

# Propuesta de Proyecto Divisional

## Interfaces Planta-Computadora 2022

### Línea de investigación del Cuerpo Académico:

Optimización, Sistemas Complejos e Interfaces Cerebro Computadora

### Responsables y colaboradores del proyecto

#### Responsables:

- Dra. Adela Irmene Ortiz  
Departamento de Procesos y Tecnología (DPT), División de Ciencias Naturales e Ingeniería (DCNI), UAM Cuajimalpa.  
Participación: Procesos de degradación de compuestos aromáticos volátiles en aire y de compuestos recalcitrantes en suelos tales como hidrocarburos y plaguicidas.
- Dra. Alicia Montserrat Alvarado González  
Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas, DCNI, UAM Cuajimalpa.  
Participación: Desarrollo de la Interfaz Planta-Computadora, desarrollo de prototipos y algoritmos de extracción de características y clasificación de patrones de la señal eléctrica de la planta.

### Orientación

- Investigación básica
- Investigación aplicada
- Desarrollo o adaptación

# Fecha de inicio y duración

Diciembre 2022 - Diciembre 2024

## 1. Propuesta

### Resumen

En este proyecto estudiaremos el campo eléctrico relacionado con las plantas enfocándonos fundamentalmente en dos aspectos. En el primer aspecto estudiaremos las señales eléctrica de las plantas que se obtienen después de ser perturbadas con diferentes estímulos como como la luz, la presión, el tacto, temperatura, humedad, contaminantes, por mencionar algunos. Debido a que la respuesta eléctrica de las plantas es diferente para cada estímulo, en esta parte del proyecto se caracterizarán dichas señales y posteriormente se buscará construir dispositivos que usen a las plantas como sensores de diversos factores ambientales. Adicionalmente, por lo general una planta no es un ente aislado, si no que forma parte de un sistema conformado por la planta y sus factores ambientales, dentro de estos factores dos de los más importantes son el suelo y las bacterias que viven cerca de las raíces de las plantas. En el sistema planta-suelo-bacterias hay intercambio de diferentes moléculas, las cuales tiene carga eléctrica. Algunas de estas cargas eléctricas se desechan por el sistema y se pueden obtener mediante electrodos para generar corrientes eléctricas que se pueden almacenar u ocupar en aparatos de bajo consumo. Así, como segundo aspecto a desarrollar en este proyecto, se estudiarán los factores importantes para que el sistema planta-tierra-bacterias de la mejor eficiencia en la obtención de voltaje y corriente eléctrica. En este segundo aspecto también se contruirán dispositivos para la obtención óptima de dicha energía eléctrica. Como resultado de este proyecto se espera que al final se publique un artículo en una revista JCR, la dirección de un Proyecto Terminal, la dirección de un Servicio Social, obtención de una patente, la presentación de los resultados del proyecto en un congreso especializado, una presentación de los dispositivos desarrollados en un evento destinado al público en general.

## 2. Antecedentes

### Historia del proyecto

El proyecto Interfaces Planta-Computadora (IPC) fue aprobado por el Consejo Divisivo de Ciencias Naturales e Ingeniería mediante el Acuerdo DCNI-07-189-20 el 29 de junio del 2020 por un año. Posteriormente se solicitó una prórroga del proyecto por siete meses. Así que el proyecto terminó oficialmente el 29 de enero del 2022. El equipo de trabajo y sus tareas fueron las siguientes:

- Dr. Juan Manuel Romero Sanpedro (responsable): Modelación de señal eléctrica, diseño experimental y búsqueda de información. Adscripción: Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas (DMAS)-DCNI.
- Dra. Alicia Montserrat Alvarado (responsable): Desarrollo de la Interfaz Planta-Computadora y algoritmos de extracción de características y clasificación de patrones de la señal eléctrica de la planta. Adscripción: DMAS-DCNI.

- Dr. Antonio López Jaimes (colaborador): Desarrollo de algoritmos de optimización para construir redes de regulación genética. Adscripción: DMAS-DCNI.
- Dra. Elizabeth Ortiz Gutiérrez (colaborador): Análisis de datos moleculares y construcción de redes de regulación genética. Adscripción: Departamento de Ciencias Naturales (DCN)-DCNI.
- Dr. León Patricio Martínez Castilla (colaborador): Análisis de muestras de expresión de genes e interpretación de redes de regulación genética y asociación del tipo de respuestas eléctricas de las plantas con su tipo de metabolismo fotosintético (C3, C4, CAM). Adscripción: DCN-DCNI.

Dados los perfiles de los investigadores participantes en el proyecto, se abrieron tres líneas de investigación: desarrollo de biosensores, desarrollo de bioceldas y análisis de redes de regulación genética para **Biosensores**

La fisiología de las plantas les permite responder a diversos estímulos como el cambio de iluminación [1], temperatura, humedad, estrés osmótico, irrigación, gravistimulación [2], heridas causadas por herbívoros, estimulación mecánica y disponibilidad de nutrientes, por mencionar algunos [3, 4, 5, 6, 7].

Para responder a diferentes estímulos, internamente las plantas tienen mecanismos a nivel molecular para producir su respuesta, la cual es diferente para cada estímulo. Debido a que la mayoría de las moléculas involucradas en este proceso de respuesta tienen carga eléctrica, una manera indirecta de estudiar las respuestas de una planta bajo diferentes estímulos es medir las corrientes eléctricas presentes en las plantas después de ser estimuladas. Cabe señalar que el estímulo también puede ser una corriente eléctrica aplicada a la planta. Por ejemplo, en organismos vegetales como *Arabidopsis thaliana* se ha observado que ante daño mecánico o por herbívoros, se desencadenan pulsos eléctricos que inducen rápidos cambios en la expresión génica [8, 9]. Las señales eléctricas surgen cerca del sitio del daño y en cuestión de segundos se expanden a los órganos vecinos. Tales cambios son necesarios para que la planta inicie la respuesta sistémica de defensa mediada por jasmonatos, un tipo de hormona vegetal clave en la interacción planta-herbívoro. Por otro lado, las señales eléctricas generadas en respuesta a diferentes estímulos, pueden utilizarse para el monitoreo de la electroquímica atmosférica, lluvia ácida, pesticidas, luz y contaminantes [10], o como sensores de iluminación, tacto o proximidad. Es decir, pueden utilizarse como sensores biológicos o biosensores. En la misma dirección, también pueden ser interpretadas como señales que permitan controlar dispositivos electrónicos [11].

A la identificación de respuestas sistémicas ante diferentes estímulos, les llamamos *Interfaces Planta-Computadora*. Así, una línea de investigación de este proyecto es estudiar la respuesta de diferentes plantas bajo diversos estímulos, caracterizar las respuestas para construir dispositivos electrónicos que interactúen con la planta. Por ejemplo, existen plantas que, como la mimosa, al ser tocadas lanzan una corriente eléctrica característica y dicha señal puede ser ocupada por un actuador para encender un foco, una puerta o un dispositivo para detectar plagas.

### **Bioceldas**

Ahora, sabemos que una planta requiere que el ambiente en donde se encuentra tenga condiciones particulares para poder vivir. En particular es necesario que el suelo tenga nutrientes que la planta pueda aprovechar, así mismo se requiere de luz solar para que la planta pueda realizar fotosíntesis y procesar sus nutrientes. Una vez que la planta proce-

sa su alimento, arroja sus desechos al suelo en donde regularmente habitan bacterias. Estas bacterias usan los diferentes desechos de la planta como alimento y arrojan sus desechos al suelo. En los desechos de las bacterias regularmente hay cargas eléctricas que se pueden captar mediante electrodos, con lo que se genera una corriente eléctrica [12, 13]. Cabe señalar que en algunos casos, las bacterias son capaces de procesar moléculas del suelo para convertirlas en nutrientes de las plantas, de esta forma la relación entre plantas y bacterias puede ser más compleja. La capacidad de la energía eléctrica obtenida del sistema planta-suelo-bacterias depende de diversos factores. Algunos de los factores más importantes son el tipo de planta, el tipo de suelo, el tipo de bacterias del suelo, la temperatura ambiente, la humedad, etc. Normalmente el voltaje se puede obtener de una sola planta es de cerca de 0.90 volts y 1.0 ma, pero mediante diferentes arreglos se puede mejorar el voltaje y la corriente obtenida. Por ejemplo, mediante arreglos de diferentes plantas se puede obtener energía suficiente para encender una lámpara de leds por varias semanas [14, 15], con otros arreglos se puede obtener un voltaje de hasta 90 volts [16, 17], a escalas mayores se puede ocupar la vegetación de un parque para iluminarlo [18] o los plantíos de un poblado para abastecer a una pequeña comunidad completa [19].

Este tema es relevante pues la energía eléctrica obtenida del sistema planta-suelo-bacterias es una alternativa sin producir contaminantes. En esta línea de investigación se plantea caracterizar la eficiencia eléctrica que se puede obtener con las plantas endémicas de zonas cercanas a la Unidad Cuajimalpa. Una vez realizado este estudio, se plantea diseñar diferentes dispositivos con los cuales se pueda obtener energía eléctrica de forma óptima con las plantas de la zona cercana a la Unidad Cuajimalpa. Además, se plantea estudiar la posibilidad de usar estos dispositivos de forma masiva o a gran escala en un parque público o en una comunidad.

## **3. Objetivos**

### **3.1. Objetivo General**

Desarrollar sistemas para paraobtener

Estudiar y explicar los patrones de comportamiento de las plantas en cuanto a los sistemas de procesamiento de información para desarrollar Interfaces Planta-Computadora.

### **3.2. Objetivos Específicos**

#### **Biosensores**

1. Desarrollar sistemas para adquirir, analizar y detectar los potenciales bioeléctricos generados por una planta.
2. Desarrollar sistemas para utilizar a las plantas como sensores.
3. Desarrollar un sistema para controlar los biosensores, analizar la información y mostrarla a través de una interfaz gráfica de usuario.

## Bioceldas

1. Aislar y caracterizar los microorganismos presentes en distintos suelos para identificar aquellos con los que se obtenga mayor energía.
2. Desarrollar dispositivos para obtener de forma óptima energía eléctrica del sistema planta-suelo-bacterias.
3. Desarrollar una pila de combustible microbiana a partir de cultivos puros.

## 4. Descripción

### Hipótesis

1. La respuesta a diferentes estímulos de la planta se manifiesta mediante señales eléctricas.
2. La señal eléctrica obtenida de la planta a partir de ciertos estímulos se puede ocupar para controlar dispositivos.
3. Se pueden identificar y clasificar patrones característicos de cada estímulo.
4. Es posible identificar y aislar ciertas plagas en un cultivo mediante información obtenida por las propias plantas.
5. Los microorganismos electrogénicos oxidan la materia orgánica y transfieren los electrones resultantes de su metabolismo a un ánodo, que se encuentra conectado a un cátodo, a través de un material conductor que presenta una resistencia.

### Metodología

1. Para extraer e interpretar la señales eléctricas de las plantas se seguirá la siguiente metodología:
  - Mediremos las señales eléctricas extracelulares en las plantas utilizando electrodos de contacto [20, 21, 22].
  - Construiremos varios dispositivos de adquisición electrónicos de bajo costo para digitalizar las señales eléctricas de distintas plantas.
  - Construiremos varios sensores electrónicos para medir distintas condiciones ambientales. Estos sensores nos permitirán validar su sustitución con la información obtenida de las plantas.
  - Validaremos que las respuestas obtenidas por los dispositivos de adquisición eléctrica y de sensado ambiental sean adecuadas para la experimentación formal, comparando los dispositivos de adquisición con equipos más sofisticados.
  - Las señales digitalizadas se filtrarán con hardware y software para minimizar ruido.
  - Se identificarán características particulares de las señales filtradas en el dominio temporal, morfológico y de frecuencias.
  - Propondremos algoritmos de clasificación para identificar automáticamente la respuesta eléctrica de la planta ante distintos estímulos para traducirlas en instrucciones que permitan controlar algún dispositivo.

- Desarrollaremos distintos dispositivos que serán controlados con las señales eléctricas de las plantas.
- 2. Para obtener energía eléctrica del sistema planta-suelo-bacterias y de pilas de combustible microbiana, se seguirá la siguiente metodología.
  - Recolectar muestras de suelo – composta de distintas plantas.
  - Suspender en medio líquido los microorganismos y separarlos de los restos de la tierra.
  - Realizar diluciones seriadas en caldo nutritivo a partir del sobrenadante obtenido.
  - Sembrar las diluciones en agar nutritivo e incubar las placas.
  - Contar las UFC/ml y describir las colonias observables a simple vista.
  - Tomar muestras con asa, de colonias aisladas de bacterias, y hongos y realizar un frote en portaobjetos.
  - Observar al microscopio las muestras en fresco.
  - Realizar tinciones simples y diferenciales en los frotos realizados y observar al microscopio.
  - Desarrollar una pila de combustible microbiana a partir de los cultivos puros.

## 5. Formación de recursos humanos

- Alumnos de Licenciatura: 6
- Alumnos de Servicio Social: 6

## 6. Productos esperados

### 6.1. Circuitos

1. Dispositivos que reaccionen ante las necesidades de la planta: sistema de riego automático, robot que lleve a la planta a zonas de luz o sombra, con base en la propia información de la planta.
2. Bio-sensores de bajo costo.
3. Dispositivos para estimular comportamientos en las plantas.
4. Prototipo de adquisición de la señal eléctrica de la planta.
5. Prototipo de sensores ambientales: humedad, temperatura, lluvia.
6. Dispositivos para obtener energía del sistema planta-suelo-bacterias con mayor amperaje

### 6.2. Sistema interactivo

Desarrollaremos un sistema que permita:

- Controlar el inventario de las plantas, los circuitos y los componentes de cada circuito

- Enviar información remotamente de los circuitos ambientales y de lectura de voltaje y amperaje a un servidor
- Desarrollar interfaces para la adquisición de información para los biosensores y algoritmos para caracterizar y clasificar las mediciones.
- Desarrollar algoritmos de visualización y minería de datos para analizar las correlaciones entre los datos ambientales, el voltaje y el amperaje.

## 7. Impacto esperado del proyecto

### Líneas de investigación de la Unidad

Este proyecto impacta en las siguientes líneas emblemáticas de la Unidad de acuerdo con las Políticas Operativas de Investigación UAM-C, Objetivos de la Investigación de la Unidad, I.1:

- Articular y potenciar las capacidades de las divisiones y departamentos de la Unidad para la generación y aplicación del conocimiento.
- Generar oportunidades e innovaciones de interés y utilidad a comunidades, empresas y, en general, a organismos y entidades de los sectores público, social y empresarial.

### Plan Nacional de Desarrollo

Por otro lado, la problemática nacional en la que se pretende incidir de acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo, es en el Eje Transversal: Territorio y desarrollo sostenible. Que indica: "Reconoce que toda acción que se toma en el presente incide en las capacidades de las generaciones futuras y de que toda política pública actúa en un espacio con características particulares".

### Colaboraciones inter e intra divisionales

Históricamente el proyecto ha sido un elemento de convergencia para distintas disciplinas: Computación, Física y Biología. En esta versión del proyecto se pretende interactuar con otros miembros de la DCNI. De hecho, hemos invitado al Dr. Juan Carlos Sigala Alanis del DPT-DCNI a participar en el proyecto. Actualmente, la Dra. Alvarado y el Dr. Sigala asesoran a un alumno de Ingeniería Biológica que está cursando su Proyecto Terminal II. El alumno está analizando los microorganismos electrogénicos de las bioceldas que han sido desarrolladas en el proyecto. También hemos invitado al Mtro. Alejandro Rodea Chávez del Departamento de Teoría y Procesos del Diseño, División de Ciencias de la Comunicación y Diseño. Él se encargará de preparar los prototipos para llevar a cabo transferencia de conocimiento.

### Vinculación

El proyecto ha sido presentado a dos instituciones gubernamentales: la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) y la Secretaría de Educación de Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTEI). Ambas han mostrado interés tanto en los prototipos desarrollados como en las posibles aplicaciones que hemos propuesto, como el control de plagas en

plantas y árboles. Adicionalmente, actualmente se está tramitando una vinculación con la empresa Horizonte O para colaborar en docencia, formación de recursos, humanos, investigación y transferencia de conocimiento.

## 8. Recursos del proyecto

### 8.1. Financiamiento e infraestructura actual

#### 8.1.1. Laboratorio de Interfaces Planta-Computadora

Actualmente, se cuenta con un espacio en el cual llevar a cabo los experimentos del proyecto. Está ubicado en las instalaciones de El Encinal. Cuenta con un área de trabajo en donde se almacenan y construyen los circuitos del proyecto (ver Figura 1a) y dos áreas más: un espacio abierto para que las plantas puedan recibir iluminación adecuada (ver Figura 1b) y otro en donde puedan estar bajo la sombra (ver Figura 1c).



(a) Espacio de trabajo



(b) Espacio no techado



(c) Espacio techado

Figura 1: Imágenes del Laboratorio de Interfaces Planta-Computadora.

#### 8.1.2. Circuitos implementados

Hasta el momento hemos implementado los siguientes circuitos que nos permiten: estimular eléctricamente a la planta, adquirir las señales de la planta generadas por estimulación (eléctrica o presión, por mencionar algunas), regar las plantas de manera automática, medir las condiciones ambientales en las que se encuentran, sensar la energía

generada por las plantas y almacenarla. A continuación se muestran los esquemas de cada circuito.

- Circuito estimulador (ver Figura 2): El objetivo de este circuito es enviar un estímulo de 5 volts durante 5 segundos a través de un par de electrodos conectados a una planta.

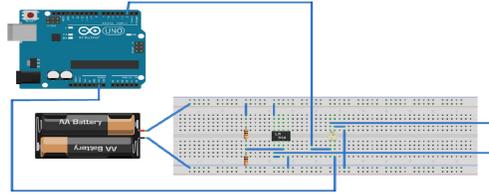


Figura 2: Esquema del circuito estimulador.

- Circuito de adquisición de la señal eléctrica (ver Figura 3): Este circuito tiene como objetivo mostrar la diferencia de potenciales detectada por los electrodos colocados en la planta.

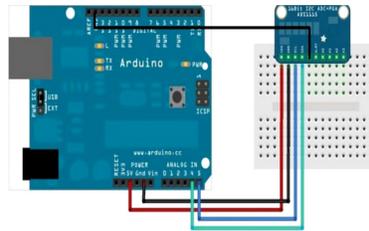


Figura 3: Esquema del circuito de adquisición de la señal eléctrica.

- Circuito del sistema de riego (ver Figura 4): El objetivo de este circuito es sensar la humedad de la tierra y la disponibilidad de agua para regar automáticamente la planta.

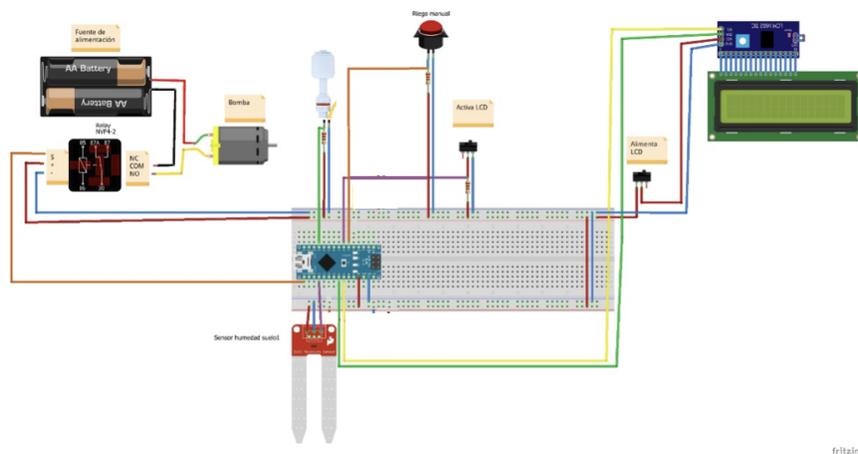


Figura 4: Esquema del circuito del sistema de riego.

- Circuito condiciones ambientales (ver Figura 5): El objetivo de este circuito es sensar temperatura, humedad del ambiente, humedad del suelo e intensidad de luz.

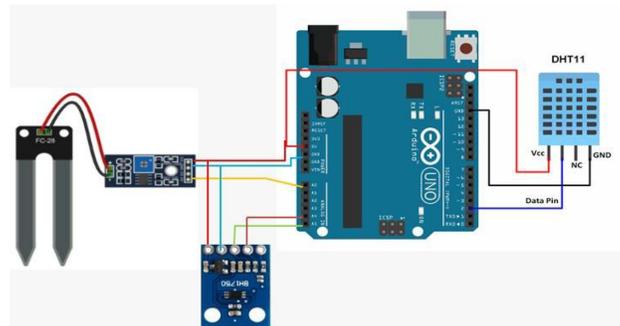


Figura 5: Esquema del circuito que mide las condiciones ambientales: sensar la temperatura y humedad del ambiente, humedad del suelo e intensidad de luz.

- Circuito para sensar voltaje y amperaje de una planta (ver Figura 6): El objetivo de este circuito es registrar el voltaje y amperaje sin necesidad de utilizar un multímetro.

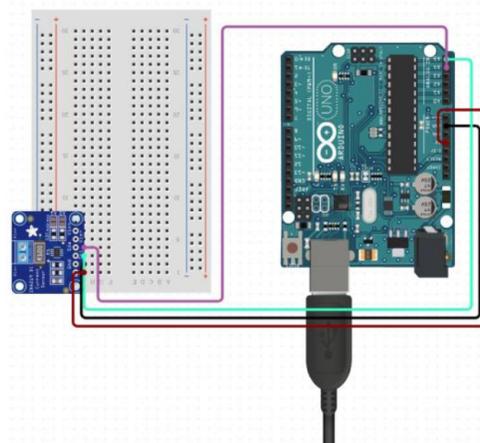


Figura 6: Esquema del circuito que mide el voltaje y el amperaje de las plantas.

### 8.1.3. Base de datos

Hemos desarrollado una base de datos relacional con *MySQL Workbench* que nos ayudará a manejar el sistema que controle el inventario de los circuitos, los prototipos, los componentes y las mediciones. En la Figura 7 se muestra el modelo entidad relación del sistema.

### 8.1.4. Recursos de cómputo y electrónicos

Para alcanzar los objetivos planteados en este proyecto, contamos con el equipo de cómputo y los electrónicos que detallamos a continuación:

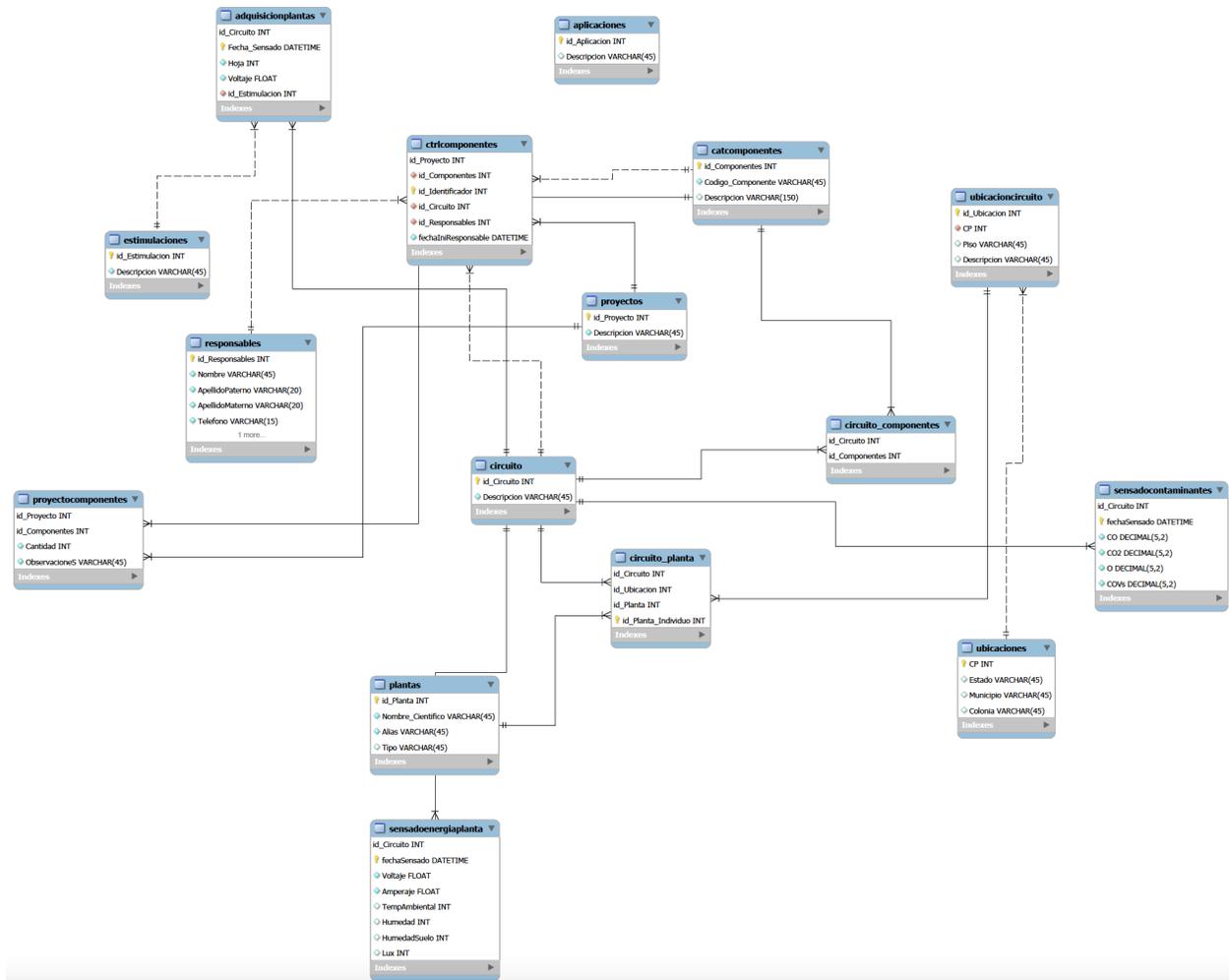


Figura 7: Modelo Entidad-Relación de la base de datos del sistema.

- Cluster de computadoras del DMAS para ejecutar programas en paralelo.
- Una estación de trabajo con 16 núcleos.
- Equipo de cómputo de 7 núcleos.
- Espacio en un disco duro con IP externa.
- 1 osciloscopio
- 5 Multímetros
- 6 Cautines
- Soldadura de estaño
- 5 Pinzas eléctricas
- 10 Palas de jardinería
- Tornillos de acero galvanizado de 1/4
- 10 pares Guantes de jardinero
- 3 Sensor de humedad y temperatura DHT11

- 33 Sensor de intensidad de luz digital BH1750
- 11 Arduino UNO
- 16 YL-69 Sensor de humedad de tierra
- 14 Protoboard
- 16 INA219 I2C Fuente de alimentación de Corriente bidireccional Módulo de ruptura del Sensor
- 26 Bluetooth HC05
- 38 MicroSD 32 GB
- 16 Modulo Ads1115 Amplificador De Ganancia
- 20 Electrodo de copa de oro
- 36 Lector MicroSD
- 33 Relay
- 35 bombas sumergibles
- 3 MH-Z16 Sensor de CO2
- 10 COVS grove air
- 10 WiFi Esp8266
- 50 Placas Fenólica Perforadas Tipo Protoboard 7x14.5cm
- 100 Dupont Jumper + Crimp Terminal Pin Hembra Y Macho
- 50 Tiras de 40 Pines Hembra y Macho 2.54mm
- Manguera Pvc 5/16 5 Mts Para Bomba Sumergible Peceras
- Thermofit de 3/16"
- Cable estañado para conexiones de 22 AWG
- 2 Pinzas de corte adecuadas para el calibre 22
- Pasta conductiva Ten20
- 1 nodo sensor para la detección de COVs, CO y CO2

## 8.2. Recursos requeridos

- Lijas para metal
- 2m Tubo de cobre de calibre 1" cortado en trozos de 5cm
- Cable calibre 22 con recubrimiento
- Thermofit de 3/16"
- 8 Sensor de humedad y temperatura DHT11 con convertidor
- 8 MH-Z16 Sensor de CO2 con convertidor
- 1 Módulo DF player mini
- 1 Alta voz (máximo de 3W y 4ohms)
- Resistencias de 1Kohm

- 4 Sensores de nivel de agua para Arduino
- 5 Raspberry Pi 3
- 11 Cargadores para Arduino 5v
- 10 pilas alcalinas de 9v
- 4 Cutter
- 4 Pinzas para cortar adecuadas para el calibre 22
- Pasta conductiva Ten 20
- 16 Electrodo de copa de oro con terminación de header hembra
- 20m Manguera PVC 5/16" para bomba sumergible para peceras
- 5 Esp32 Wifi + Bluetooth 4.2 Ble Nodemcu
- 5 Display LCD 16 × 2 con convertidor I2C
- 10 SW-005 Switch recto 1P2T grande
- Pantalla LCD ST7920 de 128x64 pixeles

### 8.3. Estrategias para obtener recursos

Los recursos económicos necesarios para cubrir las necesidades del proyecto vendrán de tres lugares:

- Presupuesto asignado por parte del Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas.
- Talleres al público general a través de una posible vinculación con una empresa.
- Posible colaboración con la Comisión de Recursos Naturales (CORENA).

## 9. Calendario de actividades

En las siguientes tablas se muestra una lista de actividades a llevar a cabo durante el proyecto en un periodo de dos años. Las actividades están divididas en aquellas desarrolladas para la línea de investigación de Biosensores (tablas 1 y 2) y para la de Bioceldas (tabla 3). Es importante señalar que la actividad se llevará a cabo por los responsables del proyecto junto con alumnos de licenciatura o servicio social.

Actividad	Año 1					Año 2				
	23I	23P	23O	24I	24P	24O	25I	25P		
Prototipo del sistema de riego automático (Investigador: Montserrat)		x								
Reproducción del sistema de riego automático para el laboratorio (Alumna SS: Valeria)			x							
Diseño del sistema de riego automático para transferencia (Investigador: Alejandro)				x	x					
Reporte de prototipos (Investigador: Montserrat)	x					x				
Reproducción del sistema de sensado ambiental para el laboratorio (Alumno SS)		x								
Diseño del sistema de sensado ambiental para transferencia (Investigador: Alejandro)	x	x	x							
Identificación de la distancia máxima a partir de la fuente del estímulo (Investigador: Montserrat)		x								
Sistema que transforma la presión de la planta en mensaje en voz (Alumno PT)						x				

Cuadro 1: Actividades para la línea de investigación de Biosensores

Actividad	Año 1					Año 2				
	23I	23P	23O	24I	24P	24O	25I	25P		
Sensores para detección de contaminantes en la composta (Investigador: Montserrat)				x	x					
Diseño del sistema de sensado para detección de contaminantes para transferencia (Investigador: Alejandro)						x	x	x		
Sensor de adquisición de señal eléctrica para identificar plagas en árboles (Investigador: Montserrat)	x	x	x							
Interfaces para la adquisición de las señales de biosensores (Alumna PT y SS: Tania)	x	x	x	x						
Interfaces para mostrar la información adquirida por los sensores (Alumnos PT y SS: Brandon y Alejandro)	x	x	x	x						
Artículo de biosensores de lavanda (Investigador: Montserrat)				x						
Taller de construcción de riego automático y sensores (Investigador: Montserrat)		x	x	x	x	x	x	x		
Mantenimiento de las plantas (Investigador: Montserrat)	x	x	x	x	x	x	x	x		

Cuadro 2: Continuación de la tabla 1

Actividad	Año 1					Año 2				
	23I	23P	23O	24I	24P	24O	25I	25P		
Artículo de voltaje y amperaje de las tesinas de Karla y Mayte (Investigador: Montserrat)			x							
Caracterización de las bacterias del suelo de El Encinal (Alumno: PT: Leonardo)	x	x								
Caracterización de las bacterias del huerto (Alumno SS)			x	x	x	x	x	x		
Análisis del voltaje y amperaje de la composta del huerto (Alumno SS)				x	x	x	x	x		
Ábaco para ajustar voltaje y amperaje (Alumna SS: Anel)	x									
Desarrollar dispositivos para obtener de forma óptima energía eléctrica. (Investigador: Irmene)	x									
Desarrollar una pila de combustible microbiana. (Investigador: Irmene)	x									

Cuadro 3: Actividades para la línea de investigación de Bioceldas

## 10. Información para el seguimiento del proyecto

### Calendarización de los productos esperados

Actividad	Año 1	Año 2
<b>Formación de recursos humanos nivel licenciatura</b>		
Servicio Social	6	5
Proyecto terminal	6	5
Tesis de licenciatura	4	5
<b>Publicaciones</b>		
Artículos		1
<b>Difusión o Divulgación</b>		
Conferencias	2	2
Talleres	3	3
<b>Otros</b>		
Desarrollo de Software		2
Prototipos	4	

### Resultados esperados

Desarrollaremos Interfaces Planta-Computadora que permitan identificar de forma automática comportamientos en plantas que dispararán acciones en distintos dispositivos. Por ejemplo, un robot que lleve a la planta a una zona con sol o sombra, o hacer que una bomba riegue la planta, dependiendo de las necesidades de ésta a partir de la propia información de la planta, no de sensores electrónicos. También, desarrollaremos un sistema que estimule a la planta para que genere comportamientos controlados. Adicionalmente, reemplazaremos la información recibida por los sensores electrónicos por aquella recibida con la información obtenida con la planta.

### Referencias

- [1] E. Hartmann, "Influence of light on the bioelectric potential of the bean (*Phaseolus vulgaris*) hypocotyl hook," *Physiologia Plantarum*, vol. 33, no. 4, pp. 266–275, 1975.
- [2] K. Imagawa, K. Toko, S. Ezaki, K. Hayashi, and K. Yamafuji, "Electrical potentials during gravitropism in bean epicotyls," *Plant physiology*, vol. 97, no. 1, pp. 193–196, 1991.
- [3] B. Stanković and E. Davies, "Intercellular communication in plants: electrical stimulation of proteinase inhibitor gene expression in tomato," *Planta*, vol. 202, no. 4, pp. 402–406, 1997.
- [4] H. Ishikawa, S. Abou, E. Ohta, and M. Sakata, "Effects of periodic-and transient-osmotic stress on electric potentials in bean roots," *Plant and cell physiology*, vol. 24, no. 6, pp. 1129–1135, 1983.

- [5] K. Kalovrektis, C. Lykas, and E. Fountas, “Identification of high salinity stress in ornamental plant by biosignal process,” in *4th Balkan Conference in Informatics, Thessaloniki, GREECE, September 17th-19th*, 2009.
- [6] H. Reynolds and C. D’antonio, “The ecological significance of plasticity in root weight ratio in response to nitrogen: opinion,” *Plant and soil*, vol. 185, no. 1, pp. 75–97, 1996.
- [7] J. Roy, *Response of plants to multiple stresses*. Academic Press, 2012.
- [8] S. A. Mousavi, A. Chauvin, F. Pascaud, S. Kellenberger, and E. E. Farmer, “Glutamate receptor-like genes mediate leaf-to-leaf wound signalling,” *Nature*, vol. 500, no. 7463, pp. 422–426, 2013.
- [9] A. Kurenda, C. T. Nguyen, A. Chételat, S. Stolz, and E. E. Farmer, “Insect-damaged arabidopsis moves like wounded mimosa pudica,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, no. 51, pp. 26066–26071, 2019.
- [10] A. G. Volkov and D. R. A. Ranatunga, “Plants as environmental biosensors,” *Plant signaling & behavior*, vol. 1, no. 3, pp. 105–115, 2006.
- [11] A. G. Volkov, “Biosensors, memristors and actuators in electrical networks of plants,” *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, vol. 32, no. 1, pp. 44–55, 2017.
- [12] B. Logan, B. Hamelers, R. Rozendal, U. Schröder, K. Jürge, S. Freguia, P. Aelterman, V. Willy, and R. Kornell, “Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology,” *Critical Review*, vol. 17, pp. 5181–5192, july 2006.
- [13] H. Deng, C. Zhen, and Z. Feng, “Energy from plants and microorganisms: progress in plant-microbial fuel cells,” *ChemSusChem*, vol. 5, pp. 1006–1011, december 2012.
- [14] K. González, *Proyecto Terminal: Energía eléctrica de las plantas y algunas aplicaciones*. AUniversidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa, 2021.
- [15] M. Morales, *Proyecto Terminal: Energía eléctrica de las plantas*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa, 2021.
- [16] D. S. Garcia Ramos and Y. A. Ledesma Delgado, *Tesis de Licenciatura: Desarrollo de un prototipo de sistema para la generación de energía eléctrica a partir del proceso de fotosíntesis de las plantas*. Universidad de Cundinamarca, Colombia, 2019.
- [17] K. Wetser, *PhD Thesis: Electricity from wetlands. Technology assessment of the tubular Plant Microbial Fuel Cell with an integrated biocathode*. Wageningen University, Netherlands, 2016.
- [18] Nova Innova, “Het park van morgen, <https://vimeo.com/user118445945>,” 2021.
- [19] E. Sudirjo, *PhD Thesis: Plant microbial fuel cell in paddy field: A power source for rural area*. Wageningen University, 2020.
- [20] K. Kalovrektis, J. Antonopoulos, A. Gotsinas, and N. Shammias, “Development of transducer unit to transmit electrical action potential of plants to a data acquisition system,” *American Journal of Bioinformatics Research*, vol. 3, pp. 21–24, 2013.
- [21] T. Ochiai, S. Tago, M. Hayashi, and A. Fujishima, “Highly sensitive measurement of bio-electric potentials by boron-doped diamond (bdd) electrodes for plant monitoring,” *Sensors*, vol. 15, no. 10, pp. 26921–26928, 2015.

- [22] S. Tago, T. Ochiai, S. Suzuki, M. Hayashi, T. Kondo, and A. Fujishima, "Flexible Boron-Doped Diamond (BDD) electrodes for plant monitoring," *Sensors*, vol. 17, no. 7, p. 1638, 2017.