

# Sistema de registro de temperatura-humedad aplicado a robot hexápodo para polinización artificial en la agricultura



<https://cu-id.com/2177/v31n4e08>

## Temperature-Humidity Recording System Applied to a Hexapod Robot for Artificial Pollination in Agriculture

✉Luis Tonatiuh Castellanos-Serrano, ✉Gaudencio Sedano-Castro, ✉María Victoria Gómez-Águila,  
✉José Alfredo Castellanos-Suárez, ✉Carlos Daniel López-Morales

Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco de Mora, Edo. México, México.

**RESUMEN:** En el presente artículo se expone los resultados de investigación, en el diseño de un módulo de radio frecuencia que permite el envío de datos de humedad y temperatura, a un Host-Local para la administración de la información en una base de datos, la operatividad del sistema se logró por medio del diseño de una Interfaz Gráfica de Usuario, la cual se diseñó en lenguaje JAVA, el módulo emisor es instalado en el dorso de un robot hexápodo, diseñado para caminatas complejas en terrenos de agricultura, que a futuro tiene la misión de realizar procesos de polinización artificial. Se exponen los objetivos técnicos del proyecto, también los mapas del diseño de software a través del recurso de diagramas UML, la descripción de las capas de la arquitectura de software para el envío de datos, el diseño de la GUI y su conexión con la base de datos local creada en MySQL, finalmente se muestran las evidencias gráficas del funcionamiento del sistema, montaje en el robot hexápodo y las conclusiones técnicas con metas para trabajar en resultados a futuro.

**Palabras clave:** módulo emisor, base de datos, Interfaz Gráfica de Usuario, arquitectura de software.

**ABSTRACT:** This paper presents the research results in the design of a radio frequency module to send humidity and temperature data to a Host-Local for management of information in a database. The operability of the system was achieved through the design of a Graphical User Interface, which was designed in JAVA language. The emitter module is installed on the back of a hexapod robot, designed for complex walks in agricultural lands, which in the future has the mission of carrying out artificial pollination processes. The technical objectives of the project are referred, as well as the maps of the software design through the UML diagram resource, the description of the layers of the software architecture for sending data, the design of the GUI and its connection with the local database created in MySQL. Finally, the graphic evidence of the operation of the system, the assembly in the hexapod robot and the technical conclusions with goals to work on future results are shown.

**Keywords:** Transmitter Module. Database, Graphical User Interface, Software Architecture..

### INTRODUCCIÓN

La robótica en la agricultura es un tópico que ha tomado relevancia en el contexto de la llegada de la revolución digital, llámese agricultura 4.0 (automatización) o la vertiente de una nueva definición de agricultura nombrada 5.0 (robótica e inteligencia artificial), es una dicotomía de discusión

meramente teórica, pero en la práctica, las tecnologías de IoT, BigData, realidad aumentada, machine learning, etcétera, son herramientas que están abarcando nuevos terrenos para transmutar las formas de la agricultura popular, mecanizada o automatizada en los nuevos formatos de la robotización del campo.

\*Author for correspondence: Luis Tonatiuh Castellanos-Serrano, e-mail: [procesoslce@hotmail.com](mailto:procesoslce@hotmail.com), [lcastellanoss@chapingo.mx](mailto:lcastellanoss@chapingo.mx)

Recibido: 23/04/2022

Aceptado: 14/09/2022

La robótica encierra un abanico de múltiples formatos desde los VANT's o mejor conocido como drones hasta robots tipo androides que un día no muy lejano serán una herramienta de la ciencia ficción aplicadas a nuestra realidad de evolución tecnológica. Los robots inspirados en la zoomorfología de insectos es una de las muchas vertientes de los tipos de robots aplicativos que se encuentran en desarrollo, entre ellos se encuentran los robots de formato hexápodo, dispositivos bio-inspirados en los insectos, arácnidos y otros, normalmente existen robots trípodas, cuadrúpedos y hexápodos, a los cuales, entre sus ventajas existen la fácil adaptación en terrenos complejos, dado por su anatomía un robot hexápodo puede desplazarse en terrenos complejos gracias a la flexibilidad mecánica de sus eslabones que permiten mantener su centro de masa en un punto de equilibrio estable (Barrientos, 2002; Zabalza y Ros, 2007; Medina, 2016; Miret, 2016; Mercader, 2017; Rubio y Daniel, 2017; Alvarado et al., 2019; Pomba, 2019). Por otro lado, la adquisición de datos en la caminata de estos robots para el acervo de información en base de datos es una tarea imprescindible, existen diferentes formas para realizar esta actividad, desde la recolección de registros para ser resguardada en memorias en la creación de un historial, hasta el envío en tiempo real de los datos de recolección con herramientas IoT (Thompson y Aguayo, 2009; Medina, 2016; Mickle, 2016; Miret, 2016; Cajal, 2018; Marlin P. Jones and Associates inc, 2018; Pomba, 2019).

Algunos sistemas inspirados en el desplazamiento de robots tipo hexápodo se encuentran en trabajos como "Implementación de un sistema de mapeo y localización a un robot hexápodo enfocado en la exploración del entorno y monitoreo de temperatura" Alvarado et al. (2019), por otro lado trabajos como: "Diseño e Implementación de un Sistema de Localización y Mapeo Simultáneos (SLAM)" Barrientos (2002); Narváez y Yandún (2013); Cajal (2018), permiten el mapeo de robots en procesos de caminata compleja, aplicando algoritmos inteligentes para la mejora de los procesos, finalmente, en el tema de adquisición de datos aplicados en la agricultura, se

implementan técnicas de telemetría para la creación de redes LAN en la administración puntual de invernaderos, como bien, lo explica el trabajo de: "Sistema inalámbrico de monitorización para cultivos en invernadero" (González et al., 2012).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Características generales del proyecto

Los resultados esperados son un prototipo de robot hexápodo explorador de terrenos complejos para aplicación de polinización artificial de cultivos, las metas del proyecto están divididas, en corto, mediano y largo plazo, para ello se realizarán actividades diversas en un laboratorio virtual para la simulación y pruebas, también la manufactura de aditamentos que van desde el fuselaje hasta los módulos complementarios, y finalmente pruebas físicas. Se realizará el diseño de un módulo RF para adquisición de muestras de temperatura (°C) y humedad (%RH) con matriz de geolocalización para ser almacenados en un Local-Host (Punto de acceso de base de datos local), teniendo como producto de análisis: 1) Módulo Receptor RF 2.4 Ghz con conexión COM; 2) Módulo Emisor RF 2.4 Ghz tipo gadget para montaje superficial en dorso de robot hexápodo. Esto es tan solo una fase de todos los elementos que componen al objetivo final, en el siguiente diagrama se pueden observar las metas del proyecto:

**Objetivo técnico del implemento:** Diseño de sistema de adquisición de datos en forma remota de temperatura-humedad.

#### Características técnicas:

- Módulo emisor y receptor inalámbrico RF de 2.4 Ghz con rango de envío de datos de 2 Mbps y bajo consumo
- Diseño de PCB's en formato SMD con ergonomía de instalación de componentes
- Diseño de Firmware de hardware e interfaz de alto nivel para gestión dinámica y sencilla operatividad
- Flexibilidad de montaje para módulo emisor de fuselaje del robot

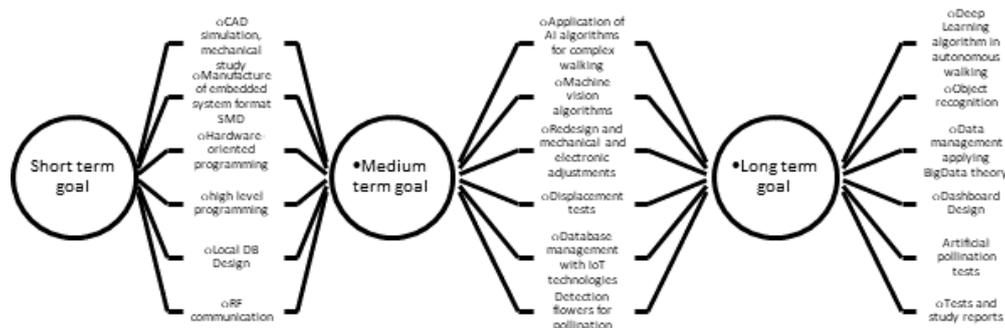


FIGURA 1. Metas de ingeniería para robot hexápodo en procesos de polinización artificial (Autoría Propia).  
Requerimientos de la Aplicación.

- Carcasas de protección para módulo receptor

**Requerimientos de software:** Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) para control y administración del sistema remoto, en la gestión y administración de las tomas de muestras de temperatura y humedad en el punto de geolocalización obtenidos.

**Especificaciones de caso de uso del software:** [Tabla 1.](#)

### Proceso para selección del sensor de humedad-temperatura

Los datos de temperatura y humedad relativa son captados por un sensor HTU21D, el punto de decisión del dispositivo de adquisición de datos no fue mera casualidad, se procedió a realizar una búsqueda profunda de los diferentes sensores, colocando como aspecto primordial los criterios siguientes:

1. Accesibilidad de compra del producto
2. Stock de venta
3. Evitar importaciones
4. Características operativas técnicas

La mayor cantidad de sensores de temperatura y humedad ofrecen rangos de precisión que van en humedad relativa de  $\pm 2\%RH$  hasta  $\pm 5\%RH$  con un promedio de Histéresis de humedad:  $\pm 1\%RH$ , y en temperatura  $\pm 2^\circ C$  hasta  $\pm 1^\circ C$  con tiempos aproximados de medición de 50ms-2s, para ello el estudio técnico de los datasheets (hojas técnicas) de los sensores disponibles a partir del criterio discriminativo de búsqueda anteriormente descrito, dio como resultado la [Tabla 2](#) siguiente:

Bajo los aspectos de análisis técnico, financiero y logísticos de compra del producto, la opción más

**TABLA 1.** Descripción de caso de uso de la aplicación de escritorio general (Autoría Propia)

Caso uso	Especificaciones
Actor	Usuario
Descripción	Aplicación de escritorio en formato formulario, con opciones para realizar conexión COM, visualizador adquisición de datos inalámbricos, conexión con base de datos local para la administración de lotes de registros, consulta, modificación y eliminación de datos.
Precondiciones	Compatible con sistema operativo Windows 10 o superior, instalador en forma “.exe” compatible con JDK 17.0.1 y .Net Framework 3.5 o superior como requerimientos mínimos. No se requiere conexión a internet
Actividades	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Administración de conexión de puerto COM</li> <li>• Envío de datos por puerto COM</li> <li>• Despliegue de datos de entrada en tiempo real</li> <li>• Administración de resguardo de información en BD de Local-Host</li> <li>• Consulta de lotes de registros por intervalo de fechas o todos los registros</li> <li>• Eliminación y edición de registros almacenados</li> </ul>

**TABLA 2.** Reporte técnico de producción del cuerpo mecánico del robot hexápodo(Autoría Propia)

Matrícula Sensor	Temperatura (°C)			Humedad (%RH)			Tiempo de Medición	Interfaz
	Rango	Precisión	Resolución	Rango	Precisión	Resolución		
DHT11	0-50	< $\pm 2$	1	20-80	$\pm 5$	1	1 - 6 s	Digital
DHT22	(-40) - 80	< $\pm 0.5$	0.1	0-100	$\pm 5$	0.1	2s	Digital
HTU21D	-40-125	$\pm 0.3$	0.01	0-100	$\pm 2$	0.04	>0.5 s	I <sup>2</sup> C
SHT3x-DIS (SHT30) (SHT31) (SHT35)	(-40) - 125	$\pm 0.2 \pm 0.3 \pm 0.3$	0.015	0-100	$\pm 1.5 \pm 3 \pm 2$	0.01	8s para RH >2s para temperatura	I <sup>2</sup> C
SHT1x (SHT11) (SHT15)	(-40)-123.8	$\pm 0.5 @ 25 \pm 0.4 @ 5-40$	0.1	0-100	$\pm 3.5 \pm 2.0$	0.03	4s para RH 5-30s para temperatura	I <sup>2</sup> C
SHT7x (SHT71) (SHT75)	(-40)-123.8	$\pm 0.5 @ 25 \pm 0.4 @ 5-40$	0.1	0-100	$\pm 3.5 \pm 2.0$	0.03	4s para RH 5-30s para temperatura	I <sup>2</sup> C
AMT1001	0-50	0.5	1	20-90	$\pm 5$	1	10s	Analógico
HDC1080	5-60	$\pm 0.2$	0.1	0-100	$\pm 2$	0.1	15s	I <sup>2</sup> C
BMP280	(-40)-85	$\pm 1$	0.01	0-100	$\pm 3$	1	2ms	I <sup>2</sup> C

viable fue el sensor HTU21D, el cual ofrece un equilibrio entre rendimiento-precio, con lo cual la incorporación de este dispositivo es el medio clave para la primera fase del robot en la recolección de muestras de temperatura-humedad en terrenos complejos (TE. Connectivity, 2015).

### Arquitectura general de la aplicación

Lo datos capturados de temperatura (°C) y humedad relativa (%RH) se distribuirán de forma remota vía inalámbrica a un dispositivo tranceptor con interconexión de modalidad Half Duplex, teniendo el paquete de datos la estructura de “Dirección-Paquete-Bit\_paridad” por comunicación inalámbrica de Radio Frecuencia (RF) a 2.4 GHz con una tasa de transmisión de 2 Mbps, esto gracias a la implementación de un par de módulos tranceptores de la familia Nordic nRF24L01 (Nordic, Semiconductor, 2018; Wrapper , AutoCloseable, 2020). La ubicación será administrada por un módulo GPS GY-GPSV3-NEO basado en el IC NEO-6M-0-001 según Ublox (2011) el cual retorna geolocalización de latitud y longitud, el flujo de transmisión de datos se puede apreciar en el siguiente diagrama de comunicación (Figura 2):

La Descripción operativa de la matriz de Flujo de Información-Diagrama UML de Clases se aprecia en la Tabla 3.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Aplicación de Escritorio basada en JAVA

La base de datos se implementa de forma local para almacenar la información de los registros conforme la periodicidad de recolección de muestras de °C-%RH, la primera sección de almacenamiento y gestión se ejecuta en el sistema embebido de control bajo una estructura de almacenamiento en listas enlazadas en formato de colas, así de este modo el desencolamiento de información se realiza por conexión alámbrica o petición inalámbrica al sistema principal.

La información que llega a la computadora es resguardada en una BD Local gestionada por XAMPP en MySQL con el Port genérico “3306”, la información COM recibida es mediada por JAVA a través del driver de ORACLE “mysql-connector-java”, conocido como JDBC (Java Database Connectivity) el cual es el driver que contiene las API para realizar una conexión e intercomunicación con el lenguaje de SQL Pal (2020); Wrapper AutoCloseable, (2020); Oracle (2022) para la administración de los comandos tanto del DDL (Data Definition Language) y el DML (Data Manipulation Language) (IBM, 2021). De forma importante diseñar los métodos con el uso soporte del DML implementando un algoritmo para consultar, insertar y actualizar la información de la BD local creada.

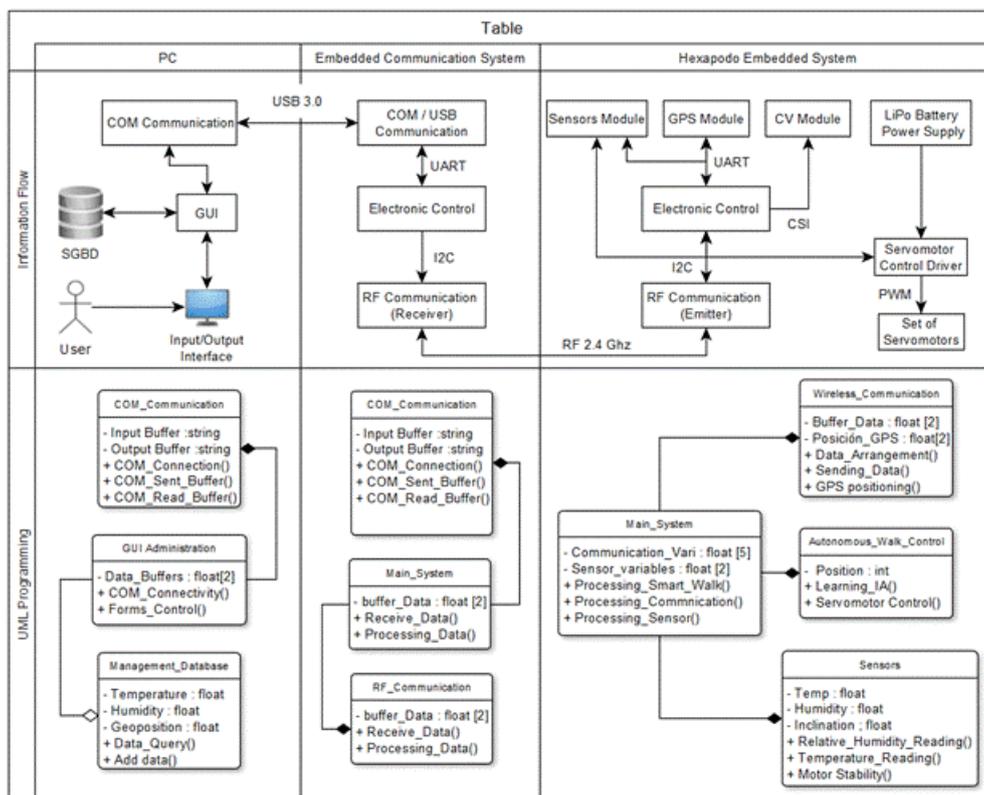


FIGURA 2. Matriz de Flujo de Información-Diagrama UML de Clases (Autoría Propia).

**TABLA 3.** Descripción operativa de la matriz de Flujo de Información-Diagrama UML de Clases (Autoría Propia)

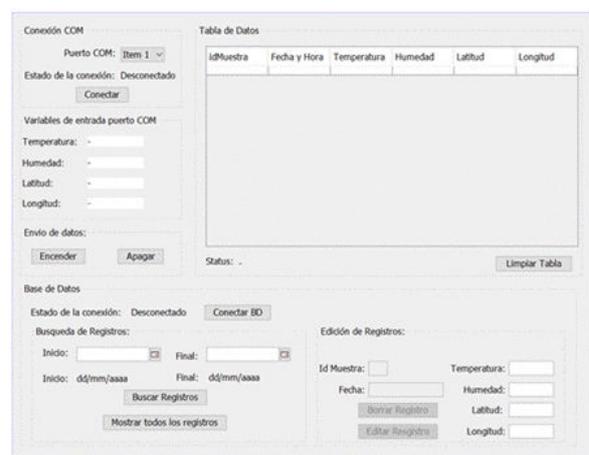
Sección	Descripción
Hexapodo Embedded System	<p>El “Electronic Control” interconecta los componentes para distribuir el flujo de datos de información, para ello el sistema embebido del robot está basado en 2 secciones de procesamiento:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. MCU ATMEGA 2560</li> <li>2. Raspberry Pi 4 Model B</li> </ol> <p>El primero es un microcontrolador que se encarga de procesar los datos de GPS, sensores, comunicación RF y control de driver de servomotores, con esta estrategia se depura la información, para dejar el procesamiento de la visión artificial al “Raspberry” y así no saturar con tareas se subprocesos al CPU y maximizar los tiempos de procesamiento.</p> <p>Haciendo uso de la librería OpenCV; se diseñó un algoritmo en código Python para exponer la imagen y separarla en canales, con ello implementar las operaciones para realizar el cálculo de NDVI; lo cual posteriormente genera una matriz de bloques de pixeles y ejecuta un mapeado o coloreado completo de la imagen, a lo cual es posible ejecutar un algoritmo multiproceso para la detección oportuna de cultivos, esto gracias a la implementación un módulo NoIR que cuenta con un sensor Sony IMX219 de 8 megapíxeles, con la cualidad de no emplear filtros para infrarrojos, lo que permite obtener una banda de procesamiento de infrarrojo cercano, la conexión se logra por medio de una interfaz CSI-2 (Camera Serial Interface 2) que opera en las capas físicas MIPI C-PHY y / o MIPI D-PHY</p> <p>Los datos depurados son enviados al transceptor nRF24L01, que envía los buffers de información al “Embedded Communication System”, para su depuración oportuna como son, datos de proceso de instrumentación, localización y detección de Visión Computacional</p> <p>Para el control de los servomotores se hizo uso de un driver Pca9685 el cual se comunica por protocolo I<sup>2</sup>C con salida de 12 bits en resolución de 4us en frecuencia de 60 Hz operativa, para ello se implementó una batería tipo LIPO de 1300mah 11.1v 3s 30c, lo que permite obtener la corriente necesaria para para la alimentación de los 18 servomotores que componen el sistema electromotriz, en este punto cabe aclarar, que el driver Pca9685 tiene la gestión soportada de 16 canales de control, por lo cual los otros 2 servomotores sobrantes son controlados directamente por el ATMEGA 2560, a través de sus pines PWM y el algoritmo de programación</p>
Embedded Communication System	<p>Esta unidad contiene una PCB Main que gestiona la comunicación Half-Duplex entre el “Hexapodo Embedded System”, de esta manera el módulo funge como un intermediario para la gestión del tráfico de datos, por un lado el transceptor nRF24L01 que interconecta inalámbricamente con el robot, cuando el la información es mediada por la tarjeta main, de este modo la gestión se realiza por protocolo RS-232 intercomunicado por un driver de interconexión UART/USB, la información es enviada a la computadora para ser procesada y desplegada por una Interfaz Gráfica de Usuario</p>
PC	<p>La intercomunicación entre el “Embedded Communication System” y PC, se da por la interconexión USB, la información es recibida y enviada bajo este protocolo, y la forma operativa la gestiona una Interfaz Gráfica de Usuario, diseñado en lenguaje JAVA, haciendo usos de las clases para el diseño de la GUI, gestión de SGBD y la comunicación UART, de este modo el resultado gráfico permite realizar la operación del sistema de forma remota. Entre las actividades más importantes es el procesamiento de las variables de temperatura y humedad proporcionados por el robot, también los puntos de geolocalización de los puntos de muestras, el antecedente de la detección de la visión computacional, etc.</p>

La interacción con el usuario se logra diseñando una GUI en la IDE “Apache NetBeans”, la cual se puede apreciar a continuación en la [Figura 3](#):

La presente interfaz gráfica cuenta con 5 bloques importantes que se pueden apreciar en la [Tabla 4](#):

Para el diseño de la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) en su arquitectura de programación se hizo uso del paradigma orientado a objetos basado en el lenguaje JAVA, con ayuda de los componentes Swing se realizó el diseño de la dashboard de usuario, estructurando así un programa basado en paquetes, interfaces y clases, un mapa completo se puede apreciar en el siguiente diagrama UML de clases ([Figura 4](#)):

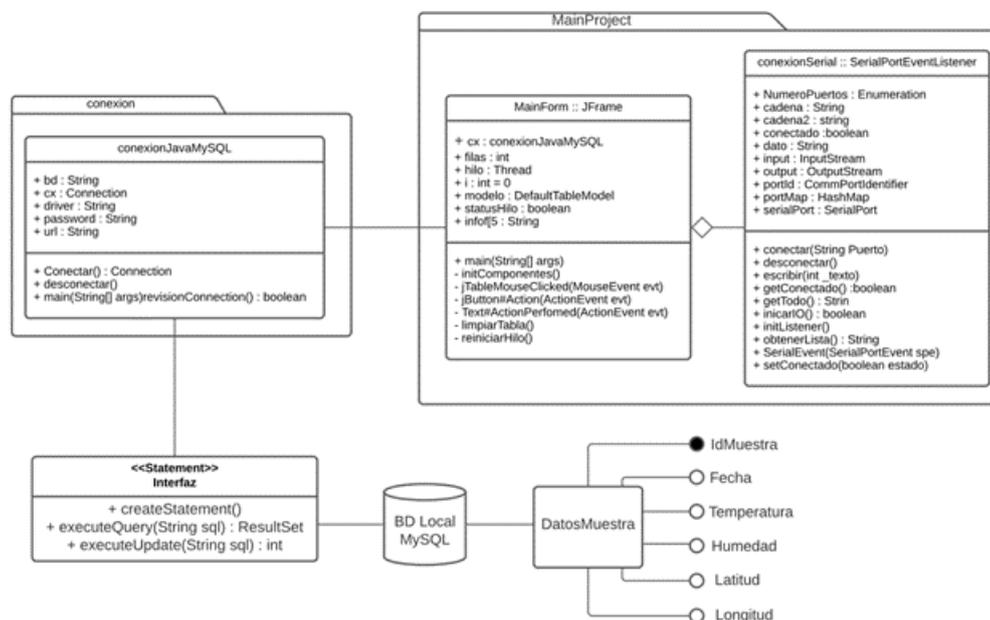
A continuación, las [Tablas 5](#) y [6](#) explican la operatividad del diagrama UML de clases:



**FIGURA 3.** Formulario principal de control (Autoría Propia).

**TABLA 4.** Descripción operativa de la matriz de Flujo de Información-Diagrama UML de Clases (Autoría Propia)

Sección	Descripción
Conexión COM	EL cual contiene un componente ComboBox para seleccionar los puertos COM disponibles al ejecutar el método <i>Conectar()</i> de la clase <i>conexionJavaMySQL</i>
Variables de entrada puerto COM	Compuesta por 4 <i>label's</i> donde se retornan los datos del <i>String</i> suministrado por la conexión COM, la recepción es un <i>String</i> con el formato “temperatura + humedad + longitud + latitud”, con ayuda del método <i>substring()</i> es posible separar la cadena y realizar el “ <i>cast</i> ” posible de ser necesario y prepararlo para el envío a la BD Local o la tabla
Envío de datos	Compuesto por 2 <i>Button's</i> , el primero permite realizar la activación de solicitud y el segundo envía el comando de desactivación
Tabla de Datos	Esta instancia está vinculada el <i>GrupBox</i> de “Bases de datos”, a través del evento <i>MouseClicked</i> despliegan los registros actualizados para el usuario de primer plano. La función importante consiste es detonar la actualización y consulta de datos en tiempo real. Este bloque es subdividido en 3 partes:
Bases de Datos	<p>4. <i>Estado de conexión:</i> El cual permite el monitore de la conexión y en su defecto la activación y desactivación manual de método <i>conectar()</i> del Packages “<i>conexion</i>”</p> <p>5. <i>Búsqueda de Registros:</i> Es un contexto de aditamentos para realizar la búsqueda de registros, se proporcionan dos opciones, el primero permiten realizar la búsqueda de registros de un punto de inicio a final de fechas para ello se invoca una consulta de SQL del tipo conjunción (operador and) para delimitar el espectro de búsqueda en un espacio es delimitado de la BD. En la segunda opción se implementa una consulta “<i>SELECT * FROM</i>” para desplegar en la “<i>Tabla de Datos</i>” todos los registros almacenados en la BD Local de MySQL</p> <p>6. <i>Edición de Registros.</i> Vinculado con el evento clic de la <i>JTable</i> que cuenta con 6 <i>TextField</i> y 2 <i>Button's</i>, los <i>TextField's</i> exponen los valores capturados de la descomposición de cadena recibida de la conexión COM, los cuales se manifiestan del evento <i>MouseClicked</i> de la <i>JTable</i> desplegando los datos y habilitando la opción de borrar y editar, respectivamente para realizar las opciones de <i>delete</i> y <i>update</i> de las <i>Querys</i> ejecutadas por la interfaz “<i>Statement</i>”</p>



**FIGURA 4.** Diagrama UML de Clases del Formulario Principal de operación (Autoría Propia).

**Sistema embebido receptor y emisor**

Se realizaron los procesos de manufactura electrónica y mecánica del sistema de emisión y recepción de datos de humedad-temperatura, en el caso del módulo receptor, se diseñó bajo un enfoque de ergonomía y adaptabilidad, aplicando sistemas CAD se diseñó la carcasa de protección en impresión 3D con material PLA+, y se manufacturo la PCB en

formato SMD, el resultado se puede observar en la [Figura 5](#) siguiente:

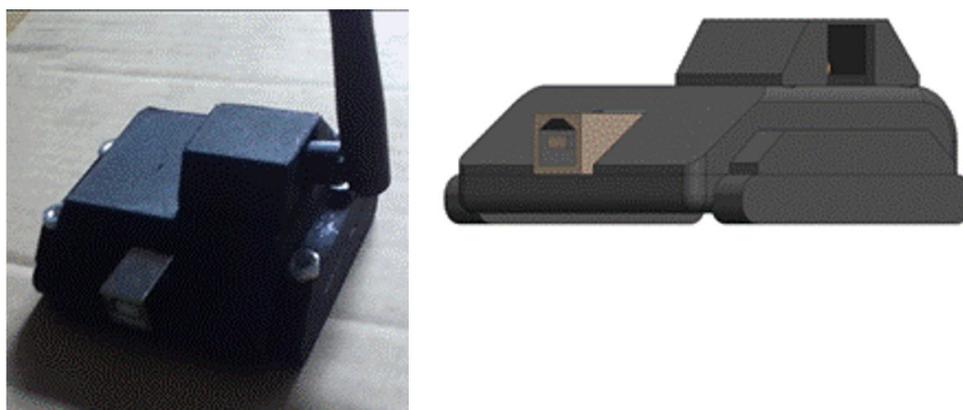
Para el caso del módulo receptor, se embebió la electrónica para crear un dispositivo de fijación por medio de 4 tornillos en las esquinas para la sujeción en el robot hexápodo, la conexión de alimentación y datos entre el módulo y el robot se realiza con un cable del tipo Jst-xh 2.0mm macho-macho de 5 pines,

**TABLA 5.** Descripción de paquetes y clases del Formulario Principal (Autoría Propia)

Packages	Clase	Descripción
MainProject	MainForm	Es un JFrame que contiene la arquitectura gráfica mostrada en la <a href="#">Figura 1</a> , compuesto por 7 atributos públicos principales que permiten obtener de la implementación de <i>Thread's</i> los datos de la conexión serial para desplegar la información en la jTable, jTextField y JLabel de los datos adquiridos por el receptor. Posteriormente cuenta con 1 método público y 6 métodos privados, los cuales son las acciones principales de los componentes de interacción con el usuario como con la inicialización de los componentes, los objetos que interactúan con los eventos click y la acción que estos realizan, y finalmente los métodos de segundo plano para estabilizar la funcionalidad del programa.
	conexionSerial	Esta clase es una agregación de la clase “MainForm”, se observa de esta forma dado que la conexión COM sea exitosa o no, se puede seguir operando el Form principal (realizando acciones como consulta de la información de la BD local), está compuesta por 10 atributos públicos y 10 métodos, que en conjunto garantizan la conexión COM entre el módulo receptor y el formulario.
conexión	conexionJavaMySQL	Forman una asociación fuerte con la clase “MainForm”, dado que la operatividad de consulta y resguardo de información den la BD Local depende del éxito de la conexión, para ello el paquete contiene la clase “ <i>conexionJavaMySQL</i> ” que depende de la librería <i>mysql-connector-java</i> , configurando sus 5 atributos de la siguiente forma: <i>bd="bdhexapodotemphumgps"; url="jdbc:mysql://localhost:3306/"; user="root"; password=""</i> ; <i>driver "com.mysql.cj.jdbc.Dri"</i> . Podemos realizar la interconexión a la BD Local y haciendo uso de la Interfaz “ <i>Statement</i> ” operar las instrucciones del Data Manipulation Language (DML) de SQL.

**TABLA 6.** Descripción de los componentes de comunicación del formulario Principal (Autoría Propia)

Componente	Descripción
Interfaz <<Statement>> (ORACLE, 2022)	Permite hacer uso de la creación, para ejecutar las consultas y las actualizaciones de los comandos SQL para la administración de la BD Local.
BD Local MySQL	BD Local llamada “ <i>bdhexapodotemphumgps</i> ” gestionada por XAMMP en MySQL con el Port genérico 3306, la cual contiene una tabla llamada “ <i>DatosMuestra</i> ” que tiene como Primary Key al campo <i>IdMuestra</i> y asociado a los campos: Fecha, Temperatura, Humedad, Latitud y Longitud, todos del tipo <i>string</i> para la <i>n</i> cantidad de registros que se pretenden administrar.



**FIGURA 5.** Prototipo de módulo receptor de información.

el resultado de manufactura del módulo se puede observar en la [Figura 6](#) siguiente:

### Instalación de módulo en robot hexápodo

La propuesta general del robot hexápodo de exploración de terrenos complejos de agricultura, tiene como finalidad a largo plazo el proceso de polinización artificial, por lo tanto los aditamentos que tiene disponibles son módulos que pretenden instalarse conforme al avance continuo del desarrollo técnico, la forma general propone un robot de 6 extremidades con 3 grados de libertad en cada pierna, de esta forma el módulo emisor ( $^{\circ}\text{C}$ -%RM-Latitud/Longitud) se instala en la parte superior del fuselaje central del hexápodo, con el propósito de dispersar el poco peso en su centro de gravedad y también exponer en buena posición la antena para el envío de los datos en formato RF en el proceso de exploración ([Figura 7](#)).

### Pruebas en tiempo real

Los datos que entran en forma de *String* son separados por el algoritmo y reportados en la tabla, también se envía un “*JPanel*” para acusar la recepción de los datos y la escritura en la BD de MySQL:

La [Figura 8](#), muestra los resultados en tiempo real del flujo de información descrito en el Diagrama 1, donde el módulo emisor envía la información remota de temperatura y humedad, y el dispositivo emisor la recibe para ser enviada y procesada por la aplicación JAVA para su administración en la BD Local.

El botón de “*Limpiar tabla*” quita los registros de la tabla, con ello se puede realizar 2 tipos de consulta, primera por fechas de inicio fin como se muestra en la [Figura 9](#) a continuación:

También es posible seleccionar los registros en el contenedor de *Edición de registros* en el cual se colocarán los campos actualizados con la información seleccionada, si se modifica alguno de los 4 campos, y se le da clic en el botón de “*Editar Registro*”, dicho registro será editado tanto en la tabla y en la BD local, Si se selecciona un registro de la tabla y se le da clic en el botón “*Eliminar Registro*”, el registro será eliminado de la tabla y de la BD local ([Figura 10](#)):

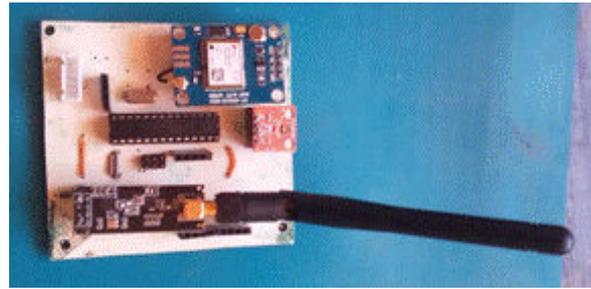


FIGURA 6. Prototipo de módulo emisor de información.

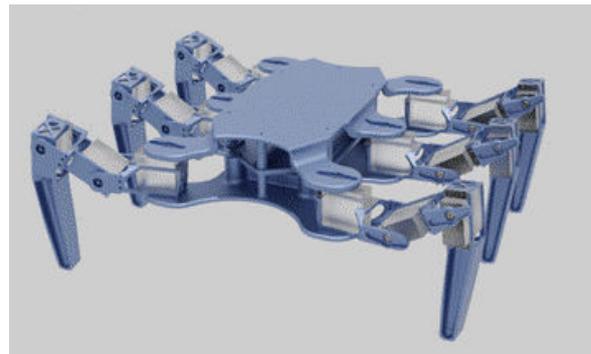


FIGURA 7. Simulación 3D en Belnder de vista isométrica de robot hexápodo explorador de terrenos complejos en la agricultura (Autoría Propia).

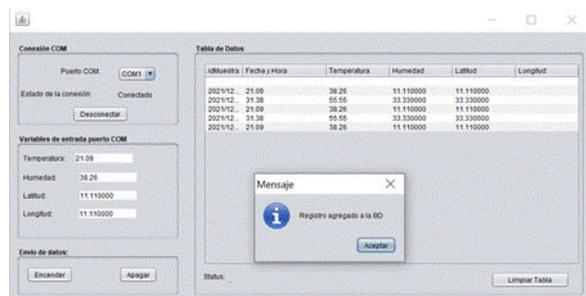


FIGURA 8. Aplicación de escritorio en proceso de recepción de información y resguardo de registro en la BD Local.



FIGURA 9. Búsqueda de registro por intervalo de fechas.

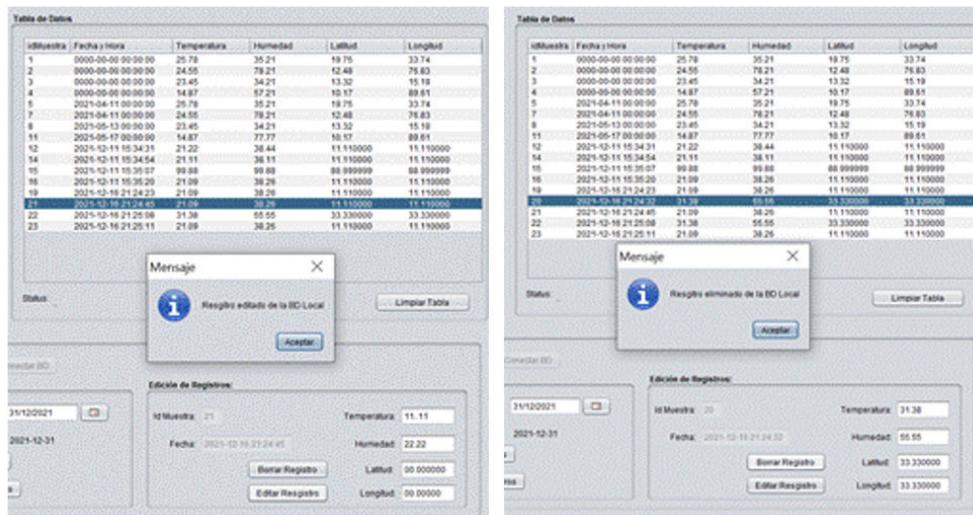


FIGURA 10. Actualización y eliminación de registros.

## CONCLUSIONES

La instrumentación para la recolección de datos en la agricultura es una herramienta con alto espectro de aplicación, posteriormente la administración de los datos obtenidos debe ser asistido por sistemas informáticos que permitan flexibilizar el trabajo de depuración. El presente proyecto mostró evidencia de un sistema informático orientado a procesos de la agricultura, el reporte de resultados se orienta en los procesos técnicos del diseño de hardware y sobre todo de software, poniendo a disposición estos esfuerzos es posible crear sistemas complejos que ayuden en un futuro a los agricultores en el conocimiento y uso de las técnicas de la agricultura de precisión, a través de sistemas informáticos que acusen o dispongan de información depurada y flexible que permite realizar la toma de decisión.

En esta primera fase se reportó el envío de dos variables, pero el software se puede potenciar para poder administrar mayor cantidad de datos; obvio, el robot hexápodo puede expandir sus cualidades y deberá dotarse de otros actuadores o instrumentos que permitan su recolección y procesamiento de las señales, la cual desde un inicio se consideró en su diseño mecánico para hacerlo modular en los procesos de la agricultura en los que tenga que desempeñar la tarea de polinización.

Se usaron diferentes recursos de la ingeniería de software para poder representar los resultados como fueron las tablas de cada caso de uso, los diagramas UML, las tablas operatividad de las partes del software, etc. Gran cantidad del tiempo para el diseño del sistema se centró en el diseño de software tanto a nivel hardware, GUI y bases de datos.

El proyecto en su conjunto es una sub esfera de la totalidad que lo compone, la adquisición de muestras inalámbricas, permitirán a futuro la operatividad remota del robot hexápodo en la exploración de

terrenos complejos en la agricultura, la comunicación dúplex, permitirá el envío y recepción de datos para los procesos de exploración, a futuro, cuando el módulo de visión computacional se incorpore, se pretende realizar la exploración en cultivos para implementar técnicas de polinización invasiva en algunos cultivos como puede ser flores, los puntos de control tomarán la geoposición y la toma de temperatura y humedad para su posterior estudio, por lo tanto esta fase era indispensable de ser diseñada e implementada para continuar con los diseños de robótica a futuro.

Finalmente, la importancia que este tipo de proyectos aporta en la agricultura, coloca a México en vías de la independencia tecnológica mostrando evidencia de la capacidad ingenieril y de investigación que tenemos como país, así como en sistemas computacionales, electrónica, instrumentación, robótica. En su conjunto son factores para el desarrollo de herramientas de la agricultura de precisión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, T.C.; VELARDE, G.E.; BARCIA, A.O.: "Implementación de un sistema de mapeo y localización a un robot hexápodo enfocado en la exploración del entorno y monitoreo de temperatura", *Científica*, 23(2): 99-107, 2019, ISSN: 1665-0654, Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61459623002>.
- BARRIENTOS, A.: "Nuevas aplicaciones de la robótica. Robots de servicio", *Avances en robótica y visión por computador. Cuenca, Ediciones Castilla-La Mancha*, 288, La robótica y tres aplicaciones principales, 2002.
- CAJAL, A.: *Aplicaciones de la robótica en presente y futuro, [en línea]*, Liferderr, 2018, Disponible en: <https://www.liferderr.com/aplicaciones-robots/>.

- GONZÁLEZ, C.J.; NUÑEZ, P.B.; VILORIA, M.P.: “Sistema de monitoreo en tiempo real para la medición de temperatura”, *Scientia et technica*, 17(50): 128-131, 2012, ISSN: 0122-1701, Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84923878019>.
- IBM: *Cambios en la réplica del lenguaje de definición de datos (DDL)*, [en línea], IBM, 2021, Disponible en: <https://www.ibm.com/docs/es/ids/11.3.3?topic=console-replicating-data-definition-language-ddl-changes>.
- MARLIN P. JONES AND ASSOCIATES INC: *31150-MP. MG995 High Speed Servo Actuator*, [en línea], Inst. Marlin P. Jones and Associates inc, Florida, USA, 2018, Disponible en: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132435/ETC2/MG995.html>.
- MEDINA, A.: *La robótica y tres aplicaciones principales*, [en línea], Prezi, 2016, Disponible en: <https://prezi.com/vdmjocojsd67/la-robotica-y-tres-aplicaciones-principales/>.
- MERCADER, U.J.R.: “El futuro del trabajo en la era de la digitalización y la robótica”, *El futuro del trabajo en la era de la digitalización y la robótica*, : 1-245, Aplicaciones de la robótica en presente y futuro, 2017.
- MICKLE, P.: *1961: A peep into the automated future*, [en línea], Capital Century, 2016, Disponible en: <http://www.capitalcentury.com/1961.html>.
- MIRET, J.: *Diseño e implementación de un robot cuadrupedo 3GDL con microcontrolador de 32bits STM*, [en línea], UPV, España, 2016, Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/89561/MIRET%20-%20Dise%C3%B1o%20e%20implementaci%C3%B3n%20de%20un%20robot%20cuadrupedo%203GDL%20con%20microcontrolador%20de%2032bits%20STM.pdf?sequence=1>.
- NARVÁEZ, T.V.J.; YANDÚN, N.J.: *Diseño e Implementación de un Sistema de Localización y Mapeo Simultáneos (SLAM) para la Plataforma Robótica Robotino®*, [en línea], QUITO/EPN/2013, publisher: QUITO/EPN/2013, 2013, Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/337085433\\_Diseño\\_e\\_Implementación\\_de\\_un\\_Sistema\\_de\\_Localización\\_y\\_Mapeo\\_Simultáneos\\_SLAM\\_para\\_la\\_Plataforma\\_Robótica\\_RobotinoR](https://www.researchgate.net/publication/337085433_Diseño_e_Implementación_de_un_Sistema_de_Localización_y_Mapeo_Simultáneos_SLAM_para_la_Plataforma_Robótica_RobotinoR).
- NORDIC, SEMICONDUCTOR: *NrF24L01+. Single Chip 2.4GHz Transceiver. Preliminary Product Specification v1.0.*, [en línea], Nordic, (12). Trondheim: NORDIC, 2018, Disponible en: [https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Plus\\_Preliminary\\_Product\\_Specification\\_v1\\_0.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Plus_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf).
- ORACLE: *API Java JDBC*, [en línea], Oracle, 2022, Disponible en: <https://docs.oracle.com/javase/8/docs/technotes/guides/jdbc/>.
- PAL, A.: “Transmit power reduction≠ proportional power savings: Applicability of transmit power control in large-scale wireless sensor networks”, *IEEE Internet of Things Magazine*, 3(1): 20-24, 2020, ISSN: 2576-3180.
- POMBA, P.: *Trabajar con Servos*, [en línea], Super Robotic, 2019, Disponible en: <http://www.superrobotica.com/Servosrc.html>.
- RUBIO, M.; DANIEL, J.: “Diseño e implementación de un robot cuadrupedo 3GDL con microcontrolador de 32bits STM”, *Diseño e implementación de un robot cuadrupedo 3GDL con microcontrolador de 32bits STM*, 2017.
- TE. CONNECTIVITY: *HTU21D(F) RH/T SENSOR IC. Digital Relative Humidity sensor with Temperature output.*, [en línea], Inst. Measurement Specialties, Inc, Francia, 2015, Disponible en: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/880699/TEC/HTU21D.html>.
- THOMPSON, H.L.L.; AGUAYO, P.: “Como utilizar un servo motor con Arduino.”, *Trabajar con Servos*, 2009.
- UBLOX: *NEO-6 u-blox 6 GPS Modules. Zuercherstrasse: ublox*, [en línea], Ublox, 2011, Disponible en: [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6\\_DataSheet\\_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf).
- WRAPPER, AUTOCLOSEABLE: *Declaración de interfaz*, [en línea], Docs.Oracle, 2020, Disponible en: <https://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/sql/Statement.html>.
- ZABALZA, I.; ROS, J.: “Aplicaciones actuales de los robots paralelos”, En: *8th Latin American Congress of Mechanical Engineering. Cusco, Perú*, vol. 3, La robótica y tres aplicaciones principales, 2007.

Luis Tonatiuh Castellanos Serrano, Profesor e Investigador, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Federal México-Texcoco km 38.5, C.P. 56230 Texcoco de Mora, México. e-mail: [procesoslcce@hotmail.com](mailto:procesoslcce@hotmail.com), [lcastellanoss@chapingo.mx](mailto:lcastellanoss@chapingo.mx).

Gaudencio Sedano Castro, Profesor e Investigador, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Federal México-Texcoco km 38.5, C.P. 56230 Texcoco de Mora, México. e-mail: [gsedan3@hotmail.com](mailto:gsedan3@hotmail.com).

María Victoria Gómez Águila, Profesora e Investigadora, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Federal México-Texcoco km 38.5, C.P. 56230 Texcoco de Mora, México. e-mail: [mvaguila@hotmail.com](mailto:mvaguila@hotmail.com).

José Alfredo Castellanos Suárez, Profesora e Investigadora, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Federal México-Texcoco km 38.5, C.P. 56230 Texcoco de Mora, México. e-mail: [josealfredocs@hotmail.com](mailto:josealfredocs@hotmail.com).

Carlos Daniel López Morales, Profesor e Investigador, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Federal México-Texcoco km 38.5, C.P. 56230 Texcoco de Mora, México. e-mail: [1.24.lopez.carlos.011099@gmail.com](mailto:1.24.lopez.carlos.011099@gmail.com)  
ORCID iD: <https://orcid.org/>.

**AUTHOR CONTRIBUTIONS:** **Conceptualization:** L. T. Castellanos-Serrano, G. Sedano Castro, M. V. Gómez-Águila, J. A. Castellanos-Suárez. **Data curation:** L. T. Castellanos-Serrano, C. D. López Morales. **Formal analysis:** L. T. Castellanos-Serrano, C. D. López Morales. **Funding acquisition:** G. Sedano Castro. **Investigation:** L. T. Castellanos-Serrano, M. V. Gómez-Águila, J. A. Castellanos-Suárez. **Methodology:** L. T. Castellanos-Serrano, M. V. Gómez-Águila. **Project administration:** G. Sedano Castro. **Resources:** Universidad Autónoma Chapingo. **Software:** L. T. Castellanos-Serrano, C. D. López Morales. **Supervision:** G. Sedano Castro. **Validation:** M. V. Gómez-Águila, J. A. Castellanos-Suárez. **Visualization:** M. V. Gómez-Águila, J. A. Castellanos-Suárez. **Roles/Writing, original draft:** L. T. Castellanos-Serrano, G. Sedano Castro, M. V. Gómez-Águila, J. A. Castellanos-Suárez. **Writing, review & editing:** L. T. Castellanos-Serrano, G. Sedano Castro, M. V. Gómez-Águila, J. A. Castellanos-Suárez.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.