiedades de hidrogenación / deshidrogenación de los intermetálicos. De manera que, el desarrollo de técnicas para la evaluación de las propiedades de actividad del hidrógeno, provee un campo de

investigación de gran potencial alineado con el eje estratégico de investigación institucional en energía.

**Palabras clave:** óxidos, intermetálicos nanocristalinos, fotocatalisis, almacenamiento de hidrógeno, deformación plástica severa

### **Abstract**

In this proposal, the development of a PCT (pressure-composition- temperature) system that allows measurements of hydrogen storage capacity is laid out, particularly in composite nanocrystalline intermetallic materials synthesized by severe plastic deformation (SPD). These materials could represent an important contribution to an economy based on hydrogen as energy source. The use of SPD to stabilize metastable phases of these materials in environmental conditions is possible, since Ti-Fe compounds doped with other elements can modify their structure at the microstructural level. This results in improved storage capacity of hydrogen in solid state, through the formation of stable metal hydrides with high volumetric densities of absorbed hydrogen, thanks to an increase in the amount of grain boundaries and vacancies produced by SPD. The objective of this project is to develop capabilities to assess the amount of storage of hydrogen in solid state, at the School of Materials Science and Engineering. For this purpose, it is intended to build an instrument that allows measurement of hydrogen storage capacity using the intermetallic compounds prepared in a previous VIE project, which is the first phase of this proposal. This instrument would make it possible to iterate over the chemical composition and structure of new

nanostructured materials with high hydrogen storage capacities, as well as the evaluation of hydrogenation / dehydrogenation properties of the intermetallics. The development of techniques for the evaluation of hydrogen activity provides a research field of great potential, aligned with the strategic area of institutional research in energy.

**Keywords:** oxides, nanocrystalline intermetallics, photocatalysis, hydrogen storage, severe plastic deformation

## **PROYECTO 39: Desarrollo de celdas biofotovoltaicas utilizando la proteína bacteriorodopsina**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Ingeniería de los Materiales

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales

Participante Escuela de Ingeniería Electrónica

Participante Escuela de Química

**Investigador Coordinador:** Dra. Claudia Chaves Villarreal.

Contacto: [cchaves@tec.ac.cr](mailto:cchaves@tec.ac.cr)

### **Resumen**

El consumo de combustibles fósiles representa un factor de riesgo ambiental y social debido a la gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que genera, contribuyendo a la contaminación atmosférica y al cambio climático. Por otra parte, las tecnologías fotovoltaicas comerciales actuales y las que se encuentran en desarrollo emplean minerales y compuestos químicos tóxicos, de gran costo o su manufactura emite gran cantidad de GEI. Ante esta problemática, en este proyecto se propone la creación de una celda solar bio-sensibilizada utilizando la proteína fotoactiva bacteriorodopsina (bR) para capturar la energía solar y transformarla en energía eléctrica, buscando sustituir los tintes sintéticos y además que su configuración permita su adaptación a prótesis de retina artificial para restaurar la visión. Los sustratos sobre los cuales se inmovilizará la proteína se prepararán recubriendo vidrio conductor (ITO) con TiO<sub>2</sub>. La proteína se inmovilizará de forma covalente al sustrato. Para verificar la inmovilización de la bR y su funcionalidad se utilizará espectroscopia Raman, FTIR y UV-Vis, así como microscopía electrónica SEM. Los orbitales de frontera (LUMO y HOMO) de la proteína se determinarán por medio de voltametría cíclica. A partir de la posición del LUMO y HOMO se seleccionará un mediador redox adecuado para la celda solar. Los fotoánodos bR se ensamblarán con contraelectrodos y se rellenarán con un electrolito que contiene el par redox seleccionado, para obtener las celdas sensibilizadas con bR (bR-CS). La corriente eléctrica generada por la bR-CS se determinará por medio de un medidor de corriente-voltaje bajo la iluminación de un simulador solar. Por otra parte, la resistencia y tasa de transferencia de carga de las bR-CS utilizando distintos surfactantes se comparará por medio de espectroscopia de impedancia electroquímica, con el

fin de mejorar la transferencia de carga en la interfaz. La resistencia de conductancia intrínseca de la bR se medirá por medio de electrodos nanodistanciados. Los datos experimentales se ajustarán a un modelo matemático del circuito equivalente de la bR-CS para comparar los valores de resistencia de los componentes internos de la celda. El proyecto busca transferir los conocimientos adquiridos y desarrollados durante el doctorado financiado por beca del Banco Mundial de la profesora Claudia Chaves Villarreal al Instituto Tecnológico de Costa Rica. Dada la importancia que tiene el desarrollo del potencial energético nacional, y considerando la riqueza de biodiversidad que tiene Costa Rica para la generación energética renovable y sostenible, es esencial que se estudien nuevos sistemas para proporcionar alternativas de generación energética sustentables basadas en la innovación en tecnología biofotovoltaica eficiente. La creación de sinergias entre en TEC y otras instituciones internacionales fomenta el desarrollo de las energías renovables en Latinoamérica, además de contribuir al intercambio de conocimientos y generación de energía fiable, eficiente y poco contaminante, para la superación de la pobreza y la mejora de la calidad de vida en nuestra región.

**Palabras clave:** biofotovoltaica, bacteriorodopsina, celda solar biosensibilizada, surfactante, bioenergía

## Abstract

Fossil fuel combustion represents an environmental and social risk factor due to the large amount of greenhouse gas (GHG) emissions it generates, contributing to air pollution and climate change. On the other hand, current commercial photovoltaic

technologies and the ones under development employ toxic minerals and chemical compounds, are expensive or use energy-intensive manufacturing processes. Given this problem, the aim of this project is to create a bio-sensitized solar cell using the bacteriorhodopsin (bR) photoactive protein to capture solar energy and transform it into electrical energy, seeking to replace synthetic dyes. The substrates on which the protein will be immobilized will be prepared by coating conductive glass (ITO) with TiO<sub>2</sub>. To verify the immobilization of the bR and its functionality, Raman spectroscopy, FTIR and UV-Vis will be used, as well as SEM electron microscopy. The molecular orbital energy (LUMO and HOMO) of the protein will be determined by means of cyclic voltammetry. A suitable redox mediator will be selected from the position of the LUMO and HOMO. The bR photoanodes will be assembled with counter electrodes and filled with an electrolyte that contains the selected redox pair, to obtain the bR-sensitized solar cells (bR-CS). The power generated by the bR-CS will be determined by means of a current-voltage measurement under the illumination of a solar simulator. On the other hand, the resistance and charge transfer rate of the bR-CS using different surfactants will be compared by means of electrochemical impedance spectroscopy, in order to improve the charge transfer at the interface. The intrinsic conductance resistance of the bR will be measured by means of nanogap electrodes. The experimental data will fit a mathematical model of the equivalent circuit of the bR-CS to compare the resistance values of the internal components of the cell. The project aims to transfer the knowledge acquired and developed during the Ph.D. program of professor Claudia Chaves Villarreal financed by World Bank scholarship to Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). Given the importance of the development of the national energy

capacity, and considering the richness of biodiversity that Costa Rica has for renewable and sustainable energy generation, it is essential to study new systems to provide sustainable energy generation alternatives based on innovation in technology efficient biophotovoltaic. The creation of synergies between ITCR and other international institutions encourages the development of renewable energies in Latin America, in addition to contributing to the exchange of knowledge and generation of reliable, efficient and low-polluting energy, for overcoming poverty and improving the life quality in our region.

**Keywords:** biophotovoltaics, bacteriorhodopsin, bio-sensitized solar cell, surfactant, bioenergy

## **PROYECTO 40: NanoBiofertilizantes: Uso de arcillas en la preparación de Emulsiones de Pickering para formulados agrícolas a partir de biomasa microalgal de Arthrospira máxima**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Biotecnología Ambiental

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Biología

**Investigador Coordinador:** MSc. Maritza Guerrero Barrantes

Contacto: [mguerrero@tec.ac.cr](mailto:mguerrero@tec.ac.cr)

## **Resumen**

La agricultura tiene una gran importancia en la economía de nuestro país debido a su contribución en la producción interna y en la generación de empleos, siendo este, el sector responsable de la seguridad alimentaria de muchos países. En los últimos años, se ha visto afectada por la reducción de las áreas agrícolas, el cambio climático y el aumento en la población. Para suplir estas demandas, se ha tenido que implementar técnicas que permitan aumentar los rendimientos de los cultivos por área productiva y esto se ha logrado por medio del uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, uso de moléculas de origen sintéticos para el control de plagas y generación de variedades de plantas más productivas, entre otros. Sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes sintéticos permitió aumentar la productividad de alimentos, ocasionado grandes daños ambientales en muchas regiones del mundo. En nuestro país, se reportan valores de consumo de fertilizantes de hasta 980 kg/ha productiva, cifra que supera a los datos reportados para el resto de países latinoamericanos y europeos. Costa Rica por muchos años se ha reconocido como un país altamente productor de piña donde genera alrededor de ¢65.000 millones de colones a nivel nacional, se estima que produce 48.000 empleos directos e indirectos y el salario promedio de los trabajadores es un 6% mayor que el salario mínimo de ley. Así mismo, este cultivo se convierte en una actividad de alto impacto social, económico y ambiental. Razón por la cual, los productores resaltan el impacto positivo del cultivo y los grupos ambientalistas enfatizan los aspectos negativos. Esta propuesta planteada pretende solventar la limitada cantidad de investigación y desarrollo de formulaciones de emulsiones de biofertilizantes estabilizadas con arcillas, así

mismo, el efecto que tendría en el mejoramiento de las condiciones microbianas del suelo. La combinación de biomasa microalgales y arcillas costarricenses en la formulación de un nanobiofertilizante pretende generar un prototipo de producto que además de dar un aporte nutricional a los cultivos por medio del contenido de aminoácidos, fitohormonas, materia orgánica, macro y micronutrientes, también cuenta con los beneficios que aportarían las arcillas. Una vez establecido un prototipo de formulación de nanobiofertilizante, se realizarán pruebas en parcelas experimentales con plantas de piña. A pesar de que, se cuenta en el mercado con diferentes insumos agrícolas con nuevas tecnologías que permiten aumentar los rendimientos de los cultivos, en la actualidad no se dispone de un producto a base de microalgas de tecnología nacional, que además de contribuir con las mejoras en los rendimientos agrícola, contemple reducir la huella de carbono, disminuir el efecto de los pesticidas y contribuir a restablecer las comunidades microbianas del suelo.

**Palabras clave:** Microalgae, nanofertilizante, nanoemulsión, recuperación de suelos, abono orgánico

## **Abstract**

Agriculture has a great importance in the economy of our country due to its contribution in the internal production and in the generation of jobs, being this, the sector responsible for the food security of many countries. In recent years, it has been affected by the reduction of agricultural areas, climate change and the increase in population. To meet these demands, it has

been necessary to implement techniques to increase crop yields by productive area and this has been achieved through the use of synthetic nitrogen fertilizers, use of synthetic origin molecules for the control of pests and generation of more productive plant varieties, among others. However, the excessive use of synthetic fertilizers allowed to increase food productivity, causing great environmental damage in many regions of the world. In our country, values of fertilizer consumption are of up to 980 kg / ha of productive land are reported, a figure that exceeds the data reported for the rest of Latin American and European countries. Costa Rica for many years has been recognized as a highly pineapple producing country where it generates around ¢ 65,000 million colones at the national level, it is estimated that it produces 48,000 direct and indirect jobs and the average salary of workers is 6% higher than the minimum wage of law. Likewise, this crop becomes an activity with a high social and economic impact, and environment impact. Reason why, the producers emphasize the positive impact of the crop and the environmental groups emphasize the negative aspects. This proposal aims to solve the lack of research and development of emulsion formulations of biofertilizers, likewise, the effect it would have on the improvement of microbial soil conditions is not known. The combination of microalgal biomasses and Costa Rican clays in the formulation of a nanobiofertilizer aims to generate a product prototype that, in addition to giving a nutritional contribution to crops through the content of amino acids, phytohormones, organic matter, macro and micronutrients, also has the benefits that the clays would bring. Once a prototype formulation of nanobiofertilizer has been established, tests will be carried out on experimental plots with pineapple plants. In spite of the fact that there are different agricultural inputs in the market with new

technologies that allow increasing crop yields, at present there is not a national technology product, which in addition to contributing to improvements in agricultural yields, would aim to reduce the carbon footprint, reducing the effect of pesticides and contributing to the restoration of microbial communities in the soil.

**Keywords:** Microalgae, nanofertilizer, nanoemulsion, soil recovery, organic fertilizer, pineapple

## **PROYECTO 41: Producción de mutantes de arroz (*Oryza sativa*) tolerantes a herbicidas utilizando rayos gamma para contribuir con el manejo sostenible del cultivo**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ciencias Agronómicas

**Sub área:** Biotecnología Agrícola

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Biología

Participante Escuela de Física

**Investigador Coordinador:** Lic. Jason Pérez Chaves

Contacto: [jasperez@tec.ac.cr](mailto:jasperez@tec.ac.cr)

## **Resumen**

El mejoramiento genético de arroz se ha enfocado en la búsqueda de variedades que muestren tolerancia o resistencia a condiciones específicas que limitan la producción. Uno de los factores más limitantes es el combate de malezas, que pueden disminuir hasta 50 % la cosecha, si no se realiza oportunamente. Los métodos de combate utilizados convencionalmente no son viables en arroz, teniendo en cuenta que este es un cultivo extensivo, lo que imposibilita equilibrar el tiempo de deshierba y la aparición y abundancia de malezas en el terreno. Actualmente no existe ningún otro método de control de malezas que sea tan eficiente como el uso de herbicidas, ganando gran aceptación entre los agricultores por el aumento generalizado en la producción y la incorporación de prácticas de cero o mínima labranza, que se traducen en menor impacto en el ambiente y en la salud de los trabajadores, siendo un método más barato para el manejo. Por lo anterior, el desarrollo de variedades con tolerancia a herbicidas hará más eficiente y oportuno el combate de malezas. Para este propósito, la mutagénesis radioinducida en arroz es de amplio uso para la generación de variabilidad genética y ha sido más fácilmente aceptada por productores y consumidores que otras técnicas de mejoramiento como la transgénesis y el mejoramiento convencional que requiere mucho tiempo e inversión. En esta investigación se propone la obtención de mutantes tolerantes a los herbicidas ariloxifenoxipropionatos y atrazinas, utilizando radiaciones gamma en callos embriogénicos de arroz de una variedad comercial demandada por los consumidores. Para esto, investigadores del Centro de Investigación en Biotecnología, la Escuela de Física y un estudiante de doctorado de DOCINADE se unieron para el desarrollo de la

presente investigación. Callos embriogénicos serán inducidos a partir de semillas establecidas asépticamente in vitro. Estos callos serán irradiados con diferentes dosis para determinar la DL50. La sensibilidad a los herbicidas será determinada en callos no irradiados e irradiados y cultivados en el medio adicionado con los herbicidas. Finalmente, las líneas mutantes regeneradas serán multiplicadas y transferidas al invernadero para la obtención de la M2. Adicionalmente, estas plantas de la M1 y M2 con tolerancia a herbicidas serán analizadas mediante secuenciación de los genes blanco psbA y ACCasa. Utilizando herramientas bioinformáticas se analizará el tipo de mutación y la heredabilidad de la resistencia a los herbicidas. Las líneas tolerantes podrán ser transferidas a los productores para su evaluación en campo.

**Palabras clave:** Selección in vitro, tolerancia a herbicidas, mutantes, radiación gamma, arroz

## **Abstract**

Genetic improvement of rice has been focused on the search of varieties that show tolerance or resistance to specific conditions that limit production. One of the most limiting factors is weeds control, which reduce harvest by up to 50%, if not done in a timely manner. Conventional methods of control are not viable in rice, due to it is an extensive crop it is impossible to balance the time of weeding and the appearance and abundance of weeds in the field. Currently there is no other method of weed control as efficient as the use of herbicides, gaining great acceptance among farmers by the widespread increase in production and the incorporation of zero or minimum tillage

practices, which result in less impact in the environment and in the health of the workers, and the most cost-effective way for weed control. Therefore, the development of herbicide tolerant varieties will make weed control more cost and time-effective. For this purpose, radio-induced mutagenesis in rice is widely used for the generation of genetic variability and has been more easily accepted by producers and consumers than other breeding techniques such as transgenesis and conventional breeding that requires a lot of time and investment. This purpose of this research is obtaining mutants tolerant to aryloxyphenoxypropionate and atrazine herbicides, irradiating embryogenic calluses of rice with gamma rays using a commercial variety demanded by consumers. The methodology will consist on inducing embryogenic calluses from seeds established aseptically in vitro, then, those calluses will be irradiated with different doses to determine the LD50. Afterwards, the sensitivity to herbicides will be determined in non-irradiated and irradiated calluses by culturing them in the medium with the herbicides. Mutant lines regenerated will be multiplied and transferred to the greenhouse to obtain the M2. Additionally, these M1 and M2 plants with tolerance to herbicides will be analyzed by sequencing the target psbA and ACCase genes. The type of mutation and the heritability of herbicide resistance will be analyzed using bioinformatic tools. Tolerant lines will be transferred to farmers for evaluation in the field.

**Keywords:** In vitro selection, herbicide tolerance, mutants, gamma irradiation, rice

## **PROYECTO 42: Desarrollo de una mezcla de microorganismos benéficos para el incremento de la vida útil post-cosecha de la cebolla en la zona norte de Cartago**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ciencias Agronómicas

**Sub área:** Biotecnología Agrícola

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Biología

**Investigador Coordinador:** Ing. William Rivera Méndez

Contacto: [wirivera@tec.ac.cr](mailto:wirivera@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Uno de los factores que causa mayores pérdidas económicas en la agrocadena de cebolla son las pérdidas post-cosecha causadas por hongos saprófitos y descomponedores que pudren los bulbos durante el período de almacenamiento. Estas pérdidas calculadas representan entre un 15 a un 20% del total de 38778 toneladas, con un valor de 2.326.680.000 millones de colones para el 2018. Las únicas tecnologías disponibles son los secadores industriales de pequeña escala, que están valorados en al menos 100 millones de colones, y la otra, son secadores solares de baja eficiencia. El alto costo de la primera opción tecnológica hace que los agricultores no tengan acceso a estos y utilicen procesos de secado físico, que dependen de los factores ambientales pero que tienen grandes limitaciones en su eficacia para reducir los daños por enfermedades en el almacenamiento. El abordaje del problema y la solución que se plantea en esta propuesta es bastante novedosa por la incorporación de tecnologías microbiológicas para el establecimiento de una barrera protectora en la cebolla. La idea principal es desarrollar una mezcla de microorganismos y aditivos, que aceleren el proceso de secado de los bulbos y a la vez, brinden una protección biológica contra el crecimiento de los hongos que causan la pudrición del material vegetal en las bodegas. Esta propuesta es una solución de bajo costo, que puede impactar positivamente en el sector cebollero nacional y en el mercado interno de hortalizas. Además, puede ser la base de un conocimiento protegible por parte de la Institución y que permita su transferencia exitosa a productores, técnicos y/o empresarios. La revisión bibliográfica permitió corroborar que hay muy pocas investigaciones en esta área, por lo que el aporte del TEC en la generación de conocimiento sobre cómo

se desarrollan los mecanismos de biocontrol en procesos productivos de secado y almacenamiento, puede considerarse muy vinculante y altamente novedoso. Además, en referencia al quehacer propiamente en investigación científica del TEC, actualmente, el grupo de investigación en Biocontrol del CIB es el único equipo de investigación en Centroamérica y de los pocos en Latinoamérica, centrado en el desarrollo de tecnologías para la mejora del cultivo de la cebolla. Se tiene una hoja de ruta en este cultivo de 10 años de investigación y esto ha permitido consolidar al Laboratorio de Biocontrol del CIB ante el sector productivo nacional y vincularlo con éxito a centros de investigación a nivel internacional.

**Palabras clave:** Cebolla, tecnología post-cosecha, microorganismos, secado

### **Abstract**

One of the factors causing greater economic losses in the onion agro-chain is the post-harvest losses caused by saprophytic and decomposing fungi that rot the bulbs during the storage period. These calculated losses represent between 15 and 20% of the total 38,778 tons, with a value of 2,326,680,000 million colones by 2018. The only available technologies are small-scale industrial dryers, which are valued at least 100 million colones, and the other, are low-efficiency solar dryers. The high cost of first technological option means that farmers do not have access to them and use physical drying processes (second technology), which depend on environmental factors but which have great limitations in their effectiveness in reducing storage damage. The approach to problem and the solution exposed in this

proposal is quite novel because of the incorporation of microbiological technologies for the establishment of a protective barrier in onions. The main idea is to develop a mixture of microorganisms and additives, which accelerate the drying process of bulbs and, at the same time, provide a biological protection against the growth of fungi that cause the rot of vegetables in the cellars. This proposal is a low-cost solution that can have a positive impact on the onion sector and on the domestic vegetable market. In addition, it can be the basis of a knowledge that can be protected by the Institution and that allows its successful transfer to producers, technicians and / or entrepreneurs. The bibliographic review allowed to corroborate that there is very little research in this area, so the contribution of the TEC in the generation of knowledge on how the biocontrol mechanisms are developed in productive processes of drying and storage, can be considered very binding and highly innovative. In addition, in reference to the proper work in scientific research of TEC, at present, this research group is the only team in Central America and of the few in Latin America, focused on the development of technologies for the improvement of onion cultivation. There is a roadmap in this crop of 10 years of research and this has allowed to consolidate the Biocontrol Laboratory of CIB before the national productive sector and link it successfully to Research Centers at an international level.

**Keywords:** Onion, post-harvest technology, microorganisms, drying

## **PROYECTO 43: Caracterización de actividad lipasa endógena de especies de microalgas y desarrollo de transesterificación in situ para la producción de ésteres etílicos de ácidos grasos, como materia prima para biocombustibles**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Biotecnología Ambiental

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Biología

**Investigador Coordinador:** M.Sc. Maritza Guerrero Barrantes

Contacto: [mbarrantes@tec.ac.cr](mailto:mbarrantes@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Las microalgas son una de las fuentes de biocombustibles renovables con alto potencial para los próximos años, debido a sus características favorables respecto a otros cultivos bioenergéticos. Sin embargo, aún se debe generar los conocimientos, las técnicas y la industrialización relacionadas, para reducir el impacto ambiental y el alto costo de la producción convencional de los biocombustibles a partir del aceite microalgal. El objetivo de este estudio es desarrollar un proceso de transesterificación por actividad lipasa endógena de microalgales silvestres de Costa Rica, para la producción de un precursor de biocombustibles alternativos. Las lipasas son enzimas naturales en las microalgas que permitirán realizar la transesterificación de los lípidos en la biomasa húmeda, reduciendo costos de secado y extracción del lípido, además prescinde de catalizadores para la producción de la materia prima para biocombustible (ésteres metílicos de ácidos grasos o FAEE) pues las mismas enzimas de la biomasa pueden conducir esta reacción con altos rendimientos de hasta 80%. La primera etapa de proyecto es el estudio es encontrar una cepa de microalga con alta actividad lipasa y posteriormente inducirla a producir mayor cantidad de lípidos mediante modificación de las condiciones de crecimiento. Los aceites producidos por el alga posteriormente serán transformados en precursores de biocombustibles por medio de la transesterificación directa en la biomasa húmeda mediante la adición de etanol para generar los FAEE. Esta última fase conlleva el estudio de múltiples factores como temperatura, pH, concentración de reactivos, entre otros, para generar un proceso novedoso con la identificación de cepas y condiciones de reacción. Por medio de un abordaje transdisciplinario donde participan Químicos y

Biotecnólogos, además de la reinserción de la doctorando M. Eng Karla Meneses quien es especialista en procesos enzimáticos para conversión de aceites en FAEE, la colaboración de Hashem Bullion Company Pty Ltd, se avanzaría en la investigación en bioenergías para a futuro generar biocombustibles en nuestro país. Este proyecto se enmarca en los ejes transversales de “Energía e Industria” y es una primera fase para obtener a pequeña escala FAEE. A futuro, los procesos desarrollados podrán ser escalados permitiendo maximizar los rendimientos para aplicarse a proyectos de gran interés (nacional e internacional) posicionando al TEC como una institución innovadora en el ámbito de la "bioenergía alternativa".

**Palabras clave:** Chlorella sp, Isochrysis galbana, aceites, FAEE, enzimas transferasas

### **Abstract**

Microalgae are one of the sources of renewable biofuels with high potential for the coming years, due to their favorable characteristics compared to other bioenergetic crops. However, the related knowledge, techniques and industrialization must still be generated to reduce the environmental impact and the high cost of conventional production of biofuels from microalgal oil. The main problems of oil processing are its high extraction costs and polluting and inefficient processes in the transesterification stage. The objective of this study is to develop a process of transesterification by endogenous lipase activity of wild microalgae of Costa Rica, for the production of alternative biofuels. Lipases are natural enzymes in the microalgae that will

allow transesterification of the oil in the wet biomass, reducing costs of drying and oil extraction, as well as the lack of catalysts for the production of the raw material for biofuel (fatty acid methyl esters or FAEE) because the same biomass enzymes can conduct this reaction with high yields of up to 80%. The first stage of the project is the study of 3 microalgal strains to find a strain with high lipase activity and subsequently induce the selected microalgae to produce greater amounts of oils by modifying the growth conditions, these oils will later be transformed into precursors of Biofuels through direct transesterification in wet biomass by adding ethanol to generate FAEE. This last phase involves the study of multiple factors such as temperature, pH, reagent concentration, among others, to generate a novel process with the identification of strains and reaction conditions. Through a transdisciplinary approach involving Chemists and Biotechnologists, in addition to the reintegration of the Ph.D. M. Eng Karla Meneses who is a specialist in enzymatic processes for oil conversion in FAEE, the collaboration of Hashem Bullion Company Pty Ltd, would advance in the Bioenergy research to generate biofuels in the future in our country. This project is part of the transversal axes of “Energy and Industry” and is a first phase to obtain a small-scale FAEE. In the future, the processes developed may be scaled up, allowing maximum yields to be applied to projects of great interest (national and international), positioning the TEC as an innovative institution in the field of "alternative bioenergy".

**Keywords:** Chlorella sp, Isochrysis galbana, oil, FAEE, transferase enzyme

## **PROYECTO 44: Alimentómica de microalgas: determinación de metabolitos primarios y secundarios en biomasas microalgales para la elaboración de alimentos funcionales**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Biotecnología Ambiental

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Biología

Participante Escuela de Química

**Investigador Coordinador:** M.Sc. Maritza Guerrero Barrantes

Contacto: [mguerrero@tec.ac.cr](mailto:mguerrero@tec.ac.cr)

## **Resumen**

En los últimos años el grupo de investigación en microalgas del CIB ha liderado proyectos a nivel nacional para la utilización de las microalgas como un suplemento alimenticio carbono-neutral potencial para la alimentación de animales. Estas han mostrado perfiles nutricionales de altos contenidos de proteína, carbohidratos y lípidos funcionales. Por medio del desarrollo de sistemas de producción en donde se aprovecha los residuos agroindustriales se ha disminuido los costos de producción de materias primas que puedan sustituir parcialmente el maíz y la soya. Sin embargo, los beneficios de las microalgas no se limitan a su contenido de proteínas, lípidos y carbohidratos, estas presentan una serie de metabolitos y minerales que podrían contribuir a mejorar la nutrición y la salud de los animales y del ser humano. Actualmente, a nivel nacional la información con que se cuenta del contenido de los metabolitos primarios y secundarios en las biomasas cosechadas con medios de cultivo alternativos es muy limitado, se requiere comprender con detalle la composición de los metabolitos secundarios y minerales lo que permitiría al sector industrial conocer la composición de las biomasas de la microalga y usarlas en la construcción de suplementos de animales o humanos como un alimento funcional. Para ello, se requiere profundizar en los estudios haciendo uso de herramientas como las omicas para mostrar todo el potencial que las microalgas presentan. A través de la alimentómica (disciplina que examina todo el conjunto de sustancias presentes en los alimentos, sus propiedades nutricionales y su impacto en la salud) se realizará un estudio transdisciplinario para determinar el perfil de metabolitos de las microalgas *Haematococcus pluvialis*, *Isochrysis galbana* y *Arthrospira maxima* como fuente potencial

de alimentos funcionales. Se desarrollarán cultivos suplementados con micronutrientes como Zinc (Zn), Manganese (Mn) y Selenio (Se) para su incorporación en la biomasa microalgal, además, se realizarán ensayos para determinar el poder antioxidante (valor ORAC). La investigación incluye, además, pruebas de escalamiento y determinación de puntos críticos, para asegurar el crecimiento estable de las microalgas en condiciones de cultivo masivo al ser suplementadas con micronutrientes. Se realizará el diseño de un prototipo de núcleo mineral proteico para el sector avícola, acuícola y un prototipo de Snack para humanos que cumpla con las normativas del reglamento RTCA y el Código Alimenticio. Los resultados generados permitirán impactar a las industrias de producción alimenticia nacional y a los consumidores debido a las posibles mejoras a nivel nutricional de los productos derivados de huevos, pescado y biomasa de microalgas lo cual contribuiría a la salud pública con acciones que atiendan las diferentes formas de malnutrición que se podría presentar en nuestra sociedad. El proyecto puede generar conocimiento innovador donde se podría generar patentes o secreto industrial, a su vez el producto (s) podrían concebir alternativas de solución para diversos sectores con represión alimentaria tales como: pacientes con diversas patologías, pacientes quirúrgicos, adultos mayor y familias en desnutrición.

**Palabras clave:** Alimentos funcionales, micro nutrientes, microalgas

## **Abstract**

In recent years our research group has led projects nationally for the use of microalgae as a potential carbonneutral food supplement for animal feed. These have shown nutritional profiles of high contents of protein, carbohydrates and functional lipids. Through the development of production systems where agroindustrial waste is used, the production costs of raw materials that can partially replace corn and soy have been reduced. However, the benefits of microalgae are not limited to their content of proteins, lipids and carbohydrates, they present a series of metabolites and minerals that could contribute to improving the nutrition and health of animals and humans. At present, at the national level the information on the content of the primary and secondary metabolites in the biomass harvested with alternative culture media is very limited, it is required to understand in detail the composition of amino acids, the lipid profile, the carbohydrates present, the secondary metabolites and minerals that would allow the industrial sector to know the composition of the microalga biomass and use them in the construction of animal or human supplements as a functional food. To do this, it is necessary to deepen the studies using tools such as omics to show the full potential of microalgae. Through the foodomic (discipline that examines the whole set of substances present in food, their nutritional properties and their impact on health) a transdisciplinary study will be carried out to determine the metabolite profile of the microalgae *Haematococcus pluvialis*, *Isochrysis galbana* and *Arthrospira maxima* as a potential source of functional foods. Cultures supplemented with micronutrients such as Zinc (Zn), Manganese (Mn) and Selenium (Se) will be developed for their incorporation into the microalgal biomass, in addition, tests will

be carried out to determine the antioxidant power (ORAC value). The research also includes scaling tests and determination of critical points, to ensure the stable growth of microalgae in mass culture conditions when supplemented with micronutrients. The prototype of a protein mineral core for the poultry, aquaculture sector and a human Snack prototype that complies with the regulations of the RTCA bylaw and the Food Codex will be made. The results generated will impact the national food production industries and consumers due to possible nutritional improvements of products derived from eggs, fish and microalgae biomass which would contribute to public health with actions that address the different forms of malnutrition that could occur in our society.

**Keywords:** Functional foods, micro nutrients, microalgae

## **PROYECTO 45: Proceso de domesticación del coyol (*Acrocomia aculeata*) como una alternativa bioenergética en Costa Rica, Fase II**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Biotecnología Ambiental

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Biología

**Investigador Coordinador:** M.Sc. Maritza Guerrero Barrantes

Contacto: [mguerrero@tec.ac.cr](mailto:mguerrero@tec.ac.cr)

### **Resumen**

El gobierno de Costa Rica tiene planteado como meta, lograr la descarbonización al 2050, para cumplir con esto es necesario buscar y desarrollar nuevas alternativas al uso de combustibles fósiles, como lo sería el empleo de especies oleaginosas como fuentes alternativas de biocombustibles. Se ha identificado el coyol (*Acrocomia aculeata*) como una especie con gran potencial bioenergético. De los frutos se obtiene aceite y se produce biodiesel. El aceite presenta un alto valor alimenticio. En Costa Rica además de usarse como bebida, los frutos son mayormente utilizados como alimento para el ganado, siendo esta una fuente de alimentación natural para los animales en pastoreo. Aparte de esto, se conoce que su savia fermentada puede ser utilizada para hacer el llamado vino de coyol, un tipo de licor común en la zona de Guanacaste. De los residuos del producto de la extracción del aceite se puede generar una gran diversidad de productos tales como carbón con alto valor calorífico, pellets y otros productos ricos en fibras, lípidos, proteínas, macro y micronutrientes, componentes con gran cantidad de antioxidantes, alimento animal y humano. Un grupo de investigadores de las universidades estatales, dieron los primeros pasos para el uso de esta especie dentro de un modelo de cultivos, donde se identificaron factores críticos que deben resolverse para lograr la domesticación del coyol en Costa Rica. Durante esta primera fase del proyecto se identificaron y caracterizaron árboles de coyol en diferentes zonas del país, de los cuales se establecieron en un banco de germoplasma ubicado en la Estación Experimental Fabio Baudrit. En la segunda fase se propone una identificación y seguimiento de las mejores plantas en la Región Central y Pacífica de Costa Rica, con el fin de determinar las mejores

plantas en términos de la cantidad y calidad del aceite. Dentro de los estudios que se proponen realizar están: fenología reproductiva, caracterización genética y del aceite, así como pruebas de germinación de las semillas bajo diferentes métodos para lograr contar con material que pueda ser utilizado por los agricultores. Estos esfuerzos van alineados con lo propuesto en el Programa Nacional de Bioenergía del MAG, PITTA-Bioenergía y la iniciativa de carbono neutralidad a nivel país, también se contará con el apoyo internacional del Dr. Carlos Colombo (Brasil), experto en mejoramiento genético de coyol, el cual mediante una pasantía realizada en el 2018, se reafirmó la colaboración conjunta con el TEC y permitirá el aprovechamiento del conocimiento generado por su equipo para el cumplimiento de los objetivos planteados. Finalmente se busca activar la agroindustria y acompañar a los agricultores, que les permita abrir opciones generadoras de empleo y riqueza, donde no solamente se obtendría bioenergía, sino subproductos a partir de la actividad agrícola e industrial.

**Palabras clave:** Coyol, *Acrocomia aculeata*, bioenergía, domesticación

## **Abstract**

The government of Costa Rica has as a goal, to achieve decarbonization by 2050; to comply with this it is necessary to seek and develop new alternatives to the use of fossil fuels, such as the use of oilseeds as other sources of biofuels. Coyol (*Acrocomia aculeata*) has been identified as a species with great bioenergetic potential. Oil is obtained from the fruits and with it biodiesel is produced. The oil has a high nutritional value. In

Costa Rica, in addition to being used as a beverage, the fruits are mostly used as food for livestock, this being a natural food source for grazing animals. Apart from this, it is known that its fermented sap can be used to make the so-called coyol wine, a type of liquor common in the Guanacaste area. From the residues of the oil extraction a great diversity of products can be produced, such as; coal with high calorific value, pellets and other products rich in fibers, lipids, proteins, macro and micronutrients, components with a large amount of antioxidants, animal and human food. A group of researchers from state universities took the first steps to use this species within a crop model, where critical factors were identified that must be resolved to achieve domestication of coyol in Costa Rica. During this first phase of the project, coyol trees were identified and characterized in different areas of the country, of which they were established in a germplasm bank located at the Fabio Baudrit Experimental Station. In the second phase, an identification and monitoring of the best plants in the Central and Pacific Region of Costa Rica is proposed, in order to determine the best plants in terms of the quantity and quality of the oil. Among the studies that are proposed to be carried out are: reproductive phenology, genetic and oil characterization, as well as tests of seed germination under different methods to achieve material that can be used by farmers. These efforts are aligned with the proposals in the National Bioenergy Program of the MAG, PITTA Bioenergy and the carbon neutrality initiative at the country level. International support will also be provided by Dr. Carlos Colombo (Brazil), expert in genetic improvement of coyol, which through an internship held in 2018, reaffirmed the joint collaboration with the TEC and will allow the use of the knowledge generated by its team to meet the objectives set. Finally, it seeks to activate agribusiness and accompany

farmers, which allows them to open employment and wealth generating options, where not only bioenergy would be obtained, but by-products from agricultural and industrial activity.

**Keywords:** Coyol, *Acrocomia aculeata*, domestication

## **PROYECTO 46: Evaluación de un sistema biológico eucariota (*Nicotiana tabacum*) para la producción de insulina humana recombinante, con miras al escalamiento en biorreactor**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ciencias médicas y de la salud

**Sub área:** Biotecnología de la Salud

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Biología

Participante Escuela de Agronomía

**Investigador Coordinador:** M.Sc. Monserat Jarquín Cordero

Contacto: [mocordero@tec.ac.cr](mailto:mocordero@tec.ac.cr)

## **Resumen**

La insulina es una proteína de gran importancia para el buen desarrollo metabólico del ser humano, ya que transporta la glucosa al páncreas para ser metabolizada. Sin embargo, debido a problemas genéticos y de nutrición, existe un alto número de personas que su cuerpo no genera esta proteína, por lo cual desarrollan la enfermedad llamada diabetes, dicha enfermedad tiene un alto índice de pacientes y muertes a nivel mundial. Para generar medicamentos y terapias eficientes es necesario el establecimiento de plataformas de expresión que permitan generar la insulina de forma eficiente, escalable y segura. *Nicotiana tabacum* es un organismo eucariota que presenta un metabolismo óptimo para la expresión de proteínas recombinantes. Esto debido a su capacidad de realizar modificaciones post-transduccionales, escalabilidad y técnicas disponibles para su transformación genética. El presente estudio busca generar una plataforma utilizando dicha especie desde dos estrategias distintas (transformación genética nuclear y plastidal) que permita expresar, escalar y purificar insulina para evaluar su efectividad en células pancreáticas con deficiencia en insulina.

**Palabras clave:** Insulina, *Nicotiana tabacum*, transformación genética, proteína recombinante, péptido señal, bioactividad.

## **Abstract**

Insulin is a protein of great importance for the good metabolic development of the human being, since it transports glucose to the pancreas to be metabolized. However, due to genetic and nutritional problems, there is a high number of people who do

not produce this protein, which is why they develop the disease called diabetes, which is a high cause of patients and deaths worldwide. In order to generate efficient medicines and therapies, it is necessary to establish expression platforms to produce this protein in an efficient, scalable and safe way. *Nicotiana tabacum* is an eukaryotic organism that present an optimal metabolism for the expression of recombinant proteins. This is due to its ability to make post-transductional modifications, scalability and available techniques for its genetic transformation. The present study seeks to generate transformed tobacco cells using this specie from two different approach (plastid and nuclear transformation) that can express, scale and purify proinsulin to evaluate its biological activity in human cells.

**Keywords:** Proinsulin, *Nicotiana tabacum*, genetic transformation, recombinant protein, signal peptide, bioactivity.

## **PROYECTO 47: Formulación de un prototipo de uso tópico a partir de extractos de fresa (Fragaria x ananassa., variedad Festival) ricos en antocianinas**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2022

**Área:** Ciencias Médicas y de la Salud

**Sub área:** Biotecnología de la Salud

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Biología

Participante Escuela de Química

**Investigador Coordinador:** Dra. Laura Calvo Castro

Contacto: [ancalvo@tec.ac.cr](mailto:ancalvo@tec.ac.cr)

## **Resumen**

La piel es el órgano que proporciona al cuerpo protección primaria contra el medio externo. Sin embargo, las características de impermeabilidad de este tejido limitan la absorción de sustancias en cantidades adecuadas, así como su penetración eficaz a través de las capas del tejido, lo cual dificulta la administración de muchos tratamientos para lesiones y enfermedades de la piel. En este sentido, los fitoquímicos antioxidantes representan una fuente alternativa para el desarrollo de productos tópicos con potencial bioactivo. Los frutos rojos, especialmente las bayas (fresas, moras, frambuesas), son de especial interés debido a que contienen antocianinas, pigmentos con alto potencial antioxidante y antiinflamatorio. En el caso de la fresa, numerosos estudios han demostrado sus beneficios para la salud humana; sin embargo, la mayoría de los estudios se enfocan en el fruto, de forma que el resto de la planta está subutilizada. Además, en otras frutas (mora y uva) se ha demostrado que puede existir mayor contenido de polifenoles en los tallos y en las hojas que en los frutos. La presente propuesta plantea analizar el perfil fitoquímico en hojas de plantas de fresa de la zona norte de Cartago y compararlo con plántulas de fresa cultivadas in vitro, con el fin de identificar las condiciones de cultivo óptimas para elicitación mayor producción de antocianinas y aprovecharlas para formular un prototipo natural de uso tópico con potenciales aplicaciones biomédicas, cuya bioactividad se evaluará en modelos de piel in vitro.

**Palabras clave:** antocianinas, antioxidantes, fresa, piel, fitoquímica, bioactividad.

## **Abstract**

Skin is the organ that provides primary protection to the body against the environment. However, skin impermeability limits the absorption and penetration of substances through the tissue layers in adequate quantities, making it difficult to treat skin lesions and diseases. Antioxidant phytochemicals represent an alternative source of new topic agents with bioactive potential. Red fruits, especially berries (strawberries, blackberries, raspberries), are of special interest due to their content in anthocyanin pigments, which have strong antioxidant and anti-inflammatory potential. Regarding strawberry, numerous studies have shown its benefits for human health; however, most studies have focused on studying strawberry fruit, while the rest of the plant has been widely overlooked. Moreover, it has been shown that polyphenol content might be higher in plant leaves and stems than in the fruit (e.g. in blackberry and grapevine). The present proposal aims to examine the phytochemical profile of strawberry plant leaves from the northern zone of Cartago, and to compare it with strawberry seedlings grown in vitro. The objective is to identify the optimal growing conditions for eliciting greater anthocyanin production in the plants, and to use them to formulate a prototype topical formulation with potential biomedical applications, which will be evaluated in in vitro skin models.

**Keywords:** anthocyanins, antioxidants, strawberry, skin, phytochemistry, bioactivity.

## **PROYECTO 48: Desarrollo de un proceso industrial para la producción de un bio-material y subproductos a partir de la fibra de la hoja de la piña**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Sub área:** Biotecnología Ambiental

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Biología

**Investigador Coordinador:** Dr. Giovanni Garro Monge

Contacto: [ggarro@tec.ac.cr](mailto:ggarro@tec.ac.cr)

## **Resumen**

Este es un proyecto de investigación aplicada que pretende desarrollar un proceso industrial eficiente a gran escala para procesar grandes volúmenes de la hoja de la planta de la piña y transformarla en materias primas de alto valor agregado para otras industrias. Como primer objetivo se plantea la transformación en un bio-material que pueda ser empleado en primera instancia en la producción de los empaques de exportación de la misma industria piñera, y, en segundo lugar, subproductos de alto valor agregado como la celulosa para las industrias alimenticia, química y farmacéutica. El proyecto se plantea en etapas, siendo la primera la investigación propia para la transformación del residuo en los productos esperados, la implementación de una planta piloto, la producción de un “producto mínimo viable”, estudio de mercado para subproductos, comercialización del producto mínimo viable y el diseño del escalamiento industrial proyectado. En una segunda etapa se realizaría el escalamiento requerido. La hoja de la piña contiene elementos valiosos con potencial comercial explotable como materia prima en otras industrias. De forma resumida esos elementos son: ▪ Fibra que cuenta con características físicas de torsión, elasticidad, resistencia térmica y otras, deseables para la producción de un bio-material. Además, existe evidencia de sus beneficios al ser aplicada en procesos para fortificar otros materiales como el concreto, plásticos y bioplásticos. ▪ Lignina: tiene alto valor como combustible y también como potencial bio-fertilizante y para otras aplicaciones en la industria química. ▪ Celulosa: con procesos sencillos de transformación tiene alto valor para la industria farmacéutica, química, alimenticia y nutracéutica. El objetivo primordial de este proyecto es procesar de forma industrial y eficiente la

mayor cantidad de la biomasa generada por la hoja de la planta de la piña que actualmente es dejada en el campo (9 millones de toneladas aprox.). La razón es que, para alcanzar eficiencias operativas, se requiere ser capaz de procesar industrialmente altos volúmenes de biomasa, para reducir costos y también para generar una solución de impacto nacional.

**Palabras clave:** bio-material, piña, residuos agroindustriales, fibra natural, biomasa

### **Abstract**

This is an applied research project that aims to develop an efficient large-scale industrial process to process large volumes of the pineapple plant leaf and transform it into high value-added raw materials for other industries. The first objective is the transformation into a bio-material that can be used in the first instance in the production of export packaging of the same pineapple industry, and, secondly, by-products of high added value such as cellulose for industries Food, chemical and pharmaceutical. The project is proposed in stages, the first being its own research for the transformation of the waste into the expected products, the implementation of a pilot plant, the production of a “minimum viable product”, market study for by-products, marketing of the minimum product viable and the projected industrial scaling design. In a second stage the required scaling would be performed. The pineapple leaf contains valuable elements with exploitable commercial potential as a raw material in other industries. In summary these elements are: ▪ Fiber that has physical characteristics of torsion, elasticity, thermal resistance and others, desirable for the

production of a bio-material. In addition, there is evidence of its benefits when applied in processes to fortify other materials such as concrete, plastics and bioplastics. ▪ Lignin: it has high value as a fuel and also as a bio-fertilizer potential and for other applications in the chemical industry. ▪ Cellulose: with simple transformation processes it has high value for the pharmaceutical, chemical, food and nutraceutical industry. The main objective of this project is to process industrially and efficiently the greatest amount of biomass generated by the pineapple plant leaf that is currently left in the field (9 million tons approx.). The reason is that, in order to achieve operational efficiencies, it is required to be able to industrially process high volumes of biomass, to reduce costs and also to generate a national impact solution.

**Keywords:** Bio.material, pineapple, agroindustrial waste, natural fiber, biomass

## **PROYECTO 49: Evaluación de la fertilidad asociada a la calidad seminal de verracos en granjas porcinas de la Región Huetar Norte**

### **Periodo de ejecución:**

Del 25 de setiembre del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Ciencias Agronómicas

**Sub área:** Ciencias Veterinarias

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Agronomía

**Investigador Coordinador:** Dr. Anthony Valverde Abarca

Contacto: [anvalverde@tec.ac.cr](mailto:anvalverde@tec.ac.cr)

## **Resumen**

En el presente proyecto de investigación, se realizará una recolección de muestras seminales porcinas en los cantones de San Carlos, Grecia y Río Cuarto, de la Región Huetar Norte. Según el protocolo sanitario de recolección establecido por el proyecto, las muestras se trasladarán hasta el Laboratorio de Biotecnología del Centro de Investigación y Desarrollo en Agricultura Sostenible del Trópico Húmedo, de la Escuela de Agronomía, ubicado en Santa Clara de Florencia. Las muestras recolectadas procederán de machos reproductores de las granjas porcinas (previa selección, coordinación y aval por parte de los productores) de las localidades seleccionadas, mediando en el proceso las medidas de bioseguridad descritas por el Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA). Las muestras recolectadas se someterán a análisis de contrastación seminal mediante el análisis de parámetros microscópicos (calidad de movimiento espermático, cinética, morfología, integridad de membranas y concentración). Los parámetros estudiados serán analizados por medio sistemas automatizados de análisis de semen (CASA). El proyecto pretende crear y organizar una base de datos con los parámetros seminales evaluados por cada muestra, verraco (s), granja, zona y época para relacionar la calidad espermática con la fertilidad de las hembras por medio de los parámetros evaluados y los registros reproductivos y productivos existentes en las fincas de procedencia de los reproductores evaluados. Adicionalmente, se retroalimentará a los productores participantes por medio de la entrega de informes de los análisis y asesorando a los mismos en la interpretación y toma de decisiones en finca, basados en los datos e información que se genere.

**Palabras clave:** semen andrología, verraco, reproducción, fertilidad

## **Abstract**

In this project, boar semen samples are collected and will be conducted in the Huetar Norte Region. According to the sanitary collection protocol established by the project, the samples will be moved to the Biotechnology Laboratory of the School of Agronomy, located in Santa Clara, Florencia. The samples collected will come from breeding males of the pig farms (after selection, coordination and endorsement by the producers) of the selected localities, in the process the biosafety measures described by the National Animal Health Service (SENASA). The collected samples shall be subjected to seminal contrast analysis by analyzing microscopic variables (sperm movement quality, kinetics, morphology, membrane integrity and concentration). The parameters studied will be analyzed by means of computer assisted semen analysis (CASA). The aim is to create a database with the seminal parameters evaluated by each sample, boar (s), farm, and to relate sperm quality to the fertility of the females. In addition, the participating producers will be fed back through the submission of analytical reports and advice to them in the interpretation and making of decisions on farm, based on the data and information generated.

**Keywords:** semen, andrology, boar, reproduction, fertility

## **PROYECTO 50: Caracterización del daño oxidativo por el humo del cigarro en células epiteliales normales y su posible quimioprevención con extractos de manzana y ciruelo**

### **Periodo de ejecución:**

Del 01 de enero del 2020 al 31 de diciembre del 2021

**Área:** Investigación en Biomedicina

**Sub área:** medicina regenerativa

### **Escuelas participantes:**

Proponente Escuela de Biología

**Investigador Coordinador:** M.Sc. Carolina Centeno Cerdas

Contacto: [cccenteno@tec.ac.cr](mailto:ccenteno@tec.ac.cr)

## **Resumen**

El cáncer es un problema público creciente, con un estimado mundial de más de 6 millones de nuevos casos por año, y a pesar de los continuos e importantes avances en la investigación biomédica, se predice que en América Latina habrá más de 1 millón de muertes relacionadas con el cáncer en el año 2020 [4]. Teniendo en cuenta el mecanismo de acción del humo y alquitrán del cigarro, puede pensarse en prevenirlo y/o contrarrestarlo con el suministro de moléculas antioxidantes.

Múltiples moléculas activas en productos naturales se han asociado con efectos benéficos sobre la salud, entre los que destaca la quimioprevención, en que una enfermedad puede ser prevenida, retardada o revertirla mediante la administración de una o más sustancias de origen natural ó sintético [5]. En los últimos años, la popularidad de las frutas ha incrementado debido a sus aportes para una buena salud; se ha reportado sus beneficios tanto en el tratamiento como en la prevención de enfermedades crónicas como obesidad, cáncer, diabetes, enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y problemas del sistema inmune [6-11]. Dado que el origen de estas enfermedades está ligado a la acumulación de daño oxidativo e inflamación durante el envejecimiento, el consumo de compuestos antioxidantes de origen vegetal podría ser particularmente útil para ayudar a mejorar la salud humana [6]. La colaboración con institutos internacionales, y la experiencia adquirida en el establecimiento de cultivos primarios y mantenimiento de líneas celulares ha permitido a nuestro equipo de trabajo, la caracterización de sustancias bioactivas de fuentes botánicas con posibles aplicaciones preventivas y terapéuticas, incluyendo estudios publicados de mora [12, 13],

manzana, anona y ciruelo [14-16], y varias plantas medicinales (*Phyllanthus*, *Senna reticulata*, *Pettiveria alliaceae*) [17-19]. En el caso de la mora, por ejemplo, se determinó que el jugo de mora costarricense posee un efecto quimioprotector en modelos de estudio epiteliales contra los daños inducidos por la luz ultravioleta [12, 13]. Otros estudios previos de nuestro grupo han demostrado un contenido total de polifenoles >500 mg GAE (equivalentes de ácido gálico)/g de extracto de fruta en la manzana y ciruelo, incluyendo particularmente proantocianidinas [14, 15]. La manzana presenta además compuestos polifenólicos en la cáscara y la pulpa [20]. Por otro lado, el ciruelo contiene compuestos con potencial antioxidante (flavonoides y carotenoides), un alto contenido de fibra y es rico en vitaminas A y C. Por otro lado, Tomás Egaña, colaborador de la Pontificia Universidad Católica de Chile, tiene amplia experiencia en el estudio de los efectos del humo de cigarro en las células madre mesenquimales, en la regeneración tisular [21, 22], y el efecto de diversos antioxidantes sobre osteoblastos humanos dañados por su exposición al humo de cigarrillo [23].

Con base en lo anterior, la presente propuesta plantea caracterizar los efectos de extractos de manzana y ciruelo en células expuestas al humo de cigarro, así como su actividad citotóxica sobre líneas celulares de cáncer de pulmón, actividad que será determinada por medio de pruebas de citotoxicidad, viabilidad celular, marcadores de proliferación, apoptosis y estrés oxidativo, siendo estas algunas de las principales vías activadas de manera anómala en los procesos cancerígenos. Este modelo es de especial interés debido a que el carcinoma epidermoide figura como el principal tipo de carcinoma asociado al fumado, problemática de salud pública en la que el

país ha asumido un compromiso de mayor control mediante la firma del Convenio Marco de la Organización Mundial de la Salud (OMS; Ministerio de Salud, 2012).

**Palabras claves:** Humo Cigarro, cáncer, polifenoles, daño oxidativo

### **Abstract**

Cigar smoke is associated with a large number of pathologies and it represents a public health problem around the world. The free radicals contained in cigarette smoke and particles and their harmful effects on health [3] are not limited to tissues in direct contact with them, such as the different epithelia, but rather have a systemic effect, affecting practically everyone the tissues of the organism mainly due to the fact that these reactive species are capable of penetrating viable cells and producing lipid peroxidation, breaks, oxidation and other changes in the genetic material, proteins, lipoproteins, and other molecules.