



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE
COMUNICACIÓN**

**“SISTEMA ELECTRÓNICO DE DETECCIÓN DE RESIDUOS DE
PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS EN CULTIVOS DE FRUTILLA PARA
ESTABLECER UN MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS (MIP)”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

AUTOR: EDWIN ALBERTO LEMA VEGA

DIRECTOR: MSc. EDGAR ALBERTO MAYA OLALLA

Ibarra - Ecuador

2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	100396460-6		
APELLIDOS Y NOMBRES	Lema Vega Edwin Alberto		
DIRECCIÓN	Otavalo – Quinchuquí, Chuscu Suyo e Imbabura		
E-MAIL	ealemav@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO	062690708	TELÉFONO MÓVIL	0967277653
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	SISTEMA ELECTRÓNICO DE DETECCIÓN DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS EN CULTIVOS DE FRUTILLA PARA ESTABLECER UN MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS (MIP)		
AUTOR:	Edwin Alberto Lema Vega		
FECHA	25 octubre del 2021		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO		
TÍTULO	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación		
DIRECTOR	Ing. Edgar Alberto Maya Olalla, MSc.		

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que sume la responsabilidad sobre contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de octubre de 2021

EL AUTOR:A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Edwin Alberto Lema Vega", is written over a horizontal dashed line.

Edwin Alberto Lema Vega

100396460-6



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

MAGISTER EDGAR ALBERTO MAYA OLALLA, DIRECTOR DEL PRESENTE
TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación "SISTEMA ELECTRÓNICO DE DETECCIÓN
DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS EN CULTIVOS DE
FRUTILLA PARA ESTABLECER UN MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS (MIP)".
Ha sido desarrollado por el Señor Edwin Alberto Lema Vega, bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a blue oval. The signature is stylized and appears to be "E. Maya Olalla". Below the signature is a horizontal dashed line.

Ing. Edgar Alberto Maya Olalla, MSc.

CI: 1002702197

DIRECTOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico a Dios, por permitirme tener vida, salud y poder llegar hasta este momento tan importante de mi vida.

A mis padres y hermanos, por haberme dado su apoyo incondicional y su motivación constante para alcanzar mis anhelos. Este logro se los debo a ustedes.

Edwin Alberto Lema Vega

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer infinitamente a Dios por guiar mis pasos y no abandonarme; a mis padres Mercedes y José que por su amor, esfuerzo y sacrificio me ayudaron a llegar tan lejos, a mis hermanos quienes con su aliento de apoyo permitieron que no me rindiera, a mi hermana Yolanda quien ha sido un gran apoyo y parte importante de este gran logro a pesar de la distancia.

A mi director de tesis MSc. Edgar Maya, mis asesores MSc. Jaime Michilena y MSc. Edgar Jaramillo, quienes gracias a sus amplios conocimientos supieron guiarme en el desarrollo de este proyecto.

Finalmente agradezco a mis amigos de carrera por su compañía, esfuerzo y apoyo brindado.

Edwin Alberto Lema Vega

ÍNDICE DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE OBRA	II
CONSTANCIAS	III
CERTIFICACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVIII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XX
RESUMEN	XXI
ABSTRACT	XXIII
1. Capítulo I ANTECEDENTES.....	1
1.1. Tema	1
1.2. Problema	1
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. Alcance	5
1.5. Justificación	7
2. Capítulo II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1. Condiciones del cultivo de frutilla.....	9
2.1.1. Suelo	9
2.1.2. Agua	10
2.1.3. Temperatura.....	10
2.2. Plaga.....	10
2.2.1. Plagas en la frutilla	11

2.3.	Plaguicidas	12
2.3.1.	Clasificación	13
2.3.1.1.	<i>Según el organismo a controlar</i>	13
2.3.1.2.	<i>Según el grado de toxicidad</i>	14
2.3.2.	Toxicidad de los plaguicidas en el organismo	15
2.3.2.1.	<i>Toxicidad oral aguda</i>	16
2.3.2.2.	<i>Toxicidad dérmica</i>	16
2.3.2.3.	<i>Toxicidad por inhalación</i>	16
2.3.3.	Efecto de los plaguicidas en la salud humana	16
2.3.3.1.	<i>Efectos agudos</i>	16
2.3.3.2.	<i>Efectos crónicos</i>	18
2.3.4.	Plaguicidas Organoclorados	18
2.3.5.	Plaguicidas en alimentos	19
2.4.	Manejo Integrado de Plagas	19
2.5.	Adquisición de datos	20
2.5.1.	Sistema de adquisición de datos	21
2.6.	Aprendizaje automático	21
2.6.1.	Clasificación	22
2.6.1.1.	<i>Aprendizaje supervisado</i>	22
2.6.1.1.1.	<i>Máquina de vectores de soporte (SVM)</i>	22
2.6.1.1.2.	<i>Redes neuronales</i>	23
2.6.1.1.3.	<i>Regresión lineal Múltiple (MLR)</i>	24
2.6.1.1.4.	<i>Árboles de decisión</i>	25
2.6.1.2.	<i>Aprendizaje no supervisado</i>	26
2.7.	Sistemas embebidos	26
2.7.1.	Software y hardware libres	28
2.7.2.	Microcontrolador	28

2.7.2.1.	<i>Unidad de procesamiento CPU</i>	29
2.7.2.2.	<i>Memoria RAM</i>	29
2.7.2.3.	<i>Memoria ROM</i>	29
2.7.3.	<i>Sensores</i>	29
2.7.3.1.	<i>Sensores Químicos</i>	31
2.7.3.1.1.	<i>Sensores MOS de óxido de estaño</i>	31
2.7.3.1.1.1.	<i>Sensores Figaro</i>	33
2.7.3.1.1.2.	<i>Sensores MQ</i>	33
3.	Capítulo III DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE DETECCIÓN DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS	37
3.1.	<i>Situación Actual</i>	37
3.2.	<i>Diseño del sistema</i>	39
3.2.1.	<i>Requisitos</i>	39
3.2.1.1.	<i>Determinación de Stakeholders</i>	39
3.2.1.2.	<i>Requerimientos de Stakeholders</i>	40
3.2.1.3.	<i>Requerimientos del sistema</i>	41
3.2.1.4.	<i>Requerimientos de Arquitectura</i>	42
3.2.2.	<i>Selección de Hardware y Software</i>	44
3.2.2.1.	<i>Elección de Hardware</i>	45
3.2.2.1.1.	<i>Sistema Embebido</i>	45
3.2.2.1.2.	<i>Sensores de Gas</i>	47
3.2.2.2.	<i>Selección de Software</i>	53
3.2.2.2.1.	<i>Lenguaje de Programación</i>	54
3.2.3.	<i>Diseño</i>	55
3.2.3.1.	<i>Descripción General del funcionamiento del sistema electrónico</i>	55
3.2.3.2.	<i>Arquitectura</i>	56
3.2.4.	<i>Calibración de los sensores MQ</i>	60

3.2.5.	<i>Diagrama de flujo del sistema</i>	61
3.2.6.	Diagrama de circuito del sistema electrónico.....	63
3.2.7.	<i>Diseño detallado del hardware</i>	66
3.2.7.1.	<i>Caracterización y conexión de los sensores</i>	66
3.2.8.	Diseño del circuito impreso.....	81
3.3.	Diseño experimental del cultivo.....	83
3.3.1.	Requerimientos del ambiente	83
3.3.2.	Labores de preparación del cultivo de fresas.....	83
3.3.2.1.	<i>Preparación del terreno</i>	83
3.3.2.2.	<i>Levantamiento de camas</i>	84
3.3.2.3.	<i>Abonado</i>	85
3.3.2.4.	<i>Colocación de riego</i>	85
3.3.2.5.	<i>Desinfección del suelo</i>	86
3.3.2.6.	<i>Cobertura del suelo</i>	87
3.3.2.7.	<i>Plantación</i>	87
3.3.2.8.	<i>Fertilización y Riego</i>	89
3.3.2.9.	<i>Floración</i>	90
3.4.	Procesamiento de datos mediante un algoritmo de clasificación.....	91
3.4.1.	Etapa de selección de datos	92
3.4.1.1.	<i>Establecimiento del tiempo de muestreo</i>	93
3.4.1.2.	<i>Toma de muestras de pesticidas</i>	96
3.4.2.	Etapa de preprocesamiento (limpieza) y transformación de los datos ...	115
3.4.2.1.	<i>Acoplamiento de la señal y reducción de Ruido</i>	115
3.4.3.	Etapa de minería de datos.....	120
3.4.4.	Etapa de interpretación (evaluación) de resultados	124
3.5.	Diseño de la estructura externa del prototipo.....	126
3.5.1.1.	<i>Subsistema de control</i>	130

3.5.1.2. Contenedor de sensores	133
3.6. Diseño del software del sistema.....	135
3.6.1. Toma de datos	135
3.6.2. Procesamiento	138
3.6.3. Visualización de resultados e interfaz gráfica.....	139
4. Capítulo IV PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD Y RESULTADOS.....	142
4.1. Pruebas de funcionalidad	142
4.1.1. Prueba de Bloque de alimentación	142
4.1.2. Prueba de Bloque de Adquisición de datos	143
4.1.3. Prueba de Bloque de procesamiento y Visualización de resultados.	145
4.2. Pruebas de desplazamiento del dispositivo electrónico	151
4.3. Resultados de detección de residuos de pesticidas	153
4.3.1. Resultado de detección de residuo de plaguicida un día después de la aplicación del plaguicida	154
4.3.2. Resultado de detección de residuo plaguicida al dos día después de la aplicación del plaguicida	158
4.3.3. Resultado de detección de residuo de plaguicida al día tres	160
4.4. Comparación de resultados con los Límites Máximos de Residuos (LMR) de plaguicidas.	164
4.4.1. Aplicación de plaguicidas y residuos determinados	165
4.4.2. Comparación con el Límite Máximo de Residuo establecido por las organizaciones de control	169
5. Capítulo V MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS MIP PARA EL CULTIVO EXPERIMENTAL DE FRESAS	171
5.1. Principios Fundamentales del Manejo Integrado de Plagas	171
5.2. Método de control a implementar	172
5.2.1. Control Químico	172
5.2.2. Control Natural	173

5.3.	Descripción y control de plagas	174
5.4.	Aplicación del Manejo Integrado de Plagas MIP mediante plaguicidas de control Natural	182
5.4.1.	Plaguicida natural a base de ajo, ají y jabón.....	182
5.4.2.	Plaguicida natural a base de sulfato de cobre y cal viva	184
5.4.3.	Plaguicida natural a base de vinagre y jabón.....	185
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	187
6.1.	Conclusiones	187
6.2.	Recomendaciones	190
	REFERENCIAS	191
	GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS	198
	ANEXOS	199
	Anexo 1. Costo del proyecto en general	199
	Anexo 2. Evidencias Fotográficas	201
	Anexo 3. Cálculo de la concentración de gases en cada uno de los plaguicidas.	208
	Anexo 4. Realización de la investigación de campo, visita a los agricultores de plantaciones de fresa de la zona de Huayco Pungo, Otavalo.....	213
	Anexo 5. Encuesta realizada a agricultores de la zona de Huayco Pungo de la Ciudad de Otavalo.	214
	Anexo 6. Comprobación de residuos de pesticidas en fresas del mercado local.	221
	Anexo 7. Manual de Usuario	224
	Anexo 8. Hoja técnica de los plaguicidas químicos	230
	Anexo 9. Código fuente para la toma de datos y control de servomotores en Arduino.	235
	Anexo 10. Codificación del modelo de Machine Learning en Matlab	246

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cultivo de frutilla y detalle de fruto.....	9
Figura 2 Sistema generalizado de adquisición de datos.	21
Figura 3 Representación gráfica del método SVM	23
Figura 4 Ejemplo de una red neuronal con múltiples capas.....	24
Figura 5 Ejemplo de una Regresión Lineal Múltiple	25
Figura 6 Ejemplo de árbol de decisiones.....	26
Figura 7 Componentes de un sistema embebido nivel lógico.	27
Figura 8 Representación esquemática de un microcontrolador.....	28
Figura 9 Clasificación de los sensores por los principio de transducción.	30
Figura 10 Diagrama de funcionamiento de un sensor de gas MOS	32
Figura 11 Estructura de un sensor de gas basado en un óxido metálico usando tecnologías de películas delgadas.	33
Figura 12 Modelo en cascada.	34
Figura 13 Arquitectura general del sistema Electrónico	57
Figura 14 Diagrama de flujo del Sistema electrónico.	63
Figura 15 Diagrama esquemático del sistema electrónico	64
Figura 16 Diagrama pictórico del sistema electrónico	65
Figura 17 Características de sensibilidad del Sensor MQ-2.....	66
Figura 18 Circuito básico del Sensor MQ-2.....	68
Figura 19 Diagrama de conexión del Sensor MQ-2.....	69
Figura 20 Características de sensibilidad del Sensor MQ-3.....	70
Figura 21 Circuito básico del Sensor MQ-3.....	72
Figura 22 Diagrama de conexión del Sensor MQ-3.....	72
Figura 23 Características de sensibilidad del Sensor MQ-8.....	73
Figura 24 Circuito básico del Sensor MQ-8 Fuente: (Hanwei Electronics, 2014).....	75
Figura 25 Diagrama de conexión del Sensor MQ-8.....	75
Figura 26 Características de sensibilidad del Sensor MQ-9.....	76
Figura 27 Circuito básico del Sensor MQ-9.....	77
Figura 28 Diagrama de conexión del Sensor MQ-9.....	78
Figura 29 Características de sensibilidad del Sensor MQ-135.....	79
Figura 30 Circuito básico del Sensor MQ-135.....	80
Figura 31 Diagrama de conexión del Sensor MQ-135.....	81

Figura 32 Diseño del circuito Impreso del sistema electrónico.....	82
Figura 33 Circuito Impreso en placa de cobre.....	82
Figura 34 Preparación del suelo previo al cultivo de fresas.....	84
Figura 35 Levantamiento de camas.....	84
Figura 36 Abonado de las camas.....	85
Figura 37 Colocación de riego por goteo.....	86
Figura 38 Desinfección del suelo.....	86
Figura 39 Cobertura de las camas con plástico.....	87
Figura 40 Raíces de fresa variedad Albión.....	88
Figura 41 Plantación de las raíces de fresa.....	88
Figura 42. Cultivo de camas de fresas.....	89
Figura 43 Fertilización del suelo.....	90
Figura 44 Floración de las plantas de fresa.....	90
Figura 45 Etapas de proceso KDD.....	91
Figura 46 Datos de LGP en un tiempo de muestreo de 4 minutos.....	93
Figura 47 Datos de GLP en un tiempo de muestreo de 7 minutos.....	94
Figura 48 Datos de GLP en un tiempo de muestreo de 15 minutos.....	95
Figura 49 Datos de GLP en un tiempo de muestreo de 20 minutos.....	95
Figura 50 Datos obtenidos por los sensores del pesticida Fullmectin.....	96
Figura 51 Datos de GLP en el pesticida Fullmectin.....	97
Figura 52 Datos de Hexeno en el pesticida Fullmectin.....	97
Figura 53 Datos de H2 en el pesticida Fullmectin.....	98
Figura 54 Datos de CH4 en el pesticida Fullmectin.....	98
Figura 55 Datos de CO en el pesticida Fullmectin.....	99
Figura 56 Datos obtenidos por los sensores del pesticida Sharamida.....	100
Figura 57 Datos de GLP en el pesticida Sharamida.....	101
Figura 58 Datos de Hexeno en el pesticida Sharamida.....	101
Figura 59 Datos de H2 en el pesticida Sharamida.....	102
Figura 60 Datos de CH4 en el pesticida Sharamida.....	102
Figura 61 Datos de CO en el pesticida Sharamida.....	103
Figura 62 Datos obtenidos por los sensores del pesticida Kañón.....	104
Figura 63 Datos de GLP en el pesticida Kañón.....	105
Figura 64 Datos de Hexeno en el pesticida Kañón.....	105
Figura 65 Datos de H2 en el pesticida Kañón.....	106

Figura 66 Datos de CH4 en el pesticida Kañón	106
Figura 67 Datos de CO en el pesticida Kañón.....	107
Figura 68 Datos obtenidos por los sensores del pesticida Circón	108
Figura 69 Datos de GLP en el pesticida Circón	109
Figura 70 Datos de Hexeno en el pesticida Circón	109
Figura 71 Datos de H2 en el pesticida Circón	110
Figura 72 Datos de CH4 en el pesticida Circón	110
Figura 73 Datos de CO en el pesticida Circón	111
Figura 74 Datos obtenidos por los sensores sin aplicar pesticidas	112
Figura 75 Datos de GLP sin aplicar pesticida en la fresa.....	113
Figura 76 Datos de Hexeno sin aplicar pesticida en la fresa.....	113
Figura 77 Datos de H2 sin aplicar pesticida en la fresa.....	114
Figura 78 Datos de CH4 sin aplicar pesticida en la fresa.....	114
Figura 79 Datos de CO sin aplicar pesticida en la fresa.....	115
Figura 80 Señal con Filtro MA en la señal del sensor MQ-2.....	117
Figura 81 Señal con Filtro MA en la señal del sensor MQ-3.....	117
Figura 82 Señal con Filtro MA en la señal del sensor MQ-8.....	118
Figura 83 Señal con Filtro MA en la señal del sensor MQ-9.....	119
Figura 84 Señal con Filtro MA en la señal del sensor MQ-135.....	119
Figura 85 Transformación de los datos mediante un método de reducción de dimensiones basado en una base de datos horizontal.....	120
Figura 86 Distribución de datos aplicado SVM Medium Gaussian.....	122
Figura 87 Curva ROC y AUC del modelo SVM Fine Gaussian.....	123
Figura 88 Matriz de confusión del algoritmo SVM Fine Gaussian.....	124
Figura 89 Proceso de implementación de Medium Gaussian SVM.....	125
Figura 90 Diseño del prototipo electrónico.....	127
Figura 91 Vista superior del sistema electrónico.....	127
Figura 92 Vista lateral del sistema electrónico.....	128
Figura 93 Dimensiones de la estructura del sistema electrónico.....	129
Figura 94 Armado del sistema electrónico con todos sus componentes.....	130
Figura 95 Subsistema de control	131
Figura 96 Dimensiones de la caja de control.....	131
Figura 97 Subsistema de control del sistema electrónico.....	132
Figura 98 Descripción interna del subsistema de control.....	132

Figura 99 Contenedor de sensores.....	133
Figura 100 Dimensiones del contenedor de sensores electroquímicos.	134
Figura 101 Subsistema de contenedor de sensores.....	134
Figura 102 Diagrama de flujo para la toma de datos.....	136
Figura 103 Posición inicial del sistema para toma de datos	137
Figura 104 Posición de muestreo en fresa.	137
Figura 105 Posición final del sistema para toma de datos.....	138
Figura 106 Proceso de reconocimiento y predicción mediante modelo SVM.	139
Figura 107 Diagrama de flujo de visualización de datos.....	140
Figura 108 Interfaz gráfica para observación de resultados	141
Figura 109 Reconocimiento del puerto COM de Arduino mediante PC.....	144
Figura 110 Calibración de los sensores y lectura de datos.	145
Figura 111 Icono de ejecución de la aplicación detector de plaguicida.	146
Figura 112 Interfaz gráfica del sistema.	147
Figura 113. Lectura y adquisición de datos en la Raspberry.....	147
Figura 114 Almacenamiento de datos en el archivo sample.txt.....	148
Figura 115. Ejecución del botón de Calcular resultado del GUI.....	148
Figura 116. Proceso de procesamiento y predicción del resultado final.	149
Figura 117 Almacenamiento del resultado en el archivo results.txt.....	149
Figura 118. Indicador de resultado final en la aplicación.	150
Figura 119. Botón de apagado del sistema electrónico.	150
Figura 120 Posición inicial de funcionamiento del dispositivo electrónico.....	151
Figura 121 Posición de lectura de datos sobre la planta de fresa del dispositivo.....	152
Figura 122. Posición final del proceso de funcionamiento del dispositivo electrónico.	152
Figura 123. Distribución por número de camas del cultivo experimental.....	153
Figura 124. Selección de fresas para la proceso de prueba en la cama 4 y 5.....	154
Figura 125 Aplicación de plaguicidas	155
Figura 126. Diagrama de nivel de gas identificado por los sensores de gas en pesticida Kañón.	166
Figura 127 Diagrama de nivel de gas identificado por los sensores de gas en pesticida Circón.	166
Figura 128. Diagrama de nivel de gas identificado por los sensores de gas en pesticida Fullmectin.....	167

Figura 129. Diagrama de nivel de gas identificado por los sensores de gas en pesticida Sharamida.	168
Figura 130 División del cultivo experimental de fresas	174
Figura 131 Sección 1 del cultivo experimental de fresas	175
Figura 132 Sección 2 del cultivo experimental de fresas	175
Figura 133 Sección 3 del cultivo experimental de fresas	176
Figura 134 Daño de Botrytis en fruto de fresa	177
Figura 135 Antracnosis en fruto de fresa.....	178
Figura 136 Efecto de Araña roja en planta de fresa.	178
Figura 137 Gasterópodos en fruto de fresa.....	179
Figura 138. Proceso de fabricación de insecticida natural a base de ají, ajo y jabón... ..	183
Figura 139. Proceso de fabricación de plaguicida natural a base de sulfato de cobre y cal.	185
Figura 140. Planta de fresa en un cultivo orgánico desarrollado en el cultivo experimental.	186
Figura 141. Etapa de cosecha de fresa en el cultivo experimental.	186

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las plagas en la frutilla.....	11
Tabla 2. Clasificación de plaguicidas según el organismo a controlar.....	14
Tabla 3. Clasificación de los plaguicidas según el grado de toxicidad	15
Tabla 4. Clasificación de los plaguicidas según la persistencia en el ambiente.....	15
Tabla 5. Efectos agudos producidos por los plaguicidas en el cuerpo humano.	17
Tabla 6. Efectos crónicos producidos por los plaguicidas en el cuerpo humano.	18
Tabla 7. Clasificación de sensores por el tipo de variable medida.....	31
Tabla 8 Abreviaturas de requerimientos.....	39
Tabla 9 Lista de Stakeholders.....	40
Tabla 10 Requerimientos de Stakeholders	40
Tabla 11 Requerimientos del sistema.....	41
Tabla 12. Requerimientos de Arquitectura.....	43
Tabla 13 Descripción de valores usados para evaluar los requerimientos	44
Tabla 14 Selección del sistema Embebido para la adquisición de datos.....	45
Tabla 15 Selección del sistema Embebido para el procesamiento de datos.....	46
Tabla 16 Características técnicas de Raspberry Pi 4 Model B	47
Tabla 17. Selección del sensor de Sulfuro de Hidrógeno.....	48
Tabla 18. Características técnicas del Sensor MQ-9	49
Tabla 19 Selección del sensor de Gases Combustibles	49
Tabla 20 Características técnicas del sensor MQ-2.....	50
Tabla 21 Selección del sensor de Gas Hidrógeno	51
Tabla 22 Características técnicas del sensor MQ-8.....	51
Tabla 23 Selección del sensor de compuestos volátiles	52
Tabla 24 Características técnicas del sensor MQ-3.....	53
Tabla 25 Características técnicas del sensor MQ-135.....	53
Tabla 26 Selección del Sistema Operativo para Raspberry Pi	54
Tabla 27 Selección de lenguaje de programación.	55
Tabla 28 Corriente consumida por el sistema electrónico.....	58
Tabla 29 Dosis establecida de pesticida.	92
Tabla 30 Algoritmos de clasificación.....	121
Tabla 31. Prueba de funcionamiento del bloque de alimentación.....	143
Tabla 32. Prueba de funcionamiento del bloque de adquisición de datos.....	144

Tabla 33. Pruebas de procesamiento y Visualización de resultados.	145
Tabla 34. Descripción de dosis de plaguicida Fullmectin y Sharamida.	154
Tabla 35. Resultado de detección de residuo de plaguicida un día después de la aplicación del plaguicida..	156
Tabla 36. Resultado de detección de residuo de plaguicida al día dos.....	158
Tabla 37 Resultado de detección de residuo de plaguicida al día tres.	161
Tabla 38. Resumen de resultados de detección de residuos de pesticida.	164
Tabla 39. Descripción de dosis de aplicación de plaguicidas.....	165
Tabla 40 Plaguicida y su concentración de ingrediente activo.....	165
Tabla 41. Valores de Límite Máximo de Residuos (LMR) en plaguicidas, establecidos en la hoja técnica.	168
Tabla 42. Niveles Máximos de Residuos establecidos por el Codex Alimentarius.	169
Tabla 43. Niveles Máximos de Residuos establecidos por la Unión Europea.	169
Tabla 44 Comparación de valores de LMR entre Unión Europea, Codex Alimentarius y resultados de muestras.	170
Tabla 45 Clasificación de los plaguicidas según su grado de toxicidad.....	173
Tabla 46 Patógeno y su control mediante plaguicida natural.....	180
Tabla 47 Patógeno y su control mediante plaguicida químico.....	181
Tabla 48. Proceso de preparación de insecticida Natural.....	182
Tabla 49. Proceso de preparación de fungicida Natural a base de sulfato de cobre y cal	184
Tabla 50. Proceso de preparación de fungicida Natural a base de vinagre y jabón. ...	185
Tabla 51 Costos de hardware.....	199
Tabla 52 Costos de infraestructura	199
Tabla 53 Costo de Software.....	200
Tabla 54 Costo total del proyecto.....	200

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Fórmula para el cálculo de la corriente total	58
Ecuación 2 Fórmula para la tensión de salida del sensor	60
Ecuación 3 Fórmula de la tensión de salida con relación a su resistencia de carga	61
Ecuación 4 Fórmula para calcular la resistencia del sensor	61
Ecuación 5 Fórmula para el cálculo de la resistencia de carga	67
Ecuación 6 Fórmula para el cálculo de la resistencia superficial en relación a V_c y RL	67
Ecuación 7. Fórmula para el cálculo de LPG en ppm	68
Ecuación 8. Fórmula para el cálculo de la resistencia de carga	70
Ecuación 9 Fórmula para el cálculo de la resistencia superficial	71
Ecuación 10 Fórmula para el cálculo de hexeno en ppm	71
Ecuación 11 Fórmula para el cálculo de la superficie de carga.....	74
Ecuación 12 Fórmula para el cálculo de la resistencia superficial	74
Ecuación 13 Fórmula para el cálculo de H ₂ en ppm	74
Ecuación 14 Ecuación para el cálculo de la concentración de gases.....	77
Ecuación 15 Fórmula para el cálculo de CO en ppm	80
Ecuación 16 Fórmula del filtro Moving Avarage MA	116

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el desarrollo de un sistema electrónico de detección de residuos de plaguicidas organoclorados en cultivos de frutilla, cuyo objetivo es detectar los residuos químicos encontrados después de la aplicación de los plaguicidas mediante sensores electroquímicos y así, reducir los valores de residuo mediante un manejo integrado de plagas.

El sistema electrónico se desarrolla en base al “*Modelo en cascada*” que permite establecer un procedimiento a partir de sucesivas fases como el análisis, diseño e implementación del sistema. En cuanto al diseño se emplea *hardware* y *software libre*, además, se construye una estructura rígida con un mecanismo accionado por dos servomotores encargados de la movilidad del conjunto de sensores de gas para la detección de *GLP*, *Hexeno*, H_2 , CH_4 y CO , que son variables ambientales obtenidas al aplicar los plaguicidas químicos en un cultivo experimental de fresas, lográndose detectar los residuos de plaguicidas en las fresas a través de un análisis de patrones por medio de técnicas de aprendizaje de máquinas (ML), resultados que son visualizados en una pantalla táctil LCD.

El funcionamiento del sistema electrónico se evalúa a través de una serie de pruebas tomando en cuenta el tiempo de aplicación de los plaguicidas químicos y el residuo detectado; se obtuvo resultados que demuestran la presencia de concentración de residuos de plaguicidas químicos en el etapa de cosecha de la fresa, que superan los valores máximos de residuos establecidos por el Codex Alimentarius y la Unión Europea en los ingredientes activos como el Chlorpyrifos y la Cypermethrin, además el dispositivo detecta una mayor concentración de CH_4 y H_2 en los plaguicidas Kañón, Circón,

Sharamida y Fullmectin; sin embargo, la concentración de los residuos se va reduciendo de acuerdo a los días transcurridos a partir de su aplicación.

Con la finalidad de reducir los límites máximos de residuos de plaguicida encontrados en las fresas, se desarrolla un plan de manejo integrado de plagas a partir de plaguicidas naturales y fomentar el cultivo orgánico.

ABSTRACT

This project consists of the development of an electronic system for detecting organochlorine pesticide residues in strawberry crops, whose objective is to detect the chemical residues found after the application of pesticides by means of electrochemical sensors and thus, reduce residue values through integrated pest management.

The electronic system is developed based on the "*Cascade Model*" that allows establishing a procedure from successive phases such as the analysis, design and implementation of the system. In terms of design, free hardware and software are used, in addition, a rigid structure is built with a mechanism driven by two servomotors in charge of the mobility of the gas sensors for the detection of *GLP*, *Hexeno*, H_2 , CH_4 and CO , which are environmental variables obtained when applying chemical pesticides in an experimental strawberry crop, managing to detect pesticide residues in strawberries through a pattern analysis by means of machine learning (ML) techniques, results that are displayed on an LCD touch screen.

The operation of the electronic system is evaluated through a series of tests taking into account the time of application of chemical pesticides and the residue detected; obtained results demonstrate the presence of chemical pesticide residue concentration in the strawberry harvest stage, which exceed the maximum residue values established by the Codex Alimentarius and the European Union in active ingredients such as Chlorpyrifos and Cypermethrin, In addition, the device detects a higher concentration of CH_4 and H_2 in the pesticides Kañón, Circón, Sharamide and Fullmectin; However, the concentration of the residues decreases according to the days that have elapsed from its application.

In order to reduce the maximum limits of pesticide residues found in strawberries, an integrated pest management plan is developed using natural pesticides and promoting organic cultivation.

1. Capítulo I

ANTECEDENTES

En este capítulo se detallan las bases fundamentales para el desarrollo del trabajo de titulación, iniciando con el tema, el problema, los objetivos, el alcance y la justificación en la que se encuentra sustentada el presente proyecto, de igual forma se establecen los límites con la finalidad de precisar los aspectos que se alcance con el desarrollo de este sistema electrónico como apoyo en la salud de los consumidores y productores de frutillas.

1.1. Tema

Sistema electrónico de detección de residuos de plaguicidas organoclorados en cultivos de frutilla para establecer un Manejo Integrado de Plagas (MIP).

1.2. Problema

La frutilla es un fruto de excepcionales características que se consume en forma fresca, deshidratada, congelada o en conserva (Cárdenas, 2013). Su cultivo requiere cuidados para obtener mayor productividad, ya que es un producto conocido por su susceptibilidad a enfermedades (Estrella, 2015). Antes de su cultivo es necesario desinfectar los suelos mediante la aplicación de un agente biocida y posteriormente se procede al levantamiento de camas en forma de pirámides cubiertas por un material impermeable que evita la evaporación del agua del suelo. Además, incrementa la precocidad de la cosecha y la temperatura evitando el ataque de hormigas al fruto (Chiqui & Lema, 2010). En el ciclo de desarrollo de la frutilla se aplican fertilizantes ricos en nitrógeno para su desarrollo, fósforo y potasio para la floración y maduración, además se requiere suficiente cantidad de agua repartidas a lo largo del cultivo (Chiqui & Lema,

2010). Su producción se obtiene después de 5 a 8 semanas después de ser plantadas, eso depende de la fecha de plantación de las condiciones medioambientales (Bañados, 2015).

La frutilla al ser una fruta muy susceptible al ataque de varios insectos durante su ciclo de crecimiento presenta un uso excesivo de plaguicidas químicos que sobrepasan los niveles permitidos, produciendo problemas de salud a los consumidores (JUMBO, 2013), los plaguicidas organoclorados se emplean mayoritariamente como insecticidas a pesar de que se encuentran prohibidos, debido no solamente a su toxicidad, sino también a los efectos ambientales a largo plazo que estos ocasionan. Endosulfán es uno de los organoclorados que al ser absorbidos por el intestino, pulmón y piel producen convulsiones, dolor de cabeza, mareo, vomito, trastornos de la percepción de coordinación e irritabilidad del miocardio, lo que ocasiona arritmias cardiacas (Coba, 2017). Debido al desconocimiento de los productores, la mayoría de las ocasiones se aplica grandes cantidades de plaguicidas sin tener la certeza de si es efectivo contra la plaga (INEC, 2014); la población infantil es la más susceptible a la intoxicación por plaguicidas, se producen aproximadamente entre 1 millón y 5 millones de casos de intoxicaciones por plaguicidas, lo que ha provocado 20.000 muertes, entre ellos niños, además afecta al sistema nervioso, el desarrollo y la reproducción (OMS, 2015). En el Ecuador, según datos del Ministerio de Salud Pública, durante el 2016 se han producido 620 casos de intoxicación por plaguicidas (Pública, 2016). Además, en el país el 52,59% de las hectáreas de superficies agrícolas utilizan algún tipo de agroquímico, de los cuales los plaguicidas y fertilizantes son utilizados en mayor cantidad en cultivos transitorios; solo 2 de cada 10 personas productoras que utilizan agroquímicos han recibido alguna capacitación sobre el manejo, precauciones y uso de plaguicidas (INEC, 2014), razón por la cual los agricultores tienden a utilizar mayores cantidades de plaguicidas sin control alguno, ocasionando un nivel de toxicidad alto para la salud y el ambiente.

Por lo tanto, el presente proyecto pretende determinar un Manejo Integrado de Plagas mediante un sistema electrónico de detección de residuos de plaguicidas organoclorados en cultivos de frutillas, que consiste en medidas de control racional y eficaz de plagas obtenidas del estado del cultivo con el fin de saber con anterioridad la aparición de enfermedades y plagas, y también optimizar los procesos de fumigación. El sistema electrónico se basará en el desarrollo de técnicas de Machine Learning que permiten realizar un procesamiento de los datos obtenidos por medio de los sensores semiconductores de gas, observando el comportamiento de las muestras, con el fin de determinar la mejor muestra del pesticida organoclorado y su clasificación según su nivel de toxicidad para determinar un modelo de reducción de uso de plaguicidas.

Actualmente, los cultivos de frutillas requieren de mayores cuidados debido a su susceptibilidad al ataque de varios insectos y a diferentes enfermedades, por lo que los agricultores usan de forma indiscriminada plaguicidas químicos que sobrepasan los niveles permitidos, produciendo problemas de salud a los consumidores. Esta es la razón por la que se pretende determinar un Manejo Integrado de Plagas mediante un sistema electrónico de detección de residuos de plaguicidas organoclorados en cultivos de frutillas que permita detectar la presencia de los residuos de plaguicidas con el uso de sensores semiconductores y algoritmos de aprendizaje de máquina para determinar un modelo de reducción de uso de plaguicidas en los cultivos de frutilla.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema electrónico de detección de residuos de plaguicidas organoclorados mediante sensores electroquímicos en cultivos de frutilla con el fin de establecer un Manejo Integrado de Plagas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar una investigación bibliográfica del uso de plaguicidas en los cultivos de frutillas, sensores electroquímicos y las técnicas de Machine Learning supervisados más comunes.
- Diseñar el sistema electrónico que permita la detección de residuos de plaguicidas mediante un análisis de requerimientos bajo el estándar IEEE 29148.
- Desarrollar el sistema electrónico bajo el modelo en cascada que permite el adecuado funcionamiento en relación de los requerimientos y la implementación de algoritmos de Machine Learning.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del sistema electrónico que determina los niveles de plaguicidas para comparar los resultados obtenidos con los límites máximos de residuos de plaguicidas establecidos por las normas contempladas por la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD).
- Plantear un Manejo Integrado de Plagas de reducción de uso de plaguicidas organoclorados en los cultivos de frutilla con el fin de evitar los niveles máximos residuales.

1.4. Alcance

El presente proyecto tiene como finalidad el desarrollo de un sistema electrónico de detección de residuos de plaguicidas organoclorados en cultivos de frutillas con el fin de establecer un Manejo Integrado de Plagas (MIP) para dicho cultivo.

El proyecto iniciará con la fundamentación teórica de todo lo que se refiere al cultivo de frutillas en el cual se detallará las condiciones de cultivo, las características de pre cosecha y post cosecha; las diferentes plagas y el uso de plaguicidas basada en su clasificación por su toxicidad, principalmente los plaguicidas organoclorados.

Para el diseño del sistema electrónico se usará una red de sensores electroquímicos que son de tipo óxido metálico diseñados para detectar diferentes tipos de gases en el aire y ofrecen una sensibilidad considerable a la presencia de gases; combinados con técnicas de reconocimiento de patrones basadas en machine Learning supervisado que permitirán realizar un procesamiento de los datos obtenidos por medio de los sensores electroquímicos de gas, que serán probados en cultivos realizados a escala de laboratorio donde se observará el comportamiento de las muestras, con el fin de determinar la mejor muestra del pesticida organoclorado y su clasificación según su nivel de toxicidad que será comparada con los resultados obtenidos con los límites máximos de residuos de plaguicidas para la frutilla establecidos por las normas de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD) contempladas por la Unión Europea, EPA-USDA (Environmental Protection Agency) y Codex Alimentarius. El procesamiento de la información se desarrollará usando un microcontrolador OpenSource. El diseño del sistema electrónico se lo realizará mediante la metodología de desarrollo modelo en cascada, que tiene un enfoque metodológico rígido basada en etapas del ciclo de vida del sistema, que consisten en el análisis de requerimientos de software y hardware, diseño, implementación, integración y las pruebas de funcionamiento.

Finalmente, una vez terminado con el diseño del sistema de detección de residuos de plaguicidas se realizará un análisis de las cantidades de residuos de pesticidas en diferentes etapas de crecimiento de la frutilla, tomando en cuenta que son capaces de producir después de 5 a 8 semanas después de ser plantadas, y se establecerá un Manejo Integrado de Plagas que permita establecer medidas de control racional y eficaz de plagas obtenidas del estado del cultivo y optimizar los procesos de fumigación. Por lo tanto, la duración de este proyecto se desarrollará en función al tiempo de crecimiento y cosecha de un cultivo de frutilla. Este Manejo Integrado de Plagas (MIP) se desarrollará con la intención de aplicarlo en cultivos de productores locales.

1.5. Justificación

El uso de plaguicidas en las frutillas tiene como finalidad aumentar la producción agroalimentaria, combatiendo plagas y enfermedades presentes en los cultivos y afectando en el rendimiento de la producción. La aplicación de los plaguicidas químicos se los realiza por los mismos agricultores y se los aplica en grandes cantidades, de los cuales menos del 5% es realizada por personal especializado (INEC, 2014).

Actualmente, los contaminantes ambientales en la seguridad alimentaria son de gran interés, los residuos de plaguicidas son considerados como sustancias potencialmente tóxicas en los alimentos y representa un gran peligro para la vida de los consumidores, por tal motivo la Organización Mundial de la salud (OMS), el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), el Ministerio de Salud pública (MSP), el Ministerio de Ambiente (MAE) y la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro AGROCALIDAD, son los entes rectores encargadas de realizar el debido control y monitoreo de los pesticidas y determinar la calidad y seguridad de los alimentos (Acreditación, 2018).

Según el INEC, en el país el uso y manejo de agroquímicos no tiene ningún tipo de control adecuado de los productos químicos debido a la falta de personal especializada, además, el uso de plaguicidas considerados como muy peligrosos en el país están prohibidos, pero 1 de cada 10 hectáreas de estos cultivos utilizan estos plaguicidas (INEC, 2014).

Por lo tanto, es necesario realizar un sistema de detección de residuos de plaguicidas organoclorados en cultivos de frutillas y verificar el cumplimiento con los límites máximos residuales establecidos por la normativa y establecer un Manejo Integrado de Plagas con el fin de mantener el bajo nivel residual y evitar daños en la salud de los

consumidores, debido a que las concentraciones elevadas tienen una gran toxicidad afectando a la población más vulnerable como niños, mujeres embarazadas y ancianos los cuales son consumidores habituales de las frutillas.

2. Capítulo II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se revisan los conceptos generales que engloban el proceso del cultivo de frutillas detallándose las condiciones de cultivo, las plagas y los plaguicidas que se usan de acuerdo con el organismo que se quiere controlar y las consecuencias de toxicidad en el organismo humano. Además, se describen temas relacionados con el sistema electrónico tales como los sensores de gases, el microcontrolador y las diferentes técnicas de aprendizaje automático que se aplicará en el desarrollo del proyecto.

2.1. Condiciones del cultivo de frutilla

La frutilla es una planta herbácea que se adapta a una variedad de climas con temperaturas cambiantes a lo largo del desarrollo vegetativo y floración. En la Figura 1, se muestra un cultivo tradicional de frutilla.



Figura 1 Cultivo de frutilla y detalle de fruto.

Fuente: Adaptado de (Undurraha & Vargas, 2013)

A continuación, se detalla las condiciones de cultivo:

2.1.1. Suelo

El cultivo frutilla tiene un adecuado desarrollo en suelos ácidos, aireados y bien drenados, debido a que su raíz es sensible a la salinidad, que genera una reducción de hasta el 50% en el rendimiento de la planta (Ávila, 2015). En suelos livianos y arenosos

la temperatura aumenta fácilmente permitiendo obtener una producción de fruta de forma rápida, en cambio, en un suelo arcilloso se tiene menos cantidad de aire y su temperatura es baja por lo tanto, su fructificación conlleva mayor tiempo (Morales et al., 2017).

2.1.2. Agua

El cultivo requiere de un abastecimiento constante de agua, su calidad es fundamental en su desarrollo, debido a que la planta es muy sensible a elementos químicos como el sodio, boro, calcio o cloruros que afectan en el tamaño y firmeza de la planta; por lo tanto es necesario contar con un sistema de riego eficiente (Morales et al., 2017).

2.1.3. Temperatura

Su desarrollo se produce en zonas donde se tenga un mayor cambio entre el día y la noche, esta variación permite un balance en el desarrollo de las hojas y las flores; las temperaturas bajas inducen a la floración y producción de frutos y a temperaturas altas inducen al desarrollo de las hojas (Ávila, 2015).

El desarrollo óptimo se obtiene a una altura entre los 1200 y los 2600 msnm, a una temperatura en el día entre 15-18 °C y nocturna entre los 8 – 10°C; se tiene un proceso de maduración efectivo a una temperatura diaria entre 18 - 25°C y nocturna entre 10 – 13°C (Ávila, 2015).

2.2. Plaga

“El término “plaga” se refiere a cualquier organismo vivo (animal o vegetal) que ocasiona daños económicos a poblaciones de personas, animales, vegetales, a la propiedad o al medio ambiente” (Cañedo Alfaro, 2011).

En la actualidad el término “plaga” se define tanto para los animales, microorganismos que producen enfermedades y para plantas que causan daños. “En el

campo agrícola una plaga se refiere a una población de animales o vegetales que se alimentan de plantas, que compiten por nutrientes disminuyendo la producción del cultivo reduciendo el valor de la cosecha o incrementando los costos de producción” (Cañedo Alfaro, 2011).

2.2.1. Plagas en la frutilla

En los cultivos de frutilla, la planta tiene una vida corta (2 años aproximadamente) y en los pequeños agricultores el periodo de vida es mayor, por lo tanto, es en el que se encuentra una mayor diversidad de insectos plaga que atacan el desarrollo de la planta (Cisternas, 2012). Hasta la actualidad se conoce numerosos insectos que se alimentan de materias vegetales que colonizan en cultivo, entre las plagas más importantes se menciona a los pulgones y a las araña orejuela roja, además, se han detectado virus que son transmitidos por nematodos, moscas blancas, trips, entre otros que causan un daño directo y severo a la planta (Dughetti, Kirschbaum, & Conci, 2017).

A continuación, se muestra en la Tabla 1, la descripción de las plagas en la frutilla.

Tabla 1. Descripción de las plagas en la frutilla.

NOMBRE	ORGANISMO RESPONSABLE	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Pulgones (Hemipteras Aphindidae)	Chaetosiphon fragaefolii, Chaetosiphon thomasi, Myzus persicae, Macrosiphum euphorbiae, Aphis gossypii	Insectos pequeños de 1,0 a 2,5 mm de color verde, se los encuentra en el envés de las hojas durante todo el año.	Produce la disminución del rendimiento (mínimo crecimiento y escasa a nula fructificación), enrollamiento de hojas, y hasta la muerte de la planta.
TRIPS (Thysanoptera: Thripidae)	Frankliniella occidentalis, Thrips tabaci, Frankliniella australis,	Insectos de muy pequeño tamaño y de apariencia frágil de 0,8 y 2 mm.	Las larvas y los adultos se alimentan de los tejidos tiernos de la planta, produce que los frutos tengan deformaciones.

GUSANOS BLANCOS (Coleoptera: Scarabaeidae)	Sericoides viridis, Sericoides convexa, Sericoides spp., Hylamorpha elegans, Brachysternus prasinus, Tomarus villosus, Phytholaema herrmanni	Son larvas cilíndricas blancas que se desarrollan en 9 a 10 meses.	Producen daños característicos en las hojas. La larva produce el daño más importante ya que se alimenta de las raíces.
GUSANOS CORTADORES (Lepidoptera: Noctuidae)	Agrotis bilitura, Agrotis ipsilon, Agrotis lutescens, Copitarsia consueta, Feltia malefida, Heliothis zea, Peridroma saucia	En su estado adulto es una mariposa de vuelo y deposita sus huevos sobre las hojas, flores y frutos.	Los daños causados en el estado de larva en las plantas, coronas, follaje y frutos.
ARAÑITAS (Arachnida: Acari: Tetranychidae)	Tetranychus urticae	Ácaro muy pequeño, en el estado adulto sus huevos son depositados en el envés de las hojas y tallos verdes.	El inicio de su ataque se lo observa en el color plateado, un fino moteado clorótico de las hojas, luego se tornan cloróticas, bronceadas y luego pardo rojizas hasta secarse; demás, produce la detención del crecimiento y deformación de brotes.
TIJERETA (Dermaptera: Forficulidae)	Forficula auricularia	Insecto que pone sus huevos en nidos bajo el suelo.	El daño principal es causado por las ninfas y adultos quienes consumen los frutos dejando perforaciones.
CHAQUETA AMARILLA (Hymenoptera: Vespidae)	Vespula germanica	Insecto que introduce sus huevos en nidos que puede ser subterráneo o aéreo.	El principal daño de estos insectos al cultivo es el consumo de frutos de frutilla, además de las picaduras a los cosecheros.

Fuente: Adaptado de (Undurraha & Vargas, 2013)

2.3. Plaguicidas

También llamado pesticidas, son sustancias químicas que producen efectos tóxicos sobre algunos organismos vivos y son empleadas para combatir las plagas en la agricultura con el fin de alcanzar y mantener altos niveles de producción (Díaz, 2018).

Su uso en la agricultura trae beneficios por el aumento en el rendimiento de las cosechas, pero a la vez pueden generar impactos negativos en la salud humana y en los ecosistemas, debido a que pueden tener un alto nivel de toxicidad afectando en la seguridad alimentaria (Díaz, 2018).

La aplicación de estos productos químicos se rige en las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) que abarcan los diferentes niveles de aplicaciones de plaguicida desde un residuo más bajo hasta una concentración más elevada de uso autorizado denominada límite máximo de residuos (LMR) definida como la concentración máxima de residuo de un plaguicida y está regido a controlar el uso de plaguicidas de acuerdo con las etiquetas autorizadas y las BPA (Ruiz, 2012).

2.3.1. Clasificación

Los plaguicidas se clasifican de acuerdo con los diferentes parámetros que se menciona a continuación:

2.3.1.1. Según el organismo a controlar

Su clasificación depende de los diferentes organismos a controlar, entre ellos se encuentran los fungicidas establecidos para el control de hongos y mohos, los herbicidas para el control de malezas, los insecticidas para el control de insectos y otros que se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de plaguicidas según el organismo a controlar

Nombre	Organismo a controlar	Acción
Bactericida	Bacterias	Mata al contacto con la plaga
Defoliante	Follaje	Eficaz después de infección por patógenos
Desecante	Follaje	Entra en las plagas como un gas
Herbicida	Malezas	Eficaz cuando se aplica después de la cosecha
Insecticida	insectos	Eficaz cuando se aplica
Acaricida	Ácaros y garrapatas	Eficaz cuando es aplicado antes de la siembra
Molusquicida	Babosas y caracoles	Eficaz cuando es aplicado antes de que el patógeno infecte a la planta
Nematicida	Nematodos	Tóxico solo para la maleza

Fuente: Adaptado de (Díaz, 2018)

2.3.1.2. Según el grado de toxicidad

El plaguicida se clasifica según el principio activo y toxicidad de los elementos químicos que lo componen, se encuentra medido en DL50 que es la Dosis Letal 50. La Organización Mundial de la Salud divide a los plaguicidas en cinco de acuerdo con los valores de la DL50 como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de los plaguicidas según el grado de toxicidad

Según los riesgos	Peligro	DL50 (mg/kg)		Color de la etiqueta
		Oral	Dermal	
Ia: sumamente peligroso	Muy tóxico	<5	<50	Roja
Ib: muy peligroso	Tóxico	5 a 50	50 a 200	Roja
II: moderadamente peligrosos	Nocivo	>50 a 2000	>200 a 2000	Amarilla
III: poco peligrosos	Cuidado	>2000 a 5000	>2000 a 5000	Azul
IV: no ofrecen peligro	Precaución	> a 5000	> a 5000	Verde

Fuente: Adaptado de (Díaz, 2018)

2.3.1.3. Según la persistencia en el ambiente

Los plaguicidas tienen un tiempo de vida en el ambiente, y pasan por diferentes procesos hasta tener un grado de decomposición. En la tabla 4 se detalla a los plaguicidas según su persistencia en el ambiente.

Tabla 4. Clasificación de los plaguicidas según la persistencia en el ambiente.

Persistencia	Vida Media	Ejemplos de plaguicidas
No persistentes	0 – 12 semanas	Malation, diazinón, carbarililo, diametrín
Moderadamente persistentes	1 – 18 meses	Paratión, Lannate
Persistentes	Menos de 20 años	DDT, Aldrín, Dieldrín
Permanentes	Más de 20 años	Productos que contienen Mercurio, Plomo, Arsénico.

Fuente: Adaptado de (Díaz, 2018)

2.3.2. Toxicidad de los plaguicidas en el organismo

La toxicidad de los plaguicidas al entrar en contacto con el organismo produce diferentes efectos que depende de la vía de ingreso del producto: digestiva, dérmica,

respiratoria y sus posteriores efectos agudos y crónicos en la salud del ser humano. Una exposición indirecta y directa que se tiene en el caso de agricultores que aplican estos productos de forma directa (Coba, 2017).

2.3.2.1. Toxicidad oral aguda

La ingestión de un plaguicida puede ser causada por una mala gestión en el manejo del producto que puede ocurrir por accidente, error, ignorancia, ingestión de alimentos contaminados, intento de suicidio, entre otros.

2.3.2.2. Toxicidad dérmica

El contacto de los productos tóxicos es absorbido por la piel, esto es debido a que la persona está expuesta a derrames o salpicaduras del producto y presenta un mayor riesgo para el manipulador (Coba, 2017).

2.3.2.3. Toxicidad por inhalación

El plaguicida tiene un contacto directo con los pulmones al respirar el aire contaminado por el plaguicida ocasionada cuando una persona se encuentra en una atmosfera inmersa de polvo insecticida, en la agricultura ocurre con los fumigantes.

2.3.3. Efecto de los plaguicidas en la salud humana

Las intoxicaciones producidas por la exposición a las sustancias químicas producen daños en los diferentes órganos del cuerpo humano. A continuación, se detalla los efectos adversos a la salud.

2.3.3.1. Efectos agudos

Son efectos que se producen en forma inmediata después de la exposición a dosis tóxicas menores a 24 horas.

Tabla 5. Efectos agudos producidos por los plaguicidas en el cuerpo humano.

MANIFESTACIONES (Signos o Síntomas)	PLAGUICIDAS QUE PRODUCEN
Arritmias cardíacas	Fluoroacetato sódico, Fumigantes halocarbonos, Nicotina, Fluoruro sódico, Óxido de etileno, Clorato sódico, Talio, Yodo-providón, Veratrum alcaloide (sabadilla).
Taquicardia	Nitrofenoles, Pentaclorofenol, Cianamida
Dolor de cabeza	Organofosforados, Insecticidas carbámicos, Nicotina, Arsenicales, Inorgánicos, Mercurio orgánico, Compuestos de cadmio, Compuestos organoestánicos, Compuestos de cobre, Talio, Fluoruro, Boratos, Naftalenos, Fosfamina, Fumigantes halocarbonos, Creosota, Diquat, Colecalciferol Cianamida.
Depresión, estupor, coma, fallo respiratorio, muchas veces sin convulsiones	Organofosforados, Insecticidas carbámicos, Fluoruro de sodio Borato, Diquat
Ataques/convulsiones, (tónico-clónicas), algunas veces conducen a coma	Organoclorados, Estricnina, Crimidina, Fluoroacetato sódico, Nicotina, Cianuro, Acrilonitrilo, Metaldehido, Talio, DEET, Clorobenzolato, Disulfuro de carbono, Fosfamina, Yodo-providón, Hexaclorofeno Clorato sódico, Creosota, Endotal, Fluoruro.
Espasmos musculares	Organofosforados, Insecticidas carbámicos, Nicotina, Fluoruro de sulfurilo.
Palidez en la piel	Organoclorados, Fumigantes, Fluoruro de sodio, Creosota.
Náusea, vómito, comunmente seguido por diarrea	Organofosforados, Insecticidas carbámicos, Nicotina, Arsenicales Fluoruro, Compuestos de cadmio, Compuestos organoestánicos, Compuestos de cobre, Clorato sódico, Borato, Cianuro, Compuestos clorofenoxi, Fósforo, Fosfuros, Fosfamina, Disulfuro de carbono, Cloropicrina, Fumigantes halocarbonos, Endotal, Metaldehído, Talio, Escila roja, Diquat, Naftaleno, Bromuro de metilo, Dibromocloropropano, Veratrum alcalino, Tiram

Fuente: Adaptado de (PLAGBOL, 2008).

2.3.3.2. Efectos crónicos

Se producen en un tiempo prolongado, en días, semanas, meses e incluso en años después de tener una continua exposición a bajas cantidades de plaguicidas.

Tabla 6. Efectos crónicos producidos por los plaguicidas en el cuerpo humano.

EFFECTOS CRÓNICOS	PLAGUICIDAS
Lesiones del Sistema Nervioso Central	Insecticidas órganoclorados y organofosforados; fungicidas mercuriales.
Probablemente Carcinógenos para el hombre	Dibromuro de etileno, óxido de etileno, clordecona, clorofenoles, derivados del ácido fenoxiacético, DDT, Mirex, toxafeno, 1,3-dicloropropano, hexaclorobenceno, hexaclorociclohexano, nitrofen, ortofenilato de sodio y sulfalato.
Dermatitis de contacto	Paraquat; captafol; 2,4-D y mancozeb.
Formación de cataratas	Diquat.
Cistitis hemorrágica	Clordimeform.
Neumonitis y fibrosis pulmonar	Paraquat
Disminución del índice de fertilidad	Captán (en animales y posiblemente en hombres) y el Agente Naranja (2,4-D + 2,4,5-T).

Fuente: (PLAGBOL, 2008)

2.3.4. Plaguicidas Organoclorados

Son un conjunto de sustancias altamente tóxicas persistentes en el medio ambiente que requieren de varios años o décadas para degradarse y ser menos dañinas, debido a que son compuestos orgánicos de muy baja solubilidad en agua y muy alta en grasas. El uso extensivo de los insecticidas organoclorados hace que sus residuos se encuentren en diferentes zonas del medio ambiente, en el aire que son transportadas a largas distancias,

en el suelo que son tomadas por las plantas y a la vez transportada a la zona saturada de agua subterránea (Pascua & Romero, 2015).

Dentro de la familia de los organoclorados se encuentran pesticidas tales como aldrín, endosulfán, endrín, hexacloro benceno, endosulfán y diclorodifeniltricloroetano (DDT) usados en la agricultura para el control de múltiples plagas que afectan las cosechas en las diferentes etapas de crecimiento de la planta y a la vez generan problemas de toxicidad crónica para los seres humanos y los animales a través del agua, aire y los alimentos de consumo (Perairan et al., 2016).

2.3.5. Plaguicidas en alimentos

Se conoce que el sector agrícola es el que más emplea pesticidas para reducir la propagación de plagas que reducen la producción y la calidad de las cosechas, pero a la vez es una problemática debido a su uso indiscriminado que produce un riesgo en el ámbito de la salud. La fresas es unas las frutas que contiene mayor cantidad de plaguicidas según la Environmental Working Group (EWG), también en frutas y hortalizas. Para un adecuado control se ha establecido los Límites Máximos de Residuo (LMR) que son niveles establecidos por el Codex Alimentarius como preocupación por la seguridad alimentaria (Perairan et al., 2016).

2.4. Manejo Integrado de Plagas

La agricultura a través de los plaguicidas químicos se ha vuelto en un medio más común en el control de plagas de insectos y enfermedades, ocasionando una serie de peligros, problemas y riesgos por el uso indiscriminado. Con el fin de tener un control en el uso de plaguicidas y un manejo holístico se emplea el MIP (Manejo Integrado de Plagas) que es una metodología empleada en los procedimientos desde un punto de vista económico, ecológico y toxicológico para mantener la población de organismos nocivos

por debajo el umbral económico aprovechando los factores naturales que permiten limitar la propagación de las plagas. El MIP posee dos principios claves en su ejecución, una de ellas es que debe realizarse de forma armoniosa con las leyes de la naturaleza aprovechando el control biológico natural, aunque no se elimine la posibilidad de emplear insecticidas en determinadas circunstancias, se debe reducir o eliminar el uso de productos altamente tóxicos. Otro principio es el uso de conocimientos de los recursos y procesos naturales obtenidos de los productores, reunirlos con la ciencia con el fin de experimentar, anticipar y tomar decisiones adecuadas respecto al manejo de las plagas (Cañedo Alfaro, 2011).

2.5. Adquisición de datos

Actualmente, las actividades que el ser humano realiza en los diferentes ambientes que los rodea como en el control industrial de procesos, aparatos electrodomésticos, aparatos médicos, etc. generan información de la realidad y mediante el uso de sensores se adquiere y se almacenan los datos para posteriormente tratarlas. Dentro de la agricultura se ha desarrollado redes de sensores con una amplia gama de dispositivos electrónicos que permiten censar variables de interés con el fin de automatizar diversos procesos como el riego, control de luminosidad, ventilación, etc.(Azúa, Vázquez, Arteaga, & Hernández, 2017).

Se denomina adquisición de datos al proceso de medir variables obtenidas por medio de sensores y posteriormente ser digitalizadas y procesadas de manera automática mediante el uso de hardware y software basado en computadoras (Villegas, Carabobo, Postal, & Ramírez, 2014).

2.5.1. Sistema de adquisición de datos

Es un conjunto de dispositivos, líneas e interfaces que realiza la conexión entre los dispositivos de campo (medidores, transductores, controladores) y un computador para que la información sea procesada y almacenada (Villegas et al., 2014). En la Figura 2, se muestra un sistema de adquisición de datos.

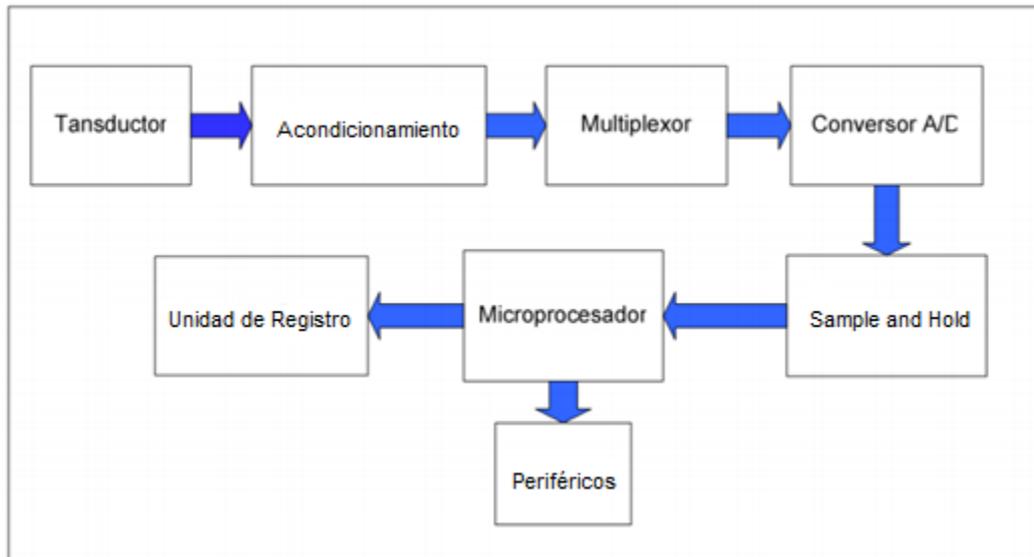


Figura 2 Sistema generalizado de adquisición de datos.

Fuente: Adaptado de (Moreno & Solution, 2012)

Los sistemas de adquisición de datos modernos cuentan con elementos dentro de una misma caja, por lo que no es posible distinguir de forma individual a los elementos. Por lo general cuenta son los siguientes componentes: un computador, software de adquisición, puerto de conexión, adquiridor de datos, acondicionador de señal y sensores (Villegas et al., 2014).

2.6. Aprendizaje automático

Es la capacidad de los ordenadores de poder aprender de los datos, mediante algoritmos que permita que las máquinas puedan cambiar su comportamiento a partir del

análisis de los nuevos datos que recibe (Zepeda Ortega, 2019). Los algoritmos se alimentan de volúmenes gigantescos de datos para que ésta aprenda y sepa actuar en cada uno de los casos (Judith Sandoval, 2018).

2.6.1. Clasificación

Existen técnicas de modelización basada en la información estructurada que se clasifican de acuerdo con la información utilizada para el aprendizaje:

2.6.1.1. Aprendizaje supervisado

Es cuando se entrena un algoritmo mediante información que contiene las características en estudio, por ello, la información que se quiere predecir o por la que se quiere clasificar, se encuentra disponible en los datos utilizados en la construcción del modelo. De esa manera el algoritmo puede realizar una predicción conociendo la característica de los datos (Management Solutions, 2018).

Dentro de este tipo de aprendizaje principalmente se conoce dos algoritmos, el de clasificación, que encuentra los patrones en los datos entregados y los clasifica en grupos, los mismos que son comparados con los nuevos datos y los ubica en uno de los grupos y así realiza el proceso de predicción; y el algoritmo de regresión que mediante un gráfico de dispersión devuelve como resultado un valor en específico (Judith Sandoval, 2018).

A continuación, se detallan los algoritmos más comunes:

2.6.1.1.1. Máquina de vectores de soporte (SVM)

Es un método de aprendizaje supervisado utilizada como herramienta para resolver problemas de clasificación, basadas en asignar una clase a la que pertenece un conjunto de datos mediante un hiperplano como superficie de decisión de forma que tiene un margen de separación que es la distancia entre las clases, como se muestra en la Figura 3.

éste método es aceptado en aplicaciones de reconocimiento de patrones, de caracteres, de rostros (Pérez, Estrada, & Ramírez, 2017).

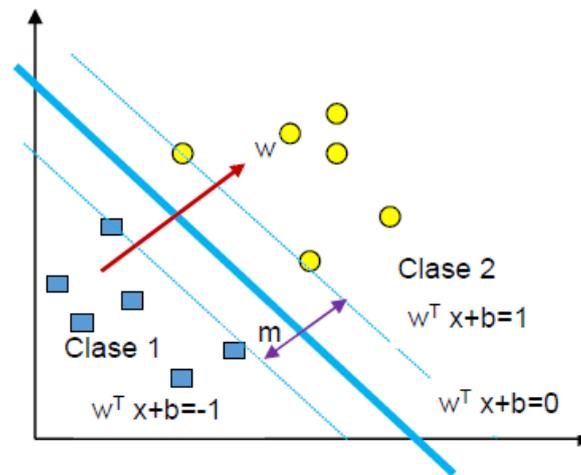


Figura 3 Representación gráfica del método SVM

Fuente: Adaptado de (Pérez et al., 2017)

2.6.1.1.2. *Redes neuronales*

Son un conjunto de técnicas y modelos matemáticos multivariantes capaces de detectar relaciones complejas y no lineales entre variables, está constituido por nodos y capas vinculadas por medio de enlaces formando una red que se asemeja a los sistemas biológicos nerviosos como se muestra en la Figura 4. El objetivo del aprendizaje de la red neuronal es que sea capaz de tener un comportamiento profundo en los datos aportados y minimizar la función de error (Bravo, Guerrero, Martínez, & Rodríguez, 2015).

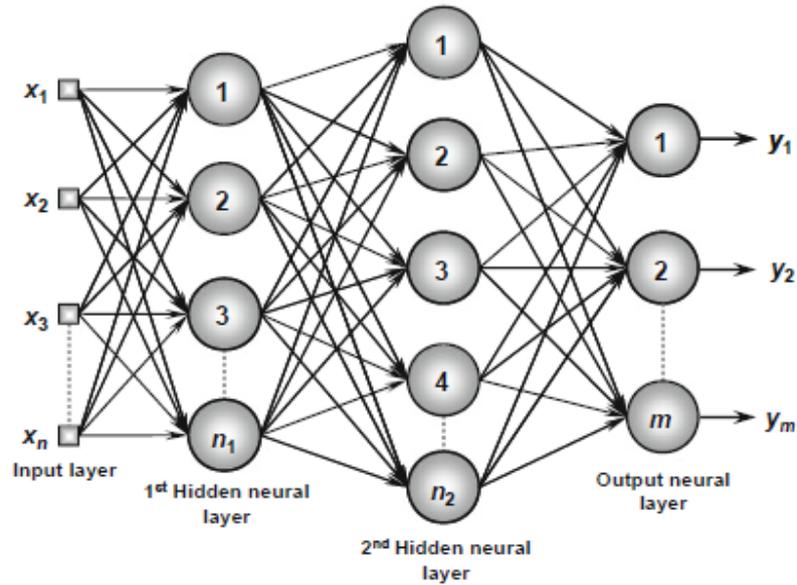


Figura 4 Ejemplo de una red neuronal con múltiples capas.

Fuente: Adaptado de (da Silva, Spatti, Flauzino, Liboni, & dos Reis Alves, 2016)

2.6.1.1.3. Regresión lineal Múltiple (MLR)

Es un subcampo del aprendizaje supervisado que establece un modelo mediante un algoritmo para obtener una relación entre un cierto número de variables y predecir el resultado de una variable respuesta. Las variables independientes ($X_1, X_2 \dots X_k$) son usadas para realizar predicciones sobre otra variable dependiente (Y), este modelo crea una relación en forma de línea recta que permita aproximar a los puntos de datos individuales como se muestra en la Figura 5, y dependiendo del problema se usa más variables para conseguir mejores predicciones (Roman, 2019).

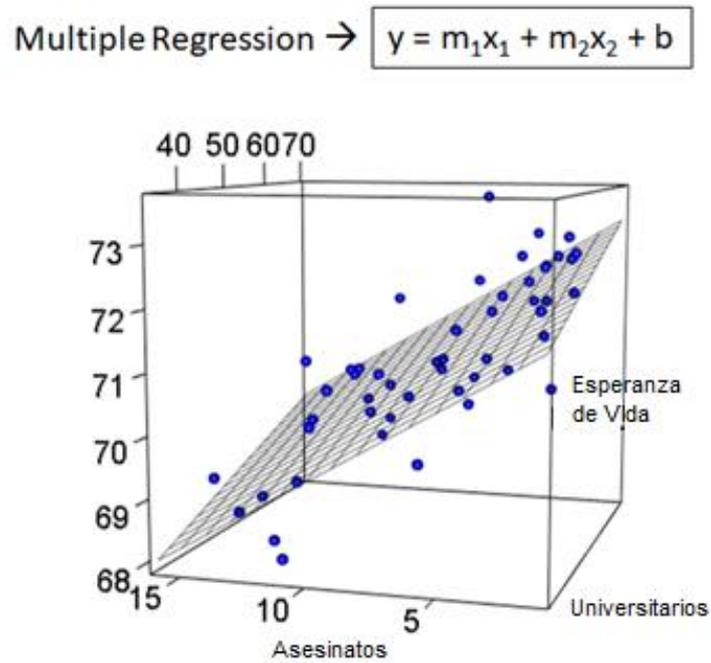


Figura 5 Ejemplo de una Regresión Lineal Múltiple

Fuente: Adaptado de (Roman, 2019)

2.6.1.1.4. Árboles de decisión

Esta técnica de machine Learning es un modelo de predicción o clasificación basada en una estructura de árbol, en la Figura 6 se muestra su estructura, donde cada nodo interno representa a un atributo a ser probado, cada rama representa a uno de los posibles resultados y cada una de las hojas representa su clasificación (Chen & Hadzic, 2011). Su estructura tiene una fácil interpretación y realización de ajustes al árbol de decisión por parte de los usuarios en el caso de tener alguna necesidad.

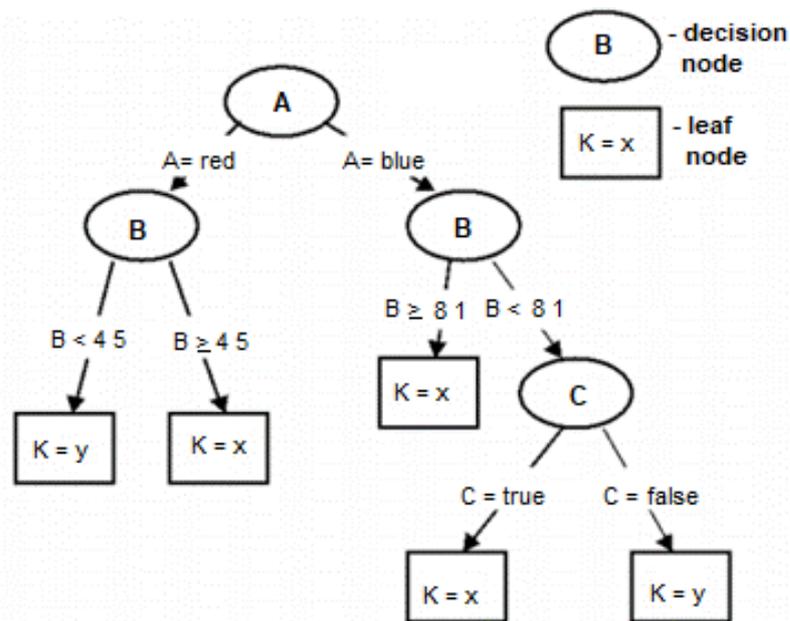


Figura 6 Ejemplo de árbol de decisiones.

Fuente: Adaptado de (Bouza & Santiago, 2016)

2.6.1.2. Aprendizaje no supervisado

Se entrena a un algoritmo usando un conjunto de datos, en los que se conoce únicamente los datos de entrada, y no existen datos de salida, por lo tanto, el algoritmo intenta encontrar patrones o relaciones en los datos, también conocido como “knowledge” discovery que trata de identificar patrones en los datos que sean válidos, nuevos, útiles y entendibles (Management Solutions, 2018).

2.7. Sistemas embebidos

Los sistemas embebidos son combinaciones de software y hardware diseñados para cumplir una función específica, basado en un diseño de circuito que permite la interconexión de los microcontroladores con sensores y actuadores adecuados para un posterior procesamiento y análisis de los datos medidos (Ibrahim, 2017).

Están conformados por diferentes componentes físicos y lógicos como se muestra en la Figura 7, componentes que permiten ejecutar las distintas tareas de control (INCIBE-CERT, 2018).

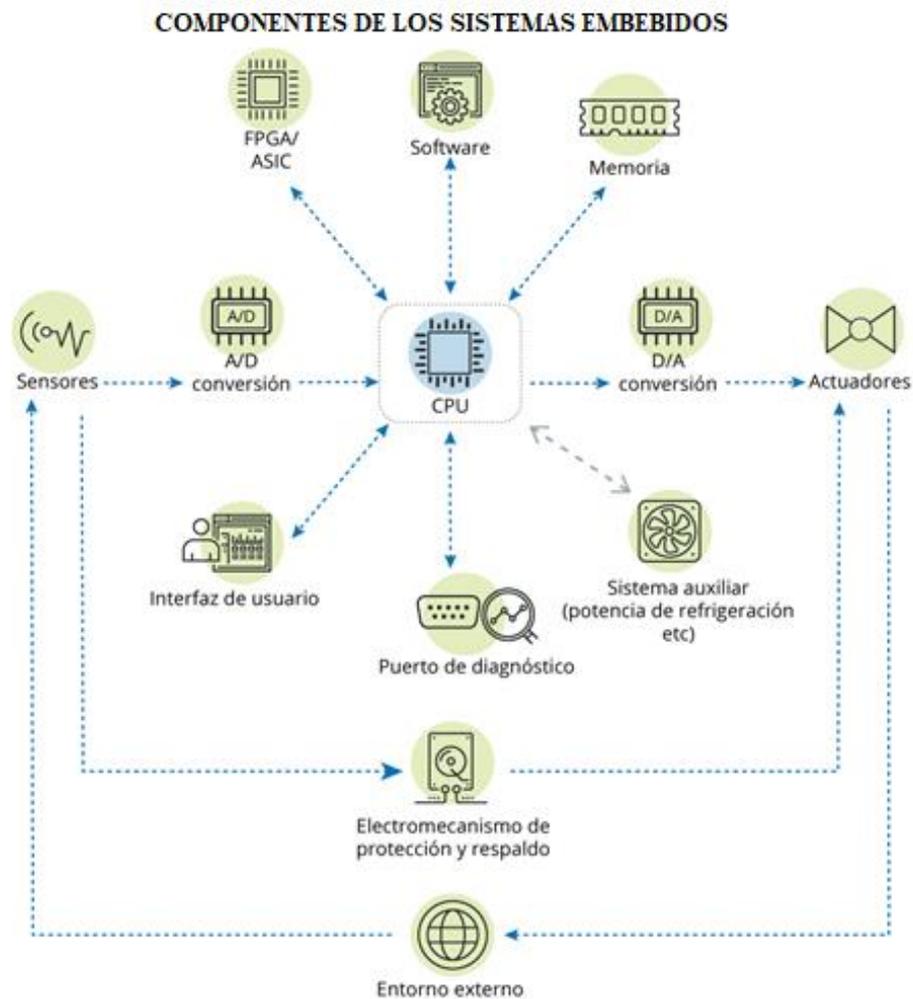


Figura 7 Componentes de un sistema embebido nivel lógico.

Fuente: Adaptado de (INCIBE-CERT, 2018)

En el siguiente apartado se explica los componentes de hardware y software.

2.7.1. Software y hardware libres

Se conoce como Software libre al software que respeta la libertad de los usuarios, es decir, tienen la libertad de ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el software, es una cuestión de libertad, no de precio (Richard Stallman, n.d.).

El hardware libre se define como una materialización particular del conocimiento libre en el área de hardware, es decir, que su procesos de fabricación, su código fuente y su diseño se encuentran disponibles de forma que ofrecen libertad de uso, modificación, distribución y redistribución de mejoras (Medrano & Soto, 2017).

2.7.2. Microcontrolador

Es un dispositivo que puede ser comparable con una pequeña computadora, contiene una unidad central de procesamiento, unidades de memoria (RAM y ROM) y sistemas de control de elementos de entrada y salida como se muestra en la Figura 8; es considerado como un dispositivo extremadamente potente capaz de realizar funciones de automatizar procesos y procesar información.

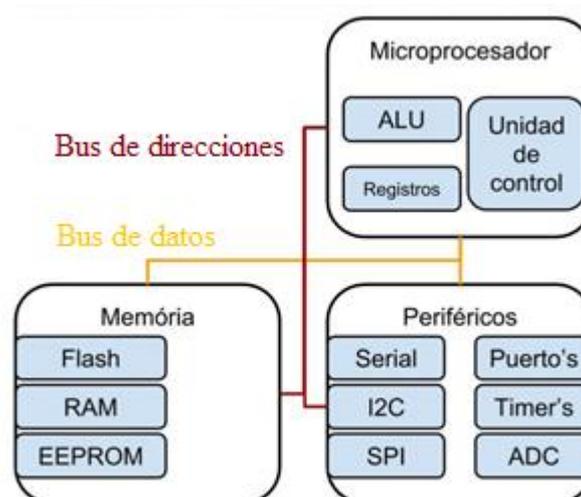


Figura 8 Representación esquemática de un microcontrolador.

Fuente: Adaptado de (Marmolejo, 2017)

2.7.2.1. Unidad de procesamiento CPU

Conocido como procesador, es el componente central del microcontrolador, el cerebro de la operación; es decir, realiza las instrucciones de un programa o aplicación mediante tres etapas claves como es recuperar, decodificar y ejecutar las órdenes almacenadas en la memoria y los requisitos del sistema operativo (Plascencia, 2020).

2.7.2.2. Memoria RAM

Se encarga de almacenar las variables y datos durante la ejecución de algún proceso, se pueden seleccionar en modo de escritura o en modo de lectura y se caracteriza por ser volátil, es decir, pierde su información almacenada en la memoria al desconectarse la alimentación (Penagos, 2018).

2.7.2.3. Memoria ROM

Se encarga de almacenar los datos de forma permanente o semipermanente, únicamente tienen la opción de ser leídas, aunque hay algunas que se les puede escribir, su característica principal es que es una memoria no volátil, es decir, conservan los datos almacenados en la memoria, aunque no tengan alimentación (Penagos, 2018).

2.7.3. Sensores

Para el desarrollo del sistema electrónico que permita la detección de residuos de plaguicidas, su principal componente son los sensores. Un sensor se define como un dispositivo de entrada que provee una salida manipulable de la variable física medida (Corona & Abarca, 2019).

Los sensores se clasifican en diferentes formas de acuerdo con el tipo de variable a medir o por el tipo de transductor utilizado, los de tipo de transducción son poco prácticas

debido a que no ofrece una idea clara de la variable física que se va a medir, su clasificación se muestra en la Figura 9.

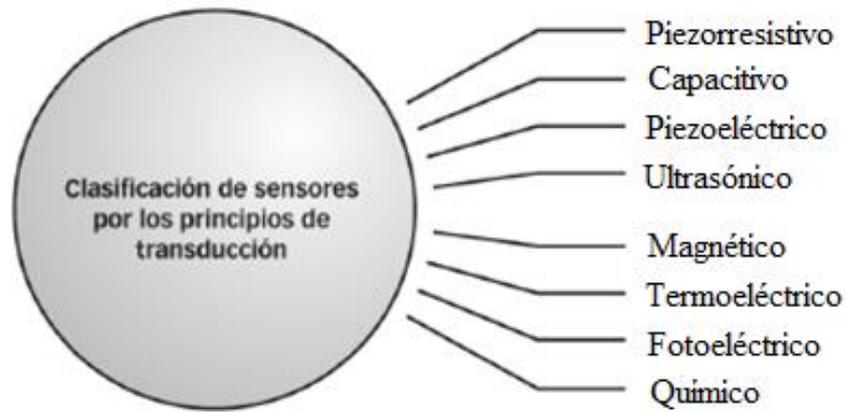


Figura 9 Clasificación de los sensores por los principio de transducción.

Fuente: Adaptado de (Corona & Abarca, 2019)

Mientras que los sensores por el tipo de variable medida puede ser utilizado en la medición de distintas variables físicas; por ejemplo, para la medir proximidad, la presencia de un objeto, etc., resulta útil el uso de un sensor ultrasónico, el cual siempre tiene un mismo principio de funcionamiento y depende del tipo de configuración que se lo coloque para interpretar la señal de salida; este tipo de sensores tiene una desventaja porque utiliza distintas variables y puede provocar cierta confusión en el lector (Corona & Abarca, 2019). Su clasificación se muestra en la en la Tabla 7.

Tabla 7. Clasificación de sensores por el tipo de variable medida.

Clasificación de los sensores según la variable física a medir	De posición, velocidad y aceleración
	De nivel y proximidad
	De humedad y temperatura
	De fuerza t deformación
	De flujo y presión
	De color, luz y visión
	De gas y PH
	Biométricos
	De corriente

Fuente: Adaptado de (Corona & Abarca, 2019)

Una forma de determinar la composición química de la atmósfera es mediante los óxidos metálicos que modifican su resistencia eléctrica superficial al determinar una alteración de la atmósfera, para identificar estos fenómenos se ha desarrollado dispositivos que permitan determinar gases y vapores.

2.7.3.1. Sensores Químicos

Un sensor químico se define como un dispositivo que presenta una respuesta medible de naturaleza eléctrica, magnética, óptica, térmica, etc., cuando la composición de la atmósfera que lo rodea es alterada (Castañeda, 2018). Para su funcionamiento requieren el uso de materiales dieléctricos que reaccionan eléctricamente con la atmosfera.

2.7.3.1.1. Sensores MOS de óxido de estaño

La tecnología MOS (Metal Oxide Semiconductor) podría tener varias aplicaciones en la medicina, climatización, consumo, transporte, etc., la implementación de sensores de gas MOS utiliza la combinación de diferentes óxidos metálicos, siendo la de estaño las

más utilizadas por su fácil uso y menor costo. El SnO_2 tiene las propiedades requeridas como un semiconductor de banda ancha que permite mejorar el rendimiento y sensibilidad en la detección de gas debido a su buena estabilidad y alta sensibilidad a temperaturas menores.

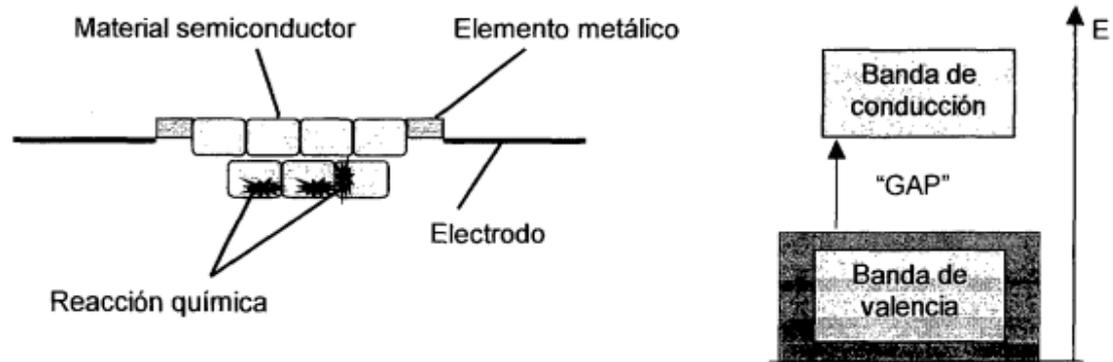


Figura 10 Diagrama de funcionamiento de un sensor de gas MOS

Fuente: Obtenido de (Correa, 2003)

En la figura 10, se muestra el funcionamiento del sensor de gas MOS, donde el material semiconductor se encuentra localizado entre dos electrodos y se mantiene a una temperatura de aproximadamente 350°C , la corriente eléctrica viaja a través de los dos electrodos y el material semiconductor, produciendo una interacción entre la especie gaseosa y la superficie semiconductor; generando cambios en la resistencia eléctrica en el extremo del sensor (Correa, 2003).

La composición de óxido de metal de tipo n, operan en ambientes húmedos y tiene una sensibilidad que depende principalmente del cambio en la concentración de electrones libres debido al intercambio de carga con las especies gaseosas que se absorbe mediante materiales porosos o películas delgadas como muestra la Figura 11. Y finalmente el sensor arroja una diferencia de potencial que varía de acuerdo a la concentración de gas (Castañeda, 2018).

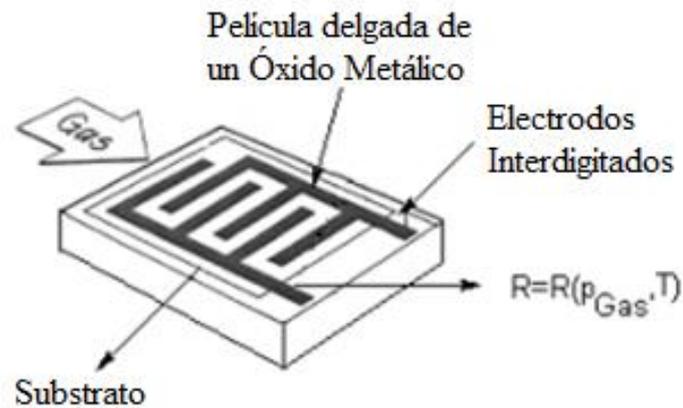


Figura 11 Estructura de un sensor de gas basado en un óxido metálico usando tecnologías de películas delgadas.

Fuente: Obtenido de (Castañeda, 2018)

2.7.3.1.1.1. Sensores Figaro

La empresa Figaro, especialista en el desarrollo y producción de sensores, ofrece una gama de sensores para la detección de varios gases, a partir de gases explosivos como el propano, gases tóxicos como el monóxido de carbono, butano, propano, amoníaco y sensores que determinan la calidad del aire para compuestos orgánicos volátiles (COV) (FIGARO, 2020).

2.7.3.1.1.2. Sensores MQ

Los sensores de la Familia MQ detectan específicamente una o varias sustancias químicas que se encuentren en el aire, como por ejemplo los gases inflamables, sustancias tóxicas, el alcohol. Cuando estos sensores son expuestos a determinados gases existe un aumento de temperatura interna produciendo un cambio en el valor de la resistencia, estos tipos de sensores cuentan con una conexión simple, debido a que se encuentran montados en módulos y únicamente necesitan de alimentación y conexión al microcontrolador (Castiblanco & Cañon, 2019).

2.7.4. Modelo en Cascada

Es el primer modelo en la desarrollo de software, denominado en cascada por las fases secuenciales en el desarrollo de esta, donde se ordena de forma rigurosa las etapas del proceso, de forma que cada etapa debe esperar el inicio de la etapa anterior, es de fácil entendimiento e implementación. Es eficiente debido a su fácil entendimiento e implementación, tiene un menor índice de riesgos y es necesario tener establecido los requerimientos muy claros en la primera parte del proyecto (Mario & Rocha, 2015).

Este modelo sigue una serie de etapas de forma sucesiva, mediante cinco fases: especificación (análisis y definición de requerimientos), diseño, implementación, verificación y mantenimiento, como se muestra en la siguiente Figura 12.

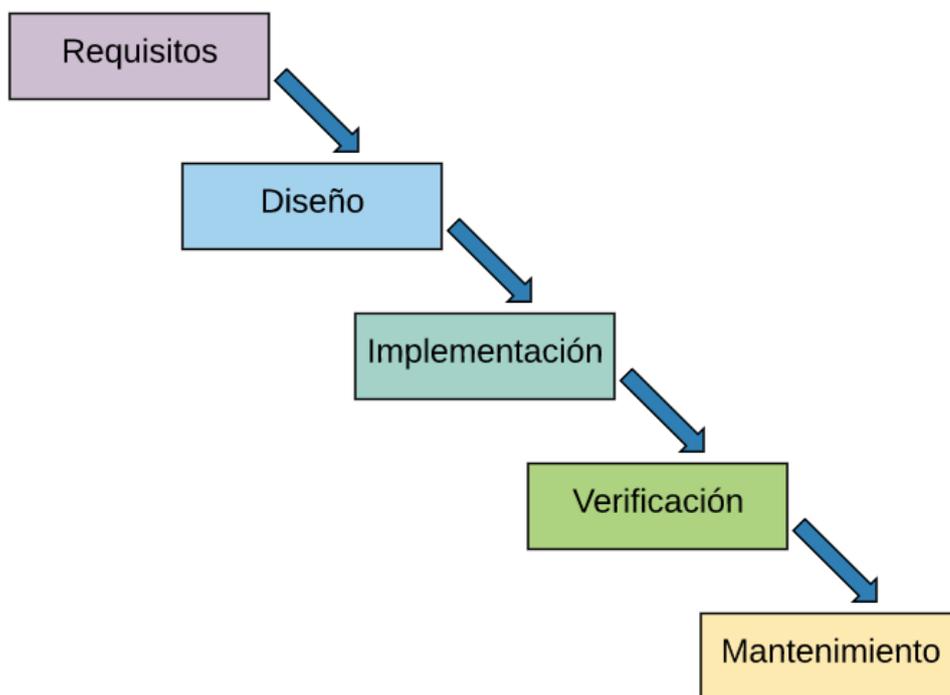


Figura 12 Modelo en cascada.

Fuente: Adaptado de (Dominguez, n.d.)

El ciclo de vida en cascada conlleva las fases mencionadas anteriormente, cada una de estas fases o etapas tiene un tiempo apropiado para su desarrollo, si se detecta un error de diseño se realiza un rediseño con el fin de reducir los errores, aunque aumente los costos de desarrollo. A continuación, se detalla cada una de las fases o etapas:

- Requisitos, se realiza un análisis de las necesidades del cliente para determinar las características y especificaciones del sistema a desarrollar, sin entraren detalles técnicos. Se describe los requisitos del software y se establece los requerimientos acordados en una lista detallada.
- Diseño, se describe toda la información recogida y se organiza el sistema en elementos que se puede elaborar por separado y obtener un documento de diseño del software, que contiene la descripción de la estructura del sistema y los algoritmos a usar.
- Implementación, en esta fase el diseño se implementa, usando la tecnología escogida como solución, conocida como la fase de programación, en el cual se desarrolla el código fuente.
- Verificación, o también conocida como fase de prueba, se intenta encontrar los errores, corregirlos y comprobar si todos los componentes del sistema cumplen con el objetivo inicial.
- Instalación y mantenimiento, es una fase de instalación del software obtenido y se pone en producción. Luego de la instalación se comprueba su correcto funcionamiento en el entorno en que se va a utilizar. Si existe modificaciones del producto después de la entrega al cliente, se realiza el mantenimiento basada en la corrección de errores o mejorar el rendimiento.

2.7.5. Estándar ISO / IEC / IEEE 29148: 2011

Es un estándar establecida por (ISO, IEC, IEEE 29148: 2011) que especifica las disposiciones para los procesos y productos relacionados con la ingeniería de requisitos para sistemas y productos y servicios de software a lo largo del ciclo de vida. Concreta la construcción de un buen requisito, proporciona atributos y características de esta y analiza la aplicación iterativa y recursiva de los procesos de requisitos a lo largo del ciclo de vida. Se definen los elementos de información aplicables a la ingeniería de requisitos y su contenido (ISO / IEC / IEEE, 2011).

3. Capítulo III

DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE DETECCIÓN DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS

En este capítulo se detalla los temas relacionados al proceso del diseño del sistema electrónico de detección de residuos de plaguicidas organoclorados mediante la metodología en cascada y la selección de los componentes tanto del hardware como del software, detallándose los requerimientos, descripción y arquitectura del prototipo mediante el estándar IEEE 29148.

3.1. Situación Actual

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2011) el cultivo de frutillas se ha convertido en una producción importante a nivel global debido a su múltiple uso en el sector agroindustrial con un cultivo con más de 228.146 hectáreas y una producción de 3 millones de toneladas métricas al año. El cultivo de fresas tiene un ciclo de vida con un promedio de 3 a 4 años dependiendo de su manejo.

El mercado de la fresa se rige especialmente por el tamaño del fruto sin apreciar su calidad nutricional, por lo tanto, se ha clasificado las diferentes variedades de fresa dependiendo del tamaño del fruto, la pigmentación, índices de madurez; siendo las variedades de Albión, Monterrey, Diamante y Oso grande, las más cultivadas en el país por sus frutos de mayor tamaño y peso (Elheraldo, 2012).

En el Ecuador los pequeños productores son los que cubren la demanda interna abasteciendo el consumo local, siendo las provincias de Imbabura, Pichicha y Tungurahua donde se concentra la producción de frutilla con aproximadamente 400 hectáreas de cultivo.

Este cultivo al ser susceptible al ataque de insectos durante su ciclo necesita de la aplicación de plaguicidas químicos para tener mejores resultados en la producción de frutos; pero esto presenta un uso indiscriminado de plaguicidas afectando la salud de los consumidores, según el Ministerio de Salud para el año 2016, en el Ecuador se registró 620 casos de intoxicaciones por plaguicidas.

Los pesticidas organoclorados como el aldrín y el dieldrín ya no se usan debido a las reseñas tóxicas y efectos en la salud no se encuentran disponible en el mercado nacional (ATSDR, n.d.). Según la investigación de campo realizada en los cultivos de fresa de los alrededores de la ciudad de Otavalo, en la comunidad de Huayco Pungo, los agricultores usan los pesticidas extremadamente peligroso, tales como: Fullmectin, Sharamida, Circón, Kañón pertenecientes a pesticidas organoclorados debido a que en su composición contienen átomos de cloro, se los aplica en diferentes proporciones no controladas y en diferentes ciclos de desarrollo de la fresa dependiendo de la enfermedad que se encuentre afectando a planta; la etapa de cosecha de la fresa se lo realiza dos veces a la semana en los días lunes y viernes, por lo tanto estos pesticidas se aplican después de cada cosecha que se realiza para que el fruto no sufra ningún ataque de alguna plaga hasta la siguiente fecha de cosecha, por lo general se aplica los pesticidas los días lunes y se cosecha los días viernes, el tiempo corto entre la aplicación del pesticidas y cosecha ocasiona que los residuos de pesticidas se queden adheridas a las fresas y éstas afecten la salud del consumidor.

Es este el motivo por el que surge la necesidad de realizar un sistema electrónico que permitan la detección de residuos de plaguicidas en las fresas, y reducir los altos niveles de concentración de residuos mediante es establecimiento de un manejo integrado de plagas.

3.2. Diseño del sistema

En esta sección se da a conocer los principales aspectos del sistema para realizar su diseño con el fin de proyectar de mejor manera los objetivos establecidos en la elaboración del proyecto utilizando la metodología del ciclo de vida en cascada que conlleva las fases mencionadas anteriormente.

3.2.1. Requisitos

En esta fase se establece las especificaciones que debe tener el sistema en base a tres ámbitos: requerimientos de stakeholders, requerimientos del sistema y requerimientos del arquitectura.

Además, se establece una nomenclatura que permita experimentar un buen manejo y mejor comprensión de datos de cada uno de los requerimientos, en la Tabla 8, se muestra la abreviatura de cada uno de los requerimientos.

Tabla 8 Abreviaturas de requerimientos

Descripción	Abreviatura
Requerimientos de Stakeholders	StSR
Requerimientos Funcionales del Sistema	SySR
Requerimientos de Arquitectura	SySH

Fuente: Autoría

3.2.1.1. Determinación de Stakeholders

Los Stakeholders son el grupo de personas o entidades que participan de manera directa o indirecta en el desarrollo del dispositivo electrónico, es decir, son las personas que están interesadas por el proyecto que se desarrolla, ya pueden ser aquellos que utilizarán el sistema electrónico y aquellos que son responsables de la aprobación o validación del sistema. En la Tabla 9, se muestran la lista de los Stakeholders que participan en el diseño del sistema electrónico.

Tabla 9 Lista de Stakeholders

Lista de Stakeholders	
1.	Agricultores dedicados al cultivo de Frutillas
2.	Ingeniero agrónomo
3.	Director del Proyecto (MSc. Edgar Maya)
4.	Asesor 1 (MSc. Jaime Michilena)
5.	Asesor 2 (MSc. Daniel Jaramillo)
6.	Desarrollador del Proyecto (Sr. Edwin Lema)

Fuente: Autoría

3.2.1.2. *Requerimientos de Stakeholders*

En el desarrollo del proyecto se toma algunas consideraciones por parte de los Stakeholders, de esta manera definir los diferentes requerimientos que el sistema que debe cumplir, de esta manera asegurar que el proyecto cumpla con las expectativas del usuario. En la Tabla 10, se detallan los requisitos operacionales y de usuario.

Tabla 10 Requerimientos de Stakeholders

StSR		Requerimientos de Stakeholders		
Número	Requerimientos	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos Operacionales				
StSR1	El dispositivo debe implementarse en un cultivo de frutillas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
StSR2	El dispositivo debe tener una conexión a su fuente de energía.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
StSR3	El dispositivo debe detectar plaguicidas organoclorados	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
StSR4	Toma de datos en tiempo real	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
StSR5	Sistema con interfaz gráfica con resultados	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Requerimientos de Usuario				
StSR6	Sistema portable	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
StSR7	Visualización de resultados	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
StSR8	Dispositivo con grado de protección IP 54 (tolerante a agua y polvo)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
StSR9	Fácil uso del dispositivo para el usuario	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fuente: Autoría

3.2.1.3. *Requerimientos del sistema*

Los requerimientos se establecen mediante el análisis de las necesidades del usuario para determinar las características y especificaciones del sistema a desarrollar. Para ello es necesario plantear requerimientos funcionales y no funcionales del sistema tomando como referencia el estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2011.

- Requerimientos funcionales

Se refiere a la interacción entre el sistema electrónico y su ambiente de implementación, es decir, describe el funcionamiento del sistema donde incluye al usuario y algún otro sistema externo que interactúa con el sistema.

- Requerimientos no funcionales

Se refiere a los aspectos del sistema que son visibles por el usuario y no tienen una relación directa con el comportamiento funcional, incluyen los requerimientos que el cliente impone tales como la interfaz, estándares de botones, lenguaje de implementación, entre otros.

A continuación, en la Tabla 11, se muestra los requerimientos del sistema

Tabla 11 Requerimientos del sistema

SySR				
Requerimientos del Sistema				
Número	Requerimientos	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos de Uso				
SySR1	Alimentación por batería de litio para el encendido del sistema embebido.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR2	Interruptor para el encendido y apagado del dispositivo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR3	Movilidad del dispositivo de forma manual por parte del usuario	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SySR4	El sistema debe poseer sensores sensibles a diferentes gases químicos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR5	Toma de datos de forma rápida y en tiempo real	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Requerimientos de Performance				
SySR6	Envío de información a la interfaz de visualización	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR7	Visualización de resultados precisos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR8	Dispositivo con grado de protección IP 54 (tolerante a agua y polvo)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SySR9	Fácil uso del dispositivo para el usuario	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Requerimientos de Interfaces				
SySR10	Cantidad de pines digitales mayor a 10.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR11	Cantidad de pines análogos mayor a 10.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR11	Pines de transmisión y recepción	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR12	Sistema embebido con conexión a internet	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Requerimientos de Modos/Estados				
SySR13	El sistema recolecta los datos en tiempo real	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR14	Los datos deben ser almacenados y procesados por el sistema embebido	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Requerimientos Físicos				
SySR15	Los sensores de gas deben tener una compatibilidad con los compuestos químicos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR16	Los sensores de gas deben tener una alimentación $\leq 5.0 \pm 2.0$ V	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySR17	Resistente al agua y polvo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SySR18	El sistema debe tener una infraestructura que permita su movilidad por los surcos del cultivo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fuente: Autoría

3.2.1.4. Requerimientos de Arquitectura

El siguiente apartado se da a conocer los componentes y sus características en función a la aplicabilidad que aporta el sistema, para ello se tomará los requerimientos lógicos, de diseño, de hardware, software y eléctricos. En la Tabla 12, se muestra los componentes de hardware, software, de igual manera las características en base al funcionamiento que tendrá el sistema electrónico.

Tabla 12. Requerimientos de Arquitectura

SySH				
Requerimientos de Arquitectura				
Número	Requerimientos	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos de Diseño				
SySH1	Los sensores deben estar distribuida dentro de un contenedor de material rígido	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH2	Los sensores de gases deben tener una conexión a una placa de baquelita	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH3	Envío de información se realiza mediante la conexión a los puertos de entrada/salida	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH4	Sistema que no altera el proceso de cultivo de frutillas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH5	Sistema de bajo costo	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Requerimientos de Software				
SySH6	Lenguaje de programación de código abierto	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH7	Compatibilidad entre el sistema embebido y las librerías de los sensores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH8	Sistema Operativo Libre compatible con el sistema embebido	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH9	Sistema Operativo multiplataforma para implementación de lenguajes de programación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Requerimientos de Hardware				
SySH10	Sistema embebido con pines de conexión de entradas y salidas para la conexión de sensores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH11	El sistema embebido basadas en Open Source	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH12	Sistema embebido que permita la conexión de varios sensores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH13	Sistema embebido con un procesador y memoria de alta capacidad	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH14	Sistema embebido con pines micro para pantalla LCD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH15	El sensor debe tener compatibilidad con el sistema embebido	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH16	El sensor capaz de medir el dihidrógeno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH17	El sensor debe medir vapores orgánicos, alcohol, tolueno, xileno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH18	El sensor debe medir gases Propano	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH19	El sensor debe medir gases LGP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH20	El sensor debe medir gases Metano	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH21	El sensor debe medir CO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SySH22	El sensor debe medir Gases combustibles	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH23	El sensor debe medir Alcohol	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH24	El sensor debe medir Benceno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH25	El sensor debe medir Toluene	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH26	El sistema embebido debe permitir la lectura de datos de varios sensores al mismo tiempo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH27	Sistema embebido con alta capacidad de cálculo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Requerimientos Eléctricos				
SySH28	Batería con una capacidad de alimentar todo el sistema electrónico	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SySH29	Batería con capacidad de recargarse	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fuente: Autoría

3.2.2. Selección de Hardware y Software

El proceso de elección de Hardware y Software se realiza según los Stakeholders, de Sistema y de arquitectura anteriormente mencionados. Por lo tanto, se evalúa cada uno de los componentes que se van a utilizar en el desarrollo del sistema electrónico, correspondientes a los requerimientos determinados, de esa manera elegir el componente con mayor puntaje. Para la elección de los diferentes elementos se realiza un análisis de cada uno de estos, donde “1” cumple el requerimiento, “0” no cumple con el requerimiento como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13 Descripción de valores usados para evaluar los requerimientos

Descripción	Valor
Si cumple	1
No cumple	0

Fuente: Autoría

3.2.2.1. Elección de Hardware

En la elección del Hardware establecen diferentes dispositivos físicos establecidos anteriormente en los Requerimientos de Arquitectura, tales como el microcontrolador, sensores y demás elementos electrónicos.

3.2.2.1.1. Sistema Embebido

Para la elección del microcontrolador encargado de la adquisición de y procesamiento de datos basados en los requerimientos anteriormente mencionados se realiza un análisis de cada uno de estos microcontroladores, donde “1” cumple el requerimiento, “0” no cumple con el requerimiento. A continuación, se muestra el análisis y la elección.

Para el funcionamiento del dispositivo electrónico es necesario el uso de dos sistemas embebidos, uno que permita la adquisición de los datos obtenidos por los sensores y otro sistema embebido encargado del procesamiento de los datos.

En la Tabla 14 se presenta los requerimientos establecidos para la selección del sistema embebido encargado de la adquisición de los datos obtenidos de cada uno de los sensores electroquímicos, para ello se realiza una comparación entre las diferentes clases de hardware Arduino.

Tabla 14 Selección del sistema Embebido para la adquisición de datos

Hardware	Requerimiento						Valoración Total
	SySR10	SySR11	SySR12	SySH10	SySH11	SySH12	
Arduino Mega	1	1	1	1	1	1	6
Arduino Uno	1	1	1	1	1	0	5
Arduino Nano	1	1	1	1	1	0	5

1 Cumple

0 No cumple

Elección: Arduino mega

Una vez realizado el análisis de los diferentes sistemas embebidos con capacidades similares, en este caso diferentes modelos de Arduino, y establecidos los requerimientos que debe cumplir el proyecto, se selecciona al Arduino Mega como sistema embebido necesario para la adquisición de los datos generados por los sensores y la conexión de los demás componentes electrónicos que se ajusta más con las necesidades del proyecto debido a su alta capacidad de procesamiento y sus diferentes funciones necesarios para el desarrollo de todo el sistema.

Se realiza el mismo procedimiento de comparación y selección con el sistema embebido que realiza el trabajo de procesar los datos y obtener un resultado final del proyecto. Para ello se realiza una comparación entre sistemas embebidos con capacidades altas en procesamiento como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15 Selección del sistema Embebido para el procesamiento de datos.

Hardware	Requerimiento						Valoración
	SySR12	SySR14	SySH7	SySH11	SySH12	SySH13	Total
Raspberry Pi Zero	1	1	0	1	1	1	5
Raspberry pi 3 B+	1	1	1	1	1	0	5
Raspberry pi 4 B+	1	1	1	1	1	1	6

1 Cumple

0 No cumple

Elección: Raspberry Pi 4 B+

Una vez realizado el análisis de los diferentes sistemas embebidos y establecidos los requerimientos que debe cumplir el proyecto, se selecciona al Raspberry Pi 4 B+ como sistema embebido necesario para el procesamiento de los datos que se ajusta más con las necesidades del proyecto debido a su alta capacidad de procesamiento y sus diferentes funciones necesarios para el desarrollo de todo el sistema.

En la Tabla 16, se muestra las características técnicas del Raspberry Pi 4 Modelo B:

Tabla 16 Características técnicas de Raspberry Pi 4 Model B

Procesador	64-bit quad-core Cortex-A72
RAM	4 Gb LPDDR4
HDMI	2 micro HDMI
Puertos USB	2 USB 3.0 ports 2 USB 2.0 ports
Conectividad	Bluetooth 5.0 802.11 b/g/n/ac wireless Gigabit Ethernet port
Alimentación	5V/3A USB-C

Fuente: Adaptado de (Raspberry, 2020)

3.2.2.1.2. *Sensores de Gas*

Dentro de los pesticidas organoclorados, se han determinado diferentes compuestos químicos derivados de los etanos, para este estudio se toma en cuenta los plaguicidas que son utilizados por los agricultores de la zona de Otavalo, plaguicidas que tienen en su composición átomos de cloro como el Kañón, Circón, Fullmectin y Sharamida, en presentaciones de líquidos, polvos y aerosoles, debido a la alta toxicidad de éstos químicos han salido del mercado, Para determinar los compuestos químicos se realiza una relación de los sensores con los gases a determinar, tales como el Sulfuro de Hidrógeno, Hidrógeno, Gases combustibles, Alcohol, Gases Volátiles, Contaminantes del

aire, entre otros, son gases tóxicos y peligrosos para la salud. A continuación, se determina diferentes tipos de sensores para cada uno de los compuestos químicos.

- ***Gases Volátiles***

Considerando que los diferentes tipos de plaguicidas al contacto con los rayos del sol emiten gases volátiles provenientes de los derivados de los hidrocarburos usados como solventes y fumigantes. A continuación, se especifica en la Tabla 17 los requerimientos establecidos en los que se hace una comparación entre los sensores MQ y TGS.

Tabla 17. Selección del sensor de Sulfuro de Hidrógeno.

Hardware	Requerimiento				Valoración
	SySR15	SySR16	SySH15	SySH22	Total
TGS-825	1	1	0	1	3
MQ-9	1	1	1	1	4
MQ-8	1	1	1	0	3

1 Cumple

0 No cumple

Elección: MQ-9

Fuente: Autoría

Realizada la comparación de los sensores que permita la detección de los gases volátiles que es un gas inflamable, incoloro y extremadamente peligroso; teniendo en cuenta el cumplimiento de los requerimientos establecidos se considera al sensor MQ-9 como el hardware idóneo, también por su mayor acceso al mercado y su bajo costo.

En la Tabla 18, se presenta las características técnicas del sensor MQ-9.

Tabla 18. Características técnicas del Sensor MQ-9

Aplicación	Alta sensibilidad a CH_4
Voltaje de Operación	5V DC
Voltaje de Calentamiento	5V \pm 0.1
Rango de detección de concentración	1000 ppm
Resistencia de Carga	Regulable
Resistencia de Calentamiento	33 Ω \pm 5%
Temperatura de uso	-20°C – 50°C
Temperatura de almacenamiento	-20°C – 50°C
Humedad Relativa	Menor a 65%
Concentración de Oxígeno	21% (condición estándar)

Fuente: Adaptado de (Hanwei Electronics, 2015a)

- *Gases combustibles*

Para determinar el sensor capaz de detectar los gases combustibles y cumplan con los requerimientos de hardware establecidos, se hace la comparación entre 3 sensores de la familia MQ y de la familia Figaro TGS, como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19 Selección del sensor de Gases Combustibles

Hardware	Requerimiento				Valoración
	SySR15	SySR16	SySH15	SySH19	Total
MQ-2	1	1	1	1	6
MQ-6	1	1	1	0	5
TGS-813	1	1	1	1	6
1 Cumple					
0 No cumple					
Elección: MQ-2					

Fuente: Autoría

Los requerimientos del sistema establecen que el sensor debe detectar los gases como el Propano, Metano y LGP. Realizada el análisis y comparativa entre los sensores que detecta cada uno de los gases mencionados, tomando en cuenta la disponibilidad y el bajo costo, la mejor opción es el sensor MQ-2.

A continuación, en la Tabla 20 se presenta las características técnicas del sensor MQ-2.

Tabla 20 Características técnicas del sensor MQ-2

Aplicación	Detecta LGP, Propano, Metano, Alcohol
Voltaje de Operación	5V DC
Voltaje de Calentamiento	5V \pm 0.1
Rango de detección de concentración	300-10000 ppm
Resistencia de Carga	Regulable
Resistencia de Calentamiento	31 Ω \pm 5%
Temperatura de uso	-20°C – 50°C
Temperatura de almacenamiento	-20°C – 70°C
Humedad Relativa	Menor a 95% Rh
Concentración de Oxígeno	21% (condición estándar)

Fuente: Adaptado de (Hanwei Electronics, n.d.)

- ***Gas Hidrógeno***

Para la elección del sensor capaz de detectar el Gas Hidrógeno, y cumplan con los requerimientos establecidos, se realiza la comparación de 4 sensores de gas, pertenecientes a la familia MQ y la familia Figaro, como se especifica en la Tabla 21.

Tabla 21 Selección del sensor de Gas Hidrógeno

Hardware	Requerimiento				Valoración
	SySR15	SySR16	SySH15	SySH16	Total
MQ-8	1	1	1	1	4
MQ-135	1	1	1	0	3
MQ-7	1	1	1	0	3
TGS-821	1	1	1	1	4

1 Cumple

0 No cumple

Elección: MQ-8

Fuente: Autoría

Realizado el análisis de cada sensor y el cumplimiento de los requerimientos necesarios, se hace la elección del sensor MQ-8, que es un sensor que tiene una alta sensibilidad al gas Hidrógeno y es compatible con el sistema embebido a usar, y en comparación a los otros sensores de la Familia Fígaro TGS, ésta tiene un menor costo.

En la Tabla 22, se detalla las características técnicas del sensor MQ-8.

Tabla 22 Características técnicas del sensor MQ-8

Aplicación	Alta sensibilidad al Hidrógeno (H_2)
Voltaje de Operación	5V DC
Voltaje de Calentamiento	5V \pm 0.1
Rango de detección de concentración	100-10000 ppm
Resistencia de Carga	Regulable
Resistencia de Calentamiento	31 Ω \pm 5%
Temperatura de uso	-10°C – 50°C
Temperatura de almacenamiento	-20°C – 70°C
Humedad Relativa	Menor a 95%Rh
Concentración de Oxígeno	21% (condición estándar)

Fuente: Adaptado de (Hanwei Electronics, 2014)

- **Compuestos orgánicos volátiles**

Para determinar los compuestos volátiles, se establecen 3 tipos de sensores de la familia MQ, se realiza un análisis de acuerdo con el cumplimiento de los requerimientos establecidos como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23 Selección del sensor de compuestos volátiles

Hardware	Requerimiento				Valoración
	SySR15	SySR16	SySH21	SySH24	Total
MQ-8	1	1	1	0	3
MQ-3	1	1	1	1	4
MQ-135	1	1	1	1	4

1 Cumple

0 No cumple

Elección: MQ-3 y MQ-135

Fuente: Autoría

Debido a que se analizan gases como el Alcohol, Benceno y Toluene, se hace la elección de dos sensores que cumplen los requerimientos de arquitectura, se escoge al sensor MQ-3 para la detección de benceno y el sensor MQ-135 para detectar CO. Estos sensores son de bajo costo, de alta disponibilidad y es compatible con el sistema embebido.

En la Tabla 24 y Tabla 25 se muestra las características técnicas de los sensores MQ-3 y MQ-135.

Tabla 24 Características técnicas del sensor MQ-3

Aplicación	Alta sensibilidad al alcohol
Voltaje de Operación	5V DC
Voltaje de Calentamiento	5V \pm 0.1
Rango de detección de concentración	100-10000 ppm
Resistencia de Carga	200K Ω
Resistencia de Calentamiento	33 Ω \pm 5%
Temperatura de uso	-10°C – 50°C
Temperatura de almacenamiento	-20°C – 70°C
Humedad Relativa	Menor a 95% Rh
Concentración de Oxígeno	21% (condición estándar)

Fuente: Adaptado de (Hanwei Electronics, 2015)

Tabla 25 Características técnicas del sensor MQ-135

Aplicación	Alta sensibilidad al Benceno, Amoniac, CO
Voltaje de Operación	5V DC
Voltaje de Calentamiento	5V \pm 0.1
Rango de detección de concentración	10-1000 ppm
Resistencia de Carga	Regulable
Resistencia de Calentamiento	33 Ω \pm 5%
Temperatura de uso	-10°C – 45°C
Temperatura de almacenamiento	-20°C – 70°C
Humedad Relativa	Menor a 95% Rh
Concentración de Oxígeno	21% (condición estándar)

Fuente: Adaptado de (Olimex, 2012)

3.2.2.2. Selección de Software

Para determinar el software que se va a usar en el desarrollo del proyecto se debe tomar en cuenta las especificaciones de requisitos de software, en este caso se toma en cuenta el almacenamiento de los datos, el tratamiento que se va a dar a los datos y los requerimientos de arquitectura establecidos. En la Tabla 26 se presenta un análisis de la

selección del software para el lenguaje de programación y la plataforma en la que se desarrolla el sistema.

Tabla 26 Selección del Sistema Operativo para Raspberry Pi

Software	Requerimiento		Valoración
	SySH8	SySH9	Total
Pidora	1	1	2
Raspbian	1	1	2
Ubuntu Core	1	1	2

1 Cumple

0 No cumple

Elección: Raspbian

Fuente: Autoría

Una vez analizado los requerimientos para la selección del sistema operativo con el cual trabaja el sistema embebido, se selecciona al Software Raspbian, debido a que es una versión de Debian específicamente adaptado para Raspberry Pi.

3.2.2.2.1. Lenguaje de Programación

Para el tratamiento de los datos adquiridos a través de los sensores de gas, es necesario el software y el lenguaje de programación capaz de soportar la orientación a objetos, sea imperativa y funcional. Para ello se realiza un análisis del lenguaje de programación basados en los requerimientos establecidos, como se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27 Selección de lenguaje de programación.

Software	Requerimiento		Valoración Total
	SySH6	SySH7	
Python	1	1	2
Lenguaje M de Matlab	1	1	2
Java	1	1	2

1 Cumple

0 No cumple

Elección: Lenguaje M y Python

Fuente: Autoría

Una vez analizado los requerimientos establecidos, y los lenguajes de programación que son utilizados en la construcción de aplicaciones de Machine Learning, se selecciona al lenguaje M propio de Matlab debido a que permite el desarrollo en diferentes plataformas como Windows, Unix, Mac y otras. Además, Python tiene ventajas por su abundancia de bibliotecas que facilitan la codificación y su gran variedad de librerías con relación a los otros lenguajes de programación que nos permite el diseño de la aplicación para la muestra de resultados.

3.2.3. Diseño

En esta fase se describe el diseño del prototipo, mediante la descripción del funcionamiento y la estructura de cada parte del dispositivo que se encuentra distribuido en bloques para tener una mejor comprensión del sistema.

3.2.3.1. Descripción General del funcionamiento del sistema electrónico

El presente prototipo consiste en el desarrollo de un sistema electrónico de detección de plaguicidas organoclorados, mediante el uso de sensores MOS y electroquímicos para

identificar y analizar los compuestos químicos en el cultivo de frutillas, aplicando algoritmos de aprendizaje de máquinas.

Inicialmente el sistema electrónico recolecta los datos mediante un arreglo de sensores capaz de identificar y detectar los compuestos volátiles que emite la planta de frutilla al ser aplicado diferentes tipos de plaguicidas en la etapa de producción de frutos; la red de sensores conjuntamente equipada con la Raspberry se encuentra montada en un contenedor que permite la movilidad del sistema electrónico a lo largo de cada hilera de cultivo que va reconociendo y detectando los diferentes compuestos volátiles que posteriormente dichos datos son tratados y clasificados según su compuesto químico y el nivel de concentración.

Posteriormente, dicho análisis se enviará a una interfaz gráfica que permita visualizar al usuario la respuesta del residuo de plaguicida químico encontrado en la fresa y posteriormente establecer un Manejo Integrado de Plagas basado en un control natural que permita reducir la cantidad de uso de plaguicidas en la frutilla.

3.2.3.2. Arquitectura

En esta etapa se da a conocer las partes que componen el sistema electrónico, además se describe el funcionamiento de cada una de ellas. Se encuentra dividido en bloques, como se muestra en la Figura 13.

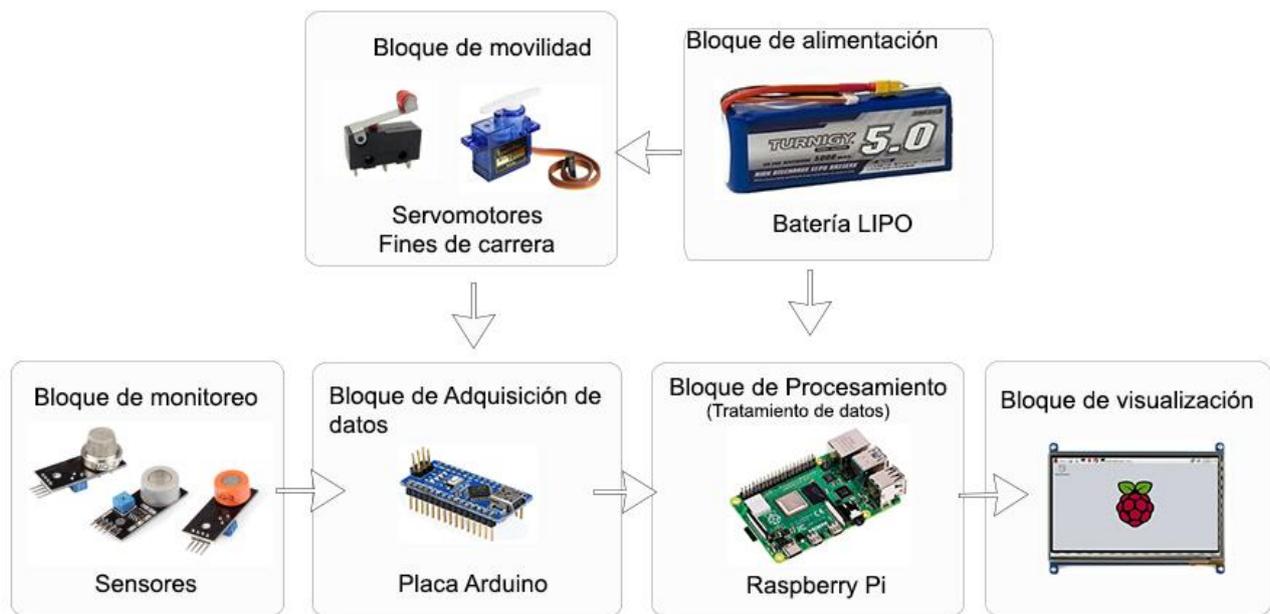


Figura 13 Arquitectura general del sistema Electrónico

Fuente: Autoría

Para comprender la función que cumple cada uno de los bloques, se explica el funcionamiento del sistema electrónico, basado en el proceso que sucede desde la recolección de datos mediante los sensores hasta la visualización de los resultados.

- Bloque de alimentación

La alimentación del sistema electrónico está constituida por una batería LIPO de 5000 mAh y 7,4V exclusiva para Raspberry Pi que contiene puertos USB para la alimentación del sistema embebido y una pantalla. De esta manera se permite la portabilidad del prototipo.

De la misma forma, se debe calcular el voltaje mínimo y el consumo de corriente de todo el sistema electrónico de esa forma calcular la capacidad de una batería, mediante la siguiente ecuación.

$$I_T = \sum_{i=1}^n I_i + I_{i+1} \dots \dots \dots + I_n$$

Ecuación 1 Fórmula para el cálculo de la corriente total

El sistema electrónico está conformado por los diferentes sensores de gas, la placa Arduino y una Raspberry, tomando en cuenta la formula mencionada anteriormente, se calcula el consumo, como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28 Corriente consumida por el sistema electrónico

Dispositivo	Voltaje	Corriente
Sensor MQ-2	3-5V	150 mA
Sensor MQ-3	3-5V	150 mA
Sensor MQ-8	3-5V	150 mA
Sensor MQ-9	3-5V	150 mA
Sensor MQ-135	3-5V	150 mA
Placa Arduino Mega	5-12V	200mA
Raspberry pi 4 Model B	5V	3000 mA
Servomotor 1	5V	750mA
Servomotor 2	5V	750mA
Total	3-12V	5,450A

Fuente: Autoría

Una vez obtenida los valores de consumo eléctrico de cada uno de los elementos del sistema electrónico, se requiere una batería de 3 Voltios a 5450 mA para que el sistema pueda funcionar de una manera óptima.

- Bloque de movilidad

El bloque de movilidad está compuesto por dos servomotores de 11Kg de torque, que permiten la movilidad horizontal y vertical, están alimentados por una batería Lipo 7,4 V y controlado mediante el Arduino al mismo que se encuentra conectado los finales de carrera para el control de los servomotores.

- Bloque de sensores

Esta sección está constituida por los sensores MOS y sensores electroquímicos, capaces de detectar gases químicos tales como: gases combustibles, hidrógeno, vapores orgánicos, alcohol, toluene, xileno, sulfato de hidrogeno, que son compuestos que contienen los pesticidas como el Kañón, Fullmectin, Sharamida y Circón.

- Bloque de adquisición de datos

En bloque de adquisición de datos, está conformado por un Arduino encargada de la recolección de los datos adquiridas por los diferentes sensores de gas y el envío de datos al bloque procesamiento.

- Bloque de procesamiento

Esta etapa es la encargada de recibir la información por parte del bloque de adquisición de datos, está conformada por el Raspberry Pi 4 encargada del procesamiento de la datos, basada en la interpretación y manejo de la información mediante los diferentes técnicas de machine Learning, y obtener los resultados establecidos.

- Bloque de visualización

Los datos obtenidos en el bloque de procesamiento son visualizados en un módulo de pantalla LCD, capaz de mostrar los resultados al usuario para que haga uso de la información según sea conveniente.

3.2.4. Calibración de los sensores MQ

Para obtener un correcto funcionamiento de los sensores es necesario realizar un proceso de calibración que consta de dos partes:

- Pre calentamiento

El sensor MQ se debe tener conectado a la alimentación (5V y GND) durante 24 horas sin ninguna interrupción, en el caso de un sensor MQ-7 es necesario de hasta 48 horas. Mediante este proceso se elimina cualquier resto de humedad o contaminación que pudo afectar en el proceso de fabricación.

- Calibración

Para obtener lecturas precisas es necesario realizar una calibración que consiste en detectar la desviación que tiene el sensor MQ con respecto al aire limpio. Para ello se inicia estableciendo una relación entre la salida analógica del sensor (tensión variable) a través de la resistencia de carga y la concentración del gas tomando en cuenta la temperatura estándar de 20°C y la humedad relativa de 65%.

La salida analógica del sensor depende del voltaje V_o , se tiene:

$$V_o = \frac{adc * 5.0}{1023}$$

Ecuación 2 Fórmula para la tensión de salida del sensor

Como se tiene una resistencia de carga R_L conectada a una resistencia de protección incorporada en el sensor se forma una divisor de tensión, por lo tanto, la salida del sensor se encuentra relacionada con la siguiente ecuación:

$$V_o = R_L \cdot \frac{V_c}{R_s + R_L}$$

Ecuación 3 Fórmula de la tensión de salida con relación a su resistencia de carga

Se inicia con una calibración del sensor en aire libre (sin ningún gas) y se mide la salida analógica del sensor correspondiente a un valor de tensión y un valor de resistencia de salida, de esa forma calcular el valor de la resistencia del sensor R_o como se muestra:

$$R_o = \frac{R_s(\text{media})}{R_o(\text{aire_libre})}$$

Ecuación 4 Fórmula para calcular la resistencia del sensor

Realizado los cálculos, el sensor debe estar conectado a una tensión de 5V un mínimo de 3 minutos para que empiece a darnos medidas fiables.

3.2.5. *Diagrama de flujo del sistema*

El diagrama de flujo que se muestra en la Figura 14, explica el funcionamiento general del dispositivo electrónico basado en las etapas de programación y las acciones que realiza el dispositivo en determinados momentos.

Para el funcionamiento del dispositivo, se inicia con un interruptor que permite el paso de corriente a los diferentes elementos del sistema, es decir permite la alimentación de los sensores, el sistema embebido y la pantalla LCD. Una vez alimentado los sensores, se inicia con la calibración de los sensores y se procede a inicializar las librerías de los sensores, MQ-2, MQ3, MQ-8, MQ-9, MQ-135, posteriormente tener una lectura de cada sensor y envío de datos al sistema embebido en el cual se almacenan los datos.

Los datos almacenados pasan a una etapa de tratamiento, mediante el uso de las técnicas de Machine Learning y sus algoritmos se procede al entrenamiento de los datos

encontrando variables que permitan establecer un patrón entre variables que permite la clasificación variables, obteniendo una clasificación de los diferentes gases químicos.

Los resultados obtenidos son enviados a una pantalla LCD que se encuentra incorporado en el mismo dispositivo, para brindar una rápida y eficaz visualización de los resultados por parte del agricultor de fresas.

Posteriormente en las diferentes secciones del desarrollo del proyecto se realiza una explicación detallada del funcionamiento de todo el sistema electrónico basado en la estructura física y lógica.

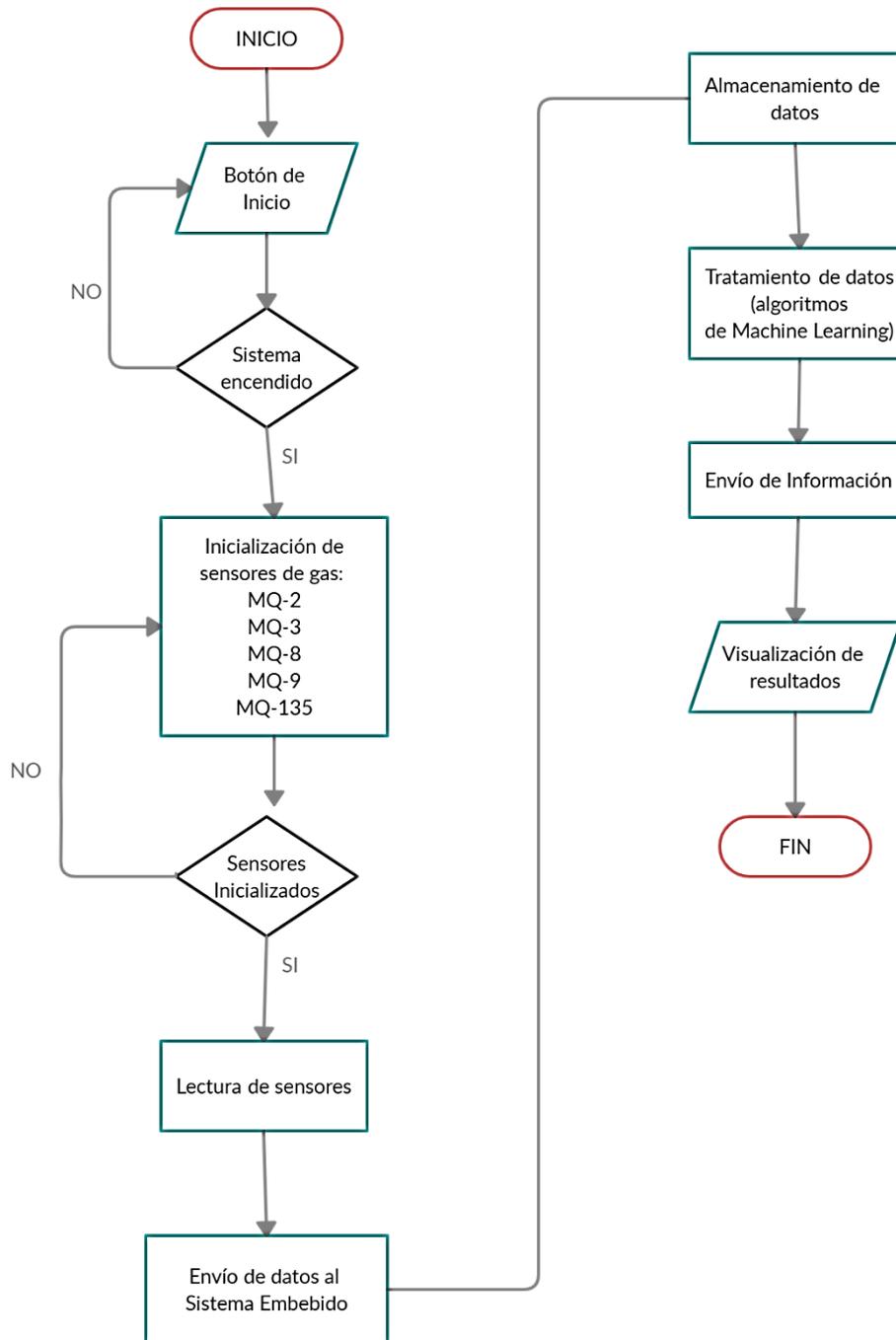


Figura 14 Diagrama de flujo del Sistema electrónico.

Fuente: Autoría

3.2.6. Diagrama de circuito del sistema electrónico

El diseño del circuito del sistema electrónico encargado de medir los residuos de pesticidas en fresas consta de un sistema embebido, en este caso un Arduino MEGA, al cual se tiene conectado los sensores de gas MQ-2, sensor MQ-3, sensor MQ-8, sensor

MQ-9, sensor MQ-135, estos sensores se encuentran conectadas a los pines analógicos, pin 5V y GND del Arduino, el Arduino está conectado mediante USB a la Raspberry Pi 4, para la transferencia de datos y alimentación. Además, se tiene una conexión de una pantalla LCD hacia la Raspberry mediante en puerto HDMI para mostrar los resultados. Además, se tiene la conexión de dos servomotores y cinco finales de carrera conectados a los pines digitales del Arduino.

El dispositivo electrónico para su funcionamiento debe desplazarse por la hilera de fresas y posteriormente ubicarse sobre una planta de fresa para el análisis respectivo, para ello se establecen dos servo motores que permitan la movilidad de los sensores electroquímicos.

En la Figura 15 se muestra el diagrama esquemático general del sistema, en el que se establece la conexión de cada uno de los elementos que conforman el sistema electrónico.

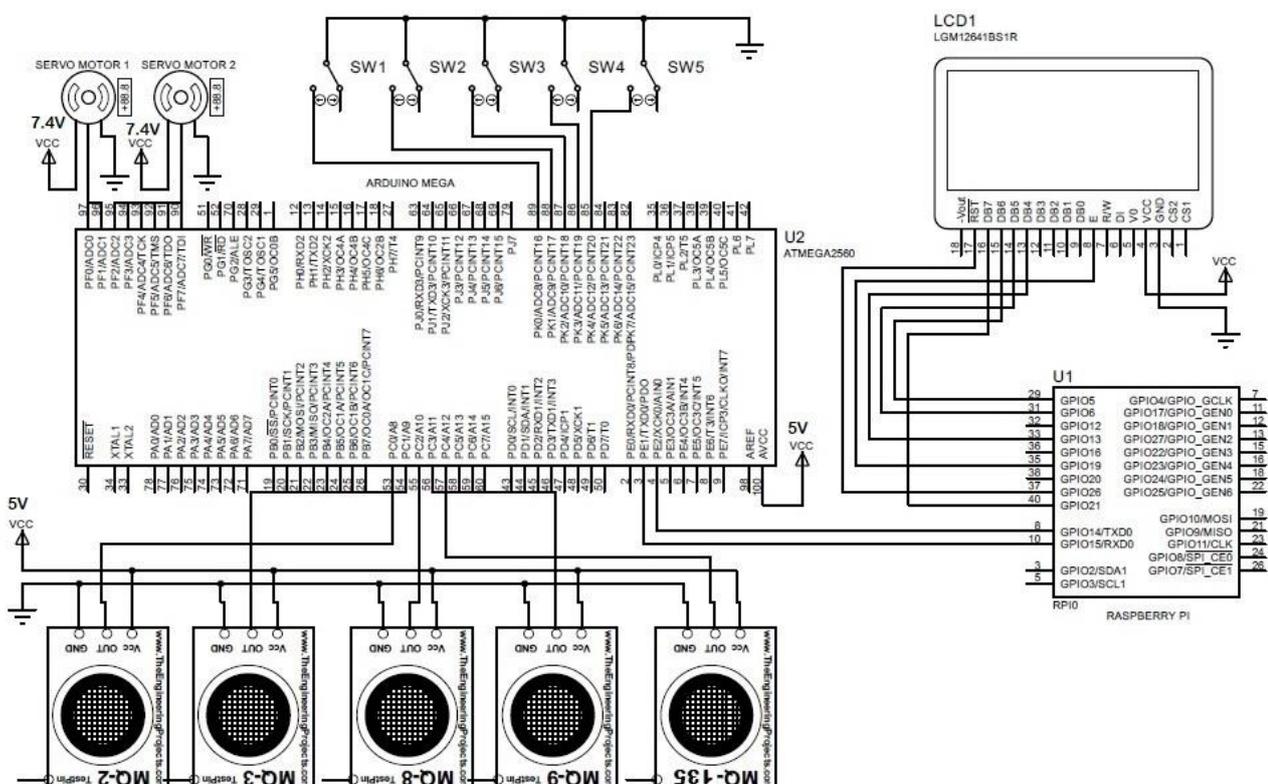


Figura 15 Diagrama esquemático del sistema electrónico

Fuente: Autoría

De la misma forma se detalla la conexión de cada uno de los componentes del sistema electrónico, mediante un diagrama pictórico que muestra la apariencia física de los diferentes elementos como los sensores y los servomotores se conectan a la placa Arduino que envía los datos a la Raspberry Pi al cual se encuentra conectada una pantalla LCD como se muestra en la Figura 16.

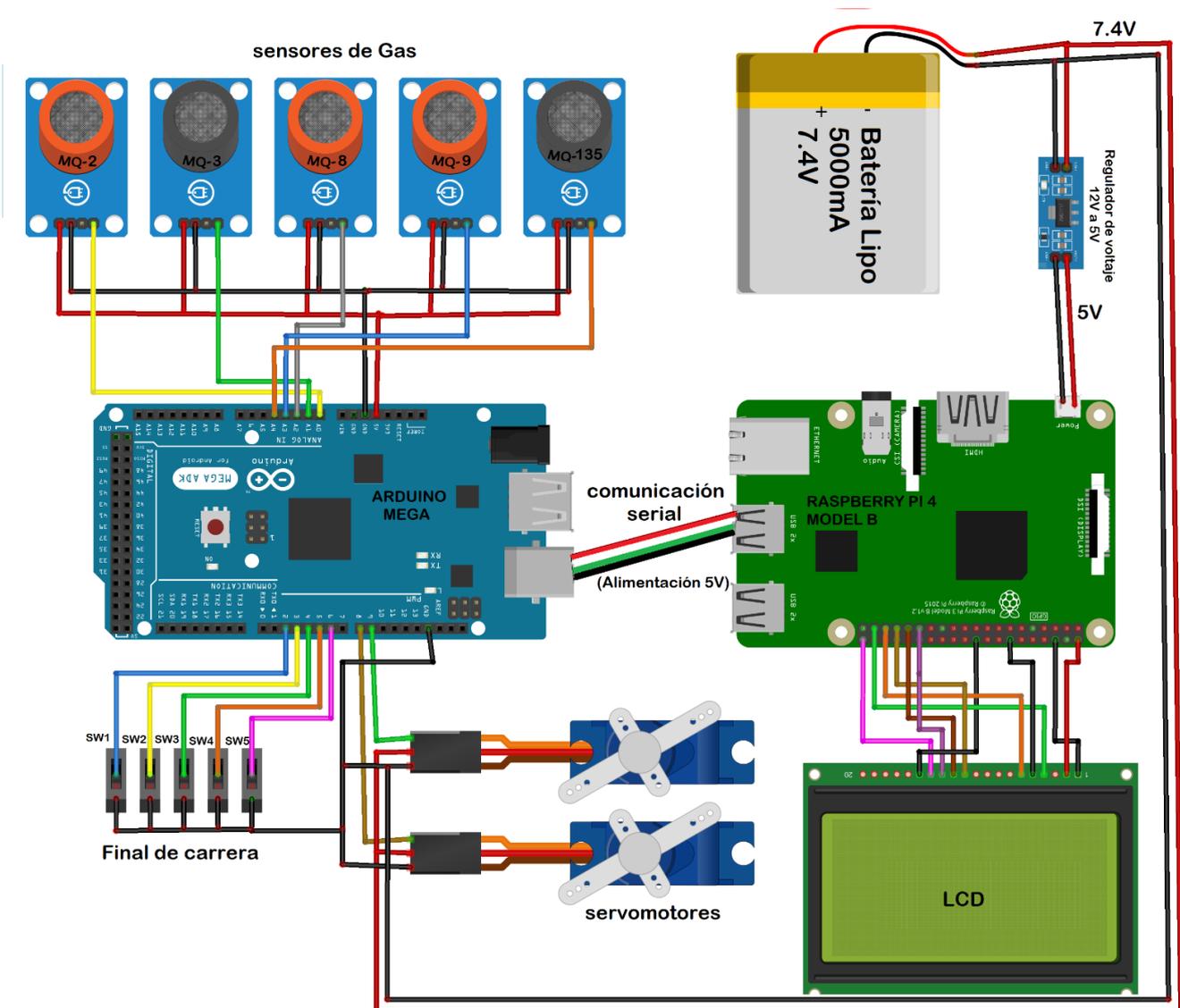


Figura 16 Diagrama pictórico del sistema electrónico

Fuente: Autoría

3.2.7. Diseño detallado del hardware

En el diseño detallado del hardware se da a conocer cada uno de los elementos analizados en la sección de los requerimientos del sistema, y se integra lo necesario para el funcionamiento del sistema electrónico. Para ello, se detalla el diagrama de conexión del bloque de sensores, bloque de alimentación, bloque de adquisición de datos y el bloque de procesamiento.

3.2.7.1. Caracterización y conexión de los sensores

Una vez realizada la selección de los sensores encargados de tomar los datos que permita detectar los pesticidas en las fresas, se procede a realizar el diagrama de conexión de cada uno de los sensores, como se muestra a continuación.

- **Sensor MQ-2**

El sensor MQ-2 es usado para detectar GLP, i-butano, propano, metano, alcohol, hidrógeno y humo. Compuesto por material semiconductor de dióxido de estaño (SnO_2). En el aire limpio se tiene una baja conductividad, con la presencia del gas detectable aumenta su conductividad, las características de sensibilidad del sensor hacia ciertos gases como se muestra en la Figura 17.

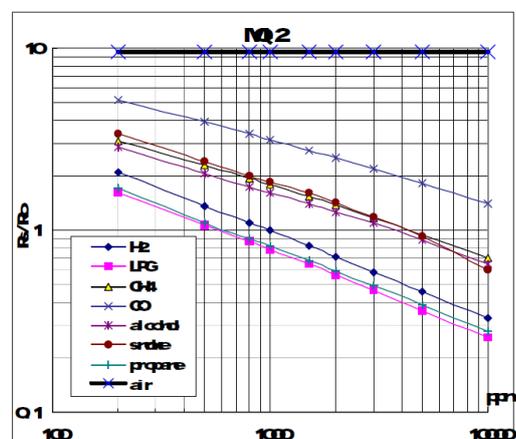


Figura 17 Características de sensibilidad del Sensor MQ-2

Fuente: (Hanwei Electronics, n.d.)

Para determinar los distintos gases que el sensor MQ-2 tiene la capacidad de detectar, donde se tiene las siguientes condiciones:

Temperatura: 20°C

Humedad: 65%

R_L : 5kΩ

R_o : Resistencia del sensor a 1000 ppm de H_2 en el aire libre.

R_s : Resistencia del sensor a varias concentraciones de gases

La resistencia de carga R_L se lo obtiene mediante la ecuación:

$$R_L = R_s(\text{en aire limpio}) * e^{\left(\frac{\log \frac{\text{intercepto}}{\text{ppm en aire libre}}}{\text{pendiente}}\right)}$$

Ecuación 5 Fórmula para el cálculo de la resistencia de carga

Donde, R_s es la resistencia superficial y R_L es la resistencia de carga.

Para el cálculo de la resistencia superficial R_s se utiliza la ecuación:

$$R_s = \frac{V_c - V_{RL}}{V_{RL}} * R_L$$

Ecuación 6 Fórmula para el cálculo de la resistencia superficial en relación a V_c y R_L

Donde, R_s es la resistencia superficial, V_c el voltaje de entrada, V_{RL} el voltaje de salida y R_L es la resistencia de carga.

Para establecer la detección de GLP con un calibración de 1000 ppm de concentración en el aire, en la Figura 17 se muestra las curvas de sensibilidad para convertir la salida del sensor a una relación de ppm.

Para obtener la sensibilidad del sensor hacia el LPG, es necesario realiza el cálculo usando la función de potencia $y = a * x^b$, siendo “y” el eje de las ordenadas, y “x” el eje de las abscisas, quedando de la siguiente manera:

$$\frac{R_s}{R_o} = a. (ppm)^b$$

$$\frac{\frac{R_s}{R_o}}{a} = (ppm)^b$$

$$ppm = \left(\frac{\frac{R_s}{R_o}}{a}\right)^{1/b}$$

Ecuación 7. Fórmula para el cálculo de LPG en ppm

Se configura los valores de la Ecuación 7, para obtener la concentración de LPG en ppm, se reemplaza con los valores de $a= 574.25$ y $b= -2.222$.

En la Figura 18 se muestra los parámetros eléctricos del sensor, mediante un diagrama de circuito básico.

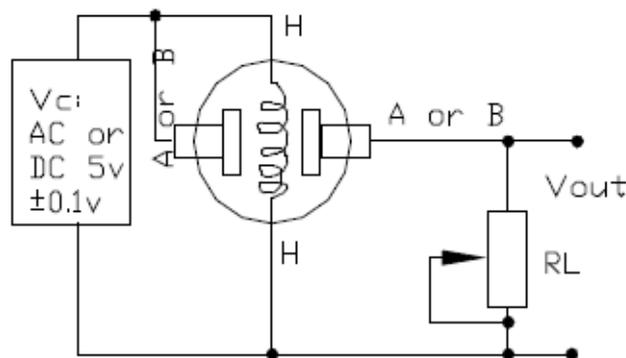


Figura 18 Circuito básico del Sensor MQ-2

Fuente: (Hanwei Electronics, n.d.)

Para determinar los diferentes gases con el sensor MQ-2 se lo realiza mediante la placa Arduino, con una distribución de pines establecido de la siguiente forma: Pin VCC

conectada a los 5V de la placa Arduino, pin GND al GND de la placa y finalmente el pin analógico del sensor conectado al pin analógico A0 de la placa Arduino, como se muestra en la Figura 19.

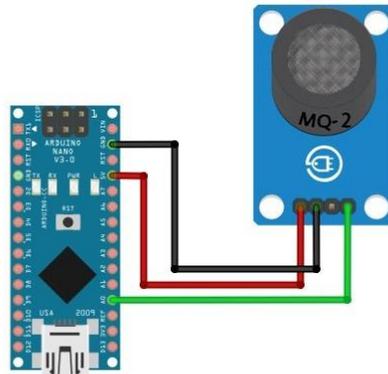


Figura 19 Diagrama de conexión del Sensor MQ-2

Fuente: Autoría

- **Sensor MQ-3**

El sensor MQ-3 tiene una alta sensibilidad al alcohol y baja sensibilidad al benceno. Está compuesto por un semiconductor de dióxido de estaño (SnO_2). En el aire limpio se tiene una baja conductividad, con la presencia del gas detectable aumenta su conductividad, las características de sensibilidad del sensor hacia el alcohol y el Hexeno se lo muestra en la Figura 20.

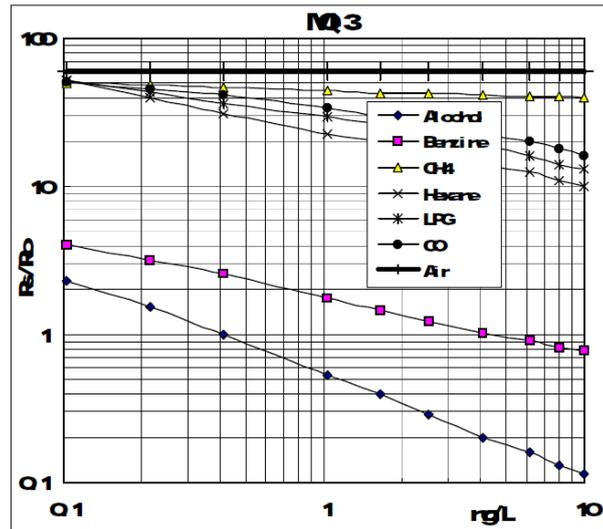


Figura 20 Características de sensibilidad del Sensor MQ-3

Fuente: (Hanwei Electronics, 2015b)

El sensor MQ-3 tiene una sensibilidad a diferentes gases con las siguientes condiciones:

Temperatura: 20°C

Humedad: 65%

R_L : 200kΩ

R_0 : Resistencia del sensor a 0.4 mg/L de *Alcohol* en el aire libre.

R_s : Resistencia del sensor a varias concentraciones de gases

La resistencia de carga R_L se lo obtiene mediante la ecuación:

$$R_L = R_s(\text{en aire limpio}) * e^{\left(\frac{\log \frac{\text{intercepto}}{\text{ppm en aire libre}}}{\text{pendiente}}\right)}$$

Ecuación 8. Fórmula para el cálculo de la resistencia de carga

Donde, R_s es la resistencia superficial y R_L es la resistencia de carga.

Para el cálculo de la resistencia superficial R_s se utiliza la ecuación:

$$R_S = \frac{V_C - V_{RL}}{V_{RL}} * R_L$$

Ecuación 9 Fórmula para el cálculo de la resistencia superficial

Donde, R_S es la resistencia superficial, V_C el voltaje de entrada, V_{RL} el voltaje de salida y R_L es la resistencia de carga.

Para establecer la detección de Hexeno con un calibración de 10 mg/L (10ppm) de concentración en el aire, en la Figura 20 se muestra las curvas de sensibilidad para convertir la salida del sensor a una relación de ppm.

Para obtener la sensibilidad del sensor MQ-3 hacia el Hexeno, es necesario realiza el cálculo usando la función de potencia $y = a * x^b$, siendo “y” el eje de las ordenadas, y “x” el eje de las abscisas, quedando de la siguiente manera:

$$\frac{R_S}{R_0} = a. (ppm)^b$$

$$\frac{R_S}{R_0} = (ppm)^b$$

$$ppm = \left(\frac{R_S}{R_0}\right)^{1/b}$$

Ecuación 10 Fórmula para el cálculo de hexeno en ppm

Se procede a configurar los valores de la Ecuación 10, para obtener la concentración de benceno en ppm, se reemplaza con los valores de $a = 574.25$ y $b = -2.222$.

En la Figura 21 se muestra los parámetros eléctricos del sensor, mediante un diagrama circuital.

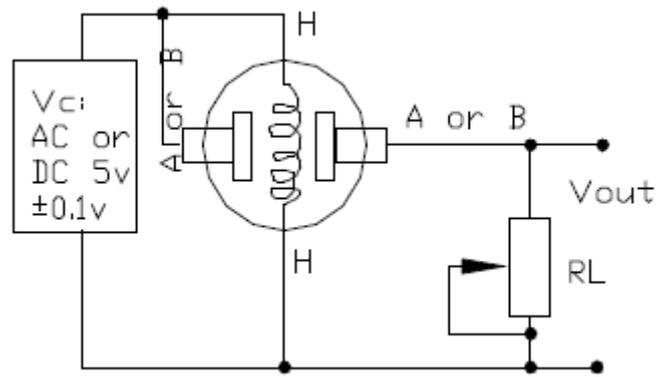


Figura 21 Circuito básico del Sensor MQ-3

Fuente: (Hanwei Electronics, 2015b)

En la Figura 22, se muestra la conexión del sensor MQ-3 para determinar los diferentes gases y se lo realiza mediante la placa Arduino, con una distribución de pines establecido de la siguiente forma: Pin VCC conectada a los 5V de la placa Arduino, pin GND al GND de la placa y finalmente el pin analógico del sensor conectado al pin analógico A1 de la placa Arduino.

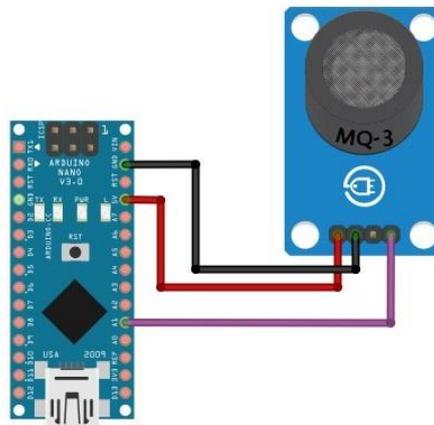


Figura 22 Diagrama de conexión del Sensor MQ-3

Fuente: Autoría

- **Sensor MQ-8**

El sensor MQ-8 es adecuado para la detección del hidrógeno (H₂) y tiene una baja sensibilidad al alcohol, GLP y humos de cocina. Está compuesto por un semiconductor

de dióxido de estaño (SnO_2), en el aire limpio se tiene una baja conductividad, con la presencia del gas detectable aumenta su conductividad, las características de sensibilidad del sensor en presencia del Hidrógeno, alcohol, GLP, amoniaco se lo muestra en la Figura 23.

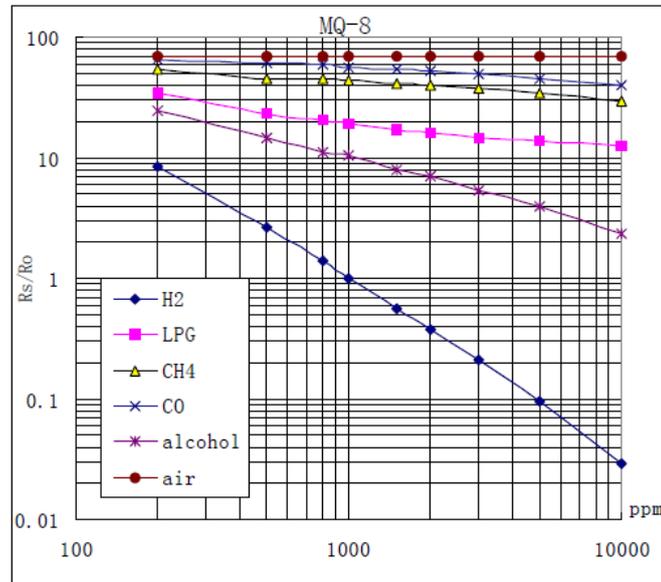


Figura 23 Características de sensibilidad del Sensor MQ-8

Fuente: (Hanwei Electronics, 2014)

El sensor MQ-8 tiene una sensibilidad a diferentes gases con las siguientes condiciones:

Temperatura: 20°C

Humedad: 65%

$R_L: 5k\Omega$

R_o : Resistencia del sensor a 1000ppm de H_2 en el aire libre.

R_s : Resistencia del sensor a varias concentraciones de gases

La resistencia de carga R_L se lo obtiene mediante la ecuación:

$$R_L = R_s(\text{en aire limpio}) * e^{\left(\frac{\log \frac{\text{intercepto}}{\text{ppm en aire libre}}}{\text{pendiente}}\right)}$$

Ecuación 11 Fórmula para el cálculo de la superficie de carga

Donde, R_s es la resistencia superficial y R_L es la resistencia de carga.

Para el cálculo de la resistencia superficial R_s se utiliza la ecuación:

$$R_s = \frac{V_c - V_{RL}}{V_{RL}} * R_L$$

Ecuación 12 Fórmula para el cálculo de la resistencia superficial

Donde, R_s es la resistencia superficial, V_c el voltaje de entrada, V_{RL} el voltaje de salida y R_L es la resistencia de carga.

Para establecer la detección de H_2 con un calibración de 1000 ppm de concentración en el aire, en la Figura 23 se muestra las curvas de sensibilidad para convertir la salida del sensor a una relación de ppm.

Si deseamos obtener la sensibilidad del sensor hacia el H_2 , es necesario realiza el cálculo usando la función de potencia $y = a * x^b$, siendo “y” el eje de las ordenadas, y “x” el eje de las abscisas, quedando de la siguiente manera:

$$\frac{R_s}{R_o} = a. (\text{ppm})^b$$

$$\frac{R_s}{R_o} = (\text{ppm})^b$$

$$\text{ppm} = \left(\frac{R_s}{R_o}\right)^{1/b}$$

Ecuación 13 Fórmula para el cálculo de H_2 en ppm

Para obtener la concentración de H₂ en ppm por parte del sensor MQ-8, se reemplaza con los valores de $a= 976.97$ y $b= -0.688$ se procede a configurar los valores de la Ecuación 13.

A continuación, en la Figura 24 se muestra el diagrama circuital del sensor.

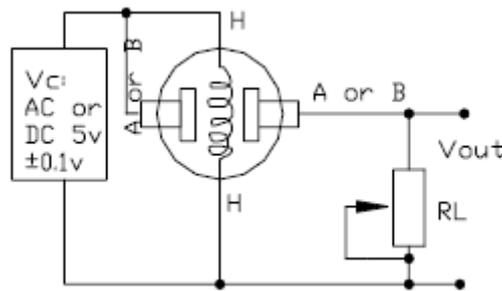


Figura 24 Circuito básico del Sensor MQ-8
Fuente: (Hanwei Electronics, 2014)

En la Figura 25, se muestra la conexión del sensor MQ-8, para determinar los gases mencionados anteriormente es necesario el uso de la placa Arduino. Se realiza una distribución de pines establecido de la siguiente forma: Pin VCC conectada a los 5V de la placa Arduino, pin GND al GND de la placa y finalmente el pin analógico del sensor conectado al pin analógico A2 de la placa Arduino.

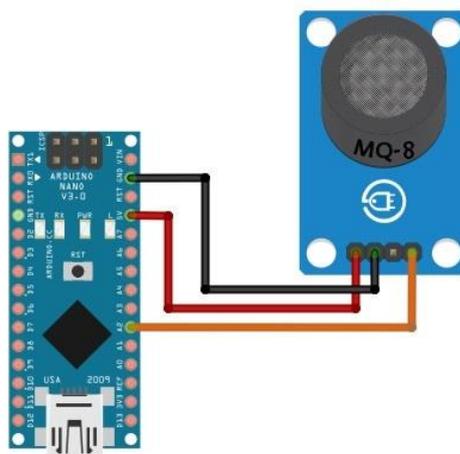


Figura 25 Diagrama de conexión del Sensor MQ-8

Fuente: Autoría

- **Sensor MQ-9**

Este sensor tiene una alta sensibilidad a los gases combustibles, son adecuados para la detección de monóxido de carbono y CH₄, como los sensores mencionados anteriormente también está compuesto por un semiconductor de dióxido de estaño (SnO₂), en el aire limpio se tiene una baja conductividad, con la presencia del gas detectable aumenta su conductividad, las características de sensibilidad del sensor en presencia de CH₄, LPG y CO, como se muestra en la Figura 26

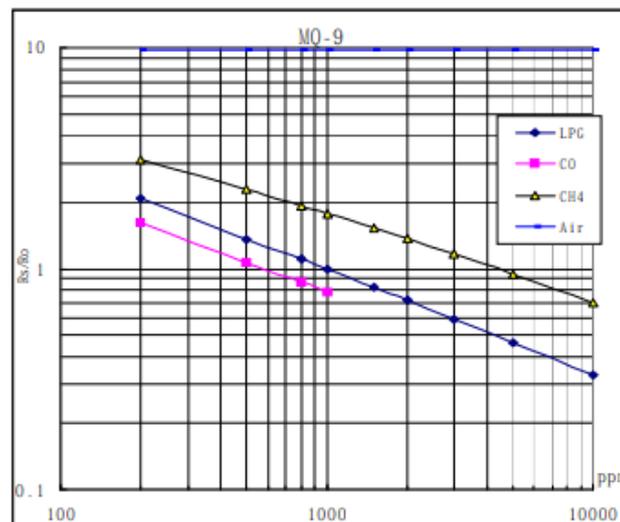


Figura 26 Características de sensibilidad del Sensor MQ-9

Fuente: (Hanwei Electronics, 2015a)

El sensor MQ-9 tiene una sensibilidad a diferentes gases con las siguientes condiciones:

Temperatura: 20°C

Humedad: 65%

R_L : 10k Ω

R_0 : Resistencia del sensor a 1000ppm de *LPG* en el aire libre.

R_s : Resistencia del sensor a varias concentraciones de gases

La resistencia de carga R_L se lo obtiene mediante la Ecuación 11, anteriormente mencionada. De la misma forma para el cálculo de la resistencia superficial R_S se utiliza la Ecuación 12.

Para establecer la detección de CH₄ con un calibración de 10 ppm de concentración en el aire, en la Figura 26 se muestra las curvas de sensibilidad para convertir la salida del sensor a una relación de ppm.

Para ello es necesario realiza el cálculo usando la función de potencia $y = a * x^b$, siendo “y” el eje de las ordenadas, y “x” el eje de las abscisas, quedando de la siguiente manera:

$$ppm = \left(\frac{R_S}{R_0} \right)^{1/b} \cdot a$$

Ecuación 14 Ecuación para el cálculo de la concentración de gases

La Ecuación 14 permite obtener la concentración de CH₄ en ppm por parte del sensor MQ-9, para ello se reemplaza con los valores de $a= 4269.6$ y $b= -2.648$.

En la Figura 27, se muestra los parámetros eléctricos del sensor, mediante un diagrama circuital.

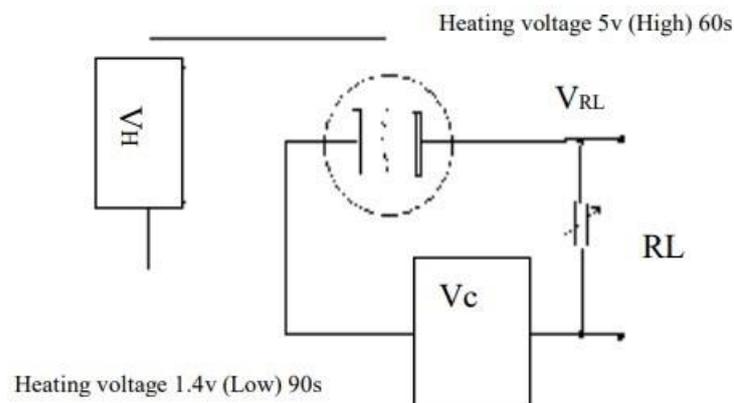


Figura 27 Circuito básico del Sensor MQ-9

Fuente: (Hanwei Electronics, 2015a)

A continuación, se muestra la conexión del sensor MQ-9, para su funcionamiento es necesario el uso de la placa Arduino. Se realiza una distribución de pines establecido de la siguiente forma: Pin VCC conectada a los 5V de la placa Arduino, pin GND al GND de la placa y finalmente el pin analógico del sensor conectado al pin analógico A4 de la placa Arduino, como se muestra en la Figura 28.

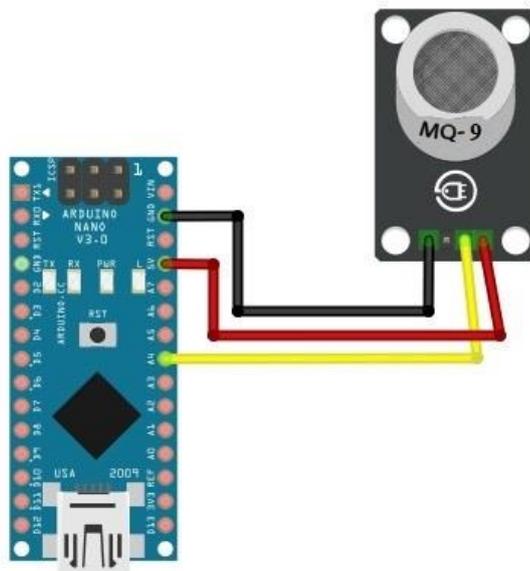


Figura 28 Diagrama de conexión del Sensor MQ-9

Fuente: Autoría

- **Sensor MQ-135**

El sensor MQ-135 se utilizan en equipos de control de calidad del aire y son adecuados para detectar NH₃, NO_x, alcohol, benceno, humo, CO₂. Está compuesto por un semiconductor de dióxido de estaño (SnO₂), en el aire limpio se tiene una baja conductividad, con la presencia del gas detectable aumenta su conductividad, las características de sensibilidad a los gases mencionados como se lo muestra en la Figura 29.

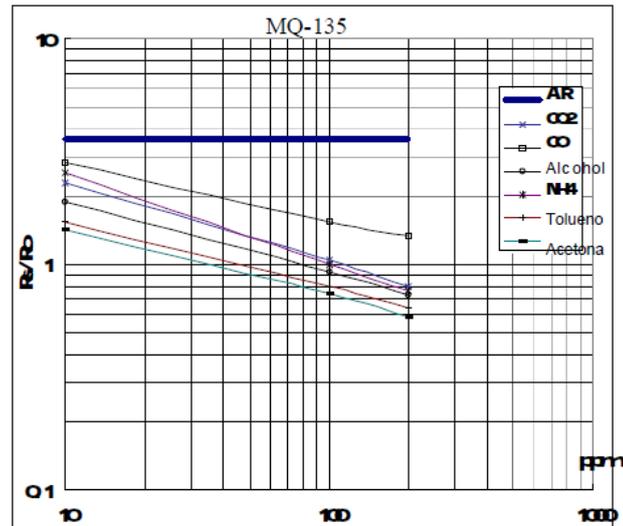


Figura 29 Características de sensibilidad del Sensor MQ-135

Fuente: (Olimex, 2012)

El sensor MQ-135 tiene una sensibilidad a diferentes gases con las siguientes condiciones:

Temperatura: 20°C

Humedad: 65%

R_L : 20k Ω

R_0 : Resistencia del sensor a 100ppm de NH_3 en el aire libre.

R_s : Resistencia del sensor a varias concentraciones de gases

La resistencia de carga R_L se lo obtiene mediante la Ecuación 11 establecida anteriormente, de la misma forma en el cálculo de la resistencia superficial R_s se utiliza la Ecuación 12.

Para establecer la detección de CO con un calibración de 1000 ppm de concentración en el aire, en la Figura 29 se muestra las curvas de sensibilidad para convertir la salida del sensor a una relación de ppm.

Para ello es necesario realiza el cálculo usando la función de potencia $y = a * x^b$, siendo “y” el eje de las ordenadas, y “x” el eje de las abscisas, quedando de la siguiente manera:

$$\frac{R_s}{R_o} = a. (ppm)^b$$

$$\frac{\frac{R_s}{R_o}}{a} = (ppm)^b$$

$$ppm = \left(\frac{\frac{R_s}{R_o}}{a}\right)^{1/b}$$

Ecuación 15 Fórmula para el cálculo de CO en ppm

Para obtener la concentración de CO en ppm por parte del sensor MQ-135 es necesario reemplazar los valores de $a= 605.18$ y $b= -3.937$ en la Ecuación 15.

En la Figura 30, se muestra los parámetros eléctricos del sensor, mediante un diagrama circuital.

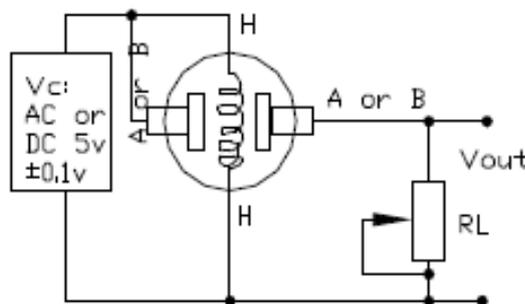


Figura 30 Circuito básico del Sensor MQ-135

Fuente: (Olimex, 2012)

Para el funcionamiento del sensor y detección de los diferentes gases mencionados anteriormente, es necesario la conexión a una placa Arduino, con una distribución de pines establecido de la siguiente forma: Pin VCC conectada a los 5V de la placa Arduino,

pin GND al GND de la placa y finalmente el pin analógico del sensor conectado al pin analógico A3 de la placa Arduino, como se muestra en la Figura 31.

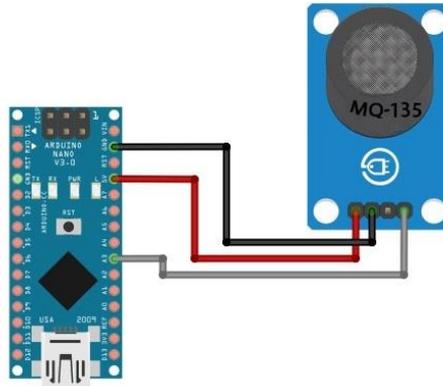


Figura 31 Diagrama de conexión del Sensor MQ-135

Fuente: Autoría

3.2.8. Diseño del circuito impreso

El diseño del circuito impreso contiene la conexión entre de los sensores de gas, los servo motores y los finales de carrera que permiten un funcionamiento de todo el sistema electrónico mediante un Arduino Mega.

Mediante el software PCB Wizard se procede con el diseño del circuito, tomando en cuenta la dimensión de los diferentes elementos y los pines establecidos para cada uno de los diferentes elementos.

En la Figura 32 se muestra el diseño del circuito impreso, se toma en cuenta los sensores de gas MQ-2, MQ-3, MQ-8, MQ-9 y MQ-135 ubicada en la parte inferior haciendo que los sensores se conecten de forma cableada por medio de unas borneras hacia los pines que permiten la conexión al Arduino, de la misma forma se tiene los pines con las borneras para la alimentación de los sensores. Además, en la parte inferior se tiene establecido los pines para dos servomotores y su respectiva alimentación.

En la parte superior se tiene los pines para la conexión de cinco finales de carrera, mediante una conexión hacia el GND del Arduino y a los pines digitales del Arduino; también se tiene dos pines para la fuente de alimentación proveniente del Arduino y para la fuente de alimentación para los servomotores.

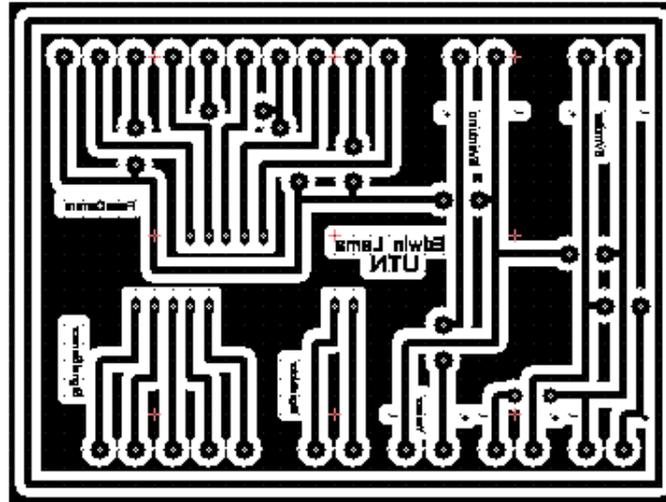


Figura 32 Diseño del circuito Impreso del sistema electrónico.

Fuente: Autoría

Una vez realizado el diseño del circuito en el software, se procede a diseñar y fabricar el circuito impreso en una placa de cobre lista para la conexión de los diferentes elementos electrónicos como se muestra en la Figura 33.

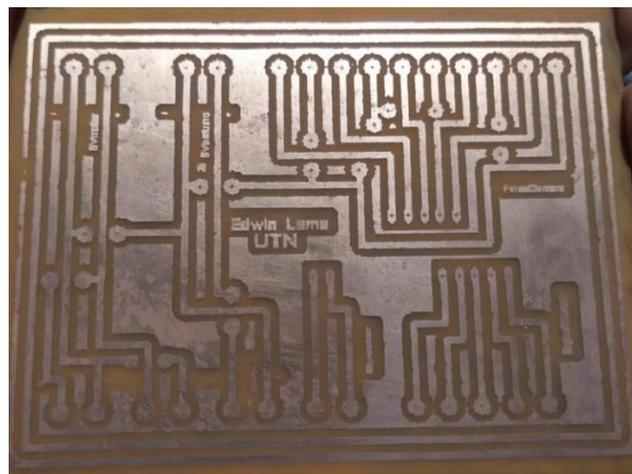


Figura 33 Circuito Impreso en placa de cobre.

Fuente: Autoría

3.3. Diseño experimental del cultivo

En esta sección se detalla la implementación del ambiente controlado de un cultivo de fresas a escala de laboratorio, en el cual se implementa las etapas de establecimiento del cultivo considerando los factores como el área a cultivar, el tipo de suelo, el método de riego, los labores del suelo y de fertilización; esta implementación del cultivo posteriormente nos permitirá realizar las mediciones usando el sistema electrónico.

3.3.1. Requerimientos del ambiente

Realizada la investigación pertinente acerca del cultivo de fresas, se establece los requerimientos para el diseño del cultivo a escala de laboratorio, los cuales se detallan a continuación:

- El cultivo debe ser establecido en zonas desde los 1200 hasta los 2500 m.s.n.m.
- El clima para su desarrollo es templado, aunque resisten los climas fríos.
- Se debe tener una humedad relativa entre los 60 y 75%, cuando se excede en humedad produce la presencia de enfermedades causadas por hongos.
- El suelo debe ser del tipo silicio-arcilloso capaz de retener el agua y ricos en materia orgánica.

3.3.2. Labores de preparación del cultivo de fresas

A continuación, se detalla el procedimiento para la elaboración de un cultivo de fresas a escala de laboratorio.

3.3.2.1. Preparación del terreno

Para un óptimo desarrollo de las fresas, es necesario quitar las malas hierbas y remover la tierra previamente añadiendo diferentes tipos de fertilizantes y técnicas de

desinfección como se muestra en la Figura 34. Este proceso se debe efectuar antes del proceso de la plantación.



Figura 34 Preparación del suelo previo al cultivo de fresas.

Fuente: Autoría

3.3.2.2. Levantamiento de camas

Una vez realizada la desinfección del suelo y desechado las malas hierbas, se procede a la nivelación de la superficie y al levantamiento de camas, las mismas que deben tener las siguientes medidas: en base 80cm, en la parte alta 60cm y una altura de 30cm. Entre las camas se tiene una distancia de 50cm como se muestra en la Figura 35.



Figura 35 Levantamiento de camas

Fuente: Autoría

3.3.2.3. Abonado

Debido a que la fresa necesita de materia orgánica para su desarrollo y evitar las enfermedades, es recomendable colocar en la capa superficial de la capa los abonos orgánicos, y posteriormente cubrirlo con una capa de tierra como se muestra en la Figura 36.



Figura 36 Abonado de las camas.

Fuente: Autoría

3.3.2.4. Colocación de riego

Para alcanzar y mantener la humedad necesaria del cultivo de fresas y tener un mejor desarrollo de la planta es necesario la implementación de un sistema de riego superficial por goteo, donde el agua se aplica directamente sobre la superficie del suelo con goteos cada 10 cm, como se muestra en la Figura 37.



Figura 37 Colocación de riego por goteo.

Fuente: Autoría.

3.3.2.5. Desinfección del suelo

La presencia de hongos, ácaros, insectos y demás parásitos son peligrosos para el cultivo de fresas, por lo tanto, es necesario realizar la desinfección del suelo antes de la plantación de las fresas. Para ello, se aplica un biocida químico que elimina parcial o totalmente a los agentes mencionados anteriormente. En la Figura 38 se muestra la aplicación del biocida químico.



Figura 38 Desinfección del suelo.

Fuente: Autoría

3.3.2.6. Cobertura del suelo

Se procede a utilizar coberturas al suelo con plástico como se muestra en la Figura 39, con el fin de evitar el crecimiento de maleza. Además, el plástico evita la evaporación del suelo convirtiéndose en un regulador hídrico, a la vez aumenta la temperatura del suelo incrementando la precocidad de la cosecha y permite obtener frutos limpios de mejor calidad. Es recomendable realizar dobles hileras en cada cama, separadas de 40 cm entre ellas y 30 cm de separación entre plantas.



Figura 39 Cobertura de las camas con plástico.

Fuente: Autoría

3.3.2.7. Plantación

Antes de realizar la plantación es necesario realizar una investigación previa a la variedad de fresa que se cultiva en la zona, siendo las que más se cultivan en Otavalo la variedad de Albión y Monterrey. Se ha seleccionado la variedad Albión por la calidad de fruta, tanto por tamaño y sabor como también por su resistencia a la sequía y a las enfermedades.

Para el cultivo, se ha adquirido raíces de la variedad Albión, como se muestra en la Figura 40.



Figura 40 Raíces de fresa variedad Albión.

Fuente: Autoría

Se realiza una preparación de las raíces antes de la siembra, se los rehidrata en agua durante 10 minutos para tener un adecuado prendimiento. Luego se los inserta en la superficie perforada para la planta como se muestra en la Figura 41, y se lo aplica el riego lo más antes posible para mantener húmeda la zona cerca de las raíces.



Figura 41 Plantación de las raíces de fresa.

Fuente: Autoría

En la Figura 42, se muestra la plantación de una cama de fresas, distribuidas en dos hileras.



Figura 42. Cultivo de camas de fresas.

Fuente: Autoría

3.3.2.8. Fertilización y Riego

El proceso de fertilización depende de los factores como la variedad de la planta y los requerimientos de nutrición y agua en el cultivo, uno de los principales factores es la composición del suelo. Para un buen desarrollo de la planta es necesario aplicar una serie de nutrientes basados en Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Sodio, Hierro, Boro y de esa forma lograr tener un suelo balanceado de forma nutricional.

Además, es necesario garantizar un sistema de riego adecuado para el cultivo teniendo en cuenta el tiempo en el que el suelo requiera de agua, para ello es necesario verificar la humedad del suelo tomando muestras y estableciendo un suministro de riego de 250 cm^3 por planta al día.

En la Figura 43 se muestra el proceso de fertilización, donde se aplican los diferentes nutrientes a la planta.



Figura 43 Fertilización del suelo.

Fuente: Autoría

3.3.2.9. Floración

A partir de las yemas terminales de la corona de la planta se desarrolla una ramificación donde aparecen varias flores como se muestra en la Figura 44, cada una de estas flores dará lugar a un fruto usualmente llamado fresa o frutilla.



Figura 44 Floración de las plantas de fresa.

Fuente: Autoría

3.4. Procesamiento de datos mediante un algoritmo de clasificación

El sistema electrónico tiene la capacidad de tomar los datos en tiempo real y generar resultados que permitan identificar los residuos de pesticidas en las fresas, por lo tanto, es necesario identificar una metodología que permita realizar el reconocimiento de patrones de datos, una de ellas es el proceso KDD (Knowledge Discover in Databases).

KDD es un proceso automático que combina el descubrimiento y análisis de datos, consiste en extraer patrones en forma de funciones o reglas a partir de los datos para que puedan ser analizados por el usuario; se basa en tareas de preprocesamiento de datos, hacer minería de datos y presentar resultados (Reyes & García, 2005).

En la Figura 45 se muestra las etapas de identificación de patrones mediante el proceso KDD que deben ser aplicados por el usuario para la toma de decisiones; consta de las siguientes etapas: selección, procesamiento(limpieza), transformación(reducción), minería de datos (data mining) e interpretación (evaluación).

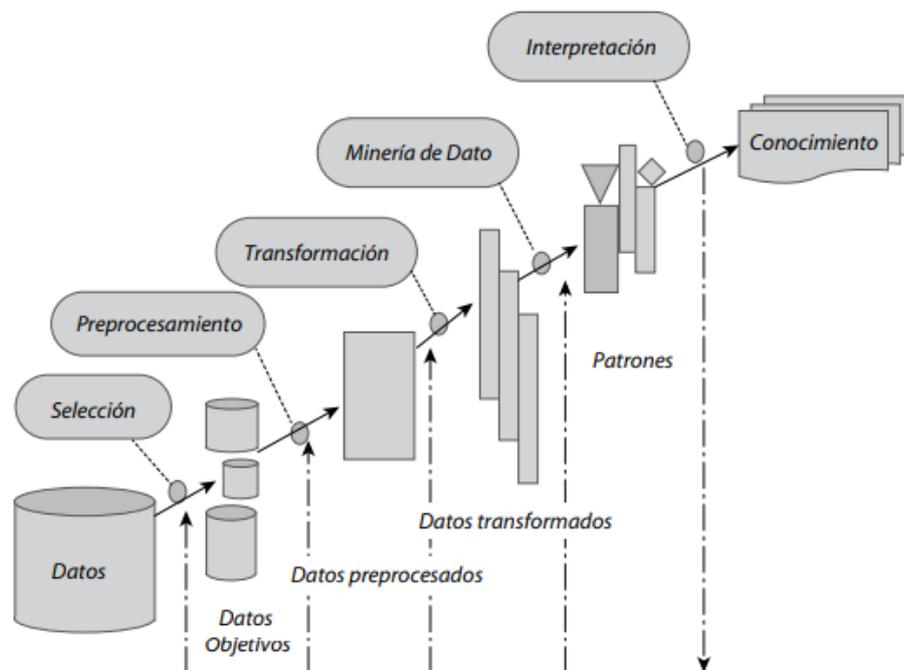


Figura 45 Etapas de proceso KDD.

Fuente: (Reyes & García, 2005)

Para establecer el modelo que permita identificar los diferentes niveles de pesticida que se aplican en los cultivos de fresa, se utiliza un modelo de clasificación que permita la clasificación de los diferentes pesticidas que se aplican, para ello es necesario utilizar una cierta cantidad de muestras utilizando el contenedor que posee a los sensores, para lo cual se procedió a realizar la toma de muestras con cada uno de los pesticidas que se aplican.

Se toma en cuenta 5 pesticidas los cuales son los más aplicados por los agricultores, tales como son: Sharamida, Tieso, Fullmectin, Kañón y Circón con la dosis establecida en la Tabla

Tabla 29 Dosis establecida de pesticida.

Plaguicida	Dosis de aplicación
Kañón	20mL/20L
Circón	25gr/20L
Fullmectin	25mL/20L
Sharamida	20mL/20L

Fuente: Autoría

Para el proceso de procesamiento de los datos y entrenamiento del modelo de Machine Learning se usa la dosis establecida en la Tabla 29, los datos son tomados al instante de la aplicación de la dosis de plaguicida sobre la fresa.

3.4.1. Etapa de selección de datos

Se inicia con el proceso de selección y toma de datos, se crea una base de datos con un conjunto de datos objetivo mediante los datos provenientes de los diferentes sensores electroquímicos. Para ello, se realiza una prueba de tiempos de muestreo de cada uno de los sensores y se lo almacena en un documento en el software de Microsoft Excel para una mayor facilidad y tratamiento de los datos.

3.4.1.1. Establecimiento del tiempo de muestreo

Se procede a realizar una serie de pruebas utilizando el dispositivo electrónico, para ello, se realiza diferentes pruebas con diferentes tiempos de muestreo.

En la Figura 46 se observa la toma de datos durante 4 minutos, se inicia con la toma de datos sin pesticida durante 1 minutos, 2 minutos con el pesticida y 1 minuto sin el pesticida, estos datos son pertenecientes al sensor MQ-2 capaz de detectar los niveles de GLP.

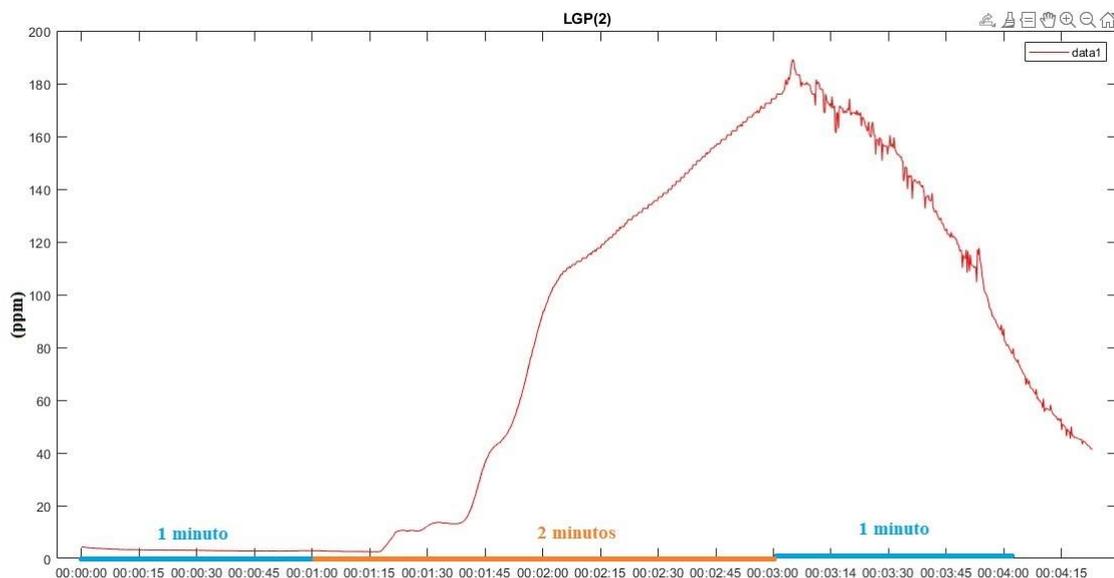


Figura 46 Datos de LGP en un tiempo de muestreo de 4 minutos

Fuente: Autoría

En la Figura 46 se observa que dentro de los 2 minutos con pesticida la curva sigue creciendo exponencialmente de manera drástica, por lo tanto, el tiempo de muestreo debe ser superior, hasta que los datos del sensor se equilibren.

A continuación, se realiza las pruebas con un tiempo de muestreo superior, se establece un tiempo de 7 minutos, de los cuales 2 minutos sin pesticida, 2 minutos con pesticida y 3 sin pesticida como se muestra en la Figura 47. Se observa que durante los 3

minutos de exposición al pesticida la curva crece de forma drástica y no se tiene una estabilidad en el crecimiento de la curva.

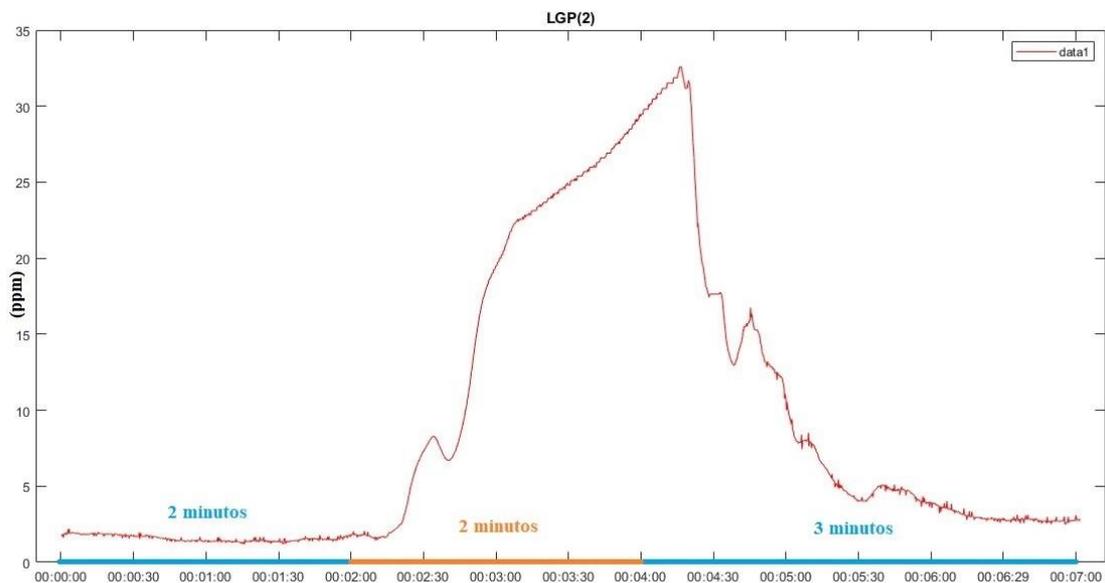


Figura 47 Datos de GLP en un tiempo de muestreo de 7 minutos

Fuente: Autoría

De la misma forma se realiza un toma de muestras durante 15 minutos, del cual se inicia con 2 minutos sin presencia de ningún pesticida, 10 minutos con pesticida y 3 minutos sin pesticida. En la Figura 48 se observa la gráfica se observa el comportamiento mediante la curva que permite analizar la presencia de pesticida y su crecimiento en el tiempo establecido. La curva tiende a tener una estabilidad a su máximo nivel, pero no es suficiente por lo tanto es necesario aumentar el tiempo de muestreo.

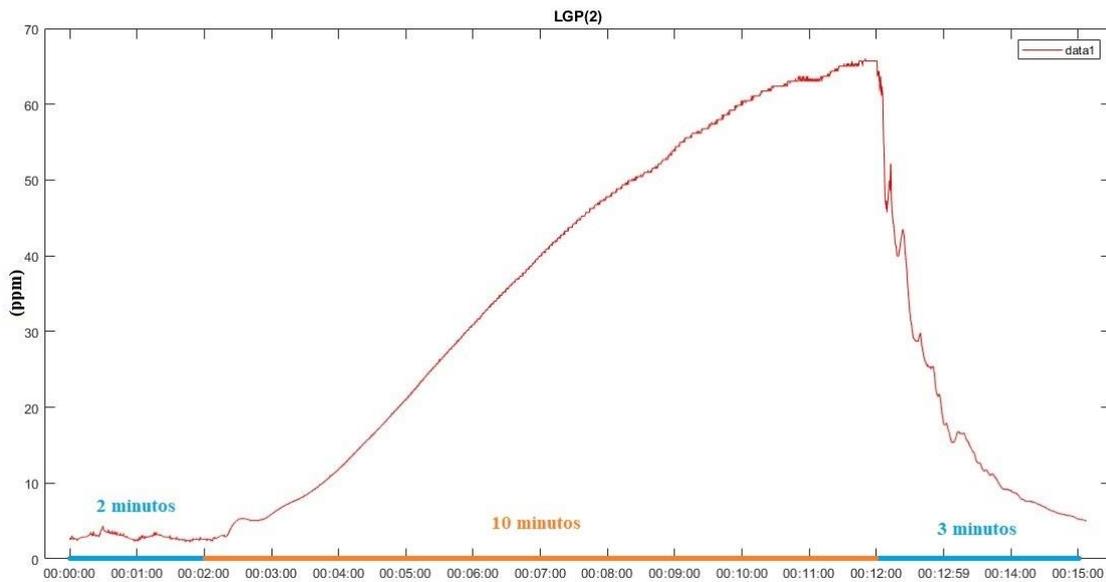


Figura 48 Datos de GLP en un tiempo de muestreo de 15 minutos

Fuente: Autoría

Realizada las diferentes pruebas en diferentes tiempos de muestreo, se establece un tiempo superior a los realizados anteriormente. Se realiza una muestreo de 20 minutos, del cual se establece 5 minutos sin pesticida, tiempo estimado para que los sensores se calibren, seguido de 10 minutos con pesticida y finalmente 5 minutos sin pesticida como se muestra en la Figura 49, tomando un total de 2402 muestras en 20 minutos.

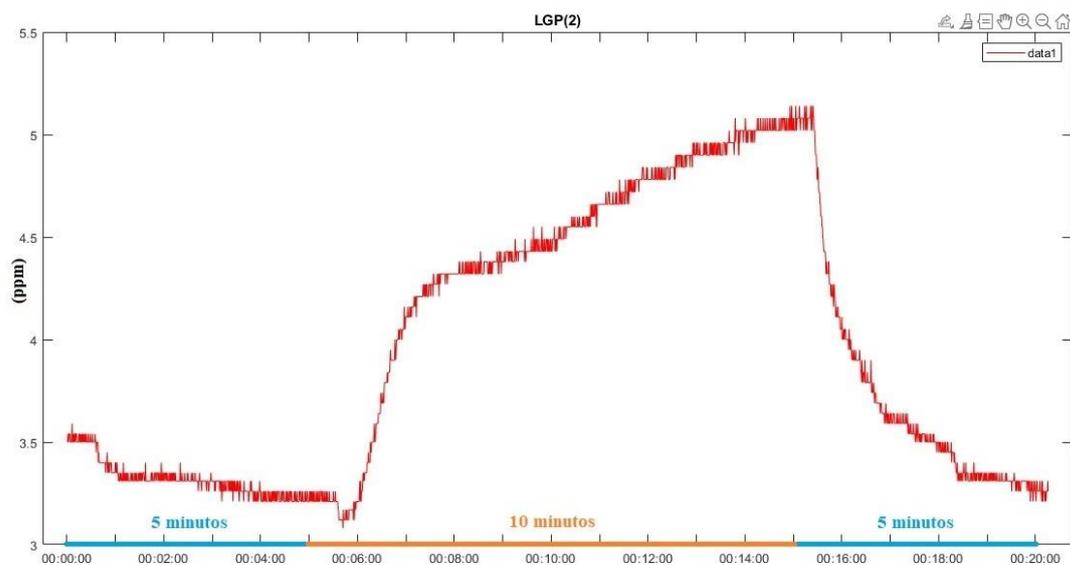


Figura 49 Datos de GLP en un tiempo de muestreo de 20 minutos

Fuente: Autoría

3.4.1.2. Toma de muestras de pesticidas

Se procede con la toma de muestras de 5 pesticidas los cuales son los más aplicados por los agricultores, tales como son: Sharamida, Tieso, Fullmectin, Kañón y Circón.

- Fullmectin

Se inicia con la toma de muestras con el tiempo establecido de 20 minutos utilizando el pesticida con el nombre de Fullmectin, aplicado una dosis de 20ml/litro. Los datos obtenidos se lo van almacenando en un Excel como se muestra en la Figura 50 que posteriormente se lo utilizara para generar una base de datos.

	TIEMPO	1 LGP(2)	2 HEXENO(3)	3 H2(8)	4 CH4(9)	5 CO(135)
1	00:00:00	3.5700	0.0600	52.4300	10.5500	3.8800
2	00:00:01	3.5700	0.0600	52.2600	10.5500	3.8800
3	00:00:01	3.5700	0.0600	52.2600	10.4200	3.8800
4	00:00:02	3.5700	0.0600	52.2600	10.4800	3.8800
5	00:00:02	3.5700	0.0600	52.4300	10.4200	3.9700
6	00:00:03	3.5700	0.0600	52.4300	10.4200	3.8800
7	00:00:03	3.5700	0.0600	52.4300	10.4200	3.8800
8	00:00:04	3.5700	0.0700	52.2600	10.4200	3.8800
9	00:00:04	3.5700	0.0600	52.2600	10.4200	3.7800
10	00:00:04	3.5700	0.0600	52.2600	10.4200	3.8800
11	00:00:05	3.5700	0.0600	52.4300	10.4200	3.8800
12	00:00:06	3.5700	0.0600	52.2600	10.4200	3.8800
13	00:00:06	3.5700	0.0600	52.2600	10.4200	3.7800
14	00:00:07	3.5700	0.0600	52.4300	10.3500	3.7800
15	00:00:07	3.5700	0.0600	52.2600	10.3500	3.7800
16	00:00:08	3.5700	0.0600	52.2600	10.2800	3.8800
17	00:00:08	3.5200	0.0600	52.2600	10.3500	3.8800
18	00:00:09	3.5700	0.0600	52.2600	10.2800	3.7800

Figura 50 Datos obtenidos por los sensores del pesticida Fullmectin.

Fuente: Autoría

Se realiza la toma de datos por 20 veces, una cantidad que nos permite obtener un modelo que identifique al gas GLP en el pesticida Fullmectin como se muestra en la Figura 51 utilizando el sensor MQ-2.

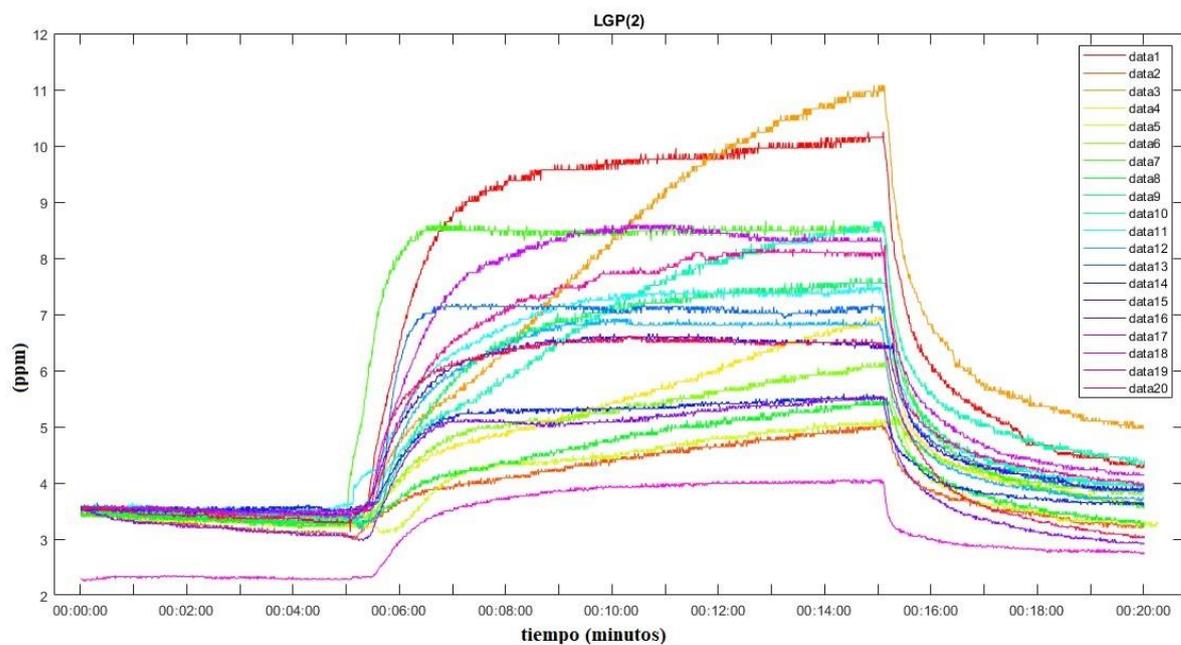


Figura 51 Datos de GLP en el pesticida Fullmectin

Fuente: Autoría

De la misma forma se obtiene los datos obtenidos por el sensor MQ-3 que detecta la presencia de gas Hexeno en el pesticida Fullmectin, se lo toma los datos por 20 veces como se muestra en la Figura 52.

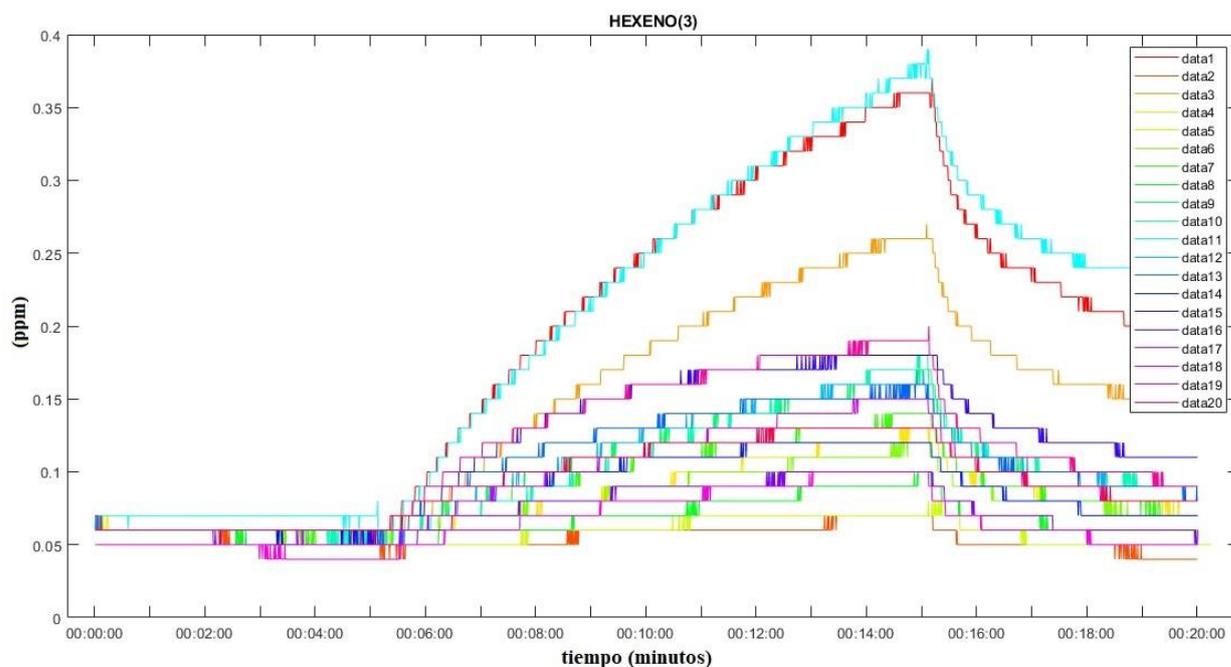


Figura 52 Datos de Hexeno en el pesticida Fullmectin

Fuente: Autoría

En la Figura 53 se muestra la gráfica de 20 muestras de H₂ detectado en el pesticida Fullmectin tomadas usando el sensor MQ-8.

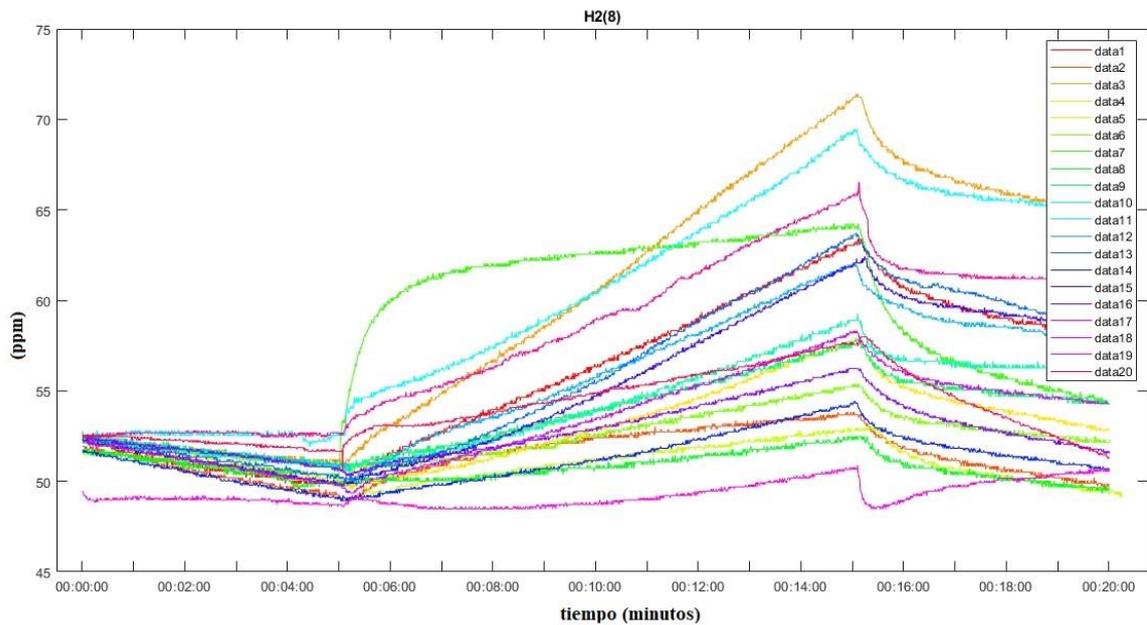


Figura 53 Datos de H₂ en el pesticida Fullmectin

Fuente: Autoría

Así mismo, se observa la gráfica de 20 muestras obtenidas mediante el sensor MQ-9 al detectar CH₄ utilizando el pesticida Fullmectin como se muestra en la Figura 54.

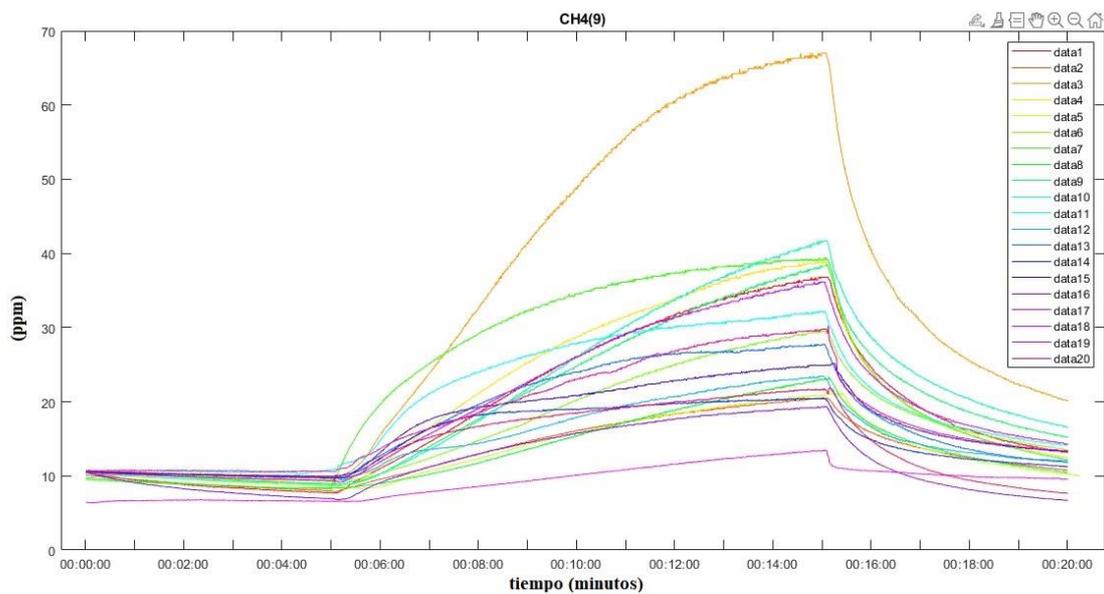


Figura 54 Datos de CH₄ en el pesticida Fullmectin

Fuente: Autoría

Por último, en la Figura 55 se muestra las gráficas de 20 muestras tomadas con el sensor MQ-135 que detecta la presencia de CO en el pesticida Fullmectin.

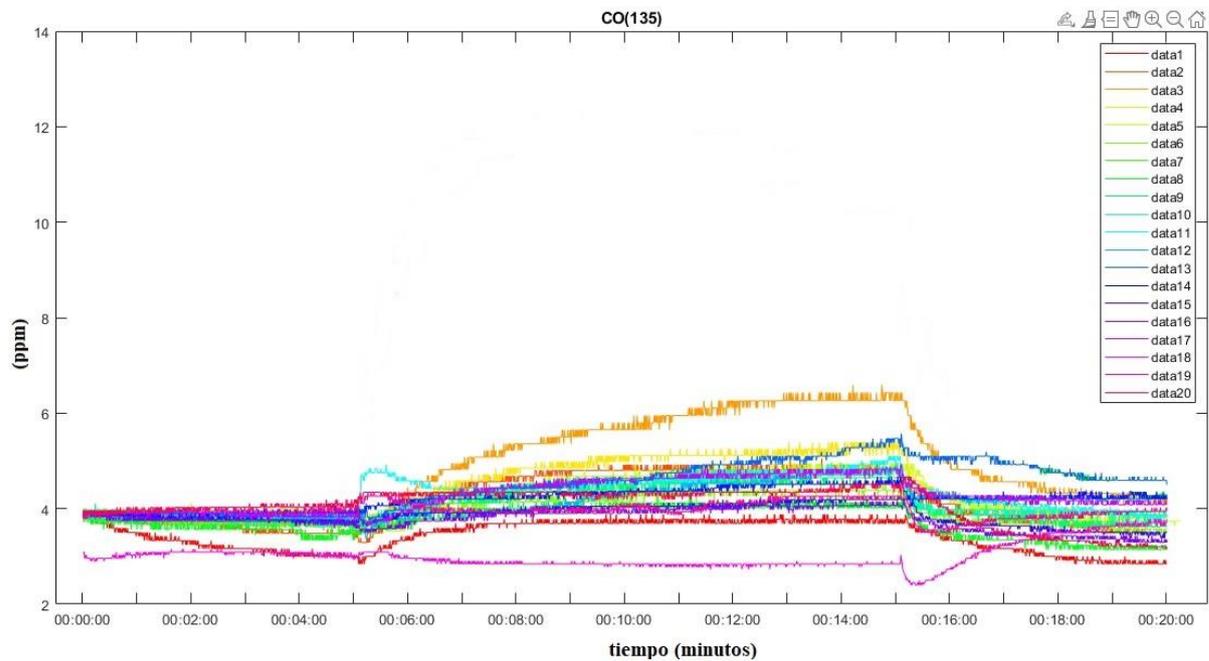


Figura 55 Datos de CO en el pesticida Fullmectin

Fuente: Autoría

- Sharamida

Se toma las muestras con el tiempo establecido de 20 minutos utilizando el pesticida con el nombre de Sharamida, aplicado una dosis de 20ml/litro. Los datos obtenidos se lo van almacenando en un Excel como se muestra en la Figura 56 que posteriormente se lo utilizara para generar una base de datos.

	TIEMPO	1 LGP(2)	2 HEXENO(3)	3 H2(8)	4 CH4(9)	5 CO(135)
1	00:00:00	3.5700	0.0600	52.2900	10.6000	3.7800
2	00:00:01	3.5700	0.0600	52.1600	10.5200	3.6600
3	00:00:01	3.5700	0.0600	52.1600	10.5200	3.6600
4	00:00:02	3.5700	0.0600	52.2900	10.6000	3.7200
5	00:00:02	3.5700	0.0600	52.2900	10.6000	3.7200
6	00:00:03	3.6200	0.0600	52.2900	10.5200	3.7200
7	00:00:03	3.6700	0.0600	52.2900	10.6000	3.7200
8	00:00:04	3.6200	0.0600	52.1600	10.5200	3.7200
9	00:00:04	3.5700	0.0600	52.1600	10.5200	3.6600
10	00:00:04	3.5700	0.0600	52.1600	10.5200	3.6600
11	00:00:05	3.5700	0.0600	52.1600	10.5200	3.7200
12	00:00:06	3.5700	0.0600	52.2900	10.5200	3.6600
13	00:00:06	3.5700	0.0600	52.2900	10.5200	3.7200
14	00:00:07	3.6200	0.0600	52.1600	10.6000	3.6600
15	00:00:07	3.5700	0.0600	52.1600	10.5200	3.7200
16	00:00:08	3.5700	0.0600	52.2900	10.5200	3.6600
17	00:00:08	3.5700	0.0600	52.1600	10.5200	3.6600
18	00:00:09	3.5700	0.0600	52.1600	10.5200	3.6600

Figura 56 Datos obtenidos por los sensores del pesticida Sharamida

Fuente: Autoría

Se toma los datos por 20 veces, una cantidad que nos permite obtener un modelo que identifique al gas GLP en el pesticida Sharamida como se muestra en la Figura 57 utilizando el sensor MQ-2.

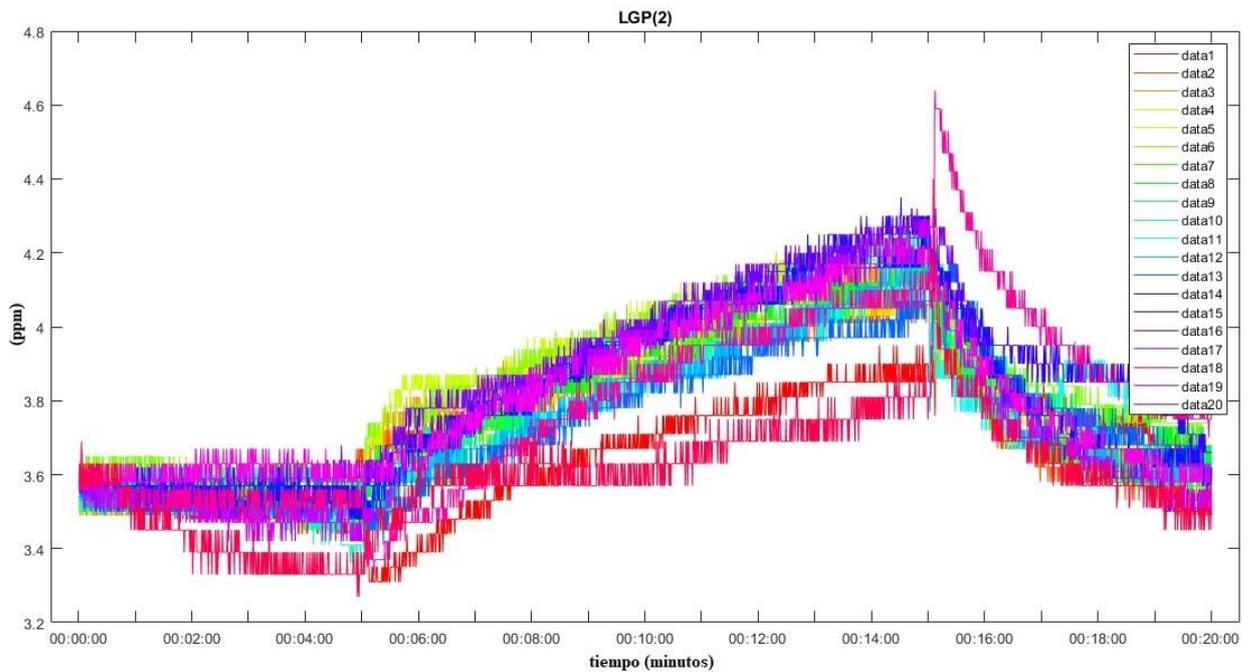


Figura 57 Datos de GLP en el pesticida Sharamida

Fuente: Autoría

De la misma forma se obtiene los datos obtenidos por el sensor MQ-3 que detecta la presencia de gas Hexeno en el pesticida Sharamida, se lo toma los datos por 20 veces como se muestra en la Figura 58.

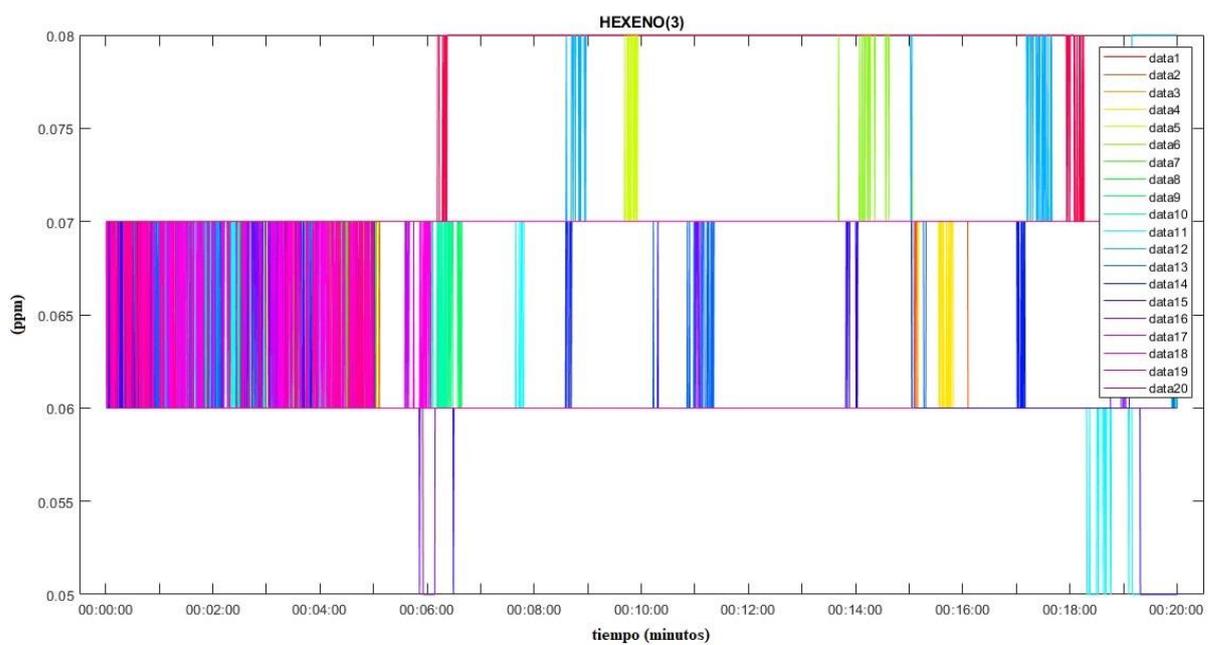


Figura 58 Datos de Hexeno en el pesticida Sharamida

Fuente: Autoría

Así mismo, en la Figura 59 se muestra la gráfica de 20 muestras de H₂ detectado en el pesticida Sharamida tomadas usando el sensor MQ-8.

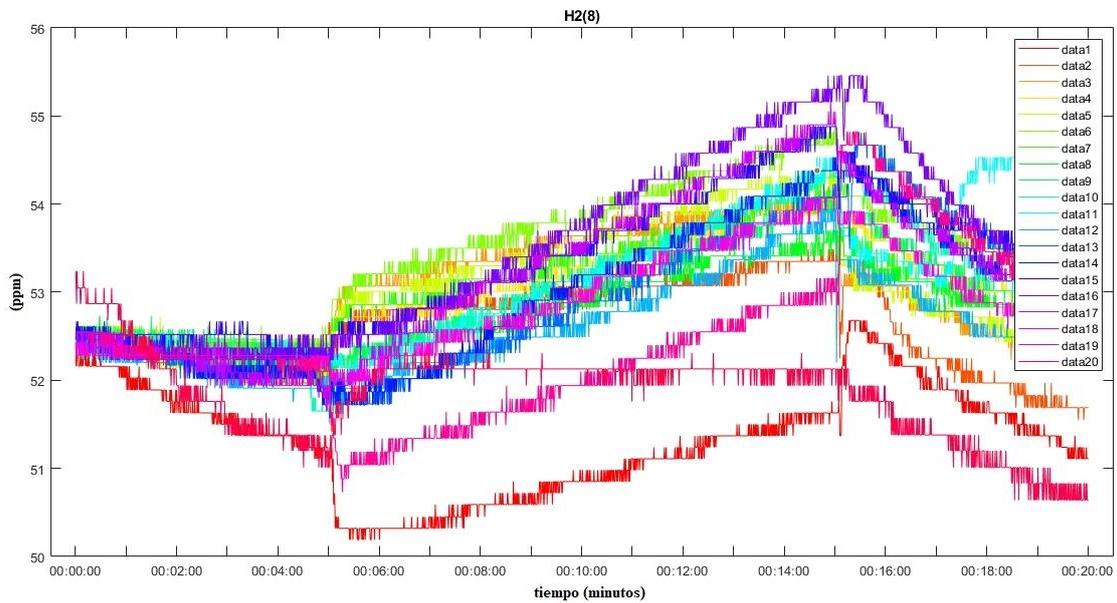


Figura 59 Datos de H₂ en el pesticida Sharamida

Fuente: Autoría

Se observa la gráfica de 20 muestras obtenidas mediante el sensor MQ-9 al detectar CH₄ utilizando el pesticida Sharamida como se muestra en la Figura 60.

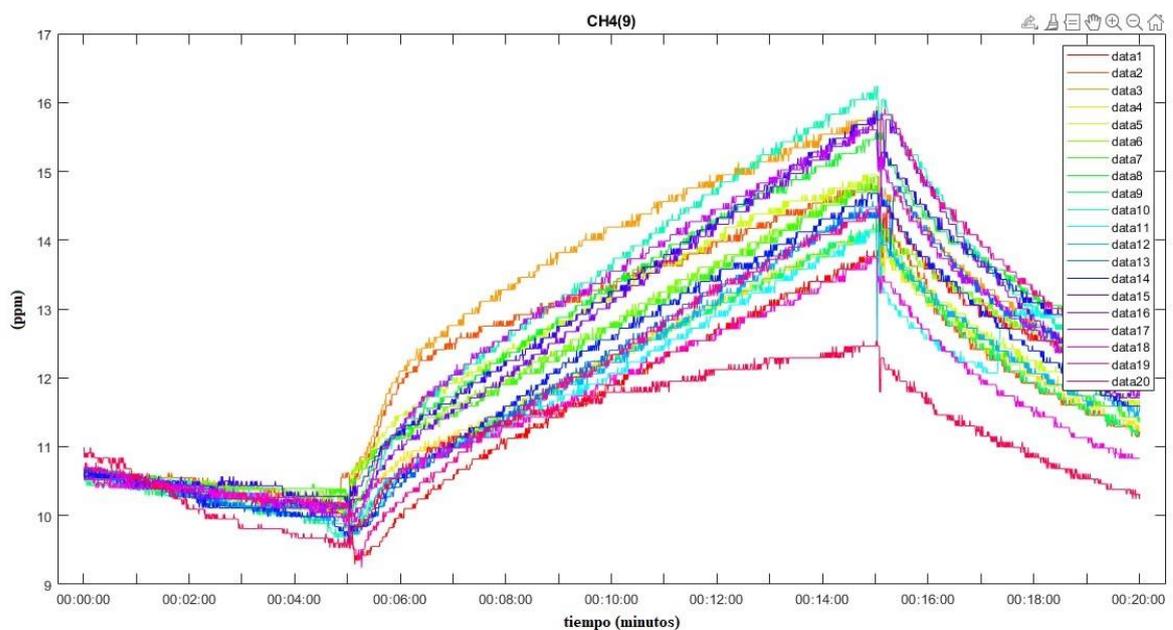


Figura 60 Datos de CH₄ en el pesticida Sharamida

Fuente: Autoría

Finalmente, en la Figura 61 se muestra las gráficas de 20 muestras tomadas con el sensor MQ-135 que detecta la presencia de CO en el pesticida Sharamida.

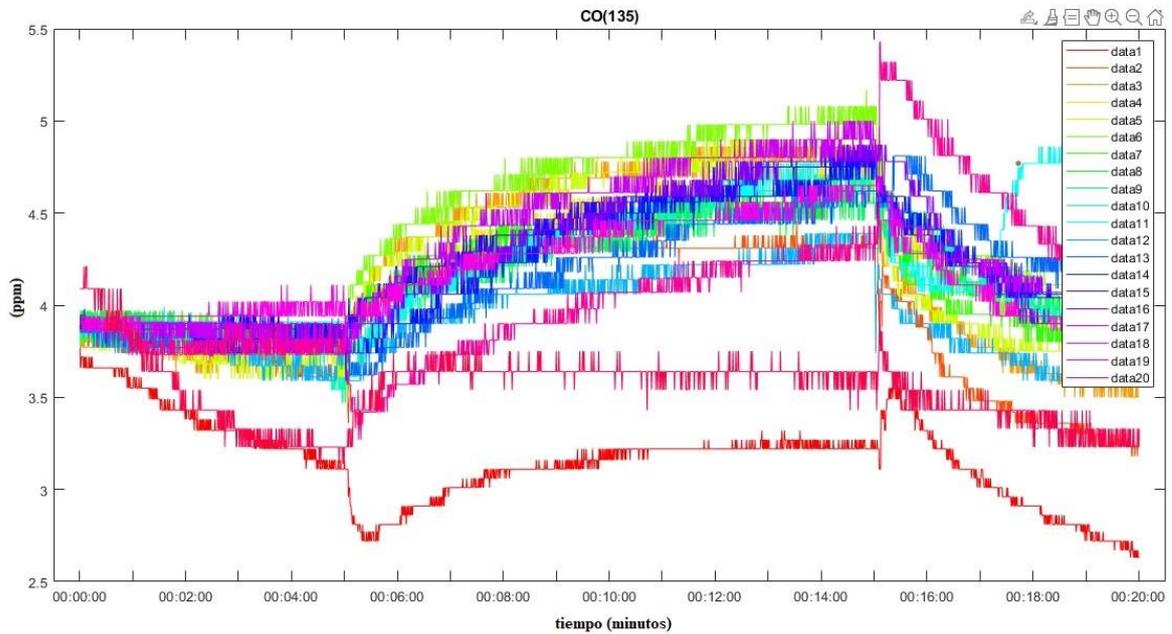


Figura 61 Datos de CO en el pesticida Sharamida

Fuente: Autoría

- Kañón

De la misma forma, se toma las muestras con el tiempo establecido de 20 minutos utilizando el pesticida con el nombre de Kañón, aplicado una dosis de 20ml/litro. Los datos obtenidos se lo van almacenando en un Excel como se muestra en la Figura 62 que posteriormente se lo utilizara para generar una base de datos.

	1 TIEMPO	2 LGP2	3 HEXENO3	4 H28	5 CH49	6 CO135
1	5.7870e-06	3.5200	0.0700	52.5800	10.5200	3.8700
2	1.1574e-05	3.5200	0.0700	52.4400	10.5200	3.8700
3	1.7361e-05	3.5900	0.0700	52.7100	10.5200	3.8700
4	2.3148e-05	3.5200	0.0700	52.4400	10.5200	3.8700
5	2.8935e-05	3.5200	0.0700	52.4400	10.5200	3.9300
6	3.4722e-05	3.5600	0.0700	52.5800	10.5200	3.8700
7	4.0509e-05	3.5200	0.0700	52.5800	10.5200	3.9300
8	4.6296e-05	3.5600	0.0700	52.4400	10.5200	3.9300
9	5.2083e-05	3.5200	0.0700	52.4400	10.5200	3.8700
10	5.7870e-05	3.5200	0.0700	52.5800	10.5200	3.8700
11	6.3657e-05	3.5200	0.0700	52.4400	10.5200	3.8700
12	6.9444e-05	3.5600	0.0700	52.4400	10.5200	3.8700
13	7.5231e-05	3.5200	0.0700	52.4400	10.5200	3.9300
14	8.1019e-05	3.5200	0.0700	52.4400	10.5800	3.8700
15	8.6806e-05	3.5200	0.0700	52.4400	10.5200	3.9300
16	9.2593e-05	3.5200	0.0700	52.4400	10.5200	3.9300
17	9.8380e-05	3.5200	0.0700	52.4400	10.5200	3.9300
18	1.0417e-04	3.5200	0.0700	52.4400	10.5200	3.8700

Figura 62 Datos obtenidos por los sensores del pesticida Kañón

Fuente: Autoría

Se toma los datos por 20 veces, una cantidad que nos permite obtener un modelo que identifique al gas GLP en el pesticida Kañón como se muestra en la Figura 63 utilizando el sensor MQ-2.

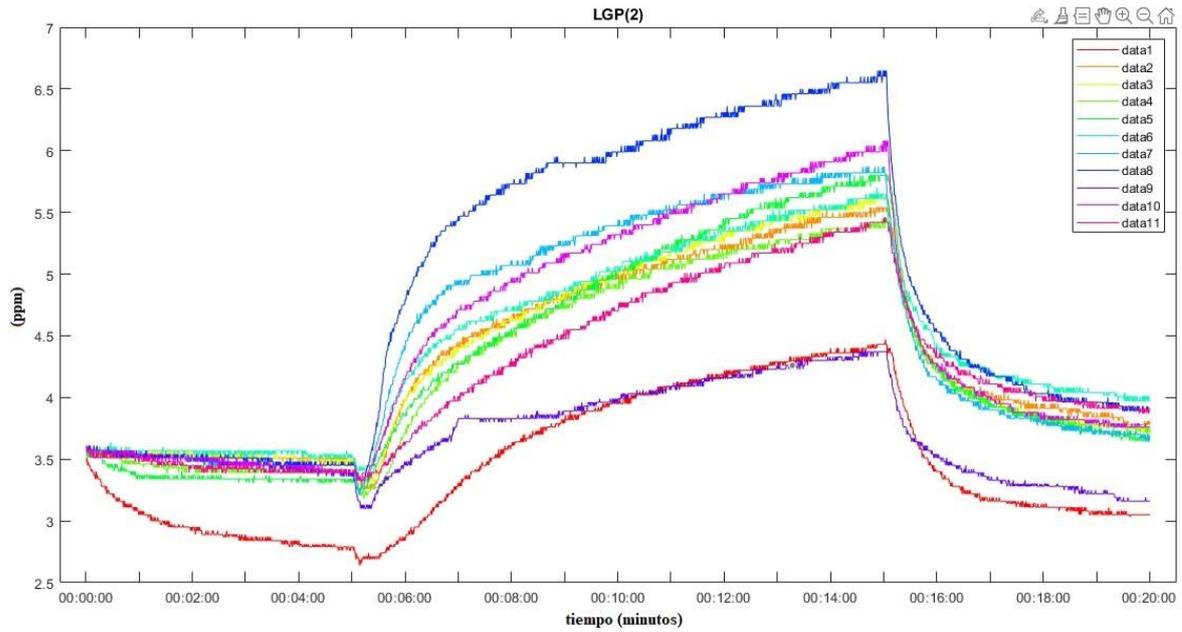


Figura 63 Datos de GLP en el pesticida Kañón

Fuente: Autoría

También se indica los datos obtenidos por el sensor MQ-3 que detecta la presencia de gas Hexeno en el pesticida Kañón, se lo toma los datos por 20 veces como se muestra en la Figura 64.

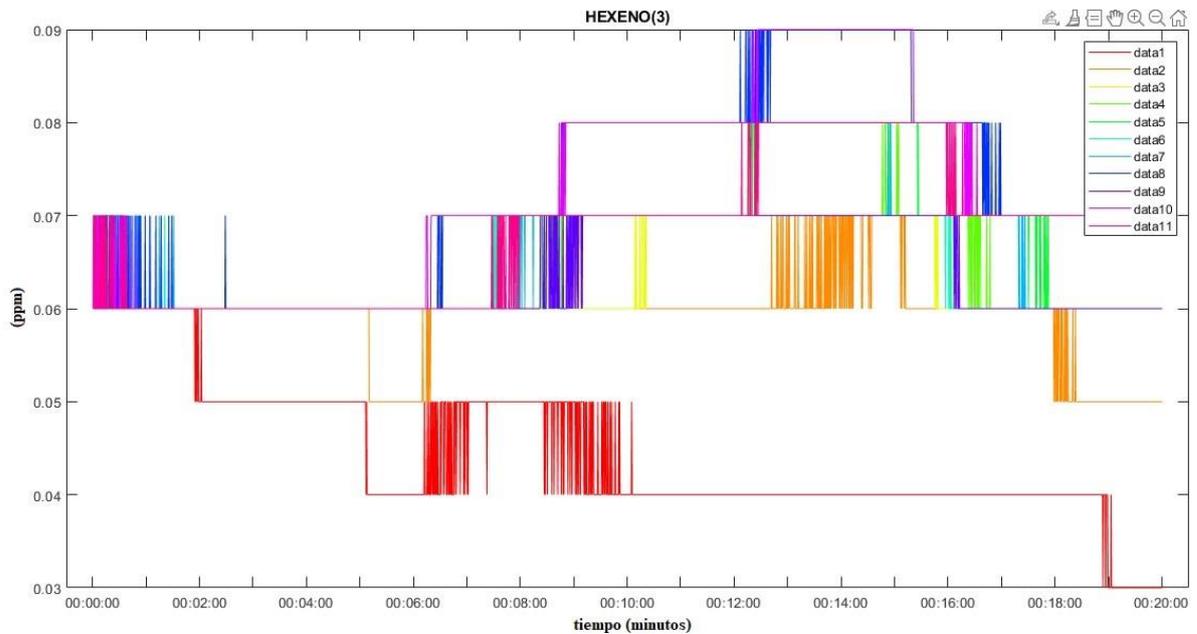


Figura 64 Datos de Hexeno en el pesticida Kañón

Fuente: Autoría

Así mismo, en la Figura 65 se muestra la gráfica de 20 muestras de H₂ detectado en el pesticida Kañón tomadas usando el sensor MQ-8.

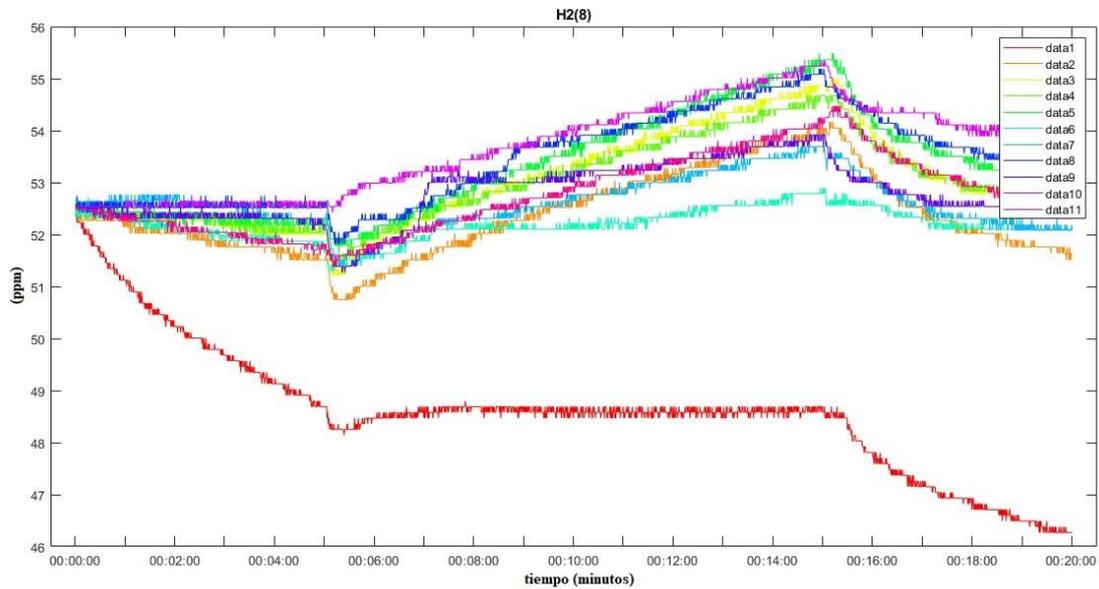


Figura 65 Datos de H₂ en el pesticida Kañón

Fuente: Autoría

De la misma manera, se observa la gráfica de 20 muestras obtenidas mediante el sensor MQ-9 al detectar CH₄ utilizando el pesticida Kañón como se muestra en la Figura 66.

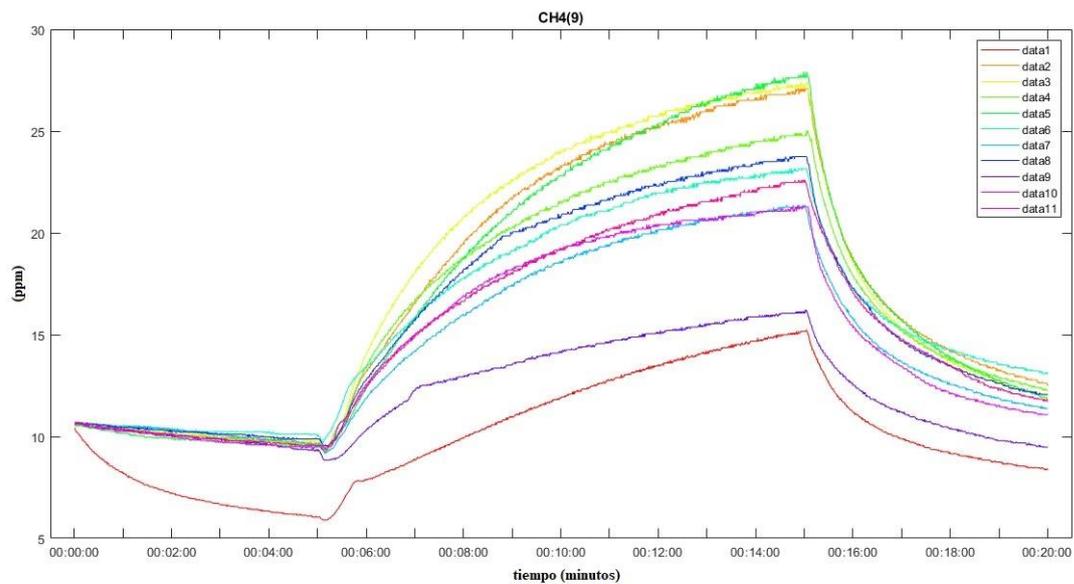


Figura 66 Datos de CH₄ en el pesticida Kañón

Fuente: Autoría

Por último, en la Figura 67 se muestra las gráficas de 20 muestras tomadas con el sensor MQ-135 que detecta la presencia de CO en el pesticida Kañón.

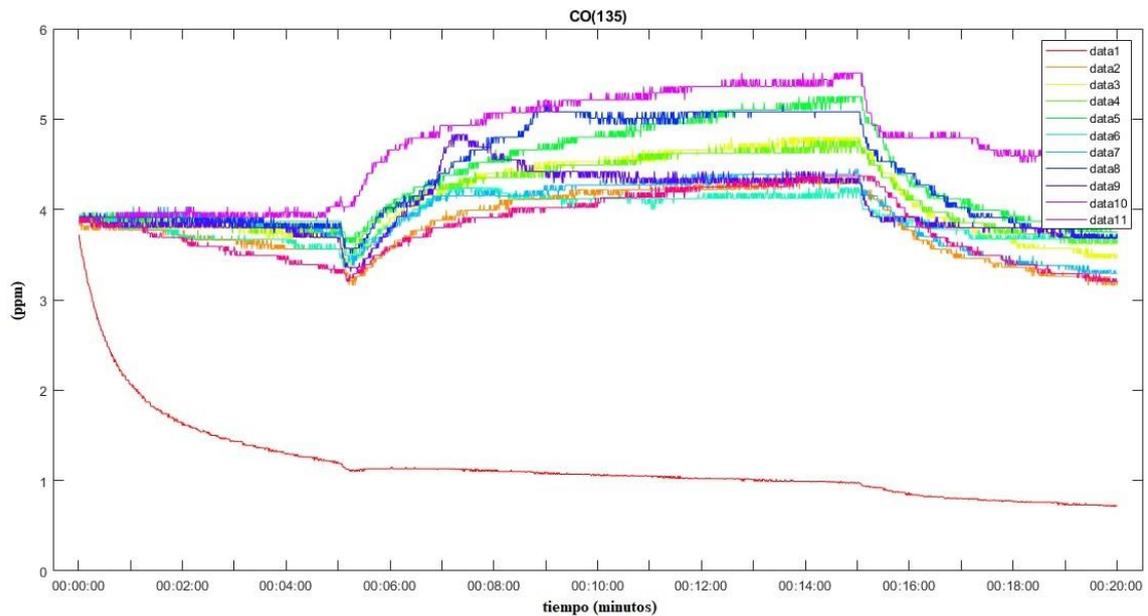


Figura 67 Datos de CO en el pesticida Kañón

Fuente: Autoría

- Circón

Con el pesticida Circón, se toma las muestras con el tiempo establecido de 20 minutos, aplicado una dosis de 20ml/litro. Los datos obtenidos se lo van almacenando en un Excel como se muestra en la Figura 68 que posteriormente se lo utilizara para generar una base de datos.

	1 TIEMPO	2 LGP2	3 HEXENO3	4 H28	5 CH49	6 CO135	7
1	5.7870e-06	3.5600	0.0600	52.4600	10.4600	3.8500	
2	1.1574e-05	3.6600	0.0700	52.4600	10.5300	3.7700	
3	1.7361e-05	3.6100	0.0600	52.6100	10.6100	3.7700	
4	2.3148e-05	3.6600	0.0700	52.7700	10.6800	3.8500	
5	2.8935e-05	3.6600	0.0700	52.6100	10.6100	3.7700	
6	3.4722e-05	3.6600	0.0700	52.7700	10.7600	3.9300	
7	4.0509e-05	3.6600	0.0700	52.6100	10.6100	3.9300	
8	4.6296e-05	3.6600	0.0700	52.6100	10.6800	3.8500	
9	5.2083e-05	3.6600	0.0700	52.7700	10.7600	3.9300	
10	5.7870e-05	3.6100	0.0700	52.6100	10.6100	3.8500	
11	6.3657e-05	3.6600	0.0700	52.6100	10.6800	3.8500	
12	6.9444e-05	3.7100	0.0700	52.9200	10.9100	3.9300	
13	7.5231e-05	3.7100	0.0700	52.7700	10.7600	3.8500	
14	8.1019e-05	3.6600	0.0700	52.7700	10.7600	3.7700	
15	8.6806e-05	3.6600	0.0700	52.7700	10.7600	3.9300	
16	9.2593e-05	3.7100	0.0700	52.9200	10.8400	3.9300	
17	9.8380e-05	3.6600	0.0700	52.6100	10.6100	3.7700	
18	1.0417e-04	3.6600	0.0700	52.6100	10.6800	3.9300	

Figura 68 Datos obtenidos por los sensores del pesticida Circón

Fuente: Autoría

Se realiza la toma de datos por 20 veces, una cantidad que nos permite obtener un modelo que identifique al gas GLP en el pesticida Circón utilizando el sensor MQ-2, como se muestra en la Figura 69.

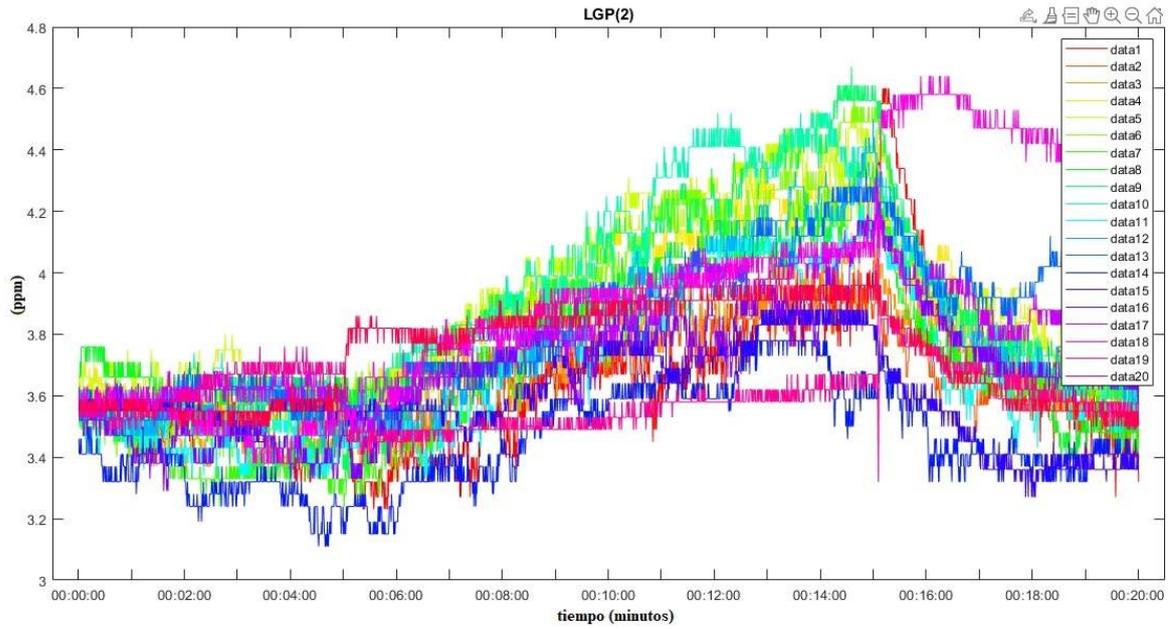


Figura 69 Datos de GLP en el pesticida Circón

Fuente: Autoría

Mediante el sensor MQ-3 que detecta la presencia de gas Hexeno en el pesticida Circón, se toman los datos por 20 veces como se muestra en la Figura 70.

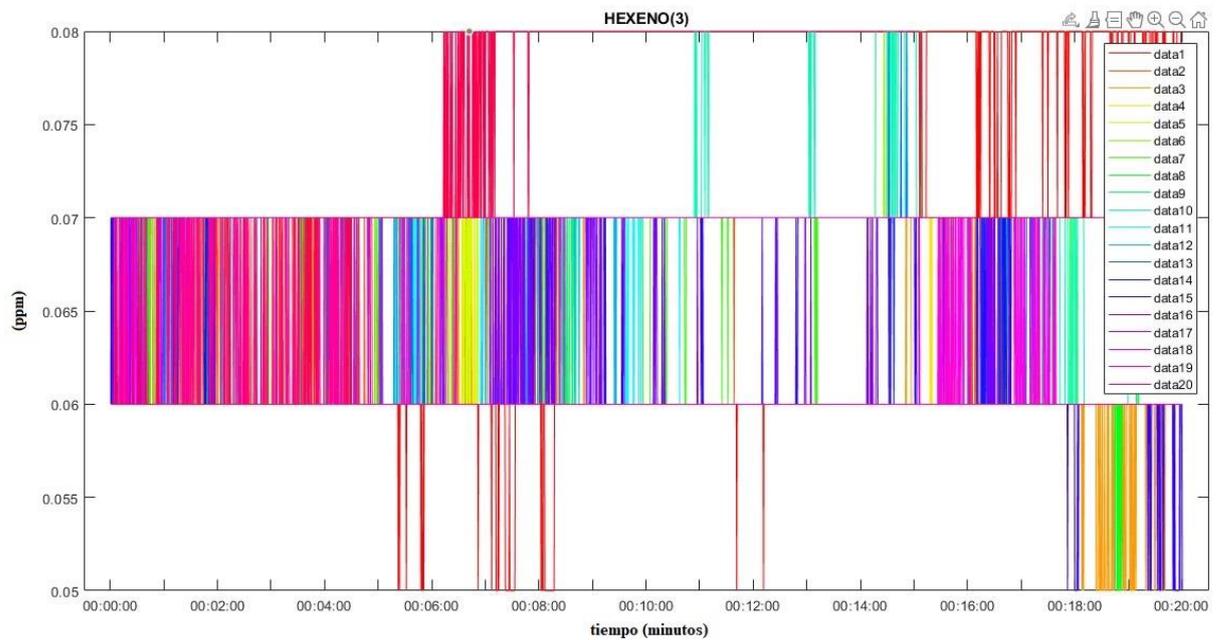


Figura 70 Datos de Hexeno en el pesticida Circón

Fuente: Autoría

Así mismo, en la Figura 71 se muestra la gráfica de 20 muestras de H₂ detectado en el pesticida Circón tomadas usando el sensor MQ-8.

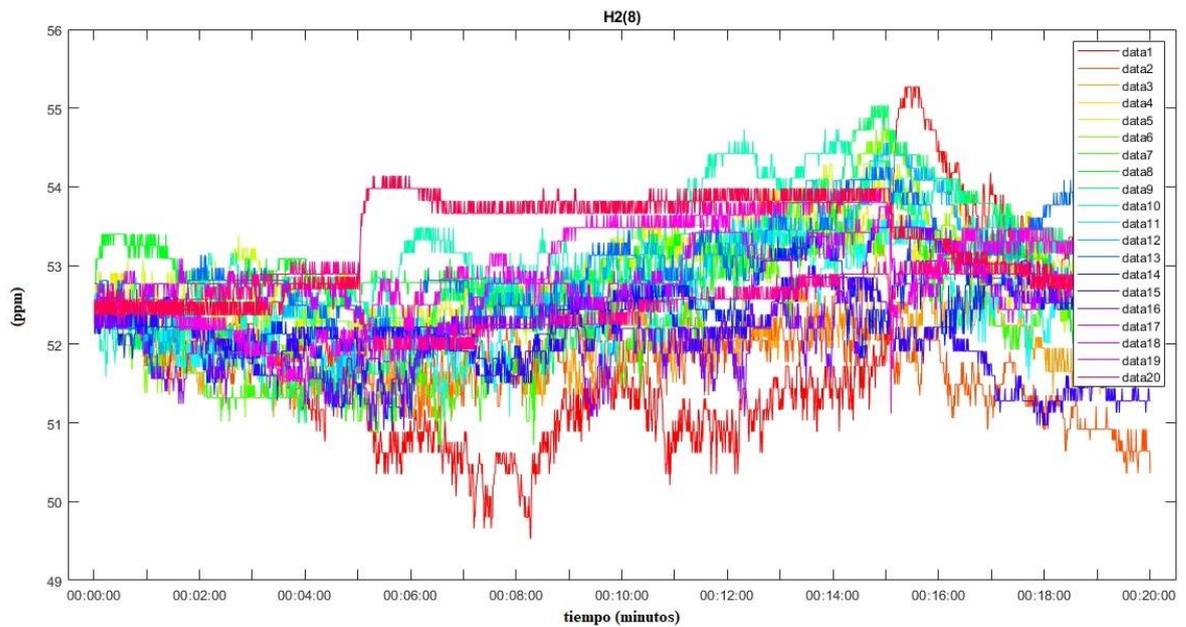


Figura 71 Datos de H2 en el pesticida Circón

Fuente: Autoría

Mediante el sensor MQ-9 al detectar CH4 utilizando el pesticida Circón, como se muestra en la Figura 72, datos que son tomadas 20 veces.

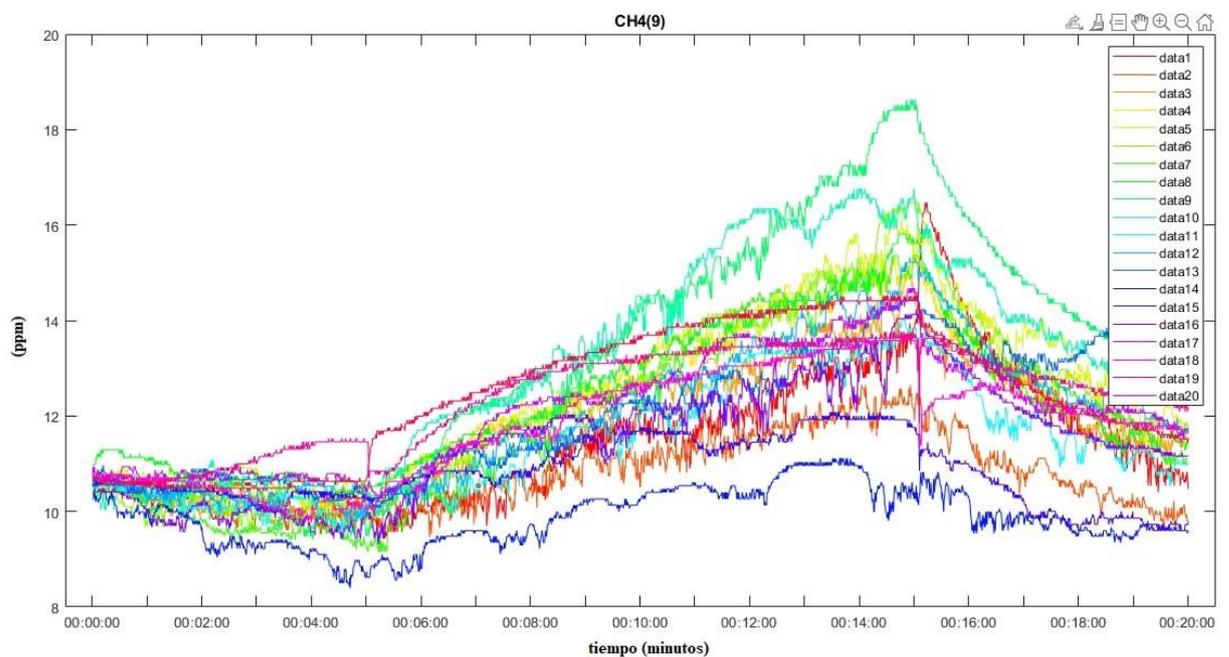


Figura 72 Datos de CH4 en el pesticida Circón

Fuente: Autoría

En la Figura 73 se muestra las gráficas de 20 muestras tomadas con el sensor MQ-135 que detecta la presencia de CO en el pesticida Circón.

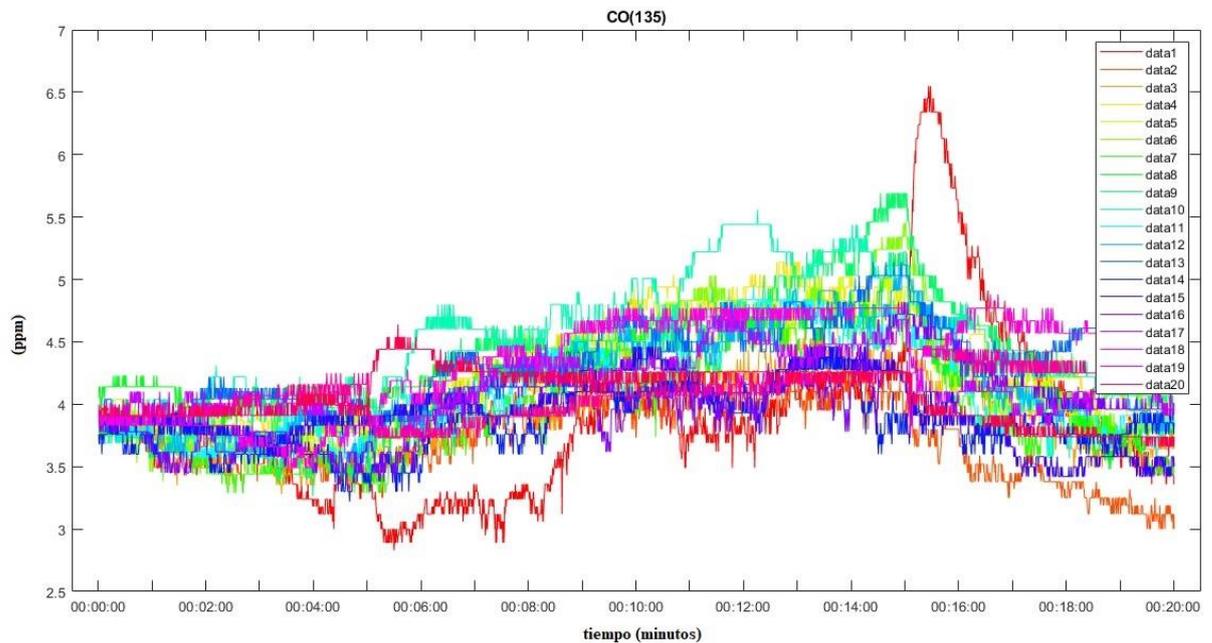


Figura 73 Datos de CO en el pesticida Circón

Fuente: Autoría

- Sin aplicar ningún pesticida

Se realiza la toma de muestras con el tiempo establecido de 20 minutos, en este caso no se aplica ningún pesticida. Los datos obtenidos se lo van almacenando en un Excel como se muestra en la Figura 74 que posteriormente se lo utilizara para generar una base de datos.

	1 TIEMPO	2 LGP2	3 HEXENO3	4 H28	5 CH49	6 CO135
1	5.7870e-06	3.4400	0.0700	52.3300	10.4900	3.7500
2	1.1574e-05	3.4000	0.0700	52.1900	10.4200	3.7500
3	1.7361e-05	3.4000	0.0700	52.0500	10.4200	3.7500
4	2.3148e-05	3.4000	0.0700	52.0500	10.3500	3.6200
5	2.8935e-05	3.4000	0.0700	52.0500	10.4200	3.6200
6	3.4722e-05	3.4000	0.0700	51.9000	10.3500	3.6200
7	4.0509e-05	3.4000	0.0700	52.0500	10.2800	3.6200
8	4.6296e-05	3.3500	0.0700	52.0500	10.2800	3.6200
9	5.2083e-05	3.3100	0.0700	51.9000	10.2800	3.6200
10	5.7870e-05	3.3100	0.0700	51.7600	10.2800	3.6200
11	6.3657e-05	3.3500	0.0700	51.7600	10.2800	3.5600
12	6.9444e-05	3.3100	0.0700	51.7600	10.2200	3.4900
13	7.5231e-05	3.3100	0.0700	51.7600	10.2200	3.4900
14	8.1019e-05	3.3100	0.0700	51.7600	10.1500	3.4900
15	8.6806e-05	3.3100	0.0700	51.7600	10.1500	3.4900
16	9.2593e-05	3.2600	0.0700	51.7600	10.1500	3.4900
17	9.8380e-05	3.2600	0.0700	51.7600	10.1500	3.4900
18	1.0417e-04	3.2600	0.0700	51.6200	10.1500	3.4900

Figura 74 Datos obtenidos por los sensores sin aplicar pesticidas

Fuente: Autoría

En este caso no se aplica ningún pesticida en la fresa, se toma de datos por 20 veces, una cantidad que nos permite obtener un modelo que identifique al gas GLP en la fresa sin aplicar ningún pesticida, utilizando el sensor MQ-2, como se muestra en la Figura 75 se observa la gráfica que produce el aroma de las fresas.

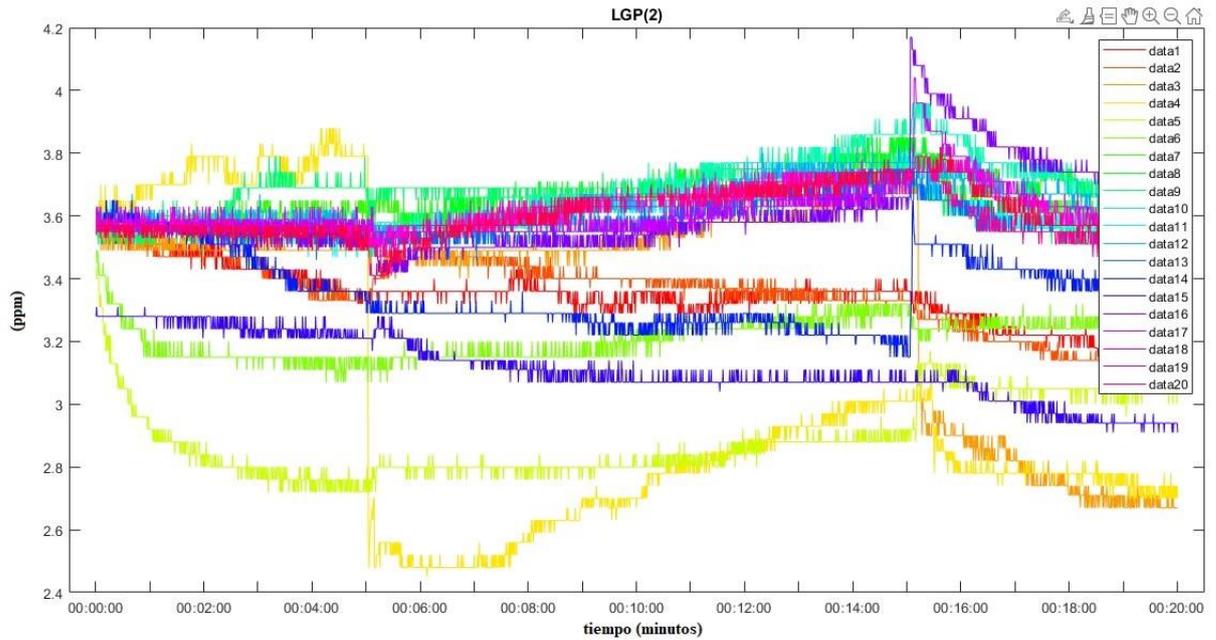


Figura 75 Datos de GLP sin aplicar pesticida en la fresa

Fuente: Autoría

Mediante el sensor MQ-3 que detecta la presencia de gas Hexeno en la fresa que no se encuentra aplicado ningún tipo de pesticida, se toman los datos por 20 veces como se muestra en la Figura 76.

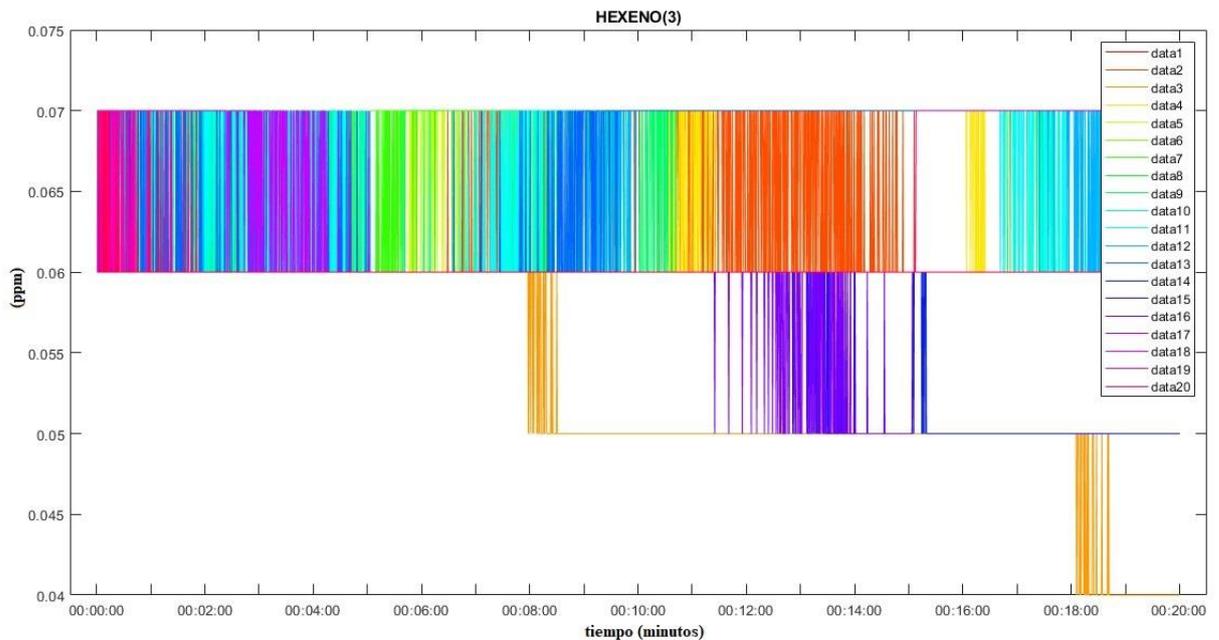


Figura 76 Datos de Hexeno sin aplicar pesticida en la fresa

Fuente: Autoría

En la Figura 77 se muestra la gráfica de 20 muestras de H2 detectado en la fresa sin aplicar ningún tipo de pesticida, usando el sensor MQ-8.

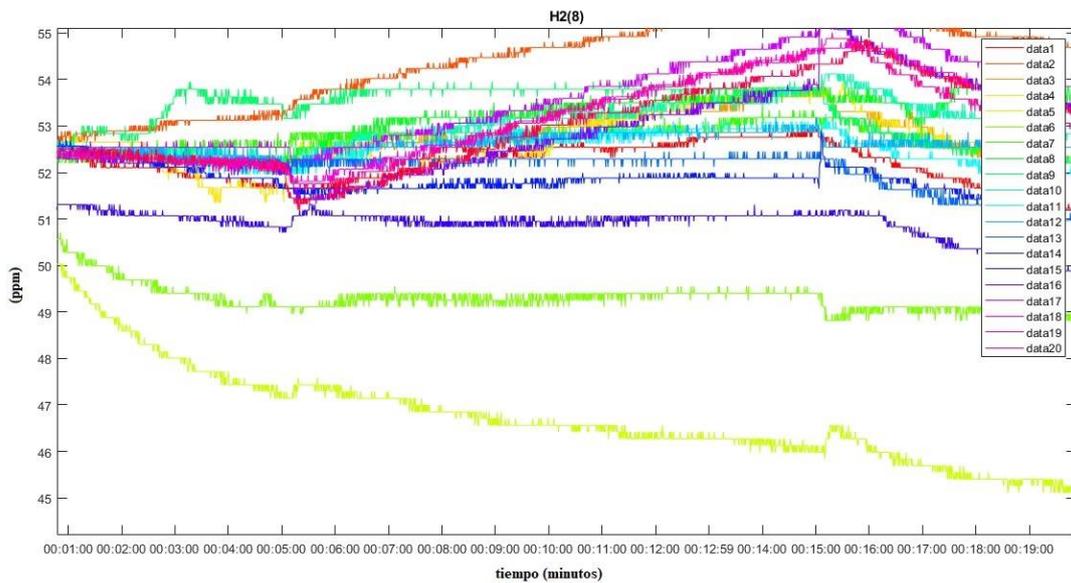


Figura 77 Datos de H2 sin aplicar pesticida en la fresa

Fuente: Autoría

Se observa la gráfica de 20 muestras obtenidas mediante el sensor MQ-9 al detectar CH4 en la fresa que no se encuentra aplicada ningún pesticida como se muestra en la Figura 78.

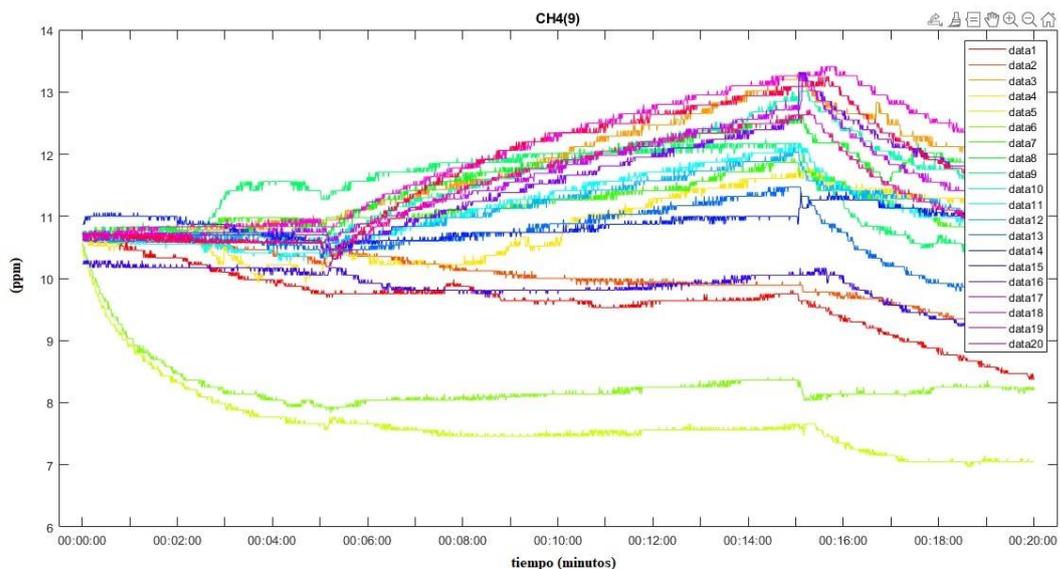


Figura 78 Datos de CH4 sin aplicar pesticida en la fresa

Fuente: Autoría

Por último, en la Figura 79 se muestra las gráficas de 20 muestras tomadas con el sensor MQ-135 que detecta la presencia de CO en la fresa que no tiene aplicada ningún pesticida.

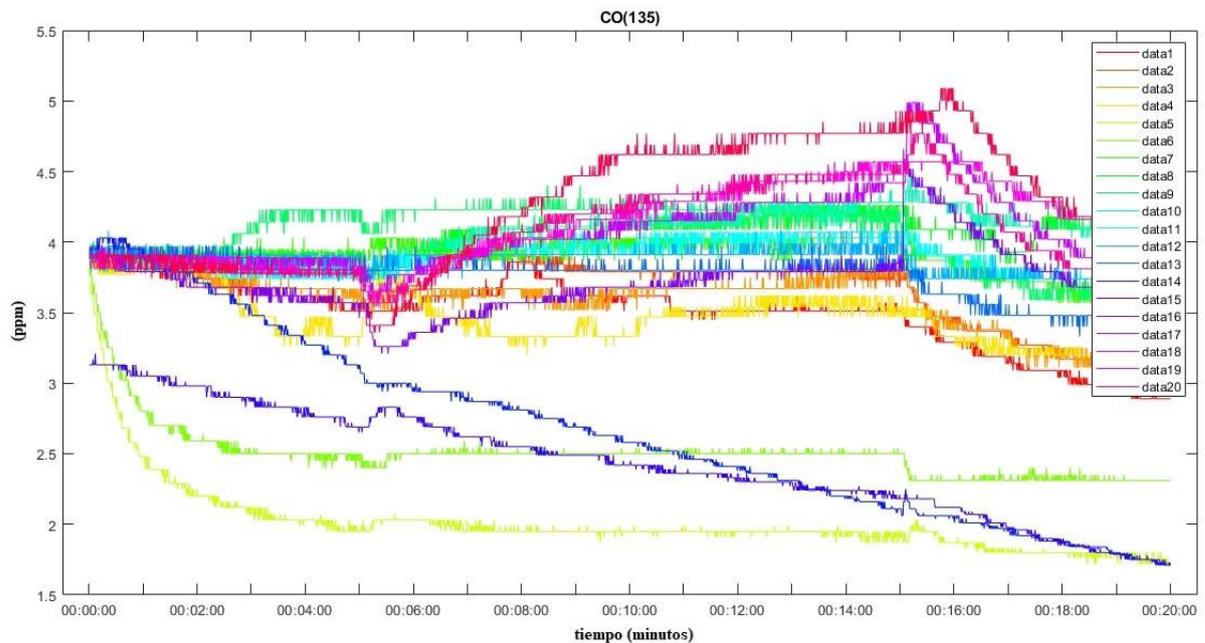


Figura 79 Datos de CO sin aplicar pesticida en la fresa

Fuente: Autoría

3.4.2. Etapa de preprocesamiento (limpieza) y transformación de los datos

En esta etapa de limpieza de los datos, se analiza la calidad de los datos y se procede a implementar técnicas que permitan reducir el ruido en las mediciones tomadas por los sensores electroquímicos y la transformación de datos busca reducir los datos y encontrar representaciones invariantes de los datos.

3.4.2.1. Acoplamiento de la señal y reducción de Ruido

Las diferentes sustancias químicas tales como gases combustibles, gases contaminantes son medidas con dispositivos que convierten los fenómenos físicos en señales eléctricas mediante el uso de sensores de gas. La mayoría de estos dispositivos de

medición pueden presentar problemas al momento de la adquisición de datos debido a diferentes factores principalmente por el ruido eléctrico.

Existen algunas técnicas que permiten reducir el ruido en la mayoría de las mediciones, para este caso se utilizará una técnica a través de software el ruido puede ser reducido dependiendo del número de muestras promediadas. Para ello se utiliza el filtro digitales a través de Moving Average MA, que permite reducir el ruido mediante el filtrado de señales codificadas en el dominio del tiempo.

La fórmula del filtro está dada por la siguiente ecuación.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Ecuación 16 Fórmula del filtro Moving Average MA

Donde, la N representa a la cantidad de mediciones, es decir que, si se tiene más mediciones, se tendrá menos ruido.

Se ha implementado el filtro MA en cada uno de los sensores como se muestra a continuación.

- Sensor MQ-2

Se muestra la lectura del sensor MQ-2 establecida para la detección de LPG, en la Figura 80 se muestra la línea azul como la señal de entrada (sin filtro), y la línea en rojo representa la señal con el filtro MA, el cual tiene un trazo más suave.

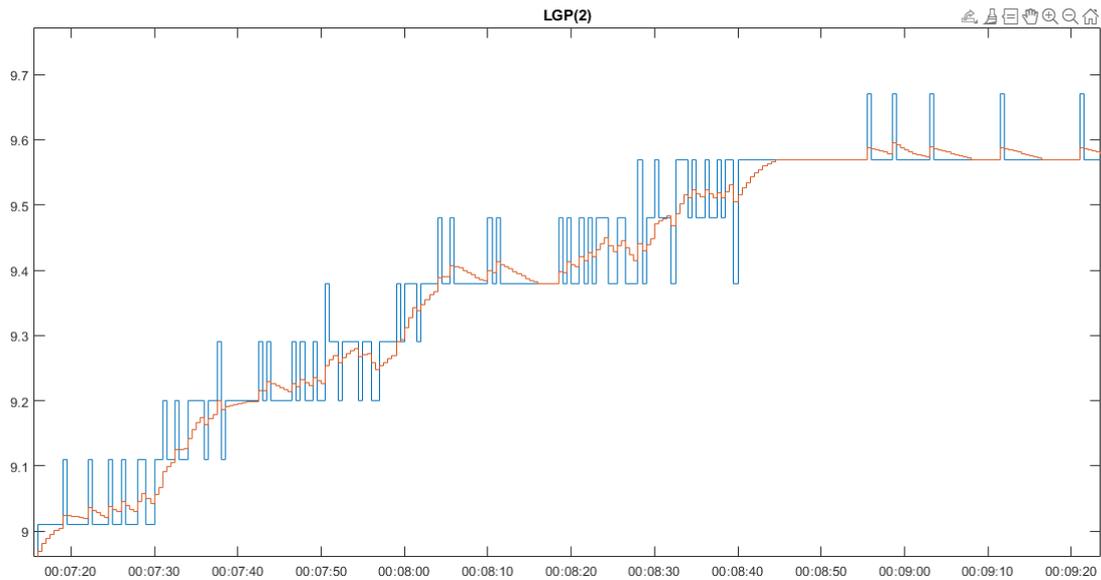


Figura 80 Señal con Filtro MA en la señal del sensor MQ-2

Fuente: Autoría

- Sensor MQ-3

En la Figura 81 se observa al sensor MQ-3 tomando lectura del gas Hexeno, donde se muestra la línea azul como la señal de entrada (sin filtro), y la línea en rojo representa la señal con el filtro MA, el cual tiene un trazo más suave.

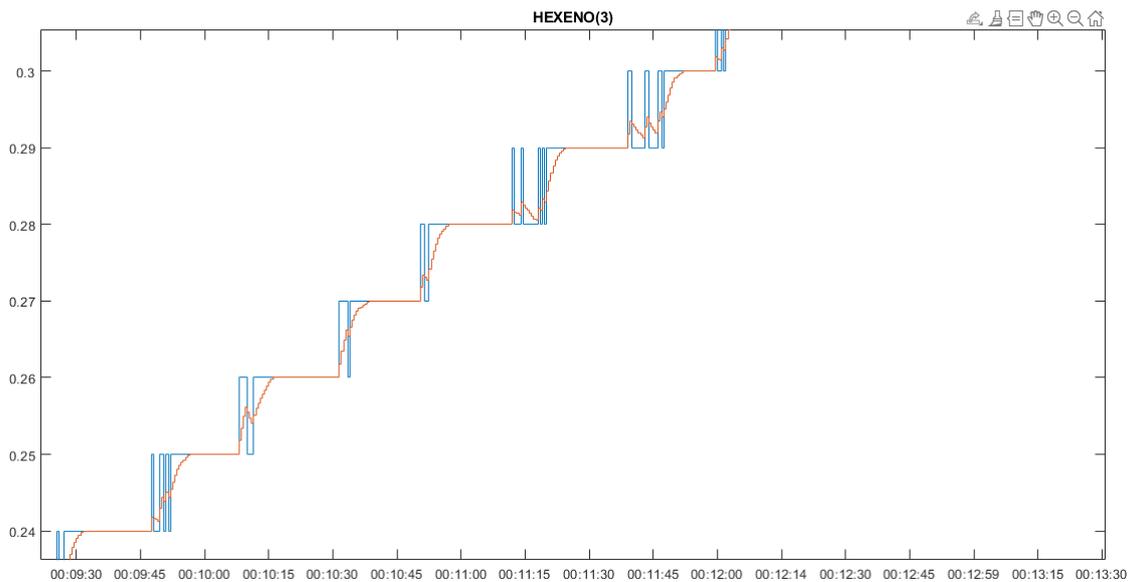


Figura 81 Señal con Filtro MA en la señal del sensor MQ-3

Fuente: Autoría

- Sensor MQ-8

De la misma manera se observa la toma de lectura del sensor MQ-8 para el gas H₂, donde se muestra la línea azul como la señal de entrada (sin filtro), y la línea en rojo representa la señal con el filtro MA, el cual tiene un trazo más suave.

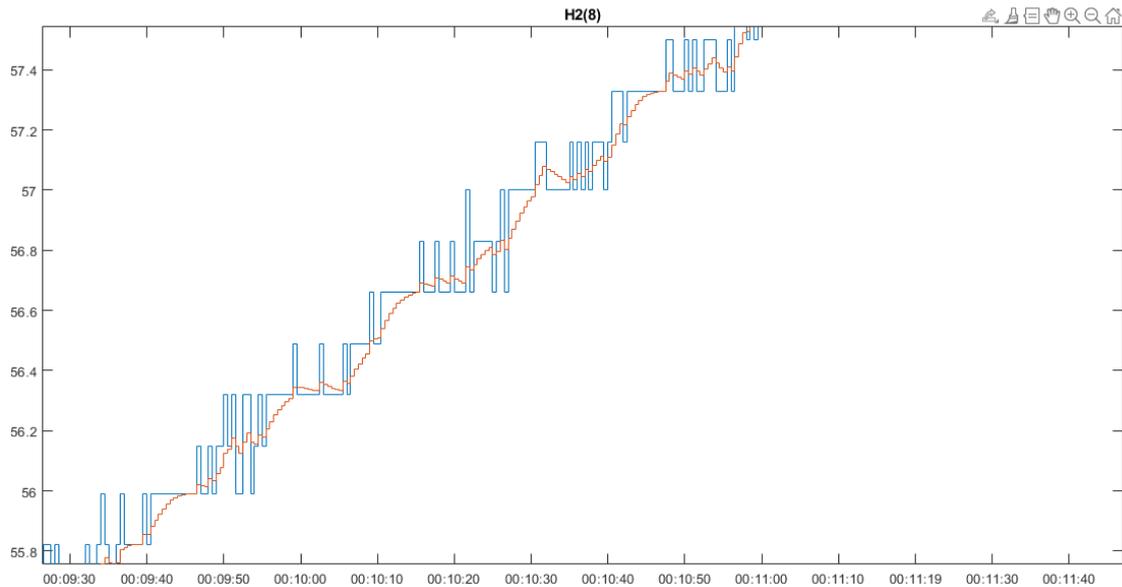


Figura 82 Señal con Filtro MA en la señal del sensor MQ-8

Fuente: Autoría

- Sensor MQ-9

En la Figura 83 se observa a la toma de lectura del sensor MQ-9 con una sensibilidad hacia el gas CH₄, donde se muestra la línea azul como la señal de entrada (sin filtro), y la línea en rojo representa la señal con el filtro MA, el cual tiene un trazo más suave.

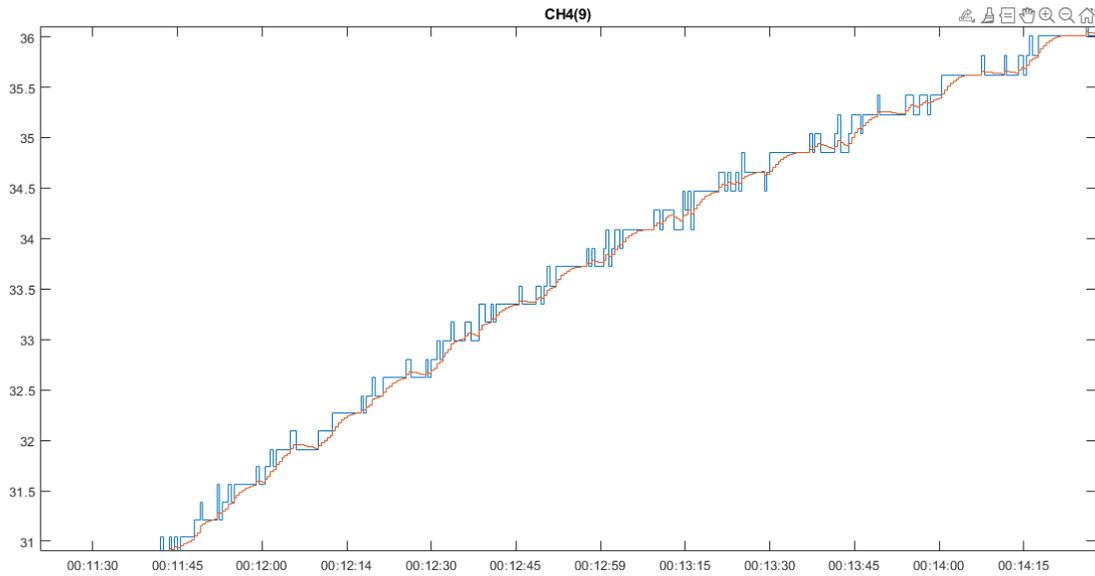


Figura 83 Señal con Filtro MA en la señal del sensor MQ-9

Fuente: Autoría

- Sensor MQ-135

A continuación, se observa la sensibilidad que tiene el sensor MQ-135 hacia el gas CO, donde se muestra la línea azul como la señal de entrada (sin filtro), y la línea en rojo representa la señal con el filtro MA, el cual tiene un trazo más suave.

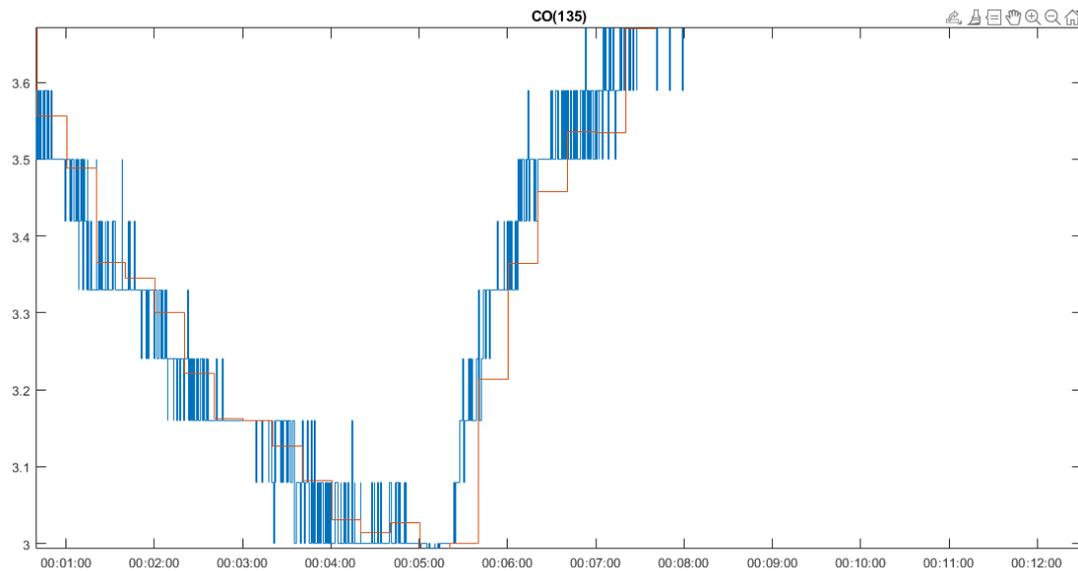


Figura 84 Señal con Filtro MA en la señal del sensor MQ-135

Fuente: Autoría

Realizada la limpieza de los datos, se procede a la etapa de transformación de los datos; para ello se simplifica mediante una tabla de base de datos horizontal como se muestra en la Figura 85, que elimina las filas idénticas y se obtiene valores categóricos, en este caso se los clasifica según el tipo de plaguicida.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	3.5800	3.5964	3.5938	3.5924	3.5924	3.6069	3.5902	3.5895	3.5836	3.5347	3.5096	3.4900	3.4629
2	3.5700	3.5982	3.6173	3.5873	3.5836	3.5782	3.5700	3.5709	3.5891	3.5836	3.5764	3.5727	3.5818
3	3.5500	3.5718	3.5655	3.5591	3.5655	3.5591	3.5500	3.5555	3.5764	3.5536	3.5636	3.5582	3.5455
4	3.6000	3.5609	3.5827	3.6400	3.6600	3.6409	3.6305	3.6155	3.5725	3.5955	3.5667	3.6015	3.5464
5	3.5600	3.6500	3.6673	3.6136	3.6555	3.6391	3.6600	3.6936	3.6836	3.6518	3.6818	3.6691	3.6662
6	3.5400	3.5235	3.5336	3.5478	3.5411	3.5165	3.4900	3.4909	3.4900	3.4665	3.4927	3.4909	3.4016
7	3.5100	3.5151	3.5173	3.5100	3.5107	3.5100	3.5100	3.5100	3.5100	3.5122	3.5100	3.5100	3.5009
8	3.6600	3.7391	3.7418	3.7564	3.7500	3.7382	3.7091	3.6773	3.6691	3.6709	3.6818	3.6691	3.6736
9	3.5900	3.5689	3.5522	3.5616	3.5653	3.5544	3.5558	3.5364	3.5091	3.4745	3.4773	3.4845	3.4518
10	3.5000	3.5118	3.4540	3.4553	3.5055	3.4629	3.5391	3.5482	3.5309	3.6045	3.5945	3.5382	3.5047
11	3.5200	3.5382	3.5582	3.5327	3.5345	3.5282	3.5135	3.5156	3.5127	3.5011	3.5018	3.4880	3.4755
12	3.5700	3.5864	3.5718	3.5700	3.5673	3.5664	3.5655	3.5700	3.5745	3.5636	3.5682	3.5782	3.5009
13	3.5700	3.5409	3.5891	3.5936	3.5455	3.5527	3.5409	3.5791	3.5236	3.5209	3.5236	3.5245	3.5364
14	3.4600	3.4182	3.4345	3.4525	3.4191	3.4109	3.3516	3.3282	3.3273	3.3264	3.3824	3.3729	3.3473
15	3.5500	3.5667	3.5558	3.5573	3.5667	3.5653	3.5689	3.5580	3.5689	3.5780	3.5684	3.5645	3.5762
16	3.5200	3.5109	3.5109	3.5345	3.5173	3.5055	3.5118	3.5045	3.4964	3.4745	3.5018	3.4700	3.4627
17	3.6300	3.5800	3.5936	3.5727	3.5855	3.5582	3.5664	3.6045	3.5991	3.5955	3.5982	3.5745	3.5891
18	3.5600	3.5709	3.5755	3.5600	3.5736	3.5882	3.5655	3.5636	3.5664	3.5664	3.5682	3.5691	3.5736

Figura 85 Transformación de los datos mediante un método de reducción de dimensiones basado en una base de datos horizontal.

Fuente: Autoría

3.4.3. Etapa de minería de datos

Mediante el uso de la base de datos obtenidas en el apartado anterior, se inicia con la aplicación de los diferentes modelos de aprendizaje de máquinas que permita el tratamiento de los datos mediante clasificación.

Para la selección del modelo adecuado, se utiliza el software Matlab mediante la herramienta de Classification Learner permite entrenar modelos para clasificar los datos; esta aplicación también nos permite obtener esquemas de validación, entrenar modelos y evaluar los resultados.

Para buscar el mejor tipo de modelo de clasificación se realiza una evaluación de cada uno de los modelos tomando en cuenta el porcentaje de predicción y el tiempo de procesamiento de cada uno de ellos como se muestra en la Tabla 30. En este caso se

realiza la evaluación del modelo utilizando las muestras de todos los cinco tipos de plaguicidas por lo que se obtiene al modelo Media Gaussian SVM con el mayor porcentaje de precisión.

Tabla 30 Algoritmos de clasificación.

Clasificador	Porcentaje de precisión	Tiempo de procesamiento
Media Gaussian SVM	85,71%	386.52 sec
KNN	63,5%	415.74 sec
Árbol de decisión	61,9%	2.2007 sec
Quadratic SVM	71,2%	371.65 sec
Kernel Naive Bayes	58,3%	10.666 sec

Fuente: Autoría

Una vez determinado el modelo de aprendizaje automático a usar, se evalúa mediante un análisis de los componentes principales que permitan la representación de los cinco variables (Circón, Fullmectin, Kañón, Sharamida y Sin pesticida) como se muestra en la Figura 86; además, se muestran los ejes conformados por los componentes principales (X1 y X2) y los datos separados por las diferentes clases luego de haber aplicado el Medium Gaussian (Máquina de vectores de soporte) en donde los datos de color azul representa a la clase 1 (Circón), los datos de color rojo la clase 2 (Fullmectin), los datos de color naranja a la clase 3 (Kañón), los datos de color morado a la clase 4 (Sharamida) y los datos de color verde pertenecen a la clase 5 (Sin Pesticida).

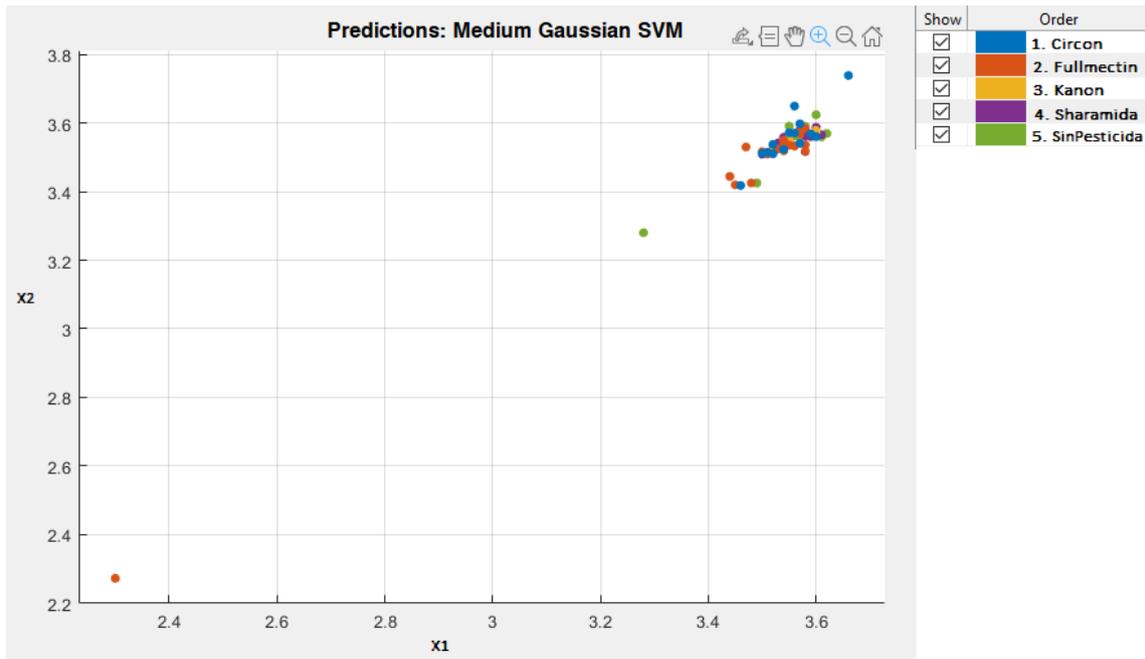
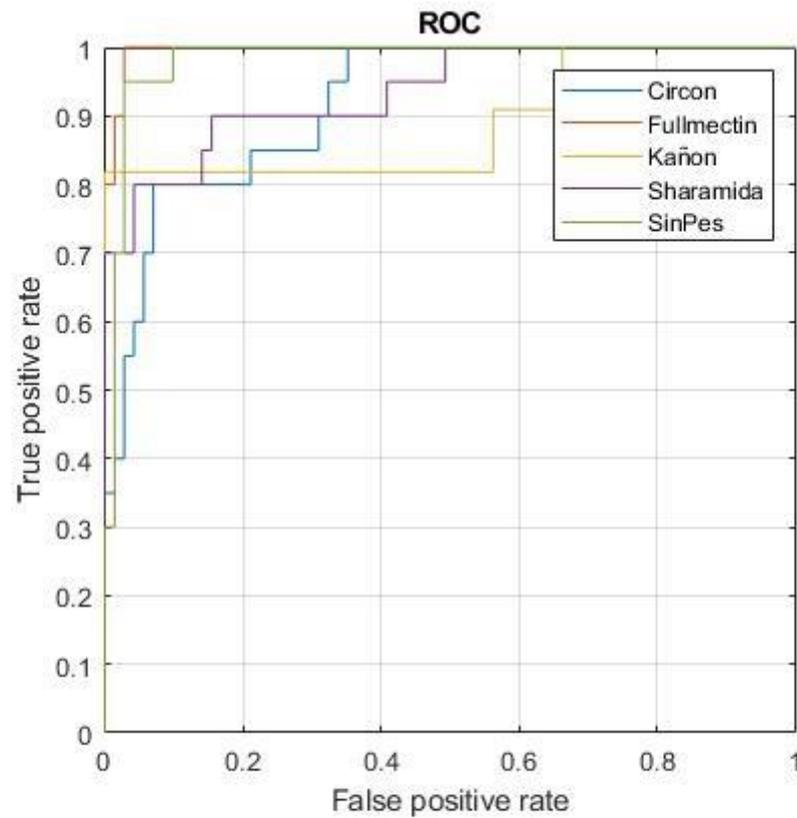


Figura 86 Distribución de datos aplicado SVM Medium Gaussian

Fuente: Autoría

- Curva ROC y AUC

A continuación, se observa la curva ROC (curva de características operativa del receptor), nos muestra el rendimiento del modelo basado a todos los umbrales de clasificación; así mismo el Área bajo la curva AUC mide el área por debajo de la curva ROC, en el caso de tener un AUC de 1.0 que quiere decir que las predicciones son 100% correctas, en la Figura 87 se muestra un el AUC para cada uno de los plaguicidas, se tiene un AUC de 0,9204 para el Circón, 0,9958 para el Fullmectin, 0,8886 para el Kañón, 0,9359 para el Sharamida y 0,9824 para los datos Sin pesticida.



	AUC
1 Circon	0.9204
2 Fullmectin	0.9958
3 Kañon	0.8886
4 Sharamida	0.9359
5 SinPes	0.9824

Figura 87 Curva ROC y AUC del modelo SVM Fine Gaussian.

Fuente: Autoría

- Matriz de confusión

Mediante la matriz de confusión se visualiza el desempeño del algoritmo SVM Fine Gaussian, cada columna representa el valor de predicción de cada clase y las filas de la matriz representa las instancias de la clase con valor real.

El modelo está conformado por las clases verdaderas y las clases predichas, se observa que en la clase de Circón se tiene 15 muestras acertadas de 20, en Fullmectin 20 de 20

muestras acertadas, en el caso del Kañón se tiene 9 muestras acertadas de 11, en el caso del Sharamida se tiene un acierto de 15 muestras de 20 y en los datos sin pesticida se tiene 19 aciertos de 20 muestras como se muestra en la Figura 88.

True Class	Circon	15			3	2
	Fullmectin		20			
	Kañón	1	1	9		
	Sharamida	5			15	
	SinPes		1			19
		Circon	Fullmectin	Kañón	Sharamida	SinPes
		Predicted Class				

Figura 88 Matriz de confusión del algoritmo SVM Fine Gaussian

Fuente: Autoría

De esta forma se tiene el modelo SVM Fine Gaussian entrenada lista para ejecutarse dentro del sistema embebido.

3.4.4. Etapa de interpretación (evaluación) de resultados

Los resultados que se obtienen del modelo Medium Gaussian SVM, permite obtener una predicción del tipo de plaguicida que se encuentra aplicado en la planta de fresas.

En la Figura 89, se muestra el proceso de predicción mediante el algoritmo.

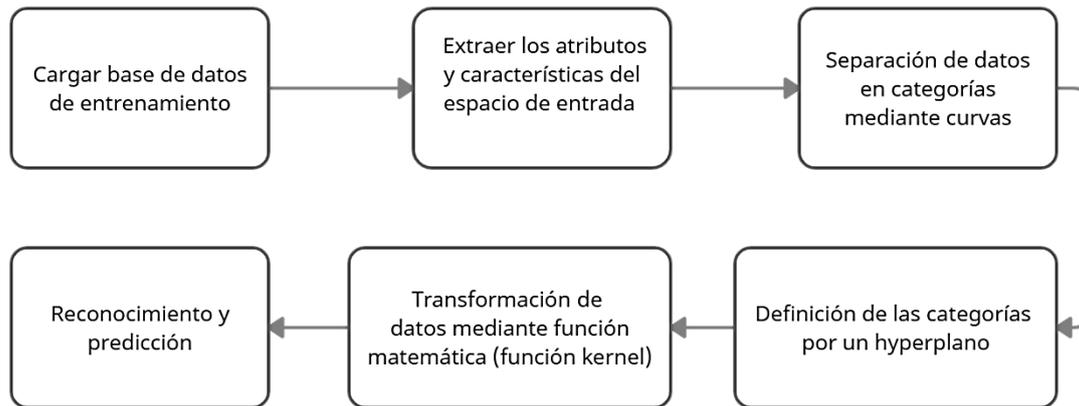


Figura 89 Proceso de implementación de Medium Gaussian SVM

Fuente: Autoría

- **Cargar base de datos de entrenamiento:** los datos obtenidos en la etapa de transformación y limpieza realizada en el software Matlab son almacenados en un archivo con extensión.mat conformadas por 5 clases con un total de 1200 datos.
- **Extraer los atributos y características del espacio de entrada:** Se lee la nueva toma de datos y se extrae las características.
- **Separación de datos en categorías mediante curvas:** se separa al conjunto de datos en categorías, en este caso, según las clases de plaguicidas, mediante un separador.
- **Definición de las categorías por un hiperplano:** establecer límites entre categorías mediante un hiperplano.
- **Transformación de datos mediante función matemática (función kernel):** Para tener un enfoque computacional de clasificación eficiente, se hace uso del kernel Gaussiano que transforma un espacio de pocas dimensiones a uno con mayores dimensiones.

- **Reconocimiento y predicción:** finalmente el modelo entrenado permite obtener un resultado final entre 1 a 5 y cada uno de estos pertenece a cada clase, Circón, Fullmectin, Kañón, Sharamida y Sin pesticida respectivamente.

3.5. Diseño de la estructura externa del prototipo

El dispositivo electrónico que detecta los residuos de plaguicidas en el cultivo de fresas tiene un diseño e implementación que se muestra en la Figura 37, se observa el mecanismo de funcionamiento diseñado en el software SolidWorks basándose en los requerimientos funcionales del sistema, debido a que el dispositivo se desplaza por las hileras dentro del cultivo de fresas se lo ha formado de un esqueleto metálico que contiene tanto a los dispositivos electrónicos que conforman el bloque de procesamiento como también al bloque de sensores. Por tal motivo, para tener una mejor comprensión se los divide en un subsistema de control y en un mecanismo de sensores como se muestra en la Figura 90.

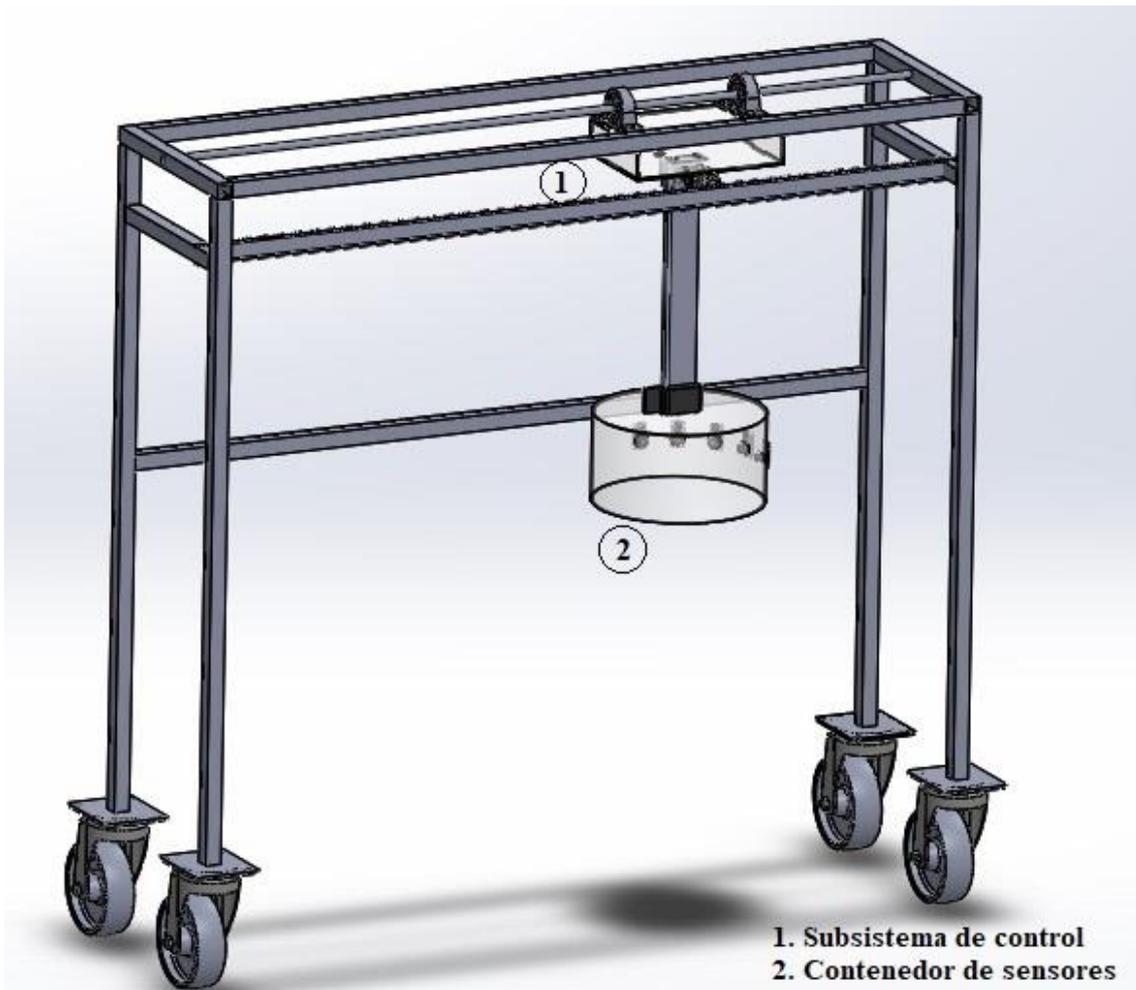


Figura 90 Diseño del prototipo electrónico.

Fuente: Autoría

En la Figura 91 se observa el sistema electrónico, desde el punto de vista superior.

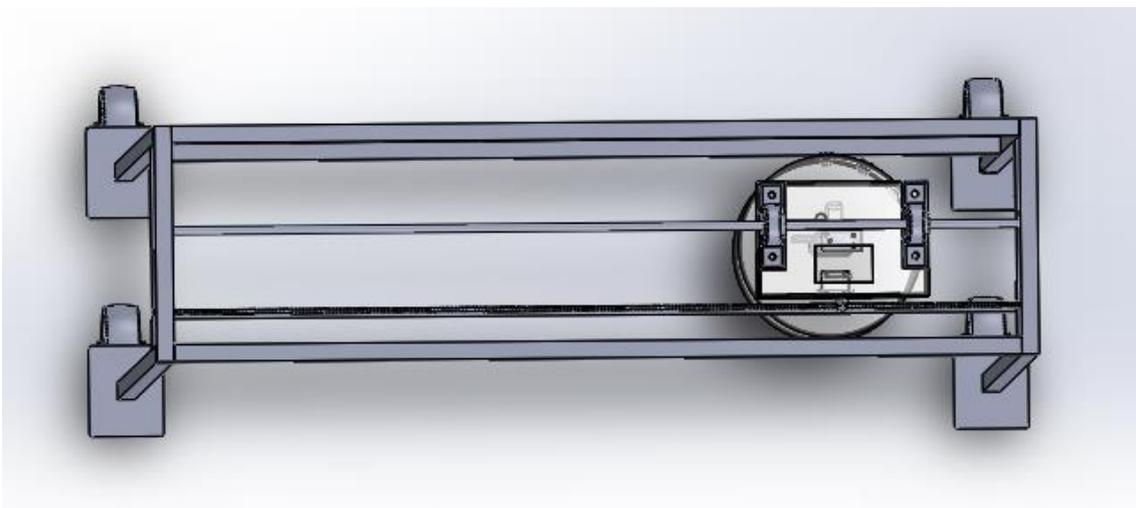


Figura 91 Vista superior del sistema electrónico.

Fuente: Autoría

En la Figura 92, se observa el sistema electrónico, desde el punto de vista lateral.

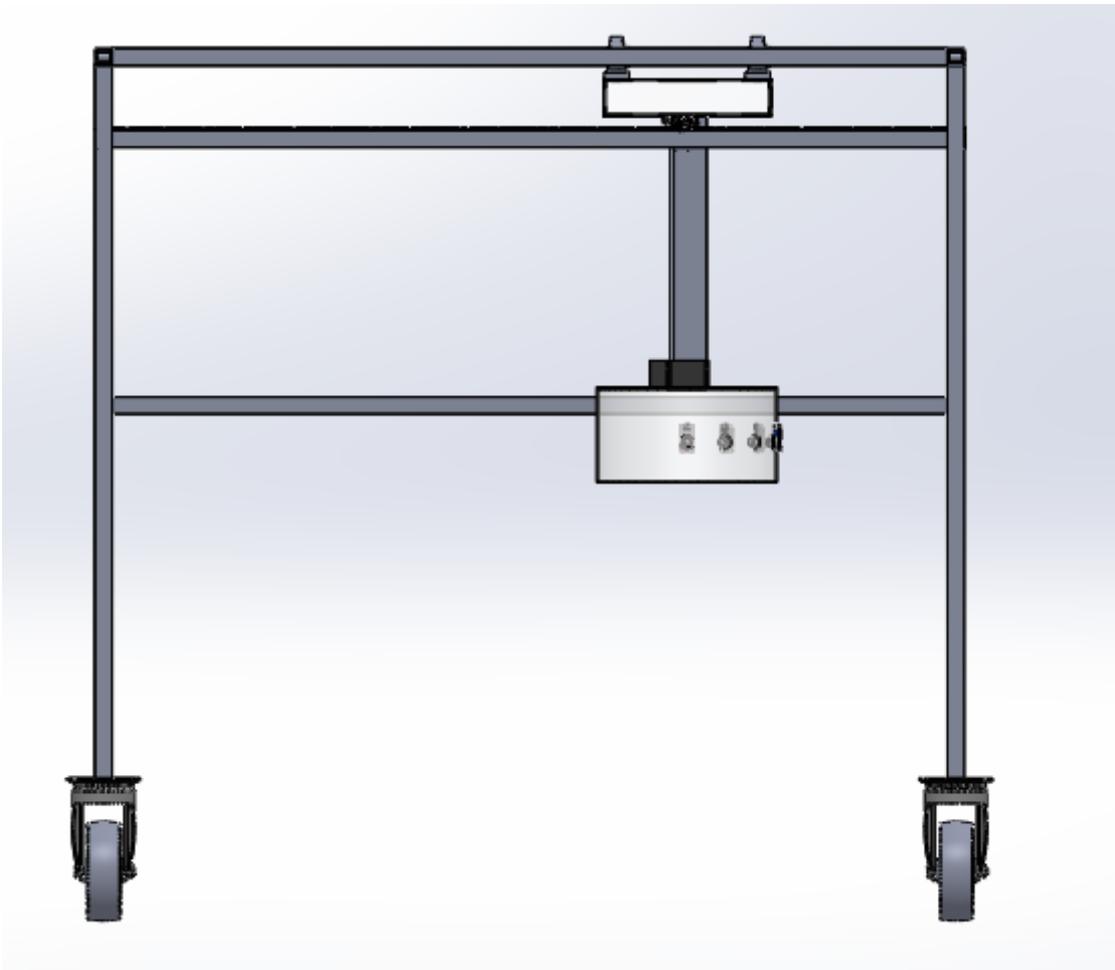


Figura 92 Vista lateral del sistema electrónico

Fuente: Autoría

Para la construcción de la estructura física del sistema electrónico se lo realiza utilizando tubos cuadrados de acero de 2.4cm, tiene una altura de 110cm y un ancho de 35cm. En la Figura 93 se detallan las dimensiones de cada una de las partes de la estructura del sistema electrónico.

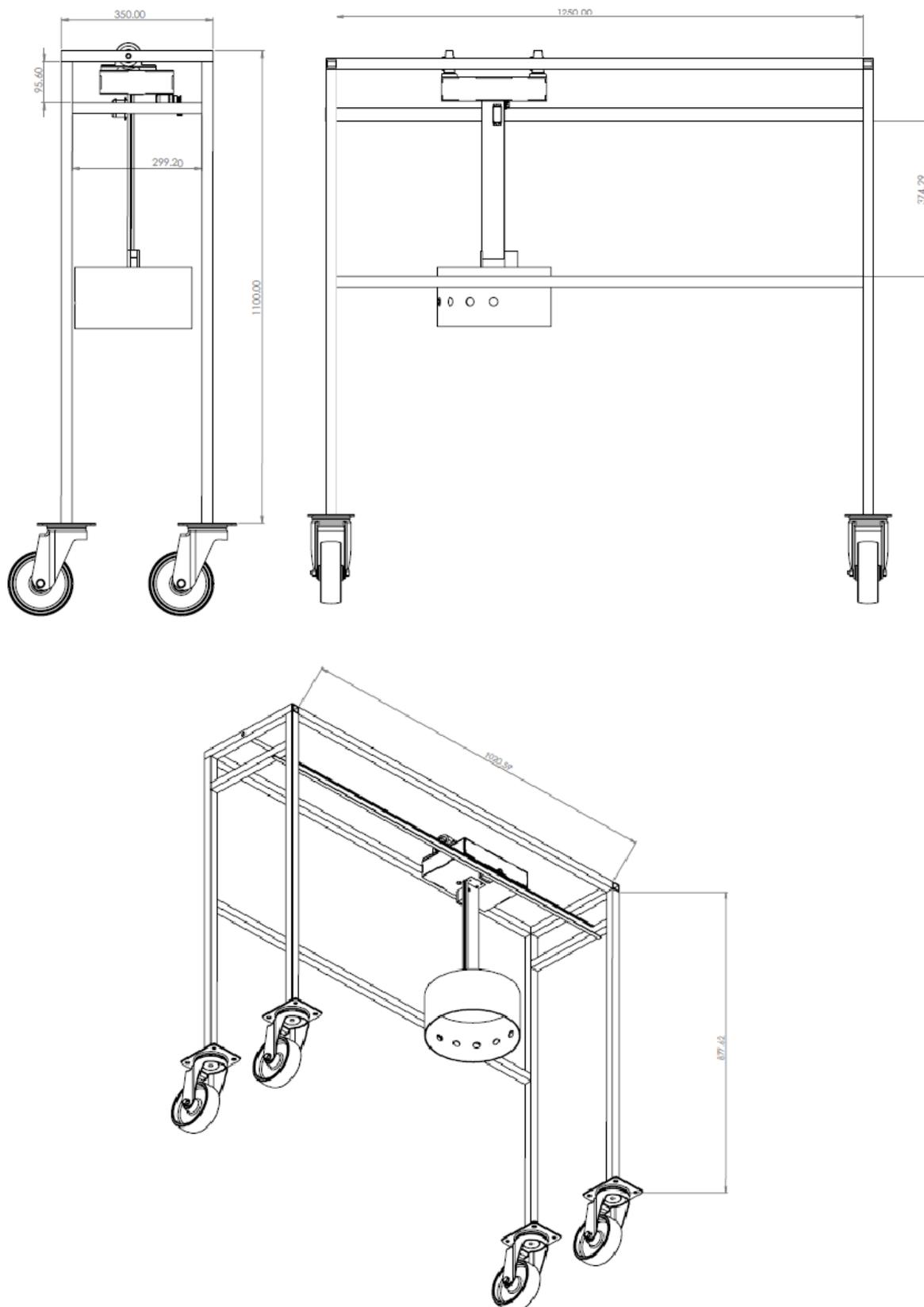


Figura 93 Dimensiones de la estructura del sistema electrónico.

Fuente: Autoría

En la Figura 94 se muestra la estructura completa del dispositivo electrónico con todos los subsistemas.



Figura 94 Armado del sistema electrónico con todos sus componentes.

Fuente: Autoría

3.5.1.1. Subsistema de control

Está conformado por un recipiente de acrílico rectangular destinado para la portabilidad de los elementos que permiten el control del sistema electrónico, tales como el Arduino, Raspberry, batería de Litio y la pantalla LCD.

El contenedor tiene la capacidad de desplazarse por la hilera, por lo tanto, se encuentra sujeta en la parte superior a una barra horizontal mediante 2 chumaceras (rodamientos) que permiten una mayor facilidad de movilidad, en la parte inferior cuenta con un servo motor para el control de movimiento del contenedor en diferentes posiciones y tiempos como se muestra en la Figura 95.

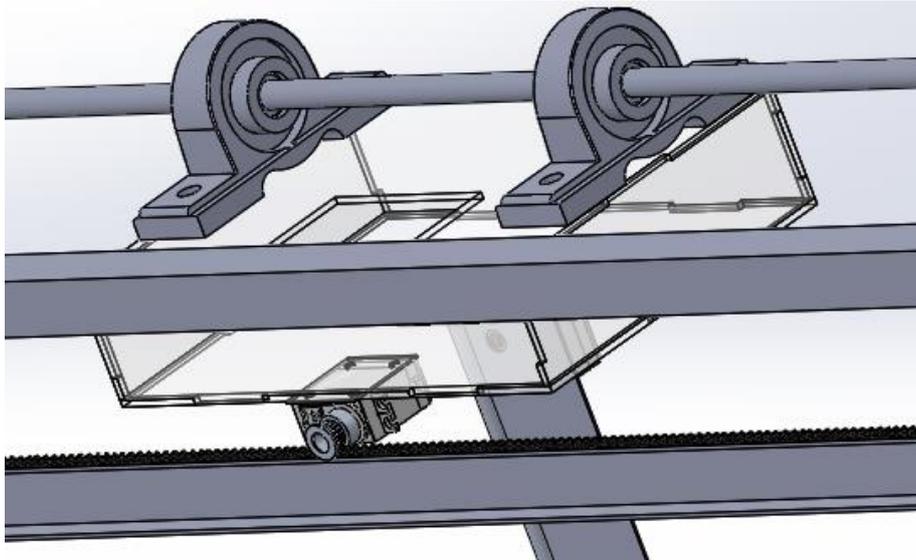


Figura 95 Subsistema de control

Fuente: Autoría

La caja de control del sistema electrónico se encuentra realizado en material de acrílico blanco de 3mm de espesor, en la Figura 96 se muestra la dimensiones detalladas de la caja de control.

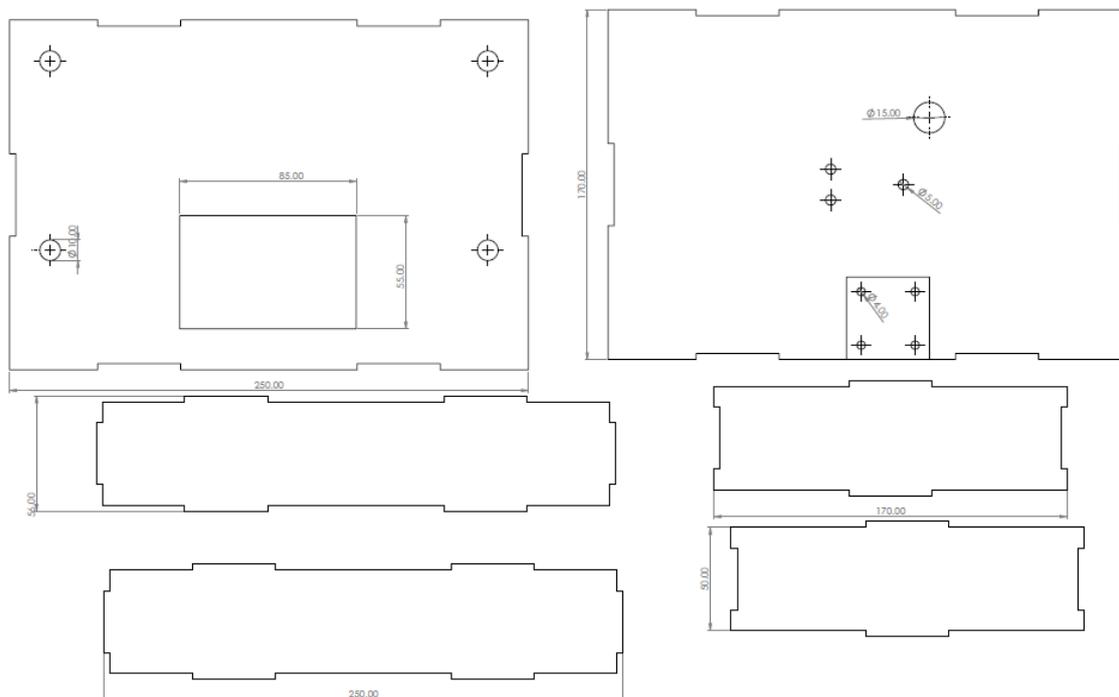


Figura 96 Dimensiones de la caja de control

Fuente: Autoría

En la Figura 97 se muestra la estructura armada del subsistema de control del dispositivo electrónico.

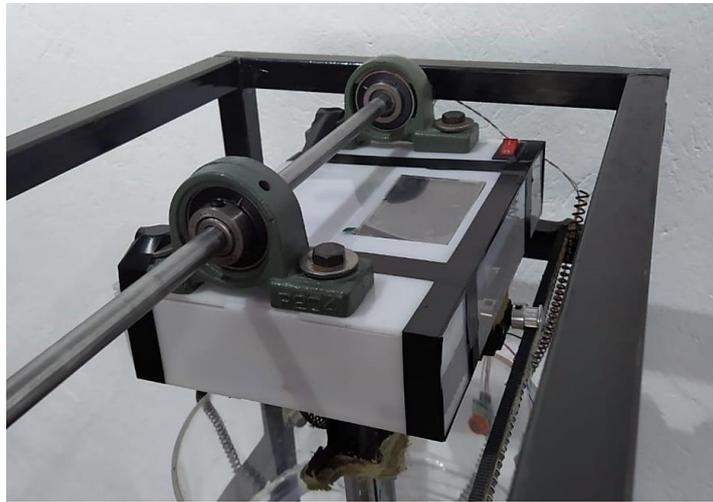


Figura 97 Subsistema de control del sistema electrónico.

Fuente: Autoría

La caja de acrílico permite la portabilidad de los elementos encargados del control del sistema electrónico, tales como el Arduino, Raspberry, batería Lipo y la pantalla LCD como se muestra en la Figura 98.

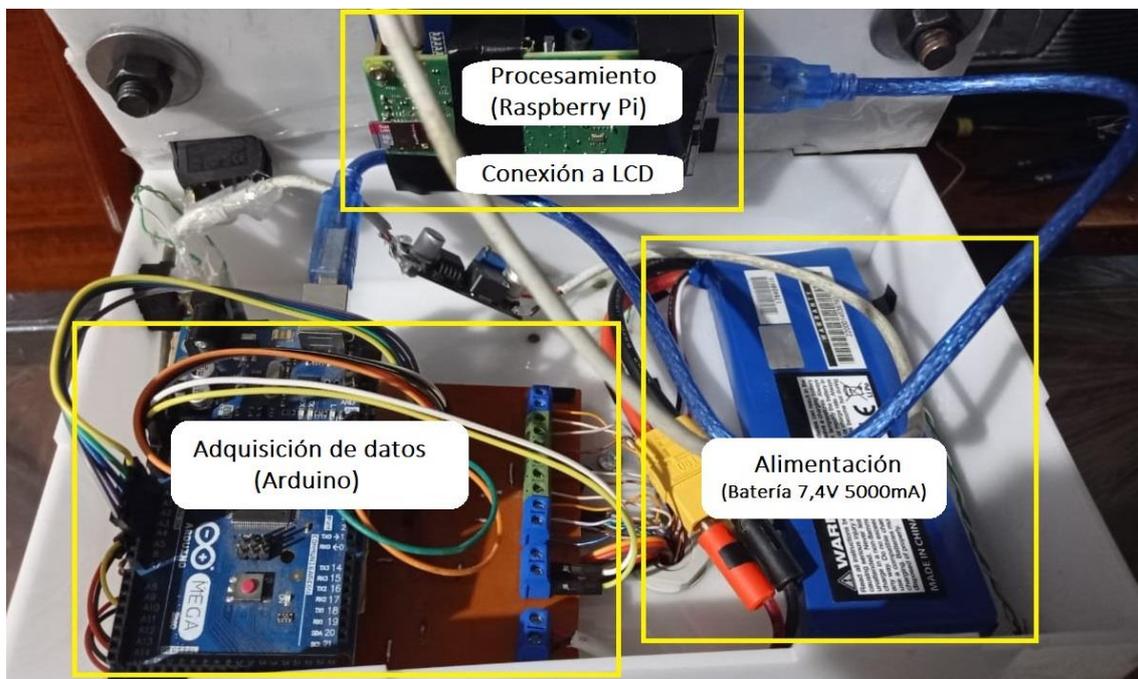


Figura 98 Descripción interna del subsistema de control.

Fuente: Autoría

3.5.1.2. Contenedor de sensores

El contenedor de los sensores electroquímicos conformado por cinco sensores de la marca MQ capaces de detectar gases como GLP, Hexeno, H₂, CH₄ y CO se encuentran distribuidos en un contenedor de forma cilíndrica como se muestra en la Figura 99.

Este contenedor tiene la capacidad de movilidad de forma vertical que permite el posicionamiento del dispositivo sobre la planta de fresa e iniciar con el proceso de adquisición de datos por medio de los sensores.

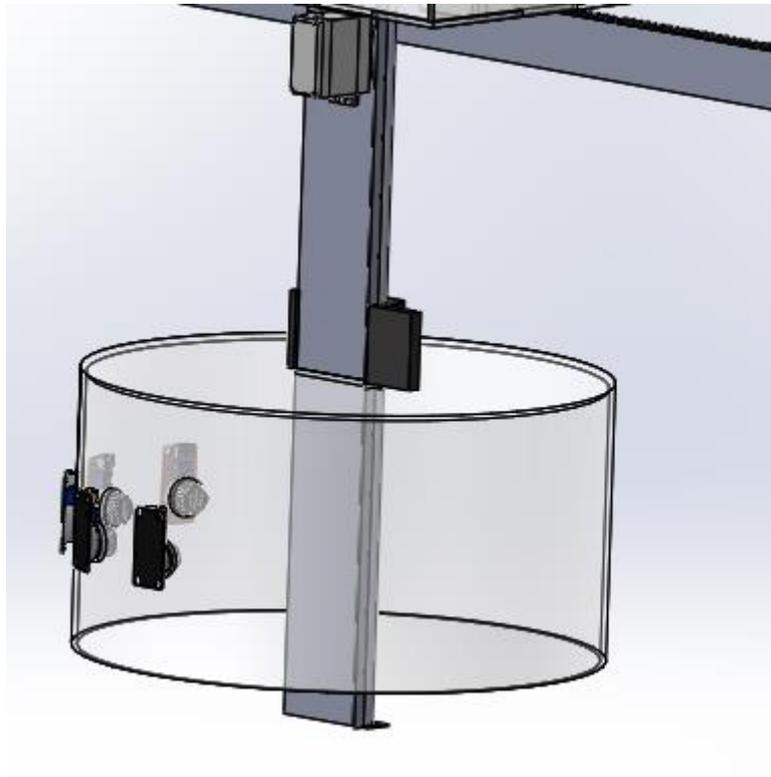


Figura 99 Contenedor de sensores

Fuente: Autoría

El contenedor de sensores se encuentra realizado en material de acrílico transparente de 3mm de espesor, contiene cinco aberturas para la ubicación de los sensores electroquímicos, en la Figura 100 se muestra las dimensiones específicas del contenedor de sensores.

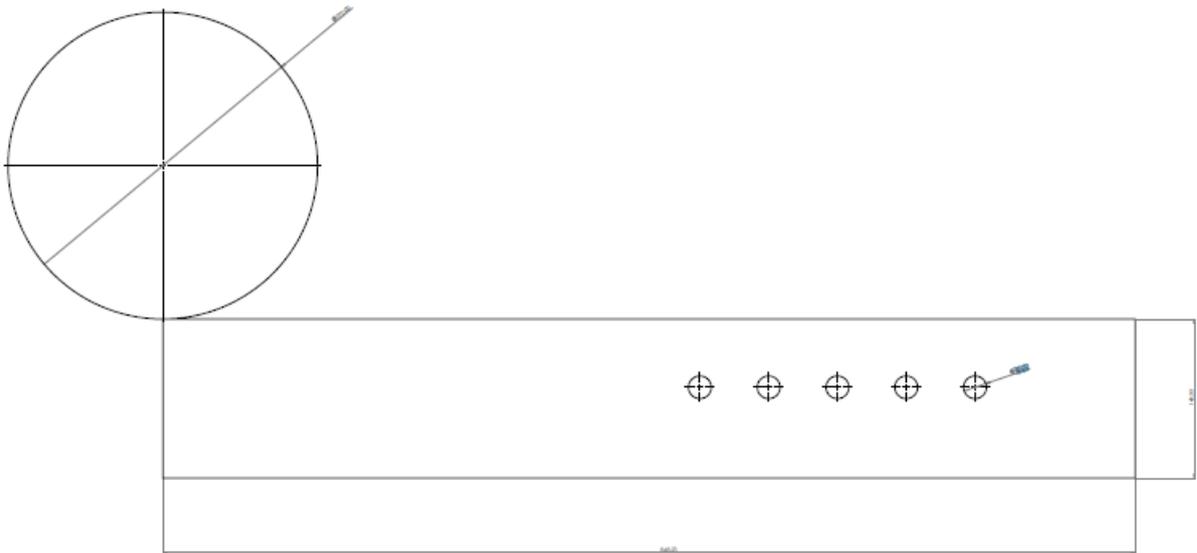


Figura 100 Dimensiones del contenedor de sensores electroquímicos.

Fuente: Autoría

Determinada las dimensiones del contenedor se procede al armado del dispositivo con la ubicación de cada uno de los sensores electroquímicos en el contenedor de acrílico como se muestra en la Figura 101.

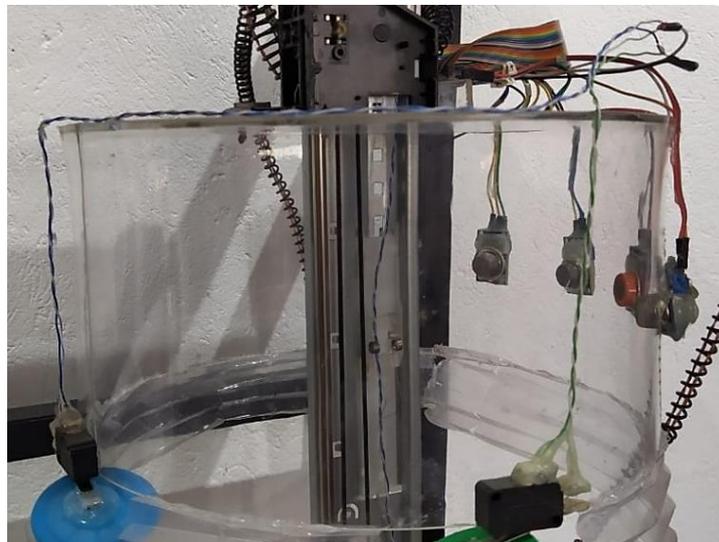


Figura 101 Subsistema de contenedor de sensores.

Fuente: Autoría

3.6. Diseño del software del sistema

El software del sistema electrónico cumple una serie de procesos basados en bloques tales como: la toma de datos, el procesamiento, y visualización de resultados; procesos que permiten cumplir con un correcto funcionamiento del sistema.

3.6.1. Toma de datos

Se inicia con la toma de datos a partir del arreglo de sensores que se tiene establecido. En la Figura 90 se muestra un diagrama de flujo del proceso de toma de datos; donde inicia el proceso mediante la calibración de los sensores de gas MQ-2, MQ-3, MQ-8, MQ-9 y MQ-135.

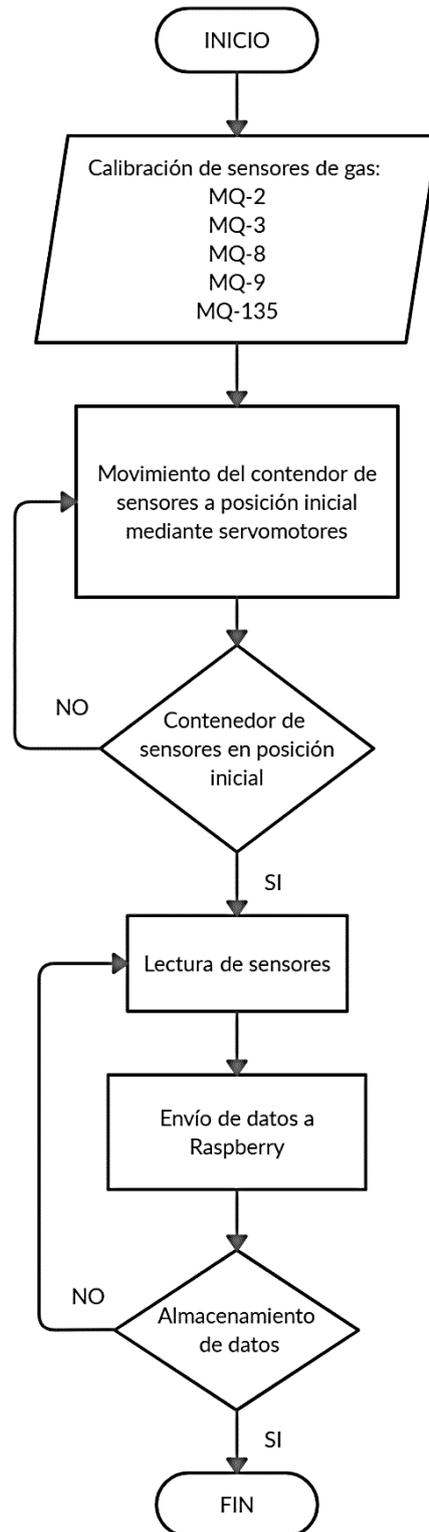


Figura 102 Diagrama de flujo para la toma de datos.

Fuente: Autoría

Para iniciar con la toma de datos el contenedor de sensores debe estar ubicado en su posición inicial como se muestra en a Figura 91 y se procede a la lectura de los sensores; permanece en esa posición por 5 minutos al aire limpio.

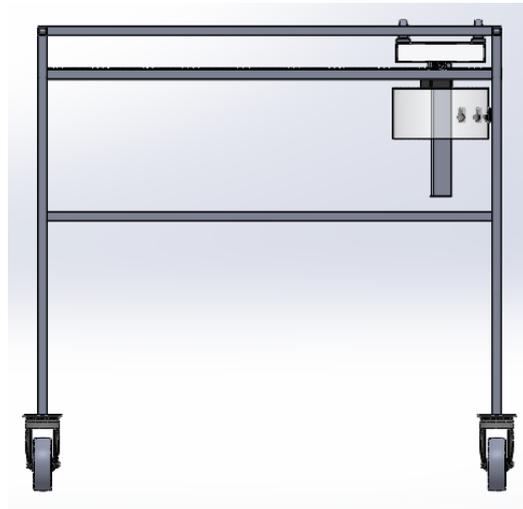


Figura 103 Posición inicial del sistema para toma de datos

Fuente: Autoría

Transcurrido los 5 minutos, mediante los servomotores el contenedor de sensores cambia de posición y se ubica sobre una planta de fresa que puedo o no tener pesticida, como se muestra en la Figura 92; permanece en esa posición por 10 minutos.

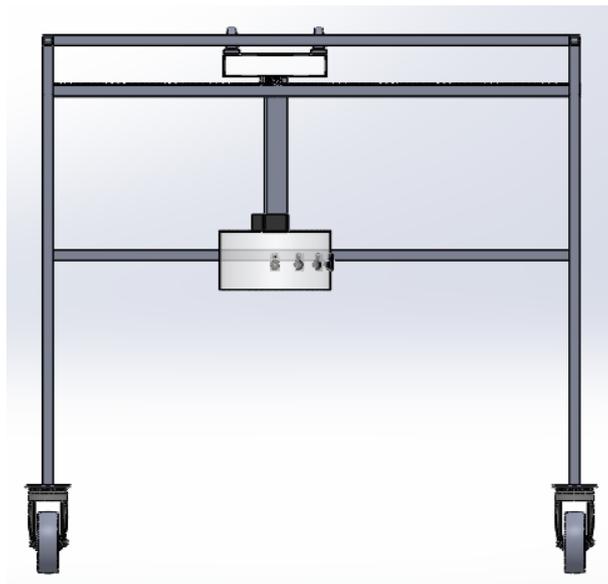


Figura 104 Posición de muestreo en fresa.

Fuente: Autoría

Transcurrido los 10 minutos, el contenedor de sensores tiende a moverse a su posición final (posición inicial), permanece en esa posición por 5 minutos.

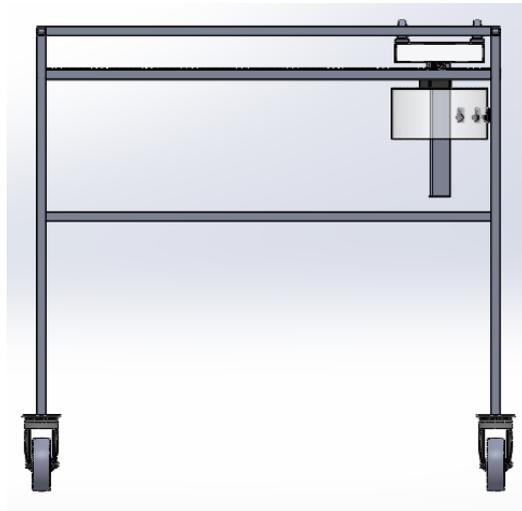


Figura 105 Posición final del sistema para toma de datos.

Fuente: Autoría

El proceso de toma de datos toma un tiempo de 20 minutos, los datos obtenidos son enviados desde el Arduino hacia la Raspberry Pi mediante el puerto Serial en tiempo real y es almacenado en un archivo.txt

3.6.2. Procesamiento

En la Figura 102 se muestra el bloque de procesamiento y predicción mediante SVM. Inicia mediante los datos enviados hacia la Raspberry y son almacenados en un archivo .txt el cual procede a su lectura y se extrae las características y posteriormente se separa al conjunto de datos en categorías, en este caso, según las clases de plaguicidas, mediante un separador.

Para tener una clasificación eficiente, se hace uso del kernel Gaussiano que transforma un espacio de pocas dimensiones a uno con mayores dimensiones permitiendo la clasificación de los diferentes pesticidas como: Circón, Fullmectin, Kañón, Sharamida y Sin pesticida.

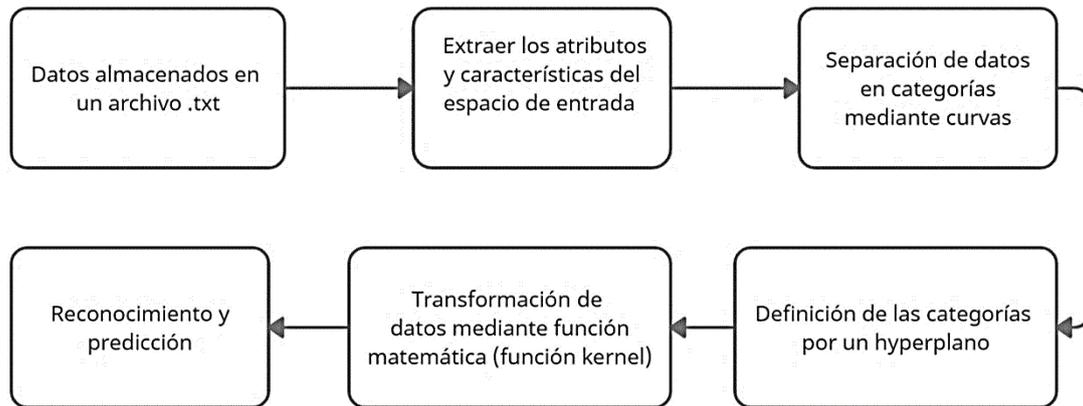


Figura 106 Proceso de reconocimiento y predicción mediante modelo SVM.

Fuente: Autoría

3.6.3. Visualización de resultados e interfaz gráfica

Para la visualización del resultado por el usuario se ha diseñado una aplicación en la Raspberry Pi.

En la Figura 103 se muestra el diagrama de flujo del proceso para la visualización de los resultados, se inicia con el encendido de todo el sistema electrónico mediante un interruptor, una vez termina con el encendido la Raspberry inicia su sistema operativo a la vez permite el encendido del Arduino y del arreglo de sensores; se tiene implementado una pantalla LCD táctil en el cual se ejecuta la aplicación Detector y mediante el botón Leer Sensores se procede a la lectura de datos, proceso que lleva 20 minutos.

Finalizada la lectura de datos, se procede a presionar el botón Calcular Resultado y el sistema usa los nuevo datos entrantes y ejecuta su modelo de Machine Learning obteniendo un resultado final.

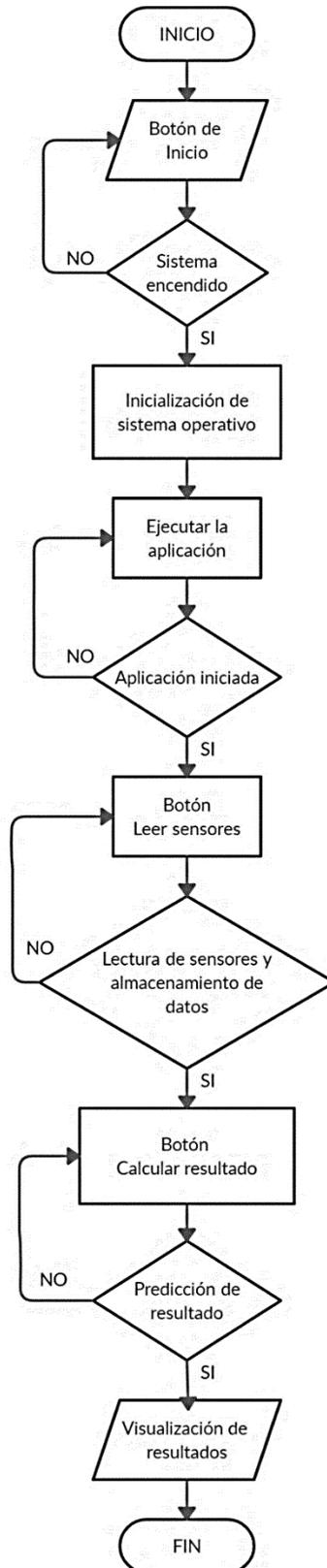


Figura 107 Diagrama de flujo de visualización de datos

Fuente: Autoría

En la Figura104 se muestra la interfaz gráfica para la visualización del resultado, conformado por dos botones, para la lectura de datos y para el cálculo del resultado final.



Figura 108 Interfaz gráfica para observación de resultados

Fuente: Autoría

4. Capítulo IV

PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD Y RESULTADOS

En el presente capítulo se menciona las pruebas de funcionamiento del sistema electrónico de detección de residuos de plaguicidas en un cultivo experimental de fresas, en el cual se verifica el funcionamiento del sistema electrónico, analizando cada uno de los subsistemas que conforman el dispositivo; posteriormente se hace la aplicación de los diferentes plaguicidas en el cultivo y se procede a medir los residuos de plaguicidas en un tiempo establecido para el monitoreo, de esta forma evaluar el funcionamiento del sistema.

4.1. Pruebas de funcionalidad

Se procede a comprobar el funcionamiento de cada uno de los bloques de la arquitectura del sistema electrónico, tales como el bloque de alimentación, bloque de sensores, bloque de adquisición de datos, bloque de procesamiento y bloque de visualización.

4.1.1. Prueba de Bloque de alimentación

Se verifica el cumplimiento de los requerimientos de arquitectura basado en la alimentación de los diferentes componentes del dispositivo, como el Arduino Mega, Raspberry, sensores electroquímicos y los servomotores como se indica en la Tabla 31.

Tabla 31. Prueba de funcionamiento del bloque de alimentación.

Test de Bloque de prueba: Alimentación Alimentación
Descripción: Prueba de funcionamiento del bloque de alimentación
Prerrequisitos: <ul style="list-style-type: none"> • Adquisición de batería Lipo 7,4V 5000 mA. • Conexión de batería y distribución hacia las placas programables, sensores de gas y servomotores
Pasos: <ul style="list-style-type: none"> • Verificar el encendido de Raspberry Pi 4 • Verificar el encendido de Arduino Mega • Verificar el encendido de los sensores electroquímicos • Verificar el funcionamiento de los servomotores • Verificar el tiempo de duración de la batería en continuo funcionamiento
Resultado esperado: Obtener la capacidad necesaria para la alimentación de los sistemas embebidos, los sensores y los servomotores; de esta forma obtener un adecuado funcionamiento del sistema electrónico.

Fuente: Autoría

La batería Lipo 7,4V 5000 mA tiene la capacidad de alimentar a la Raspberry Pi, al cual se encuentra conectado el Arduino y a la vez los sensores de gas, verificándose el encendido del Arduino y los led indicadores de cada uno de los sensores. Así mismo se obtiene la alimentación de los dos servomotores mediante la misma batería Lipo que tiene una capacidad adecuada para el funcionamiento de los servomotores y se verifica con el movimiento de cada uno de ellos.

El tiempo de duración de la batería en continuo funcionamiento es de 1h40min, tiempo adecuado para realizar las pruebas necesarias de funcionamiento.

Se obtiene un resultado satisfactorio del bloque de alimentación del sistema electrónico.

4.1.2. Prueba de Bloque de Adquisición de datos

Se comprueba el proceso de adquisición de datos por medio de la lectura de los sensores iniciando con la calibración y la comunicación a través de un puerto COM

hacia la PC. En la Tabla 32 se muestra el test del bloque de adquisición de datos basándose en los requerimientos del sistema.

Tabla 32. Prueba de funcionamiento del bloque de adquisición de datos.

Test de Adquisición Bloque de prueba: Adquisición de datos de datos

Descripción: Prueba de adquisición de datos

Prerrequisitos:

- Adquisición de datos de los sensores electroquímicos a Arduino
- Revisión de puertos COM en la PC

Pasos:

- Calibración de los sensores MQ-2, MQ-3, MQ-8, MQ-9 y MQ-135.
- Lectura de los sensores MQ-2, MQ-3, MQ-8, MQ-9 y MQ-135.
- Envío de datos a la PC por puerto Serie

Resultado esperado:

La conexión del Arduino con la PC mediante el reconocimiento del puerto COM y la inicialización de los sensores electroquímicos y la lectura de cada uno de ellos.

Fuente: Autoría

Se verifica la conexión del puerto de comunicación COM6 a través del computador y se realiza la carga del sketch mediante el IDE de Arduino, que contiene la programación de lectura de los sensores como se muestra en la Figura 109.

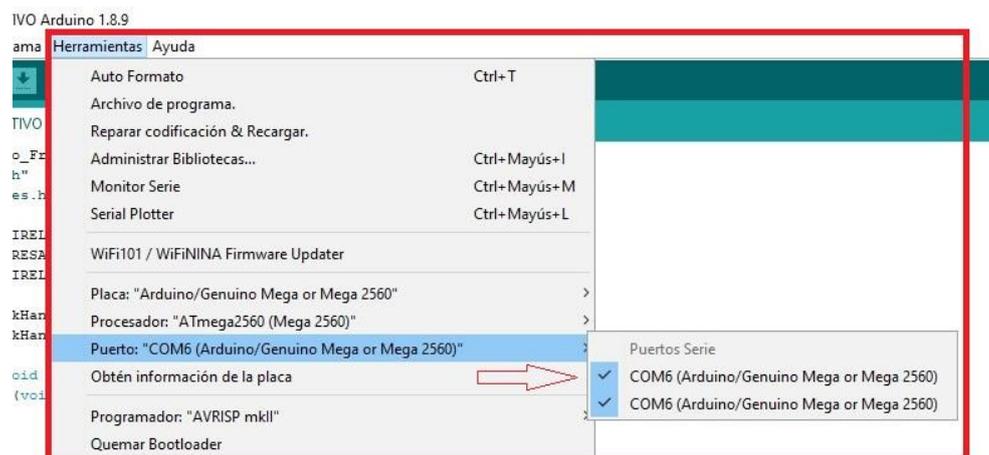


Figura 109 Reconocimiento del puerto COM de Arduino mediante PC.

Fuente: Autoría

Mediante la comunicación serial, se procede a la verificación de la conexión y la lectura de los sensores, el proceso inicia con la calibración de cada uno de los sensores y posteriormente la lectura de cada sensor como se muestra en la Figura 110.

```

COM6
Calibrating MQ-2 please wait..... done MQ-2!..
Calibrating MQ-3 please wait..... done MQ-3!..
Calibrating MQ-8 please wait..... done MQ-8!..
Calibrating MQ-9 please wait..... done MQ-9!..
Calibrating MQ-135 please wait..... done MQ-135!..
lectura de sensores
TIEMPO LGP(2) HEXENO(3) H2(8) CH4(9) CO(135)
0:0.00 3.50 0.07 52.29 10.57 3.82
0:0.50 3.50 0.07 52.04 10.57 3.73
0:1.00 3.47 0.07 52.04 10.46 3.73
0:1.49 3.47 0.06 51.92 10.46 3.63
0:1.99 3.47 0.07 51.92 10.46 3.63
0:2.49 3.44 0.07 51.80 10.34 3.63
0:2.98 3.44 0.06 51.80 10.34 3.63
0:3.48 3.41 0.07 51.80 10.34 3.63
0:3.98 3.41 0.07 51.80 10.34 3.63
0:4.47 3.41 0.07 51.80 10.34 3.59
0:4.97 3.47 0.07 51.80 10.34 3.63
0:5.47 3.47 0.07 52.04 10.34 3.63
0:5.96 3.47 0.07 51.92 10.34 3.63
0:6.46 3.47 0.07 51.92 10.34 3.63
0:6.95 3.47 0.07 51.80 10.22 3.63
0:7.45 3.47 0.07 51.80 10.22 3.55
  
```

Figura 110 Calibración de los sensores y lectura de datos.

Fuente: Autoría

4.1.3. Prueba de Bloque de procesamiento y Visualización de resultados.

Para evaluar el bloque de procesamiento es necesario iniciar con la interfaz gráfica de la Raspberry pi que permite iniciar la lectura de los sensores y posteriormente calcular el resultado final, en la Tabla 33 se muestra los requerimientos de funcionamiento del sistema.

Tabla 33. Pruebas de procesamiento y Visualización de resultados.

Test de procesamiento y visualización de resultados	de Bloque de prueba: procesamiento y visualización de resultados
-----------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------

Descripción: Prueba de procesamiento y visualización de resultados

Prerrequisitos:

- Establecer conexión Arduino con Raspberry pi
- Crear una interfaz gráfica para la visualización de resultados.

Pasos:

- Habilitar el puerto serial en la Raspberry pi
- Conectar Arduino pi a Raspberry mediante cable USB
- Iniciar la lectura de los sensores
- Calcular resultado final

Resultado esperado:

La comunicación Arduino – Raspberry pi por medio del cable USB, inicialización de lectura de sensores, almacenamiento de datos en archivo.txt, posteriormente se predice el resultado final.

Fuente: Autoría

Se verifica el funcionamiento del dispositivo, se procede con la ejecución de la interfaz gráfica del detector de plaguicida, mediante el establecimiento de un icono para el inicio de la aplicación que permite tener el control del dispositivo por parte del usuario final, como se muestra en la Figura 111.

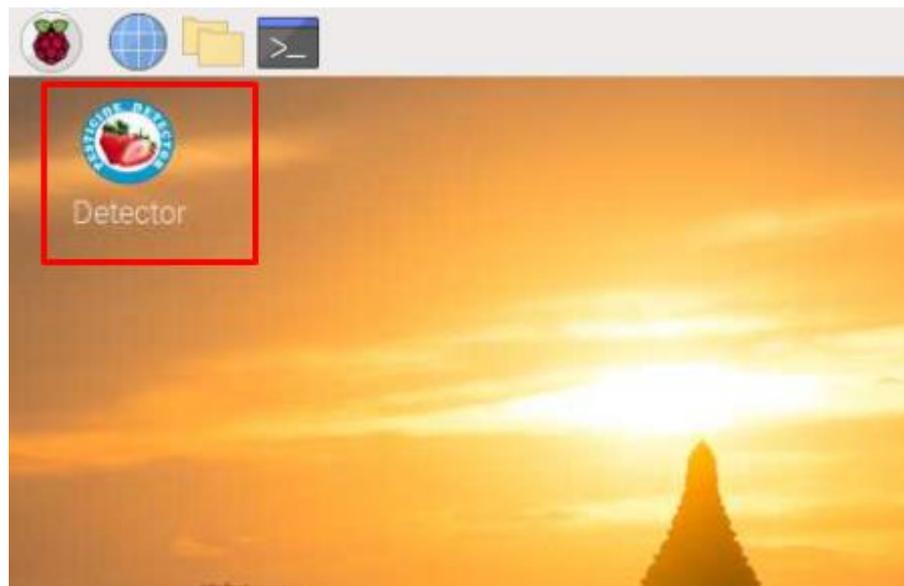


Figura 111 Icono de ejecución de la aplicación detector de plaguicida.

Fuente: Autoría

Una vez iniciada la aplicación, se tiene una interfaz como se presenta en la Figura 112, tiene tres botones que permite realiza la función de lectura de datos, calcular el resultado y apagar el dispositivo.

Para iniciar con el programa, se presiona el botón de Leer sensores.

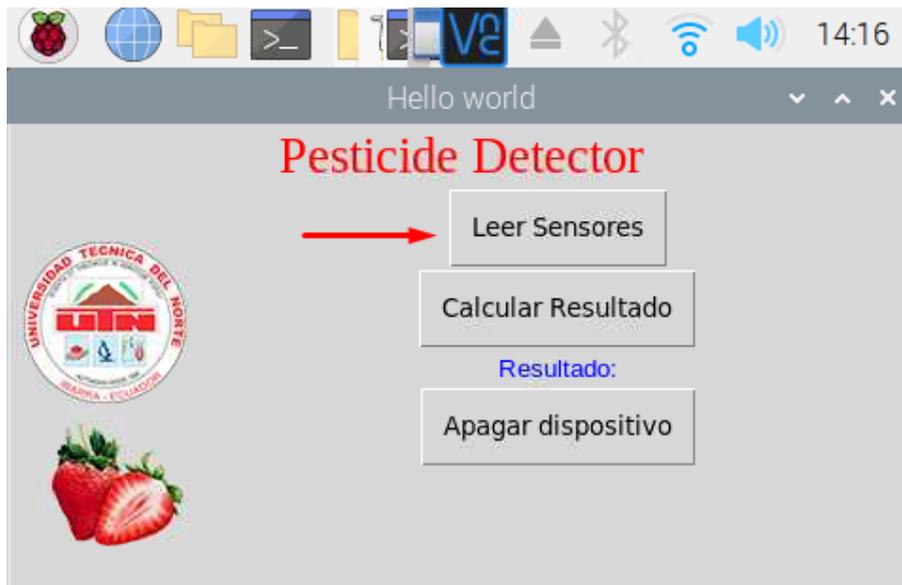


Figura 112 Interfaz gráfica del sistema.

Fuente: Autoría

Al iniciar el botón Leer sensores, inicia la comunicación entre la Raspberry y el Arduino, y se procede a la lectura de los sensores.

Se ejecuta automáticamente el terminal en la Raspberry y se observa la lectura de los sensores en tiempo real como se muestra en la Figura 113, por un tiempo de muestreo de 20 minutos.

```

pi@raspberrypi: ~
Archivo  Editar  Pestañas  Ayuda
16:48.51 3.94 0.07 43.50 10.94 1.13
16:49.01 3.87 0.07 43.62 10.88 1.15
16:49.51 3.87 0.07 43.86 10.88 1.15
16:50.01 3.87 0.07 43.74 10.94 1.22
16:50.50 3.87 0.07 43.38 10.76 1.11
16:51.00 3.79 0.07 43.50 10.94 1.13
16:51.50 3.91 0.07 43.38 10.94 1.18
16:52.00 3.87 0.07 43.62 11.00 1.11
16:52.50 3.79 0.07 43.98 10.76 1.11
16:53.00 3.91 0.07 43.86 10.94 1.15
16:53.50 3.98 0.07 43.62 10.82 1.15
16:54.00 3.94 0.07 43.86 11.06 1.13
16:54.50 3.91 0.07 43.38 11.00 1.20
16:55.00 3.87 0.07 43.74 10.64 1.13
16:55.49 3.91 0.07 43.62 11.00 1.09
16:55.99 3.83 0.07 43.26 10.76 1.15
16:56.49 3.91 0.07 43.50 11.00 1.11
16:56.99 3.87 0.07 43.74 11.00 1.15
16:57.49 3.83 0.07 43.86 10.94 1.11
16:57.99 3.79 0.07 43.86 10.82 1.20
16:58.49 3.87 0.07 43.86 10.82 1.13
16:58.99 3.94 0.07 43.86 10.88 1.11
16:59.49 3.91 0.07 43.86 10.70 1.09
16:59.99 3.94 0.07 43.74 1

```

Figura 113. Lectura y adquisición de datos en la Raspberry.

Fuente: Autoría

Los datos obtenidos se almacenan automáticamente en el archivo sample.txt en la dirección /home/pi como se muestra en la Figura 113, y está lista para la etapa de predicción.

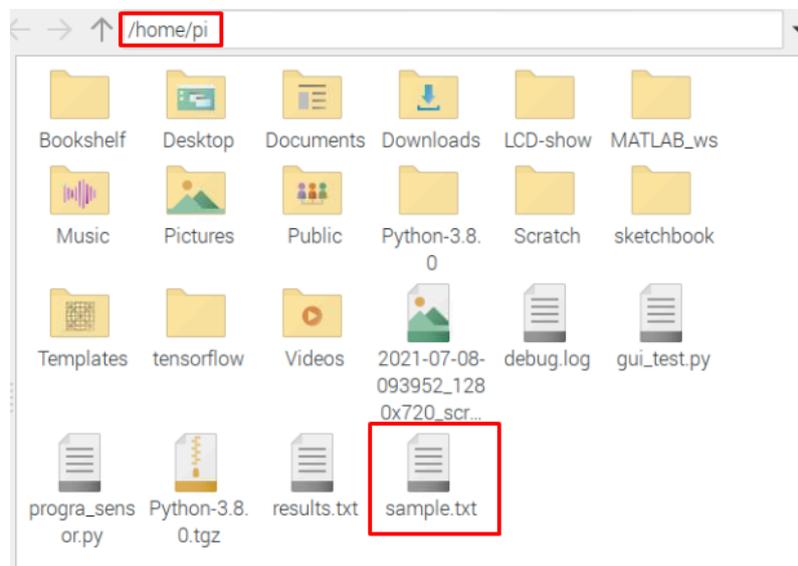


Figura 114 Almacenamiento de datos en el archivo sample.txt

Fuente: Autoría

Transcurrido los 20 minutos de toma de muestras, se ejecuta el botón de calcular resultado como se muestra en la Figura 115, y los datos del archivo sample.txt entra en el proceso de reconocimiento y predicción.

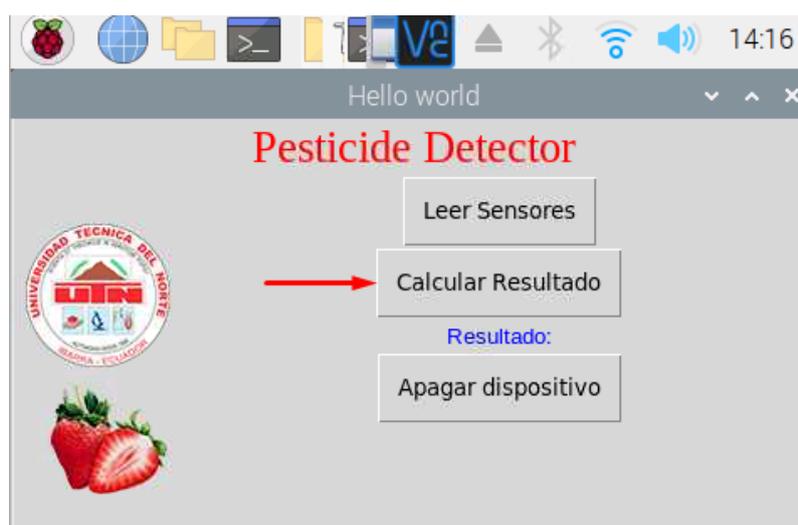
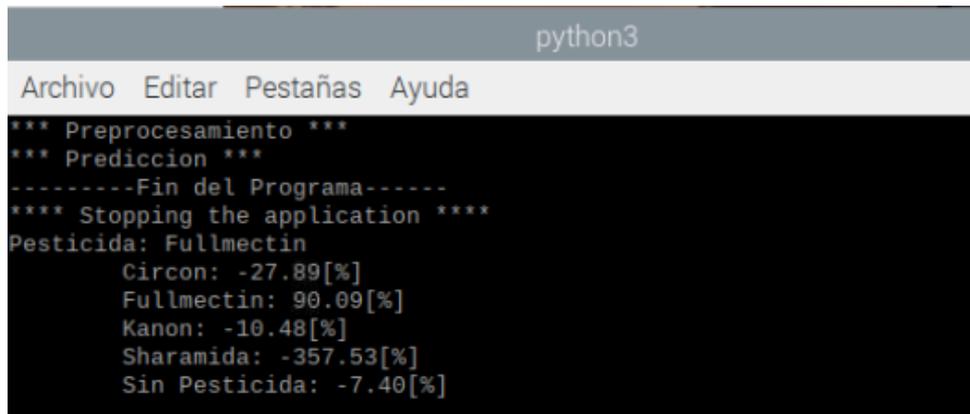


Figura 115. Ejecución del botón de Calcular resultado del GUI.

Fuente: Autoría

Inicia el procesamiento de los datos y se ejecuta el modelo entrenado dando como resultado final la clase a la que pertenece, en este caso se determina como Pesticida detectado al Fullmectin, y a la vez se muestra el porcentaje de probabilidades de otros químicos, como se muestra en la Figura 116.



```
python3
Archivo  Editar  Pestañas  Ayuda
*** Preprocesamiento ***
*** Prediccion ***
-----Fin del Programa-----
**** Stopping the application ****
Pesticida: Fullmectin
  Circon: -27.89[%]
  Fullmectin: 90.09[%]
  Kanon: -10.48[%]
  Sharamida: -357.53[%]
  Sin Pesticida: -7.40[%]
```

Figura 116. Proceso de procesamiento y predicción del resultado final.

Fuente: Autoría

El resultado obtenido es almacenado en el archivo results.txt en la ubicación /home/pi, como se aprecia en la Figura 117.

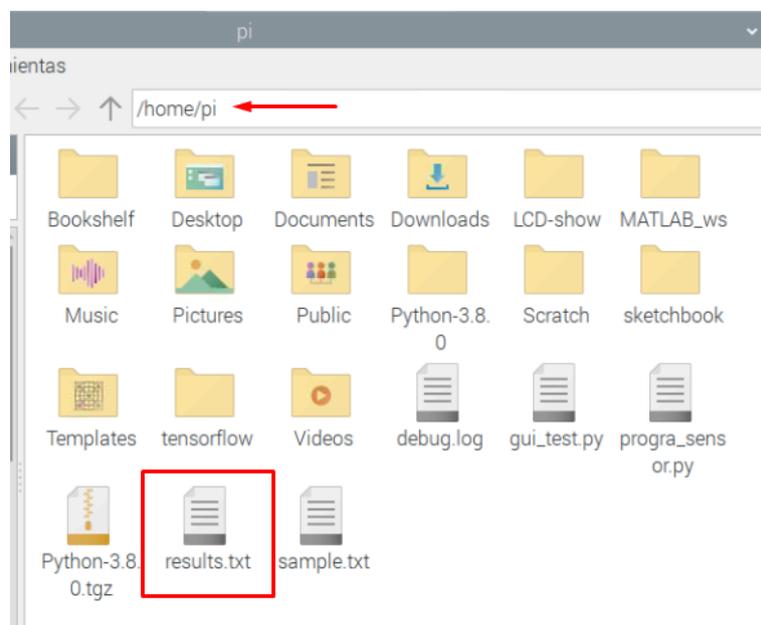


Figura 117 Almacenamiento del resultado en el archivo results.txt

Fuente: Autoría

Los resultado final almacenado en el archivo results.txt se lo imprime dentro de la interfaz gráfica de forma que sea visible al usuario, como se muestra en la Figura 118.

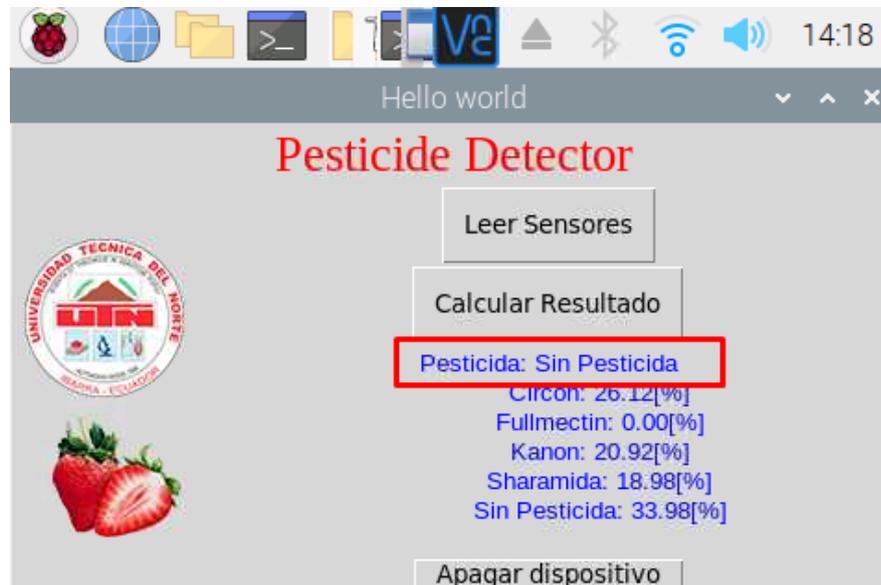


Figura 118. Indicador de resultado final en la aplicación.

Fuente: Autoría

Finalmente, se tiene un botón que permite apagar en su totalidad al sistema electrónico, como se muestra en la Figura 119, el botón permite ejecutar el comando shutdown -h en la Raspberry pi.

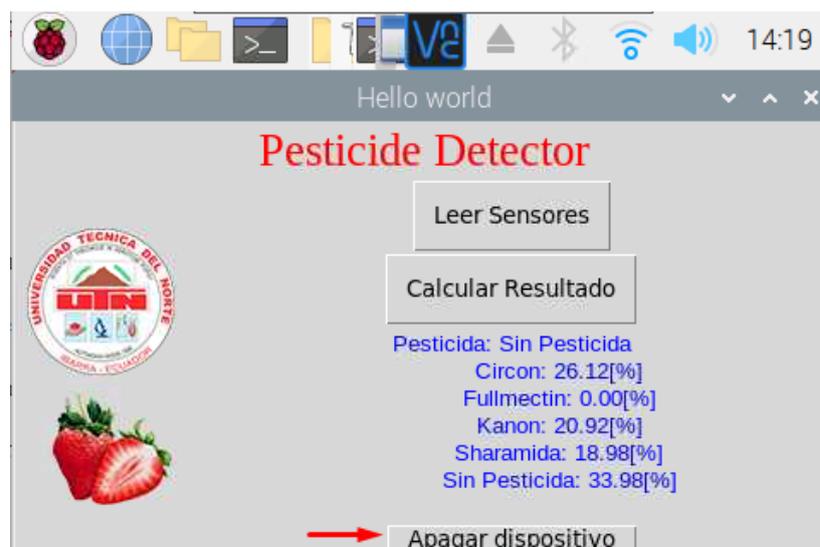


Figura 119. Botón de apagado del sistema electrónico.

Fuente: Autoría

4.2. Pruebas de desplazamiento del dispositivo electrónico

Se realiza las pruebas de funcionamiento del dispositivo electrónico, iniciando con el movimiento de algunas partes específicas del dispositivo, tales como el contenedor de sensores.

A continuación, en la Figura 120 se muestra la posición inicial del dispositivo, posición en el cual permanece por cinco minutos.

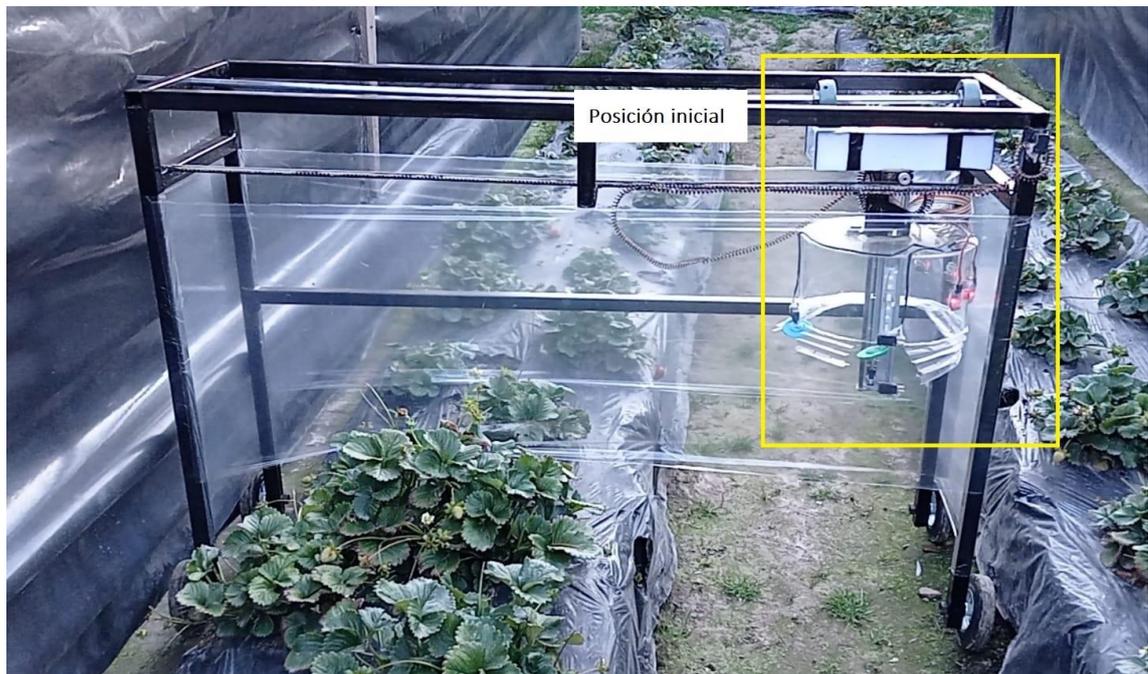


Figura 120 Posición inicial de funcionamiento del dispositivo electrónico.

Fuente: Autoría

Transcurrido los cinco minutos, el contenedor de sensores cambia de posición y se desplaza al lugar donde se encuentra la planta de fresa como se muestra en la Figura 121. Toma esta posición por un tiempo de diez minutos.

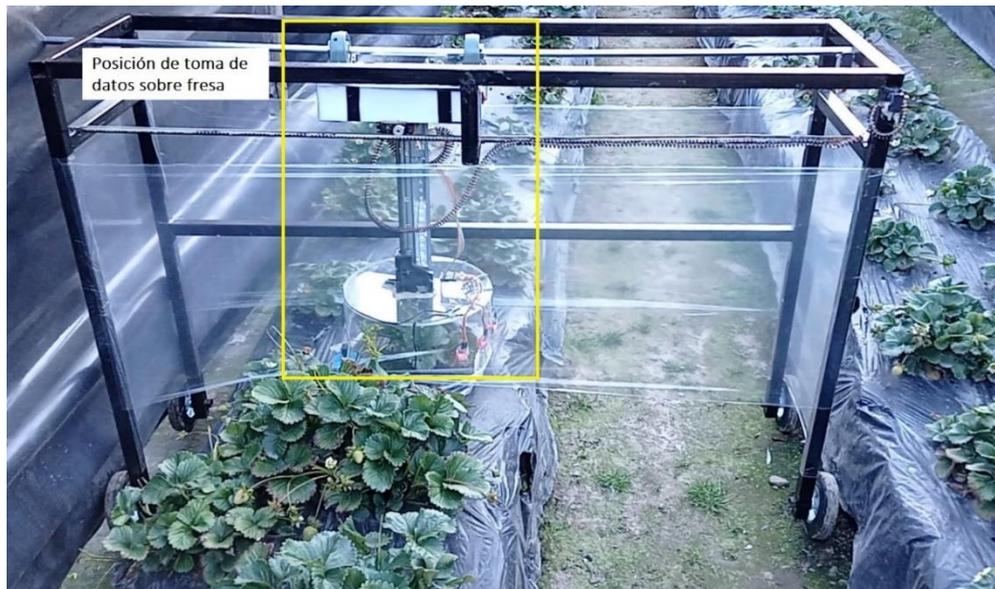


Figura 121 Posición de lectura de datos sobre la planta de fresa del dispositivo.

Fuente: Autoría

Finalmente, el contenedor de sensores vuelve a su posición inicial como se muestra en la Figura 122 y permanece en esa posición por cinco minutos. Transcurrido los 20 minutos de toma de datos finaliza el proceso de lectura de datos y se crea un archivo donde es almacenado y posteriormente se desarrollan los procesos mencionados anteriormente.

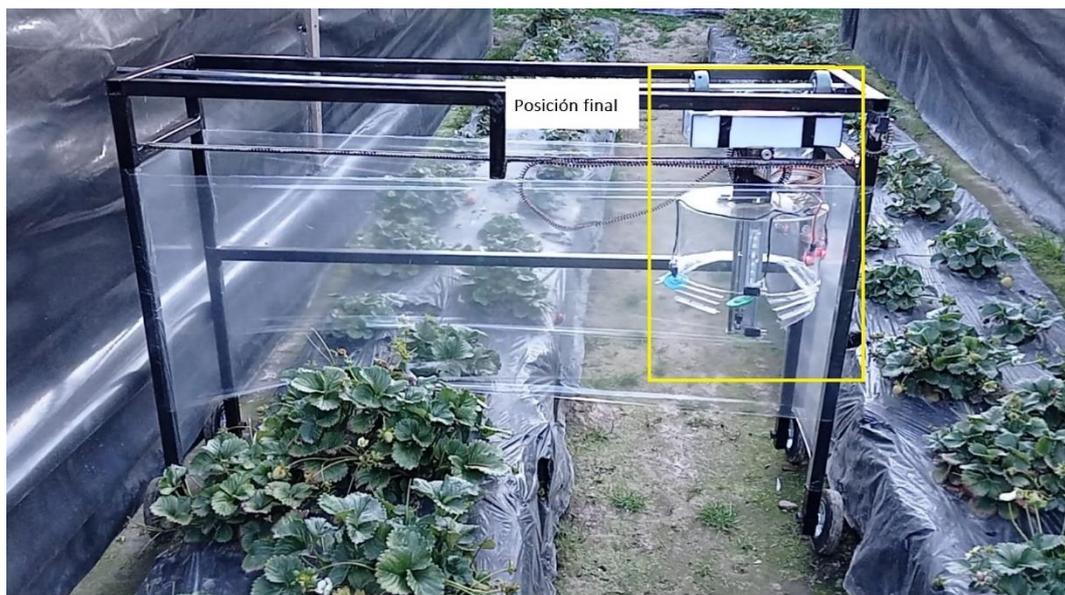


Figura 122. Posición final del proceso de funcionamiento del dispositivo electrónico.

Fuente: Autoría

4.3. Resultados de detección de residuos de pesticidas

Para visualizar los resultados del dispositivo electrónico, se realiza el monitoreo de las fresas después de la aplicación de los diferentes plaguicidas químicos, en el transcurso de tres días establecidos por el agricultor desde el día de la aplicación del plaguicida hasta su cosecha. Dentro del cultivo experimental, se establece una distribución por número de camas como se muestra en la Figura 123.

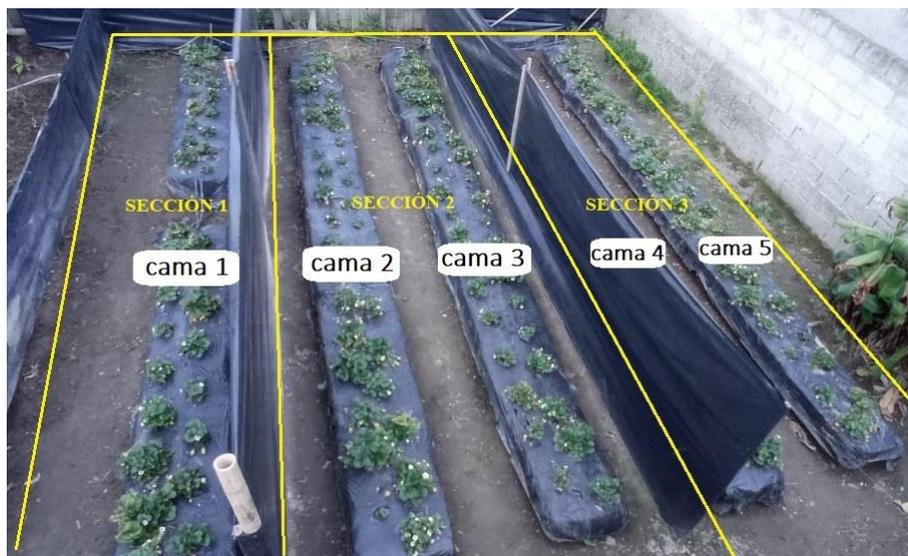


Figura 123. Distribución por número de camas del cultivo experimental.

Fuente: Autoría

En la Cama 4 y Cama 5 del cultivo experimental se realiza el proceso de pruebas y resultados, cada una de estas camas poseen aproximadamente 30 plantas de fresas en los cuales se realiza la aplicación de plaguicidas químicos con sello rojo y amarillo dependiendo de la plaga que se encuentre presente en el cultivo.

Una vez aplicada el químico en ambas camas en su totalidad, para el proceso de pruebas y resultados se selecciona las fresas de forma aleatoria con un total de 10 pruebas, como se muestra en la Figura 124.

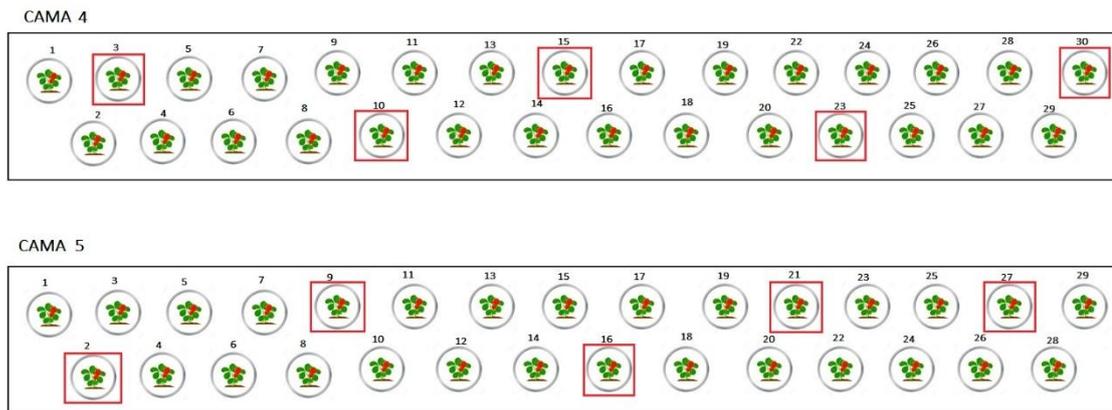


Figura 124. Selección de fresas para la proceso de prueba en la cama 4 y 5.

Fuente: Autoría

En el proceso de pruebas se toma en cuenta el tiempo entre la aplicación de los diferentes plaguicidas químicos y la cosecha, basándose en la metodología que usan los agricultores de la zona de los alrededores de la ciudad de Otavalo, por lo tanto, se define que se aplica una serie de químicos después de haber culminado con la cosecha basándose en los tipos de plagas que se encuentren en las plantas en ese instante, y pasado los 3 días desde su aplicación nuevamente se cosecha las fresas. Por lo tanto, se realiza las pruebas distribuidas desde el primer día de aplicación de químicos hasta el tercer día.

4.3.1. Resultado de detección de residuo de plaguicida un día después de la aplicación del plaguicida

Para esta prueba se realiza la aplicación de dos plaguicidas debido a la aparición de la mosca blanca y la araña roja se hace uso del plaguicida Sharamida y Kañón.

En la Tabla 34 se describe las aplicación de los plaguicidas Sharamida y Kañón, con la dosis recomendada y usada por los agricultores de la zona, y la plaga que se controla.

Tabla 34. Descripción de dosis de plaguicida Fullmectin y Sharamida.

Plaguicida Químico	Sello	Dosis	Plaga a tratar
Sharamida	rojo	$1 \text{ cm}^3 / \text{l}$	Mosca blanca
Kañón	amarillo	$1 \text{ cm}^3 / \text{l}$	Araña roja

Fuente: Autoría

Se realiza la aplicación de los plaguicidas utilizando una bomba manual de 20 litros como se muestra en la Figura 125.

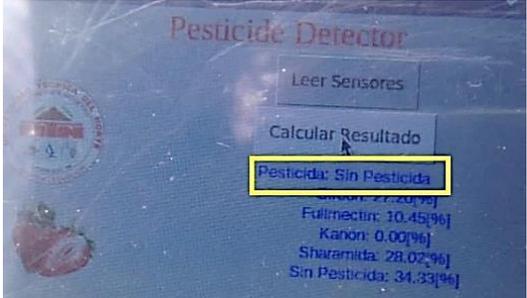
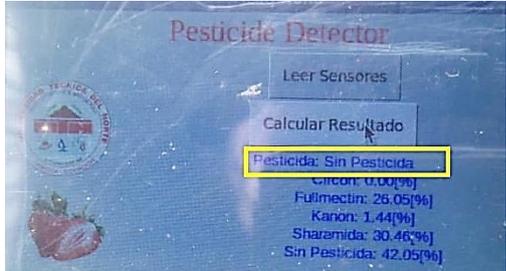
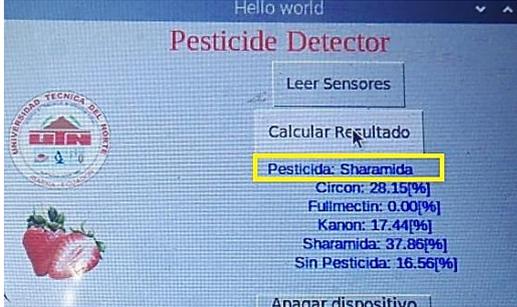
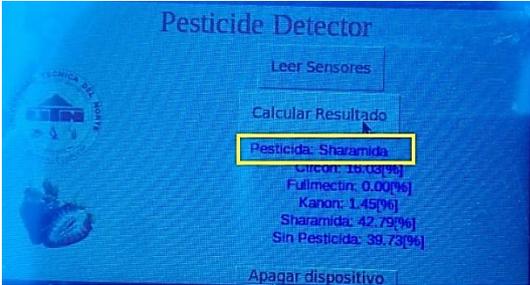


Figura 125 Aplicación de plaguicidas

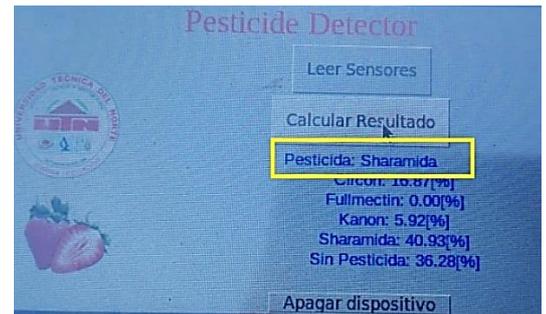
Fuente: Autoría

Pasado un instante de la aplicación de la dosis de químicos se inicia con el registro de resultados en la Tabla 35 en el que se describe el ID de la fresa que ha sido tomada de forma aleatoria como se muestra en la Figura 120, el número de prueba, la fecha y hora, y si existe o no Residuo de pesticida.

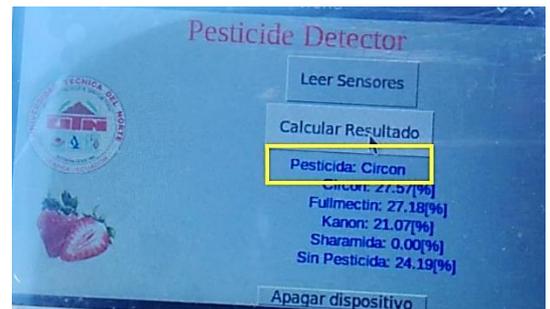
Tabla 35. Resultado de detección de residuo de plaguicida un día después de la aplicación del plaguicida..

ID	Prueba	Fecha	Hora	Nro. de cama	Residuo de Plaguicida	Verificación
3	1	15-07-2021	08:19:00	4	Sin Residuo	 <p>The screenshot shows the 'Pesticide Detector' application interface. The 'Calcular Resultado' button is pressed, and the result 'Pesticida: Sin Pesticida' is displayed and highlighted in a yellow box. Other data points include: Circon: 2.12(0.0%), Fullmectin: 10.45(9%), Kanon: 0.00(0%), Sharamida: 28.02(9%), and Sin Pesticida: 34.33(9%).</p>
10	2	15-07-2021	08:45:00	4	Sin Residuo	 <p>The screenshot shows the 'Pesticide Detector' application interface. The 'Calcular Resultado' button is pressed, and the result 'Pesticida: Sin Pesticida' is displayed and highlighted in a yellow box. Other data points include: Circon: 0.00(0%), Fullmectin: 26.05(9%), Kanon: 1.44(9%), Sharamida: 30.46(9%), and Sin Pesticida: 42.05(9%).</p>
15	3	15-07-2021	09:32:00	4	Residuo (Sharamida)	 <p>The screenshot shows the 'Pesticide Detector' application interface. The 'Calcular Resultado' button is pressed, and the result 'Pesticida: Sharamida' is displayed and highlighted in a yellow box. Other data points include: Circon: 28.15(9%), Fullmectin: 0.00(0%), Kanon: 17.44(9%), Sharamida: 37.86(9%), and Sin Pesticida: 16.56(9%).</p>
23	4	15-07-2021	09:54:00	4	Residuo (Sharamida)	 <p>The screenshot shows the 'Pesticide Detector' application interface. The 'Calcular Resultado' button is pressed, and the result 'Pesticida: Sharamida' is displayed and highlighted in a yellow box. Other data points include: Circon: 15.03(9%), Fullmectin: 0.00(0%), Kanon: 1.45(9%), Sharamida: 42.79(9%), and Sin Pesticida: 39.73(9%).</p>

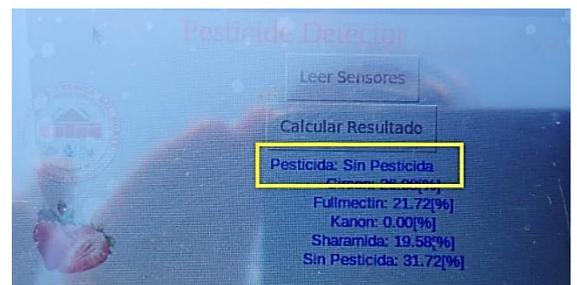
30 5 15-07-2021 10:25:00 4 Residuo
(Sharamida)



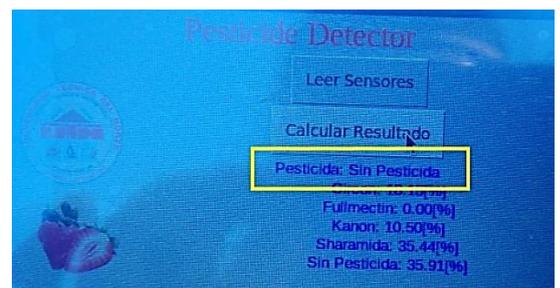
2 6 15-07-2021 16:46:00 5 Residuo (Circón)



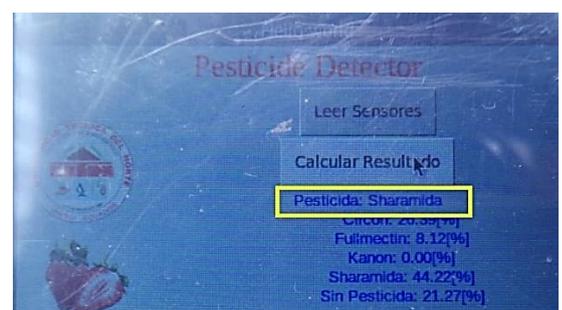
5 7 15-07-2021 17:09:00 5 Sin Pesticida



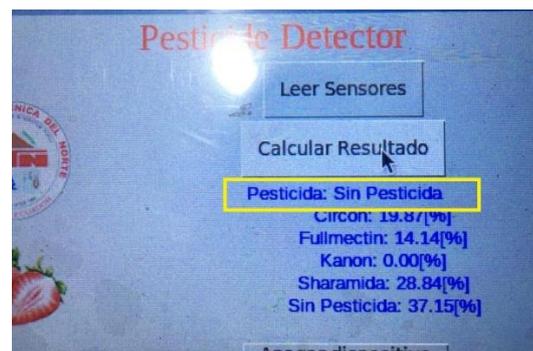
16 8 15-07-2021 17:33:00 5 Sin Pesticida



23 9 15-07-2021 17:57:00 5 Sharamida



27 10 15-07-2021 18:25:00 5 Sin Pesticida



Fuente: Autoría

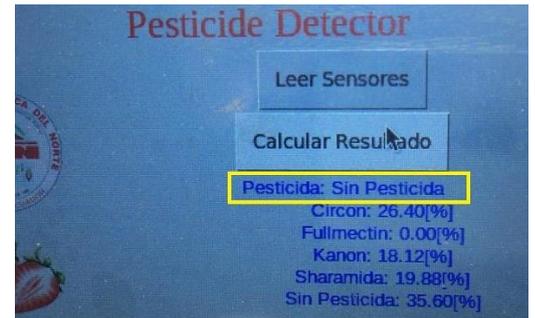
4.3.2. Resultado de detección de residuo plaguicida al dos día después de la aplicación del plaguicida

Un dos después de haberse aplicado la dosis de plaguicida, se procede a realizar las respectivas pruebas con el dispositivo electrónico con el fin de determinar si existe algún residuo de plaguicida al segundo día desde su aplicación, se registra los resultados obtenidos en la Tabla 36.

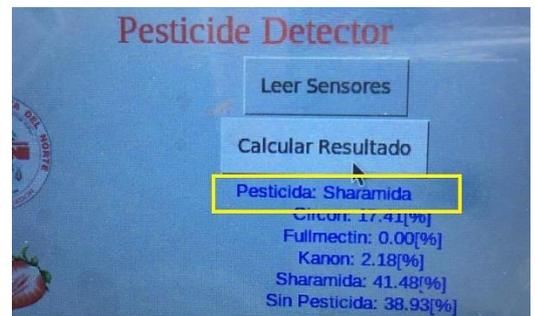
Tabla 36. Resultado de detección de residuo de plaguicida al día dos.

ID	Prueba	Fecha	Hora	Nro. de cama	Residuo de Plaguicida	Verificación
3	1	16-07-2021	09:00:00	4	Fullmectin	
6	2	16-07-2021	09:25:00	4	Sin Pesticida	

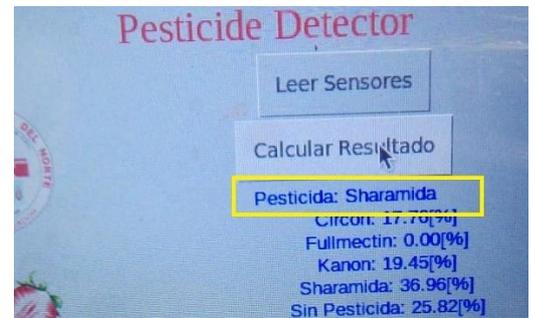
12 3 16-07-2021 09:50:00 4 Sin Pesticida



18 4 16-07-2021 10:15:00 4 Sharamida



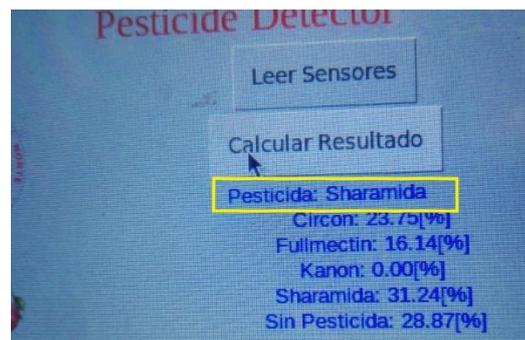
4 5 16-07-2021 10:40:00 4 Sharamida



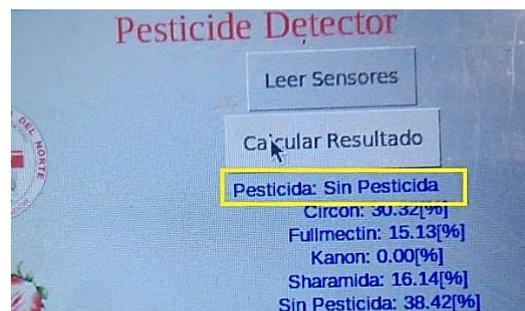
9 6 16-07-2021 16:00:00 5 Sin Pesticida



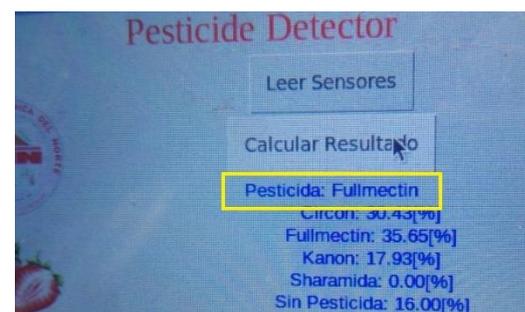
18 7 16-07-2021 16:25:00 5 Sin Pesticida



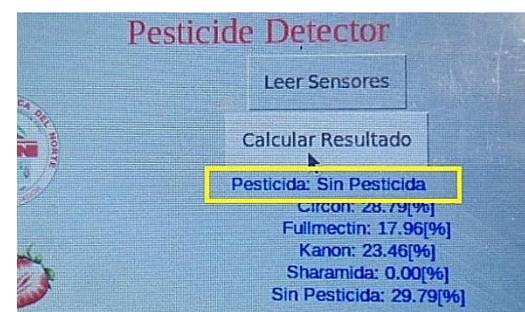
24 8 16-07-2021 16:50:00 5 Sin Pesticida



26 9 16-07-2021 17:15:00 5 Fullmectin



29 10 16-07-2021 17:40:00 5 Sin Pesticida

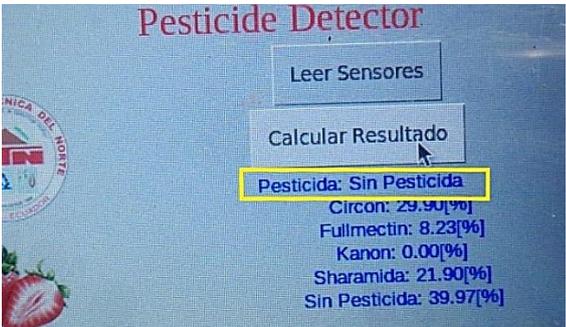
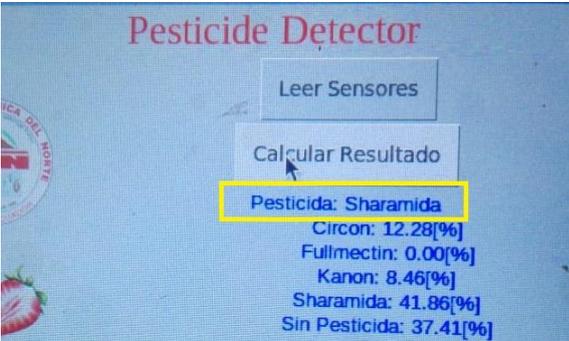
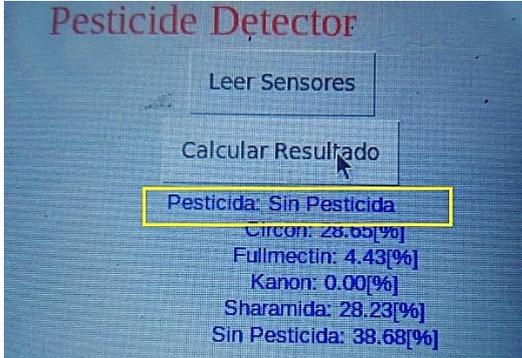
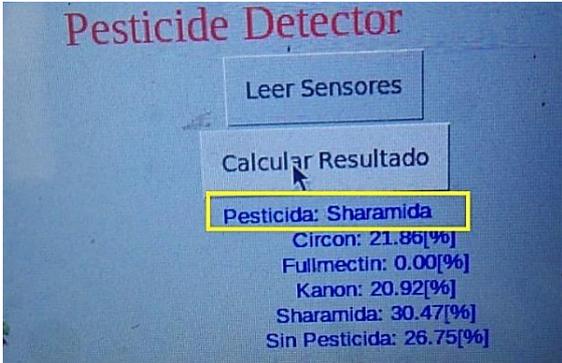


Fuente: Autoría

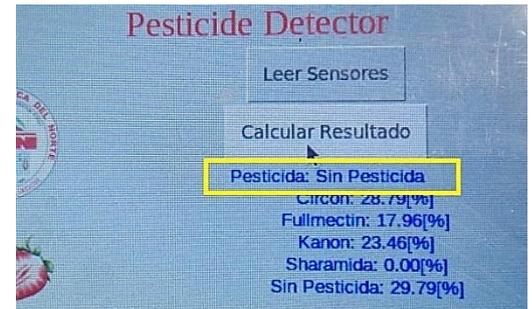
4.3.3. Resultado de detección de residuo de plaguicida al día tres

Al tercer día se realiza las respectivas pruebas con el dispositivo electrónico con la finalidad de detectar algún residuo de plaguicida después de tres días desde su aplicación, de igual forma se registra los resultados obtenidos en la Tabla 37.

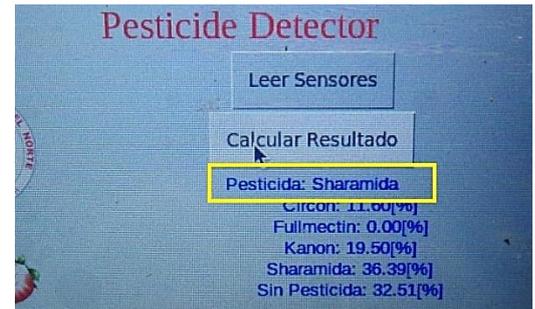
Tabla 37 Resultado de detección de residuo de plaguicida al día tres.

ID	Prueba	Fecha	Hora	Nro. de cama	Residuo de Plaguicida	Verificación
2	1	17-07-2021	08:30:00	4	Sin Pesticida	 <p>The screenshot shows the 'Pesticide Detector' application interface. The 'Calcular Resultado' button is highlighted, and the result 'Pesticida: Sin Pesticida' is displayed in a yellow box. Below this, the following percentages are listed: Circon: 29.90[%], Fullmectin: 8.23[%], Kanon: 0.00[%], Sharamida: 21.90[%], and Sin Pesticida: 39.97[%].</p>
7	2	17-07-2021	08:55:00	4	Sharamida	 <p>The screenshot shows the 'Pesticide Detector' application interface. The 'Calcular Resultado' button is highlighted, and the result 'Pesticida: Sharamida' is displayed in a yellow box. Below this, the following percentages are listed: Circon: 12.28[%], Fullmectin: 0.00[%], Kanon: 8.46[%], Sharamida: 41.86[%], and Sin Pesticida: 37.41[%].</p>
13	3	17-07-2021	09:20:00	4	Sin Pesticida	 <p>The screenshot shows the 'Pesticide Detector' application interface. The 'Calcular Resultado' button is highlighted, and the result 'Pesticida: Sin Pesticida' is displayed in a yellow box. Below this, the following percentages are listed: Circon: 28.65[%], Fullmectin: 4.43[%], Kanon: 0.00[%], Sharamida: 28.23[%], and Sin Pesticida: 38.68[%].</p>
17	4	17-07-2021	09:45:00	4	Sharamida	 <p>The screenshot shows the 'Pesticide Detector' application interface. The 'Calcular Resultado' button is highlighted, and the result 'Pesticida: Sharamida' is displayed in a yellow box. Below this, the following percentages are listed: Circon: 21.86[%], Fullmectin: 0.00[%], Kanon: 20.92[%], Sharamida: 30.47[%], and Sin Pesticida: 26.75[%].</p>

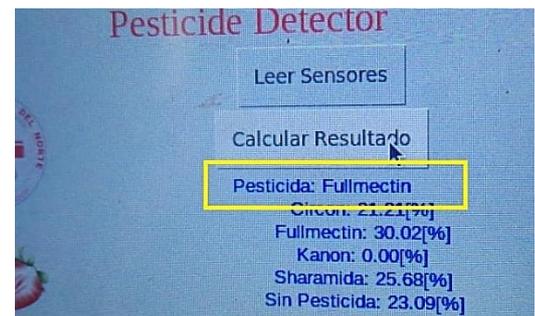
22 5 17-07-2021 10:10:00 4 Sin pesticida



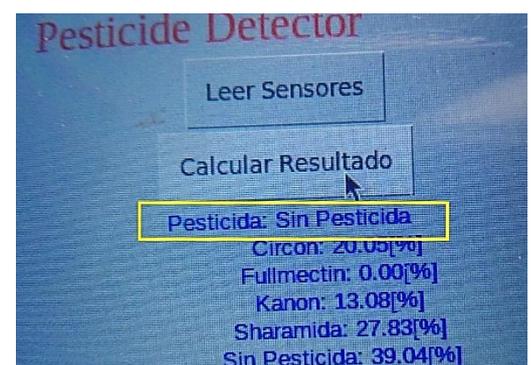
5 6 17-07-2021 15:30:00 5 Sharamida



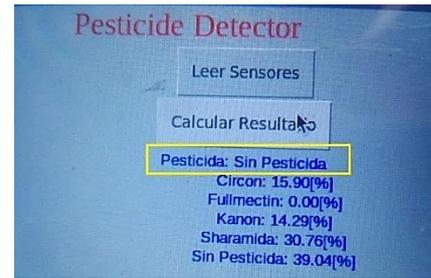
12 7 17-07-2021 15:55:00 5 Fullmectin



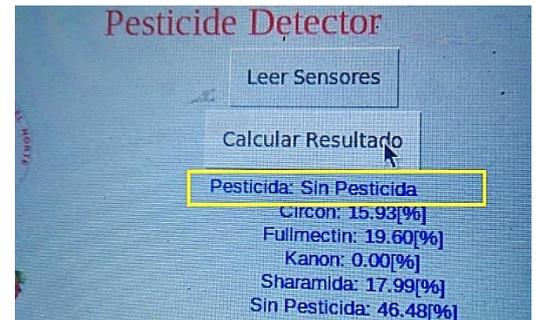
17 8 17-07-2021 16:20:00 5 Sin Pesticida



24 9 17-07-2021 16:45:00 5 Sin Pesticida



29 10 17-07-2021 17:10:00 5 Sin Pesticida



Fuente: Autoría

Se realiza un análisis de resultados de acuerdo a las pruebas realizadas como se muestra en la Tabla 38, donde se determina que a las 24 horas después de la aplicación de la dosis de pesticida se toma 10 pruebas en fresas de forma aleatoria, de los cuales 5 fresas contienen residuo de pesticida y 5 no contiene ningún residuo, transcurrido las 48 horas después de su aplicación se identifican 10 fresas de forma aleatoria, en los cuales se obtiene 4 fresas con residuo de pesticida y 6 fresas sin residuo; finalmente, transcurrido las 72 horas desde la aplicación de la dosis, se toma muestras de forma aleatoria y se identifica 4 fresas con presencia de residuo y 6 fresas sin presencia de residuo de plaguicida.

Tabla 38. Resumen de resultados de detección de residuos de pesticida.

Pruebas	Presencia de Residuo de Pesticida	Ausencia de Residuo de Pesticida
24 hora después de la aplicación	5	5
48 hora después de la aplicación	4	6
72 horas después de la aplicación	4	6

Fuente: Autoría

Además, con la finalidad de comprobar la presencia de detección de plaguicidas químicos en las fresas adquiridas del mercado local, se realizaron 5 toma de muestras de fresas de diferentes puntos del mercado local, de los cuales, en 3 pruebas se detectó pesticidas químicos y en 2 pruebas no se detectó ningún tipo de plaguicida químico, este proceso se muestra en el Anexo 5.

4.4. Comparación de resultados con los Límites Máximos de Residuos (LMR) de plaguicidas.

Los límites máximos de residuos de plaguicidas para la frutilla establecidos por las normas de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD) que se encuentran contempladas por la Unión Europea, EPA-USDA (Environmental Protection Agency) y Codex Alimentarius.

Se realiza la comparación de los residuos de plaguicidas encontrados en la fresa utilizando el dispositivo electrónico y los valores determinados los por las normas internaciones de los alimentos. Para este proceso se realiza la aplicación de los plaguicidas usados en el entrenamiento y desarrollo del prototipo, en este caso los plaguicidas como: Kañón, Sharamida, Circón y Fullmectin; de acuerdo con la dosis que aplican los agricultores de la zona.

4.4.1. Aplicación de plaguicidas y residuos determinados

En la Tabla 39 se muestra la dosis de aplicación especificada en la hoja técnica y de acuerdo a las prácticas culturales que cada agricultor lo realiza y aplicado en el desarrollo de este proyecto.

Tabla 39. Descripción de dosis de aplicación de plaguicidas

Nombre Plaguicida	Dosis
Kañón	20mL/20L
Circón	20gr/20L
Fullmectin	25mL/20L
Sharamida	20mL/20L

Fuente: Autoría

Los plaguicidas aplicados tienen una concentración de ingrediente activo que se encuentra especificado en la hoja técnica del cual se extrae la información necesaria mencionada en la Tabla 40.

Tabla 40 Plaguicida y su concentración de ingrediente activo.

Nombre Plaguicida	Concentración de Ingrediente activo	Nivel Toxicidad
Kañón	Chlorpyrifos 50% + Cypermethrin 5%	II
Circón	Fipronil	II
Fullmectin	Abamectin 18g/l	I
Sharamida	Imidacloprid 350g/l – 35%	I

Fuente: Tomada de (Edifarm, 2016),(Del Monte, 2019)&(Sharda, n.d.)

Para el proceso de entrenamiento del dispositivo electrónico se utiliza la dosis máxima establecido en cada ficha técnica. Una vez que el pesticida es aplicado sobre la fresa, instantáneamente se procede a tomar los datos del pesticida, proceso desarrollado en la sección 3.4

De acuerdo a los datos obtenidos en el proceso de entrenamiento del dispositivo electrónico, se obtiene la concentración de gas capaz de detectar cada uno de los sensores, en el caso del pesticida Kañón, se encuentra el compuesto Activo Chlorpyrifos y la Cypermethrin.

Mediante los sensores se determina que en el pesticida Kañón existe un nivel concentración de 6.24 ppm de GLP, 0.02 ppm de Hexeno, 3.21 ppm de H_2 , 21.59 ppm de CH_4 y 1.51 ppm de CO, como se muestra en la Figura 126.

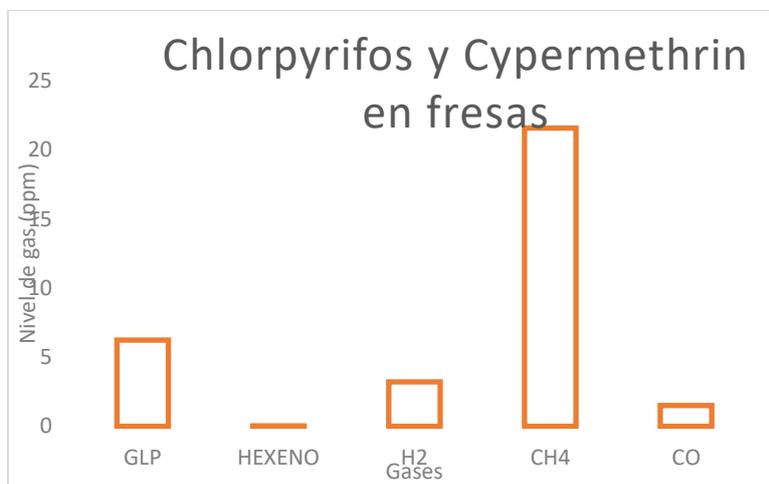


Figura 126. Diagrama de nivel de gas identificado por los sensores de gas en pesticida Kañón.

Fuente: Autoría

El pesticida Circón, contiene el ingrediente activo Fipronil y mediante los sensores de gas establecidos se determina que el pesticida contiene un nivel de concentración de 0.62 ppm de GLP, 0.009 ppm de Hexeno, 1.44 ppm de H_2 , 4.37 ppm de CH_4 y 0.96 ppm de CO como se muestra en la Figura 127.

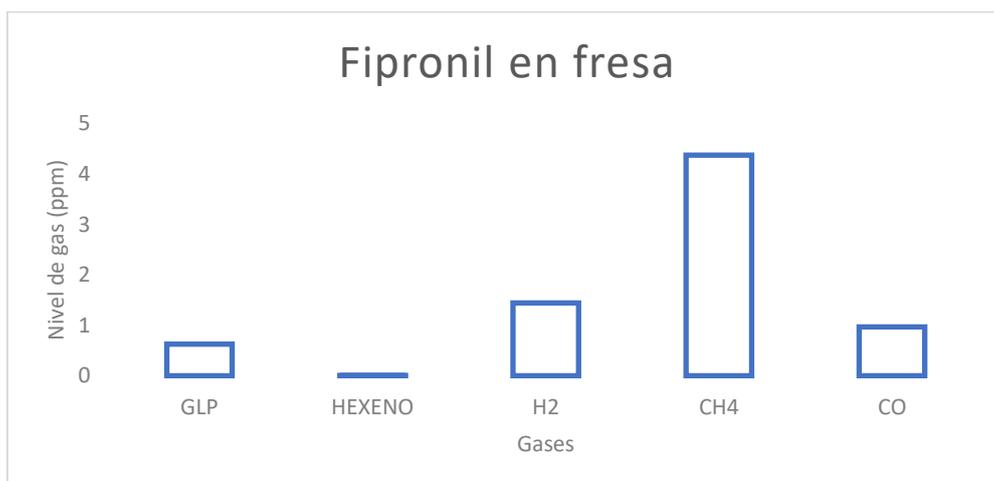


Figura 127 Diagrama de nivel de gas identificado por los sensores de gas en pesticida Circón.

Fuente: Autoría

De la misma manera se realiza un análisis con el pesticida Fullmectin que contiene como su ingrediente activo el Abamectin y mediante los sensores de gas establecidos se determina que el pesticida contiene un nivel de concentración de 3.85 ppm de GLP, 0.1 ppm de Hexeno, 8.23 ppm de H_2 , 19.30 ppm de CH_4 y 1.10 ppm de CO como se muestra en la Figura 127.

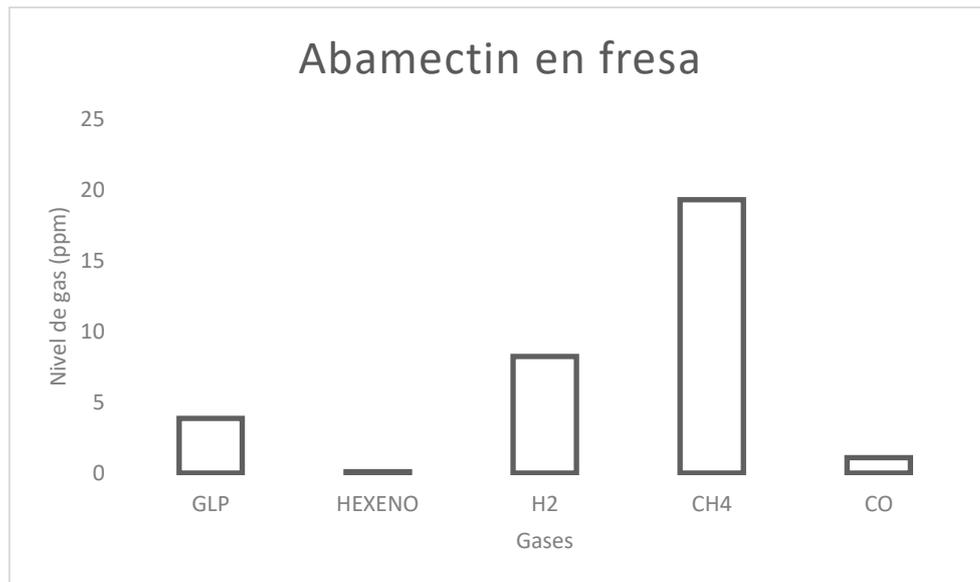


Figura 128. Diagrama de nivel de gas identificado por los sensores de gas en pesticida Fullmectin.

Fuente: Autoría

Finalmente se realiza un análisis del pesticida Sharamida que contiene como su ingrediente activo el Imidacloprid y mediante el dispositivo electrónico se determina que el pesticida contiene un nivel de concentración de 0.63 ppm de GLP, 0.008 ppm de Hexeno, 1.93 ppm de H_2 , 4.62 ppm de CH_4 y 0.83 ppm de CO como se muestra en la Figura 129.

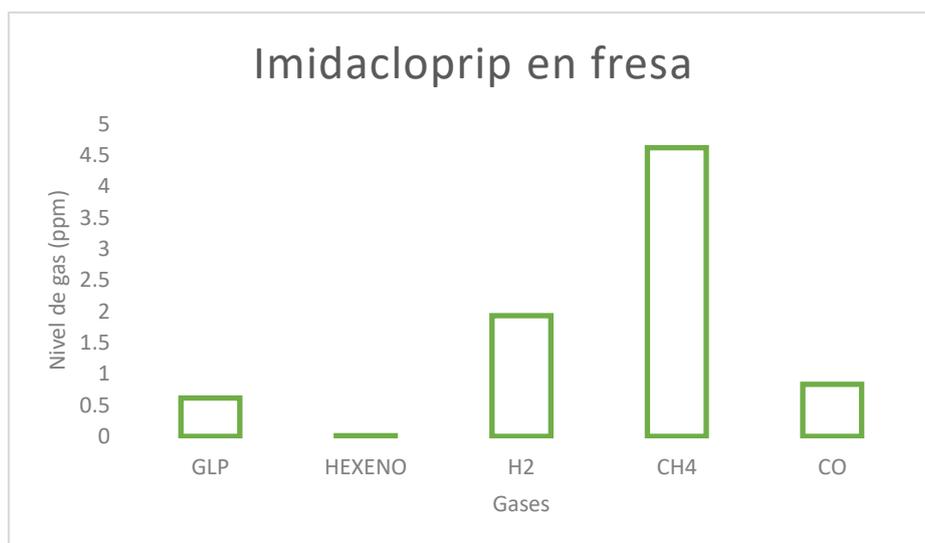


Figura 129. Diagrama de nivel de gas identificado por los sensores de gas en pesticida Sharamida.

Fuente: Autoría

El dispositivo electrónico se encuentra entrenado para detectar la dosis máxima que puede emitir los diferentes pesticidas en forma de gas, así mismo, la dosis de cada pesticida tiene el registro de LRM de acuerdo a la dosis aplicada y se considera que el dispositivo detecta el valor del residuo establecido por cada uno de los pesticidas, a continuación, se muestra en la Tabla 41 los valores de LMR de cada uno de los pesticidas que son detectados.

Tabla 41. Valores de Límite Máximo de Residuos (LMR) en plaguicidas, establecidos en la hoja técnica.

Pesticida	Concentración de ingrediente activo	Dosis	LMR
Kañón	Chlorpyrifos	20mL/20L	0.5ppm
	Cypermethrin	20mL/20L	0.1ppm
Circón	Fipronil	20gr/20L	0.04ppm
Fullmectin	Abamectin	25mL/20L	0.02ppm
Sharamida	Imidacloprid	20mL/20L	0.2ppm

Fuente: (Hortus, 2021)

4.4.2. Comparación con el Límite Máximo de Residuo establecido por las organizaciones de control

El Límite Máximo de Residuo (LMR) establecido por el Codex Alimentarius para las fresas viene dada en el código FB 0275. Fresa*, en el cual se describe el nivel máximo de residuo para cada tipo de pesticida.

De acuerdo a la concentración del ingrediente activo de la Tabla 38, se toma un extracto de la base de datos de los residuos de pesticidas establecidos en el código del Codex Alimentarius, a continuación, se presenta los Máximos Niveles de Residuos de pesticidas en fresas donde se describe el nombre del pesticida, el MLR y el año de adopción como se muestra en la Tabla 42.

Tabla 42. Niveles Máximos de Residuos establecidos por el Codex Alimentarius.

Pesticida	LMR Codex Alimentarius	Año de Adopción
Chlorpyrifos	0,3 mg/kg	2003
Cypermethrin	0,07 mg/kg	2009
Abamectin	0,15 mg/kg	2016
Imidacloprid	0,5 mg/kg	2009

Fuente: Tomado de Codex (Alimentarius, 2021)

De la misma forma el parlamento Europeo y del Consejo, establecen los Límites Máximos de Residuos (LMR) en determinados productos, valores que son establecidos para cada uno de los pesticidas. A continuación, se muestra la Tabla 43 con los valores de LMR en fresas basados en cada uno de los pesticidas aplicados.

Tabla 43. Niveles Máximos de Residuos establecidos por la Unión Europea.

Pesticida	LMR Unión Europea	Año de Adopción
Chlorpyrifos	0,005 mg/kg	2020
Cypermethrin	0,05 mg/kg	2017
Abamectin	0,15 mg/kg	2018
Imidacloprid	0,5 mg/kg	2005

Fuente: Tomado de (UE & Comisión, 2017)

Se realiza una comparación de los límites máximos de residuos de plaguicidas instituidos por las normas de la Unión Europea y el Codex Alimentarius, se realiza una comparación entre los resultados en las muestras como se muestra en la Tabla 44.

Tabla 44 Comparación de valores de LMR entre Unión Europea, Codex Alimentarius y resultados de muestras.

Pesticida	LMR Unión Europea	Codex Alimentarius	Hoja Técnica (dispositivo electrónico)
Chlorpyrifos	0,005 mg/kg	0,3 mg/kg	0.5ppm
Cypermethrin	0,05 mg/kg	0,07 mg/kg	0.1ppm
Abamectin	0,15 mg/kg	0,15 mg/kg	0.02ppm
Imidacloprid	0,5 mg/kg	0,5 mg/kg	0.02ppm

Fuente: Autoría

De acuerdo a lo establecido, el dispositivo electrónico se encuentra entrenado para detectar la dosis máxima de pesticida, por lo tanto, se tiene los valores de LMR establecidos por la hoja técnica de cada pesticida. En cuanto al Chlorpyrifos 0.5ppm y Cypermethrin 0.1 superan los valores de LMR establecidos por la Unión Europea y el Codex Alimentarius, las cuales no estarían cumpliendo con la normativa establecida.

No se presenta la comparación de las dosis máxima con la EPA-USDA (Environmental Protection Agency) debido a que no se tiene disponible la información necesaria de los LMR de los diferentes pesticidas.

5. Capítulo V

MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS MIP PARA EL CULTIVO

EXPERIMENTAL DE FRESAS

En este capítulo, se presenta la manera de reducir el uso indiscriminado de insecticidas como resultado de este proyecto mediante la implementación de un Manejo Integrado de Plagas MIP conocido también como control integrado de plagas que tiene la finalidad de utilizar técnicas y métodos para mantener las plagas a bajos niveles mediante un control químico, es decir, que tiene como objetivo reducir el uso de los productos químicos. Para ello se ha realizado un cultivo experimental de fresas en el cual se aplica un control natural de plaguicidas basado en diferencias especies naturales.

5.1. Principios Fundamentales del Manejo Integrado de Plagas

A lo largo de la historia de la agricultura, el campesino ha tenido la necesidad de combatir las plagas que afectan a los diferentes cultivos y productos mediante el uso de sustancias químicas capaces de eliminarlos; químicos que al principio se creía que únicamente solucionaban los problemas ocasionados por las plagas, sino que también han traído una serie de problemas y riesgos por su uso indiscriminado.

Con la finalidad de reducir los problemas mencionados, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) establecen el Manejo Integrado de Plagas (MIP) enfatizando dos principios fundamentales tales como son:

- El MIP debe realizarse de forma armoniosa con las leyes de la naturaleza aprovechando el control biológico natural y la diversidad local, aunque no se elimina la posibilidad de seguir empleando los plaguicidas en algunas circunstancias, pero es necesario reducir o eliminar los productos que tienen

una clasificación de extrema y altamente tóxicos permitiendo un control biológico natural.

- El MIP se basa en los conocimientos mediante recursos y proceso naturales que los productores emplean, es decir el MIP busca reunir los conocimientos indígenas con la ciencia, de esa forma aplicar y tomar las decisiones óptimas en el manejo de las plagas.

5.2. Método de control a implementar

El cultivo experimental de fresas que se tiene realizado en el proyecto se basa en un control químico, debido a la aplicación de los diferentes plaguicidas para el control en el desarrollo de las fresas. A la vez se realiza un control natural mediante el uso de productos naturales tales como vinagre, ajo, ají, aceites, etc., productos que permiten combatir a las diferentes plagas.

5.2.1. Control Químico

A los plaguicidas se los conoce de acuerdo a la plaga que se pretende controlar, como los fungicidas están encargadas del control de hongos, los herbicidas tienen el control de las malezas, los insecticidas controlan los insectos; cada uno de éstos tienen una clasificación basándose en criterios como su modo de acción, grupos químicos, propiedades químicas, formulaciones y por su grado de toxicidad.

Dentro de la clasificación de los plaguicidas según su grado de toxicidad, se establece su clasificación de los diferentes químicos de acuerdo al riesgo que representa su uso para los seres humanos como se muestra en la Tabla 45.

Tabla 45 Clasificación de los plaguicidas según su grado de toxicidad.

Categoría	<i>DL</i> ₅₀ *				Descripción
	Oral		Dermal		
	Sólido	Líquido	Sólido	Líquido	
IA	5 ó menos	20 ó menos	10 ó menos	40 ó menos	Sumamente peligroso a la salud humana
IB	5 a 50	20 a 200	10 a 100	40 a 400	Muy peligroso a la salud humana
II	50 a 500	200 a 2000	100 a 1000	400 a 4000	Moderadamente peligroso a la salud humana
III	Mayor a 500	Mayor a 2000	Mayor a 1000	Mayor a 4000	Levemente peligroso a la salud humana

Fuente: (OMS, n.d.)

En la Tabla 38 se muestra que los valores de toxicidad están en *DL*₅₀ dosis letal 50, que es un valor estimado estadístico de mg de sustancia tóxica por kg de peso corporal requerido para matar al 50% de una población de animales de prueba (OMS, n.d.).

5.2.2. Control Natural

Una forma de controlar las plagas se lo realiza mediante plaguicidas naturales basadas en productos naturales que pueden ser usados como insecticidas y como fungicidas. Productos naturales como el ají, ajo, vinagre, licor, aceite, jabón, entre otros, estas sustancias tienen en su composición niveles de acidez y de acuerdo a la concentración en su aplicación son capaces de matar bacterias.

5.3. Descripción y control de plagas

Para establecer forma de un Manejo Integrado de Plagas, se ha dividido el cultivo experimental de fresas en 3 secciones, cada una de ellas formadas por aproximadamente 30 plantas como se muestra en la Figura 130.



Figura 130 División del cultivo experimental de fresas

Fuente: Autoría

La primera sección del cultivo de fresas con 30 plantas como se muestra en la Figura 131, es un cultivo basado en un control natural, sin ninguna aplicación de plaguicidas químicos, en el cual se desarrolla este capítulo.



Figura 131 Sección 1 del cultivo experimental de fresas

Fuente: Autoría

La segunda sección del cultivo conformada por 60 plantas como se muestra en la Figura 132, se basa en un control químico mediante la aplicación de pesticidas de nivel II y III, moderadamente peligroso y levemente peligroso para la salud humana.



Figura 132 Sección 2 del cultivo experimental de fresas

Fuente: Autoría

La tercera sección del cultivo experimental consta de 60 plantas como se muestra en la Figura 133, de la misma forma se establece un control químico mediante la aplicación de pesticidas de nivel II y III, moderadamente peligroso, con la aplicación de los plaguicidas establecidos en el desarrollo del proyecto con el uso del dispositivo electrónico.



Figura 133 Sección 3 del cultivo experimental de fresas

Fuente: Autoría

La aplicación de los diferentes plaguicidas depende de las diferentes plagas que afecte a la planta en ese momento. Las plagas o enfermedades que comúnmente afecta a la frutilla ya sea insectos o las bacterias, hongos, virus, etc., producen daños al desarrollo de la planta. A continuación, se presenta las plagas comunes que afectan al cultivo experimental de fresas.

- ***Pudrición de fruto***

Es producida por el hongo *Botrytis cinérea*, aparece en mayor cantidad en condiciones de humedad relativamente alta, ocasiona la pudrición en flores y el fruto genera esporas de color café oscuro, como se muestra en la Figura 134.

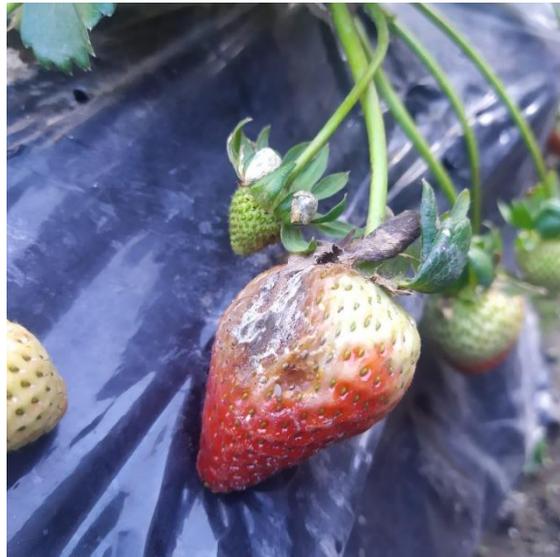


Figura 134 Daño de *Botrytis* en fruto de fresa

Fuente: Autoría

- ***Antracnosis***

Se observa manchas oscuras en las ramas y el fruto como se muestra en la Figura 135, este patógeno produce la muerte del tejido vegetal de las partes infectadas e incluso la muerte de la planta por completa, se tiene un aumento de la enfermedad por la humedad relativamente alta, la falta de aireación en el cultivo y la presencia de malezas.



Figura 135 Antracnosis en fruto de fresa

Fuente: Autoría

- ***Araña roja (Tetranychus urticae)***

Ocasionada por la presencia de hongos que producen manchas amarillas en las hojas, y si es muy intenso el ataque, este toma un coloración café rojiza como se muestra en la Figura 136, en muchos casos secando las hojas.



Figura 136 Efecto de Araña roja en planta de fresa.

Fuente: Autoría

- ***Gasterópodos***

El cultivo de fresa es atacado por babosas que aparecen en lugares húmedos bajo la planta como se muestra en la Figura 137, sus daños se lo identifican observando la secreción brillante que esta plaga va dejando sobre los frutos.



Figura 137 Gasterópodos en fruto de fresa.

Fuente: Autoría

5.3.1. Control Natural.

Al iniciar con la etapa de cosecha de las fresas, éstas por lo general son controladas con plaguicidas permitiendo una aplicación continua de estos químicos que produce un riesgo ambiental y también para la salud.

Dentro del cultivo experimental de fresas se observa que al momento de la producción de los frutos, éstos se ven afectados por una variedad de hongos patógenos, por lo general son las *Botrytis*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Pestalotiopsis*, *Phytophthora*, entre otros, que producen un daño grave en su producción (Cano, 2014).

Mediante las prácticas culturales y el uso de productos naturales se pretende reducir el daño que produce los hongos patógenos sobre la fruta. En la siguiente tabla se muestra un tratamiento natural como alternativa al uso de plaguicidas químicos.

Tabla 46 *Patógeno y su control mediante plaguicida natural.*

Patógeno	Plaguicida natural	Efecto
Mohos	Aceites esenciales de tomillo, orégano y menta	Los compuestos del tomillo y el orégano son fuertes que eliminan los mohos permitiendo alargar la vida útil de los frutos.
Botrytis cinérea	Vinagre	La acidez del vinagre impide el crecimiento de los hongos y las bacterias.
Pulgones y araña roja	Ají y ajo	La capsaicina producida por el ajo es una sustancia picante que tiene el efecto repelente de insectos.
Antracnosis	Licor	En licores destilados con un 30-40% de alcohol tiene la capacidad de impedir el crecimiento de hongos y bacterias.

Fuente: (Louise, 2001)

5.3.2. Control Químico

La sección tres del cultivo experimental está basado en la aplicación de productos químicos que permiten tener un control inmediato y seguro de las diferentes plagas. El MIP busca la manera de reducir la aplicación de productos químicos debido a su toxicidad que afecta a la salud no solamente de los agricultores encargados de la fumigación, sino también de las personas que consumen las fresas.

Conocido las diferentes plagas que existen en el cultivo experimental de fresas se determina los diferentes plaguicidas que deben aplicarse para el control de cada una de las plagas. El dispositivo electrónico se encuentra entrenado para la detección de plaguicidas químicos mencionados en la Tabla 47.

Tabla 47 Patógeno y su control mediante plaguicida químico.

Patógeno	Plaguicida Químico	Efecto
Ácaros y gusano enrollador	Fullmectin	Al aplicarse en el follaje, libera ácidos y activa los canales de cloruro; donde los insectos se alimentan, produce un parálisis y posteriormente la muerte de la plaga.
Larvas, mosca blanca, pulgones	Sharamida	Actúa sobre el sistema nervioso central del insecto hasta que mueren.

Enrollador, trips	Circón	Penetra en la planta hasta los sitios donde se encuentran refugiados los insectos afectando el sistema nervioso y finalmente mueren. Actúa de forma inmediata sobre los insectos adultos,
Araña roja, mosca de la fruta	Kañón	tiene una acción neurotóxica afectando sobre el sistema nervioso de los insectos.

Fuente: (Edifarm, 2016)

5.4. Aplicación del Manejo Integrado de Plagas MIP mediante plaguicidas de control Natural

Para la ejecución del Manejo Integrado de Plagas, se procede a la fabricación de los plaguicidas naturales que son aplicados en las fresas con el fin de reducir los residuos de plaguicidas químicos.

5.4.1. Plaguicida natural a base de ajo, ají y jabón

En la Tabla 48 se describe el desarrollo del plaguicida natural utilizando como ingredientes el ajo, ají y jabón.

Tabla 48. Proceso de preparación de insecticida Natural.

Ingrediente	<ul style="list-style-type: none"> - 2 cabezas de ajo - 1 puñado de ají - 30 gr jabón de pasta o líquido
-------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Preparación	<ul style="list-style-type: none"> - Se muele el ajo y el ají. - Colocar la mezcla de ají y ajo en un bote con agua junto con el ½ jabón. - Dejar fermentar por 3 días.
Dosificación	<ul style="list-style-type: none"> - Dejar disolver el concentrado en 20 litros de agua y aplicar en el follaje de la fresa. - Aplicación cada 8 días.
Control	<ul style="list-style-type: none"> - Pulgones, ácaros, mosca blanca y mirador - En cultivos hortícolas controla el estado adulto de pulgones, araña roja, mosca blancas y trips.

Fuente: Autoría

Se realiza las indicaciones mencionadas en la Tabla 47, y la mezcla se lo almacena en un recipiente el cual estará en reposo durante 3 días, proceso que se muestra en la Figura 138.

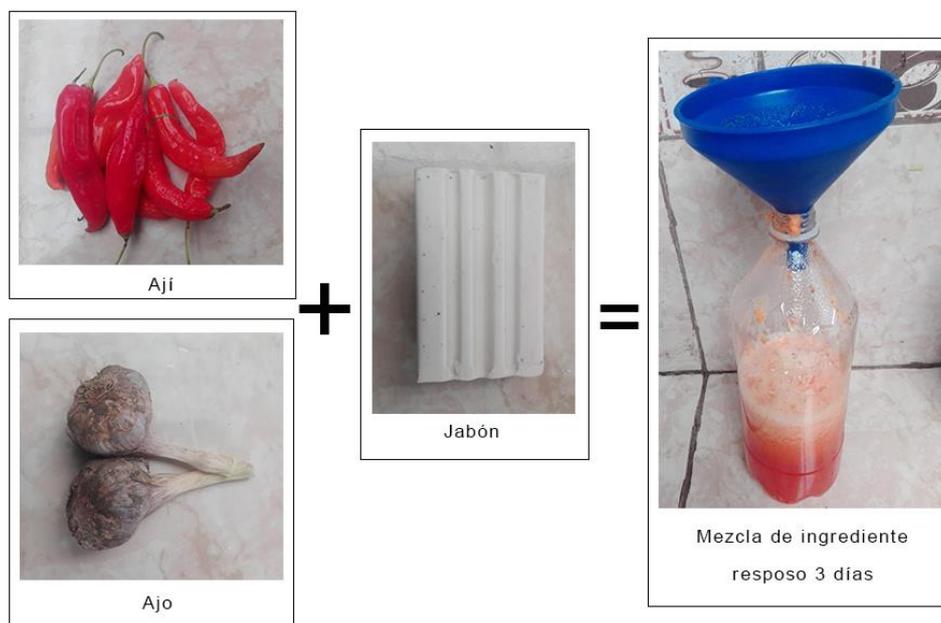


Figura 138. Proceso de fabricación de insecticida natural a base de ají, ajo y jabón.

Fuente: Autoría

5.4.2. Plaguicida natural a base de sulfato de cobre y cal viva

Para la protección contra las enfermedades causadas por los hongos y bacterias se usa una serie de ingredientes naturales como el sulfato de cobre y la cal viva, en la Tabla 48 se describe los ingredientes, la preparación y el modo de uso del plaguicida natural.

Tabla 49. Proceso de preparación de fungicida Natural a base de sulfato de cobre y cal

Ingrediente	<ul style="list-style-type: none"> - Dos cucharas de sulfato de cobre (50gr) - Dos cucharadas de cal viva (20gr) - Dos recipiente de 10 litros
Preparación	<ul style="list-style-type: none"> - Preparar las soluciones en dos porciones, en un recipiente de 10 litros de agua disolver el sulfato de cobre. - En otro recipiente de 10 litros disolver la cal viva.
Dosificación	<ul style="list-style-type: none"> - Mezclar las dos dosis obteniendo 20 litros. - Aplicación en el follaje de la fresa. - Aplicación cada 10 días.
Control	<ul style="list-style-type: none"> - Bacterias y hongos

Fuente: Autoría

Se aplica la solución de sulfato de cobre en un recipiente de 10 litros, en otro recipiente de 10 litros se coloca la solución de cal, ambas soluciones son mezcladas obteniendo una solución de 20 litros como se muestra la Figura 139. La solución debe aplicarse en el follaje de la fresa cada 10 días.

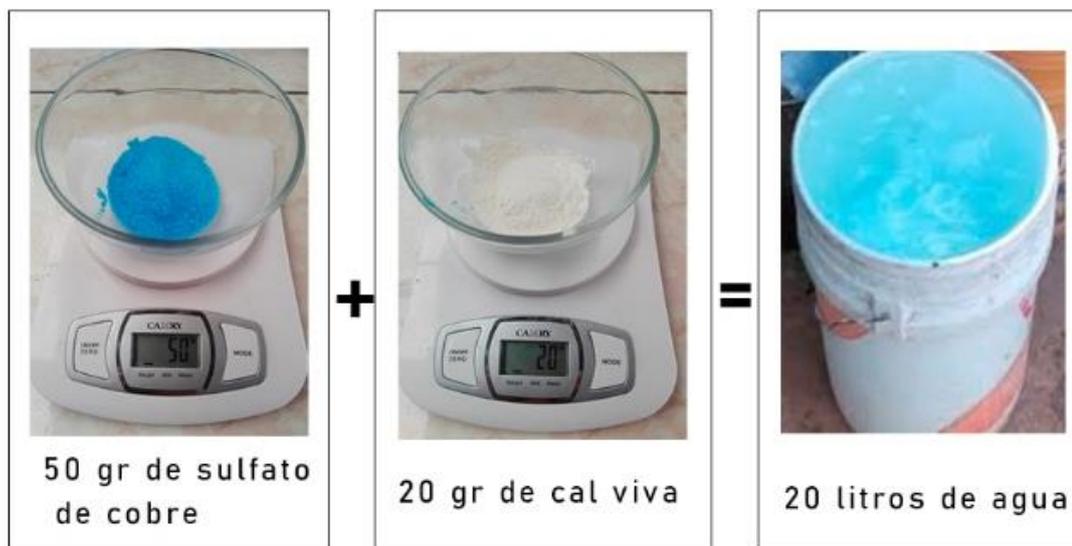


Figura 139. Proceso de fabricación de plaguicida natural a base de sulfato de cobre y cal.

Fuente: Autoría

5.4.3. Plaguicida natural a base de vinagre y jabón

Para la protección contra las enfermedades causadas por las bacterias, mohos y gérmenes se usa una serie de ingredientes naturales basadas en vinagre y jabón. En la Tabla 49 se muestra el proceso de preparación del plaguicida.

Tabla 50. Proceso de preparación de fungicida Natural a base de vinagre y jabón.

Ingrediente	<ul style="list-style-type: none"> - 125 ml de vinagre blanco - 30 gr de jabón o 30 ml jabón liquido - Dos recipiente de 15 litros de agua
Preparación	- Mezclar las soluciones de vinagre y jabón en el recipiente con 15 litros de agua.
Dosificación	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicación de dosis en 15 litros de agua. - Aplicación en el follaje de la fresa. - Aplicación cada 10 días.
Control	- La acidez del vinagre previene el creciente y multiplicación de bacterias y hongos

Fuente: Autoría

Finalmente, se concluye que la aplicación de los diferentes plaguicidas naturales y las buenas prácticas agrícolas permiten obtener los cultivos de fresa sin residuos de pesticidas, promoviendo la producción de carácter agroecológico. En la Figura 140 se muestra una planta de fresa orgánica.



Figura 140. Planta de fresa en un cultivo orgánico desarrollado en el cultivo experimental.

Fuente: Autoría

El proceso de cosecha de la fresa se lo realiza cuando se encuentran maduras, por lo general los agricultores de la zona lo realizan cada 3 días, la cosecha se lo realiza cortando el tallo evitando tocar a la fresa. En la Figura 141 se muestra la etapa de cosecha en el cultivo experimental.



Figura 141. Etapa de cosecha de fresa en el cultivo experimental.

Fuente: Autoría

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para finalizar, se detalla las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del desarrollo de este proyecto, se muestra de forma corta los resultados obtenidos con la finalidad de establecer pautas iniciales que contribuyan en la continuidad de investigaciones futuras.

6.1. Conclusiones

- Mediante la investigación bibliográfica se determinó las condiciones ambientales para realizar el cultivo experimental de fresas, la serie de plaguicidas químicos utilizados para el control de plagas en el cultivo y las causas y consecuencias del uso excesivo de plaguicidas químicos en la salud humana y en el medio ambiente.
- El sistema electrónico desarrollado es un método alternativo para la detección de residuos de pesticidas con la ventaja de que se realiza el análisis sin la destrucción del producto final.
- El algoritmo de clasificación SVM, tienen una exactitud del 85% en un ambiente cerrado libre de corrientes de aire y un 65% de exactitud en un ambiente abierto con presencia de corrientes de viento que afectan al funcionamiento del sistema electrónico, con un tiempo de procesamiento y visualización del resultados en un tiempo de 50 segundos.
- El dispositivo electrónico tiene la capacidad de obtener los resultados en tiempo real y por su diseño portable permite obtener un desplazamiento a lo largo de la cama de fresas, por lo que es necesario sólo un manipulador para su funcionamiento.

- Los resultados obtenidos en las pruebas demuestran que es posible determinar la presencia y cierto nivel de probabilidad de concentración de residuo de plaguicida químicos en la planta de fresa antes del proceso de cosecha.
- Los valores de LMR (Límites Máximos de Residuo) detectado por el dispositivo en relación a los ingredientes activos de los plaguicidas químicos utilizados como el Chlorpyrifos y la Cypermethrin superan los valores de LMR establecidos por el Codex Alimentarius y la Unión Europea.
- Los ingredientes activos Chlorpyrifos, Cypermethrin, Abamectin e Imidacloprid pertenecientes a los plaguicidas, Kañón, Circón, Sharamida y Fullmectin presentan una mayor concentración en los gases de CH_4 y H_2 detectados por el dispositivo electrónico.
- La concentración de residuos de los plaguicidas va reduciendo su nivel de acuerdo a los días que transcurren después de la aplicación del plaguicida, según las pruebas realizadas, el dispositivo si determinó residuos de plaguicidas en 4 de 10 muestras tomadas al tercer día después de su aplicación.
- La metodología en cascada contribuyó en el desarrollo secuencial y ordenada del proyecto donde se cumplió y se verificó todas sus etapas desde los requisitos, diseño, implementación hasta la verificación y mantenimiento.
- El Manejo Integrado de Plagas (MIP) desarrollado en este proyecto mediante un control natural permite fomentar la agricultura orgánica con nuevas estrategias de manejo de los plaguicidas en las fresas teniendo cultivos sanos y reduciendo el uso de plaguicidas químicos.
- El uso del dispositivo electrónico se lo realiza en la etapa de producción de fresas, debido a que en esa etapa se aplica altas cantidades de plaguicida

químico, con el fin de evitar plagas que afectan el estado del fruto destinado a la venta.

6.2. Recomendaciones

- Es necesario realizar una correcta calibración de los sensores de gas, tomando en cuenta el tiempo de precalentamiento establecido en la hoja técnica antes de iniciar con su funcionamiento, con el fin de tener una mejor lectura de datos.
- Se recomienda realizar la limpieza de la parte interna del contenedor antes de usar el dispositivo, debido a que puede existir residuos de plaguicidas adheridas al contenedor y podría causar una lectura errónea por los sensores y una confusión del sistema.
- Es necesario tomar los datos en un ambiente sin la presencia de viento, debido a que el ingreso de aire al momento de tomar los datos sobre la planta de fresa genera datos erróneos en su lectura.
- Se debe ubicar el dispositivo en una posición en el que se encuentre alineada el contenedor de sensores y la planta de fresa, para que se realice el correcto desplazamiento al momento de tomar los datos.
- Evitar el movimiento del dispositivo durante los 20 minutos establecidos para la toma de datos y procesamiento, ya que podría generar errores en la toma de datos a su vez el resultado.
- Se recomienda alimentar a los sensores de gas con un voltaje no mayor a los 5V, debido a que pueden generar daños en su funcionamiento.
- Al momento de recargar la batería Lipo, es necesario usar un cargador específico para baterías Lipo y configurar una salida de corriente menor a los 2500mA que es la mitad de la capacidad máxima de la batería, con el fin de no estropear a la batería.

REFERENCIAS

- Alimentarius, C. (2021). Detalle de las materias primas | CODEXALIMENTARIUS
FAO-WHO. Retrieved July 19, 2021, from http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/commodities-detail/es/?c_id=116
- ATSDR, A. para S. T. y el R. de E. (n.d.). Resúmenes de Salud Pública: Aldrín y dieldrín | PHS | ATSDR. Retrieved July 23, 2021, from https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs1.html
- Ávila, P. (2015). *Fresa camara y comercio 2015*. 4–62.
- Azúa, M., Vázquez, M. A., Arteaga, R., & Hernández, R. (2017). Sistema de adquisición de datos de bajo costo con la plataforma arduino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.67>
- Bañados, P. M. (2015). *Manual del Cultivo de Frambuesas y Frutillas en Chile 1*. 1–65.
- Bouza, C. N., & Santiago, A. (2016). *La Minería De Datos : Arboles De Decisión*. (August).
- Bravo, M. G., Guerrero, M. C., Martínez, J. J., & Rodriguez, N. (2015). *Aplicación De Redes Neuronales Para El Pronóstico De Sismos*. (113), 456–473.
- Cañedo Alfaro, K. A. (2011). MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS DE INSECTOS EN HORTALIZAS. In *Principios y referencias técnicas para la Sierra Central de Perú ISBN*.
- Cano, M. A. (2014). Estrategias biológicas para el manejo de enfermedades en el cultivo de fresa (*Fragaria spp.*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(2), 263–276. <https://doi.org/10.17584/rcch.2013v7i2.2240>

- Castañeda, L. (2018). *Sensores de gases basados en semiconductores*. (33), 1–16.
- Castiblanco, C., & Cañon, N. (2019). PROTOTIPO DE BAJO COSTO PARA MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN AMBIENTES INTERIORES. *Duke Law Journal*, 1(1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Chen, M., & Hadzic, M. (2011). Software Tools and Algorithms for Biological Systems. *Biomedical Research*, 696(September 2015), 547–553. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7046-6>
- Cisternas, E. (2012). Insectos y ácaros plaga en frutilla. *Manual de La Frutilla*, 8, 89–101.
- Coba, J. A. (2017). *Determinación de residuos de plaguicidas organoclorados en frutillas (fragaria spp.), recolectadas en la provincia de pichincha por cromatografía de gases (CG-ECD)*. (December).
- Corona, L. G., & Abarca, G. S. (2019). *Sensores y actuadores: aplicaciones con Arduino* (Vol. 0).
- Correa, E. C. (2003). *Desarrollo de una aplicación a la detección de aromas para una nariz electrónica del tipo Microbalanzas de Cristal de Cuarzo (QCM) para su adaptación a la determinación de calidad en frutas*.
- da Silva, I. N., Spatti, D. H., Flauzino, R. A., Liboni, L. H. B., & dos Reis Alves, S. F. (2016). Artificial neural networks: A practical course. *Artificial Neural Networks: A Practical Course*, 1–307. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-43162-8>
- Del Monte. (2019). *Ficha tecnica Fullmectin*. 7–8.
- Díaz, O. (2018). *Los pesticidas; clasificación, necesidad de un manejo integrado y alternativas para reducir su consumo indebido*.

- Dominguez, P. (n.d.). En qué consiste el modelo en cascada. Retrieved May 14, 2020, from <https://openclassrooms.com/en/courses/4309151-gestiona-tu-proyecto-de-desarrollo/4538221-en-que-consiste-el-modelo-en-cascada>
- Dughetti, A. C., Kirschbaum, D. S., & Conci, V. C. (2017). Especies de virus y pulgones encontrados en cultivos de frutilla en Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 43(1), 36–50.
<https://doi.org/10.1673/031.010.0901>
- Edifarm. (2016). *hoja tecnica Kañón*. 2016.
- Elheraldo. (2012). Ecuador: La fresa es un cultivo rentable en Tungurahua. Retrieved February 1, 2021, from <https://www.freshplaza.es/article/3061868/ecuador-la-fresa-es-un-cultivo-rentable-en-tungurahua/>
- FIGARO. (2020). Principio de funcionamiento: sensor de gas tipo MOS. Retrieved May 22, 2020, from <https://www.figaro.co.jp/en/technicalinfo/principle/mos-type.html>
- Hanwei Electronics. (n.d.). *TECHNICAL MQ-2 GAS SENSOR. 1*, 3–4.
- Hanwei Electronics. (2014). Mq-8 Gas Sensor. *Hanwei Eletronics Co.,Ltd.*
- Hanwei Electronics. (2015a). *MQ-136 GAS SENSOR Rs / Ro. 1*, 3–4.
- Hanwei Electronics. (2015b). Technical Mq-3 Gas Sensor. *Technical Data*, 3–4.
- Hortus. (2021). Hortus. Retrieved July 21, 2021, from <https://www.hortus.com.pe/>
- Ibrahim, D. (2017). Introduction to Microcontrollers and Embedded Systems. *Using LEDs, LCDs and GLCDs in Microcontroller Projects*, (July 2017), 1–16.
<https://doi.org/10.1002/9781118361054.ch1>
- INCIBE-CERT. (2018). Introducción a los sistemas embebidos. Retrieved March 23,

- 2020, from <https://www.incibe-cert.es/blog/introduccion-los-sistemas-embebidos>
- ISO / IEC / IEEE. (2011). ISO - ISO / IEC / IEEE 29148: 2011 - Ingeniería de sistemas y software - Procesos del ciclo de vida - Ingeniería de requisitos. Retrieved May 15, 2020, from <https://www.iso.org/standard/45171.html>
- Judith Sandoval, L. (2018). *ALGORITMOS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA ANÁLISIS Y PREDICCIÓN DE DATOS*. 11, 36–40. Retrieved from http://redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/3626/1/Art6_RT2018.pdf
- Louise, P. (2001). Guía del Manejo Integrado de Plaga para técnicos y productores. *Article*, 12, 32.
- Management Solutions. (2018). *Machine Learning, una pieza clave en la transformación de los modelos de negocio*. 44. Retrieved from <https://www.managementsolutions.com/sites/default/files/publicaciones/esp/machine-learning.pdf>
- Mario, M. C., & Rocha, A. M. (2015). *Adaptación de las Metodologías Tradicionales Cascada y Espiral para la Inclusión de Evaluación Inicial de Usabilidad en el Desarrollo de Productos de Software en México*. 114.
- Marmolejo, R. (2017). Microcontrolador - qué es y para que sirve. Retrieved March 26, 2020, from <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>
- Medrano, A., & Soto, C. (2017). KiCad, Herramienta de Software Libre de Modelado de Circuitos Impresos para el Desarrollo de Hardware. *Ciencia e Ingeniería*, 38(2), 177–186.
- Morales, Carmen Gloria; Riquelme, Jorge; Hirzel, Juan; France, Andres; Pedreros, Alberto; Uribe, Hamil; Abarca, P. (2017). Manual de manejo agronómico de la

- frutilla. *Inia - Indap*, 17, 102. Retrieved from <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/17 Manual Frutilla.pdf>
- Moreno, J., & Solution, P. (2012). *Desarrollo de un Sistema de Adquisición de Datos para variables de temperatura y humedad para el Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas de la UNET*. (Mayo). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1218.9682>
- Olimex. (2012). Technical Data Mq135 Gas Sensor. *Hanwei Electronics Co.,Ltd*, 1, 2. Retrieved from <http://www.hwsensor.com>
- OMS. (n.d.). Clasificación de los plaguicidas – Inventario de Tecnologías e Información para el Cultivo de Papa en Ecuador. Retrieved May 11, 2021, from <https://cipotato.org/papaenecuador/2017/10/17/clasificacion-de-los-plaguicidas/>
- Pascua, M. J., & Romero, M. L. (2015). *Acumulación y distribución de plaguicidas organoclorados en plantas de amaranto*. (September).
- Penagos, N. F. (2018). *Microcontroladores Microchip, Atmel, NXP-Freescale y Texas Instruments. Pasos para una programación con éxito*. Retrieved from <http://www.unipiloto.edu.co/descargas/Microcontroladores.pdf>
- Perairan, J. B., Bangka, P. K., Biologi, J., Timur, B., Tangkap, A., Timur, B., ... Belitung, B. (2016). *ESTADO DEL ARTE DE LOS MÉTODOS PARA DETECCIÓN DE PESTICIDAS ORGANOCLORADOS EN FRUTAS*. 10(Stasiun 1), 103–128.
- Pérez, N. V. R., Estrada, M. L., & Ramírez, N. N. R. (2017). Clasificación Svm-Difuso. *Pistas Educativas*, 39(125), 452–469. Retrieved from <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/893>
- PLAGBOL. (2008). *Manual de Diagnóstico Tratamiento y Prevención de*

Intoxicaciones Agudas por plaguicidas. Retrieved from

<http://www.ghbook.ir/index.php?name=های رسانه و فرهنگ>

http://www.ghbook.ir/index.php?option=com_dbook&task=readonline&book_id=13650&page=73&chkhask

[=ED9C9491B4&Itemid=218&lang=fa&tmpl=component](http://www.ghbook.ir/index.php?option=com_dbook&task=readonline&book_id=13650&page=73&chkhask=ED9C9491B4&Itemid=218&lang=fa&tmpl=component)

Plascencia, J. L. (2020). ¿Qué es el CPU de una computadora? Retrieved April 2, 2020, from Digital Trends Español website:

<https://es.digitaltrends.com/computadoras/que-es-el-cpu-de-una-computadora/>

Raspberry. (2020). Raspberry Pi 4 Model B – Raspberry Pi. Retrieved July 31, 2020,

from <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/>

Reyes, J., & García, R. (2005). El proceso de descubrimiento de conocimiento en bases de datos. *Ingenierías*, 8(26), 37–47.

Richard Stallman. (n.d.). El software libre es ahora aún más importante. Retrieved

March 16, 2020, from <https://www.gnu.org/philosophy/free-software-even-more-important.html>

Roman, V. (2019, February 27). Machine Learning Supervisado: Fundamentos de la

Regresión Lineal. Retrieved June 30, 2020, from [https://medium.com/datos-y-ciencia/machine-learning-supervisado-fundamentos-de-la-regresión-lineal-](https://medium.com/datos-y-ciencia/machine-learning-supervisado-fundamentos-de-la-regresión-lineal-bbcb07fe7fd)

[bbcb07fe7fd](https://medium.com/datos-y-ciencia/machine-learning-supervisado-fundamentos-de-la-regresión-lineal-bbcb07fe7fd)

[bbcb07fe7fd](https://medium.com/datos-y-ciencia/machine-learning-supervisado-fundamentos-de-la-regresión-lineal-bbcb07fe7fd)

Ruiz, R. (2012). *Residuos de plaguicidas en los alimentos*. 1–3.

Sharda, C. (n.d.). *Hoja_tecnica_SHARAMIDA.pdf*.

UE, R., & Comisión. (2017). *REGLAMENTO (UE) 2017/626 DE LA COMISIÓN de 31 de marzo de 2017 que modifica los anexos II y III del Reglamento (CE) n.*

Undurraha, P., & Vargas, S. (2013). Manual de Frutilla. *Boletín INIA N° 262*, 112.

Retrieved from <http://biblioteca.inia.cl/medios/quilamapu/boletines/NR39084.pdf>

Villegas, A. L., Carabobo, E., Postal, C., & Ramírez, C. E. (2014). *industriales Sistema de adquisición de datos vía web para el monitoreo de sensores industriales y*. (June).

Zepeda Ortega, A. J. (2019). The Big Data: related concepts and some applications in pediatrics. *Revista Chilena de Pediatría*, 90(4), 376–383.

<https://doi.org/10.32641/rchped.v90i4.1306>

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

SVM: Acrónimo en inglés de Support Vector Machines o Máquinas de Vectores de soporte.

MIP: Acrónimo de Manejo integrado de plagas, que es enfoque del control de plagas que busca armonizar el combate de plagas con la responsabilidad ambiental.

LMR: Acrónimo de Límite máximo de residuos, es el valor que muestra el nivel máximo de residuos de un plaguicida permitido legalmente en los alimentos.

PPM: Acrónimo de Partes por millón, es una unidad de medida que representa el soluto disuelta en un millón de unidades de disolvente.

RAM: Acrónimo en inglés de Random Access Memory, es una memoria de acceso aleatorio.

ROM: Acrónimo en inglés de Read Only Memory, es una memoria de sólo lectura.

MOS: Acrónimo en inglés de Metal-Oxide-Semiconductor, representa la estructuras metal, óxido, semiconductor de los sensores de gas

Volátil: Es calificación de una sustancia con tendencia a convertirse a la fase de vapor

Moving Average: Es un filtro digital en el dominio del tiempo que permite reducir el ruido de una señal.

IEEE: Acrónimo en inglés de Institute of Electrical and Electronics Engineers o Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

ANEXOS

Anexo 1. Costo del proyecto en general

En la siguiente sección se muestra la descripción de los costos de cada uno de los elementos y componentes del sistema electrónico de detección de residuos de plaguicidas en fresas, para ello se realiza un análisis de los componentes de hardware, software e infraestructura.

Tabla 51 Costos de hardware

Equipos	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Raspberry Pi 4 model B+	1	120,00	120,00
Tarjeta SD	1	8,00	8,00
Arduino Mega	1	17,00	17,00
Sensor MQ-2	1	5,00	5,00
Sensor MQ-3	1	5,00	5,00
Sensor MQ-8	1	5,00	5,00
Sensor MQ-9	1	5,00	5,00
Sensor MQ-135	1	5,00	5,00
Pantalla LCD Inch 4.5	1	25,00	25,00
Servomotor Mg995 11kg	2	11,00	22,00
Batería Lipo 7,4V – 5A	1	60,00	60,00
Cargador Imax B6ac	1	40,00	40,00
Elementos electrónicos varios	1	30,00	30,00
Total			347,00

Fuente: Mercado Libre Ecuador

Tabla 52 Costos de infraestructura

Infraestructura	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio final (USD)
Contenedor de sensores de acrílico	1	30,00	30,00
Case central de acrílico	1	20,00	20,00
Infraestructura metálico	1	45,00	45,00

llantas	4	4,00	16,00
Cultivo experimental de fresa	1	50,00	50,00
Total			161,00

Fuente: Autoría

Tabla 53 Costo de Software

Software	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio final (USD)
IDE Arduino	1	0,00	0,00
Matlab versión prueba	1	0,00	0,00
Python	1	0,00	0,00
Total			0,00

Fuente: Autoría

Costo total del proyecto

A continuación, se muestra el costo total del sistema, tomando en cuenta los costos de hardware, software e infraestructura.

Tabla 54 Costo total del proyecto

Descripción	Precio Total (USD)
Costo de hardware	347,00
Costo de software	0,00
Costo de infraestructura	161,00
Total	508,00

Fuente: Autoría

Anexo 2. Evidencias Fotográficas

Se muestra la preparación del suelo previo al proceso de cultivo de fresas.



Elaboración de camas de fresas, con las medidas establecidas por los manuales de cultivo, de 60cm de ancho por 40 cm de altura.



Aplicación de diferentes abonos al suelo, antes del cultivo de fresas.



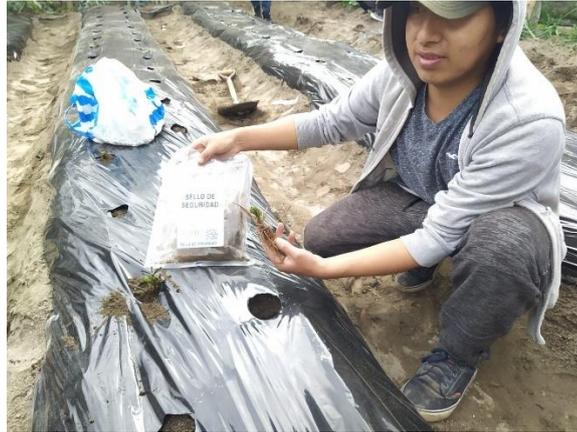
Implementación de mangueras de riego en cada una de las camas de fresa, se desplaza dos mangueras a los bordes de la cama.



Cubrimiento de las camas con plástico negro y recorte de agujeros para la ubicación de las plantas de fresas.



Cultivo de raíces de fresas tipo Albión en cada uno de los agujeros.



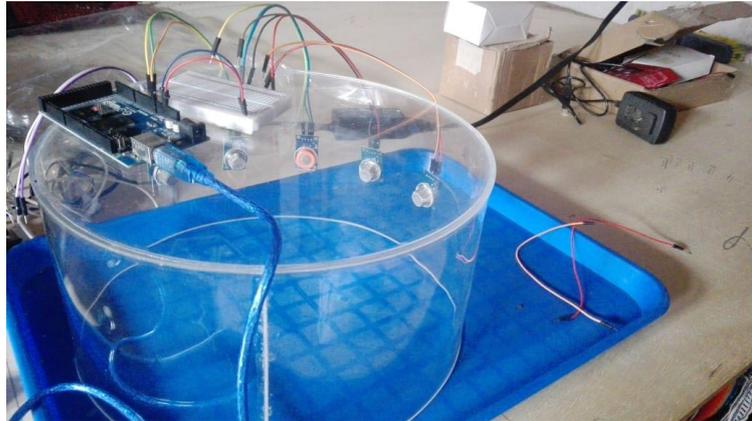
División del cultivo experimental, por un plástico negro para posteriores pruebas.



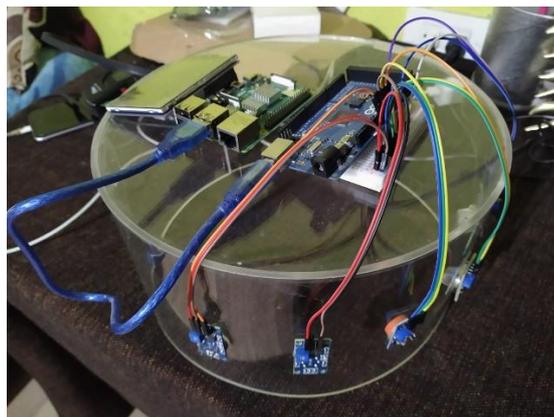
Aplicación de plaguicidas químicos en las fresas, para el control de la plaga mosca blanca.



Implementación de los sensores de gas en el contenedor de acrílico.



Pruebas de conexión de todo los elementos del sistema, tales como sensores de gas, Arduino, Raspberry y pantalla LCD.



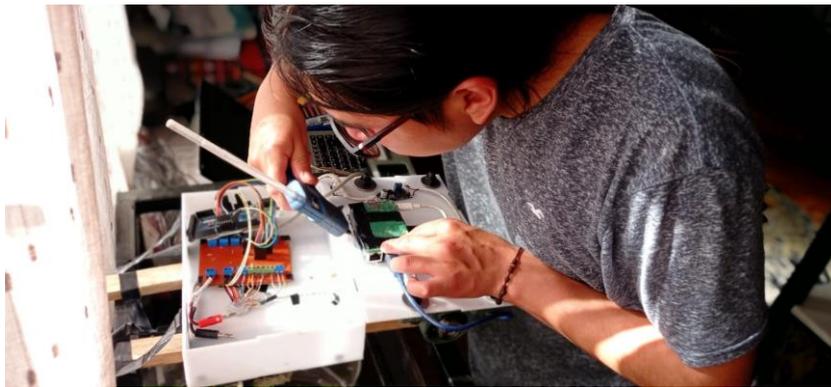
Armado de la estructura en tubos de hierro, basado en el diseño realizado por simulación.



Proceso de soldadura y armado de la estructura.



Ubicación de la placa del circuito armado, Arduino, Raspberry y pantalla LCD dentro de la caja de control.



Prueba de funcionamiento de los sensores de gas, mediante conexión de Arduino con una pc externa.



Entrenamiento del modelo de Machine Learning, mediante la toma de muestras en el cultivo experimental.



Aplicación de pesticida Kañón y Sharamida para el control de plagas araña roja y mosca blanca.



Pruebas de funcionamiento del dispositivo final, mediante el uso de la pantalla LCD táctil y la aplicación de escritorio.



Recarga de batería Lipo, con una configuración de 2 celdas a una capacidad de carga de 7,4 V y 2.0 A.



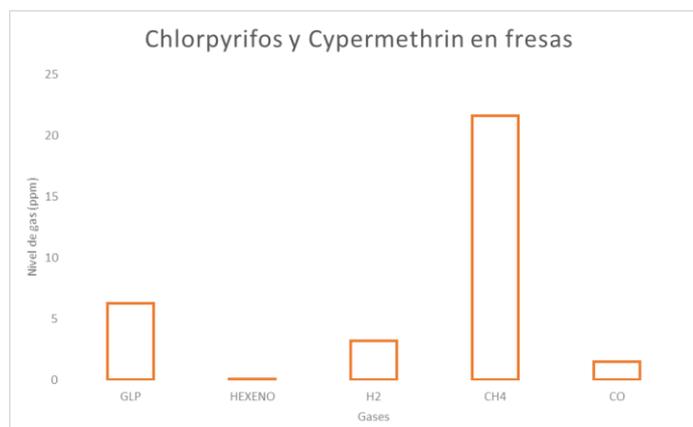
Anexo 3. Cálculo de la concentración de gases en cada uno de los plaguicidas.

Valores de concentración de Plaguicida Kañón en ppm.

PESTICIDE	KAÑÓN				
	GLP	HEXENO	H2	CH4	CO
Muestra 1					
Valor Max.	2.71	0.04	48.25	6.19	1.12
Valor Min.	4.29	0.04	48.58	14.22	0.94
Muestra 2					
Valor Max.	3.48	0.06	51.51	9.65	3.56
Valor Min.	5.54	0.07	54.05	27.08	4.34
Muestra 3					
Valor Max.	3.5	0.06	52	9.79	3.73
Valor Min.	5.6	0.07	54.87	27.28	4.8
Muestra 4					
Valor Max.	3.39	0.06	52.17	9.64	3.73
Valor Min.	5.41	0.07	54.67	24.77	4.69
Muestra 5					
Valor Max.	3.34	0.06	52.18	9.53	3.87
Valor Min.	5.8	0.08	55.36	27.63	5.25
Muestra 6					
Valor Max.	3.51	0.06	51.76	10.11	3.56
Valor Min.	5.61	0.07	52.9	23.16	4.24
Muestra 7					
Valor Max.	3.39	0.06	52.31	9.61	3.75
Valor Min.	5.87	0.07	53.69	21.37	4.45
Muestra 8					
Valor Max.	3.45	0.06	52.51	9.88	3.85
Valor Min.	6.6	0.09	55.08	23.75	5.08
Muestra 9					
Valor Max.	3.36	0.06	52.19	9.37	3.63
Valor Min.	4.37	0.07	53.92	16.05	4.35
Muestra 10					
Valor Max.	3.39	0.06	52.54	9.49	4.03
Valor Min.	6.08	0.09	55.24	21.28	5.51
Muestra 11					
Valor Max.	3.39	0.06	51.82	9.55	3.29
Valor Min.	5.46	0.08	54.14	22.47	4.37
Muestra 12					
Valor Max.	3.19	0.06	50.91	7.83	3.51
Valor Min.	11.84	0.08	54.03	44.9	4.13
Muestra 13					
Valor Max.	3.2	0.06	52.56	8.87	3.49
Valor Min.	16.87	0.1	58.74	55.01	5.76
Muestra 14					
Valor Max.	3.06	0.06	52.5	9.85	3.94
Valor Min.	15.33	0.1	57.88	46.89	6.64
Muestra 15					
Valor Max.	3.16	0.06	52.33	7.95	3.66
Valor Min.	16.15	0.09	57.6	39.92	7.35
Muestra 16					
Valor Max.	3.05	0.05	50.52	7.56	2.25
Valor Min.	12.66	0.05	53.62	31.51	2.82
Muestra 17					
Valor Max.	3.18	0.06	51.88	8.3	3.61
Valor Min.	13.86	0.1	55.86	41.9	5.54
Muestra 18					
Valor Max.	3.08	0.06	51.83	8	3.66
Valor Min.	15.63	0.12	56.69	39.6	6.33
Muestra 19					
Valor Max.	3.01	0.06	51.51	7.74	3.62
Valor Min.	14.14	0.11	55.75	39.55	5.96
Muestra 20					
Valor Max.	2.93	0.06	51.24	7.19	3.43
Valor Min.	14.95	0.12	56.05	35.13	6.1

Diferencia entre Valor Max. Y Min.				
GLP	HEXENO	H2	CH4	CO
1.58	0	0.33	8.03	-0.18
2.06	0.01	2.54	17.43	0.78
2.1	0.01	2.87	17.49	1.07
2.02	0.01	2.5	15.13	0.96
2.46	0.02	3.18	18.1	1.38
2.1	0.01	1.14	13.05	0.68
2.48	0.01	1.38	11.76	0.7
3.15	0.03	2.57	13.87	1.23
1.01	0.01	1.73	6.68	0.72
2.69	0.03	2.7	11.79	1.48
2.07	0.02	2.32	12.92	1.08
13.67	0.04	6.18	46.14	2.27
12.27	0.04	5.38	37.04	2.7
12.99	0.03	5.27	31.97	3.69
9.61	0	3.1	23.95	0.57
10.68	0.04	3.98	33.6	1.93
12.55	0.06	4.86	31.6	2.67
11.13	0.05	4.24	31.81	2.34
12.02	0.06	4.81	27.94	2.67

Promedio				
GLP	HEXENO	H2	CH4	CO
6.24421053	0.02526316	3.21473684	21.5947368	1.51263158

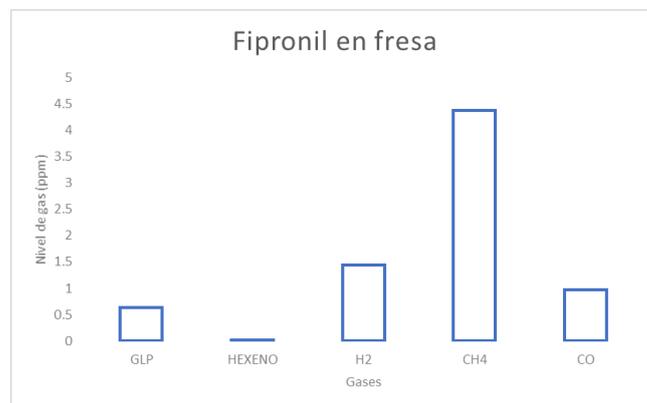


Valores de concentración de Plaguicida Circón en ppm

PESTICIDE CIRCON					
	GLP	HEXENO	H2	CH4	CO
Muestra 1					
Valor Max.	3.53	0.06	51.85	10.4	3.43
Valor Min.	3.95	0.06	52.13	13.85	4.34
Muestra 2					
Valor Max.	3.57	0.06	51.77	10.01	3.59
Valor Min.	3.85	0.07	52.05	12.15	3.95
Muestra 3					
Valor Max.	3.55	0.06	52.09	10.41	3.79
Valor Min.	4.13	0.06	52.98	14.52	4.62
Muestra 4					
Valor Max.	3.55	0.06	52.14	10.06	3.72
Valor Min.	4.29	0.07	53.96	15.35	4.94
Muestra 5					
Valor Max.	3.56	0.06	52.46	10.16	3.69
Valor Min.	4.36	0.07	53.68	15.39	4.73
Muestra 6					
Valor Max.	3.49	0.06	52.14	9.96	3.69
Valor Min.	4.49	0.08	54.58	16.47	5.45
Muestra 7					
Valor Max.	3.33	0.06	51.17	9.28	3.29
Valor Min.	4.23	0.07	53.44	15.36	4.8
Muestra 8					
Valor Max.	3.66	0.06	52.78	10.53	3.97
Valor Min.	4.31	0.07	54.18	15.61	5.11
Muestra 9					
Valor Max.	3.41	0.06	51.31	9.48	3.49
Valor Min.	4.56	0.08	54.88	18.51	5.69
Muestra 10					
Valor Max.	3.55	0.06	52.54	10.4	4.04
Valor Min.	4.41	0.08	54.42	16.76	5.22
Muestra 11					
Valor Max.	3.43	0.06	52.02	9.97	3.74
Valor Min.	4.11	0.07	53.27	13.84	4.64
Muestra 12					
Valor Max.	3.47	0.06	51.87	10.09	3.69
Valor Min.	4.5	0.07	54.56	15.22	5.12
Muestra 13					
Valor Max.	3.57	0.07	52.33	10.23	3.95
Valor Min.	4.23	0.07	54.25	14.42	5.03
Muestra 14					
Valor Max.	3.15	0.06	51.36	8.62	3.37
Valor Min.	3.59	0.07	52.29	10.26	3.85
Muestra 15					
Valor Max.	3.55	0.06	52.22	10.28	3.83
Valor Min.	3.83	0.07	52.54	11.76	4.18
Muestra 16					
Valor Max.	3.47	0.06	51.88	9.91	3.7
Valor Min.	4.17	0.07	53.48	14.13	4.72
Muestra 17					
Valor Max.	3.58	0.06	52.44	10.49	4.01
Valor Min.	4.08	0.07	53.59	14.58	4.68
Muestra 18					
Valor Max.	3.52	0.06	52.18	10.12	3.83
Valor Min.	4.1	0.07	53.8	13.58	4.77
Muestra 19					
Valor Max.	3.67	0.06	52.89	11.46	4.25
Valor Min.	3.62	0.06	52.89	13.72	4.25
Muestra 20					
Valor Max.	3.59	0.07	52.7	10.63	3.91
Valor Min.	3.91	0.08	53.98	14.41	4.26

Diferencia entre Valor Max. Y Min.					
GLP	HEXENO	H2	CH4	CO	
0.42	0	0.28	3.45	0.91	
0.28	0.01	0.28	2.14	0.36	
0.58	0	0.89	4.11	0.83	
0.74	0.01	1.82	5.29	1.22	
0.8	0.01	1.22	5.23	1.04	
1	0.02	2.44	6.51	1.76	
0.9	0.01	2.27	6.08	1.51	
0.65	0.01	1.4	5.08	1.14	
1.15	0.02	3.57	9.03	2.2	
0.86	0.02	1.88	6.36	1.18	
0.68	0.01	1.25	3.87	0.9	
1.03	0.01	2.69	5.13	1.43	
0.66	0	1.92	4.19	1.08	
0.44	0.01	0.93	1.64	0.48	
0.28	0.01	0.32	1.48	0.35	
0.7	0.01	1.6	4.22	1.02	
0.5	0.01	1.15	4.09	0.67	
0.58	0.01	1.62	3.46	0.94	
-0.05	0	0	2.26	0	
0.32	0.01	1.28	3.78	0.35	

Promedio				
GLP	HEXENO	H2	CH4	CO
0.626	0.0095	1.4405	4.37	0.9685

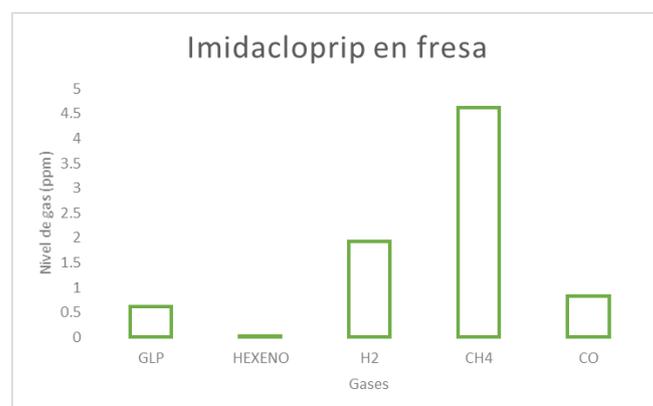


Valores de concentración de plaguicida Sharamida en ppm

PESTICIDE SHARAMIDA					
	GLP	HEXENO	H2	CH4	CO
Muestra 1					
Valor Max.	3.48	0.06	51.11	10.03	3.16
Valor Min.	3.9	0.06	51.63	13.76	3.22
Muestra 2					
Valor Max.	3.62	0.07	52.52	10.62	3.88
Valor Min.	4.06	0.07	53.35	14.73	4.31
Muestra 3					
Valor Max.	3.53	0.06	52.08	10.19	3.63
Valor Min.	4.16	0.07	54.06	15.74	4.86
Muestra 4					
Valor Max.	3.5	0.07	52.29	10.07	3.87
Valor Min.	4.08	0.07	54.15	14.19	4.75
Muestra 5					
Valor Max.	3.49	0.06	52	10.03	3.68
Valor Min.	4.18	0.08	54.32	14.95	4.9
Muestra 6					
Valor Max.	3.55	0.06	52.33	10.3	3.8
Valor Min.	4.25	0.08	54.96	14.92	5.08
Muestra 7					
Valor Max.	3.58	0.06	52.27	10.32	3.8
Valor Min.	4.12	0.07	54.16	14.7	4.62
Muestra 8					
Valor Max.	3.54	0.07	52.24	10.15	3.89
Valor Min.	4.12	0.07	53.7	15.56	4.56
Muestra 9					
Valor Max.	3.48	0.06	52.29	9.88	3.73
Valor Min.	4.1	0.07	53.9	14.15	4.55
Muestra 10					
Valor Max.	3.41	0.06	51.65	9.75	3.54
Valor Min.	4.27	0.07	54.3	16.14	4.69
Muestra 11					
Valor Max.	3.53	0.06	52.31	10.12	3.91
Valor Min.	4.11	0.07	54.53	14.12	4.77
Muestra 12					
Valor Max.	3.53	0.07	52.05	9.99	3.74
Valor Min.	4.16	0.08	53.95	14.48	4.39
Muestra 13					
Valor Max.	3.54	0.06	52.31	10.13	3.77
Valor Min.	4.07	0.07	54.23	14.32	4.62
Muestra 14					
Valor Max.	3.53	0.06	51.87	9.7	3.74
Valor Min.	4.21	0.07	54.38	14.68	4.78
Muestra 15					
Valor Max.	3.57	0.06	52.23	10.28	3.87
Valor Min.	4.25	0.07	54.88	15.68	4.84
Muestra 16					
Valor Max.	3.64	0.06	52.37	10.17	3.82
Valor Min.	4.27	0.07	55.31	15.75	4.78
Muestra 17					
Valor Max.	3.42	0.06	51.94	9.98	3.82
Valor Min.	4.24	0.07	54.9	15.6	4.9
Muestra 18					
Valor Max.	3.63	0.06	52.28	10.12	4.02
Valor Min.	4.22	0.07	54.07	13.74	4.65
Muestra 19					
Valor Max.	3.51	0.07	52.1	10.12	3.73
Valor Min.	4.15	0.06	53	14.45	4.43
Muestra 20					
Valor Max.	3.33	0.07	51.01	9.67	3.23
Valor Min.	3.75	0.08	52.13	12.46	3.64

Diferencia entre Valor Max. Y Min.					
GLP	HEXENO	H2	CH4	CO	
0.42	0	0.52	3.73	0.06	
0.44	0	0.83	4.11	0.43	
0.63	0.01	1.98	5.55	1.23	
0.58	0	1.86	4.12	0.88	
0.69	0.02	2.32	4.92	1.22	
0.7	0.02	2.63	4.62	1.28	
0.54	0.01	1.89	4.38	0.82	
0.58	0	1.46	5.41	0.67	
0.62	0.01	1.61	4.27	0.82	
0.86	0.01	2.65	6.39	1.15	
0.58	0.01	2.22	4	0.86	
0.63	0.01	1.9	4.49	0.65	
0.53	0.01	1.92	4.19	0.85	
0.68	0.01	2.51	4.98	1.04	
0.68	0.01	2.65	5.4	0.97	
0.63	0.01	2.94	5.58	0.96	
0.82	0.01	2.96	5.62	1.08	
0.59	0.01	1.79	3.62	0.63	
0.64	-0.01	0.9	4.33	0.7	
0.42	0.01	1.12	2.79	0.41	

Promedio					
GLP	HEXENO	H2	CH4	CO	
0.613	0.008	1.933	4.625	0.8355	

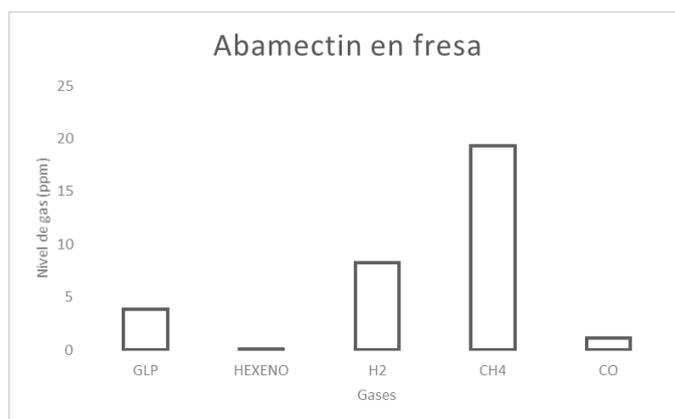


Valores de concentración de plaguicida Fullmectin en ppm.

PESTICIDE FULLMECTIN					
	GLP	HEXENO	H2	CH4	CO
Muestra 1					
Valor Max.	3.28	0.06	49.88	7.71	3
Valor Min.	10.15	0.36	63.04	36.8	3.78
Muestra 2					
Valor Max.	3.06	0.05	49.24	7.97	3.48
Valor Min.	5	0.07	53.67	20.4	4.8
Muestra 3					
Valor Max.	3.37	0.05	51.22	9.36	3.65
Valor Min.	10.87	0.26	71.06	67	6.26
Muestra 4					
Valor Max.	3.29	0.06	50.17	9.01	3.9
Valor Min.	6.89	0.13	57.75	38.67	5.25
Muestra 5					
Valor Max.	3.21	0.05	49.73	8.58	3.74
Valor Min.	5.02	0.07	52.8	20.89	4.81
Muestra 6					
Valor Max.	3.47	0.06	50.78	9.47	3.79
Valor Min.	6.06	0.12	55.2	29.62	4.38
Muestra 7					
Valor Max.	3.3	0.05	50.42	8.18	3.5
Valor Min.	8.49	0.14	64.09	39.24	10.37
Muestra 8					
Valor Max.	3.29	0.05	49.85	8.35	3.45
Valor Min.	5.38	0.1	52.47	22.94	4.01
Muestra 9					
Valor Max.	3.27	0.05	50.82	8.93	3.74
Valor Min.	7.56	0.17	57.53	38.31	4.65
Muestra 10					
Valor Max.	3.34	0.05	50.96	8.83	3.86
Valor Min.	8.45	0.18	58.89	41.46	4.82
Muestra 11					
Valor Max.	3.61	0.07	52.52	10.88	3.96
Valor Min.	7.43	0.38	69.29	32.15	4.92
Muestra 12					
Valor Max.	3.41	0.06	50.95	9.81	3.84
Valor Min.	6.86	0.16	61.98	23.43	4.88
Muestra 13					
Valor Max.	3.54	0.06	50.26	9.88	3.89
Valor Min.	7.14	0.16	63.37	27.76	5.47
Muestra 14					
Valor Max.	3.51	0.05	49.12	9.94	3.91
Valor Min.	5.5	0.12	54.2	20.4	4.51
Muestra 15					
Valor Max.	3.44	0.05	49.86	9.66	3.64
Valor Min.	6.39	0.18	61.82	24.89	4.19
Muestra 16					
Valor Max.	3.06	0.05	50.67	6.96	3.74
Valor Min.	5.52	0.1	56.23	19.27	4.06
Muestra 17					
Valor Max.	3.46	0.05	49.88	9.33	3.82
Valor Min.	8.3	0.15	58.19	36.17	4.83
Muestra 18					
Valor Max.	2.28	0.04	48.72	6.58	3.03
Valor Min.	4.03	0.1	50.65	13.35	2.84
Muestra 19					
Valor Max.	3.42	0.06	52.69	10.62	4.1
Valor Min.	8.1	0.19	65.76	29.78	4.26
Muestra 20					
Valor Max.	3.29	0.06	51.66	9.71	4.03
Valor Min.	6.45	0.13	57.67	21.69	4.51

Diferencia entre Valor Max. Y Min.					
GLP	HEXENO	H2	CH4	CO	
6.87	0.3	13.16	29.09	0.78	
1.94	0.02	4.43	12.43	1.32	
3.6	0.07	7.58	29.66	1.35	
1.81	0.02	3.07	12.31	1.07	
2.59	0.06	4.42	20.15	0.59	
5.19	0.09	13.67	31.06	6.87	
2.09	0.05	2.62	14.59	0.56	
4.29	0.12	6.71	29.38	0.91	
5.11	0.13	7.93	32.63	0.96	
3.82	0.31	16.77	21.27	0.96	
3.45	0.1	11.03	13.62	1.04	
10.68	0.1	13.11	17.88	1.58	
1.99	0.07	5.08	10.46	0.6	
2.95	0.13	11.96	15.23	0.55	
2.46	0.05	5.56	12.31	0.32	
4.84	0.1	8.31	26.84	1.01	
1.75	0.06	1.93	6.77	-0.19	
4.68	0.13	13.07	19.16	0.16	
3.16	0.07	6.01	11.98	0.48	

Promedio				
GLP	HEXENO	H2	CH4	CO
3.85631579	0.10421053	8.23263158	19.3063158	1.10105263



Anexo 4. Realización de la investigación de campo, visita a los agricultores de plantaciones de fresa de la zona de Huayco Pungo, Otavalo.



Realización de encuestas a agricultores a cerca de los tipos de pesticidas que usan en el control de plagas.



Anexo 5. Encuesta realizada a agricultores de la zona de Huayco Pungo de la Ciudad de Otavalo.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

Encuesta dirigida a los agricultores dedicados al cultivo de fresas en la zona de Huayco Pungo, ciudad de Otavalo, con el fin de recopilar información para establecer los requerimientos del proyecto.

Indicación: Por favor conteste las siguientes preguntas según su criterio. Responda y marque con una X según corresponda.

1. ¿Cuánto tiempo se dedica al cultivo de fresa?
 - a. 1 año
 - b. 2 años
 - c. Más de 3 años
2. ¿Cree usted que es necesario el uso de plaguicidas?
 - a. Si
 - b. No
3. ¿Usted conoce sobre las causas que producen los plaguicidas a la salud humana?
 - a. Si
 - b. No
4. ¿Usted recibe alguna tipo de guía o instrucción del Manejo de uso de plaguicidas?
 - a. Si
 - b. No
5. ¿En qué rango de tiempo aplica los plaguicidas?
 - a. Diariamente
 - b. Cada 2 días
 - c. Cada 3 días
 - d. Cada 4 días
 - e. Otro
6. Escriba los plaguicidas que comúnmente utiliza para controlar las plagas.
Carón, fullmedini, sharamida, Tiero, circoñe, tachigaren
7. ¿Usted tiene conocimiento acerca de los plaguicidas naturales?
 - a. Si
 - b. No
8. ¿Estaría dispuesto a utilizar plaguicidas naturales para el control de las plagas?
 - a. Si
 - b. No



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

Encuesta dirigida a los agricultores dedicados al cultivo de fresas en la zona de Huayco Pungo, ciudad de Otavalo, con el fin de recopilar información para establecer los requerimientos del proyecto.

Indicación: Por favor conteste las siguientes preguntas según su criterio. Responda y marque con una X según corresponda.

1. ¿Cuánto tiempo se dedica al cultivo de fresa?
 - a. 1 año ()
 - b. 2 años ()
 - c. Más de 3 años
2. ¿Cree usted que es necesario el uso de plaguicidas?
 - a. Si
 - b. No ()
3. ¿Usted conoce sobre las causas que producen los plaguicidas a la salud humana?
 - a. Si
 - b. No ()
4. ¿Usted recibe alguna tipo de guía o instrucción del Manejo de uso de plaguicidas?
 - a. Si
 - b. No
5. ¿En qué rango de tiempo aplica los plaguicidas?
 - a. Diariamente ()
 - b. Cada 2 días ()
 - c. Cada 3 días
 - d. Cada 4 días ()
 - e. Otro
6. Escriba los plaguicidas que comúnmente utiliza para controlar las plagas.
Engusamil, circon, fullvactin, sharamida, kemón, vitalax
7. ¿Usted tiene conocimiento acerca de los plaguicidas naturales?
 - a. Si
 - b. No ()
8. ¿Estaría dispuesto a utilizar plaguicidas naturales para el control de las plagas?
 - a. Si
 - b. No ()



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

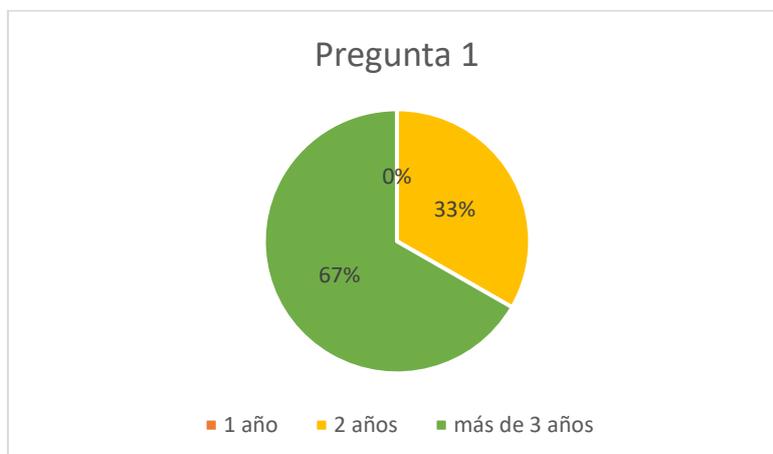
Encuesta dirigida a los agricultores dedicados al cultivo de fresas en la zona de Huayco Pungo, ciudad de Otavalo, con el fin de recopilar información para establecer los requerimientos del proyecto.

Indicación: Por favor conteste las siguientes preguntas según su criterio. Responda y marque con una X según corresponda.

1. ¿Cuánto tiempo se dedica al cultivo de fresa?
 - a. 1 año ()
 - b. 2 años ()
 - c. Más de 3 años (X)
2. ¿Cree usted que es necesario el uso de plaguicidas?
 - a. Si (X)
 - b. No ()
3. ¿Usted conoce sobre las causas que producen los plaguicidas a la salud humana?
 - a. Si ()
 - b. No (X)
4. ¿Usted recibe alguna tipo de guía o instrucción del Manejo de uso de plaguicidas?
 - a. Si ()
 - b. No (X)
5. ¿En qué rango de tiempo aplica los plaguicidas?
 - a. Diariamente ()
 - b. Cada 2 días ()
 - c. Cada 3 días ()
 - d. Cada 4 días (X)
 - e. Otro
6. Escriba los plaguicidas que comúnmente utiliza para controlar las plagas.
 Tieso, Lanón, circoón, sharamida, fulmetrin y engusamil.
 tachigaren
7. ¿Usted tiene conocimiento acerca de los plaguicidas naturales?
 - a. Si ()
 - b. No (X)
8. ¿Estaría dispuesto a utilizar plaguicidas naturales para el control de las plagas?
 - a. Si ()
 - b. No (X)

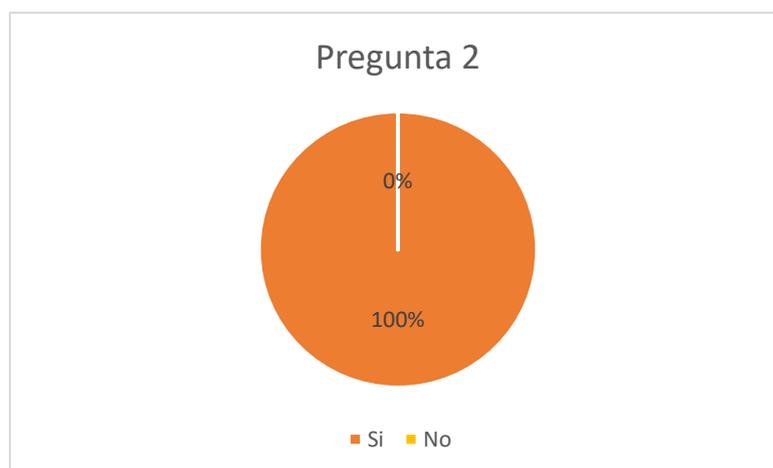
Tabulación

1. ¿Cuánto tiempo se dedica al cultivo de fresa?



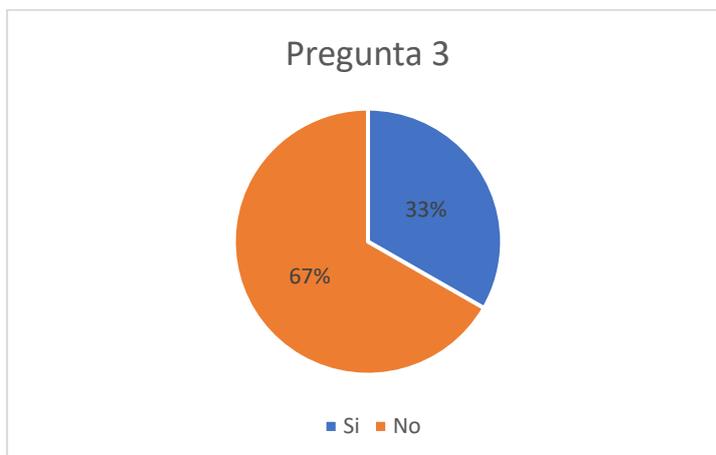
De la encuesta realizada a los agricultores, el 67% de ellos se dedican al cultivo de fresas por más de 3 años, mientras que el 33% no hacen desde los 2 años en adelante, siendo la fresa un cultivo que genera ingresos.

2. ¿Cree usted que es necesario el uso de plaguicidas?



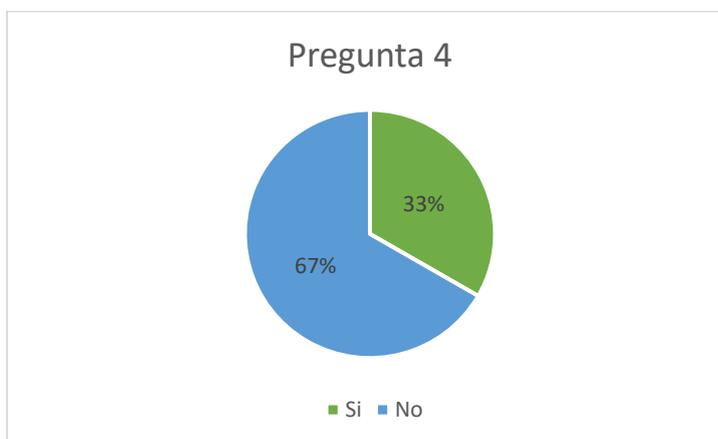
De las encuestas realizadas, el 100% de los agricultores encuestados, creen que es indispensable el uso de plaguicidas químicos para el control de plagas en el cultivo de fresas.

3. ¿Usted conoce sobre las consecuencias que producen los plaguicidas en la salud humana?



De los agricultores encuestados el 67 % no tiene conocimiento de las causas y consecuencias que generan el uso de plaguicidas en la salud humana, y el 33% si tiene conocimiento de ello.

4. ¿Usted recibe alguna tipo de guía o instrucción del Manejo de uso de plaguicidas?



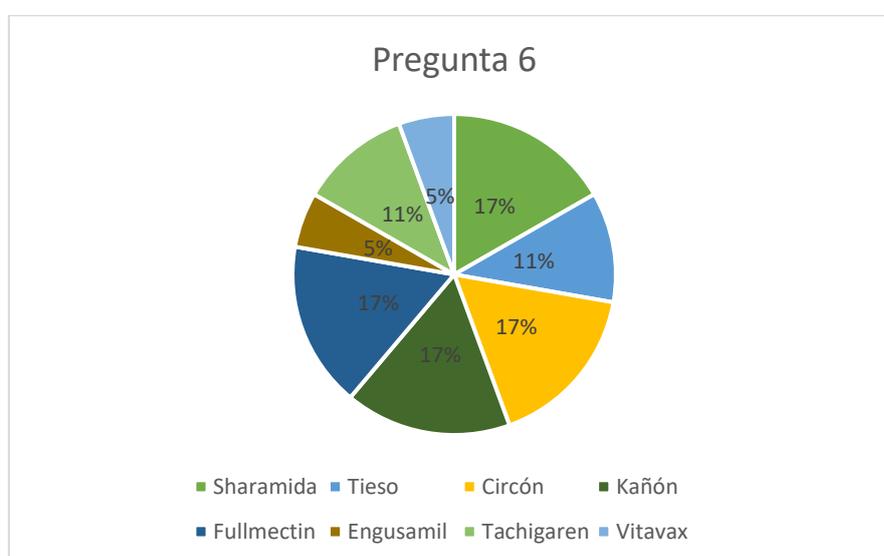
De la encuesta realizada, el 67% de los agricultores no han recibido ningún tipo de guía o instrucción por parte de un profesional acerca del manejo de plaguicidas químicos, mientras que el 33% si han tenido un tipo de instrucción por parte de un ingeniero agrónomo.

5. ¿En qué rango de tiempo aplica los plaguicidas?

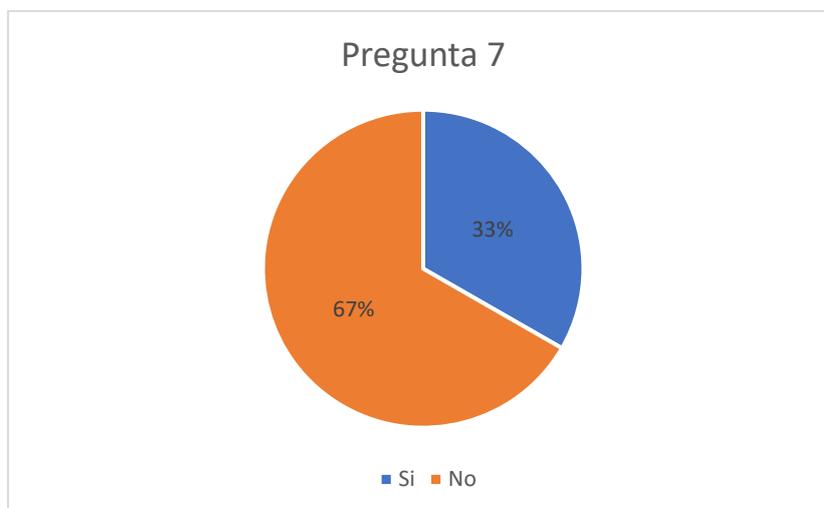


De la encuesta realizada, el 67% de los agricultores aplican los plaguicidas químicos en un promedio de cada 3 días, dependiendo del tipo de plaga que afecte a las fresas, mientras que el 33% de los agricultores lo realizan cada 4 días.

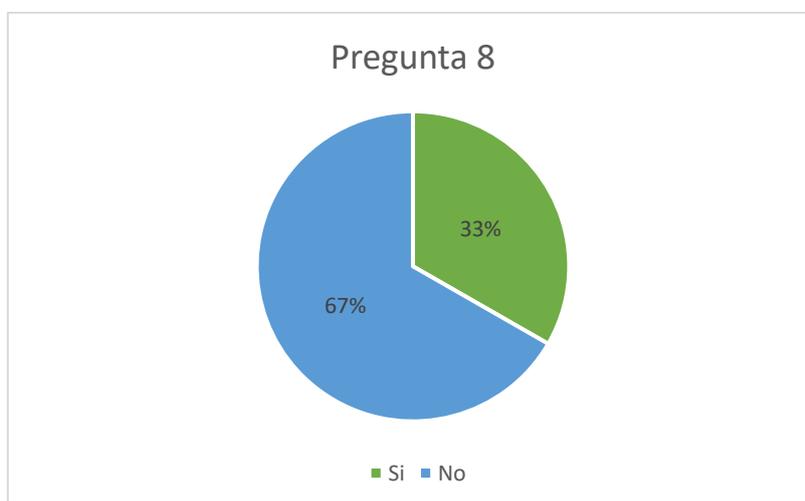
6. Escriba los plaguicidas que comúnmente utiliza para controlar las plagas.



De la encuesta realizada, los agricultores utilizan una serie de plaguicidas químicos que son utilizados de acuerdo a la plaga que presenta la fresa, siendo el 17% del plaguicida más usado el Fullmectin, Kañón, Sharamida y Tieso, el 11% de químicos más usados como el Vitavax y Tachigaren, y finalmente un 5% de químicos son el Engusamil y Tieso.

7. ¿Usted tiene conocimiento acerca de los plaguicidas naturales?

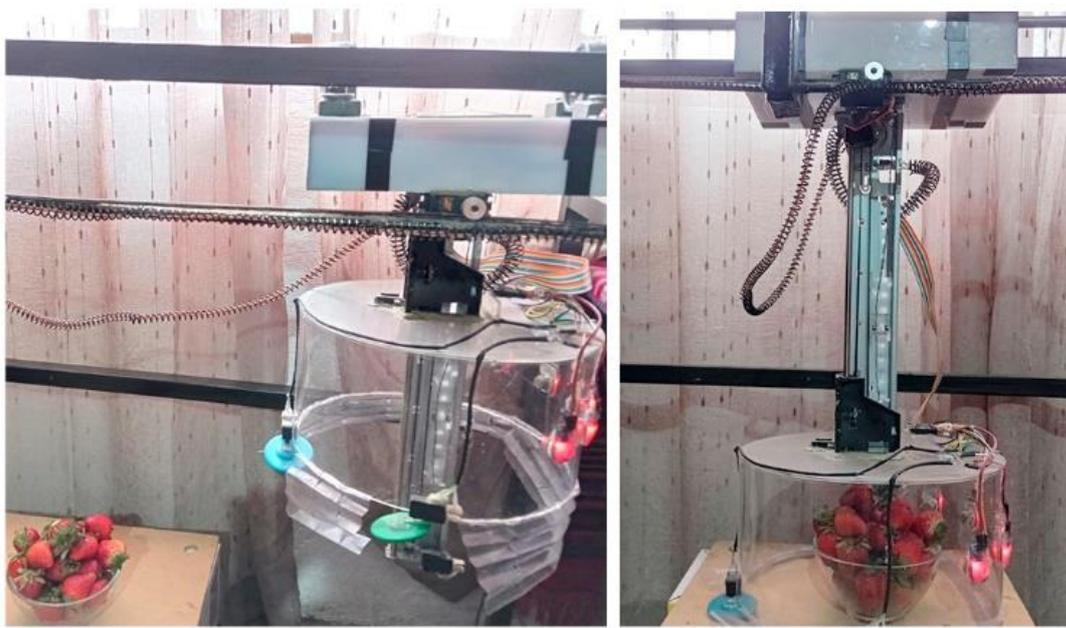
De la encuesta realizada, el 67% de los agricultores no tienen conocimientos relacionados al manejo de plagas mediante el uso de plaguicidas naturales, mientras que el 33% si tienen los conocimientos de los plaguicidas naturales.

8. ¿Estaría dispuesto a utilizar plaguicidas naturales para el control de las plagas

De las encuestas realizadas, el 67% de los agricultores están dispuestos a utilizar plaguicidas naturales para el control de los cultivos, mientras que el 33% no están dispuestos a su uso.

Anexo 6. Comprobación de residuos de pesticidas en fresas del mercado local.

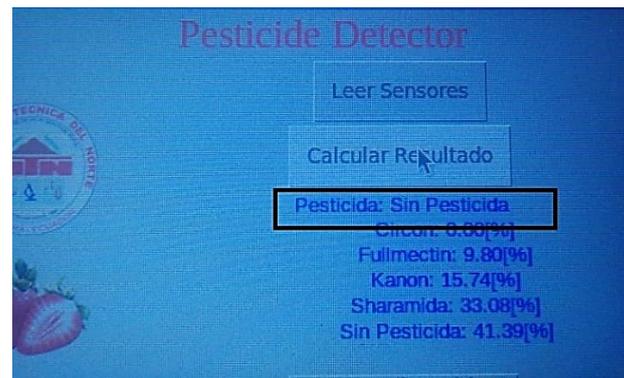
Se realiza las pruebas de detección de residuos de pesticidas químicos usando las fresas adquiridas del mercado local.



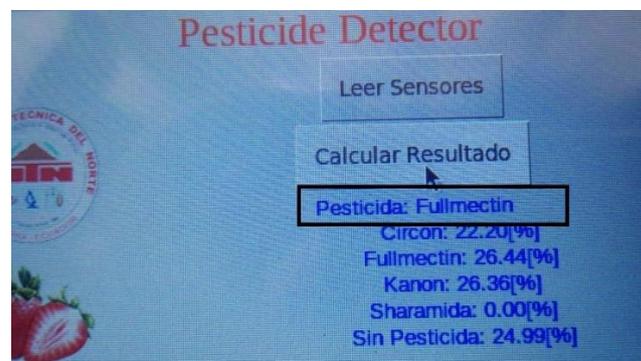
Las pruebas realizadas se verifican en la siguiente tabla, que contiene cinco pruebas, de las cuales 3 presentan pesticidas y 2 prueban no muestran ningún tipo de pesticida.

Nro. Prueba	Residuo de Verificación	
1	Pesticida detectado (Sharamida)	

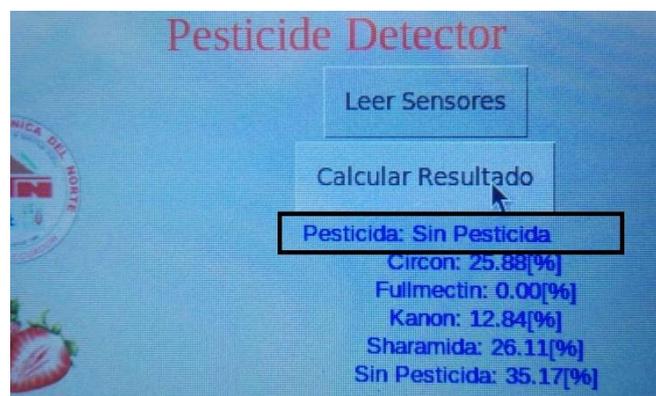
2 Sin pesticida



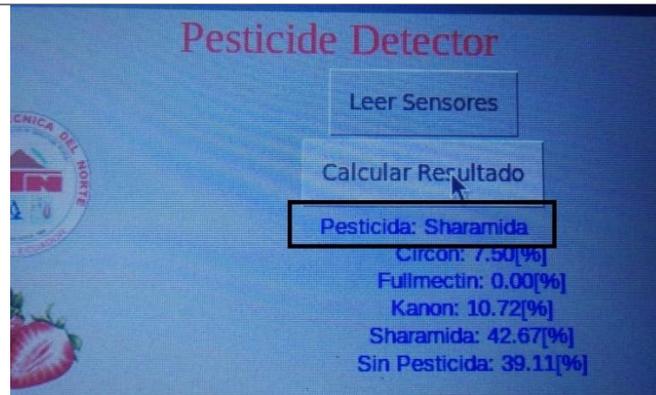
3 Pesticida
detectado
(Fullmectin)



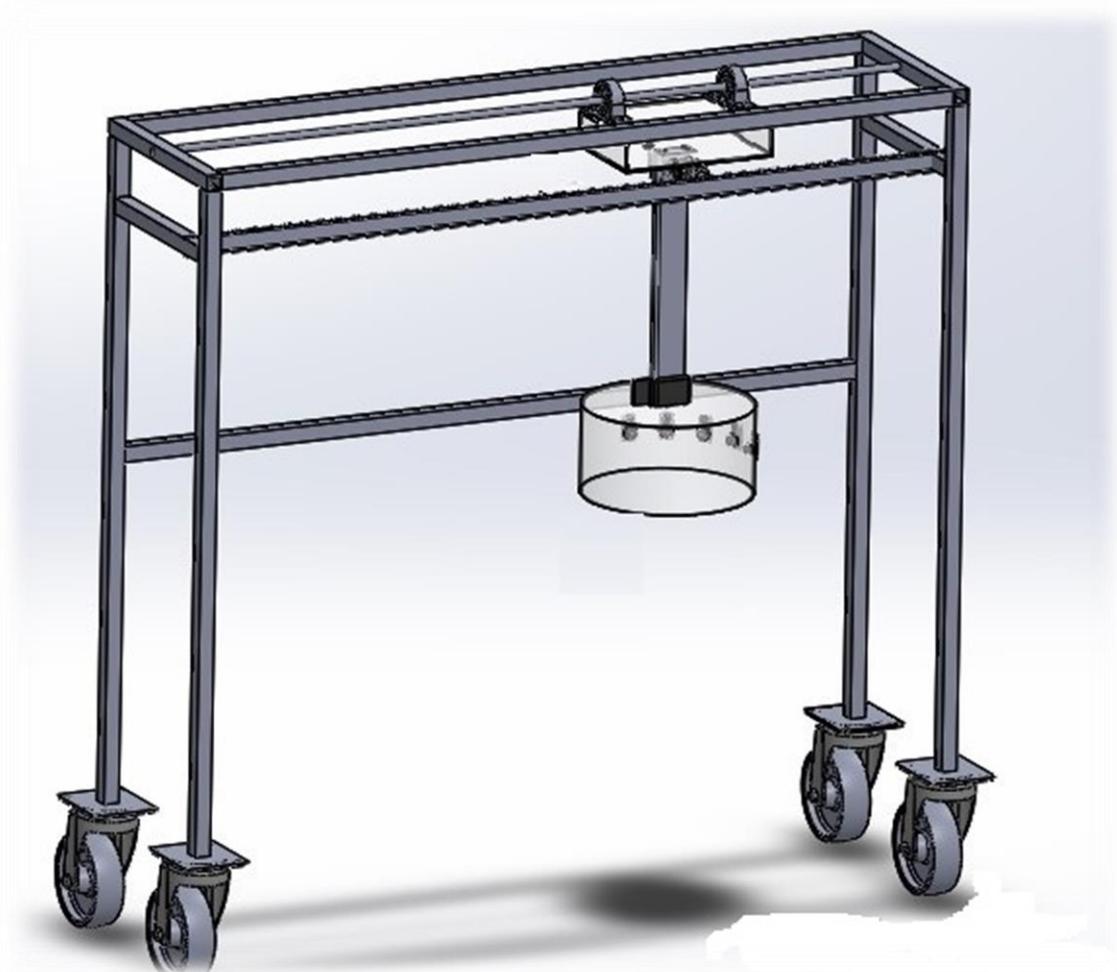
4 Sin pesticida



5 Pesticida
detectado
(Sharamida)



SISTEMA ELECTRÓNICO DE DETECCIÓN DE PLAGUICIDAS EN FRESAS



**MANUAL DE
USUARIO**

El sistema electrónico de detección de plaguicidas funciona a partir de sensores electroquímicos capaces de identificar y analizar los compuestos químicos en el cultivo de frutillas. El dispositivo se despliega largo de la hilera de cultivo que va reconociendo y detectando los diferentes compuestos volátiles que posteriormente dichos datos son tratados y clasificados según su compuesto químico y el nivel de concentración.

Para iniciar con una prueba, realice los siguientes pasos:

1. El usuario debe ubicar al dispositivo electrónico dentro de un cultivo de fresa.
2. Ubicar el dispositivo en la posición inicial como se muestra en la Figura 1. Se toma en cuenta que el dispositivo se encuentre sobre la cama de fresa.

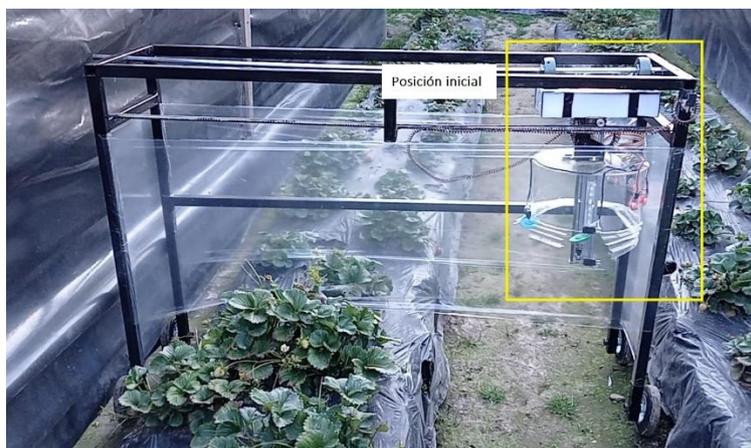


Figura. 1 Ubicación de dispositivo en el cultivo de fresa

3. Al verificar que el dispositivo se encuentre ubicada sobre la cama de fresa, presionar el interruptor de encendido del dispositivo.

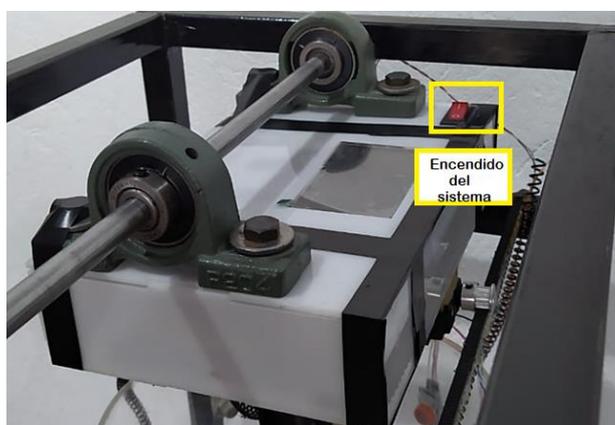


Figura. 2 Botón de encendido del dispositivo

4. Al encender el dispositivo, en la pantalla LCD táctil se muestra el icono de la aplicación DETECTOR, dar doble pulso sobre la app.

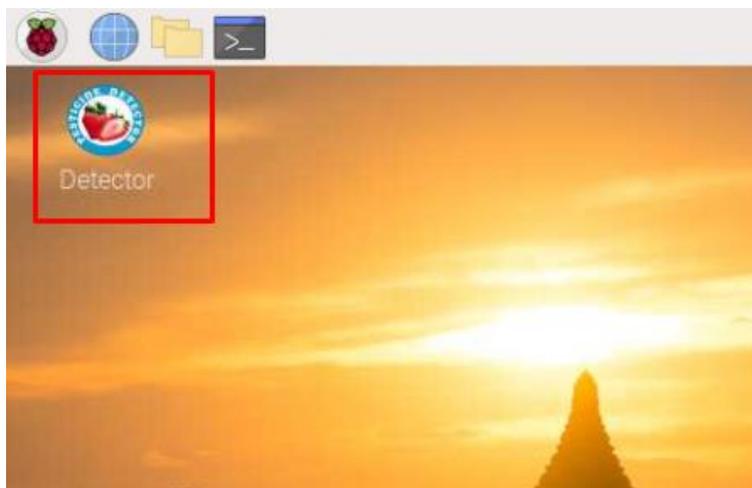


Figura. 3 Aplicación DETECTOR

5. Una vez ejecutado la aplicación, se procede a tomar la lectura de datos, pulsando en la opción LEER SENSORES como se muestra en la Figura 4.

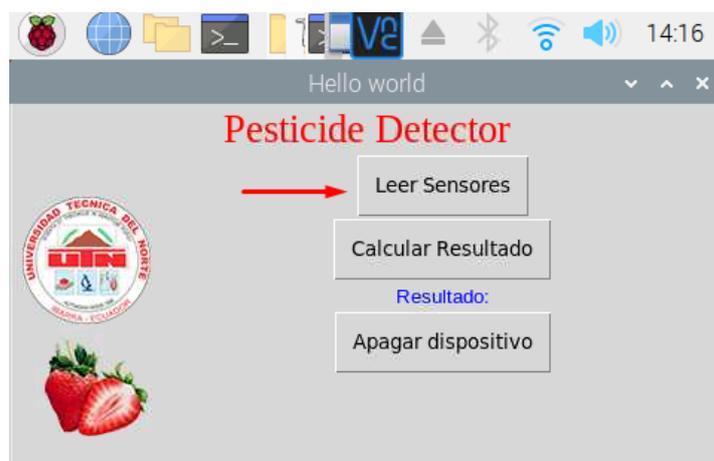


Figura. 4 Interfaz de aplicación y botón de inicio de lectura de sensores

Al momento de iniciar con la lectura de los sensores, el dispositivo tomará la posición de la Figura 5. de forma automática, el contenedor de sensores ubicada en la parte superior derecha, donde permanece durante 5 minutos.

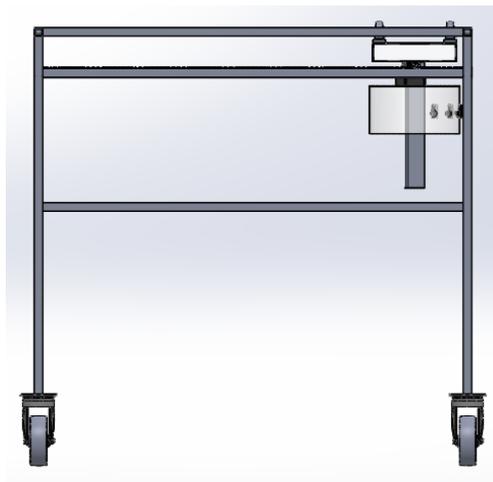


Figura. 5 Posición inicial del dispositivo para la toma de datos

6. Transcurrido los 5 minutos, el contenedor de sensores inicia con el desplazamiento en el eje horizontal hacia la cama que contiene las plantas de fresa.

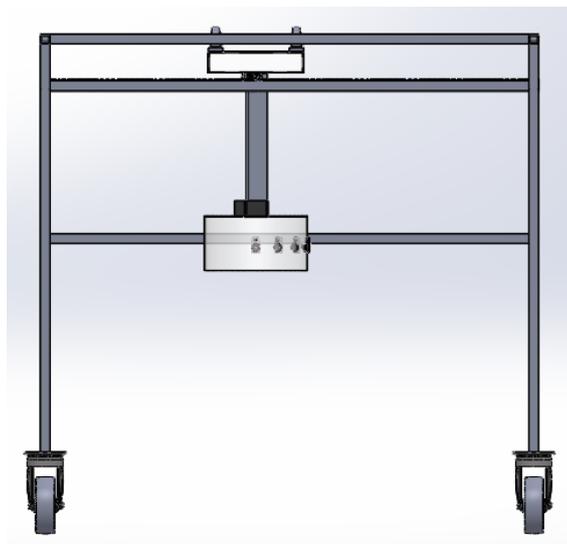


Figura. 6 Desplazamiento del contenedor de sensores en el eje horizontal

7. El contenedor de sensores se despliega a la izquierda, cuando se encuentre paralela a una planta de fresa se presiona el botón de control para que se produzca el movimiento en el eje vertical y se ubique sobre una planta de fresa, como se muestra en la Figura 7. En esta posición permanece durante 10 minutos.



Figura. 7 Botón de control del desplazamiento horizontal y posición de toma de datos sobre la fresa.

8. Transcurrido los 10 minutos en la posición anterior, el contenedor de sensores realiza automáticamente su desplazamiento a su posición final como se muestra en la Figura 8 y permanece por 5 minutos.



Figura. 8 Posición final de lectura del dispositivo.

El tiempo de toma de datos es de 20 minutos.

9. Transcurrido los 20 minutos, se debe esperar 1 minuto tiempo que el sistema demora en procesar los datos.
10. Presionar el botón **CALCULAR RESULTADO**.

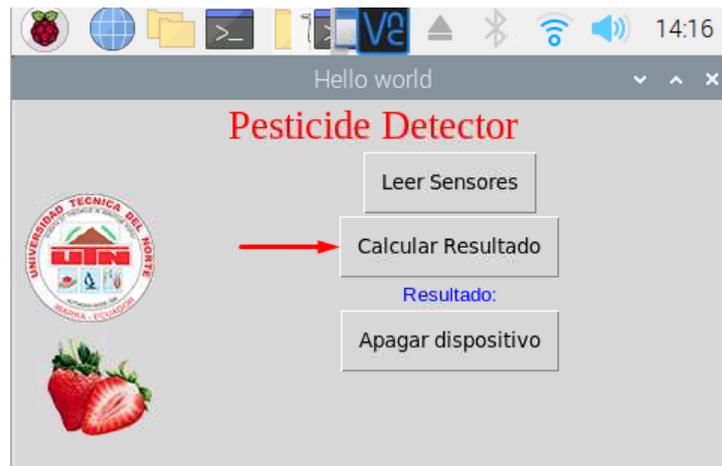


Figura. 9 Botón para calcular el resultado obtenido,

11. Se observa el residuo de pesticida detectado por el sistema y la probabilidad de los posibles pesticidas que se encuentran en el ambiente.

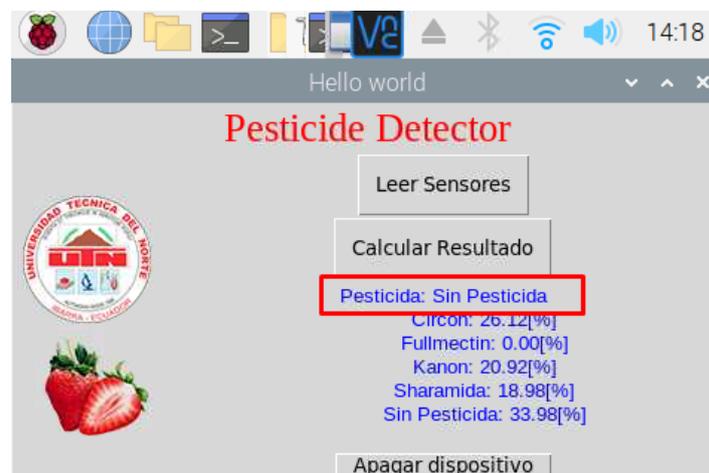


Figura. 10 Resultado obtenido de la toma de datos realizada.

12. Para apagar el dispositivo, presionar en Apagar dispositivo

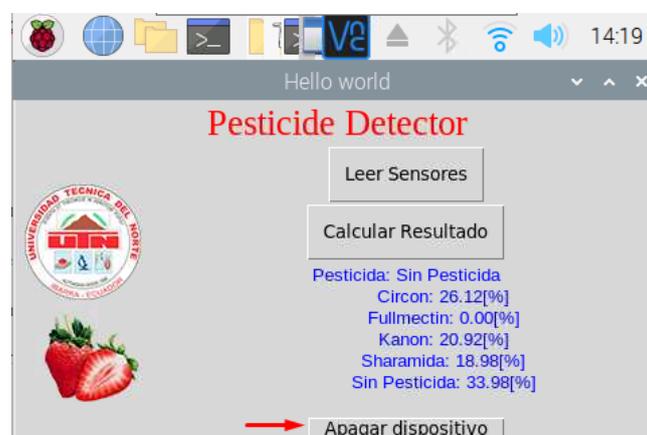


Figura. 11. Botón para apagar el dispositivo electrónico.

Anexo 8. Hoja técnica de los plaguicidas químicos

- Pesticida Sharamida

SHARIMIDA

INSECTICIDA AGRÍCOLA

SUSPENSIÓN CONCENTRADA - SC

Composición	Concentración (g/l)
Ingrediente Activo: Imidacloprid	350
Aditivos c.s.p.	1 l

Número de Registro Nacional: 068 -I 16 / NA

CONTENIDO NETO: 1 l

Lote N°:

Fecha formulación:

Fecha vencimiento:

P.V.P.:

Titular de Registro:

SHARDA DEL ECUADOR CIA. LTDA.



Calle: Inglaterra # E3-54 Intersección: Av. República.
Edificio: Centrum, Piso 5.
Teléfono: 023330555 / 025107482.
Quito - Ecuador.

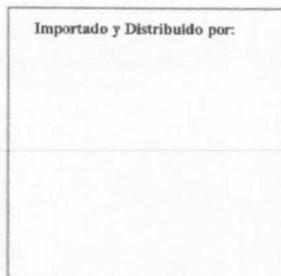
Fabricado y Formulado por:



Sharda Cropchem Ltd

Dominic Holm, 29th Road, Bandra(W), Mumbai - 400 050
Tel: + 91 22 6678 2800
Fax: + 91 22 6678 2828 / 6678 2808
E-mail: shardain@vsnil.com
País: INDIA.

Importado y Distribuido por:



INSTRUCCIONES DE USO Y APLICACIÓN

MODO DE ACCIÓN: SHARIMIDA es un Insecticida sistémico con actividad translinar y con acción de contacto y estomacal.

MECANISMO DE ACCIÓN: Actúa como un antagonista mediante la unión a receptores nicotínicos postsinápticos en el sistema nervioso central del insecto, pertenece al grupo de los Neonicotinoides.

MODO DE EMPLEO: Vierta en el tanque de preparación la dosis a utilizar de SHARIMIDA en la mitad de volumen de agua, agite bien y complete el volumen de agua requerido. Mantenga en agitación constante. No guardar la mezcla, aplique el mismo día de su preparación.

"CONSULTE CON UN INGENIERO AGRÓNOMO"

Cultivo	Plaga	Dosis l/ha	Periodo de Carencia
TOMATE RIÑÓN (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	MOSCA BLANCA (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>)	0.45*	3 Días
BRÓCOLI (<i>Brassica oleracea</i> var. botrytis subvar. <i>cymosa</i>)	PALOMILLA (<i>Plutella xylostella</i>)	0.40*	7 Días
PAPA (<i>Solanum tuberosum</i>)	TRIPS (<i>Frankliniella tuberosi</i>)	0.30*	21 Días
MAÍZ (<i>Zea mays</i>)	GUSANO COGOLLERO (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	0.30*	21 Días
ARROZ (<i>Oryza sativa</i>)	CHINCHE (<i>Oebalus</i> sp.)	0.40*	30 Días

*Volumen de agua para el cultivo de Tomate Riñón es de 400 l/ha

*Volumen de agua para el cultivo de Brócoli es de 400 l/ha

*Volumen de agua para el cultivo de Papa es de 400 l/ha

*Volumen de agua para el cultivo de Maíz es de 200 l/ha

*Volumen de agua para el cultivo de Arroz es de 300 l/ha

ÉPOCA Y FRECUENCIA DE APLICACIÓN:

Papa: Se recomienda aplicar estrictamente con la presencia de la plaga (3 insectos por hoja) de acuerdo al umbral económico para la plaga. Se recomienda hacer una sola aplicación.

Maíz: Se recomienda realizar una sola aplicación del plaguicida en presencia de la plaga.

Arroz: Se recomienda realizar una sola aplicación en fase fenológica de desarrollo vegetativo y floración con la presencia de la plaga.

Tomate y Brócoli: Realizar una sola aplicación del producto SHARIMIDA en presencia de la plaga, en la parte aérea de la planta.

PERIODO DE REINGRESO:

Esperar un mínimo de 24 horas para reingresar al área tratada.

FITOTOXICIDAD:

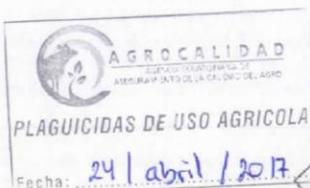
El producto no es fitotóxico si se utiliza de acuerdo a las dosis recomendadas en la etiqueta.

COMPATIBILIDAD: No es compatible con productos ácidos, alcalinos ni con agentes oxidantes fuertes. Se recomienda hacer previamente una prueba de compatibilidad en pequeña escala.

RESPONSABILIDAD: "La empresa garantiza que las características físico químicas del producto contenido en este envase corresponden a las anotadas en la etiqueta y que es eficaz para los fines aquí recomendados, si se usa y maneja de acuerdo con las condiciones e instrucciones dadas".

CATEGORÍA TOXICOLÓGICA:

II - MODERADAMENTE PELIGROSO



Eddy P.

DAÑINO



- Pesticida Fullmectin



FICHA TÉCNICA DEL PRODUCTO

Código: FT.INS.01
Actualización: 24-May-2019
Rev. Ant.: 24-Feb-2017
Versión: 05

1. NOMBRE COMERCIAL

FULLMECTIN

2. NÚMERO DE REGISTRO

Registro Nacional: 53 - I 27/NA

3. COMPOSICIÓN

INGREDIENTE ACTIVO	CONCENTRACIÓN	TIPO DE FORMULACIÓN
Abamectin	18 g/l	Concentrado Emulsionable (EC)

4. MODO Y MECANISMO DE ACCIÓN

Insecticida y Acaricida con sistemía traslaminar, de contacto e ingestión cuyo efecto en el insecto es la parálisis, la cual produce la muerte después de unos pocos días. Actúa estimulando la liberación de ácido aminobutírico, un neurotransmisor inhibitorio, activando finalmente canales de cloruro. Cuando el producto es aplicado al follaje, es absorbido por las hojas donde se alimenta la plaga para así cumplir con su función.

5. MODO DE EMPLEO

Abra el envase cuidadosamente evitando salpicaduras o derrames, disolver en agua la dosis recomendada del producto a utilizar en un recipiente pequeño destinado solo para este efecto, cuando esté disuelto completamente viértalo en el tanque o la mochila de aplicación que debe tener la mitad del volumen total del agua a utilizar, agitar y completar el volumen de agua, volver a agitar frecuentemente hasta conseguir una mezcla homogénea. Durante la manipulación del producto use el equipo de protección completo.

El producto se aplica en condiciones controladas bajo invernadero.

6. COMPATIBILIDAD

Incompatible con soluciones fuertemente cáusticas, soluciones ácidas fuertes y agentes oxidantes. Se recomienda realizar una prueba de compatibilidad a pequeña escala previa a la aplicación.

7. TOXICIDAD

Categoría Toxicológica II – MODERADAMENTE PELIGROSO



FICHA TÉCNICA DEL PRODUCTO

Código: FT.JNS.01
Actualización: 24-May-2019
Rev. Ant.: 24-Feb-2017
Versión: 05

8. USOS

CULTIVO	PLAGA	DOSIS	Periodo de carencia
Rosas (<i>Rosa</i> spp.)	Ácaros (<i>Tetranychus urticae</i>)	0,28 l/ha*	No aplica
Tomate riñón (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	Gusano enrollador (<i>Tuta absoluta</i>)	0,75 l/ha*	8 días
Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	Paratrioza (<i>Bactericera cockerelli</i>)	250 ml/ha	7 días

*Rosas: 800 litros de agua por hectárea.

Tomate riñón: 600 litros de agua por hectárea.

Volumen de agua: se recomienda calibrar el equipo de aspersión para conocer la cantidad de agua a utilizar para cubrir una hectárea y dependiendo de la etapa fenológica del cultivo.

9. ÉPOCA Y PERÍODO DE APLICACIÓN

Rosas.- Realizar la aplicación considerando siempre el umbral económico de daño de la plaga (3 ácaros por hoja). Repetir la aplicación a los 7 días. No se recomienda hacer más de dos aplicaciones por ciclo. Rotar con productos de diferente modo de acción para evitar la formación de resistencia.

Tomate riñón: Realizar las aplicaciones a las partes aéreas de las plantas teniendo un porcentaje de cubrimiento del 100%, considerando siempre el umbral económico de la plaga. Realizar dos aplicaciones como máximo por ciclo de cultivo. Rotar con productos de diferente modo de acción para evitar la formación de resistencia.

Papa: realizar la aplicación con la presencia de la plaga, aplicar una vez por ciclo del cultivo en emergencia de brotes.

10. FITOTOXICIDAD

No es fitotóxico al cultivo en las dosis recomendadas en la etiqueta.

- Pesticida Circón

FICHA TÉCNICA PROTECCIÓN DE CULTIVO

Una empresa  ANAGAC



CIRCON®

Reg. PQUA N° 1703 – SENASA

CARACTERÍSTICAS GENERALES

CIRCON es un insecticida con doble modo de acción, por contacto e ingestión. Tiene un amplio espectro de acción y protege por largo periodos.

FORMULACIÓN

CIRCON es un insecticida formulado en Suspensión Concentrada (SC), que contiene 190 g de Fipronil y 350 g de Thiamethoxam por litro de producto formulado.

GRUPO QUÍMICO

Thiamethoxam: Neonicotinoide.

Fipronil: Fenilpirazoles.

MODO DE ACCIÓN

Fipronil del grupo de los Fenilpirazoles con acción antagonista del canal de sodio y Thiamethoxam es un neonicotinoide sistémico de alta residualidad que controla insectos succionadores.

CUADRO DE USOS

CULTIVO	P L A G A		DOSIS (L/200L)	PC (días)	LMR (ppm)
	Nombre Común	Nombre Científico			
Papa	Gorgojo de los andes	<i>Premnotypes sutunicallus</i>	0.2	20 ⁽¹⁾ 14 ⁽²⁾	0.01 ⁽¹⁾ 0.3 ⁽²⁾
Arroz	Mosca minadora del arroz	<i>Hydrellia wirthi</i>	0.15 - 0.25	15 ⁽¹⁾ 2-1 ⁽²⁾	0.04 ⁽¹⁾ 0.02 ⁽²⁾

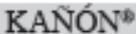
PC: Periodo de carencia en días.

LMR: Límite máximo de residuo en ppm.

(1) Fipronil,

(2) Thiamethoxam.

- Pesticida Kañón

  Insecticida Líquido			
<p>ACCIÓN FITOSANITARIA: KANÓN® es un insecticida cuyo modo de acción está estrechamente relacionado con la forma como actúan sus ingredientes:</p> <p>CLORPIRIFOS: Actúa por contacto, ingestión e inhalación, con una marcada penetración en los tejidos de las hojas, siendo muy eficaz en el control de los insectos masticadores, chupadores y minadores.</p> <p>CIPERMETRINA: Insecticida de acción neurotóxica que actúa por contacto, ingestión y posee una buena acción inmediata y aceptable persistencia, controlando una amplia gama de insectos adultos y larvas de mariposas y moscas.</p> <p>FORMULACIÓN Y CONCENTRACIÓN: Formulado como concentrado emulsionable (CE) que contiene 500 g de clorpirifos más 50 g de cipermetrina por litro de producto comercial.</p> <p>COMPATIBILIDAD: Es compatible con la mayoría de insecticidas o fungicidas comunes de reacción neutra o debidamente ácida, para un mejor aprovechamiento del producto, se recomienda hacer pruebas preliminares.</p> <p>PRECAUCIONES Y RESTRICCIONES: Lea la etiqueta antes de usar KANÓN®. No ingerir o inhalar KANÓN®, su ingestión puede ser fatal. Evite contacto con los ojos y la piel. Lávese con abundante agua y jabón después de manipular el producto.</p>			
<p>TOXICIDAD: Categoría Toxicológica II. Moderadamente Peligroso.</p> <p>MODO DE ACCIÓN: La acción insecticida de la mezcla presenta algo más que un efecto aditivo de la acción individual de los productos que la integran encontrándose un alto grado de sinergismo en la proporción 10:1 clorpirifos - cipermetrina en donde se combinan la acción del clorpirifos inhibiendo la enzima acetilcolinesterasa y la cipermetrina la cual provoca una alteración de las funciones nerviosas y musculares.</p> <p>FRECUENCIA DE APLICACIÓN: Repla la aplicación cuando sea necesario dependiendo del nivel de daño económico. Suspendiendo las aplicaciones en cultivos comestibles 21 días antes de la cosecha.</p> <p>PRESENTACIONES: Frasco x 60 ml. Frasco x 120 ml. Frasco x 250 ml. Frasco x 500 ml. Frasco x 1 litro.</p> <p>REGISTRO N/A: 85-15/NA.</p> <p>DISTRIBUIDO POR: AGROQUÍM C. LTDA.</p>			
INSTRUCCIONES DE USO DE KANÓN:			
CULTIVO	PLAGA	DOSES ml/200 l	FRECUENCIA DE APLICACIÓN
SOLANÁCEAS Papa, Tomate, Pimiento, Aji, Tabaco, Naranjilla	Gusano blanco <i>Premnotyphex vorax</i>	250	Aplicar hasta 10 días antes de la cosecha.
	Polilla <i>Toxia solanivora</i>	100 a 200 100 a 200	
	Enrollador <i>Scrobipalpula absoluta</i>		
	Minador de la hoja <i>Liriomyza</i> sp.		
LEGUMINOSAS Arveja, Fréjol, Haba, Lenteja, Soya, Chocho	Lorita <i>Empoasca</i> spp.	100 a 250	Aplicar hasta 10 días antes de la cosecha.
	Barrenador de brotes <i>Epinotia</i> spp.		
	Minador de la hoja <i>Liriomyza</i> sp.		
	Gusano Trozador <i>Agrotis ypsilon</i>		
ORNAMENTALES Clavel, Flores de Verano.	Pulgón del rosal <i>Macrosiphum rosae</i>	0.5	Aplicación foliar durante todo el ciclo, solo en flores de verano. En rosas aplicar vía dronch para controlar trips y similares a nivel del suelo.
	Minador <i>Liriomyza</i> sp.	a	
	Trips <i>Frankliniella</i> spp.	1 ml/l	
HORTALIZAS Cebollas, Ajo, Zanahoria, Lechuga, Cilantro, Remolacha.	Ácaro del bulbo <i>Rhizoglyphus callosus</i>	100 a 250	Aplicar hasta 10 días antes de la cosecha.
	Grillo de la cebolla <i>Deroceras reticulatum</i>		
	Gusano trozador <i>Agrotis ypsilon</i>		
	Minador de la hoja <i>Liriomyza</i> sp.		
FRUTALES Manzana, Uva, Aguacate, Fresa, Tomate de Árbol, Piña, Maracuyá, Barano, Plátano, Mango, Café.	Picudo negro <i>Cosmopolites sordidus</i>	100 a 250	Aplicar hasta 10 días antes de la cosecha.
	Trips <i>Frankliniella parvula</i>		
	Broca del café <i>Hypothenemus hampei</i>		
	Araña roja <i>Paratetranychus yotheri</i>		
	Mosca de la fruta <i>Anastrepha</i> sp.		
	Escama <i>Aspidiotus destructor</i>		
CRUCÍFERAS Brécol, Col, Coliflor, Nabo, Col de Bruselas	Gusano cortador <i>Agrotis</i> spp.	100 a 250	Aplicar hasta 10 días antes de la cosecha.
	Mosquilla de los brotes <i>Proclipsis</i> sp.		
	Pulgón <i>Brevicoryne brassicae</i>		
	Trips <i>Frankliniella</i> spp.		

Anexo 9. Código fuente para la toma de datos y control de servomotores en Arduino.

- Inicialización de sensores de gas

```
//inicialización de librerías
#include <MQUnifiedsensor.h>
#include "Timer.h"

//Definición de proporción al aire libre de cada sensor
#define Board ("Arduino MEGA")
#define Voltage_Resolution (5)
#define ADC_Bit_Resolution (10) // For arduino UNO/MEGA/NANO
#define RatioMQ2CleanAir_MQ2 (9.83) //RS / R0 = 9.83ppm
#define RatioMQ3CleanAir_MQ3 (60) //RS / R0 = 60 ppm
#define RatioMQ8CleanAir_MQ8 (70) //RS / R0 = 70 ppm
#define RatioMQ9CleanAir_MQ9 (9.6) //RS / R0 = 9.6 ppm
#define RatioMQ135CleanAir_MQ135 (3.6) //RS / R0 = 3.6 ppm
#define SAMPLE_TIME (305) //Tiempo de muestreo de los sensores

//declaración de funciones
void init_MQ();
void takeReading();
void setT0(long t);
```

- Definición de conexión de los sensores a los pines analógicos

```
#include "Arduino.h"
#include "Sensores.h"

long t0;

MQUnifiedsensor MQ2(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, A1, "MQ-2");
MQUnifiedsensor MQ3(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, A2, "MQ-3");
MQUnifiedsensor MQ8(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, A3, "MQ-8");
MQUnifiedsensor MQ9(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, A4, "MQ-9");
MQUnifiedsensor MQ135(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, A5, "MQ-135");

//declaración de una funciones
void setT0(long t){
    t0=t;
```

```

}
void init_MQ()
{
  // Establecer el modelo matemático para calcular la concentración de PPM y el valor
  de las constantes
  MQ2.setRegressionMethod(1); //_PPM = a*ratio^b
  MQ3.setRegressionMethod(1); //_PPM = a*ratio^b
  MQ8.setRegressionMethod(1); //_PPM = a*ratio^b
  MQ9.setRegressionMethod(1); //_PPM = a*ratio^b
  MQ135.setRegressionMethod(1); //_PPM = a*ratio^b
  MQ2.init();
  MQ3.init();
  MQ8.init();
  MQ9.init();
  MQ135.init();
  //Proceso de calibración de sensor MQ-2
  Serial.print("Calibrating MQ-2 please wait.");
  float calcR0 = 0;
  for(int i = 1; i<=10; i++)
  {
    MQ2.update(); // Actualiza los datos, el arduino leerá el voltaje en el pin analógico
    calcR0 += MQ2.calibrate(RatioMQ2CleanAir_MQ2);
    Serial.print(".");
  }
  MQ2.setR0(calcR0/10);
  Serial.println(" done MQ-2!");
  //Proceso de calibración de sensor MQ-3
  Serial.print("Calibrating MQ-3 please wait.");
  calcR0 = 0;
  for(int i = 1; i<=10; i++)
  {
    MQ3.update(); // Actualiza los datos, el arduino leerá el voltaje en el pin analógico

```

```

    calcR0 += MQ3.calibrate(RatioMQ3CleanAir_MQ3);
    Serial.print(".");
}
MQ3.setR0(calcR0/10);
Serial.println(" done MQ-3!");
//Proceso de calibración de sensor MQ-8
Serial.print("Calibrating MQ-8 please wait.");
calcR0 = 0;
for(int i = 1; i<=10; i++)
{
    MQ8.update(); // Actualiza los datos, el arduino leerá el voltaje en el pin analógico
    calcR0 += MQ8.calibrate(RatioMQ8CleanAir_MQ8);
    Serial.print(".");
}
MQ8.setR0(calcR0/10);
Serial.println(" done MQ-8!");
//Proceso de calibración de sensor MQ-9
Serial.print("Calibrating MQ-9 please wait.");
calcR0 = 0;
for(int i = 1; i<=10; i++)
{
    MQ9.update(); // Actualiza los datos, el arduino leerá el voltaje en el pin analógico
    calcR0 += MQ9.calibrate(RatioMQ9CleanAir_MQ9);
    Serial.print(".");
}
MQ9.setR0(calcR0/10);
Serial.println(" done MQ-9!");
//Proceso de calibración de sensor MQ-135
Serial.print("Calibrating MQ-135 please wait.");
calcR0 = 0;
for(int i = 1; i<=10; i++)
{

```

```

MQ135.update(); // Actualiza los datos, el arduino leerá el voltaje en el pin analógico
calcR0 += MQ135.calibrate(RatioMQ135CleanAir_MQ135);
Serial.print(".");
}
MQ135.setR0(calcR0/10);
Serial.println(" done MQ-135!.");
}
//Función de lectura de sensores por un tiempo establecido
void takeReading()
{
float tiempo = (millis()-t0)/1000.0;
int minuto = tiempo/60;
float segundos = tiempo-60*minuto;
MQ2.setA(574.25); MQ2.setB(-2.222);
MQ2.update();
float MQ2_GLP = MQ2.readSensor();
MQ3.setA(7585.3); MQ3.setB(-2.849);
MQ3.update();
float MQ3_HEXENO = MQ3.readSensor();
MQ8.setA(976.97); MQ8.setB(-0.688);
MQ8.update();
float MQ8_H2 = MQ8.readSensor();
MQ9.setA(4269.6); MQ9.setB(-2.648);
MQ9.update();
float MQ9_CH4 = MQ9.readSensor();
MQ135.setA(605.18); MQ135.setB(-3.937);
MQ135.update();
float MQ135_CO = MQ135.readSensor();
//Impresión de datos de los sensores y el tiempo
Serial.print(String(minuto)+":"+String(segundos)+" ");
Serial.print(String(MQ2_GLP)+" ");
Serial.print(String(MQ3_HEXENO)+" ");

```

```

Serial.print(String(MQ8_H2)+" ");
Serial.print(String(MQ9_CH4)+" ");
Serial.print(String(MQ135_CO)+" ");
Serial.println("");

```

- Control de sensores por fines de carrera

```

// Inclusión de librería y pines para el funcionamiento
#include <Servo.h> //Incluimos la librería de servo
//Definición de pines para fines de carrera
#define PIN_FC_LEFT (6)
#define PIN_FC_RIGH (5)
#define PIN_FC_UP (3)
#define PIN_FC_DOWN (2)
#define PIN_FC_REC (4)
//Definición de pines de control de motores
#define PIN_MOTOR_X (9)
#define PIN_MOTOR_Y (8)
//Definición de ángulo de giro de motores
#define MOTOR_STOP (90)
#define MOTOR_CW (0)
#define MOTOR_CCW (180)
//Genera un nuevo tipo de variable
typedef enum {
    MOV_LEFT,
    MOV_RIGHT,
    MOV_UP,
    MOV_DOWN,
    MOV_HOME,
    MOV_SENSE,
} MOV;
//Establecemos funciones para los motores y los sensores.
void initMotors();
void placeSensor(MOV m);

```

- Inclusión de librerías

```
#include "Arduino.h"
#include "MOTOR.h"
Servo servox; // Servo desplazamiento en X
Servo servoy; //Servo desplazamiento en Y
//Función de inicialización
void initMotors(){
servox.attach(PIN_MOTOR_X);
servoy.attach(PIN_MOTOR_Y);
servox.write(MOTOR_STOP);
servoy.write(MOTOR_STOP);
pinMode(PIN_FC_LEFT, INPUT_PULLUP);
pinMode(PIN_FC_RIGH, INPUT_PULLUP);
pinMode(PIN_FC_UP, INPUT_PULLUP);
pinMode(PIN_FC_DOWN, INPUT_PULLUP);
pinMode(PIN_FC_REC, INPUT_PULLUP);
}
//Creación de una función tipo switch para ejecutar varias funciones
void placeSensor(MOV m){
switch(m){
//caso para el movimiento hacia la derecha
case MOV_RIGHT:
Serial.println(">>>>> MOVIENDO A LA DERECHA <<<<<<");
servox.write(MOTOR_CW);
while(digitalRead(PIN_FC_RIGH));
servox.write(MOTOR_STOP);
Serial.println(">>>>> Motor X DETENIDO! <<<<<<");
break;
//caso para el movimiento hacia la izquierda
case MOV_LEFT:
Serial.println(">>>>> MOVIENDO A LA IZQUIERDA <<<<<<");
```

```

servox.write(MOTOR_CCW);
while(digitalRead(PIN_FC_LEFT));
servox.write(MOTOR_STOP);
Serial.println(">>>>> Motor X DETENIDO! <<<<<<<");
break;
//caso para el movimiento hacia arriba
case MOV_UP:
Serial.println(">>>>> MOVIENDO HACIA ARRIBA <<<<<<<");
servoy.write(MOTOR_CW);
while(digitalRead(PIN_FC_UP));
servoy.write(MOTOR_STOP);
Serial.println(">>>>> Motor Y DETENIDO! <<<<<<<");
break;
//caso para el movimiento hacia abajo
case MOV_DOWN:
Serial.println(">>>>> MOVIENDO HACIA ABAJO <<<<<<<");
servoy.write(MOTOR_CCW);
while(digitalRead(PIN_FC_DOWN)&& digitalRead(PIN_FC_REC));
servoy.write(MOTOR_STOP);
Serial.println(">>>>> Motor Y DETENIDO! <<<<<<<");
break;
//caso para el proceso de posición inicial
case MOV_HOME:
placeSensor(MOV_UP);
placeSensor(MOV_RIGHT);
break;
//caso para el proceso de sensado
case MOV_SENSE:
placeSensor(MOV_LEFT);
placeSensor(MOV_DOWN);
break;
}

```

```
}

```

- Control de movimientos y proceso de lectura de datos del sistema electrónico

```
//Librerías necesarias
#include <Arduino_FreeRTOS.h>
#include "MOTOR.h"
#include "Sensores.h"
#define TIEMPO_AIRELIBRE1_MS (276000) //tiempo en milisegundos
#define TIEMPO_FRESA_MS (590000) //tiempo en milisegundos
#define TIEMPO_AIRELIBRE2_MS (285000) //tiempo en milisegundos
//Se crea una tarea con prioridad
TaskHandle_t TaskHandle_1;
TaskHandle_t TaskHandle_2;
void taskSense(void *p);
void taskProcess(void *p);
int readEvent;
void setup() {
  //comunicación serial
  Serial.begin(115200);
  //inicialización de motores y senores
  initMotors();
  init_MQ();
}
void loop() {
}

void serialEvent() {
  if (Serial.available()) {
    // obtener un nuevo byte
    char inChar = (char)Serial.read();
    switch (inChar) {
      case 'i':
```

```

// inicializacion
Serial.println("inicializacion");
init_MQ();
break;
case 's':
    // lectura de sensores
    Serial.println("lectura de sensores");
    Serial.print("TIEMPO ");
    Serial.print("LGP(2) ");
    Serial.print("HEXENO(3) ");
    Serial.print("H2(8) ");
    Serial.print("CH4(9) ");
    Serial.println("CO(135) ");
    //readEvent=t.every(SAMPLE_TIME, takeReading);
    setT0(millis());
    xTaskCreate( taskSense, ( signed char * )"Task1",
configMINIMAL_STACK_SIZE, NULL, 1, &TaskHandle_1 );
    break;
case 'e':
    // finalizacion de la lectura
    Serial.println("fin de lectura");
    //t.stop(readEvent);
    vTaskDelete(TaskHandle_1);
    break;
case 'h':
    placeSensor(MOV_HOME);
    break;
case 't':
    placeSensor(MOV_SENSE);
    break;
case 'u':
    placeSensor(MOV_UP);

```

```

        break;
    case 'd':
        placeSensor(MOV_DOWN);
        break;
    case 'r':
        placeSensor(MOV_RIGHT);
        break;
    case 'l':
        placeSensor(MOV_LEFT);
        break;
    case 'z':
        xTaskCreate( taskProcess, ( signed char * )"Task2",
configMINIMAL_STACK_SIZE, NULL, 1, &TaskHandle_2 );
        break;
    default:
        break;
    }
}

//Función que tarea de sensado
void taskSense(void *p) {
    (void) p;
    while (true) {
        takeReading();
        vTaskDelay(SAMPLE_TIME / portTICK_PERIOD_MS);
    }
}

//Función para iniciar el proceso de sensado
void taskProcess(void *p) {
    (void) p;
    placeSensor(MOV_HOME);
    init_MQ();
}

```

```

Serial.println("lectura de sensores");
Serial.print("TIEMPO ");
Serial.print("LGP(2) ");
Serial.print("HEXENO(3) ");
Serial.print("H2(8) ");
Serial.print("CH4(9) ");
Serial.println("CO(135) ");

//readEvent=t.every(SAMPLE_TIME, takeReading);

setT0(millis());

xTaskCreate( taskSense, ( signed char * )"Task1", configMINIMAL_STACK_SIZE,
NULL, 1, &TaskHandle_1 ); //leer datos

vTaskDelay(TIEMPO_AIRELIBRE1_MS / portTICK_PERIOD_MS); // tiempo de
espera en home (5 minutos) aire libre

placeSensor(MOV_SENSE);

vTaskDelay(TIEMPO_FRESA_MS / portTICK_PERIOD_MS); // tiempo de sensado
10 minutos en fresas

placeSensor(MOV_HOME);

vTaskDelay(TIEMPO_AIRELIBRE2_MS / portTICK_PERIOD_MS); //tiempo de
sensado 5 minutos aire libre

vTaskDelete(TaskHandle_1);

vTaskDelete(TaskHandle_2);

Serial.print(255);

}

```

Anexo 10. Codificación del modelo de Machine Learning en Matlab

- Establecimiento de conexión de Matlab con Raspberry Pi 4

```
function readAndSave() %#codegen
%% Establecimiento de conexión entre Arduino y Raspberry mediante puerto serial.
r = raspi();
myserialdevice = serialdev(r,'/dev/ttyACM0',115200);
myserialdevice.Timeout = 10;
%% Conexión satisfactoria
fprintf('*** Empezando Lectura ***\n' );
writeLED(r,'led0',0);
%% Almacenamiento de datos en archivo txt
fileID = fopen('sample.txt','w');
pause(10);
tStart = tic;
tStop = 0;
write( myserialdevice, uint8('z'), 'uint8' );
while tStop < 21*60
    s = read(myserialdevice,20,'uint8');
    str = char(s);
    fprintf('%s', str );
    fprintf(fileID,'%s', str );
    pause(0.1);
    tStop = toc(tStart);
    if any( s == 255 )
        break;
    end
end
%% Finaliza la lectura de datos
fclose(fileID);
writeLED(r,'led0',0);
fprintf('*** Fin del Programa ***\n' );
```

- Proceso de predicción con el Modelo SVM

```
%% Inicialización del programa
disp("-----Iniciando Programa-----")
filename = '/home/pi/sample.txt';
%% Aplicación de un filtro digital y una reducción de la cantidad de muestras
sizeMovAvg = 10;
sizeDownSample = 10;
timeSpam = 20;
featSize = 1200;
labels = {'Circon','Fullmectin','Kañon','Sharamida','Sin Pesticida'};
```

- Lectura del archivo y ejecución del Modelo SVM

```
r = raspi();
Mdl = loadLearnerForCoder('SVMmodel');
writeLED(r,'led0',1);
disp("*** Leyendo el Archivo ***")
fileID = fopen(filename);
if isequal(fileID,-1)
    disp("No se encontro el archivo...")
    disp("-----Fin del Programa-----")
    return;
end
```

- Procesamiento de los nuevos datos

```
disp("*** Preprocesamiento ***")
Feat = movmean( Feat, sizeMovAvg );
Feat = downsample( Feat, sizeDownSample );
T = downsample( T, sizeDownSample );
idx = T > timeSpam*60 | T < 0;
Feat(idx,:) = [];
N = numel(Feat);
n = length(Feat);
aux = interp1( 1:n, Feat, linspace(1,n,featSize/5) );
FEAT = zeros(1,featSize);
```

```
FEAT(1:featSize) = real( aux(:)' );
```

- Muestra de resultados

```
%% Predicción
```

```
resultfile = '/home/pi/results.txt';
```

```
fileID = fopen(resultfile,'w');
```

```
disp("*** Prediccion ***")
```

```
nLabels = length(labels);
```

```
[ label, score ] = predict( Mdl, FEAT );
```

```
Prob = 100/0.45 * ( score + 0.45 );
```

```
fprintf(fileID,'Pesticida: %s\n', labels{label} );
```

```
for i = 1:nLabels
```

```
    fprintf(fileID,'\t%s: %.2f[%% ]\n', labels{i}, Prob(i) );
```

```
end
```

```
if T(end) < 15*60
```

```
    disp(fileID,'La cantidad de datos es muy reducida!...')
```

```
end
```

- Finalización del programa

```
fclose(fileID);
```

```
disp("-----Fin del Programa-----")
```

```
writeLED(r,'led0',0);
```