



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA NARIZ
ELECTRÓNICA USANDO SENSORES SEMICONDUCTORES DE
ÓXIDO METÁLICO PARA ANALIZAR EL ESTADO DE
MADUREZ DE FRUTAS COMO PLÁTANO Y FRUTILLA**

AUTOR: LLUMIQUINGA PANCHI, GABRIELA NATHALY

DIRECTOR: ING. TRIVIÑO CEPEDA, ROBERTO DANIEL

SANGOLQUÍ

2018



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA USANDO SENSORES SEMICONDUCTORES DE ÓXIDO METÁLICO PARA ANALIZAR EL ESTADO DE MADUREZ DE FRUTAS COMO PLÁTANO Y FRUTILLA**” fue realizado por la señorita **Llumiyinga Panchi, Gabriela Nathaly**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 20 de agosto de 2018

Ing. Daniel Triviño

DIRECTOR

C.C. 1712197522



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Llumiyinga Panchi, Gabriela Nathaly**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA USANDO SENSORES SEMICONDUCTORES DE ÓXIDO METÁLICO PARA ANALIZAR EL ESTADO DE MADUREZ DE FRUTAS COMO PLÁTANO Y FRUTILLA”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 20 de agosto de 2018



Gabriela Nathaly Llumiyinga Panchi

C.C: 1722662275



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Llumiyinga Panchi, Gabriela Nathaly**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA USANDO SENSORES SEMICONDUCTORES DE ÓXIDO METÁLICO PARA ANALIZAR EL ESTADO DE MADUREZ DE FRUTAS COMO PLÁTANO Y FRUTILLA”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 20 de agosto de 2018

Gabriela Nathaly Llumiyinga Panchi

C.C: 1722662275

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen del Quinche por derramar sus bendiciones y por su infinita bondad me ha permitido llegar a mi objetivo.

A mis padres y mi hermano que siempre me han dado la fortaleza, confianza, comprensión y el aliento para no quedarme en el camino.

A mi esposo y mi hijo que ahora son la razón de mi lucha por salir adelante, a ellos que han sido mi fuerza, mi apoyo y mi luz en los días oscuros.

A toda mi familia, por los consejos y aliento que de una y otra manera me supieron dar para no rendirme en mi objetivo.

A mis profesores que supieron guiarme de la mejor manera en los conocimientos obtenidos.

Gaby

AGRADECIMIENTO

A Dios y la Virgen del Quinche a cuál soy devota por derramar sus bendiciones y enviar al Espíritu Santo a iluminar y darme la fortaleza necesaria para seguir con mi objetivo de culminar la carrera.

A mis padres por estar siempre al pendiente, ser el apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por esos abrazos, ese cariño que me brindaron en esos momentos difíciles, por limpiar mis lágrimas en esos instantes de frustración y fracaso. Y en especial por ser esos padres trabajadores que gracias a sus esfuerzos y sacrificios me supieron dar una educación para poderme defenderme en la vida.

A mi esposo por ser la persona cariñosa, comprensiva y por su colaboración para que yo lograra mi objetivo. A mi hijo que, aunque pequeño comprendió mis ausencias para poder realizar mi último esfuerzo para culminar esta meta planteada. Son una parte fundamental de mi vida no fue sencillo, pero con todo el amor que me brindaron supe levantarme y seguir.

A mi familia que por su preocupación y porque nunca dejaron de creer en mí, quisiera nombrar a cada uno de ellos que supo aconsejarme a darme un abrazo de aliento y empujarme a seguir. A mis tíos que se encuentran lejos gracias por su apoyo y colaboración. Y como no nombrar y agradecer esas personas que ya no están presentes, en especial a mi abuelita Isabel que, aunque nunca la conocí siempre la tengo en el corazón y a mi primo Byron por esas palabras que nunca olvidare.

A esos profesores que de forma correcta, ejercieron su labor de transmitir sus conocimientos, y un agradecimiento muy especial al Ing. Daniel Triviño que supo guiar, comprender, por el tiempo brindado, y tener la suficiente paciencia para poder desarrollar el trabajo de investigación y llegar a terminarlo con éxito.

Gaby

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT	xx
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación e Importancia.....	5
1.3 Descripción General del Proyecto.....	8
1.4 Objetivos	12
1.5 Contenido de capítulos	12
CAPITULO II	14
ESTADO DEL ARTE.....	14
2.1 Narices Electrónicas.....	14
2.2 Sensores Químicos	16
2.2.1 Clasificación de Sensores.....	17
2.2.1.2 Sensores MOS de óxido de estaño	19

2.2.1.2.1 Sensores Fígaro	20
2.3 Procesado de señal	21
2.4 Modelos Multivariantes.....	22
2.4.1 Análisis de Componentes Principales (PCA).....	23
2.4.2 Mínimos Cuadrados Parciales (PLS)	23
2.4.3 Regresión del Componente Principal (PCR).....	24
2.4.4 Red Neuronal Probabilístico (Red PNN)	25
2.4.5 Análisis de función de discriminante (DFA).....	26
2.4.6 Análisis discriminante lineal (LDA)	26
2.4.7 Regresión Lineal Múltiple (MLR).	26
CAPITULO III	29
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	29
3.1 Requerimientos Hardware y Software	29
3.1.1 Hardware	29
3.1.2 Software	31
3.1.2.1 Aplicación Móvil.....	32
3.1.2.2 Aplicación Web.....	34
3.1.2.3 Estructura del Software	35
3.2 Caracterización de los Sensores	35
3.2.1 Sensores de Gas MOS	35
3.2.2 Sensores de Temperatura.....	44
3.3 Diseño de hardware	47
3.3.1 Módulos de los Sensores de Gas	48
3.3.2 Módulo de sensor de temperatura	51

3.3.3 Módulo de la tarjeta micro SD	51
3.3.4 Módulo Bluetooth	52
3.4 Diseño de Software	54
3.4.1 Diseño del modelo.....	54
3.4.2 Diseño del programa en Arduino	69
3.4.2 Diseño de la aplicación móvil	71
3.4.3 Diseño del Servidor Web	73
3.5 Protocolo de Prueba	76
3.5.1 Pruebas para la Evaluación de Hardware	76
3.5.1.1 Prueba N° 1 Temperatura de la fruta.	76
3.5.1.2 Prueba N° 2 Obtención de la Huella digital olfativa.	77
3.5.2 Pruebas para la Evaluación del Software	78
3.5.2.1 Prueba N° 3 Conexión del prototipo al celular y envío de datos.....	78
3.5.2.2 Prueba N° 4 Envío de base de datos	79
3.5.2.3 Prueba N° 5 Almacenar en micro SD	80
3.5.2.4 Prueba N° 6 Prototipo y modelo.....	81
3.5.2.5 Prueba N° 7 Prototipo y sistema.....	82
CAPITULO IV	84
PRUEBAS Y RESULTADOS	84
4.1 Evaluación de pruebas de hardware	84
4.1.1 Análisis de resultados prueba N° 1 Temperatura de la fruta.	84
4.1.2 Análisis de resultados prueba N° 2 Obtención de la Huella digital olfativa	88
4.2 Evaluación de pruebas de software	98
4.2.1 Evaluación de la prueba N° 3 Conexión del prototipo al celular y envío de datos	99

4.2.2 Evaluación de la prueba N° 4 Envió a la base de datos.....	101
4.2.3 Evaluación de la prueba N° 5 Almacenar en micro SD	106
4.2.4 Evaluación de la prueba N° 6 Prototipo y modelo	108
4.2.5 Evaluación de la prueba N° 7 Prototipo y sistema	111
4.3 Resultados	113
CAPITULO V	124
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124
5.1 Conclusiones	124
5.2 Recomendaciones.....	126
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Cronología de una nariz electrónica</i>	16
Tabla 2 <i>Tipos de recubrimiento</i>	17
Tabla 3 <i>Clasificación de sensores</i>	17
Tabla 4 <i>Sensores Figaro</i>	20
Tabla 5 <i>Aplicaciones de sensores químicos de óxido de estaño</i>	21
Tabla 6 <i>Etapas para el procesamiento de señales.</i>	22
Tabla 7 <i>Requerimientos de la unidad de procesamiento</i>	30
Tabla 8 <i>Requisitos de diseño de los sensores de Gas</i>	30
Tabla 9 <i>Requisitos de diseño del sensor de Temperatura.</i>	30
Tabla 10 <i>Requerimientos de los módulos micro SD y comunicación</i>	30
Tabla 11 <i>Requisitos de la alimentación para el circuito</i>	31
Tabla 12 <i>Nomenclatura de los Tipos de Requerimientos de Software</i>	32
Tabla 13 <i>Requisitos Funcionales Generales de la Aplicación Móvil</i>	32
Tabla 14 <i>Requisitos Funcionales de Ejecución de la Aplicación Móvil</i>	33
Tabla 15 <i>Requisitos no funcionales de la Aplicación Móvil</i>	33
Tabla 16 <i>Requisitos Funcionales Generales de la Aplicación Web</i>	34
Tabla 17 <i>Requisitos Funcionales de Ejecución de la Aplicación WEB</i>	34
Tabla 18 <i>Requisitos no funcionales de la Aplicación WEB</i>	34
Tabla 19 <i>Sensores sensibles a ciertos gases</i>	36
Tabla 20 <i>Condiciones del circuito</i>	37
Tabla 21 <i>Condiciones de operación del sensor TGS2620</i>	40

Tabla 22 Descripción de conexión de pines	48
Tabla 23 Etiquetas de niveles de maduración de la frutilla	60
Tabla 24 Etiquetas de niveles de maduración del Plátano	60
Tabla 25 Respuestas del sondeo de la primera frutilla	62
Tabla 26 Rangos para el sistema de la frutilla	68
Tabla 27 Rangos para el sistema del plátano	68
Tabla 28 Valores promedios de temperatura ambiental	76
Tabla 29 Formato de los datos guardados en la micro SD.....	81
Tabla 30 Promedio de las temperaturas en el rango de muestras 16-45.....	85
Tabla 31 Promedio de las temperaturas de la frutilla	86
Tabla 32 Valores promedios de temperatura ambiental	86
Tabla 33 Información de la frutilla 1 en el día 1	90
Tabla 34 Datos del plátano 1 del día 6	95
Tabla 35 Formato con el que se guarda la tabla “datos”	101
Tabla 36 Formato con el que se guarda la tabla “EnvioResul”	101
Tabla 37 Resultados de la frutilla del día 1	113
Tabla 38 Datos de los sensores sin línea base	114
Tabla 39 La temperatura de la frutilla de las 12 pruebas del día 1.....	115
Tabla 40 Resultado de las 12 pruebas de la frutilla en el día 3.....	116
Tabla 41 Resultados de la frutilla en el día 5.....	117
Tabla 42 Resultados del plátano del día 1	118
Tabla 43 Respuestas de las 12 pruebas del plátano en el día 4.....	118
Tabla 44 Datos sin línea base del plátano día 4	119

Tabla 45 <i>Temperatura ambiente y temperatura del plátano en el día 4</i>	120
Tabla 46 <i>Respuesta de las 12 pruebas del plátano en el día 8</i>	121
Tabla 47 <i>Temperatura ambiente y el plátano en el día 8</i>	122
Tabla 48 <i>Análisis del sistema</i>	122

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Sistema Olfativo vs. Nariz electrónica.	4
<i>Figura 2</i> Distribución de las pérdidas y desperdicio de frutas, hortalizas.....	7
<i>Figura 3</i> Procesado del Diseño del Sistema	10
<i>Figura 4</i> Diagrama de Bloques del dispositivo electrónico.	10
<i>Figura 5</i> Esquema del Sistema de la Nariz Electrónica	11
<i>Figura 6</i> Diagrama esquemático, explicativo del funcionamiento de	19
<i>Figura 8</i> Sensor de la serie 8 configuración estándar.....	20
<i>Figura 9</i> Sensor de la serie 8 con base cerámica.....	20
<i>Figura 10</i> TGS serie 2000 tipo S1	20
<i>Figura 11</i> TGS serie 2000 tipo S2.....	20
<i>Figura 12</i> MRL de la Nariz Electrónica.....	28
<i>Figura 13</i> Diagrama de Bloques del dispositivo	29
<i>Figura 14</i> Diagrama de Bloques del Software	35
<i>Figura 15</i> Detalle de las funciones de cada bloque	35
<i>Figura 16</i> Módulo del sensor de gas TGS822.....	36
<i>Figura 17</i> Gráfico de características de.....	37
<i>Figura 18</i> Circuito básico del Sensor	37
<i>Figura 19</i> Pruebas del sensor TGS822	38
<i>Figura 20</i> Reacción del sensor al aroma de la fruta	38
<i>Figura 21</i> Sensor de gas TGS2620.....	39
<i>Figura 22</i> Gráfico de características del sensor TG822	39

Figura 23 Circuito básico del sensor TGS2620.	40
Figura 24 Pruebas del sensor TGS2620	41
Figura 25 Reacción del sensor al aroma de la fruta con el contenedor cerrado	41
Figura 26 Módulo de sensor MQ-9	42
Figura 27 Características de sensibilidad	42
Figura 28 Circuito básico del sensor Mq9	43
Figura 29 Pruebas del sensor MQ9.	43
Figura 30 Reacción del sensor al aroma de la fruta con tapa en el contenedor	44
Figura 31 Conexión del módulo del sensor.....	44
Figura 32 Conexión sensor de temperatura.....	45
Figura 33 Campo de visión del sensor GY-906	45
Figura 34 Temperaturas de diferentes objetos	46
Figura 35 Temperatura del Ambiente y Fruta.....	46
Figura 36 Diagrama de bloques de la nariz electrónica	47
Figura 37 Esquema del circuito de la nariz electrónica	47
Figura 38 Datos tomados sin un tiempo exacto de muestreo	49
Figura 39 Datos tomados cada 20 segundos	50
Figura 40 Pines del módulo de micro SD	52
Figura 41 Conexión dispositivos Bluetooth con Arduino.....	53
Figura 42 Bosquejo del prototipo FruitNose.....	53
Figura 43 Producto final.....	54
Figura 44 Datos tomados del plátano sin tapa.....	55
Figura 45 Datos tomados de la frutilla sin tapa.....	55

Figura 46 Datos de la frutilla del día 5.....	56
Figura 47 Datos del plátano del día 5.....	56
Figura 48 Gráficos de los sensores del plátano de 18 días.....	57
Figura 49 Gráficos de los sensores de la frutilla de 6 días.....	58
Figura 50 Diezmado de los datos de los tres plátano.....	59
Figura 51 Diezmado en las señales de las tres frutillas.....	59
Figura 52 Matriz de etiquetas “Yfru”.....	63
Figura 53 Matriz de puntos altos “FruM”	64
Figura 54 Matriz de etiquetas “Ypla”.	64
Figura 55 Matriz de puntos altos “PlaM”	65
Figura 56 Fórmula de regresión en “Matlab”.....	66
Figura 57 Ypredicha los valores con los que se puede cotejar.....	66
Figura 58 Resultados del modelo de la frutilla	67
Figura 59 Resultados del modelo del plátano	67
Figura 60 Diagrama de flujo del programa Arduino.....	70
Figura 61 Diagrama de flujo del dispositivo móvil	71
Figura 62 Bosquejo de la aplicación Login.....	72
Figura 63 Bosquejo de App de la nariz electrónica	72
Figura 64 Bosquejo del menú de la aplicación8	73
Figura 65 Diseño de la página web	73
Figura 66 Diseño de opciones de análisis	74
Figura 67 Tablas de la base de datos.....	75
Figura 68 Entidad-Relación de la base de datos	75

Figura 69 Escenario de prueba del sensor de temperatura	77
Figura 70 Escenario de Prueba para los sensores.....	78
Figura 71 Escenario de una prueba 2	79
Figura 72 Escenario de Prueba de envío de base de datos	80
Figura 73 Escenario en la prueba para guardar	81
Figura 74 Escenario de prueba del prototipo y modelo	82
Figura 75 Escenario de prueba del prototipo y modelo	83
Figura 76 Temperatura de la frutilla y su ambiente	85
Figura 77 Temperatura ambiente y de la frutilla que se conservó	86
Figura 78 Datos de la temperatura referencial- temperatura del sensor GY-906.....	87
Figura 79 Temperatura de la Frutilla en 6 días.	87
Figura 80 Temperatura del plátano 1 en transcurso de los 18 días	88
Figura 81 Datos de las tres frutillas de los 6 días.....	88
Figura 82 Datos de la frutilla del sensor de gas TGS822.....	89
Figura 83 Datos de la frutilla del sensor gas TGS2620.....	89
Figura 84 Datos de la frutilla del sensor gas MQ 9.....	90
Figura 85 Datos con línea base de la frutilla 1 del día 1	91
Figura 86 Datos sin línea base de la frutilla 1 del día 1.	91
Figura 87 Patrón de los seis días de la frutilla 1.....	92
Figura 88 Datos del plátano 1 de los 18 días	93
Figura 89 Datos del plátano 1 del sensor TGS822.....	93
Figura 90 Datos del plátano 1 del sensor TGS2620.....	94
Figura 91 Datos del plátano 1 del sensor MQ9.....	94

Figura 92 Datos con línea base de los tres sensores.....	95
Figura 93 Datos sin línea base de los tres sensores.....	96
Figura 94 Patrón del plátano 1 del día 1 al día 6.....	96
Figura 95 Patrón del plátano 2 del día 7 al día 12.....	97
Figura 96 Patrón del plátano1 del día 13 al día 18.....	97
Figura 97 Patrón del plátano de algunos días.....	98
Figura 98 Datos de la muestra 1 y 2 en la aplicación móvil	99
Figura 99 Datos de las muestras 3 y 5 en App.....	100
Figura 100 Datos en el monitor serial del Arduino.....	100
Figura 101 Datos guardados en la base de datos.....	101
Figura 102 Tiempo de demora entre dato	102
Figura 103 Comunicación cliente servidor	102
Figura 104 Características de los GET y POST.....	103
Figura 105 Características de GET y POST	103
Figura 106 Detalles del paquete.....	104
Figura 107 Detalles del protocolo http.....	104
Figura 108 Paquetes capturados.....	105
Figura 109 Paquetes enviados de app al servidor de la base de datos	105
Figura 110 Paquete que envía la	106
Figura 111 Tamaño de la micro SD	106
Figura 112 Archivo NE1.txt generado por el prototipo	107
Figura 113 Detalles del archivo NE1.txt en la micro.....	107
Figura 114 Descripción de los datos en el archivo NE1.txt.....	107

Figura 115 Datos guardados en la base de datos.....	108
Figura 116 Monitoreo a la frutilla.....	108
Figura 117 El rango de valores de cada grado	109
Figura 118 Resultados del plátano	109
Figura 119 Monitoreo del plátano.....	110
Figura 120 Grado del plátano.....	110
Figura 121 Página web FruitNose	111
Figura 122 Página del monitoreo de la fruta	111
Figura 123 Página “Historial”	112
Figura 124 Página “Consulta”	112
Figura 125 Frutilla en un “Grado 1”	113
Figura 126 Datos de la prueba 1 de la frutilla.....	114
Figura 127 Patrón de las 12 pruebas de la frutilla.....	115
Figura 128 Frutilla en el día 3	115
Figura 129 Frutilla en el día 5	116
Figura 130 Plátano en el día 4.....	117
Figura 131 Plátano en el día 4.....	119
Figura 132 Patrón de las doce pruebas del plátano del día 4	120
Figura 133 Plátano en el día 8.....	121
Figura 134 Diferencia de línea base	123
Figura 135 Monitoreo del plátano en el día 5	123

RESUMEN

Productos agrícolas como frutas y verduras son más propensos de ser desechados antes de su consumo ya que tienen un proceso de deterioro de pos cosecha por temperatura, hongos y bacterias; además durante el proceso de almacenamiento y traslado se estropean las frutas originando daños físicos al producto. El presente trabajo de investigación describe el diseño e implementación de una nariz electrónica “FruitNose” que permite identificar el nivel de madurez de frutas como el plátano y la frutilla, con ayuda de sensores semiconductores de óxido metálico para detectar Etileno, Etanol, Esteres, etc. El prototipo electrónico está conformado por los sensores, el sistema de comunicación y almacenamiento, además se implementó una aplicación móvil y un sitio web para visualizar el monitoreo de la fruta en tiempo real y su resultado. Para la obtención de la “Huella digital olfativa”, se tomó pruebas durante la vida útil de la fruta y con una herramienta cualitativa se etiqueta los niveles de madurez. Con los datos, etiquetas obtenidas, y usando una herramienta Multivariante de Regresión Lineal se consiguió los valores del modelo de predicción del sistema, los cuales son ingresados en la unidad de procesamiento del dispositivo que analiza la fruta. Así se define 3 niveles de madurez para la frutilla y 13 para el plátano logrando un porcentaje de identificación de 84% y 70% respectivamente luego de las pruebas realizadas con el sistema completo.

PALABRAS CLAVES:

- **HUELLA DIGITAL OLFATIVA**
- **NARIZ ELECTRÓNICA**
- **SENSORES**
- **SISTEMA DE COMUNICACIÓN**

ABSTRACT

Agricultural products such as fruits and vegetables are discarded before consumption, because they have a process of post-harvest deterioration by temperature, fungi and bacteria; in addition, during the storage and transfer process, the fruits suffer physical damage. This research describes the design and implementation of an electronic nose "FruitNose" that allows to identify the level of maturity of fruits such as banana and strawberry, with the help of metallic oxide semiconductor sensors to detect ethylene, ethanol, ester, etc. The electronic prototype consists of the sensors, the communication system and the storage system, also a mobile application and a website were implemented to visualize the monitoring of the fruit in real time and its result. To obtain the "olfactory fingerprint", some tests were taken during the useful lifetime of the fruit and with a qualitative tool the levels of maturity were labeled. With the data, labels, and using a Multivariate Linear Regression tool, the values for the prediction model of the system were obtained, which are entered into the processing unit of the device that analyzes the fruit. Thus 3 levels of maturity for the strawberry and 13 for the banana were defined, achieving an identification percentage of 84% and 70% respectively after the tests were performed with the complete system.

KEYWORDS:

- **OLFATORY FINGERPRINT**
- **ELECTRONIC NOSE**
- **SENSORS**
- **COMMUNICATION SYSTEM**

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Con el desarrollo de la tecnología; también se han desarrollado dispositivos que pretenden tener las mismas características y funciones que los sentidos humanos, tales como dispositivos de audio y video que van supliendo a oídos y ojos respectivamente. El equivalente al sentido del tacto es el que más se ha desarrollado en la tecnología, ya que es la base en muchas aplicaciones para computadores como: *joy-sticks* y pantallas táctiles en dispositivos móviles (Correa E. C., 2005).

El desarrollo tecnológico para simular el sentido del olfato no es la excepción; con el avance de las llamadas narices electrónicas, que son dispositivos inspirados en el sistema olfativo de los mamíferos y diseñados para realizar las mismas funciones que dicho sistema (Martin, 2005). Su aplicación principal es la identificación de aromas, gases, sustancias químicas peligrosas, explosivos, etc.

La nariz electrónica se podría decir que nace con la idea de un instrumento mecánico - electrónico para detectar olores; los registros históricos relacionados con el tema datan de 1961 con una nariz mecánica realizada por Moncrieff, las primeras narices electrónicas fueron realizadas por Wilkens y Hatman en 1964 basada en la relaciones de olores en un electrodo, en 1965 usan modulación de potencial de contacto mediante olores, (Biedma, 2004).

Según Moreno (2009), en los años 60 la compañía Bacharac Inc., creo un dispositivo llamado *sniffer* que constaba de tan solo un sensor de gas, como prototipo que no se lo considero como nariz electrónica.

El concepto de nariz electrónica como un sistema de matriz de sensores químicos inteligentes para la clasificación de olores, surgió por los años ochenta con dos grupos de investigadores; el primero en 1982 con la publicación de los investigadores Krishna Persaud y George Dodd, en la Universidad de Warwick en Gran Bretaña, quienes orientaron sus estudios en entender los procesos del olfato biológico, utilizando un conjunto de sensores semiconductores de óxido metálicos, y luego ampliaron su investigación a sensores basados en polímeros conductores; el segundo grupo de Argonne National Laboratory (ANY) en Estados Unidos propuso un aparato para detectar, medir e identificar una amplia variedad de productos químicos, mezclas transportadas por ferrocarriles, barcos y camiones, (Moreno, 2009).

Según Stetter (2001), durante los 80's en Japón se comenzó a investigar la frescura de los pescados utilizando matrices de sensores MOX (sensores semiconductores de óxido metálico). Por lo tanto, en los tres continentes se inició el desarrollo de la tecnología de matrices de sensores olfativos en los años 80.

A partir de esa década el concepto de nariz electrónica se ha ahondado cada vez más, ya que según Correa (2005), desde 1986 se han solicitado más 250 patentes para proteger las innovaciones en sensores y sistemas específicos. También la Unión Europea ha realizado grandes esfuerzos en Innovación y Desarrollo (I+D) con la financiación de proyectos, (Galdikas, 2001).

Además, en 1989 con el Congreso Avanzado de OTAN sobre procesamiento de la información químico-sensorial se topó el tema del desarrollo y diseño de un olfato artificial.

Según Biedma (2004), la primera conferencia dedicada al tema de la nariz electrónica fue en 1990, pero el término en sí no fue formalmente definido hasta en 1994 y ahora es común en el lenguaje científico, o sus sinónimos tales como nariz artificial, nariz mecánica o sistema de olfato electrónico.

Por lo tanto una nariz electrónica es un instrumento que comprende una matriz de sensores químicos electrónicos capaces de poseer una sensibilidad parcialmente solapada y un sistema que permita reconocer los patrones de olores simples y complejos, (Gardner & Barlett, 2000).

Todos estos avances han dado a lugar a la fabricación comercial de narices electrónicas. La mayoría de las narices electrónicas diseñadas son para seguridad en detección de gases, explosivos y otras son usadas en equipos hospitalarios.

En la industria comercial, el propósito específico es la clasificación de aromas y detección de olores; de ahí su importancia y que se haya extendido a aplicaciones en la agroindustria, medio ambiente, la seguridad, y la medicina.

En la industria agroalimentaria es muy importante la detección de olores, según Correa (2005), para reconocer e identificar la “medida del olor” por ejemplo en los procesos agroalimentarios tradicionalmente es llevada a cabo por expertos específicamente entrenados, empleándose circunstancialmente paneles de catadores como instrumento para la descripción del aroma y la cuantificación de los diversos descriptores, lo cual lleva tiempo y gran cantidad de personas. Además, identifica varios factores relacionados con la calidad o caducidad de los productos donde hay algunas aplicaciones para una nariz electrónica:

- Valoración de la calidad de productos procesados.
- La supervisión de operaciones básicas en industria agroalimentaria: cocinado, fermentación, mezclado, macerado, tostado, etc.
- Control de producto almacenado.
- Evaluación del envejecimiento y maduración de vinos, quesos, productos cárnicos, frutas, etc.
- Monitorización de la interacción producto-envase.

De allí la importancia de conocer el funcionamiento del olfato, el cual engloba varias partes del cuerpo humano como la nariz y las fosas nasales, que captan el olor, las neuronas que realizan el proceso de identificación de un aroma. Los seres humanos tienen una sensibilidad limitada comparada con otros seres vivos, que son capaces de percibir, identificar y clasificar olores más complejos. En la figura 1, se puede observar el funcionamiento, y semejanzas entre el sistema olfativo y una nariz electrónica.

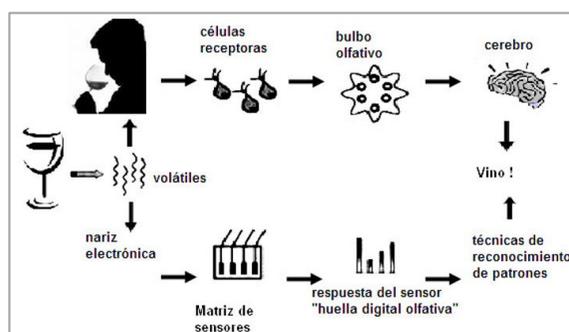


Figura 1. Sistema Olfativo vs. Nariz electrónica.
Fuente: (Moreno, 2009)

Según Moreno (2009), la reacción de una nariz electrónica ante las moléculas de olor, es el desarrollo de un sistema de sensores químicos, los cuales transforman esta entrada química en una señal eléctrica produciendo para cada aroma un único patrón de respuesta, destinando como “Huella digital olfativa” la cual contiene la complejidad del aroma.

Estos sistemas implican varios tipos de sensores electrónicos de gases químicos, entre las que se tienen

- Semiconductores de óxido metálico.
- Transistores de efecto de campo semiconductor de óxido metálico.
- Conductores orgánicos Polímeros.
- Micro balanzas de cristal de cuarzo (QCM).

A la respuesta de estos sensores se aplica las técnicas de reconocimiento de señales para discriminar, clasificar, cuantificar y/o predecir el tipo de olor que se está analizando. Esto significa que una nariz electrónica está constituida por varias partes: el sistema de muestreo, la matriz de sensores (sistema de detección más utilizado), el sistema electrónico que extrae los parámetros fundamentales de la señal proveniente del sensor, y el ordenador donde se llevará a cabo la identificación del olor.

1.2 Justificación e Importancia

En el sector alimenticio es de vital importancia el control de calidad y estado de los productos tanto de carnes, frutas, vegetales, etc., que se ofrecen a los consumidores. Ya que un producto en mal estado puede producir intoxicación alimentaria o enfermedades relacionadas con los alimentos.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), (2015). Se estima que cada año las enfermedades diarreicas de transmisión alimentaria o hídrica se cobran la vida de 2,2 millones de personas, en su mayoría niños, y más de 200 enfermedades se propagan a través de los alimentos. Un informe separado de la OMS concluyó que cerca del 40% de los brotes reportados de intoxicación por alimentos en la región europea ocurren en hogares privados (Tirado , 2003).

En Ecuador, según un reportaje de El Comercio (El Comercio, 2015), en el 2013 se registraron 163 muertes por enfermedades infecciosas intestinales. De estas, 141 fueron por diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso.

Las enfermedades alimenticias en su mayoría de los casos son consecuencia de un tratamiento incorrecto de los alimentos durante su obtención, transformación, almacenamiento y preparación. Este proceso no solo es la causa de las enfermedades alimenticias, también son la causa del desperdicio de los alimentos, y con ello a la pérdida de dinero a los productores agrícolas.

El producto agrícola en especial las frutas y verduras son más propensos de ser desechados antes de su consumo ya que tienen un proceso de deterioro de pos cosecha producido por hongos y bacterias, también en el proceso de almacenamiento se estropea los alimentos originando daños físicos al producto. Estos factores son los principales causantes del desperdicio de alimentos; según Mazariegos (2016) en el mundo se desecha 1300 millones de toneladas de comida y el 50% pertenece a frutas y hortalizas que ni siquiera llegan a la vista del público por no cumplir con los estándares estéticos de supermercados y centros de consumo. Muchos de estos productos no llegan al consumidor pues son desechados por el mismo productor.

Entre los desperdicios de fruta es común ver al plátano y a la frutilla ya que son productos de mayor consumo, a pesar de que estos dos productos tienen diferentes maneras de ser cosechados; ya que el plátano se cosecha antes de su madurez y tiene mayor tiempo de conservación, por el contrario, la frutilla es una fruta que después de su cosecha tiene menor tiempo de consumo. Los dos productos son propensos a ser desechados si no tienen los estándares estéticos y de calidad a pesar que conserven sus nutrientes.

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) el 40% de la producción de alimentos a nivel mundial se desperdicia.

En el mundo entero se estima que la cantidad de despilfarro alimenticio suma los 1300 millones de toneladas. Tan sólo en América Latina 47 millones de personas sufren hambre mientras se desperdician 80 millones de toneladas de comida, (2016).

En la cadena de distribución al consumidor existen cinco segmentos en donde se puede visualizar que porcentaje de desperdicio de frutas y hortalizas, según (Young y Herrera, 2014) el desperdicio de alimentos por segmento: 28% en consumo, 28% en producción, 22% en manejo y almacenamiento, 17% en mercado y distribución, 6% durante el procesamiento.

En la figura 2 se puede observar el desperdicio de cada segmento en la cadena de distribución por regiones del mundo.

El desperdicio alimentario se da por no tener estándares de calidad que exigen los consumidores, los factores de calidad con las que se controla a frutas y hortalizas se basan en las características organolépticas, fisicoquímicas, microbiológica, nutritiva y comercial, según la página web de Tecnicoagricola (2011).

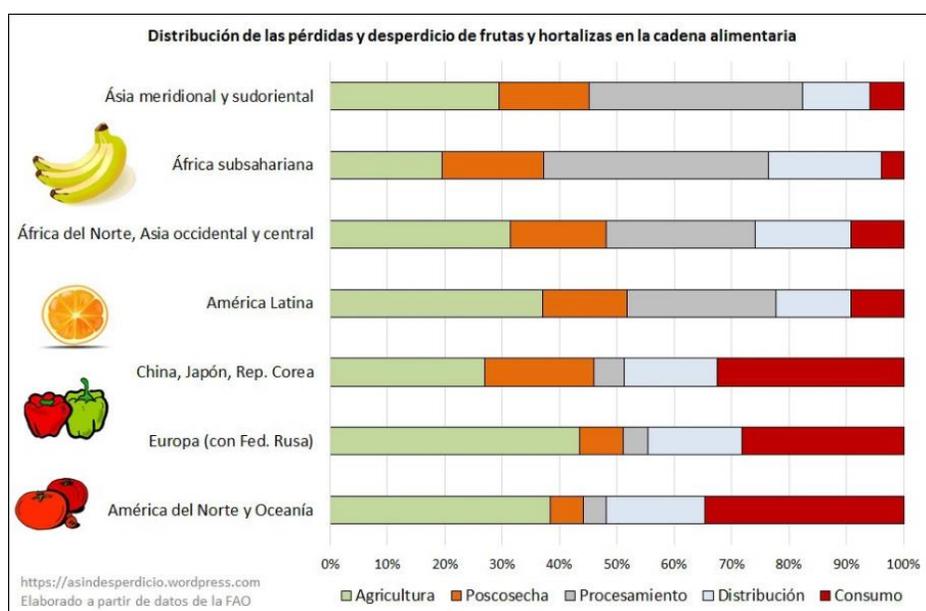


Figura 2. Distribución de las pérdidas y desperdicio de frutas, hortalizas
Fuente: (Iñigo, 2015)

- Organoléptica.- se refiere al tamaño, color, forma del producto, según la página web de Tecnicoagricola (2011).
- Fisicoquímicas.- Es el índice de madurez y la producción etileno que tiene la fruta (Marquez & Trillos, 2009).
- Microbiológica.- Controla la presencia de hongos, bacteria y virus en el producto tanto interna como externamente, (Tecnicoagricola, 2011).

- Nutritiva.- es el equilibrio de azúcares y ácidos, la cantidad de vitamina C, la ausencia de semillas, cantidad de proteínas, (Tecnicoagricola, 2011).
- Comercial.- está basada en la producción, confección, conservación, transporte y distribución; o sea, todas aquellas operaciones realizadas con los frutos durante los procesos mencionados, (Tecnicoagricola, 2011).

Con el propósito de controlar el desperdicio de alimentos, la calidad de las frutas y pérdidas de la misma es necesario desarrollar un sistema de nariz electrónica, considerados hoy en día como una técnica de análisis de gran aplicabilidad y una práctica no destructiva diseñada para determinar, reconocer e identificar niveles muy bajos de sustancias químicas volátiles.

Para conseguir el sistema de nariz electrónica y crear una huella única digital del alimento es necesario tener un arreglo de sensores electroquímicos, que permita el control de calidad, la caracterización, clasificación y diferenciación del estado de madurez de los alimentos, de esa manera se puede evaluar el tiempo de vida útil como herramienta de control para identificar problemas que amenazan la comercialización, como la falsificación y la adulteración de los productos en fecha de expiración.

1.3 Descripción General del Proyecto

Este proyecto de investigación pretende el desarrollo e implementación de una Nariz Electrónica usando sensores semiconductores de óxido metálico para identificar y analizar el estado de madurez de frutas, en particular el plátano y la frutilla muy comunes en el mercado ecuatoriano.

Para el desarrollo de la investigación se utiliza el método de investigación mixto el mismo que permite la mezcla de técnicas de investigación cuantitativa y cualitativa en diferentes etapas con el fin de obtener un mejor entendimiento de fenómeno de estudio.

Inicialmente se recolectan datos cuantitativos y cualitativos en un mismo momento (concurrente), la recolección y el análisis pretenden ser guiados por una teoría, en este caso la detección e identificación de olores por sensores electrónicos.

Durante la etapa cualitativa se desarrolla el estado del arte y marco teórico de los sensores, así como las técnicas de identificación, para ello se hizo uso de la base de datos bibliográficos para identificar como analiza cualitativamente aromas difíciles de percibir. Y categorizar para el reconociendo de las huellas digitales olfativas, se realiza un diseño experimental, el prototipo electrónico planteado pretende imitar a un sistema básico del olfato del ser humano, con la capacidad de identificar y detectar los compuestos volátiles que emite una fruta (plátanos y frutillas) en estado de maduración o descomposición, el sistema pretende reconocer y detectar en qué estado de madurez se encuentra la fruta. Por lo tanto, el dispositivo cuenta con sensores que analizan las siguientes variables:

- Temperatura.- Es un parámetro importante en la conservación de las frutas en la cadena de frío, ya que por cada 10 °C que aumenta la temperatura del fruto, se reduce a la mitad su vida útil, según el manual técnico de frutas y verduras de ABC de frutas y verduras (2005).
- Gases.- La fruta cuando entra a un estado de maduración emite los compuestos volátiles, como etileno, metano y amoníaco, según el sitio web de Horticultivos (2016).

Para el diseño e implementación del prototipo se pretende utilizar además la metodología general de diseño electrónico, el cual se basa en identificar el requerimiento, definirlo, crear el modelo y esquemas, construir el prototipo, realizar las pruebas y finalizar con la documentación, como se observa en la figura 3.

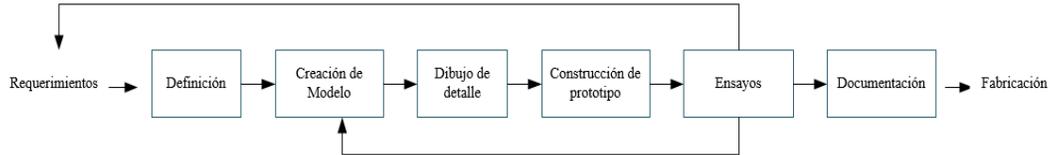


Figura 3. Procesado del Diseño del Sistema

La estructura del diagrama de bloques del dispositivo se puede observar en la figura 4, donde se identifican los distintos bloques de monitoreo, comunicación, procesamiento y potencia.

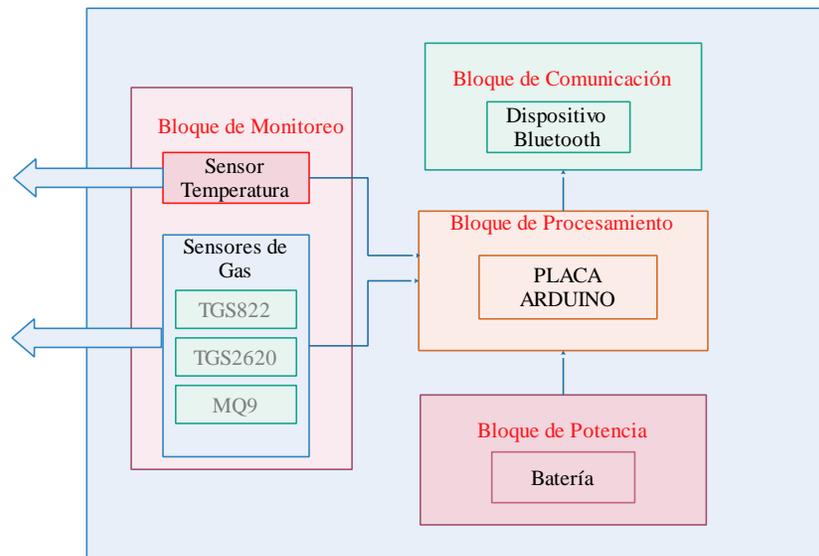


Figura 4. Diagrama de Bloques del dispositivo electrónico.

- Bloque de monitoreo. - Está conformado por tres sensores de gas, un sensor de temperatura; permitirá medir los compuestos volátiles para hallar la única huella digital de la fruta,
- Bloque de procesamiento. - Realizará de la extracción de “rasgo” características de los compuestos volátiles.
- Bloque de comunicación. - Mediante un dispositivo de transmisión Bluetooth los datos recopilados se enviarán entre en prototipo al dispositivo móvil.
- Bloque de potencia. - Estará compuesto de una pequeña batería que alimentará a todo el circuito del prototipo.

El dispositivo electrónico debe considerar el peso y tamaño ya que se pretende que sea lo más portable posible, los sensores de gas y de temperatura se integran al contenedor donde se pondrá la fruta para su análisis, el bloque de procesamiento debe ser pequeño e incorporado en una placa, a la cual estarán conectados los sensores que medirán las variables mencionadas, conjuntamente debe utilizar para su comunicación un dispositivo de transmisión y recepción bajo el protocolo IEEE 802.15.1 (Bluetooth) de bajo consumo hacia un dispositivo móvil.

Desde el punto de vista del software, el desarrollo del algoritmo de clasificación e identificación de olores en base a las huellas electrónicas. Los datos recogidos por el dispositivo, se deben enviar al teléfono inteligente a través de la interfaz de transmisión Bluetooth en tiempo real y recibe una Aplicación móvil (App).

La App tendrá la capacidad de emitir notificaciones del estado de maduración de la fruta analizada, y enviar posteriormente a un servidor web que permita visualizar al usuario un historial de las variables medidas, de esta manera se creará una base de datos.

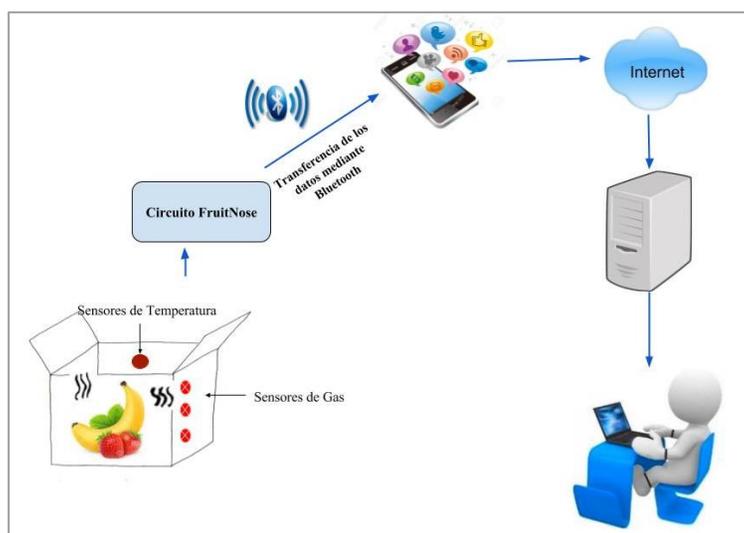


Figura 5. Esquema del Sistema de la Nariz Electrónica

1.4 Objetivos

1.4.1 General

- Desarrollar e implementar una nariz electrónica que identifique el estado de madurez de frutas como plátanos y frutillas.

1.4.2 Específicos

- Desarrollar el estado del arte sobre los sensores electroquímicos, y algoritmos de identificación que conforman el funcionamiento de una nariz electrónica.
- Caracterizar el funcionamiento de los sensores electroquímicos.
- Diseñar e implementar el prototipo de nariz electrónica usando un array de sensores.
- Identificar la “huella digital electrónica” como respuesta de un aroma característica de las frutas propuestas.
- Desarrollar el sistema de recopilación inalámbrica de datos con la aplicación móvil, el envío a la base de datos y visualización en servidor.
- Establecer un protocolo de pruebas para validar el funcionamiento del dispositivo e identificación de olores.
- Analizar los resultados.

1.5 Contenido de capítulos

En el capítulo II, se detalla la investigación del desarrollo tecnológico de las narices electrónicas, los principios de funcionamiento de los sensores de gas, los métodos más utilizados en el procesamiento de señales y algoritmos para un olfato artificial. En el capítulo III, se describe sobre el diseño e implementación del prototipo tanto en software y hardware. Los métodos que se utilizará para la identificación del estado de madurez de la fruta.

En el capítulo IV se realizan las pruebas del funcionamiento del prototipo, algoritmos de identificación, pruebas de comunicación entre el dispositivo y la aplicación celular, y el envío de datos hacia el servidor web. En el último capítulo V, se plantea las conclusiones, recomendaciones sobre el desarrollo de la nariz electrónica.

CAPITULO II

ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se revisan los conceptos generales de una nariz electrónica y lo que engloba el funcionamiento de los sensores químicos, el procesamiento de señales, algoritmos y modelos de identificación de olores.

2.1 Narices Electrónicas

Las narices electrónicas tiene el propósito de asemejarse al sistema olfativo humano, según (Moreno, 2009) en un principio estaba diseñado para reemplazar a los paneles de personas expertas en la clasificación de aromas, debido a que estos se consideran costosos, difíciles de transportar, y algunas veces subjetivos, debido a que sus valoraciones se pueden ver afectadas por el cansancio, estado anímico, el clima y otro factores externos.

Existen diferentes terminologías de una nariz electrónica tales como nariz artificial, nariz mecánica o sistema de olfato electrónico. De las definiciones que se han desarrollado de una nariz electrónica, la más destacada, según Moreno & Serracín (2016) es la de Gardner y Barlett: “Una nariz electrónica es un instrumento que comprende una agrupación de sensores químicos con sensibilidades parcialmente solapadas junto a un sistema de reconocimiento de patrones capaz de analizar y reconocer aromas simples o complejos”

Existen otras definiciones como la que presenta la Universidad de Málaga (s.f.), una “nariz electrónica” es un instrumento que puede oler, es decir, es capaz de realizar análisis cualitativos y cuantitativos de una mezcla de gases, vapores y olores.

Así, las narices electrónicas se han desarrollado para la detección de olores y su clasificación, un sistema de olfato artificial es aplicable en varios sectores donde facilitaría el trabajo de la humanidad, en la actualidad ya existen diferentes trabajos de investigación en áreas como: agroindustria, salud, medio ambiente, en la industria alimentaria y farmacéutica.

En la industria alimentaria una nariz electrónica es de gran utilidad ya que puede aplicarse al:

- Control de calidad de productos alimenticios.
- Predicción de la acidez, solubilidad del sólido y firmeza de la fruta. (Zhang, Wang, Sheng, & Chang, 2008).
- Discriminación del grado de madurez de la fruta, (Moreno, 2009).
- Evaluación del envejecimiento y maduración de vinos, queso, productos cárnicos, etc. (Correa E. C., 2005).

La idea de un instrumento para la detección de olores se ha ido desarrollando con el tiempo y los primeros trabajos que se registraron, según Moreno (2009), fue la compañía Bacharac Inc., que creo un dispositivo llamado *sniffer* que constaba de tan solo un sensor de gas, como prototipo que no se lo considero como nariz electrónica. En los registros históricos de narices electrónicas se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1
Cronología de una nariz electrónica

Años	Descripción
Sesenta	<ul style="list-style-type: none"> •1961.- Una nariz mecánica realizada por Moncrieff. •1964.- Nariz electrónica basada en la relación de olores en un electrodo realizada por Wilkens y Hatman. •1965.- Nariz electrónica usando modulación de potencial de contacto mediante olores.
Ochenta	<ul style="list-style-type: none"> 1982.- La primera publicación de los investigadores Krishna Persaud y George Dodd, sobre los procesos del olfato biológico con un conjunto de sensores MOX. •Argonne National Laboratory en EE.UU. propuso un aparato para detectar, medir e identificar una amplia variedad de productos químicos. •En Japón se comenzó a investigar la frescura de pescados utilizando matrices de sensores MOX.
Noventa	<ul style="list-style-type: none"> •1990.- Primera conferencia dedicada a las narices electrónicas. •1994.- El término Nariz Electrónica fue formalmente definido y ahora es común en el lenguaje científico.
Dos mil	<ul style="list-style-type: none"> •2000.- Estudios de Monitorización de agua potable •2006.- Nariz electrónica capaz de oler los gases de un volcán •2008.- Clasificación de diferentes clases de vinos utilizando una nariz electrónica. •2008.-Aplicación de una nariz electrónica portátil para determinar la frescura de sardinas de Marruecos.
Siglo XXI	<ul style="list-style-type: none"> •2014.-Científicos mexicanos crean nariz electrónica para medir niveles de glucosa en sangre. •2015.- Nariz electrónica llamado Peres que detecta la frescura de los alimentos tales como la carne, el pescado, el puerco, aves y determina si es saludable para comerse o no.

2.2 Sensores Químicos

En la construcción de una Nariz Electrónica (NE) el principal componente son los sensores, que muestran interacciones entre el material sensible y el compuesto químico en una señal eléctrica, según Correa y Barreiro (2005). Existen dos tipos de recubrimientos sensibles que son orgánico e inorgánicos que se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2*Tipos de recubrimiento*

Inorgánicos	Están hechos de componentes químicos como de óxidos de metal (SnO ₂ , TiO ₂ , etc.). La ventaja de utilizar materiales inorgánicos es su estabilidad y pureza, aunque resultan también mucho más difíciles de modificar y por tanto de obtener recubrimientos con variedad de propiedades en cuanto a selectividad y sensibilidad.
Orgánicos	La gran ventaja es que pueden ser estructuralmente modificados usando distintos métodos de síntesis con lo que sus propiedades de sensibilidad pueden afinarse. Esto exige comprender a nivel molecular los mecanismos de interacción entre el material sensible y el compuesto a detectar para introducir modificaciones racionales. El inconveniente fundamental es que en ocasiones la falta de estabilidad de los compuestos orgánicos crea problemas en la respuesta de los sensores.

2.2.1 Clasificación de Sensores.

En el mercado existen diferentes sensores químicos, los que se pueden clasificar de acuerdo al principio de operación como: conductividades, por voltajes, capacidades, por variación de calor de absorción, masas o constantes ópticas las cuales cambian al variar la concentración de las especies químicas que interaccionan con el recubrimiento sensible del sensor, (Correa, Barreiro, Ruiz-altisent, & Chamorro, 2005). En la Tabla 3 se detalla los sensores más utilizados en investigaciones para el desarrollo de las narices electrónicas.

Tabla 3*Clasificación de sensores*

TIPO	DETALLE
Semiconductores de óxido metálico (MOS).	Los sensores semiconductores de óxidos de metal (MOS, Metal Oxide Semiconductor) se basan en el empleo de un material semiconductor normalmente óxido de estaño (SnO ₂), que está localizado entre dos electrodos y es mantenido a una temperatura elevada típicamente de 350°C.

CONTINÚA 

Transistores de campo eléctrico con semiconductores de óxido metálico (MOSFET).	El FET (Field Effect Transistor) es un transistor (dispositivo electrónico semiconductor que se utiliza como amplificador o conmutador electrónico) accionado por un efecto de campo, es decir, en ellos la conmutación que produce un fenómeno de cambio brusco del potencial eléctrico tiene lugar cuando el volátil actúa sobre el transistor.
Sensores ópticos de gases.	Son sensores que se basan en la detección óptica de la interacción química. Esta categoría de sensores comprende un amplio rango de tecnologías de forma que hay muchas aplicaciones de mecanismos ópticos de pequeña escala dentro del área de los sensores de gases.
Conductores de polímero orgánico (CP).	Los sensores polímeros conductores (CP, Conducting Polymers) se obtienen por electropolimerización de una delgada capa de polímero (asociado a diferentes grupos funcionales como polipirroles, ácidos butano y decano sulfónicos, etc.) al hacer pasar a su través una corriente de un electrodo a otro.
Microbalanzas de cristal de cuarzo (QCM).	Los sensores QCM (Quartz Cristal Microbalance) se basan en la altamente exacta frecuencia de oscilación que caracteriza a los osciladores de cristal de cuarzo.
Sensores de gases de capacitancia	Estos sensores se basan en el cambio en la constante dieléctrica (ϵ) del polímero que actúa como recubrimiento sensible cuando un analito se absorbe sobre él.
Sensores de gases Amperométricos	Son sensores electroquímicos que de forma más precisa reciben el nombre de "sensores de gases amperométricos de electrodo poroso". Este tipo de sensores responden a gases que puedan ser reducidos u oxidados electrolíticamente sobre un catalizador metálico como Pt y Au.
Sensores de gases colorimétricos	Estos sensores también llamados termopilas son capaces de transformar calor en voltaje. El principio de construcción consiste en usar dos metales diferentes de cuya unión resulta un voltaje, de forma que un gran número de láminas de los dos metales se ponen en contacto dando lugar a numerosas uniones.

Para la investigación propuesta principalmente se usan sensores de tipo MOS Semiconductores de óxido metálico como las de la empresa Figaro TGS 822, TGS2620 y el sensor de la empresa HANWEI ELECTRONICS CO, LTD el MQ-9.

2.2.1.2 Sensores MOS de óxido de estaño

Las investigaciones para el desarrollo de una nariz electrónica, coinciden que los sensores de óxido de estaño son los más utilizados, ya que son fáciles de utilizar y menos costosos.

Los sensores de óxido de estaño están en el grupo de recubrimientos sensibles inorgánicos, la ventaja de utilizar materiales inorgánicos es la estabilidad, pureza y su alta sensibilidad ante la presencia de diversos volátiles orgánicos.

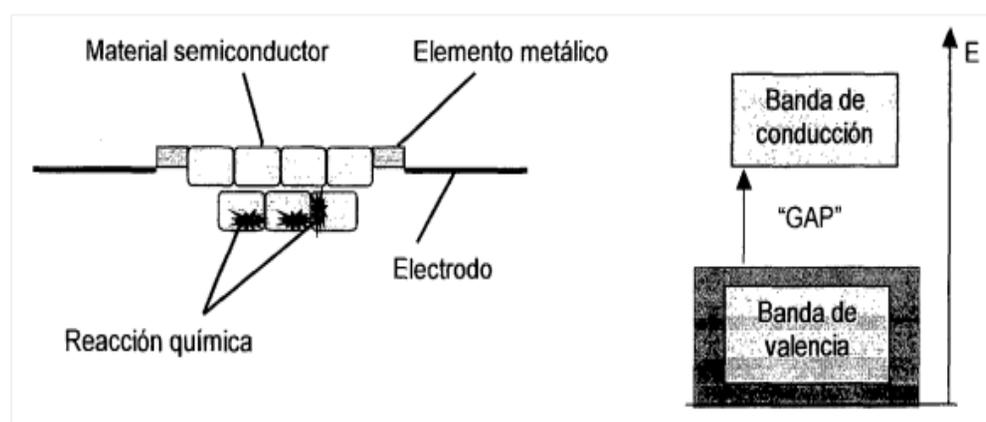


Figura 6. Diagrama esquemático, explicativo del funcionamiento de un sensor de gas MOS.

Fuente: (Correa Hernando, 2003)

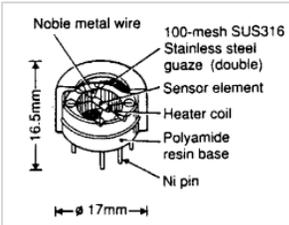
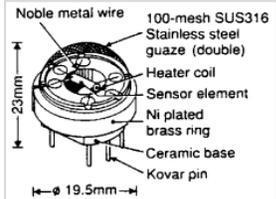
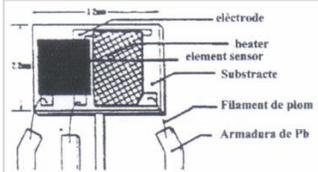
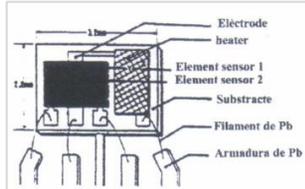
El óxido de estaño contiene vacantes de oxígeno en su estructura cristalina. Cuando este material es calentado a elevadas temperatura (alrededor de unos 400°C), los electrones libres fluyen fácilmente a través de la banda de conducción de las partículas de óxido de estaño, (Biedma, 2004).

Los sensores de óxido de estaño están presentes en varias aplicaciones sobre nariz electrónica por ser de bajo costo, por su sensibilidad y durabilidad. Se comercializan bajo el nombre comercial de Fígaro o Taguichi (Rodríguez, 2001).

2.2.1.2.1 Sensores Fígaro

La empresa Fígaro, actualmente tienen disponible en el mercado cuatro tipos de sensores elementales de los cuales se han usado modelos de las series 8 y 2000, por lo que a continuación se muestra su configuración en la Tabla 4.

Tabla 4
Sensores Fígaro

Sensores	Características	Estructura interna del sensor
Serie 8	<p>Tiene un “heater” dentro de un tubo cerámico de alúmina, estando la pasta semiconductor depositada sobre la superficie cilíndrica con dos electrodos grabados en oro. Gracias a su complicada geometría, estos sensores gozan de alta sensibilidad y de buena estabilidad a largo plazo.</p>	
		<p>Figura 7. Sensor de la serie 8 configuración estándar.</p>
		
		<p>Figura 8. Sensor de la serie 8 con base cerámica.</p>
Serie 2000	<p>Estos sensores tienen una capa gruesa de óxido de metal semiconductor como elemento sensor. Tanto el “heater” como el elemento sensor están situados sobre un mismo sustrato plano. Estos sensores “thick film” son fabricados con tecnología “screen printing” perfeccionada por la propia compañía. Además, el material sensor ya no se reduce a dióxido de estaño, incluyendo otros óxidos metálicos.</p>	
		<p>Figura 9. TGS serie 2000 tipo S1</p>
		
		<p>Figura 10. TGS serie 2000 tipo S2</p>

Existen varias aplicaciones en las que se utilizan los sensores de óxido estaño como se muestra en la Tabla 5

Tabla 5
Aplicaciones de sensores químicos de óxido de estaño

Categoría	Uso doméstico	Uso Comercial e Industrial
<u>Gases combustibles</u> -Metano -Propano -Hidrógeno	- Alarma de gases para casas, vehículos y barcas	-Sistema de detección de gas para comercios, plantas industriales y petroquímicas. - Detección de gas portables
<u>Gases tóxicos</u> -Monóxido de carbono -Amoníaco -Otros	- Detectores de CO para casas, vehículos, barcas	- Detectores de fugas de amoníaco para refrigeradores. - Detectores de amoníaco para el sector primario. - Detectores de gas portables.
<u>Alcohol</u>	Etilómetros	Etilómetros profesionales
<u>Vapores orgánicos</u>		Detectores de disolventes para fábricas.
<u>CFCs</u> (Clorofluorocarbonatos)		Detectores CFCs para congeladores, aires acondicionados, procesos de limpieza para componentes eléctricos.
<u>Otros</u> -Oxígeno -Hidrógeno		-Detectores de oxígeno -Detectores de oxígeno para el mantenimiento de transformadores, baterías, etc.
<u>Detectores de fuego</u>	-Alarmas de fuego	- Sistema de detección de fuego.

Fuente: (Brezmes Llecha, 2001)

2.3 Procesado de señal

El procesamiento de señal es la aplicación de una serie de operaciones lógicas y matemáticas a un conjunto de datos provenientes de una señal, según la Revista de Investigación y Ciencia (2010). Las señales que emiten los sensores deben ser analizadas, para ello se extrae información de la respuesta de los sensores y se preparan los datos para el análisis de patrones multivariados, convirtiéndose en la primera etapa informatizada, donde los datos son muestreados y almacenados en la memoria del ordenador (Moreno, 2009).

Para el procesamiento de las señales, se identifica tres etapas generales que son: manipulación de la línea base, compresión y normalización, (Moreno, 2009).

Tabla 6*Etapas para el procesamiento de señales.*

Manipulación de la línea base	<ul style="list-style-type: none"> • La manipulación de la respuesta del sensor con respecto a su línea base, es decir, a su respuesta a una muestra de referencia; con el propósito de compensar sus derivadas. • Considerando la respuesta dinámica del sensor, se utilizan comúnmente tres técnicas: Diferencial, Relativa y Fraccionaria.
Compresión	<ul style="list-style-type: none"> • Esta etapa trata de comprimir la respuesta de la matriz de sensores para formar un vector de características o la huella digital olfativa, con la compresión se pretende transportar la misma información, pero empleando la menor cantidad de espacio. • El procedimiento empleado para generar la huella digital olfativa dinámica, los métodos de compresión transitorios se pueden agrupar en tres clases: métodos de submuestreo, métodos de extracción de parámetros y métodos de identificación de sistema.
Normalización	<ul style="list-style-type: none"> • Es un proceso que clasifica relaciones, objetos, formas de relación y demás elementos en grupos, en base a las características que cada uno posee, aplicando una serie de reglas y ayuda a los diseñadores a desarrollar esquemas que minimicen los problemas de lógica. Y las técnicas de normalización se pueden agrupar en dos clases: métodos locales y globales.

2.4 Modelos Multivariantes

Existen diferentes métodos de análisis de datos adquiridos, en las investigaciones sobre olfato artificial o nariz electrónica se presentan las siguientes técnicas de reconocimiento de patrones.

- Análisis de Componentes Principales (PCA).
- Mínimos Cuadrados Parciales (PLS).
- Regresión del Componente Principal (PCR).
- Red Neuronal Probabilístico (Red PNN).
- Simulated Annealing.
- Análisis de función de discriminantes (DFA).
- Análisis discriminante lineal (LDA).

- Regresión Lineal Múltiple (MLR).

2.4.1 Análisis de Componentes Principales (PCA).

El Análisis de componentes principales (PCA) es una técnica originalmente propuesta en 1981, que surgió como respuesta a la creciente cantidad de datos que podían ser obtenidos en cada medida gracias a los instrumentos de laboratorio de nueva generación (Brezmes Llecha, 2001). Inicialmente fue desarrollado por K. Pearson (1901), usando ajustes ortogonales por mínimos cuadrados, posteriormente fueron estudiados por Hotelling (1933) y Peña (2003).

- Es el método más común para visualizar y clasificar.
- Es una técnica quimiométrica.
- Se puede extraer la máxima información de las respuestas de los sensores.
- Es un método no supervisado de reconocimiento de patrones.
- Es un método lineal que se utiliza donde se espera que las variables tengan relaciones de colinearidad.

2.4.2 Mínimos Cuadrados Parciales (PLS)

El procedimiento Mínimos Cuadrados Parciales (PLS – Partial Least Squares), por sus siglas en inglés, es una técnica de relación de variables introducida en el año 1975 por Svante Wold, Hermand Wold y Herald Martenes, (Gaviria Peña, 2016). La metodología PLS generaliza y combina característica del Análisis de Componentes Principales y Análisis de Regresión Múltiple.

Está diseñado para construir un modelo estadístico que relaciona múltiples variables independientes X con múltiples variables dependientes Y. El procedimiento es mucho más útil cuando hay muchos factores y el objetivo principal es predecir las variables respuesta.

Los mínimos cuadrados parciales (PLS) son ampliamente usados por ingenieros químicos y quimiométricos para calibración espectrométrica. (2007)

En general, la regresión PLS consta de dos pasos fundamentales.

Primer paso

- Transforma la matriz de predictoras X de orden $n \times p$, con ayuda del vector de respuesta Y de orden $n \times 1$.
- Una matriz de componentes o variables latentes no correlacionados, $T=(T_1, \dots, T_p)$ de orden $n \times p$, llamados componentes PLS.
- Esto contrasta con el análisis de componentes principales en el cual los componentes son obtenidos usando sólo la matriz de predictoras X .

Segundo paso

- Calcula el modelo de regresión estimado usando el vector de respuesta original y como predictoras, los componentes PLS.
- La reducción de la dimensionalidad puede ser aplicada directamente sobre los componentes ya que estos son ortogonales.
- El número de componentes necesarios para el análisis de regresión debe ser mucho menor que el número de predictoras.

2.4.3 Regresión del Componente Principal (PCR)

En el algoritmo PCR se busca al igual que en el PCA, las componentes principales que mejor describen la varianza de las variables predictoras. Con estas componentes principales es con las que se monta un modelo de correlación entre las variables predictoras y la predicha (en PCR solo se puede predecir una variable por modelo), (Brezmes Llecha, 2001).

La metodología (PCR) realiza un análisis de componentes principales de X y estas componentes se utilizan como variables explicativas de las variables respuesta contenidas en la matriz Y. Sin embargo, el problema de la elección de un subconjunto óptimo de variables independientes, (es decir, las componentes principales), se sigue presentando, ya que las componentes se eligen para explicar X, pero no hay garantía de que las componentes principales que explican a X sean pertinentes para explicar a Y, (Gaviria Peña, 2016).

2.4.4 Red Neuronal Probabilístico (Red PNN)

Esta red es muy utilizada en problemas de clasificación. La red consta de dos capas, una red de neuronas de base radial con un número de neuronas igual al número de vectores de entrenamiento y una capa competitiva de neuronas, cuyo número es igual al número de categorías consideradas en el problema de clasificación (Durán Acevedo, 2014).

- Cada neurona de base radial de la capa de entrada almacena como pesos uno de los vectores de entrenamiento. En la fase de clasificación o reconocimiento se presenta un nuevo vector de entrada.
- En la primera capa se calculan las distancias euclidianas entre el vector de entrada y los pesos de cada neurona. En general, en la entrada de cada neurona de base radial se obtiene un escalar indicativo del parecido entre el vector a clasificar y los pesos de esa neurona.
- Si para una neurona el escalar es cero, entonces el vector a clasificar resulta ser idéntico al vector de pesos de la neurona.
- Los escalares resultantes del cálculo de la distancia se multiplican por un escalar denominado 'spread' que es idéntico para todas las neuronas de base radial de la red e introducido como argumento en una función de tipo Gaussiana denominada 'radbas'.

2.4.5 Análisis de función de discriminante (DFA)

El análisis de función de discriminantes (DFA) es una técnica de diferenciación probabilística paramétrica, que maximiza la varianza entre categorías y minimiza la varianza dentro de las categorías, por medio de una proyección de datos de un espacio multidimensional a uno reducido. Así, se obtiene un número de funciones lineales ortogonales igual al número de categorías menos uno (Quicaza S, Diaz M, & Zuluaga D, 2011).

2.4.6 Análisis discriminante lineal (LDA)

El LDA está relacionado muy estrechamente con el PCA y el análisis factorial, ya que estos métodos buscan combinaciones lineales de variables que expliquen mejor los datos. Además, que el LDA intenta generar el modelo a partir de las diferencias de las clases del conjunto de datos. (Raskhi Seth, 2013).

- El objetivo garantizar la mayor separabilidad de las clases reduciendo la dimensión original de los datos a un espacio igual al número de clases menos uno.
- Es una técnica supervisada debido a que utiliza información de las clases para entrenar el modelo.
- Por ello es importante evitar lo que se conoce como la maldición de la dimensionalidad que indica que para utilizar LDA se requiere tener un número de muestras mayor al número de características.

2.4.7 Regresión Lineal Múltiple (MLR).

Es una técnica estadística que usa varias variables explicativas para predecir el resultado de una variable de respuesta.

El Análisis de Regresión Lineal Múltiple nos permite establecer la relación que se produce entre una variable dependiente Y y un conjunto de variables independientes (X_1, X_2, \dots, X_k).

- **Modelo de regresión simple.**

$$y = b_0 + b_1 \cdot x + u$$

- **Modelo de regresión múltiple.**

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + \dots + b_k \cdot x_k + u$$

Una regresión lineal simple es una función que permite a un analista o estadístico hacer predicciones sobre una variable en función de la información que se conoce sobre otra variable. La regresión lineal solo se puede usar cuando tiene dos variables continuas: una variable independiente y una variable dependiente. La variable independiente es el parámetro que se usa para calcular la variable dependiente o el resultado, según Montero (2016).

El modelo crea una relación en forma de línea recta (lineal) que mejor se aproxima a todos los puntos de datos individuales.

- Se usa para determinar una relación matemática entre un número de variables aleatorias.
- Examina cómo múltiples variables independientes se relacionan con una variable dependiente.
- Una vez que cada uno de los factores independientes ha sido determinado para predecir la variable dependiente, la información sobre las múltiples variables puede usarse para crear una predicción precisa sobre el nivel de efecto que tienen en la variable de resultado.

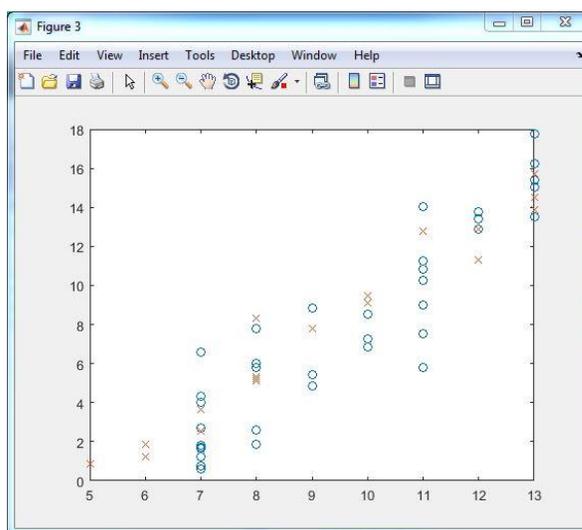


Figura 11. MRL de la Nariz Electrónica.

Los modelos multivariantes que se estudiaron en este proyecto de investigación son los modelos más utilizados en el procesamiento de señales para hallar la huella digital electrónica de cada aroma. La técnica que se utiliza en la nariz electrónica FruitNose, para crear el modelo de predicción del nivel de madurez es Regresión Lineal Múltiple o Multiple linear regression (MLR).

La Regresión Lineal Múltiple permite relacionar una variable dependiente a múltiples variables independientes la cual se realiza una predicción. La predicción de cada nivel de maduración se realiza en base a los datos tomados de los sensores de gas de cada día hasta que el plátano y la frutilla se encuentren en un estado avanzado de descomposición. Para ello se toma varias pruebas, ya que las frutas no tienen un número de días exactos para descomponerse, esto se debe a la producción de etileno que va de acuerdo a la temperatura en la cual se conserva la fruta.

CAPITULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se explica el diseño e implementación de la nariz electrónica, la cual consta del desarrollo tanto de Hardware como de Software y para ello se necesita determinar los requerimientos del prototipo.

3.1 Requerimientos Hardware y Software

3.1.1 Hardware

Se puede detallar de manera general el Hardware del prototipo en el diagrama de bloques que consta del bloque de monitoreo, bloque de comunicación, bloque de potencia y el bloque de procesamiento como se puede observar en la figura 12.

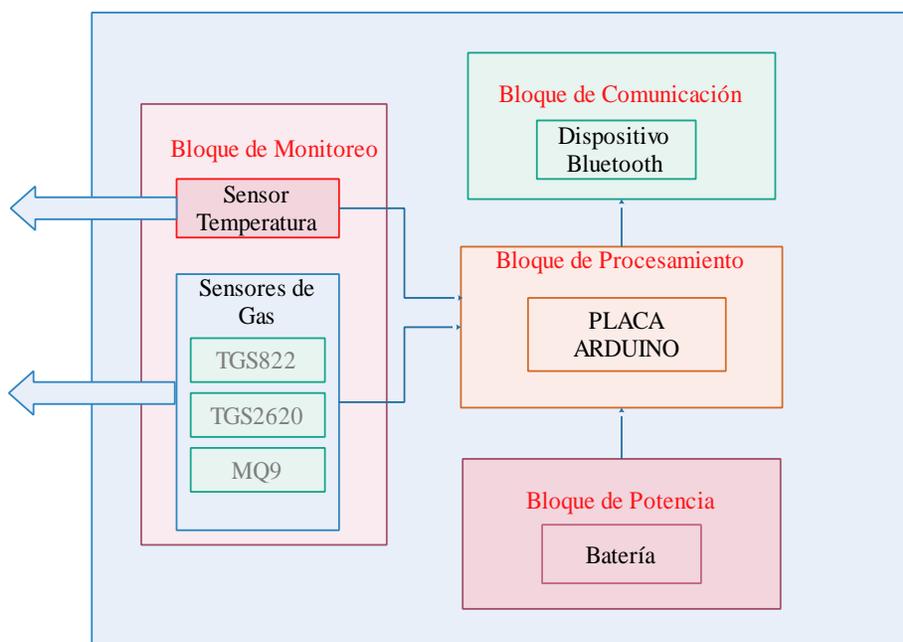


Figura 12. Diagrama de Bloques del dispositivo

En la tabla 7 se determina los requisitos generales de diseño de la unidad de procesamiento.

Tabla 7*Requerimientos de la unidad de procesamiento*

Bloque de procesamiento
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones $\leq 4.8\text{cm} \times 1.8\text{cm}$ • Voltaje de Operación $\leq 5\text{v}$. • Entradas Analógicas: ≤ 6 • Alimentación: $8 \sim 16 \text{ v}$. • Compatible con módulos de comunicación y Micro SD

Durante el proceso de maduración de la fruta se emiten ciertos Compuesto Orgánicos Volátiles como Etileno, Etanol, Acetato de hexalio, Esteres y Alcoholes. Para la nariz electrónica FruitNose se necesitan sensores sensibles a estos compuestos y los requisitos de diseño que se puede observar en la tabla 8.

Tabla 8*Requisitos de diseño de los sensores de Gas*

Sensor de Gas
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones $\leq 3.4\text{cm} \times 2.1\text{cm} \times 2\text{cm}$ • Alimentación $\leq 5.0 \pm 2.0\text{v}$ • Salida analógica • Compatibilidad con compuestos orgánicos volátiles

Tabla 9*Requisitos de diseño del sensor de Temperatura.*

Sensor de Temperatura (sin contacto)
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones $\leq 1.7\text{cm} \times 1.1\text{cm} \times 0.7 \text{ cm}$ • Rango temperatura del sensor: $-40 \sim 125^\circ\text{C}$ • Rango temperatura del objeto: $-70 \sim 380^\circ\text{C}$ • Precisión: 0.5°C • Alimentación: $\leq 5\text{v}$.

Tabla 10*Requerimientos de los módulos micro SD y comunicación*

Módulo de Micro SD	Módulo de Comunicación
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones $\leq 4\text{cm} \times 2.4\text{cm} \times 0.4\text{cm}$ • Compatible con Arduino nano • Alimentación $\leq 5.0 \pm 2.0\text{v}$ • Micro SD (2GB, 4GB, 8GB, 16GB) 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones $\leq 3.8\text{cm} \times 2.5\text{cm} \times 0.4\text{cm}$. • Compatible con Arduino nano • Alimentación $\leq 5.0 \pm 2.0\text{v}$ • Compatible con Bluetooth

La alimentación del prototipo es proporcionada por una fuente conmutada $\pm 18V_{cc}$, en la placa PCB se implementa un regulador de voltaje de $12V_{cc}$ para alimentar a la tarjeta Arduino nano y $5V_{cc}$ para los sensores de gas y temperatura.

Tabla 11

Requisitos de la alimentación para el circuito

Alimentación – Fuente conmutada
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones $\leq 9.7\text{cm} \times 15.9\text{cm} \times 3.8\text{cm}$ • Voltaje de entrada (AC): 220v • Voltaje de salida (DC): $\leq 18\text{v}$ • Potencia de salida: $\leq 51-100\text{W}$.

3.1.2 Software

El software se encarga de recibir los valores de los datos que envía el dispositivo electrónico a través de los sensores de gas, estos se procesan de tal manera que permite identificar el grado de madurez de las frutas analizadas en el proyecto de investigación, de esta manera se obtiene una base de datos de la información recopilada.

Para el desarrollo del sistema de software del proyecto de investigación, se establece las especificaciones de requisitos de software el cual está basado en el estándar de IEEE 830-1998. Especificación de Requisitos de Software (ERS) consiste en una descripción completa del comportamiento del sistema que se va a implementar, y debe tener las siguientes características a continuación completa, inequívoca, correcta, trazable, priorizable, modificable, verificable.

Para obtener una buena especificación de requisitos de software (Sommerville, 2015). Para ello se debe plantear los requisitos funcionales y no funcionales.

- **Requisitos Funcionales.** - Son declaraciones de los servicios que proveerá el sistema, de manera en que éste reaccione en situaciones particulares.

- **Requisitos No Funcionales.** - Son restricciones de los servicios o funciones ofrecidos por el sistema. Incluyen restricciones de tiempo, sobre el proceso de desarrollo, estándares, rendimiento, interfaz, operación, recursos, seguridad etc., según Méndez (2009).

A continuación, se detallan los requisitos necesarios para el funcionamiento del sistema y su nomenclatura (Tabla 12).

Tabla 12

Nomenclatura de los Tipos de Requerimientos de Software

Identificador	Tipo de requisito
RF	Requisito Funcional
RNFR	Requisito No Funcional
RNFI	Requisito No Funcional de Interfaz
RNFO	Requisito No Funcional de Operación.
RNFC	Requisito No Funcional de Comprobación
RNFU	Requisito No Funcional de Usabilidad.
RNFS	Requisito No Funcional de Soporte

Para establecer los requisitos de sistema en cada tabla se contará con el Identificador considerado como la nomenclatura detallada en la tabla 12, el Título que es el nombre del requisito y una descripción. Existen requisitos que se consideran dependiendo de una prioridad, estabilidad y necesidad alta o esencial, lo que quiere decir que estos requisitos son importantes y que no se pueden modificar durante el desarrollo del proyecto y contarán con una numeración.

3.1.2.1 Aplicación Móvil

REQUISITOS FUNCIONALES

Tabla 13

Requisitos Funcionales Generales de la Aplicación Móvil

Identificador	Título	Descripción
RF01	Inicio de la Aplicación	El usuario deberá ingresar a la aplicación móvil
RF02	Registro de Usuario	El usuario deberá registrarse en la base de datos.
RF03	Ingresar y Validar	El ingreso será validado por contraseña y usuario.
RF04	Cerrar Aplicación	El sistema cierra la aplicación móvil.

Tabla 14
Requisitos Funcionales de Ejecución de la Aplicación Móvil

Identificador	Título	Descripción
RF05	Emparejamiento del módulo Bluetooth	Seleccionar el módulo Bluetooth para conectar con el dispositivo móvil.
RF06	Mostrar variables	En una de las interfaces se visualiza los valores de sensores de gas y sensor de temperatura en tiempo real.
RF07	Almacenar en Base de Datos	Los datos tomados se envían al servidor Web (si el dispositivo móvil cuenta con conexión a Internet).
RF08	Almacenar en SD	Como respaldo cuando el dispositivo móvil no tenga conexión a Internet, se guarda los datos en una tarjeta Micro SD
RF09	Consulta de Menú	Tiene un listado para ir a cada interfaz, Resultados de Sensores, Micro SD, Servidor Web
RF10	Salir del Menú	Regresa a la interfaz donde se monitorea los sensores.

REQUISITOS NO FUNCIONALES

Tabla 15
Requisitos no funcionales de la Aplicación Móvil

Identificador	Título	Descripción
RNFR01	Usuarios en la aplicación móvil	Un dispositivo electrónico y aplicación por usuario.
RNFI02	Interfaz Gráfica	Desarrollo visual e interactivo usando colores e imágenes
RNFO01	Contenido del Menú	Debe mostrar instrucciones claras y concisas para no confundir al usuario.
RFU01	Descarga e instalación de Aplicación	El archivo ejecutable llamado APK se podrá descargarlo desde una nube de almacenamiento como Dropbox.
RNFS01	Facilidad de Manejo	Debe ser intuitivo, usando sin conocimiento previo.
RNFS01	Plataforma, SO y versiones	El sistema funciona en sistema operativo Android en versiones 5.1.0.

3.1.2.2 Aplicación Web

REQUISITOS FUNCIONALES

Tabla 16

Requisitos Funcionales Generales de la Aplicación Web

Identificador	Título	Descripción
RF01	Iniciar Página Web	El usuario debe ingresar a la aplicación WEB para visualizar resultados.
RF02	Ingresar y Validar	Para visualizar los datos recopilados el usuario debe ingresar el usuario y contraseña.

Tabla 17

Requisitos Funcionales de Ejecución de la Aplicación WEB

Identificador	Título	Descripción
RF03	Menú de página WEB	Tiene un listado para acceder a cada interfaz WEB, Inicio, Información, Análisis, Contacto.
RF04	Mostrar Gráficas	En una interfaz de la página WEB se muestran las gráficas de los sensores de gas.
RF05	Seleccionar Gráficas	Permite seleccionar las gráficas deseadas.
RF06	Descargar Gráficas	Permite descargar las gráficas en los formatos PNG;JPEG;PDF y SGV.

REQUISITOS NO FUNCIONALES

Tabla 18

Requisitos no funcionales de la Aplicación WEB

Identificador	Título	Descripción
RNFR01	Usuarios en la aplicación	Un usuario por cada registro.
RNFI01	Interfaz Gráfica	Desarrollo visual e interactivo usado colores e imágenes
RNFI02	Contenido del Menú	Debe mostrar instrucciones claras y concisas para no confundir al usuario.
RNFI03	Contenido de cada interfaz	Debe mostrar instrucciones claras y concisas para no confundir al usuario.
RFU01	Facilidad de Manejo	Se puede utilizar el sistema sin contar con un conocimiento avanzado
RNFS01	Plataforma proyecto	La página web funciona en un navegador WEB.

3.1.2.3 Estructura del Software

La estructura del sistema se describe con el diagrama de bloques que se puede observar en la figura 13 y en la figura 14 se detalla las funciones de cada bloque.



Figura 13. Diagrama de Bloques del Software

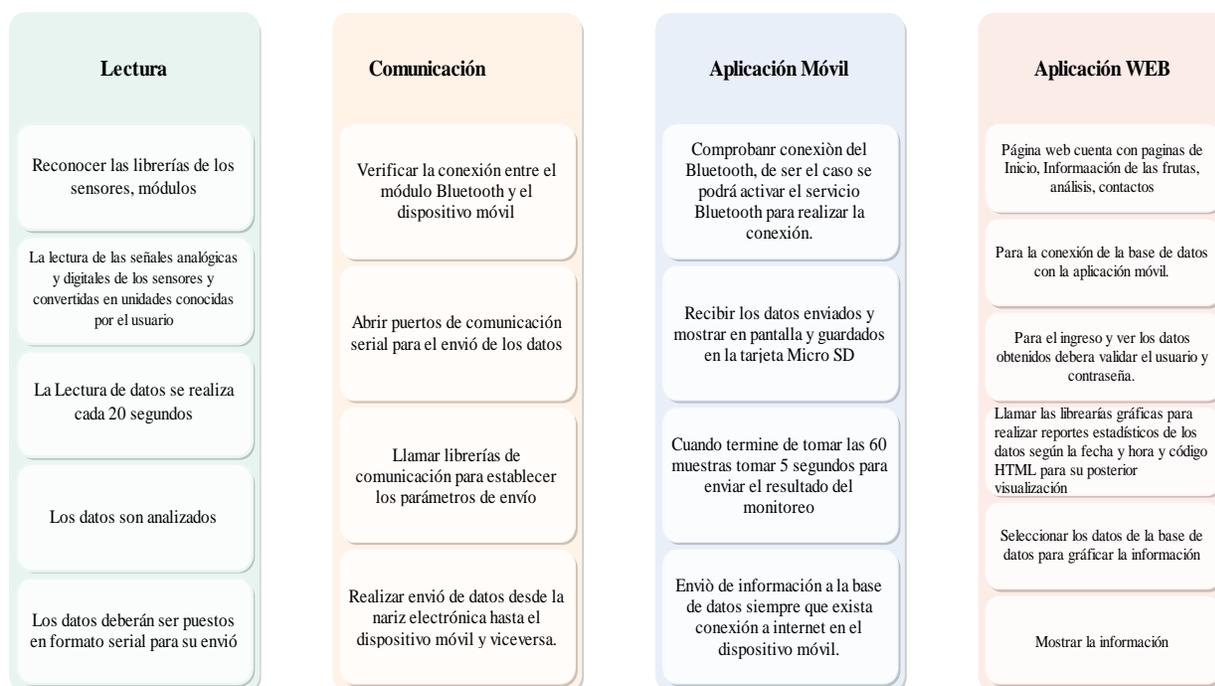


Figura 14. Detalle de las funciones de cada bloque

3.2 Caracterización de los Sensores

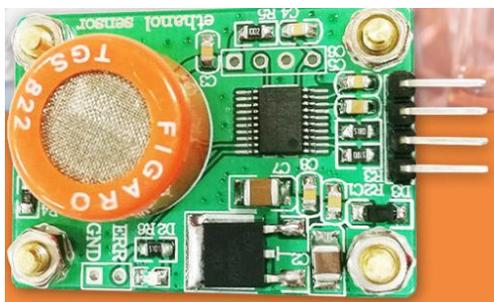
3.2.1 Sensores de Gas MOS

En el dispositivo electrónico, los encargados de tomar los datos para establecer el nivel de madurez y crear la huella digital olfativa son los sensores de gas, ya que la fruta elegida, emite gases como CO₂, Etileno, Etanol, Acetato etc. y los sensores reaccionan a estos gases (Tabla 19).

Tabla 19*Sensores sensibles a ciertos gases*

Sensores	Gases a los que es sensible el sensor	Gases que emite la fruta
TGS 822	Acetona, metano, etanol, monóxido de carbono, isobutano, acetato, benceno,	CO ₂ , Etileno, etanol, acetato de hexalio, esterres. Alcoholes como: butanol, metil, butanol, pentanol, hexanol, octanol
TGS 2620	Metano, isobutano, hidrógeno , etanol.	
MQ 9	Monóxido de carbono (CO), alcoholes	

Los sensores seleccionados para formar parte de la nariz electrónica son los sensores Figaro TGS822, TGS2620 y MQ 9, debido a su disponibilidad en el mercado y su costo. A continuación, se detallará la configuración de cada sensor.

SENSOR FIGARO TGS 822**Figura 15.** Módulo del sensor de gas TGS822

Usado para la detección de vapores de disolventes orgánicos. El sensor es de marca Figaro (figura 15), utiliza tecnología de semiconductor de dióxido de estaño (SnO₂).

Con el aire limpio los dispositivos tienen baja conductividad que aumenta en presencia de gas detectable. En la siguiente figura 16 se observa las características de sensibilidad a ciertos gases.

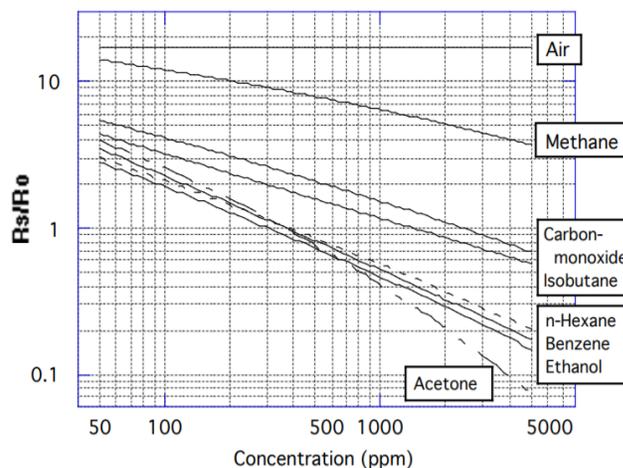


Figura 16. Gráfico de características de Sensibilidad del sensor TG822

Fuente: (Figaro, 2002)

El circuito básico de conexión como se muestra en la figura 17.

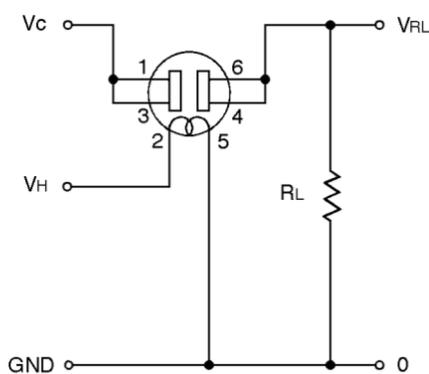


Figura 17. Circuito básico del Sensor

Fuente. (Figaro, 2002)

En la siguiente Tabla 20 se observará las condiciones del circuito estándar según el Datasheet del sensor.

Tabla 20

Condiciones del circuito

Detalle	Símbolo	Valores nominales	Observaciones
Heater Voltage	V_H	$5.0 \pm 0.2 \text{ V}$	AC o DC
Circuito Voltage	V_C	Max. 24V	DC only $P_s \leq mW$
Load Resistance	R_L	Variable	$0.45k\Omega_{\text{min}}$.

En la figura 18 se puede observar la reacción del sensor al Licor, Alcohol antiséptico, Acetona.

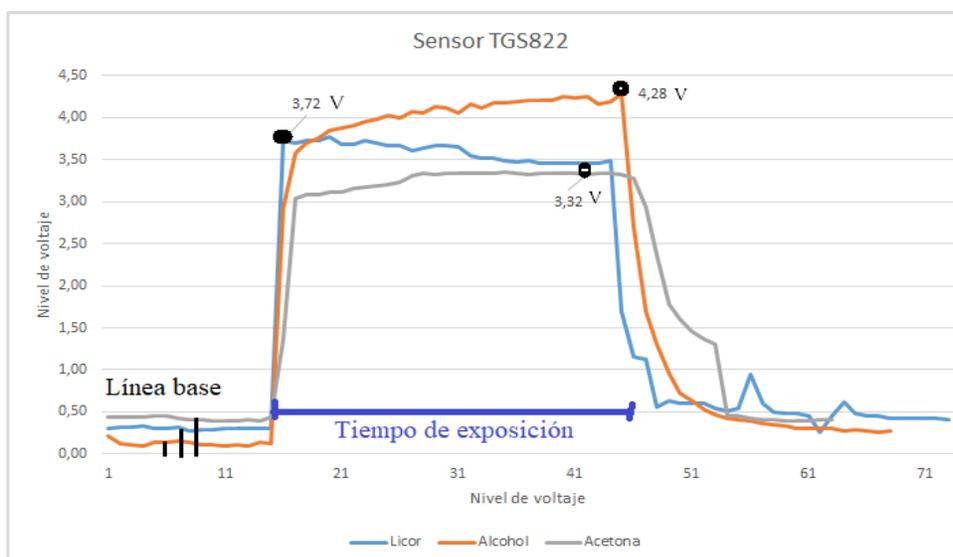


Figura 18. Pruebas del sensor TGS822

En la figura 19 se observa la reacción del sensor TGS822 al aroma de la frutilla y el plátano con la tapa en el contenedor, además se puede evidenciar una respuesta distinta en el nivel de voltaje para cada fruta, así como una variación en la línea base, la cual debe ser tomada en cuenta al crear el modelo de identificación.

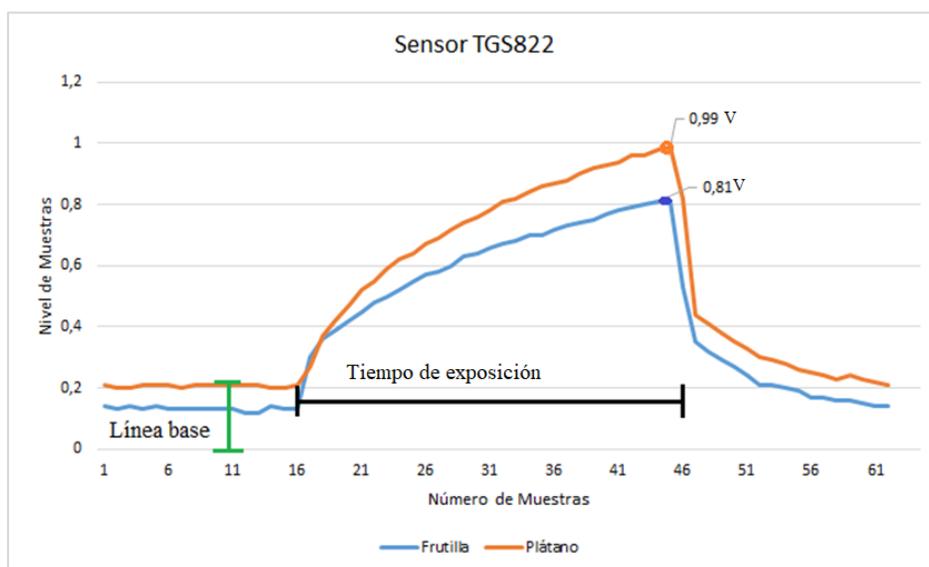


Figura 19. Reacción del sensor al aroma de la fruta

SENSOR FIGARO TGS 2620



Figura 20. Sensor de gas TGS2620

Este sensor sirve para la detección de vapores de solvente como Etanol, en este sensor el elemento de detección está compuesto por una capa de semiconductor de óxido de metal.

En la presencia de un gas detectable, la conductividad del sensor aumenta dependiendo de la concentración de gas en el aire. Un circuito eléctrico simple puede convertir el cambio de conductividad a una señal de salida que corresponde a la concentración de gas.

En la figura 21 se observa las características de sensibilidad a ciertos gases.

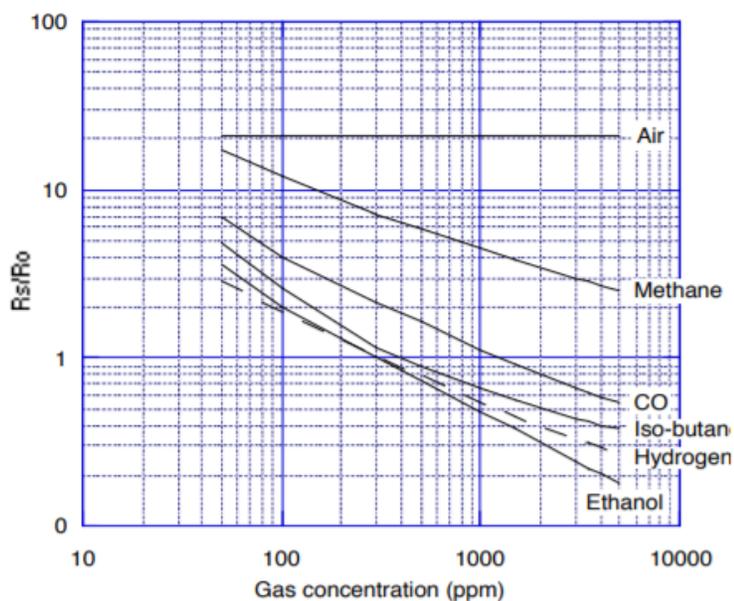


Figura 21. Gráfico de características del sensor TG822
Fuente: (Figaro, 2005)

EL sensor TGS2620 según el DataSheet requiere de dos entradas de voltaje, el voltaje heater (V_H) y voltaje del circuito (V_C). El voltaje heater (V_H) se aplica al calentador integrado para mantener el elemento de detección en una temperatura específica que es óptima para detección. Voltaje del circuito (V_C) se aplica para permitir la medición de voltaje (V_{RL}) a través de una resistencia de carga (R_L) que es conectado en serie con el sensor. Como se puede observar en la figura 22.

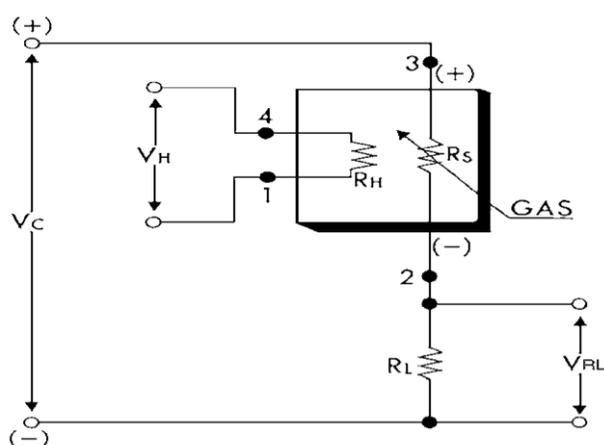


Figura 22. Circuito básico del sensor TGS2620.
Fuente: (Figaro, 2005)

Tabla 21

Condiciones de operación del sensor TGS2620

Detalles	Especificaciones
Voltaje del circuito (V_C)	$5.0V \pm 0.2V$ AC/DC
Voltaje Heater (V_H)	$5.0V \pm 0.2V$ AC/DC
Resistencia Heater (temperatura ambiente)	83Ω (típica)
Resistencia de carga (R_L)	Variable ($0.45 \text{ k } \Omega$ min.)
Disipación potencia del sensor (P_S)	$\leq 15\text{mW}$
Temperatura de funcionamiento	$-40^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$
Concentración de detección óptima	$50 \sim 5,000\text{ppm}$

En la figura 23 se puede observar la reacción del sensor TGS2620 al licor, alcohol, acetona.

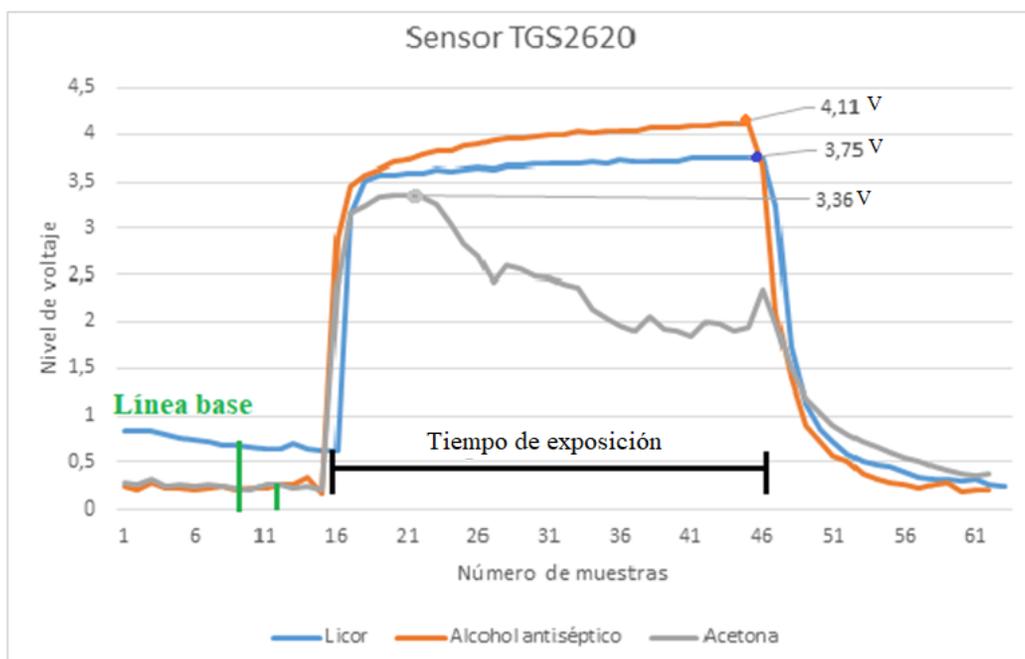


Figura 23. Pruebas del sensor TGS2620

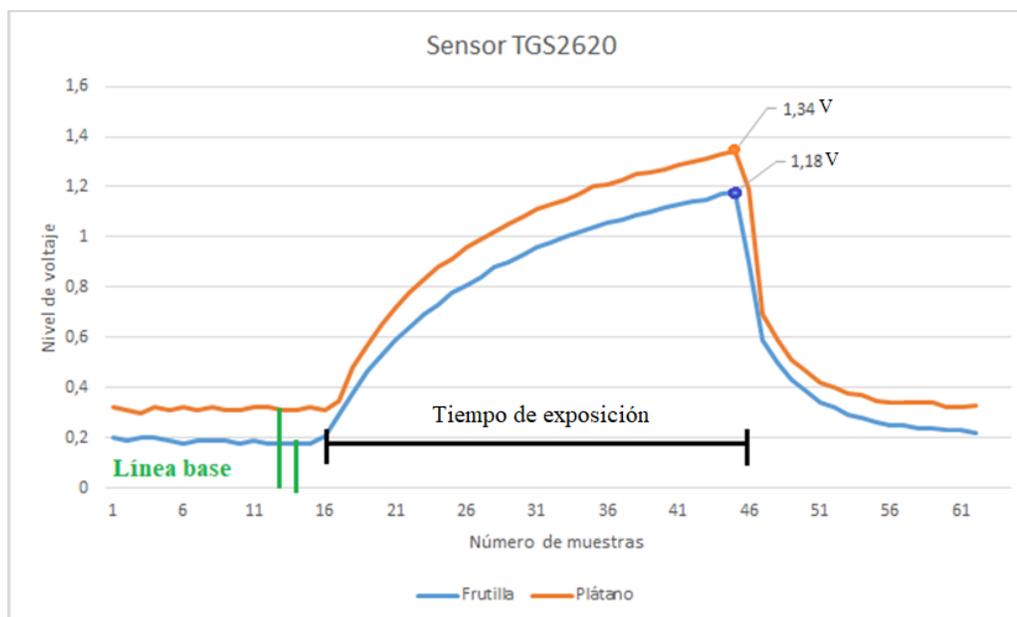


Figura 24. Reacción del sensor al aroma de la fruta con el contenedor cerrado

En la figura 24 se observa como el sensor responde distinto al aroma de cada fruta en un ambiente cerrado, así como su línea base varía.

SENSOR MQ9



Figura 25. Módulo de sensor MQ-9

El sensor de gas MQ9 es un sensor para la detección de Monóxido de Carbono (CO), metano, propano. El material sensible del sensor es SnO₂, que tiene una menor conductividad en aire limpio.

En la figura 26 se puede ver las gráficas de características de sensibilidad del sensor MQ9.

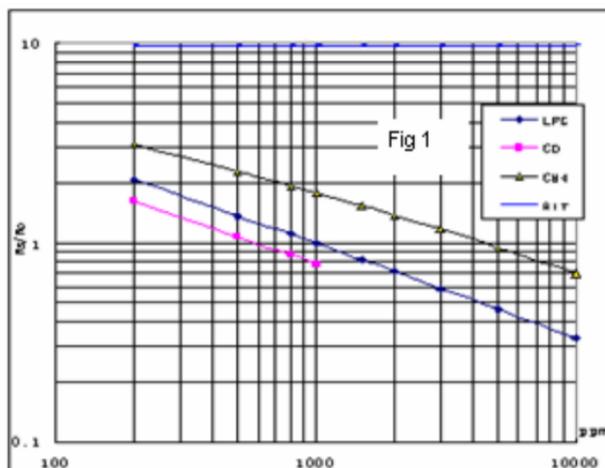


Figura 26. Características de sensibilidad del sensor Mq9

Fuente: (Henan Hanwei Electronics Co.Ltd)

Características del sensor:

- Alimentación 5V DC o AC
- Temperatura de funcionamiento: -10 a 50 °C
- Consumo de potencia: menos de 750 mW

El circuito básico del sensor se puede ver en la figura 27.

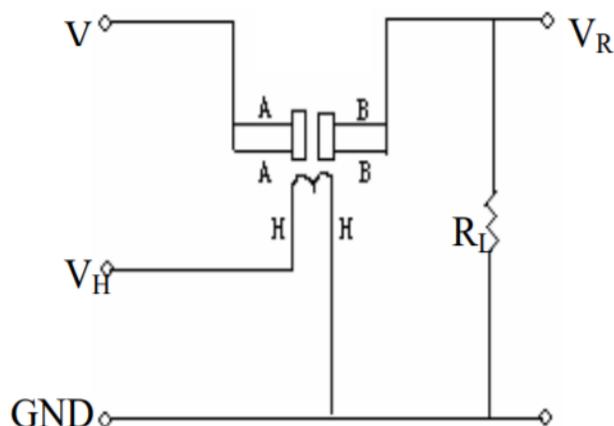


Figura 27. Circuito básico del sensor Mq9
Fuente: (Henan Hanwei Electronics Co.Ltd)

En la figura 28 se puede observar la reacción a los aromas del licor, alcohol antiséptico, acetona.

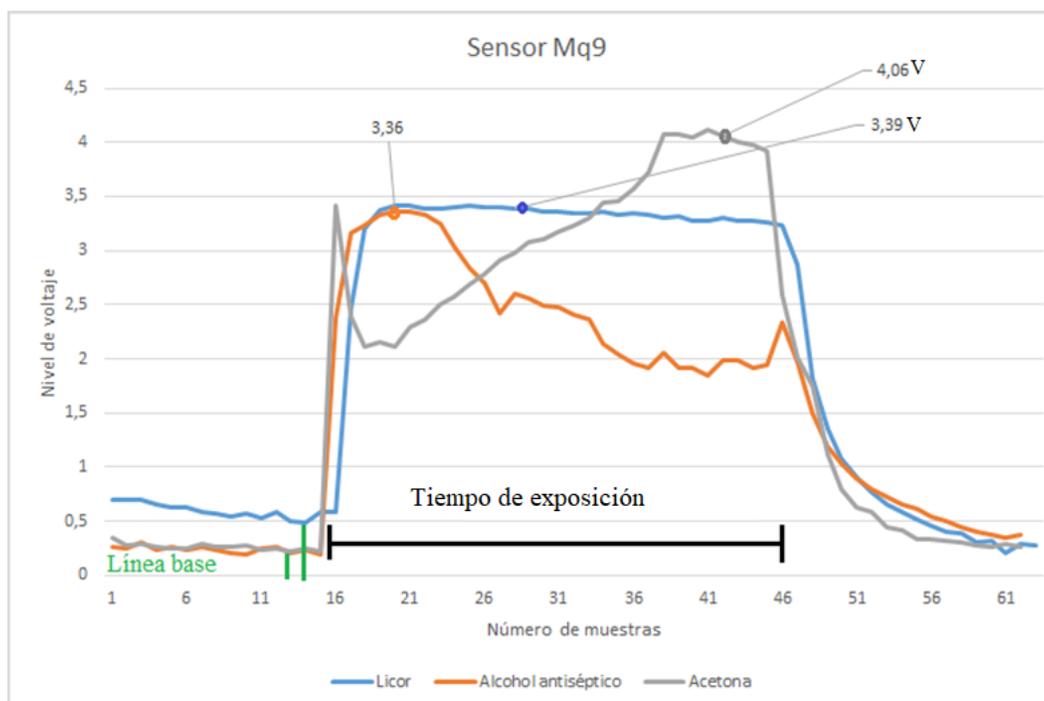


Figura 28. Pruebas del sensor MQ9.

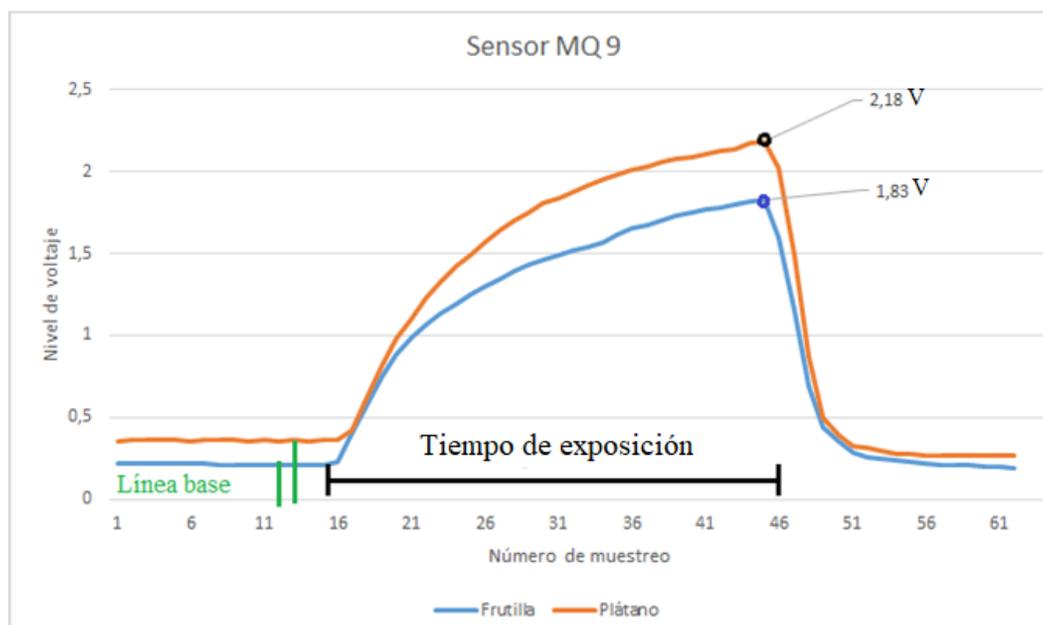


Figura 29. Reacción del sensor al aroma de la fruta con tapa en el contenedor

3.2.2 Sensores de Temperatura

Para el proceso de maduración de la fruta, la temperatura es un factor importante para su conservación y determinar la vida útil, ya que, la temperatura de una fruta va relacionado con la producción de etileno (CH_2). Por esta razón se utiliza un sensor no invasivo a la fruta, para el proyecto se usó el módulo de temperatura infrarroja GY-906, el cual permite obtener la temperatura ambiente y temperatura del objeto a medir sin contacto con la fruta.

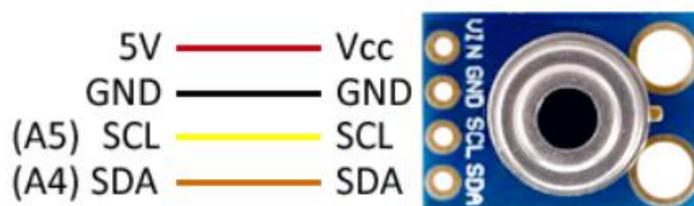


Figura 30. Conexión del módulo del sensor

El MLX90614 viene calibrado de fábrica en amplios rangos de temperatura: -40 a 125 °C para la temperatura ambiente y -70 a 382.2 °C para la temperatura del objeto.

La precisión estándar es de $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ referente a la temperatura ambiente. El PWM de 10 bits es como un estándar configurado para transmitir continuamente la temperatura medida del objeto para un rango de temperatura del objeto de -20 a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ con una resolución de salida de $0.14\text{ }^{\circ}\text{C}$. T, según el datasheet de Melexis (2009).

El módulo se puede alimentar con 2 opciones de voltaje: compatible con 5V o compatible con 3V (batería). La figura 31 describe la conexión del sensor de temperatura infrarrojo.

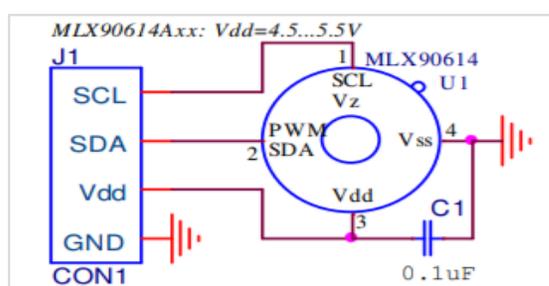


Figura 31. Conexión sensor de temperatura
Fuente: (Microelectronic, 2013)

Este sensor se escogió ya que no necesita tener contacto con el objeto para obtener su temperatura, debido a que todo objeto por encima del cero absoluto ($^{\circ}\text{K}$) emite radiación, cuyo espectro es proporcional a su temperatura como se puede observar en la figura 32. El MLX90614 recoge esta radiación y su salida es una señal eléctrica proporcional a la temperatura de todos los objetos en su campo de visión.

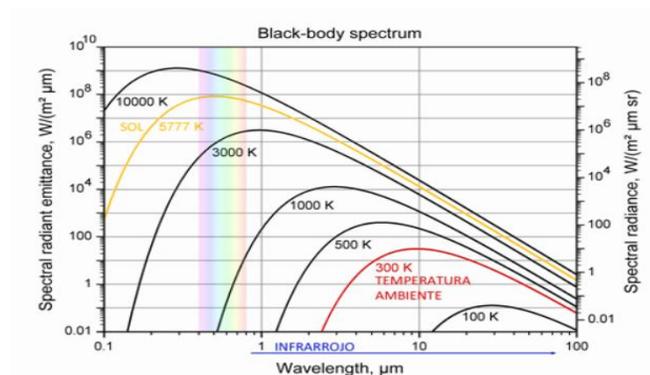


Figura 32. Campo de visión del sensor GY-906
Fuente: (Microelectronic, 2013)

En la figura 33 se observa la respuesta del sensor a diferentes temperaturas en una distancia de 5cm.

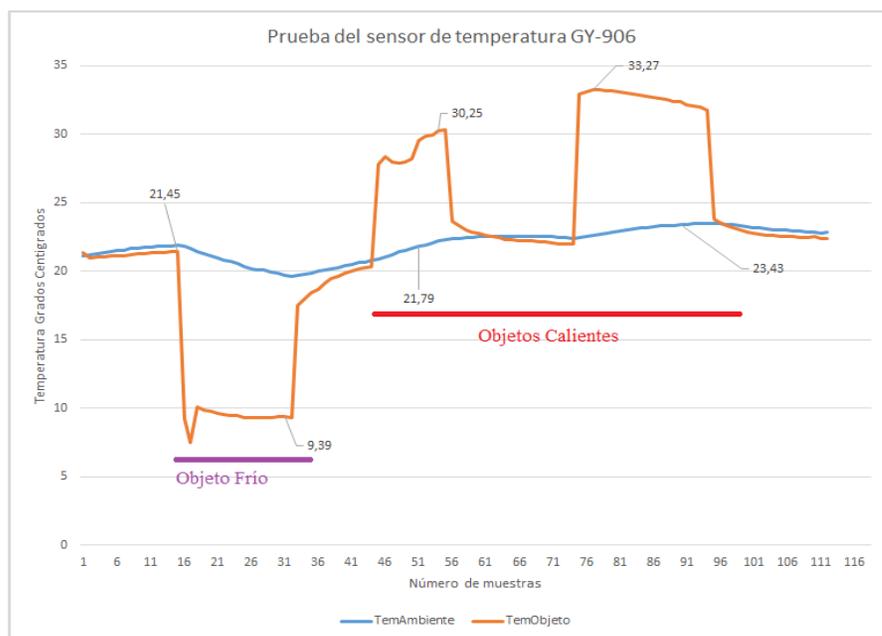


Figura 33. Temperaturas de diferentes objetos

El factor temperatura en el prototipo permitirá visualizar a que temperatura se está conservando la fruta, ya que si la temperatura del fruto es mayor igual a la temperatura ambiente quiere decir que no tiene ningún cuidado para su preservación.

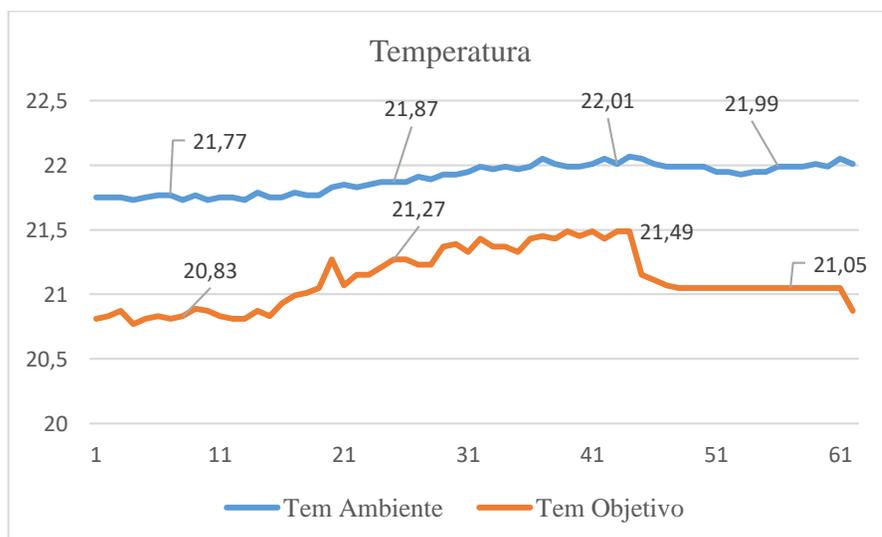


Figura 34. Temperatura del Ambiente y Fruta

3.3 Diseño de hardware

En la figura 35 se puede observar los bloques que conforman el prototipo de la nariz electrónica.

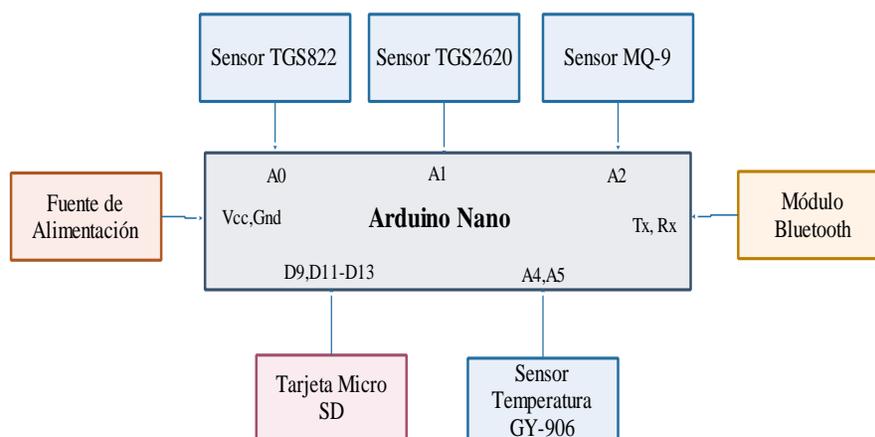


Figura 35. Diagrama de bloques de la nariz electrónica

En la figura 36 se observa las conexiones de los sensores y módulos con el Arduino nano.

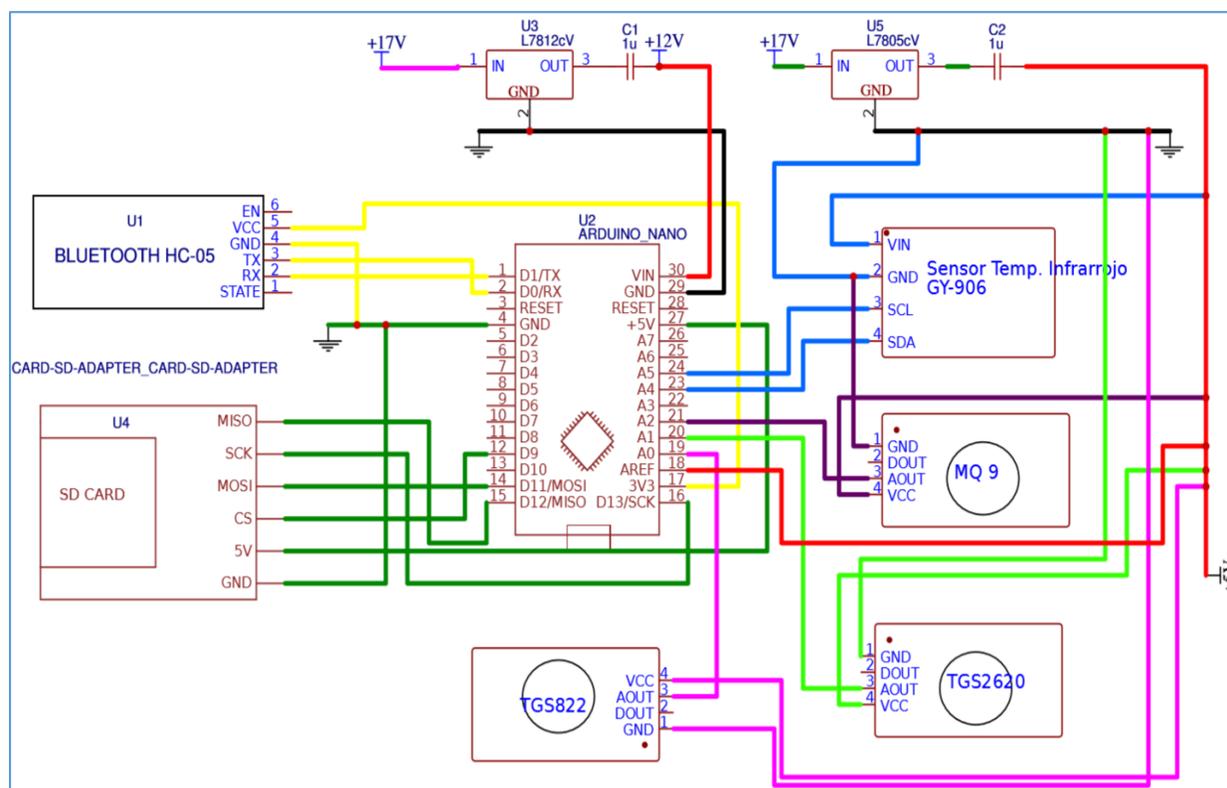


Figura 36. Esquema del circuito de la nariz electrónica

Tabla 22*Descripción de conexión de pines*

Módulo	Alimentación	Referencia	Datos	
Sensor TGS822	Fuente de 5vcc		AOUT(A0)	
Sensor TGS2620			AOUT (A1)	
Sensor MQ9			AOUT (A2)	
Temperatura Infrarrojo GY-906			SDA(A4)	
			SCL(A5)	
Bluetooth	Vcc 5v Arduino	Gnd	Tx(Rx)	
			Rx(Tx)	
				MISO(D12)
				MOSI(D13)
Micro SD			SCK(D13)	
			SC(D10)	

La alimentación del prototipo uso una fuente conmutada la que se puede variar de ± 5 a ± 18 Vcc, en la placa PCB se diseña un regulador de voltaje de 12 Vcc para la alimentación del Arduino nano y 5 Vcc para los sensores de gas, temperatura.

3.3.1 Módulos de los Sensores de Gas

Los sensores permiten la adquisición de gases como el Etanol, Etileno, CO₂, Esteres (compuestos orgánicos formados por un ácido carboxílico), Alcohol que emite la fruta; el módulo envía una señal analógica al detectar dichos gases, que se guarda en una posición del vector de tipo flotante y se asigna a cierta variable.

$$sensor_{TGS822} = analógica(A0)$$

$$sensor_{TGS2620} = analógica(A1)$$

$$sensor_{mq9} = analógica(A2)$$

Para la conversión de esta señal analógica a una señal de voltaje se utiliza la siguiente fórmula, teniendo en cuenta el nivel de referencia de 0 a 5 voltios, con una resolución de 1024 (10 bits), por la conversión analógica a digital.

$$2^{10} = 1024$$

$$voltageValue[1]_{TGS822} = (sensor_{TGS822} * 5)/1024$$

$$voltageValue[2]_{TGS2620} = (sensor_{TGS2620} * 5)/1024$$

$$voltageValue[3]_{mq9} = (sensor_{mq9} * 5)/1024$$

Se realizó diferentes pruebas de tiempo de muestreo, distancia entre la fruta y los sensores de gas, además si el contenedor donde está la fruta debe ser cerrada o abierta al monitorear. Como se puede observar en la figura 37 la toma de los datos se realiza durante 5 minutos sin fruta, 10 minutos con fruta y 5 minutos sin fruta; sin embargo, en esta prueba no se tiene un tiempo exacto de muestreo, ya que inicialmente por segundo toma 3 o 4 datos, y por esta razón existe más de 1500 muestras por prueba y un desfase de las gráficas.

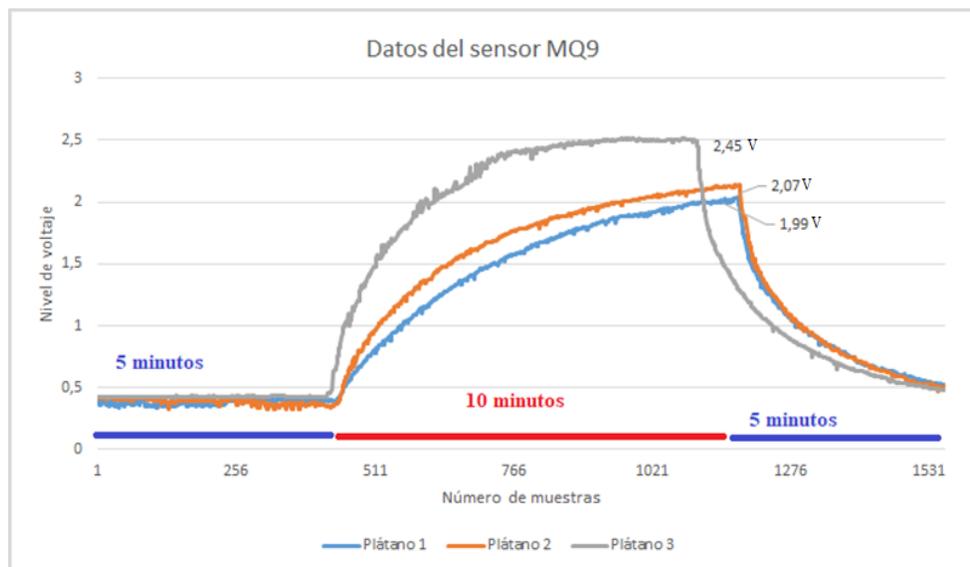


Figura 37. Datos tomados sin un tiempo exacto de muestreo

Por este motivo se determinó un tiempo de muestreo de acuerdo a las necesidades del proyecto de investigación, por lo tanto la lectura de los sensores se realiza cada 20 segundos, de esta manera se recogen 60 muestras en 20 minutos, como se puede observar en la figura 38 se obtiene una gráfica casi similar a la de la figura 37, pero ya determinada 60 muestras por prueba en 20 minutos.

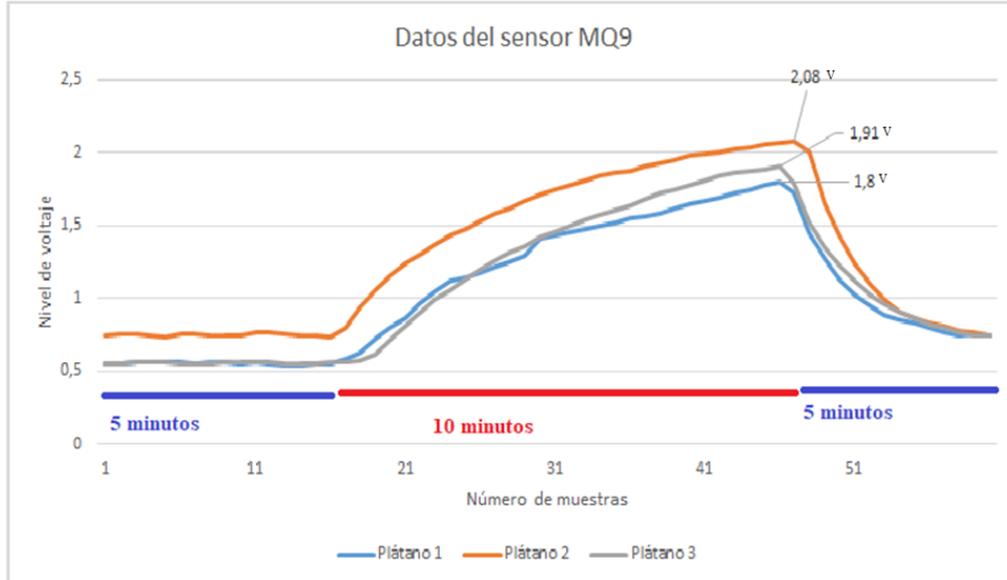


Figura 38. Datos tomados cada 20 segundos

En el entorno de desarrollo interactivo (IDE) del Arduino, se desarrolló el código para la lectura en un tiempo de muestreo de 20 segundos, de la siguiente manera.

- Se asigna a una variable llamada “*inicio*” la función `millis()` de Arduino, que devuelve el número de milisegundos (ms) desde que la placa Arduino se conecta.
- Se realiza una condición donde la función `millis()` se resta con la variable “*inicio*” y el resultado se compara si es mayor igual a 20000.

$$if(millis() - inicio \geq 20000)$$

$$inicio = millis();$$

- Dentro de la condición se realiza la lectura de todos los sensores de gas y el sensor de temperatura.

$$sensor_{TGS822} = analógica(A0);$$

$$voltageValue[1]_{TGS822} = (sensor_{TGS822} * 5)/1024;$$

Los datos se guardarán en un vector de tipo flotante y posteriormente se envían por medio del módulo Bluetooth al dispositivo móvil.

3.3.2 Módulo de sensor de temperatura

Para el módulo de temperatura en la programación del Arduino se debe considerar la librería.

```
“#include <Wire.h>”
```

```
“#include <Adafruit_MLX90614.h>”
```

Y la función del módulo que se inicializa.

```
“Adafruit_MLX90614 mlx= Adafruit_MLX90614();”
```

```
“mlx.begin();”
```

La lectura de la temperatura ambiente y la temperatura del objeto se guardan en una posición del vector de tipo flotante.

```
voltageValue[4] = mxl.readAmbientTempC();
```

```
voltageValue[5] = mxl.readObjectTempC();
```

La lectura de la temperatura también se realiza cada 20 segundos con los sensores de gas y los datos de temperatura, de igual manera se guardará en un vector para luego ser enviado por el módulo Bluetooth al dispositivo móvil.

3.3.3 Módulo de la tarjeta micro SD

Como respaldo en la obtención y almacenamiento de los datos de cada sensor en caso de pérdida de conexión, se implementa una tarjeta micro SD, para que en ella se almacene los datos. El módulo de micro SD es compatible con memorias SD de 4, 8 ,16 y 64GB.

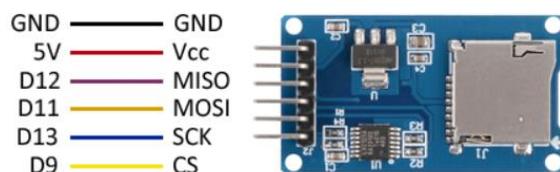


Figura 39. Pines del módulo de micro SD

En el Arduino el módulo trabaja con la librería “#include <S.>”, esta librería tiene funciones para el manejo de ficheros, directorios, además tiene funciones para la lectura y escritura.

- Inicialización de la tarjeta micro SD.

```
Serial.print("Iniciando SD ...");

if (!SD.begin(4)) {

  Serial.println("No se pudo inicializar");

  return;

}

Serial.println("inicializacion exitosa");
```

- Se crea el archivo, donde se almacena los datos.

```
myFile = SD.open("NE1.txt");

totalBytes=myFile.size();

myFile.close();
```

3.3.4 Módulo Bluetooth

Bluetooth es una especificación para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2.4 GHz.

Para la comunicación del circuito con el dispositivo móvil, se utilizó el módulo Bluetooth HC-05, que puede configurarse tanto como Maestro o como Esclavo.

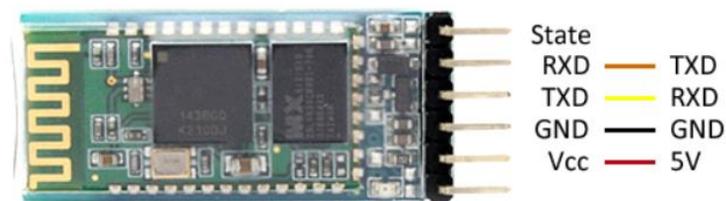
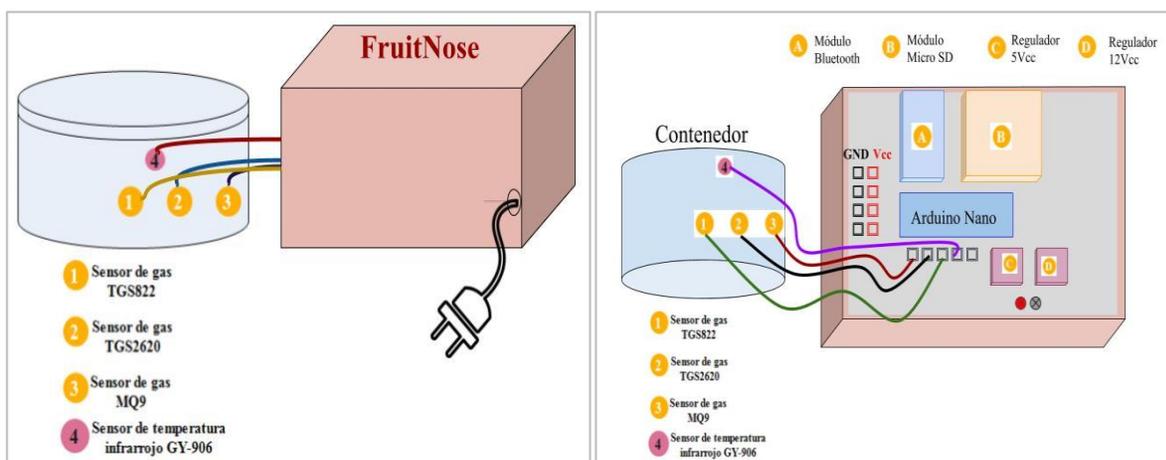


Figura 40. Conexión dispositivos Bluetooth con Arduino

Este módulo se puede alimentar con 3 Vcc o 5 Vcc, al hacerlo, el LED del módulo HC-05, parpadea continuamente. Este parpadeo indica que no está pareado o vinculado. Cuando se conecta algo al módulo y se vincula, esta luz se quedará fija y es la forma de saber si hay conexión o no.

Con las conexiones y la distribución de los sensores el producto final se observa en el bosquejo de la figura 41 y la fotografía del prototipo en la figura 42.



(a) Vista lateral

(b) Vista desde arriba

Figura 41. Bosquejo del prototipo FruitNose

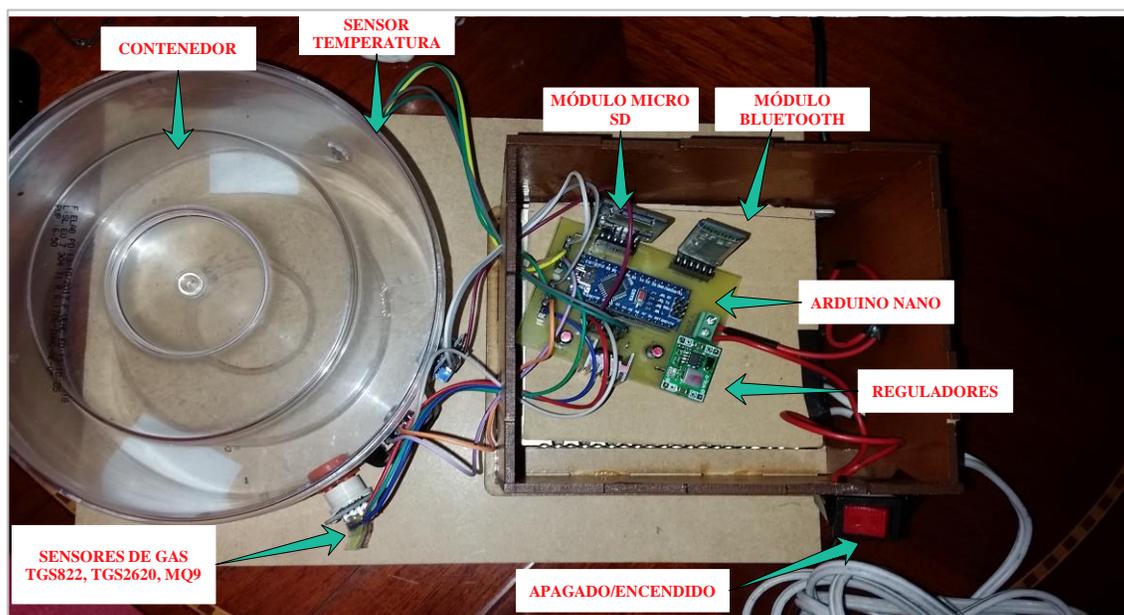


Figura 42. Producto final

Como se puede observar en la figura 42 los sensores son integrados a una caja de plástico y el circuito se encuentra integrado en una caja de madera.

3.4 Diseño de Software

En el diseño de software del proyecto de investigación obedece a la necesidad de tener un monitoreo de la fruta en tiempo real. El proyecto consta de tres partes, el Arduino, Android (Dispositivo móvil), y el servidor web con la base de datos.

3.4.1 Diseño del modelo.

Para definir el modelo que identifique los niveles de madurez de la fruta se utiliza el método multivariante de Regresión Lineal Múltiple, para ello es necesario varias pruebas con las frutas y definir, si tomar muestras con el contenedor con tapa o sin tapa. Para ello se procedió a realizar la toma de muestras con las frutas tanto con el contenedor cerrado como abierto.

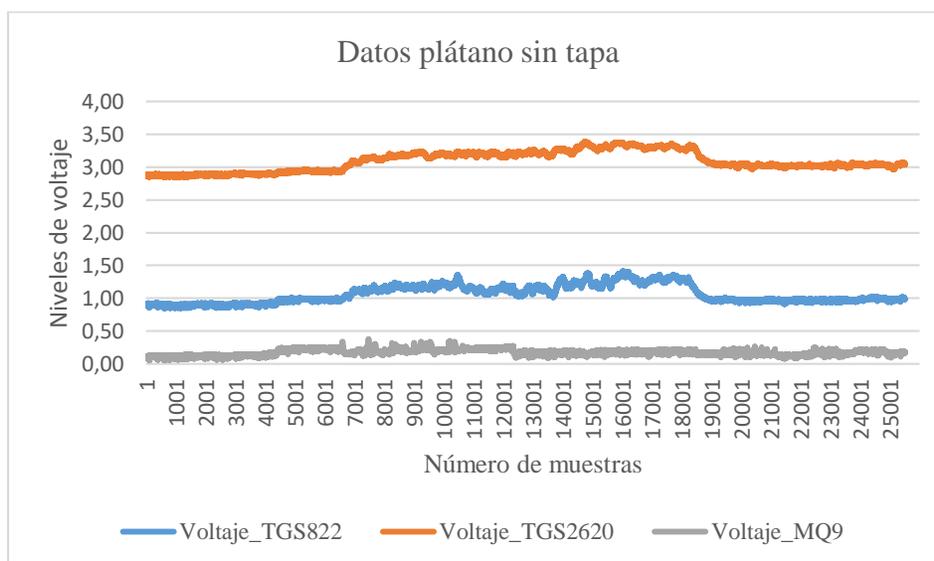


Figura 43. Datos tomados del plátano sin tapa

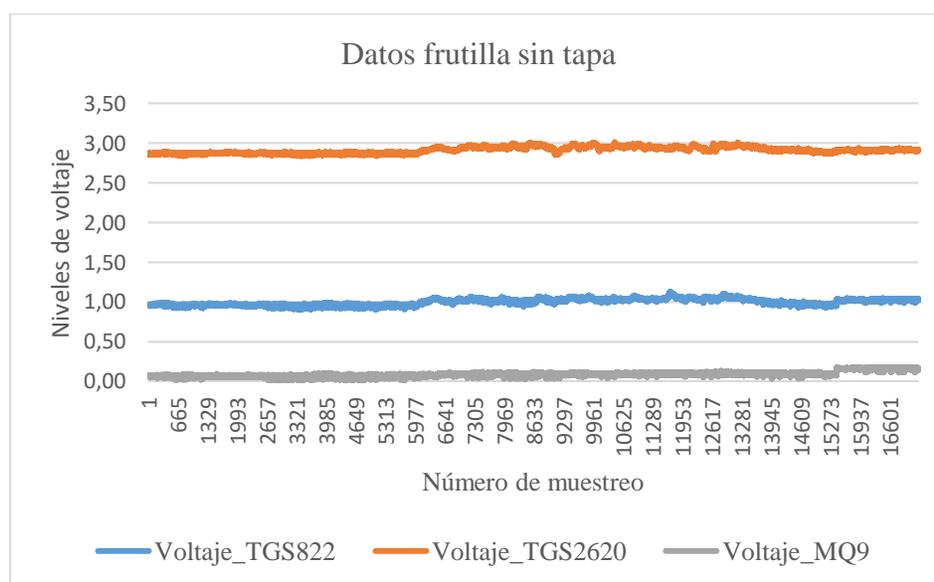


Figura 44. Datos tomados de la frutilla sin tapa

En las figuras 43 y 44 se muestran los datos tomados del contenedor abierto, es decir sin tapa en la caja, y con la fruta, como se observa los gases que emite la fruta se dispersan en el ambiente. Por lo tanto, la variación de los niveles de voltaje para cada sensor es casi nula, lo cual no permite una adecuada identificación.

Por lo anterior el monitoreo se realizó con el contenedor cerrado, para que los gases que emite la fruta no se dispersen ni se contaminen con otros aromas del ambiente, de tal forma de que los sensores puedan receptar los olores y los niveles de voltaje de respuesta mejoren. Como se puede observar en las figuras 45 y 46 de las frutas.

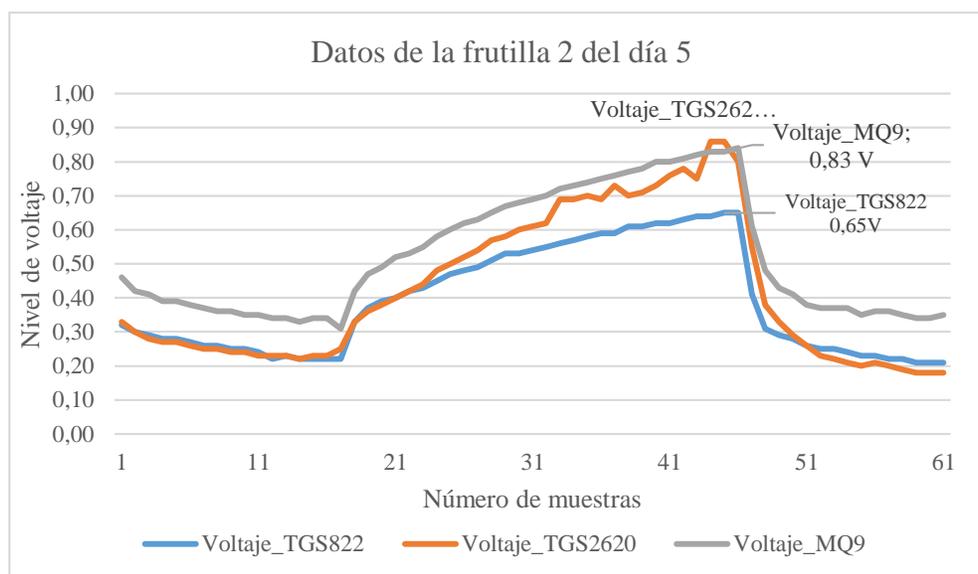


Figura 45. Datos de la frutilla del día 5

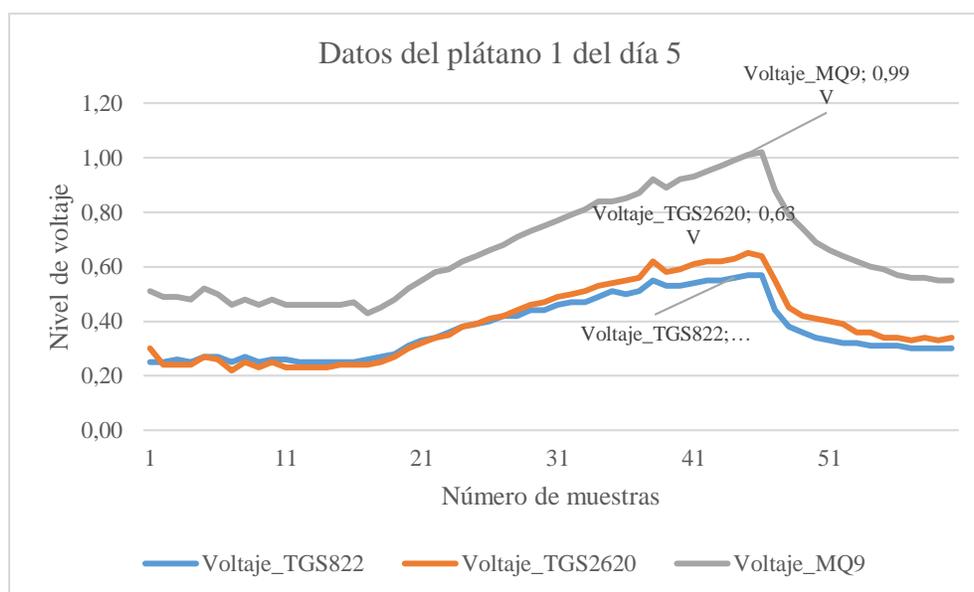


Figura 46. Datos del plátano del día 5.

Para continuar con las pruebas e identificar la “Huella Olfativa”, se realizaron varias pruebas con el contenedor cerrado, se tomaron pruebas con tres plátanos y tres frutillas. Las pruebas se realizaron desde el primer día que se obtuvieron las frutas hasta el día que la fruta llega a un estado de descomposición, el tiempo de muestreo es de 20 segundos para cada lectura, con un total de 60 muestras en 20 minutos por experimento, y esto por el número de días que se prueba.

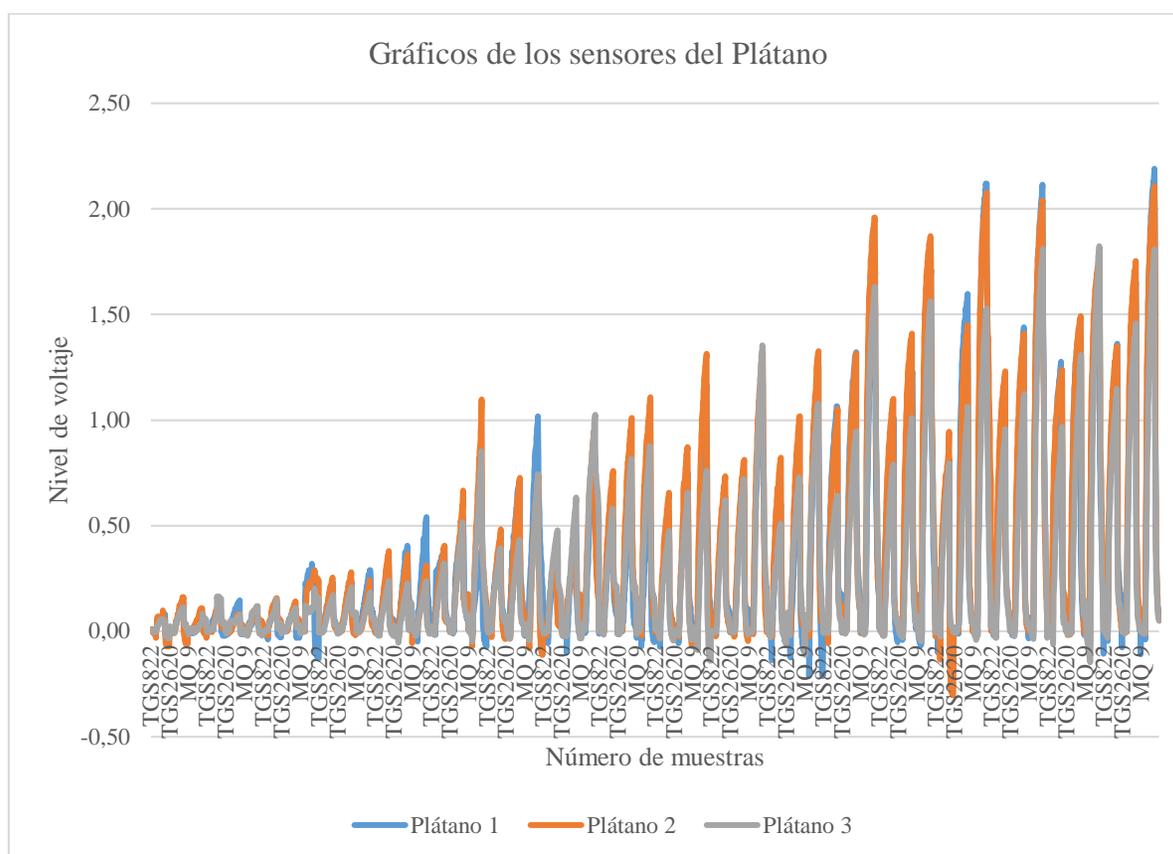


Figura 47. Gráficos de los sensores del plátano de 18 días

Los plátanos analizados para la figura 47 se encuentran en el día 1 de prueba, con un color amarillo, de textura firme, apto para el consumo según lo indicado en la “Escala de Von Loesecke” y se verifica hasta el día 18 con un grado de madurez, que no es apto para el consumo, debido a su descomposición con una apariencia de color negro y textura blanda.

Las frutillas analizadas de la figura 48, en el primer día se encontraban con un color rojo intenso y una textura firme apto para el consumo, y se toma datos hasta el día 6, con un grado de madurez no apto para el consumo debido a su descomposición, con una apariencia de textura blanda, color rosado, con moho y desprendiendo líquido.

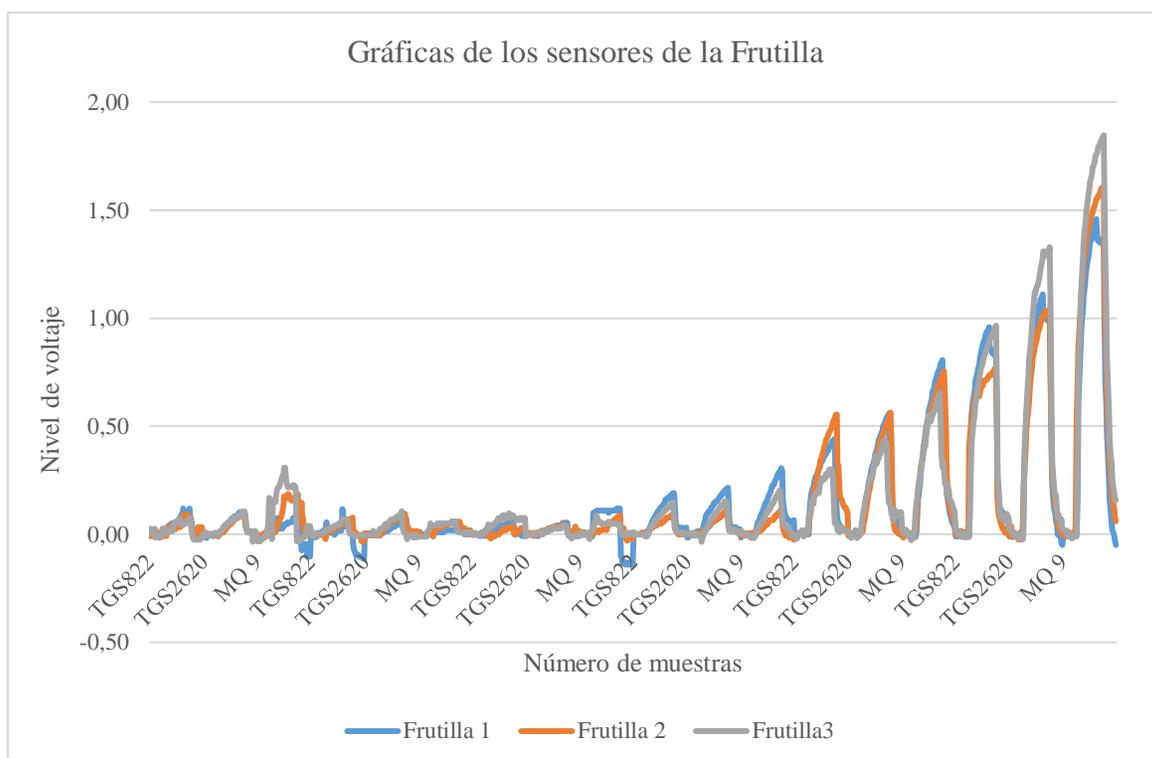


Figura 48. Gráficos de los sensores de la frutilla de 6 días

Como se observa en las figuras 47 y 48 los niveles de voltaje entregados por los sensores aumentan por día y por el estado de maduración, aspectos que se toman en cuenta para posteriormente generar el algoritmo de identificación en base a estos datos.

Con la ayuda de “MATLAB”, se procesa los datos de los sensores, realizando un diezmado para eliminar ruido en las señales, esto tiene como objetivo eliminar los puntos altos de voltaje que hay en las muestras para tener un solo nivel máximo de voltaje para identificar la “Huella olfativa” para cada prueba por día.

En las figuras 49, 50 se muestran los resultados de los diezmados observando que las gráficas de las frutas tanto del plátano como la frutilla son similares, en forma.

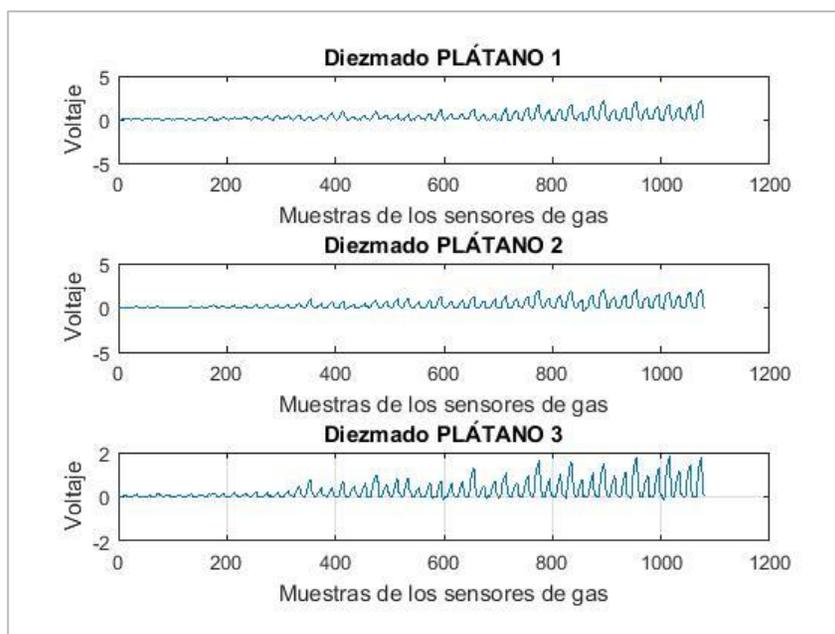


Figura 49. Diezmado de los datos de los tres plátano

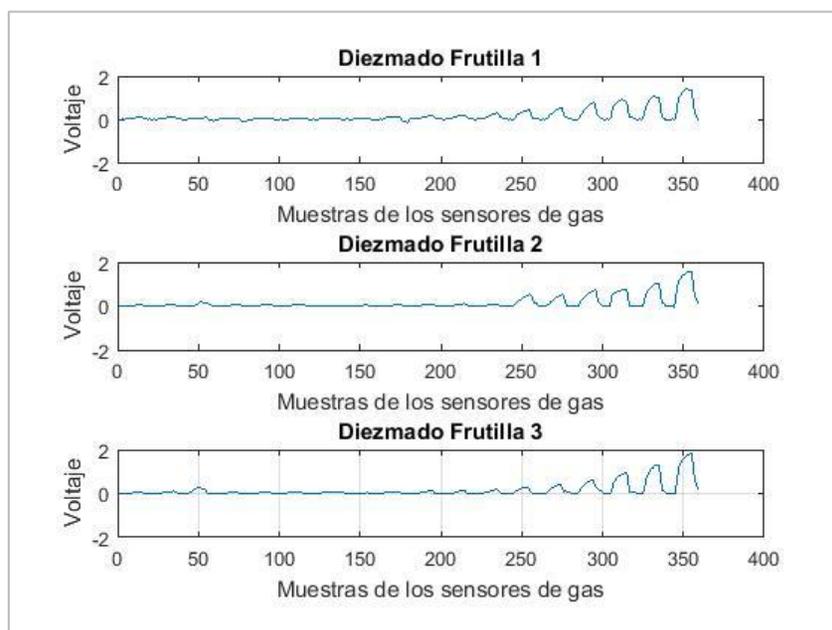


Figura 50. Diezmado en las señales de las tres frutillas

Con los datos diezmos y los voltaje máximos obtenidos se realiza el modelo de regresión lineal para obtener los niveles de maduración de la fruta, además para continuar con el proceso se necesita realizar también una tabla de etiquetas, donde se asigna un grado de madurez a la fruta según la “*Escala de Von Loesecke*”, aparte de esta escala de madurez se toma en cuenta los estados de la fruta después de una apariencia comercial, según la FAO (2003).

Tabla 23*Etiquetas de niveles de maduración de la frutilla*

Frutilla	Grado	Descripción
	1	Apto para el consumo
	2	Límite de consumo
	3	No apto para el consumo

Tabla 24*Etiquetas de niveles de maduración del Plátano*

Plátano	Grado	Descripción
	1	Verde listo para la cosecha
	2	Inicio de maduración
	3	Listo para la comercialización (Comestible)
	4	Perdiendo el color verde (Comestible)

CONTINÚA 

	5	Amarillo Completo (Comestible)
	6	Inicio de descomposición (Comestible)
	7	5% de pecas en plátano (Comestible)
	8	20% de pecas en plátano (Comestible)
	9	40% de pecas en plátano (Comestible)
	10	60% de pecas en plátano (Comestible)
	11	80% de pecas en plátano (Límite de consumo)
	12	100% de pecas en plátano (No apto para el consumo)
	13	Totalmente negro No apto para el consumo

Con esta tabla de etiquetas para cada estado de la fruta, y con el objetivo de eliminar las subjetividades se prosigue a utilizar una herramienta cualitativa y realizar un sondeo a un grupo de personas para etiquetar ciertas frutas de acuerdo con las tablas 23 y 24. Cabe recalcar que el sondeo se realiza para eliminar la subjetividad del modelo usando el criterio cualitativo con varias personas, para más detalles ver Anexo 1. Un ejemplo de los resultados de la encuesta rápida se puede ver en la tabla 25.

Tabla 25*Respuestas del sondeo de la primera frutilla*

Frutilla 1						
Foto	Persona 1	Persona 2	Persona 3	Persona 4	Persona 5	Resultados
Día 1 	Grado: 1	Grado: 1	Grado: 1	Grado: 1	Grado: 1	Grado: 1
Día 2 	Grado: 1	Grado: 1	Grado: 1	Grado: 1	Grado: 1	Grado: 1
Día 3 	Grado: 1	Grado: 2	Grado: 2	Grado: 2	Grado: 1	Grado: 2
Día 4 	Grado: 2	Grado: 2	Grado: 3	Grado: 3	Grado: 2	Grado: 2
Día 5 	Grado: 3	Grado: 2	Grado: 3	Grado: 3	Grado: 2	Grado: 3
Día 6 	Grado: 3	Grado: 2	Grado: 3	Grado: 3	Grado: 3	Grado: 3

Para el modelo de Regresión Lineal el objetivo es encontrar una recta de la forma.

$$\hat{Y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}X = a + bX$$

En donde α es la ordenada en el origen (el valor que toma Y cuando X vale 0), β es la pendiente de la recta (e indica la relación de cambio de Y al incrementar X en una unidad), según, Carollo (2012).

$$FruM_{kn} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{k1} & f_{k2} & f_{kn} \end{bmatrix} \quad Yfru_k = \begin{bmatrix} y_{11} \\ \vdots \\ y_{k1} \end{bmatrix}$$

Donde: $FruM_{kn}$ es una matriz de los puntos altos.

$Yfru_k$ es la matriz de etiquetas por cada día.

Donde k es fila, que depende de cada fruta, en el caso de la frutilla tiene 18 filas y el plátano 54 filas. Y n es el número de columnas, que para los dos casos son 3 columnas.

La “ $Yfru$ ” es una matriz de varias filas “ k ” por una columna, en el caso de la frutilla existe 18 filas, mientras que en el plátano hay 54 filas. Las filas corresponden a la multiplicación de las tres frutas por el número de días que tiene de vida útil. La frutilla por ser una fruta No Climatórica tiene menos días de conservación, mientras que en el caso del plátano por ser una fruta Climatórica tiene más días de conservación.

Para definir β que es la pendiente que define el modelo, se realiza la regresión entre la matriz de los puntos altos “ $FruM_{kn}$ ” son los datos diezmados (figuras 49 y 50) con la matriz de etiquetas “ $Yfru_k$ ” (resultados del sondeo de etiquetas para el grado de madurez de la fruta).

Para realizar la regresión, en Matlab se ingresa la función:

$$Bfru = regress(FruM_{kn}, Yfru_k).$$

a) Para ello se crea $FruM_{kn}$ y $Yfru_k$.

La matriz $FruM_{kn}$ contiene datos tomados de las pruebas de las 3 frutillas; para tener un modelo comparativo, se divide la información de la frutilla 1 y 2 en una matriz $FruM12_{12 \times 3}$ y los datos de la frutilla 3 en otra matriz $FruM3_{6 \times 3}$, (ver figura 52) y de igual forma la matriz de etiquetas en $Yfru12_{12 \times 1}$ y $Yfru3_{6 \times 1}$ como se observa en la figura 51.

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
$Yfru12 = [1; 1; 1; 1; 2; 3; 2; 2; 3; 3; 3; 3];$					
$Yfru3 = [1; 1; 2; 2; 2; 3];$					
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6

Figura 51. Matriz de etiquetas “ $Yfru$ ”

	TGS822	TGS2620	MQ9			TGS822	TGS2620	MQ9	
PlaM13=[0.080	0.139	0.040;	} Día 1	PlaM2=[0.079	0.156	0.1071;	Día 1
	0.052	0.114	0.061;				0.1289	0.082	0.0602;
	0.125	0.1336	0.062;	} Día 2		0.1533	0.1318	0.274;	Día 3
	0.1605	0.078	0.1161;				0.2445	0.2687	0.2202;
	0.1128	0.103	0.2834;	} Día 3		0.3502	0.3372	0.2957;	Día 5
	0.1358	0.1022	0.1738;				0.3961	0.6137	1.012;
	0.2226	0.222	0.2829;	} Día 4		0.4508	0.698	0.7097;	Día 7
	0.1596	0.19	0.1755;				0.386	0.4875	0.9218;
	0.2996	0.3896	0.5178;	} Día 5		0.7243	0.9741	1.073;	Día 9
	0.2274	0.2144	0.2266;				0.6216	0.8537	1.275;
	0.3897	0.522	0.3751;	} Día 6		0.7527	0.8375	1.332;	Día 11
	0.2976	0.4849	0.8079;				0.8044	0.983	1.292;
	0.4421	0.7026	0.9752;	} Día 7		1.039	1.334	1.968;	Día 13
	0.3911	0.4235	0.7124;				1.079	1.406	1.862;
	0.3676	0.4961	0.922;	} Día 8		0.8667	1.433	2.046;	Día 15
	0.4745	0.611	0.9699;				1.228	1.386	2.002;
	0.5115	0.5597	0.5806;	} Día 9		1.214	1.508	1.766;	Día 17
	0.5708	0.8079	0.853;				1.351	1.738	2.12];
	0.5191	0.7454	1.165;	} Día 10					
	0.4388	0.6185	0.7283;						
	0.615	0.6951	1.234;	} Día 11					
	0.5948	0.7153	1.347;						
	0.5724	0.6694	1.241;	} Día 12					
	0.5235	0.7297	1.069;						
	1.065	1.349	1.732;	} Día 13					
	0.6539	0.9568	1.616;						
	1.043	1.248	1.7;	} Día 14					
	0.7876	1.023	1.566;						
	0.8069	1.575	2.102;	} Día 15					
	0.7567	1.054	1.533;						
	1.198	1.392	2.08;	} Día 16					
	0.9609	1.141	1.797;						
	1.248	1.467	1.677;	} Día 17					
	0.9683	1.339	1.826;						
	1.338	1.663	2.213;	} Día 18					
	1.172	1.473	1.775];						

Figura 54. Matriz de puntos altos “PlaM”

- b) Con las matrices de los puntos altos de la fruta y la matriz de las etiquetas se realiza la regresión para encontrar el modelo para cada fruta, usando “MATLAB” como se observa en la figura 55.

```
Bpla13=regress(Ypla13,PlaM13); Bfru12=regress(Yfru12,FruM12);
Bpla2=regress(Ypla2,PlaM2); Bfru3=regress(Yfru3,FruM3);
```

Figura 55. Fórmula de regresión en “Matlab”

El resultado de la regresión es una matriz de tres filas por una columna con los siguientes valores:

Frutilla:

$Bfru12_{3 \times 1}$ [10.1835; -9.5171; 3.3955] y $Bfru3_{3 \times 1}$ [34.8424; -28.1395; 4.0441]

Plátano:

$Bpla13_{3 \times 1}$ [8.6288; -0.3234; 3.0489] y $Bpla2_{3 \times 1}$ [9.0270; -0.3627; 1.9699]

Como resultado la matriz $Bfru3_{3 \times 1}$ es la que se incluye en el código del Arduino, ya que como se muestra en la figura 58 no tiene información interpuesta; o que se solape entre los diferentes grados; como en el caso de la matriz $Bfru12_{3 \times 1}$ que puede causar confusión en elegir el grado de maduración de la fruta al dispositivo.

En el caso del plátano se elige la matriz $Bpla2_{3 \times 1}$ como modelo ya que tiene información del grado 5 al grado 13, ya que el plátano 2 al iniciar las pruebas tenía una apariencia de color verde-amarillento; mientras la matriz $Bpla13_{3 \times 1}$ contiene información desde el grado 7 al grado 13, donde los plátanos 1 y 3 eran de color amarillo intenso por lo tanto más maduros.

c) Con los datos de los puntos altos de la fruta y el modelo encontrado “*Bpla*” o “*Bfru*”, se obtiene la matriz Y predicha (puntos que tiene cada grado de madurez).

$$Ypredicha_{km} = B'_{kn} * FruM'_{nm}$$

```
%Y Predicha
YpreT12=Bfru12'*FruM12';| %Y Predicha
YpreT3=Bfru3'*FruM3';    YpreTpla13=Bpla13'*PlaM13';
YpreTpla2=Bpla2'*PlaM2';
```

Figura 56. Ypredicha los valores con los que se puede cotejar

En la figura 57 se puede observar los rangos que tiene la $Y_{predT_{km}}$ en cada grado de madurez de la fruta estos valores sirven para condicionar el rango de valores al que pertenece cada grado de madurez de la fruta de estudio.

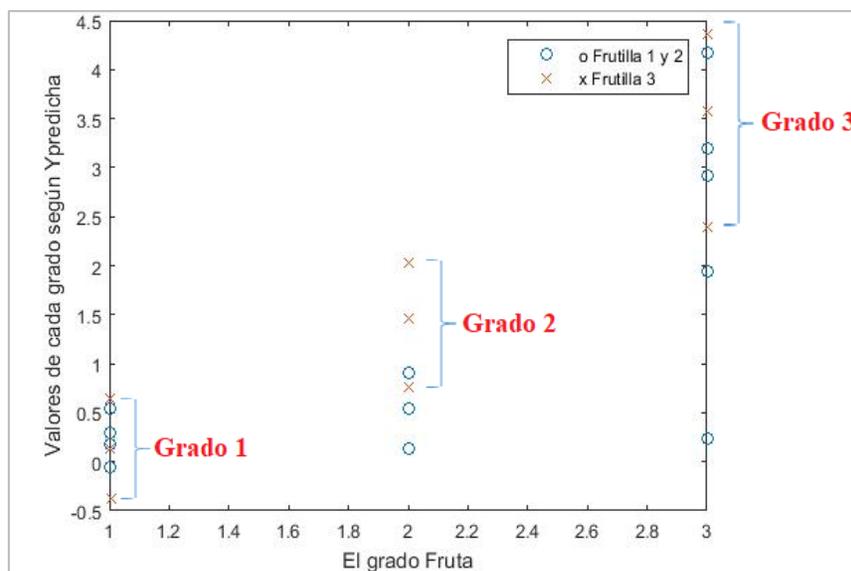


Figura 57. Resultados del modelo de la frutilla

La figura 58 muestra los valores que tiene cada grado de madurez del plátano.

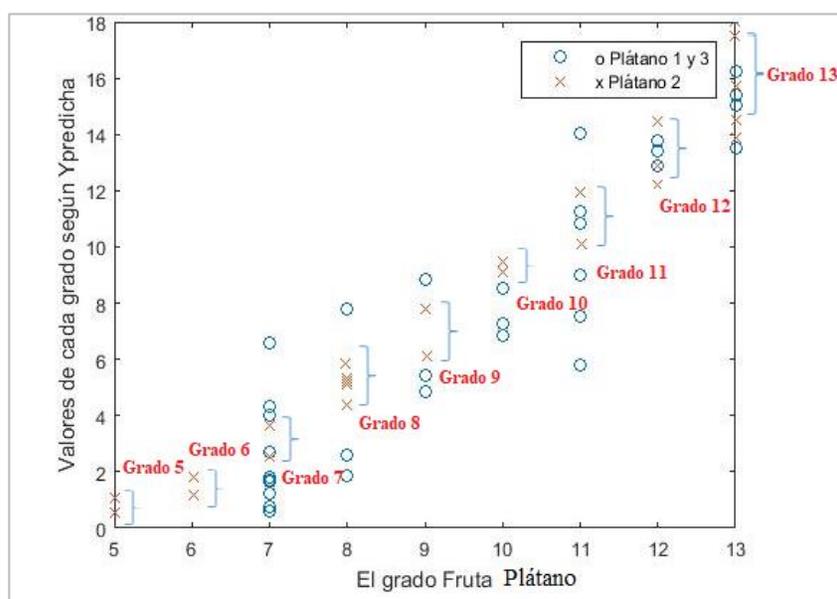


Figura 58. Resultados del modelo del plátano

En la figura 58 se observan los valores para los rangos de cada grado, en el caso del plátano el modelo tiene información desde el grado 5 ya que no se utilizaron plátanos recién cosechados, debido a disponibilidad del mercado local, lo cual es una restricción para el sistema. Por lo tanto los rangos a utilizar para el sistema serán los descritos en la tabla 26 para la frutilla, en la tabla 27 en el caso del plátano.

Tabla 26*Rangos para el sistema de la frutilla*

Frutilla		
Grado	Mínimo	Máximo
1	-0,4	0,79
2	0,8	2,49
3	2,5	4,5

Tabla 27*Rangos para el sistema del plátano*

Plátano		
Grado	Mínimo	Máximo
1		
2		
3	Datos que no tiene el sistema	
4		
5	0,8675	1,199
6	1,2	1,99
7	2,00	4,59
8	4,6	7,59
9	7,6	8,09
10	8,10	9,59
11	9,6	12,09
12	12,1	14,29
13	14,3	18,00

3.4.2 Diseño del programa en Arduino

La programación de las conexiones para el diseño del hardware se realiza en el IDE de Arduino. El dispositivo se inicializa y espera recibir una opción de fruta, desde la aplicación móvil, UNO si es Plátano, DOS en caso de Frutilla; luego empieza el monitoreo cada 20 segundos (tres muestras por cada minuto), el sistema necesita de 60 muestras para obtener el resultado del análisis de maduración de la fruta, es decir 20 minutos por análisis (5 minutos con fruta, 10 minutos con fruta dentro del contenedor con los sensores, 5 minutos sin fruta). Proceso que se puede ser visto en la figura 59.

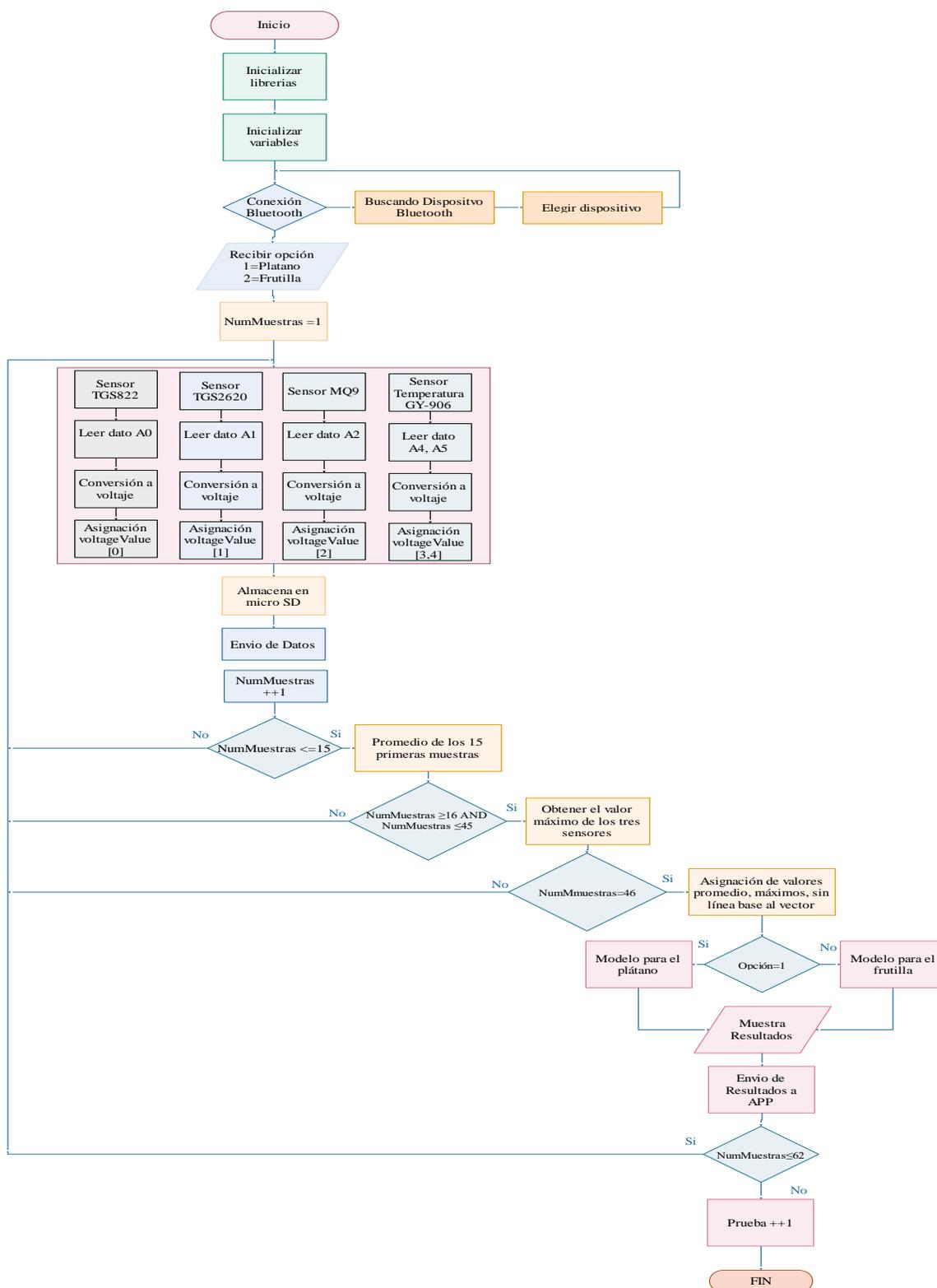


Figura 59. Diagrama de flujo del programa Arduino

3.4.2 Diseño de la aplicación móvil

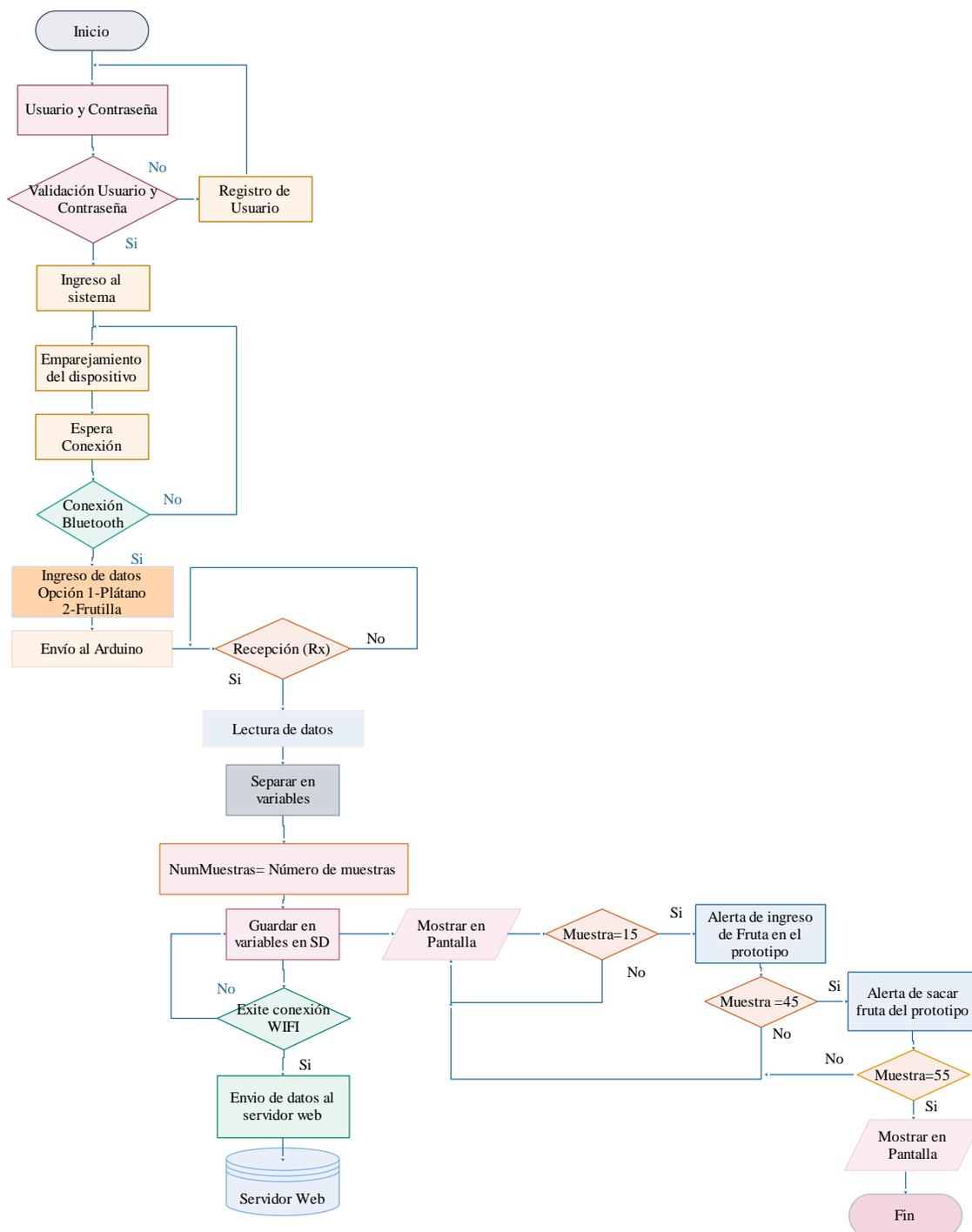


Figura 60. Diagrama de flujo del dispositivo móvil

En la figura 60 se describe en un diagrama de flujo del proceso del software de la aplicación móvil. La aplicación del dispositivo móvil tiene el siguiente bosquejo como se muestra en las figuras 61 ,62 y 63.

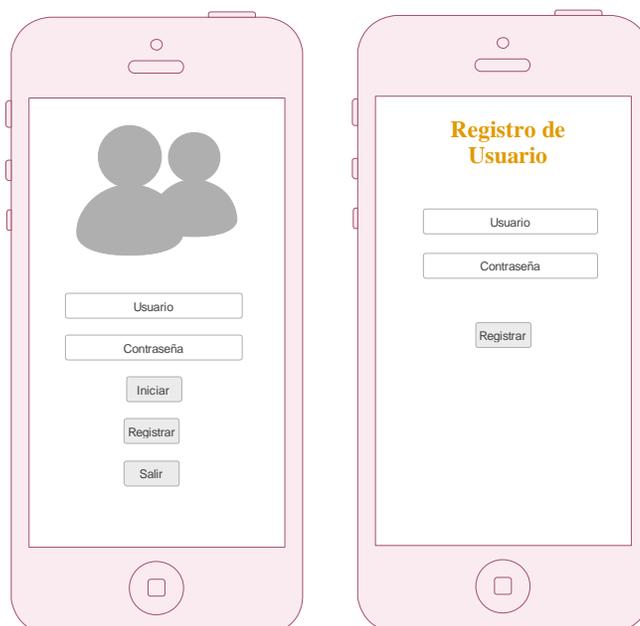


Figura 61. Bosquejo de la aplicación Login

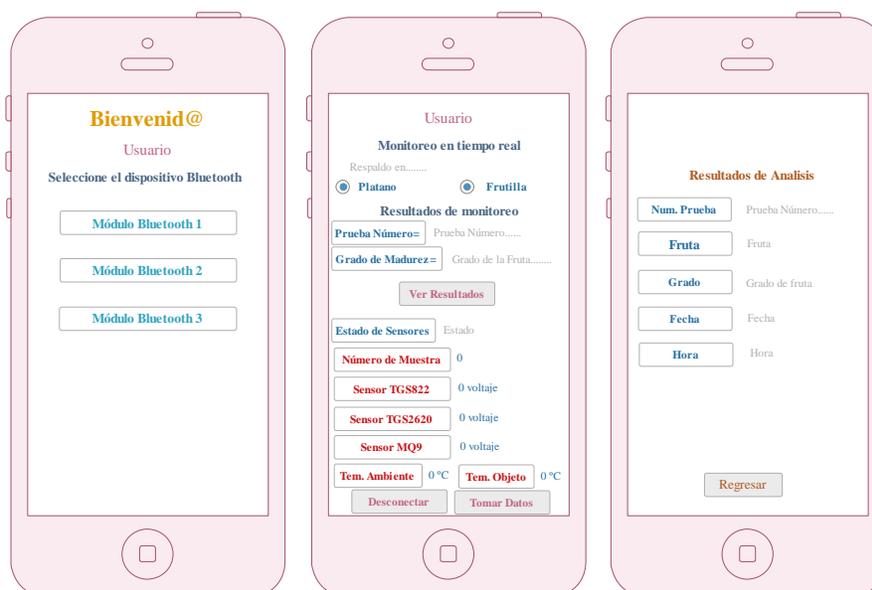


Figura 62. Bosquejo de App de la nariz electrónica

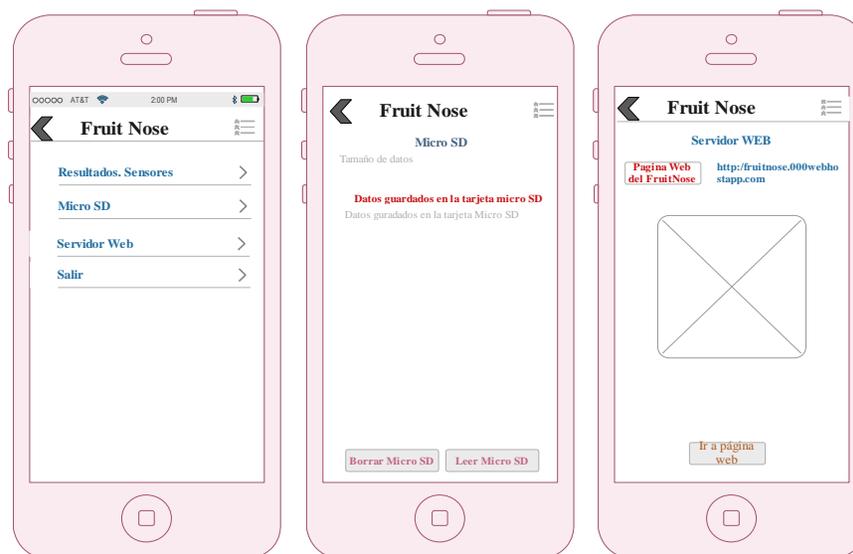


Figura 63. Bosquejo del menú de la aplicación8

3.4.3 Diseño del Servidor Web

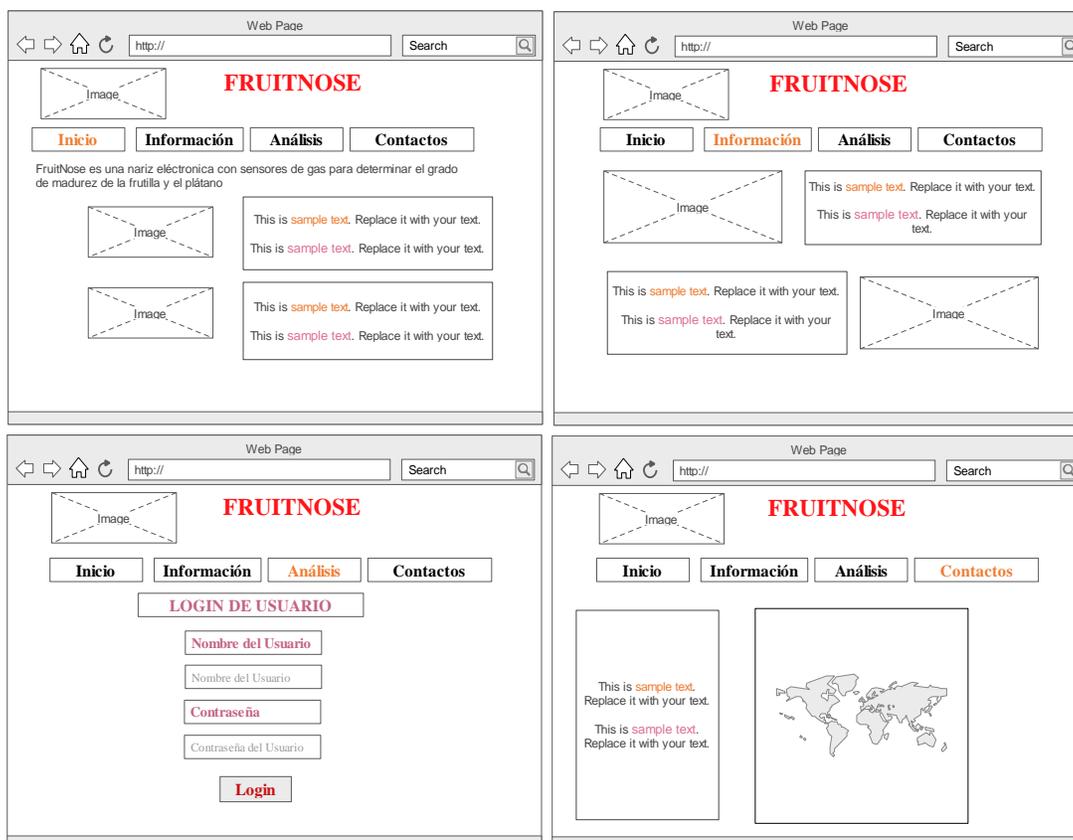


Figura 64. Diseño de la página web

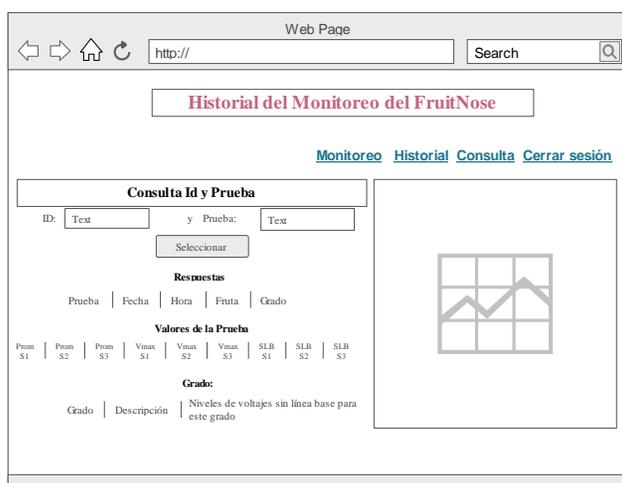
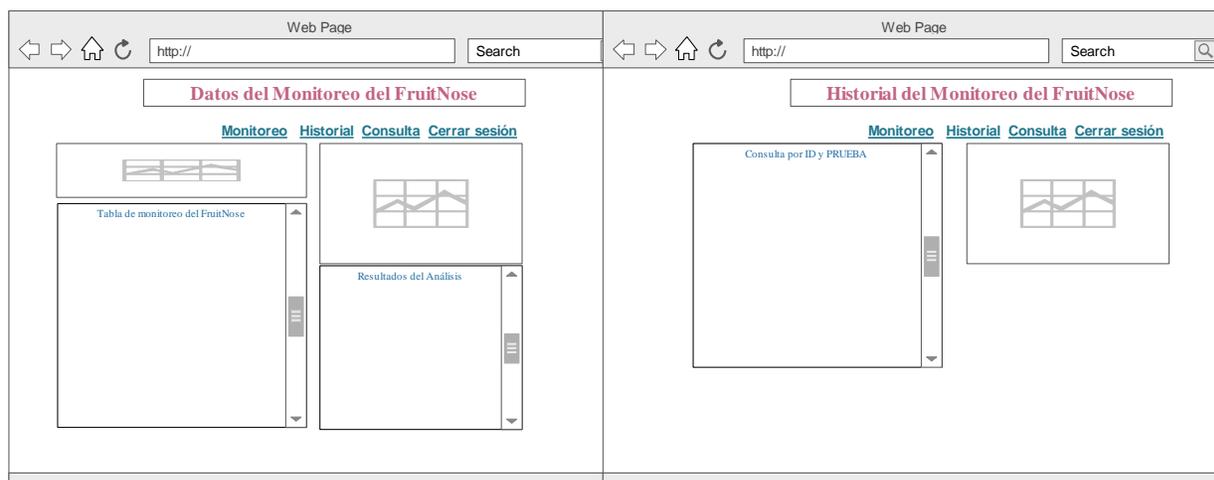


Figura 65. Diseño de opciones de análisis

Mientras en la figura 65 se muestra el diseño de la página web del sistema de nariz electrónica FruitNose.

Por otro lado, en el servidor de base de datos se crea la base para el ingreso del usuario, el monitoreo en tiempo real, y los resultados del análisis del estado de la fruta como se puede ver en la figura 66.

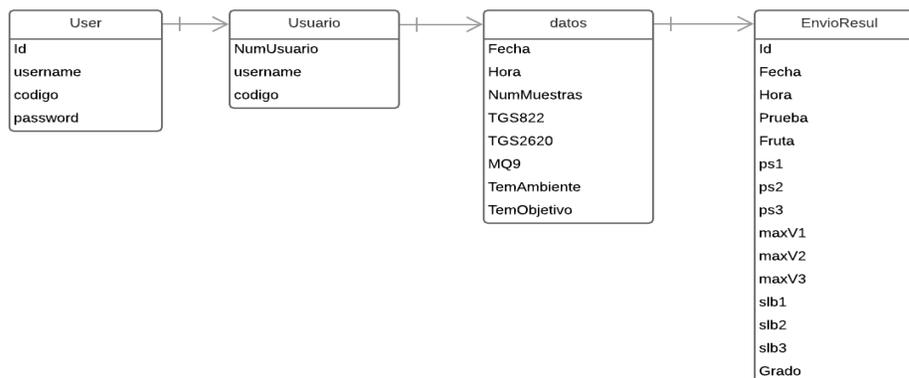


Figura 66. Tablas de la base de datos.

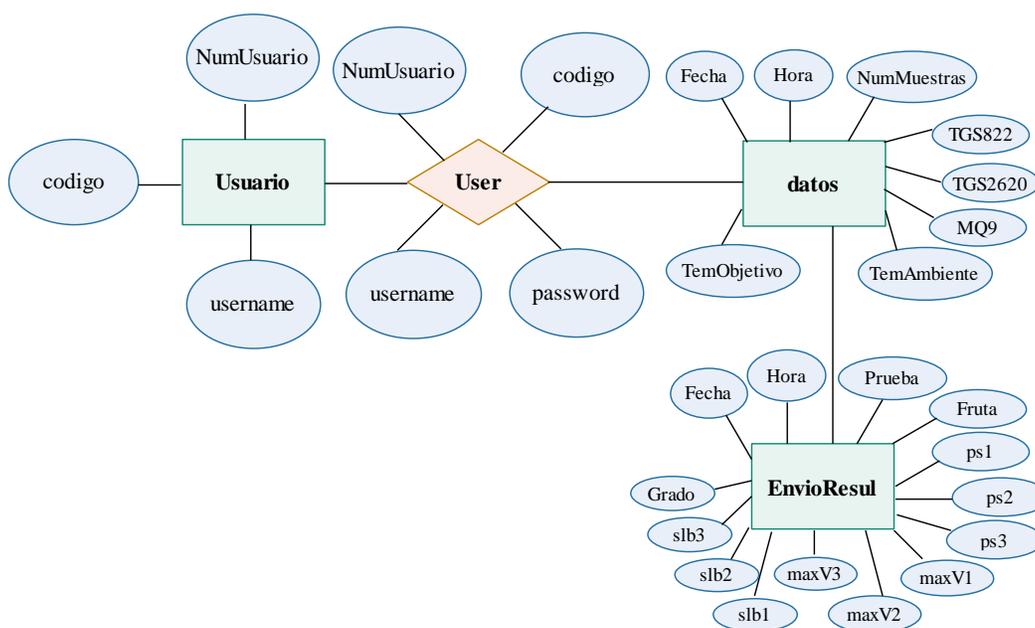


Figura 67. Entidad-Relación de la base de datos

En la base de datos existe una tabla “*Usuario*” con los atributos código, número de usuarios y el nombre del usuario, la cual está relacionada con el registro de usuarios que se realiza en la tabla “*user*”. La tabla “*datos*” guarda los datos del monitoreo de la fruta con Fecha y Hora; en la tabla “*EnvioResul*” se guarda el número de Pruebas, Fruta, promedio de los tres sensores, el valor máximo de los tres sensores, el resultado de la resta entre el promedio y los valores máximos, y finalmente el grado de madurez de la fruta.

3.5 Protocolo de Prueba

Para hacer las pruebas del prototipo, se valida los datos de los sensores, la comunicación Bluetooth hacia el dispositivo móvil y la llegada a la base de datos.

3.5.1 Pruebas para la Evaluación de Hardware

En esta sección se evalúa los tres sensores de gas TGS822, TGS2620, MQ9 y el sensor de temperatura infrarrojo GY-906.

3.5.1.1 Prueba N° 1 Temperatura de la fruta.

En esta prueba se verifica la funcionalidad del sensor infrarrojo de temperatura ante la fruta monitoreada y se obtiene gráficas de la temperatura ambiente, temperatura de la fruta, para validar que los datos obtenidos sean coherentes con la temperatura.

1. Encender el prototipo FruitNose y el sensor de referencia.
2. Toma datos de temperatura por 5 minutos con el contenedor abierto.
3. Ingresa la fruta escogida al contenedor para su monitoreo.
4. Obtener datos por 10 minutos con el contenedor cerrado.
5. Retirar la fruta y dejar por otros 5 minutos para verificar variaciones con el contenedor abierto.
6. Guardar los datos de los sensores en una tabla.
7. Graficar los datos obtenidos.

Tabla 28

Valores promedios de temperatura ambiental

-	Referencia	Sensor GY-906	Error
Promedio			

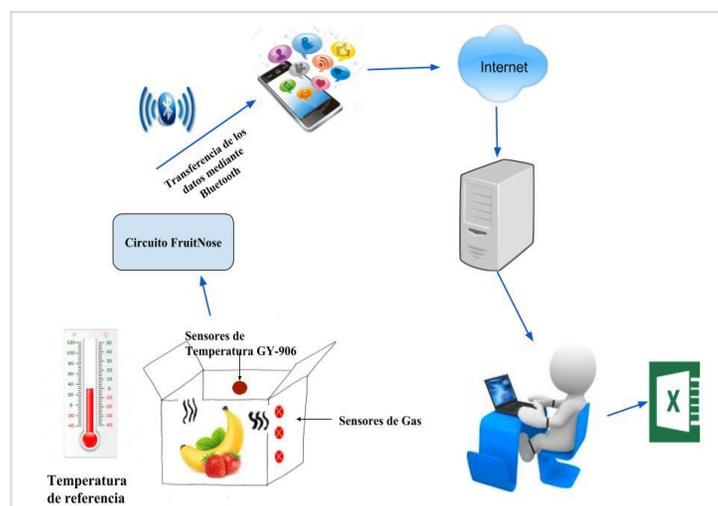


Figura 68. Escenario de prueba del sensor de temperatura

3.5.1.2 Prueba N° 2 Obtención de la Huella digital olfativa.

En esta prueba se pretende validar la obtención y caracterización de la “Huella olfativa” para cada sensor de gas y obtener las gráficas correspondientes.

1. Encender el prototipo FruitNose.
2. Tomar datos por 5 minutos con el contenedor abierto.
3. Acercar la sustancia de interés y cerrar el contenedor.
4. Obtener datos por 10 minutos.
5. Retirar la sustancia y dejar por otros 5 minutos con la caja abierta (para estabilizar los sensores).
6. Graficar los datos obtenidos.
7. Repetir al menos 3 veces este proceso.

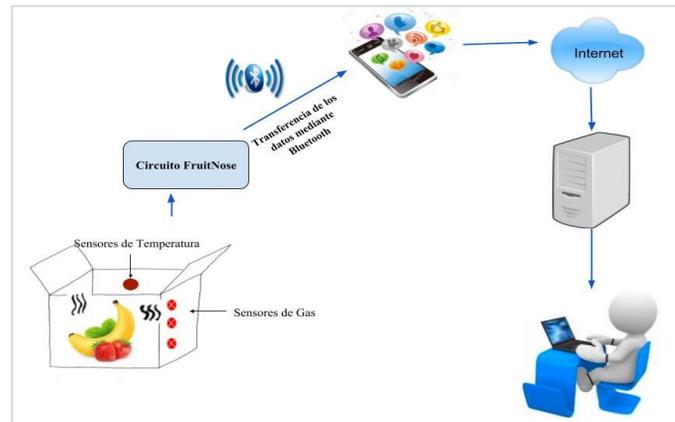


Figura 69. Escenario de Prueba para los sensores

3.5.2 Pruebas para la Evaluación del Software

Aquí se realiza la evaluación del prototipo con la aplicación móvil y el servidor web.

3.5.2.1 Prueba N° 3 Conexión del prototipo al celular y envío de datos

En esta prueba se valida los datos que se envían por el módulo Bluetooth hacia el dispositivo móvil para ello se seguirá los siguientes pasos.

1. Alimentar el prototipo mediante la conexión USB a la PC.
2. Habilitar el monitor serial del IDE de Arduino.
3. Inicializar la aplicación móvil y elegir el dispositivo para la conexión Bluetooth.
4. Elegir y enviar las opciones de monitoreo de fruta: (1) para el plátano, (2) la frutilla.
5. Verificar el envío de datos en la pantalla de la PC y del dispositivo móvil.
6. Capturar la pantalla de la PC y de la aplicación durante los 20 minutos de monitoreo de la fruta.
7. Analizar y concluir.

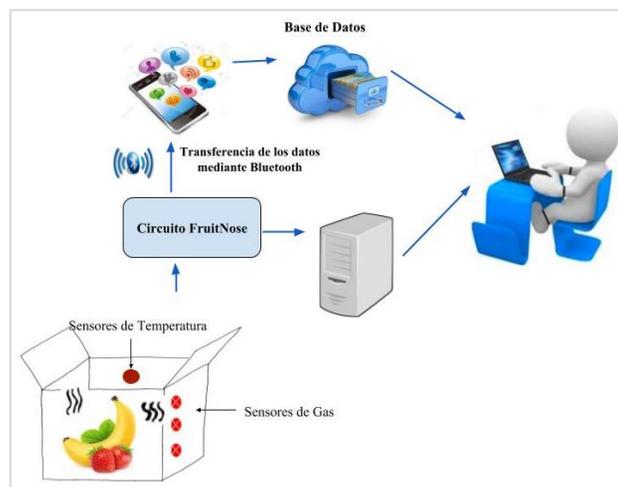


Figura 70. Escenario de una prueba 2

3.5.2.2 Prueba N° 4 Envío de base de datos

En esta prueba se validará los datos que recibe la aplicación a la base de datos en tiempo real.

Para ello se seguirá los siguientes pasos.

1. Activar la WiFi del dispositivo móvil y conectar a una red disponible.
2. Inicializar el Wireshark (Software para captura de paquetes).
3. Inicializar Packet Capture (App para el teléfono móvil para capturar paquetes).
4. Encender el prototipo FruitNose y la App.
5. Ingresar a la página web en la pestaña monitoreo
6. Dejar 5 minutos sin fruta en el contenedor.
7. Ingresar la fruta escogida para el análisis y monitorearla por 10 minutos.
8. Dejar 5 minutos para estabilizar los sensores.
9. Analizar los paquetes enviados a la base de datos.
10. Y visualizar en las páginas web (monitoreo, historial y consulta) si los datos enviados son los correctos.
11. Analizar si existe tiempo de retardo o pérdida de los datos.

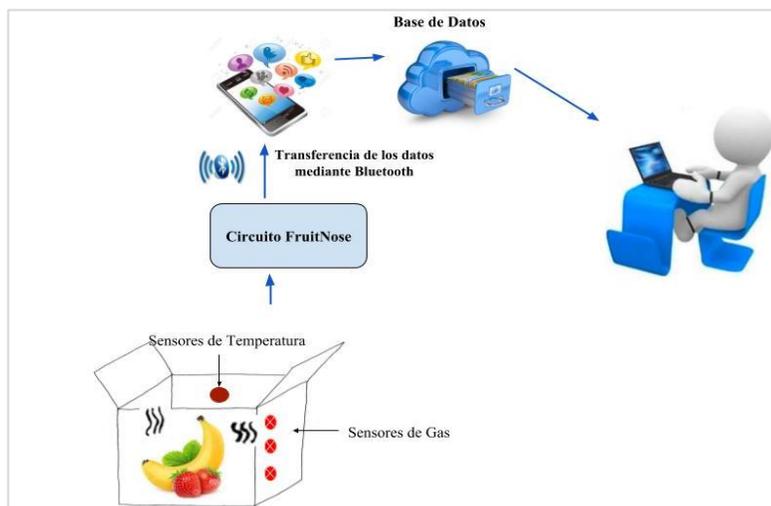


Figura 71. Escenario de Prueba de envío de base de datos

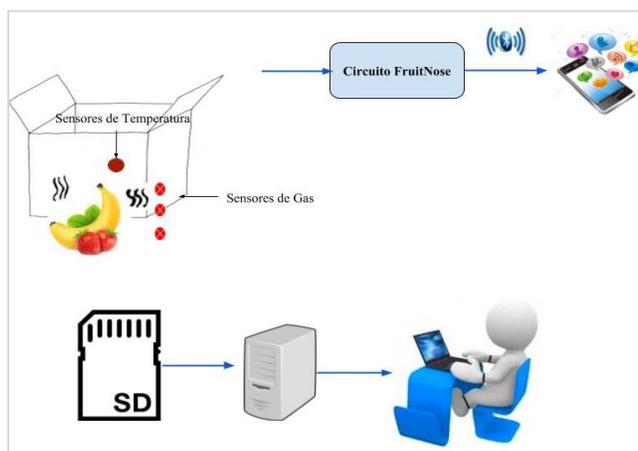
3.5.2.3 Prueba N° 5 Almacenar en micro SD

Se verifica si los datos que se encuentran en pantalla son los datos que se almacenan en la tarjeta micro SD.

1. Formatear la micro SD y colocar en el prototipo micro SD.
2. Desactivar la opción WiFi del dispositivo móvil.
3. Encender el prototipo FruitNose.
4. Recopilar datos durante 20 minutos que dura el monitoreo de la fruta.
5. Retirar la tarjeta micro SD.
6. Colocar la tarjeta micro SD en el PC para comprobar si los datos que se visualiza en la pantalla del dispositivo móvil se guardaron en la tarjeta micro SD.
7. Los datos deben guardarse en un orden establecido como se puede observar en la tabla siguiente.

Tabla 29*Formato de los datos guardados en la micro SD*

NumMuestras	TGS822	TGS2620	Mq9	TemAmbiente	TemObjeto	Prueba	Fruta	PS1	PS2	PS3	MaxV1	MaxV2	MaxV3	SLB S1	SLB S2	SLB S3	Grado
-------------	--------	---------	-----	-------------	-----------	--------	-------	-----	-----	-----	-------	-------	-------	--------	--------	--------	-------

**Figura 72.** Escenario en la prueba para guardar en la micro SD

3.5.2.4 Prueba N° 6 Prototipo y modelo

Se verificará el prototipo en su totalidad tanto en hardware, software y el modelo que permite ver el grado de madurez del plátano y frutilla.

1. Encender el prototipo FruitNose.
2. Encender la App y conectarse con el prototipo.
3. Elegir en App que fruta se monitorea.
4. Tomar datos durante 20 minutos que dura el monitoreo de la fruta.
5. En la muestra 55 se visualiza la respuesta del modelo a la fruta escogida
6. Analizar la información que se envía a la base de datos (sensores, puntos máximos, sin línea base, grado).

7. Para verificar el funcionamiento se realiza manualmente la multiplicación de los datos del modelo con los puntos sin línea base de los tres sensores.
8. La respuesta se cotejará si está en el rango que el sistema envió.

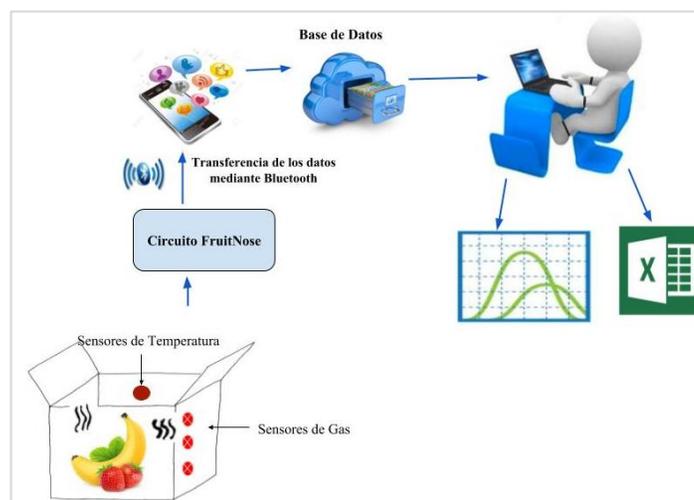


Figura 73. Escenario de prueba del prototipo y modelo

3.5.2.5 Prueba N° 7 Prototipo y sistema

En esta prueba se verifica el hardware, software del prototipo FruitNose que permite ver el grado de madurez del plátano y frutilla.

1. Encender el prototipo FruitNose.
2. Encender la App y conectarse con el prototipo.
3. Elegir en App que fruta se monitorea.
4. Tomar datos por 5 minutos sin fruta en el contenedor.
5. Se ingresa la fruta y se monitorea por 10 minutos.
6. Y para que se estabilice los sensores se monitorea por 5 minutos más.
7. En la muestra 55 se visualiza la respuesta del modelo a la fruta escogida
8. Ingresar a la siguiente dirección <https://fruitnose.000webhostapp.com>
9. Visualizar los resultados en la página web de la nariz electrónica FruitNose.

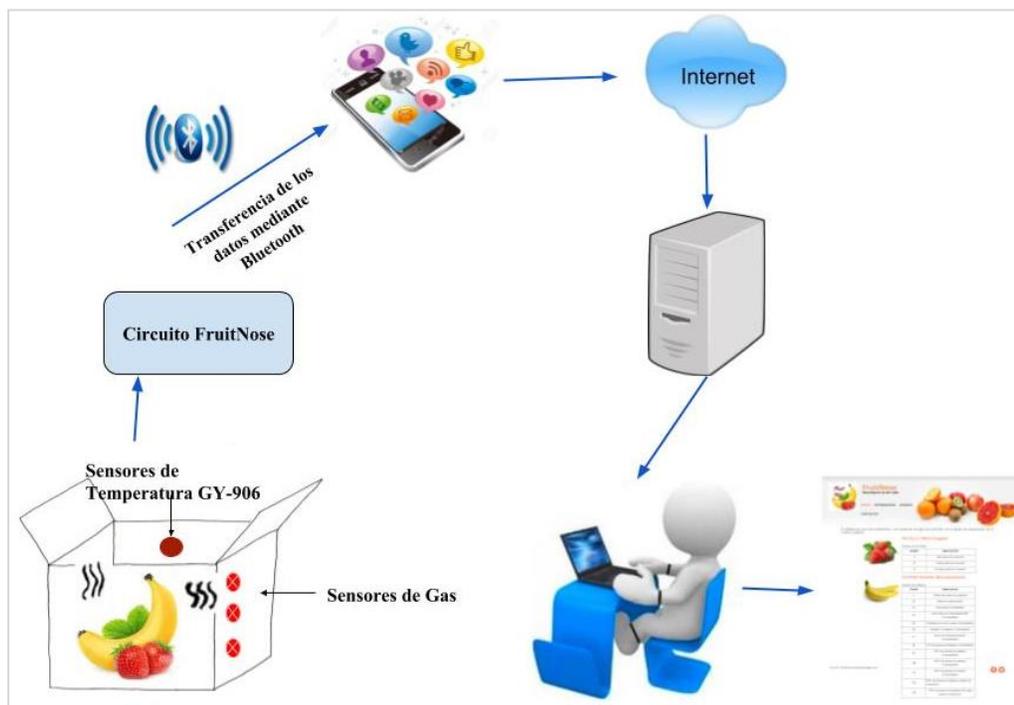


Figura 74. Escenario de prueba del prototipo y modelo

CAPITULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

En la nariz electrónica están implementados sensores de gas, el sensor de temperatura y los módulos de la Micro SD, Bluetooth que en conjunto con el software de la aplicación móvil monitorea en tiempo real a la fruta.

4.1 Evaluación de pruebas de hardware

Para evaluar el hardware es necesario realizar las pruebas de los sensores incorporados al dispositivo electrónico, y hacer el monitoreo de las frutas propuestas en el tiempo establecido para el monitoreo. Para evaluar todo el sistema se utilizaron el protocolo de pruebas propuestas en el Capítulo III.

4.1.1 Análisis de resultados prueba N° 1 Temperatura de la fruta.

El monitoreo de la temperatura de la fruta permite ver si la fruta en análisis a recibido algún tipo de cuidado para su conservación. La cadena de frío en las frutas y hortalizas son muy comunes para su preservación, aspecto que influye sobre la maduración de la fruta y el tiempo de consumo.

En la figura 75 se puede observar que la frutilla tiene una temperatura similar a la temperatura ambiente, esto varia debido a que la temperatura de la fruta es mayor que la temperatura ambiente por el proceso de maduración.

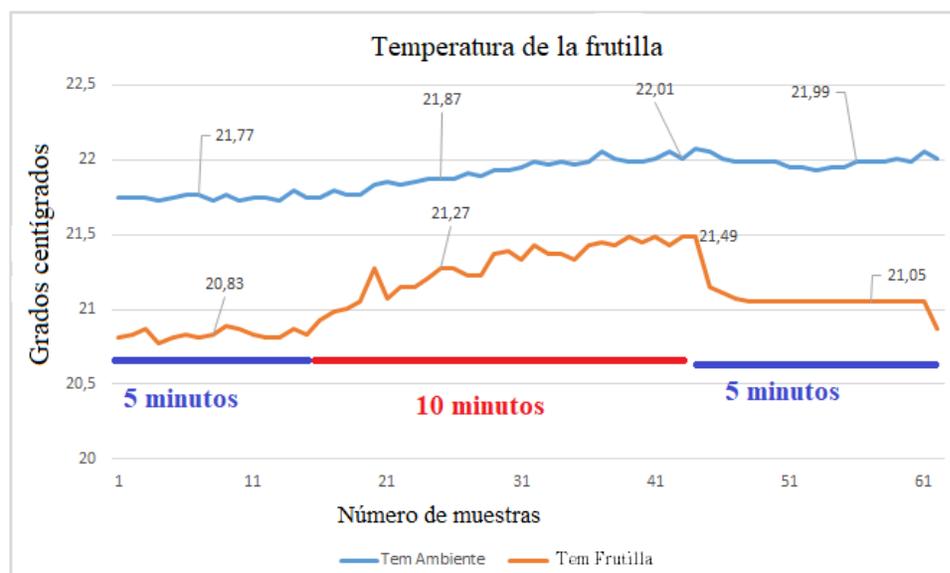


Figura 75. Temperatura de la frutilla y su ambiente

Tabla 30

Promedio de las temperaturas en el rango de muestras 16-45

Promedio de la temperatura ambiente	Promedio de la temperatura de la frutilla
21,9125	21,2667

Se tomó el promedio del rango desde la muestra 16 a la muestra 45 ya que en este rango de muestras se ingresa la fruta al contenedor para su monitoreo. Como se observa en la tabla 30 las temperaturas son similares ya que la fruta se conservó en la temperatura ambiente.

En la figura 77 se visualiza la temperatura de la frutilla que se conservó en refrigeración durante 2 días, la temperatura del fruto es menor a la temperatura ambiente, como se puede observar en la tabla 31. En el caso de esta frutilla que lleva dos días conservándose en el refrigerador, emitirá menos gases que una frutilla conservada los dos días en una temperatura ambiente.

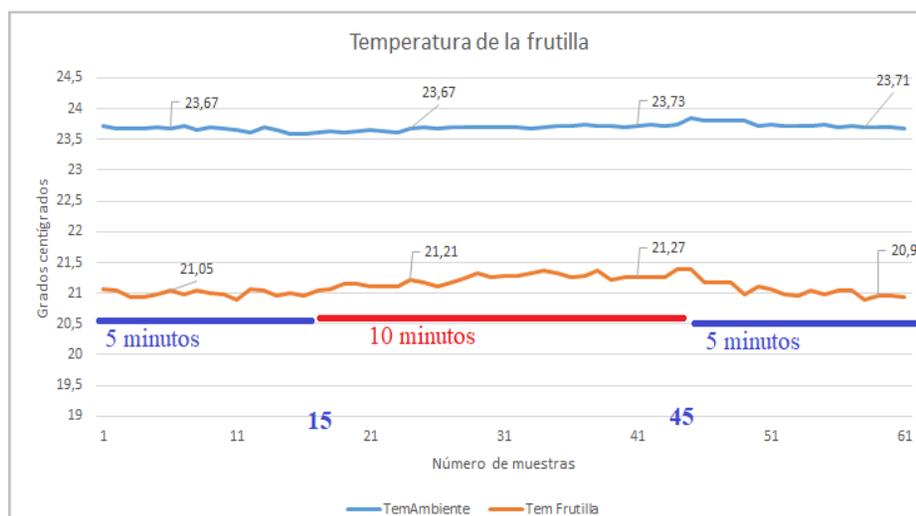


Figura 76. Temperatura ambiente y de la frutilla que se conservó en el refrigerador

Tabla 31

Promedio de las temperaturas de la frutilla

Promedio de la temperatura ambiente	Promedio de la temperatura de la frutilla
23,6931	21,2181

Para poder validar los datos del sensor infrarrojo de temperatura GY-906 se toma como referencia los datos de un sensor LM35 (tabla 32).

Tabla 32

Valores promedios de temperatura ambiental

-	Referencia Lm35	Sensor GY-906 Tem. Ambiente	Error	Referencia Lm35	Sensor GY-906 Tem. Objeto	Error
Promedio	23,700	23,047	2,83%	20,340	21,121	3,84%

Como se puede apreciar en la tabla 32 el valor del sensor infrarrojo GY-906 en temperatura ambiente tiene 0,6523°C de diferencia con el valor de referencia, lo que implica en 2,83% de error, mientras que la temperatura del objeto tiene 0,781°C de diferencia lo que implica el 3,84%.

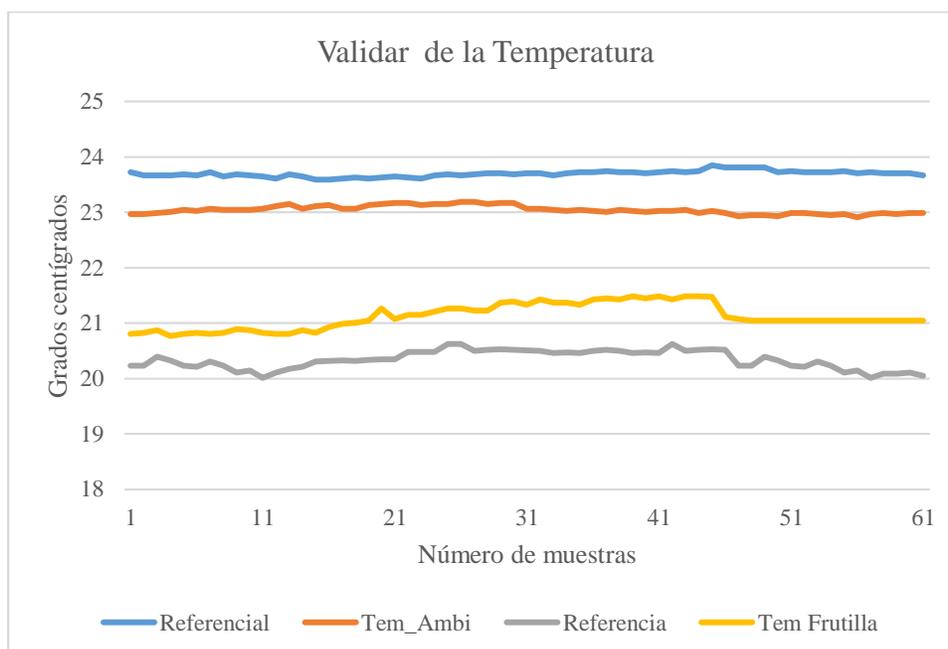


Figura 77. Datos de la temperatura referencial- temperatura del sensor GY-906

En las figuras 78 y 79 se visualiza que la temperatura aumenta con el transcurso de los días.

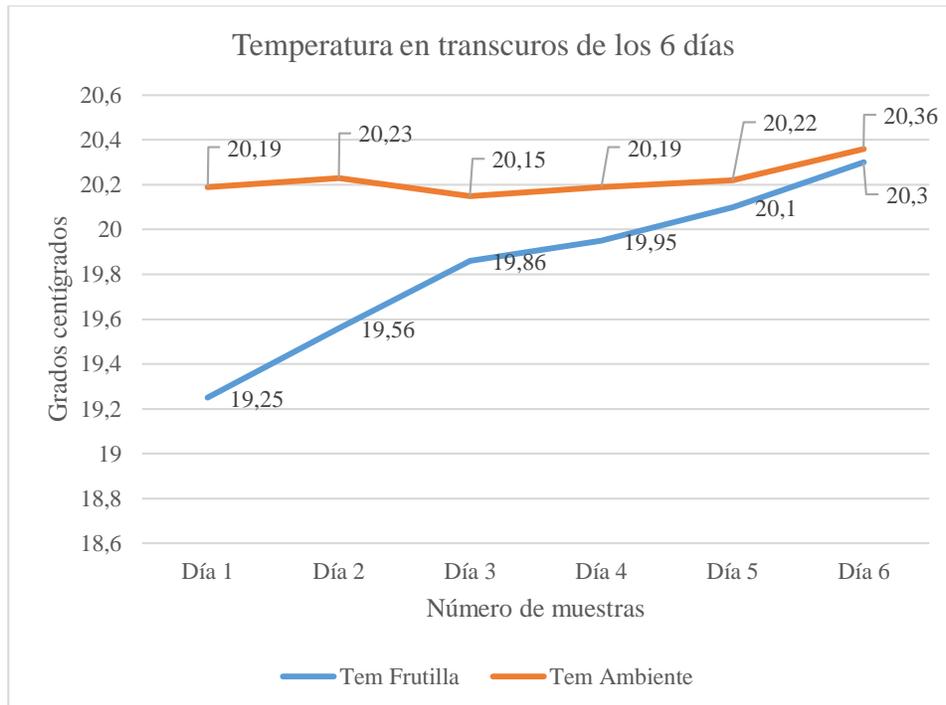


Figura 78. Temperatura de la Frutilla en 6 días.

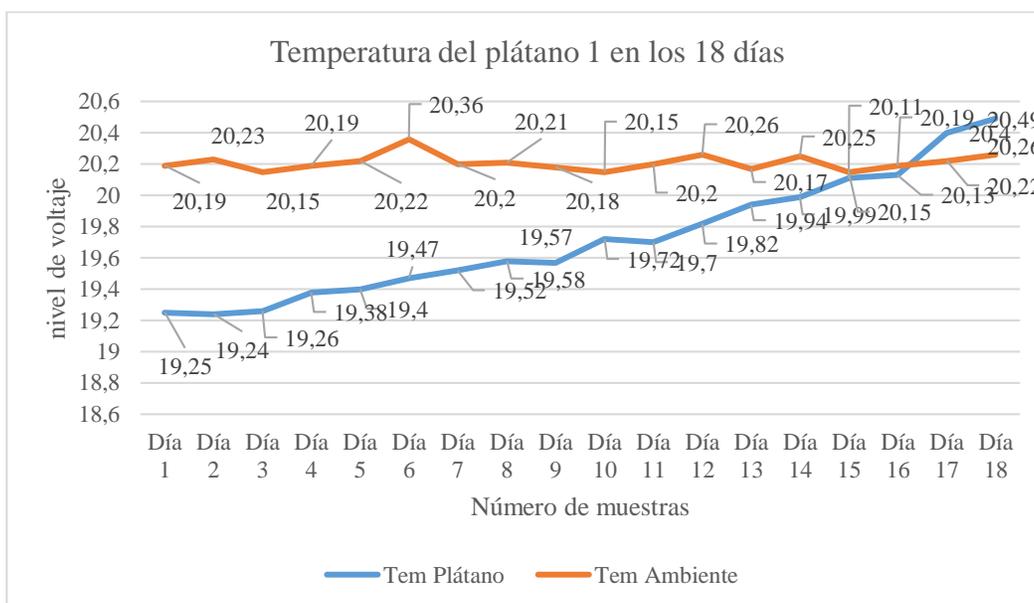


Figura 79. Temperatura del plátano 1 en transcurso de los 18 días

4.1.2 Análisis de resultados prueba N° 2 Obtención de la Huella digital olfativa

Se realiza el análisis de los datos obtenidos de las 3 frutillas y 3 plátanos. En las figuras 81, 82 y 83 se puede ver la reacción de cada sensor ante el aroma emitida por una frutilla.

En la siguiente figura 80 se muestra los datos de la frutilla, el voltaje aumenta en el transcurso de los días.

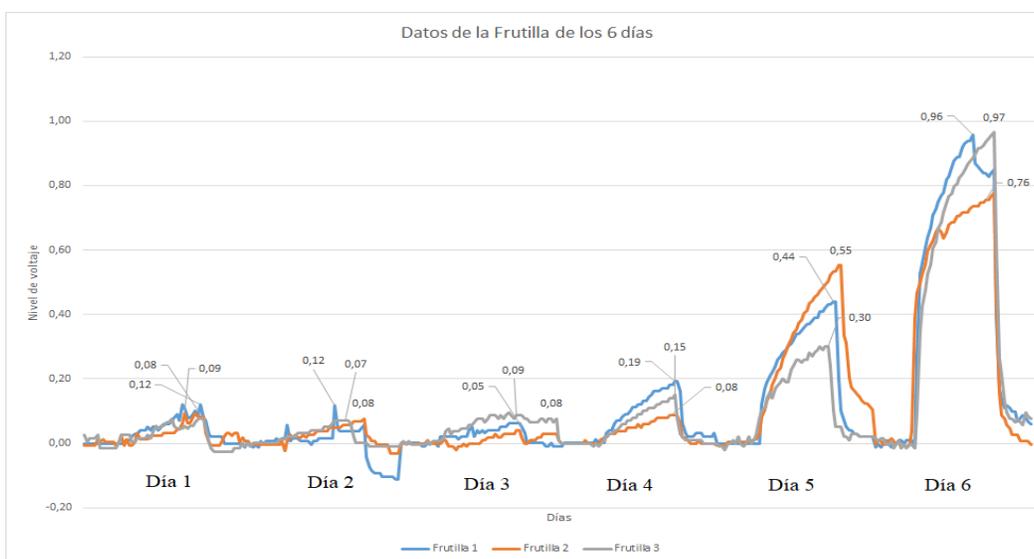


Figura 80. Datos de las tres frutillas de los 6 días

En la figura 81 se puede observar que en el día 1, 2 y 3 las gráficas tienden a mantener el nivel de voltaje similar, a partir del día 4 se ve un aumento de voltaje con un pico de 0,19 V, el día 5 tiene un pico de 0,44 V y en el día 6 se incrementó el pico a un 0,96 V.

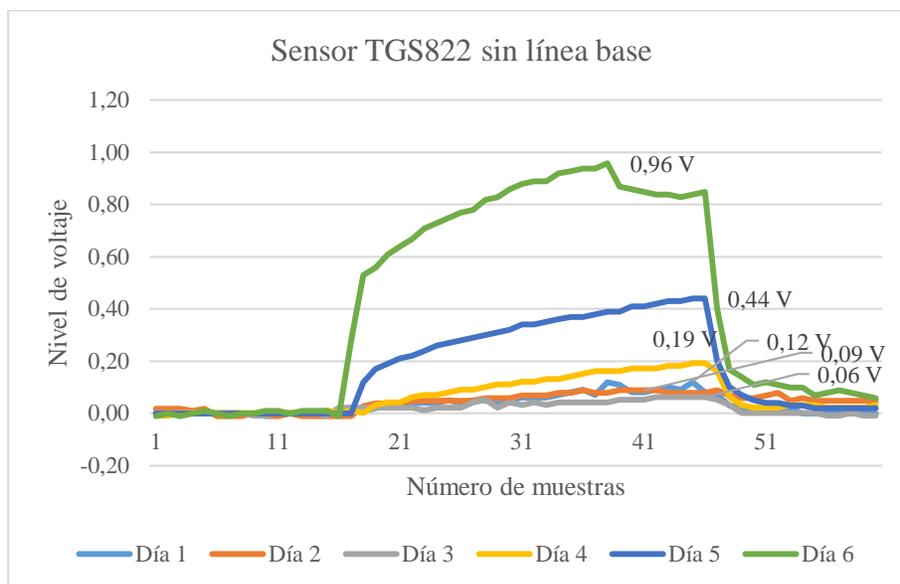


Figura 81. Datos de la frutilla del sensor de gas TGS822

La figura 82 muestra el comportamiento del sensor TGS2620 a la frutilla sin línea base.

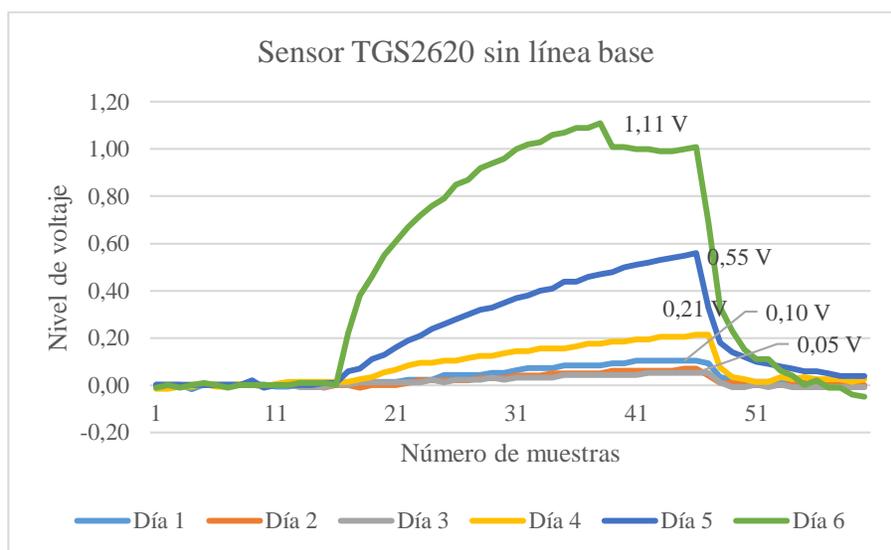


Figura 82. Datos de la frutilla del sensor gas TGS2620

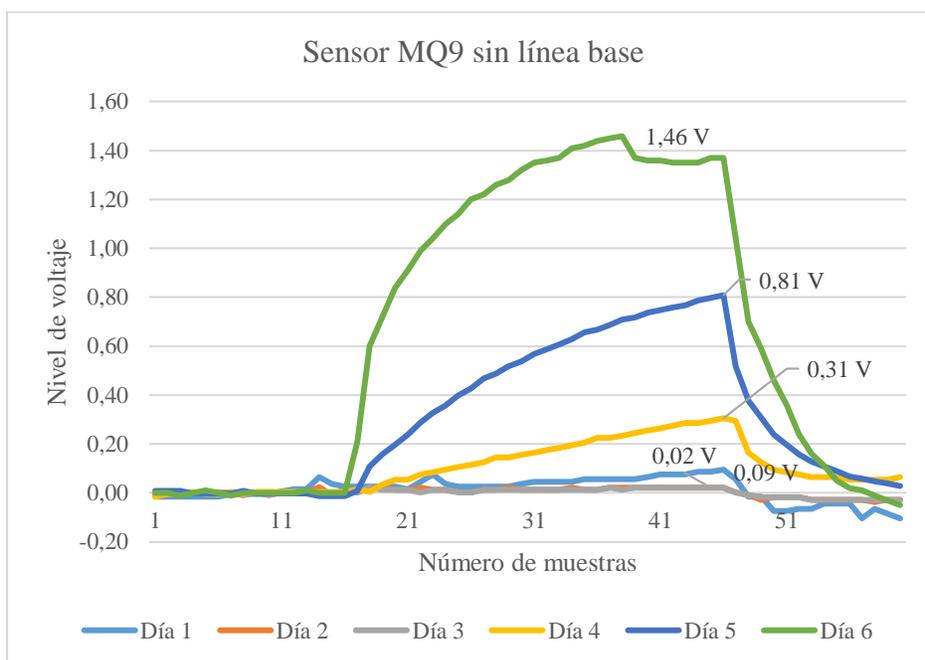


Figura 83. Datos de la frutilla del sensor gas MQ 9

En la figura 84 se observa la respuesta de los sensores que tienen una línea base vista como un nivel de offset respecto al eje horizontal, aspecto que se elimina sacando el promedio de las 15 primeras muestras, menos el valor máximo entre la muestra 16 – 45 como se ve en la tabla 33.

$$Prom = \sum_{i=0}^{i=15} Muestras_i$$

$$Max_{sensor} = Máximo \left\{ \begin{matrix} i = 45 \\ i = 16 \end{matrix} Muestra_i \right\}$$

$$SLB = Max_{sensor} - Prom$$

Tabla 33

Información de la frutilla 1 en el día 1

Promedio de los sensores entre la muestra 1-15			Máximos de los sensores entre la muestra 16-45			Máximos valores sin línea base		
Prom S1	Prom S2	Prom S3	Max S1	Max S2	Max S3	Slb S1	Slb S2	Slb S3
0,42	0,32	0,17	0,54	0,42	0,8	0,12	0,10	0,09

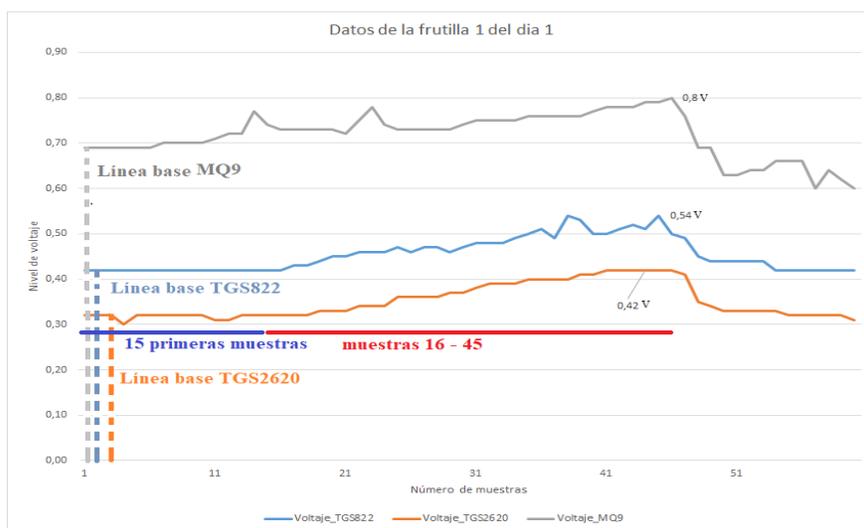


Figura 84. Datos con línea base de la frutilla 1 del día 1

En la figura 85 se observa los resultados de eliminar la línea base a los datos de la frutilla 1 del día 1, donde los tres sensores están a nivel del 0.00 V, sin un nivel de offset con respecto al eje horizontal. Cabe mencionar que los datos a partir de la muestra 46 son datos sin sensar fruta, esperando la estabilidad de los sensores y no intervienen en los cálculos. Esta operación se realiza a todos los datos obtenidos de las dos frutas analizadas, para más detalles de los datos obtenidos ver Anexo 2.

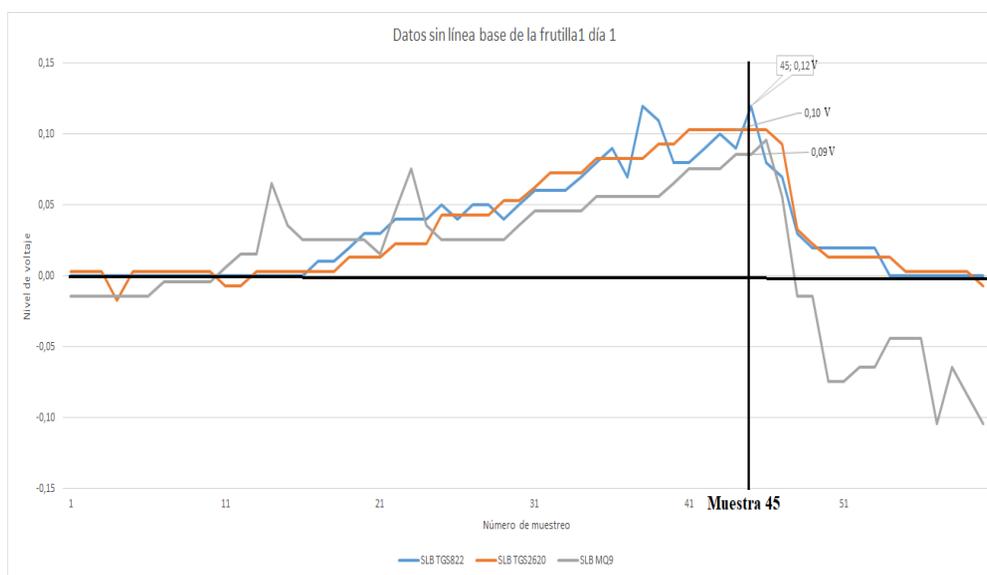


Figura 85. Datos sin línea base de la frutilla 1 del día 1.

En la figura 86 se muestra el patrón que generan los puntos altos, luego de eliminar la línea base para los seis días. Y como es de esperarse el patrón va en aumento de acuerdo a los días que se conservó la frutilla debido a que durante su proceso de maduración despiden mayor cantidad de gases.

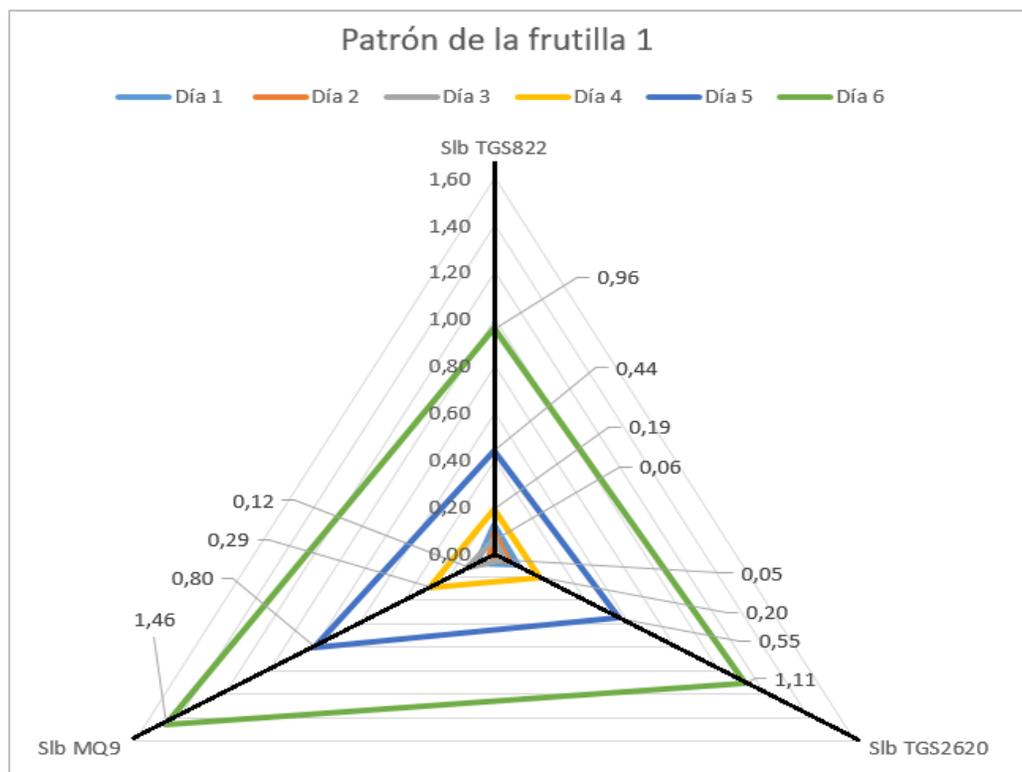


Figura 86. Patrón de los seis días de la frutilla 1

En el caso del plátano existe 18 días en los que se monitorea la fruta como se puede observar en la figura 87. Y para una mejor visualización se separan los datos como en las figuras 88, 89, 90 se muestra el aroma del plátano 1 en los primeros 6 días del sensor TGS822, el aroma del plátano del día 7 al día 12 del sensor TGS2620 y el aroma del plátano 1 de los 6 últimos días del sensor MQ9 respectivamente. Para más detalles de los datos obtenidos ver el Anexo 2.

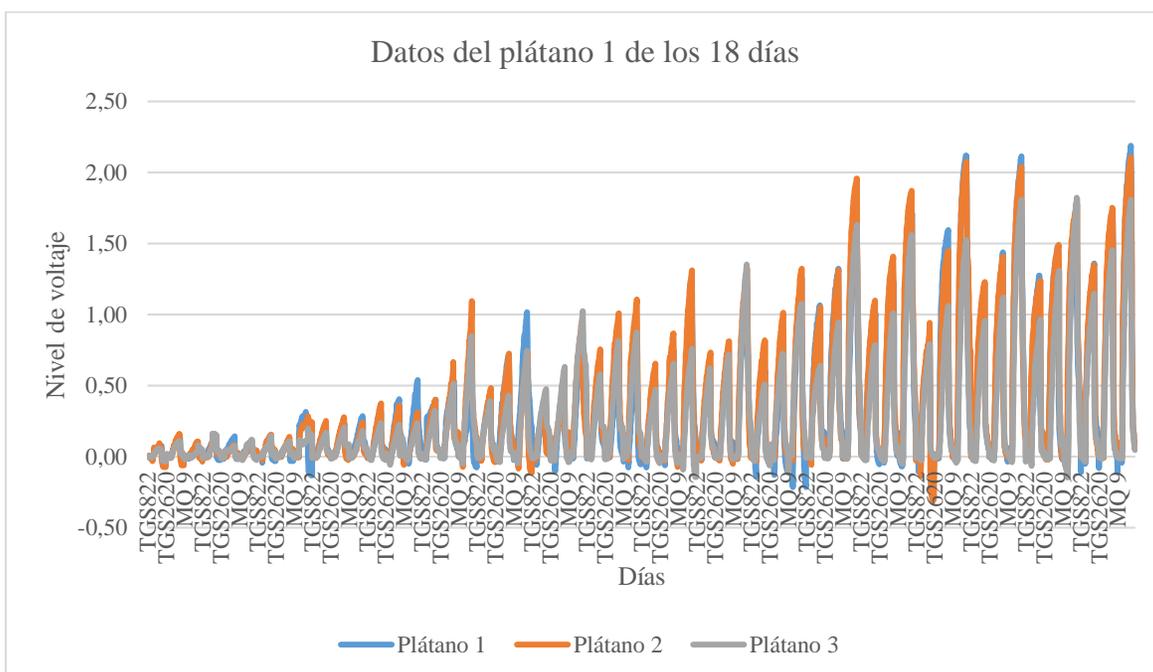


Figura 87. Datos del plátano 1 de los 18 días

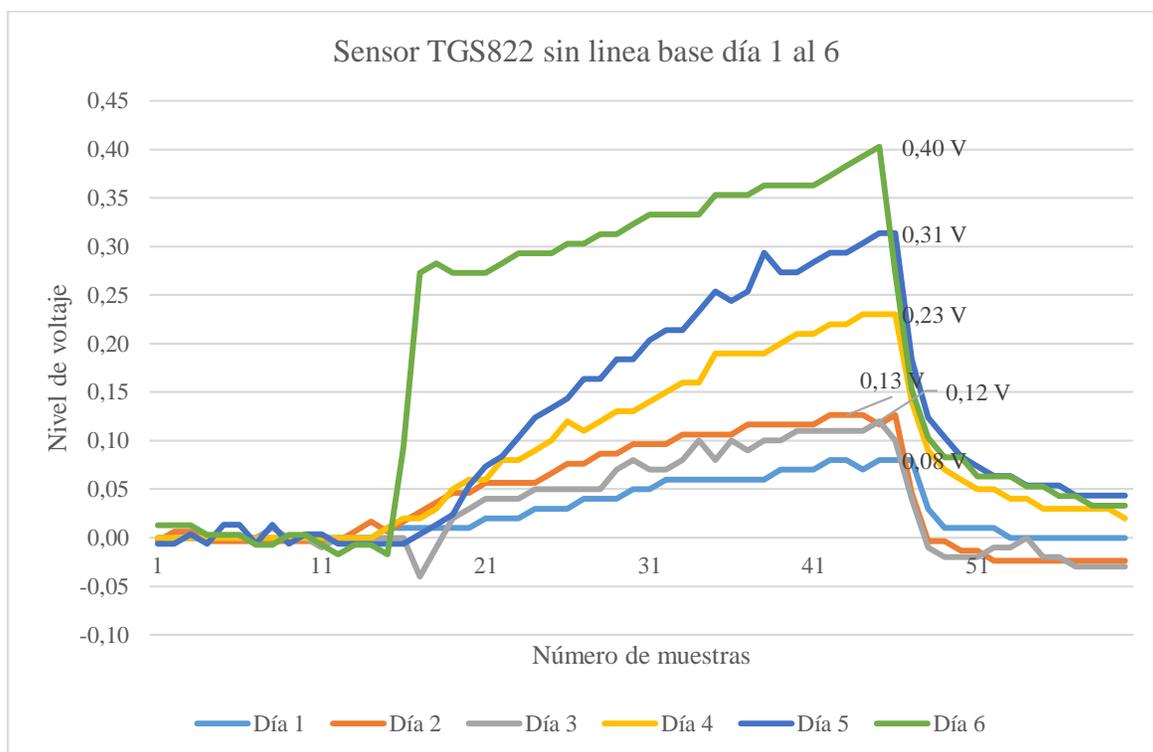


Figura 88. Datos del plátano 1 del sensor TGS822

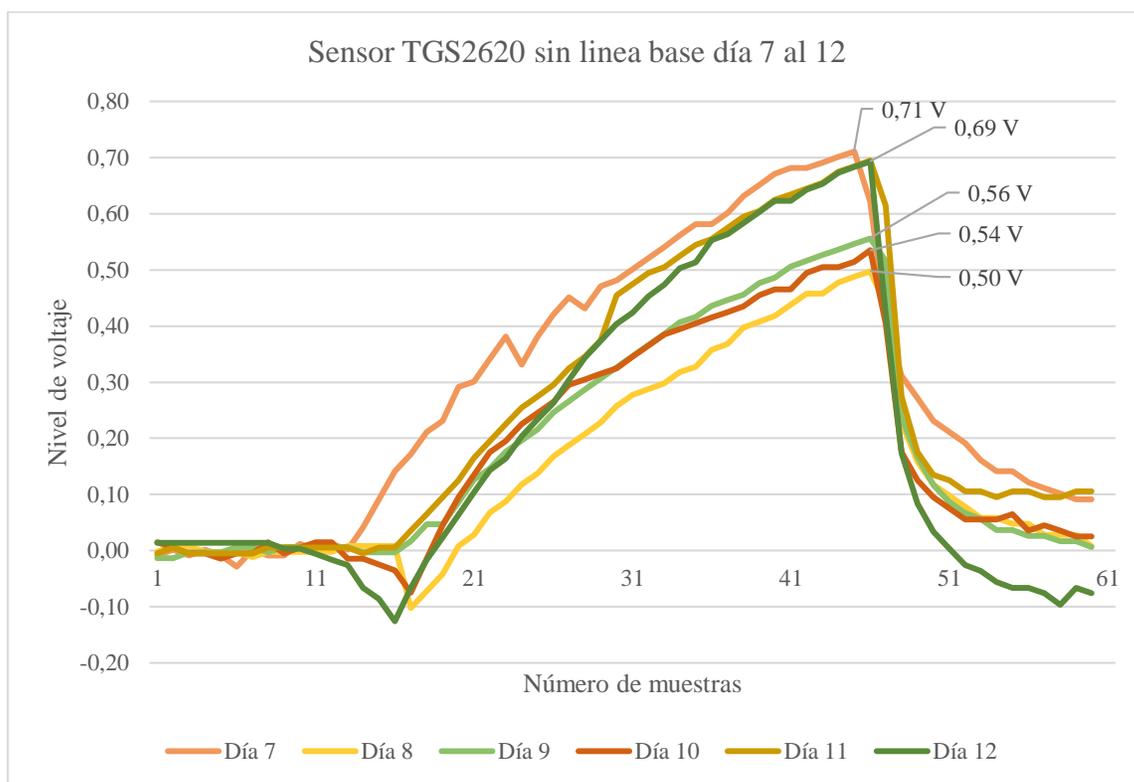


Figura 89. Datos del plátano 1 del sensor TGS2620

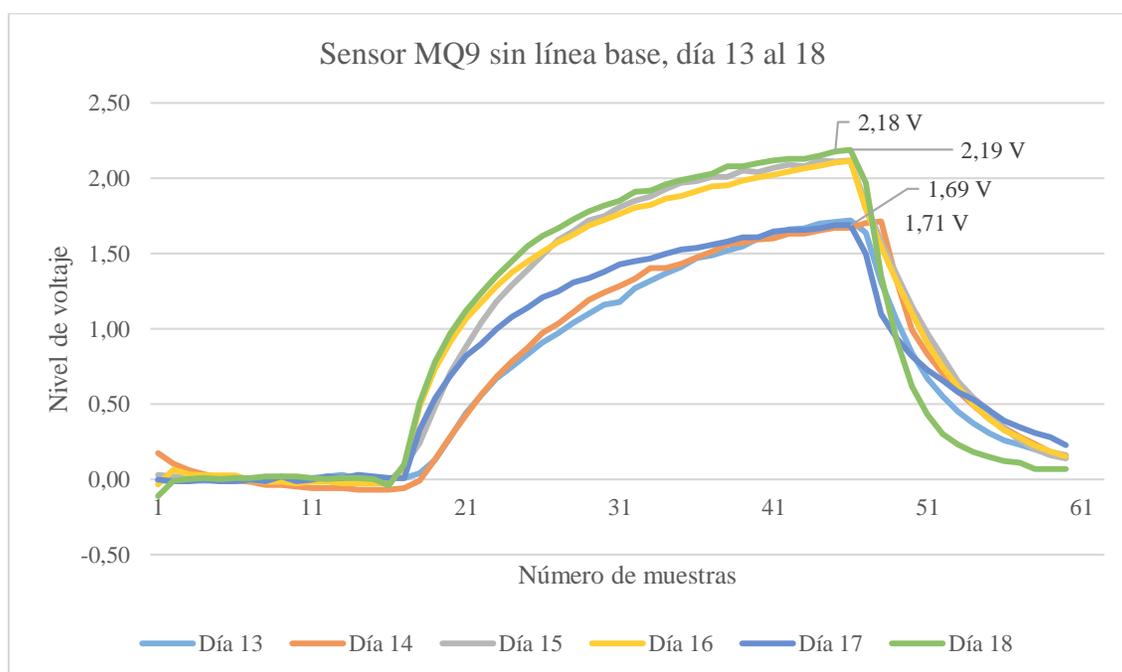


Figura 90. Datos del plátano 1 del sensor MQ9.

Los datos que se puede observar en las figuras 91 y 92, son los datos del plátano 1 en el sexto día. Como primer proceso se obtendrá el promedio de las 15 primeras muestras, como segundo paso se calcula el valor máximo entre la muestra 16 y 45 y por último se resta los valores máximos con los promedios de cada sensor para obtener un valor sin línea base. Para más detalles de los datos obtenidos de la fruta ver Anexo 2.

$$Prom = \sum_{i=0}^{i=15} Muestras_i$$

$$Max_{sensor} = \text{Máximo} \left\{ \begin{matrix} i = 45 \\ i = 16 \end{matrix} Muestra_i \right\}$$

$$SLB = Max_{sensor} - Prom$$

Tabla 34

Datos del plátano 1 del día 6

Promedio de los sensores entre la muestra 1-15			Máximos de los sensores entre la muestra 16-45			Máximos valores sin línea base		
Prom S1	Prom S2	Prom S3	Max S1	Max S2	Max S3	Slb S1	Slb S2	Slb S3
0,30	0,23	0,54	0,70	0,77	0,94	0,40	0,54	0,40

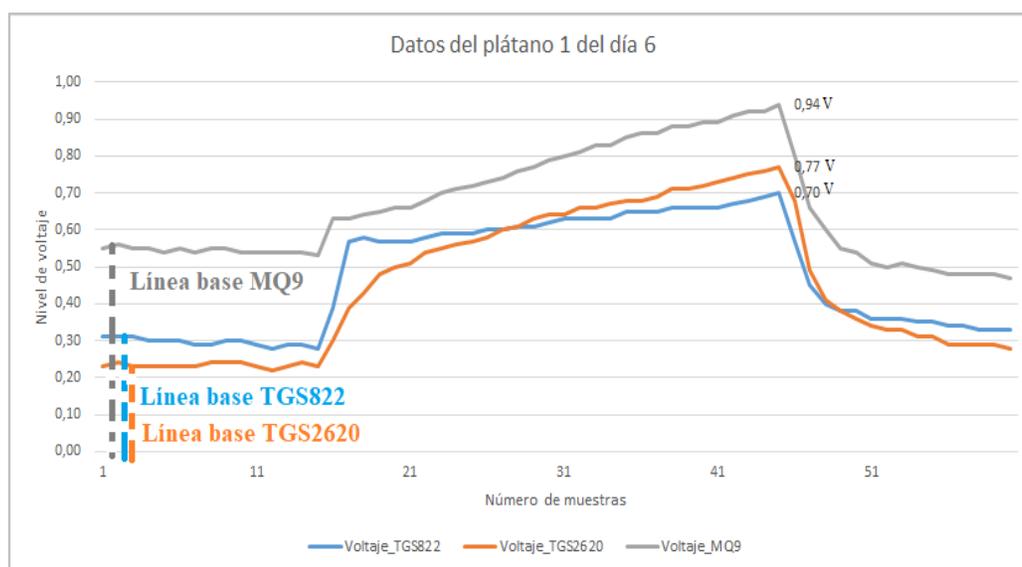


Figura 91. Datos con línea base de los tres sensores

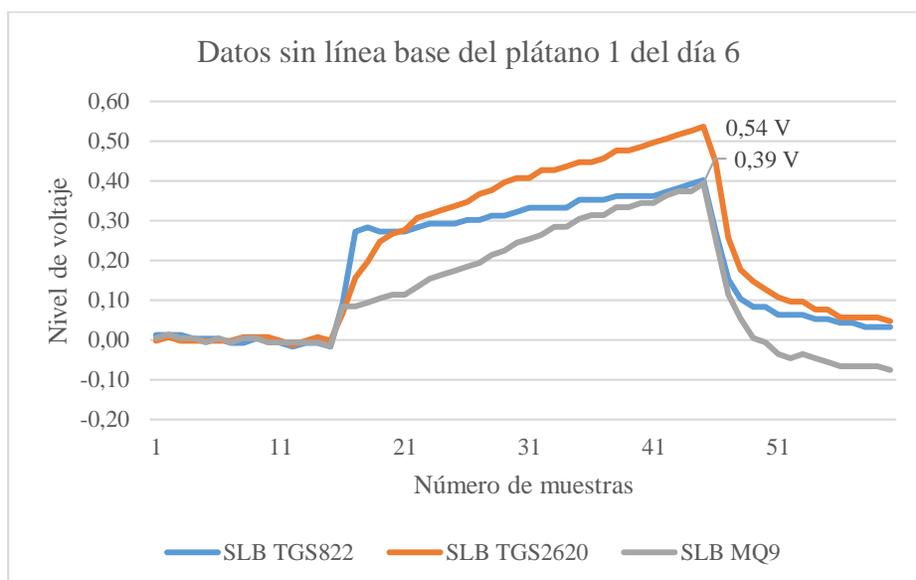


Figura 92. Datos sin línea base de los tres sensores

En las figuras 93, 94 y 95 se muestran el patrón que se genera el resultado de eliminar la línea base de los puntos altos, de los 18 días. En la figura 93 el patrón del plátano del día 1 al día 6, la figura 94 el patrón del plátano del día 7 al día 12 y en la figura 95 el patrón del plátano del día 13 al día 18.



Figura 93. Patrón del plátano 1 del día 1 al día 6.

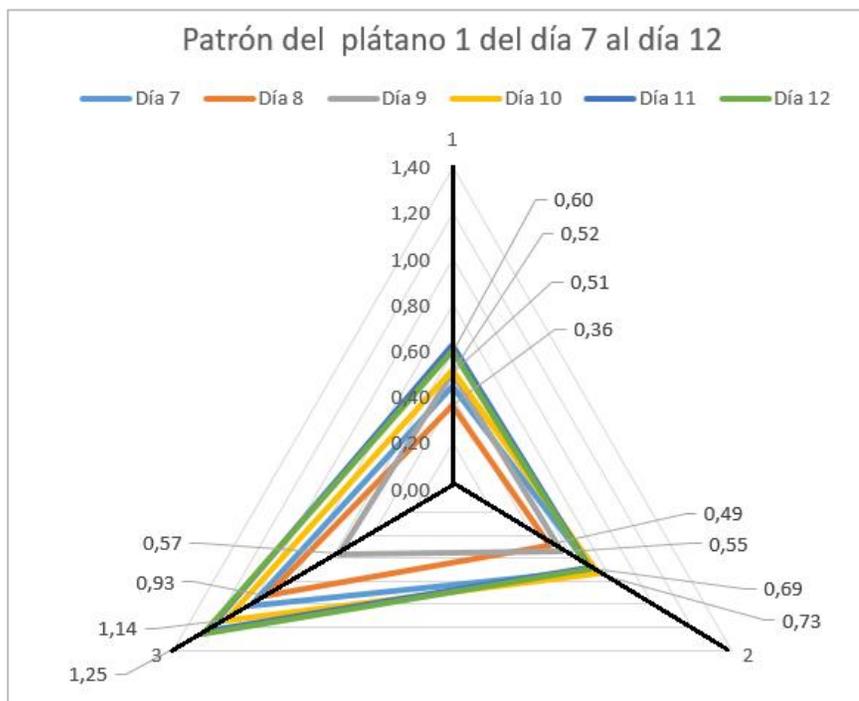


Figura 94. Patrón del plátano 2 del día 7 al día 12

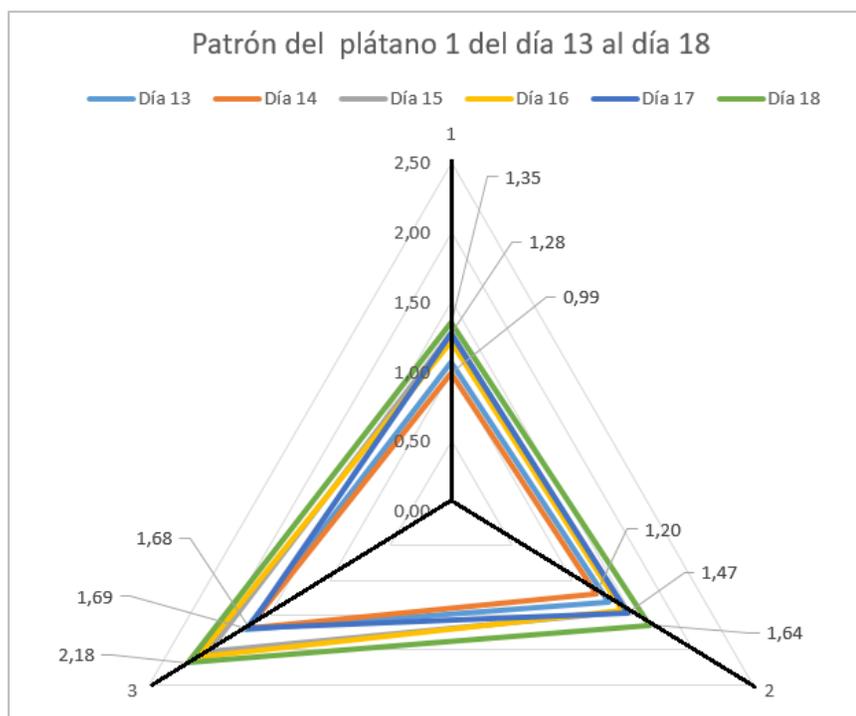


Figura 95. Patrón del plátano 1 del día 13 al día 18

En la figura 96 se puede observar el patrón del plátano 1 durante ciertos días del periodo de análisis como: día1, día 3, día 6, día 9, día 12, día15, día18

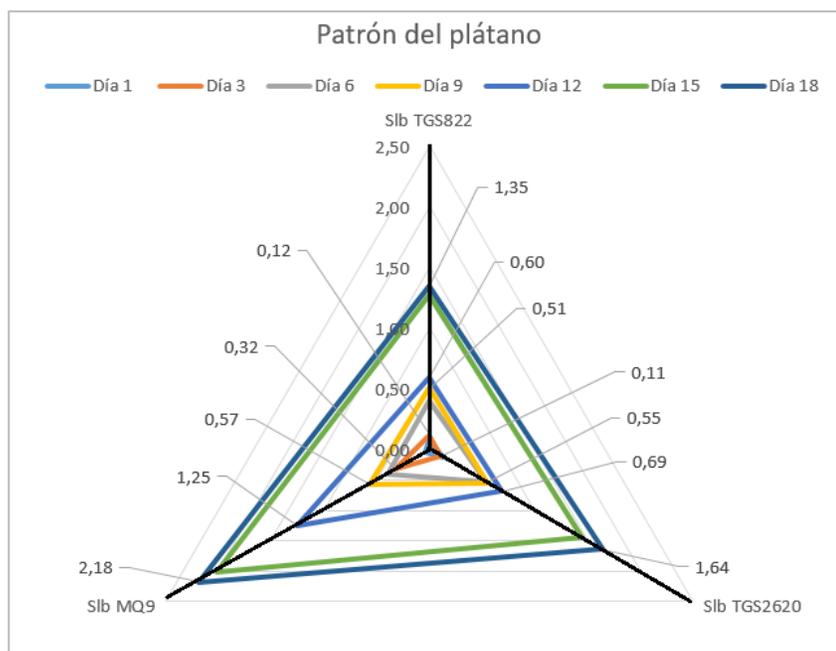


Figura 96. Patrón del plátano de algunos días

Como se pudo ver en el patrón de la frutilla de los seis días (figura 86), es más visible identificar los niveles de maduración ya que tiene pocos días de vida útil. Mientras que en el caso del plátano es más complejo identificar el nivel de maduración, por tener más días de conservación, pero si existe una diferencia entre los patrones de los días 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18, los cuales permiten identificar el grado de maduración para el plátano.

4.2 Evaluación de pruebas de software

Para determinar la confiabilidad del sistema es necesario realizar pruebas de software y hardware entre ellas está la conectividad del prototipo FruitNose con la aplicación móvil y el servidor web. Las pruebas se realizan bajo el protocolo de pruebas descrito en el Capítulo III.

4.2.1 Evaluación de la prueba N° 3 Conexión del prototipo al celular y envío de datos

La comunicación entre el prototipo y la aplicación es importante, validar que los datos enviados sean los correctos. Para ello se usa el prototipo y el monitor serial del IDE Arduino.

Para ello se captura los datos recibidos por la aplicación FruitNose en diferentes muestras y se compara con los datos recibidos por el monitor serial del Arduino.

En la comparación se observa que los datos recibidos en la aplicación móvil son los mismos datos que se observa en el monitor serial del IDE del Arduino. Por lo que empíricamente se puede determinar que se establece la conexión y se realiza el envío de los datos.



Figura 97. Datos de la muestra 1 y 2 en la aplicación móvil

La selección actual no contiene una columna única. La edición de la grilla y los...

Mostrando filas 0 - 9 (total de 10, La consulta tardó 0.0025 segundos.)

```
SELECT * FROM `EnvioDatos`
```

Mostrar todo | Número de filas: 25 | Filtrar filas: Buscar en est

NumMuestras	TGS822	TGS2620	Mg9	TemAmbiente	TemObjetivo
1	0.94	0.75	1.48	23.09	20.87
2	1.81	1.47	1.57	23.23	21.05
3	1.68	1.3	1.33	23.27	20.95
4	2.42	2.03	1.39	23.31	20.87
5	1.1	1.15	1.5	23.33	20.87

Figura 100. Datos guardados en la base de datos

4.2.2 Evaluación de la prueba N° 4 Envío a la base de datos

Los datos que envía el Arduino a la aplicación móvil del monitoreo de la fruta se envía en forma de un vector de 18 posiciones, en la aplicación móvil el vector se divide en dos, el primer vector son los datos de la tabla 35 que se guardan en la tabla “datos” de la base de datos, el segundo vector son los datos de la tabla 36 que se guarda en la tabla “EnvioResul”. La información se puede visualizar en tres páginas web: último monitoreo, el historial de resultados, y consulta.

La base de datos consta de una tabla “datos” que guarda información del monitoreo, la tabla “EnvioResul” guarda la información sobre el análisis.

Tabla 35

Formato con el que se guarda la tabla “datos”

Fecha	Hora	NumMuestras	TGS822	TGS2620	TemAmbiente	TemObjeto
-------	------	-------------	--------	---------	-------------	-----------

Tabla 36

Formato con el que se guarda la tabla “EnvioResul”

ID	Fecha	Hora	Prueba	Fruta	PS1	PS2	PS3	Maxv1	Maxv2	Maxv3	SLB1	SLB2	SLB3	Grado
----	-------	------	--------	-------	-----	-----	-----	-------	-------	-------	------	------	------	-------

La figura 102 se muestra el tiempo de llegada de los datos al servidor web de las 63 muestras del monitoreo.

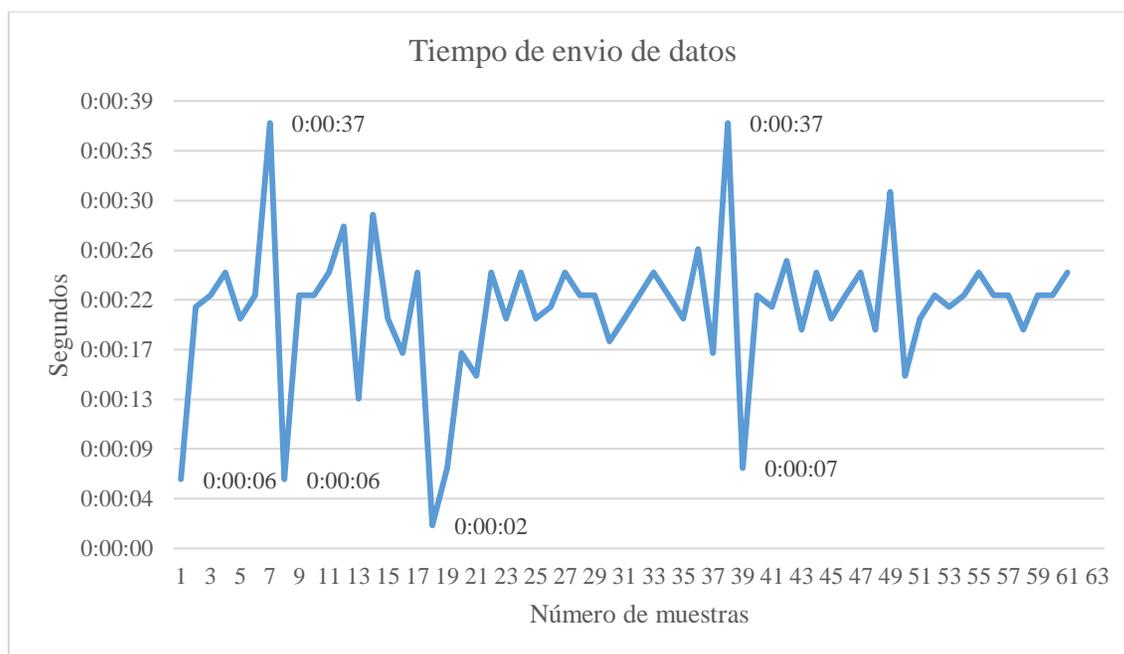


Figura 101. Tiempo de demora entre dato

Se identifica que en el tiempo máximo de llegada es de 37 segundos y el tiempo mínimo es de 2 segundos. Por otro lado, el promedio de llegada de las muestras es cada 21 segundos.

Además, se realizó un análisis con la herramienta Wireshark para verificar los paquetes entre la comunicación HTTP con GET (petición) y POST (respuesta).



Figura 102. Comunicación cliente servidor

En las figuras 103 y 104 se puede ver la solicitud de ingresar al sistema en la página de iniciar sesión y en las siguientes GET es la solicitud de navegar en la página monitoreo, historial, consulta.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
73	8.156769	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	500	GET / HTTP/1.1
82	8.253707	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
85	8.451324	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	461	GET /css/1.css?ts=1530896811 HTTP/1.1
86	8.454041	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	507	GET /gallery_gen/3f5f8407bb764a47ef34d88b94120cd3.jpg HTTP/1.1
87	8.518501	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	515	GET /gallery_gen/855fe109170f2258679e9bddd98af9d_252x200.png HTTP/1.1
92	8.544503	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/css)
125	8.638330	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	517	HTTP/1.1 200 OK (JPEG JFIF image)
162	8.799317	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	352	HTTP/1.1 200 OK (PNG)
203	11.543515	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	549	GET /AnK3aAllisis/ HTTP/1.1
210	11.651589	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
212	11.751497	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	475	GET /css/5.css?ts=1530896811 HTTP/1.1
217	11.844675	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/css)
267	21.230374	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	737	POST /TablaResul/Login2.php HTTP/1.1 (application/x-www-form-urlencoded)
275	21.481952	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	493	HTTP/1.1 302 Found
276	21.502473	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	601	GET /TablaResul/UltimoDatos.php HTTP/1.1
287	22.491972	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	490	GET /TablaResul/css/estilos.css HTTP/1.1
293	22.624213	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 404 Not Found (text/html)
299	22.792529	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
319	27.583632	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	580	GET /TablaResul/ToDo.php HTTP/1.1
344	28.630308	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	1390	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
346	28.658938	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	483	GET /TablaResul/css/estilos.css HTTP/1.1
358	28.770248	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 404 Not Found (text/html)
424	33.022072	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	579	GET /TablaResul/Resultados.php HTTP/1.1
435	33.657195	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	489	GET /TablaResul/css/estilos.css HTTP/1.1
444	33.837200	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
450	33.839900	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 404 Not Found (text/html)
453	36.740440	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	581	GET /TablaResul/Logout.php HTTP/1.1
455	36.847192	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	565	HTTP/1.1 302 Found
456	36.859862	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	523	GET /index.php HTTP/1.1
464	36.959174	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/html)

Figura 103. Características de los GET y POST

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
267	21.230374	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	737	POST /TablaResul/Login2.php HTTP/1.1 (application/x-www-form-urlencoded)
275	21.481952	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	493	HTTP/1.1 302 Found
276	21.502473	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	601	GET /TablaResul/UltimoDatos.php HTTP/1.1
287	22.491972	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	490	GET /TablaResul/css/estilos.css HTTP/1.1
293	22.624213	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 404 Not Found (text/html)
299	22.792529	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
319	27.583632	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	580	GET /TablaResul/ToDo.php HTTP/1.1
344	28.630308	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	1390	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
346	28.658938	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	483	GET /TablaResul/css/estilos.css HTTP/1.1
358	28.770248	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 404 Not Found (text/html)
424	33.022072	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	579	GET /TablaResul/Resultados.php HTTP/1.1
435	33.657195	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	489	GET /TablaResul/css/estilos.css HTTP/1.1
444	33.837200	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
450	33.839900	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 404 Not Found (text/html)
453	36.740440	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	581	GET /TablaResul/Logout.php HTTP/1.1
455	36.847192	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	565	HTTP/1.1 302 Found
456	36.859862	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	523	GET /index.php HTTP/1.1
464	36.959174	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
483	39.505400	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	544	GET / HTTP/1.1
495	39.608046	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
520	41.774141	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	552	GET /Informaci3C383n/ HTTP/1.1
530	41.885578	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
531	41.908427	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	478	GET /css/2.css?ts=1530896811 HTTP/1.1
536	42.076685	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/css)
544	43.904676	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	566	GET /AnK3aAllisis/ HTTP/1.1
551	44.003105	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
556	46.126719	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	559	GET /CONTACTOS/ HTTP/1.1
565	46.237749	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
564	46.391354	2000:b0:2:91:e1a8:5...	2a02:4780:dead:3a2f:...	HTTP	471	GET /css/4.css?ts=1530896811 HTTP/1.1
574	46.486106	2a02:4780:dead:3a2f:...	2000:b0:2:91:e1a8:5...	HTTP	94	HTTP/1.1 200 OK (text/css)

Figura 104. Características de GET y POST

En el análisis que se realiza en el Wireshark, se visualiza los paquetes de GET y de POST y en la figura 105 se puede visualizar el tamaño, el protocolo y el tiempo de llegada del paquete.

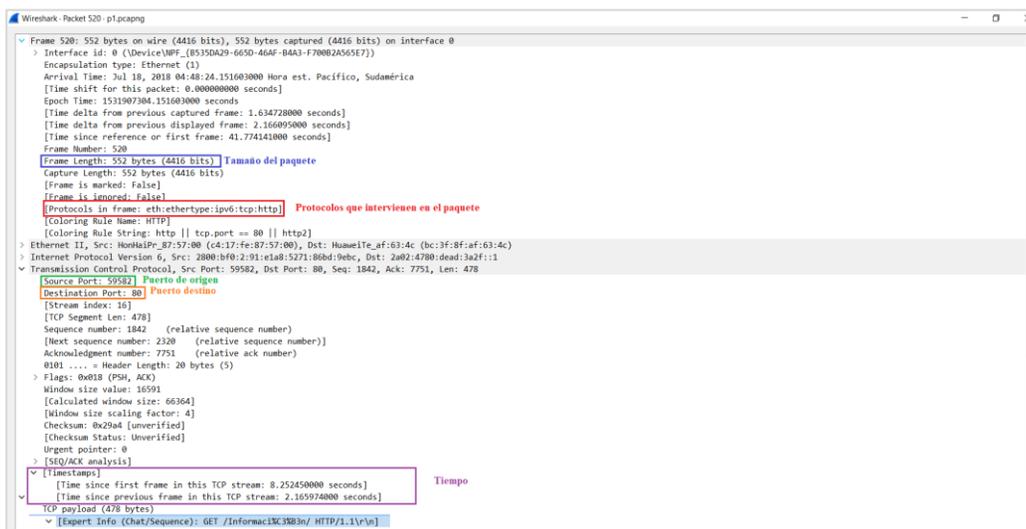


Figura 105. Detalles del paquete

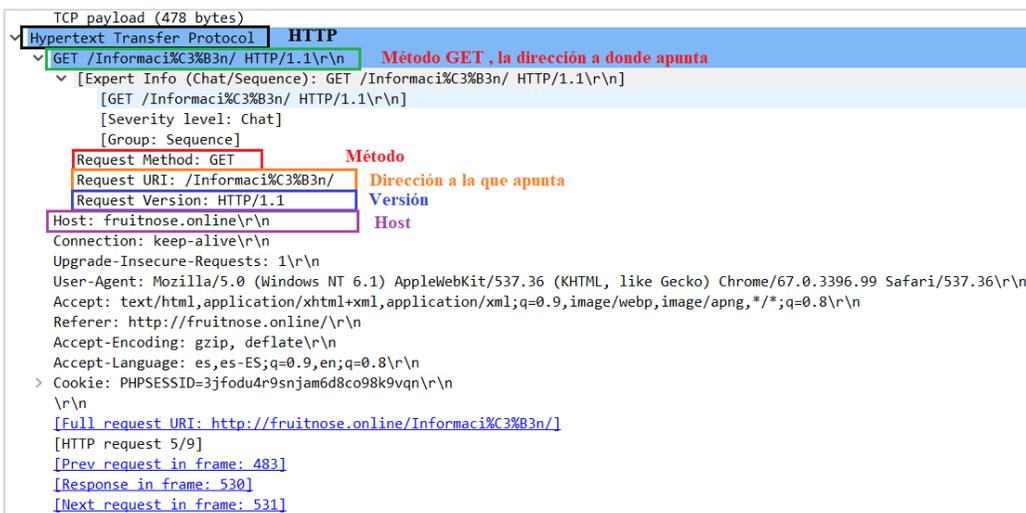


Figura 106. Detalles del protocolo http

En la figura 106 se detalla el protocolo “*Http*” que significa Protocolo de Transferencia de Hipertextos, que es una ejecución, donde hay a una base de datos y otras funcionalidades donde la información que opera en la página web mediante este protocolo es identificada mediante el URL o dirección.

Para el ver los paquetes que envía la App FruitNose al servidor de la base de datos se instala la App Packet Capture en el teléfono móvil. En la figura 107 se muestra el tiempo en el que se capturo paquetes, el total de datos enviados y datos recibidos por la App FrutiNose.



Figura 107. Paquetes capturados

En la figura 108 se muestra la dirección a la que apunta para que los datos que envía la App se guarden en la base de datos, el tamaño del paquete, la dirección del Host, los datos que envía la App a la base de datos, la fecha, hora de envío.

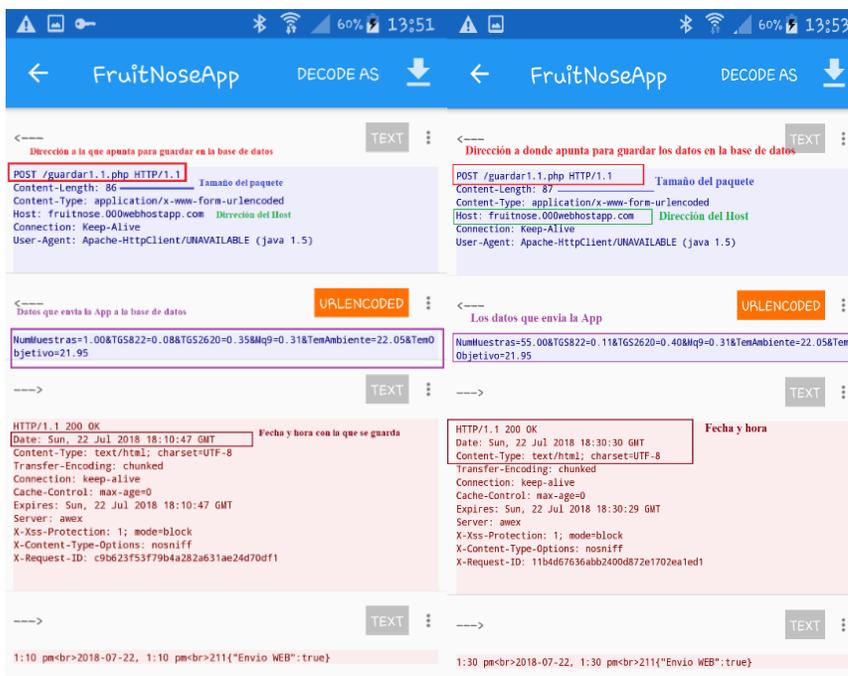


Figura 108. Paquetes enviados de app al servidor de la base de datos

En la figura 109 se muestra el paquete donde se envía los resultados del monitoreo de la fruta.



Figura 109. Paquete que envía la respuesta del monitoreo

4.2.3 Evaluación de la prueba N° 5 Almacenar en micro SD

El prototipo FruitNose tiene como respaldo guardar todos los datos monitoreados en una tarjeta micro SD.

La tarjeta micro SD del FruitNose tiene capacidad de 8GB y el tamaño de archivo de nombre NE1.txt es alrededor de 20.1 MB (21.102.592 bytes).



Figura 110. Tamaño de la micro SD

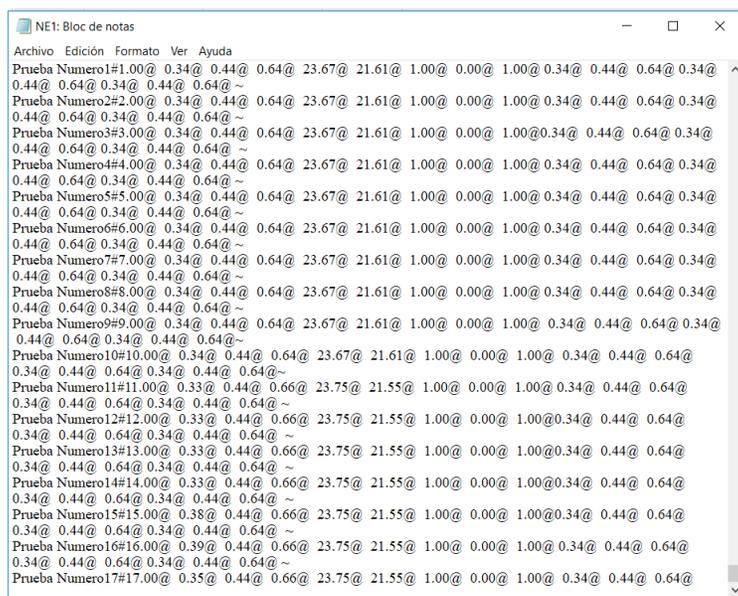


Figura 111. Archivo NE1.txt generado por el prototipo

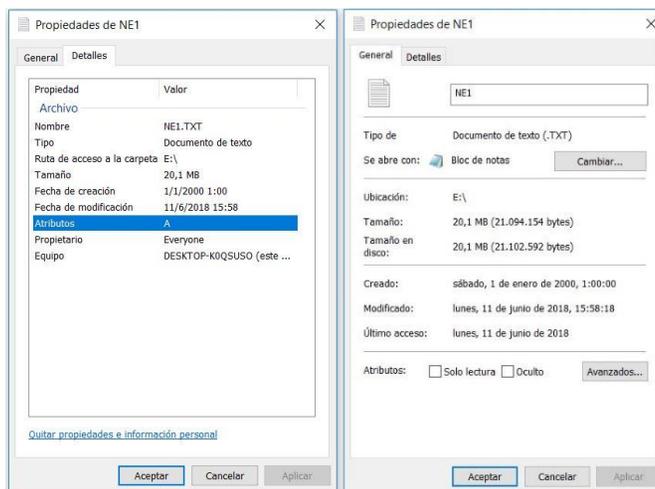


Figura 112. Detalles del archivo NE1.txt en la micro

Los datos se guardan de un orden específico que se detalla en la figura 113.

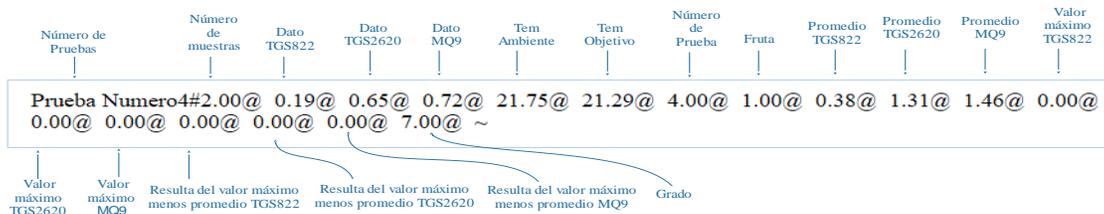


Figura 113. Descripción de los datos en el archivo NE1.txt

En el archivo se guardan los datos en forma serial para la facilidad del envío de datos por Bluetooth y la lectura de los datos guardados.

4.2.4 Evaluación de la prueba N° 6 Prototipo y modelo

En esta prueba se toma los datos de una frutilla y un plátano, con la información de los promedios, puntos máximos, y los resultados sin línea base, se realiza manualmente la operación para saber el grado de madurez y comparar con el resultado del sistema.

Se ingresa una frutilla en el prototipo y como resultado se muestra una gráfica que se puede observar en la figura 115 y los resultados presentados en la base de datos se observan en la figura 116.

	Id	Fecha	Hora	Prueba	Fruta	ps1	ps2	ps3	maxv1	maxv2	maxv3	slb1	slb2	slb3	Grado
Borrar	50	2018-07-01	10:42:42	1	2	0.38	0.53	0.45	1.39	1.82	1.79	1.01	1.29	1.34	3

Figura 114. Datos guardados en la base de datos

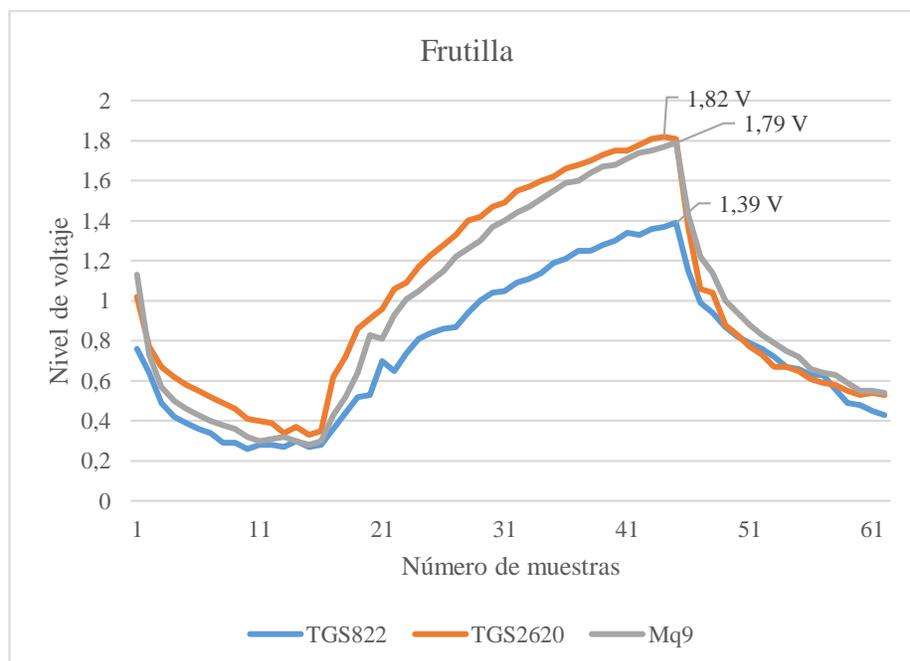


Figura 115. Monitoreo a la frutilla

Se toma los valores del modelo “*Bfru3*” y se hace una multiplicación matricial con los valores “*slb1, slb 2, slb 3*” para saber si el valor de la “*Yfru_{resul}*” es la misma que envía el sistema FruitNose.

$$Bfru3_{3 \times 1} [34.8424; -28.1395; 4.0441]; Xfru_{3 \times 1} [Slb1; Slb2; Slb3]$$

$$Yfru_{resul} = Bfru3'_{3 \times 1} * Xfru_{3 \times 1}$$

$$Yfru_{resul} = [34.8424 * Slb1 + (-28.1395) * Slb2 + 4.0441 * Slb3]$$

$$Yfru_{resul} = [34.8424 * 1.01 + (-28.1395) * 1.29 + 4.0441 * 1.34]$$

$$Yfru_{resul} = 4.309$$

El valor de “*Yfru_{resul}*” se compara con los datos de la “*Ypredicha*” y como se puede visualizar de la figura 116 la frutilla tiene un grado 3 (tabla 26).

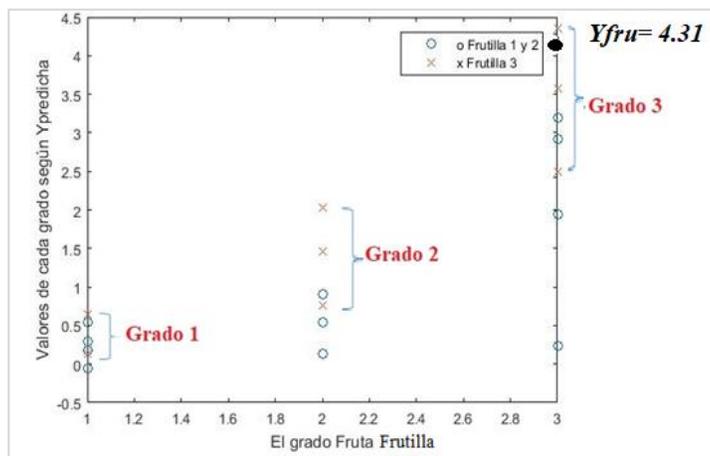


Figura 116. El rango de valores de cada grado

Se realiza el mismo procedimiento para evaluar el resultado del sistema para el plátano. En la figura 117 se puede observar los resultados del sistema para el plátano.

Id	Fecha	Hora	Prueba	Fruta	ps1	ps2	ps3	maxv1	maxv2	maxv3	slb1	slb2	slb3	Grado
105	2018-07-03	09:50:34	1	1	0.45	0.49	0.46	1.19	1.47	1.58	0.74	0.98	1.12	10

Figura 117. Resultados del plátano

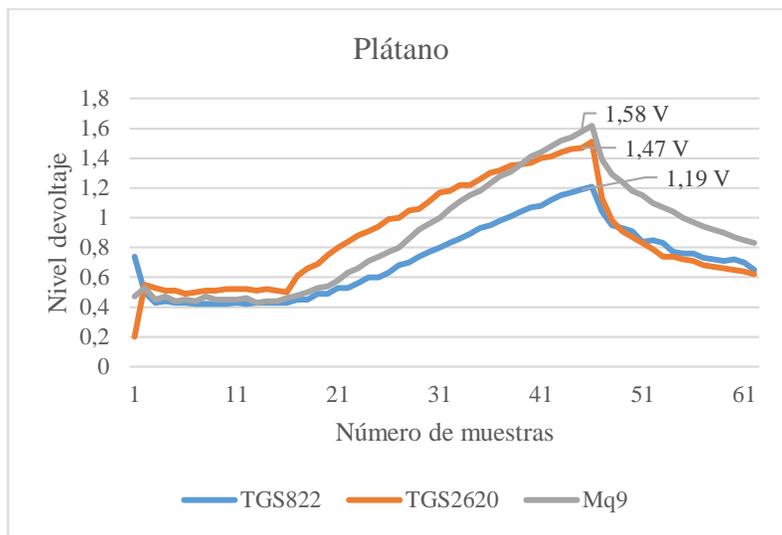


Figura 118. Monitoreo del plátano

$$Bpla_{13 \times 3 \times 1} [8.6288; -0.3234; 3.0489] ; Xpla_{3 \times 3 \times 1} [Slb1; Slb2; Slb3]$$

$$Ypla_{resul} = Bpla_{3 \times 3 \times 1}' * Xpla_{3 \times 3 \times 1}$$

$$Ypla_{resul} = [8.6288 * Slb1 + (-0.3234) * Slb2 + 3.0489 * Slb3]$$

$$Ypla_{resul} = [8.6288 * 0.74 + (-0.3234) * 0.98 + 3.0489 * 1.12]$$

$$Ypla_{resul} = 9.48$$

El valor de “ $Ypla_{resul}$ ” se compara con los datos de la “ $Ypredicha$ ” del plátano y como se puede visualizar de la figura 119 el plátano tiene un grado 10 (ver tabla 27) igual que en el sistema.

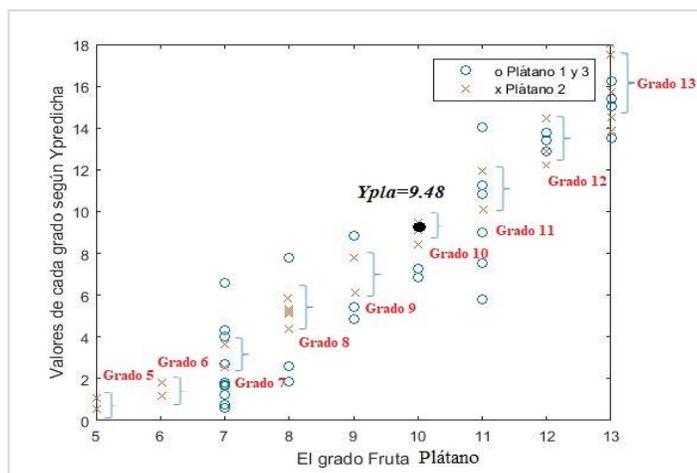


Figura 119. Grado del plátano

4.2.5 Evaluación de la prueba N° 7 Prototipo y sistema

En esta prueba se realiza el monitoreo de las frutas y se verifican si los datos que se envía la App son los mismos datos que se visualizan en la página web.

Para ello se ingresa a la página de la nariz electrónica FruitNose <https://fruitnose.000webhostapp.com>, y para poder visualizar la información del monitoreo de la fruta, se tiene que tener un “*Usuario*” y “*Contraseña*” como se puede ver en la figura 120.

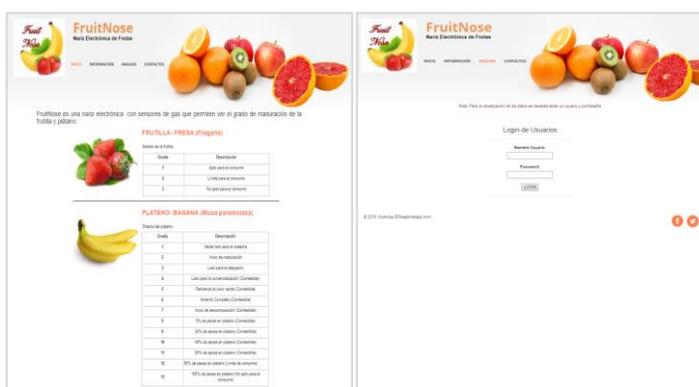


Figura 120. Página web FruitNose

En la página “*Monitoreo*” se puede observar los datos de los sensores de gas (TGS822, TGS2620, MQ9), la temperatura ambiente y la temperatura de la fruta en tiempo real, figura 121.

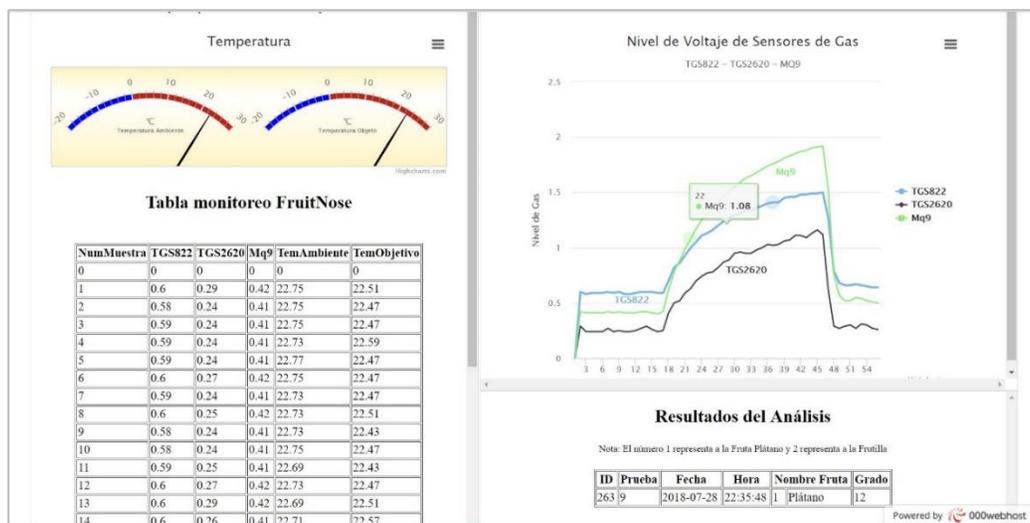


Figura 121. Página del monitoreo de la fruta

En la figura 122 se muestra la página “Historial”, donde se observa todos los resultados de los monitoreos que se realizó y sus gráficas.

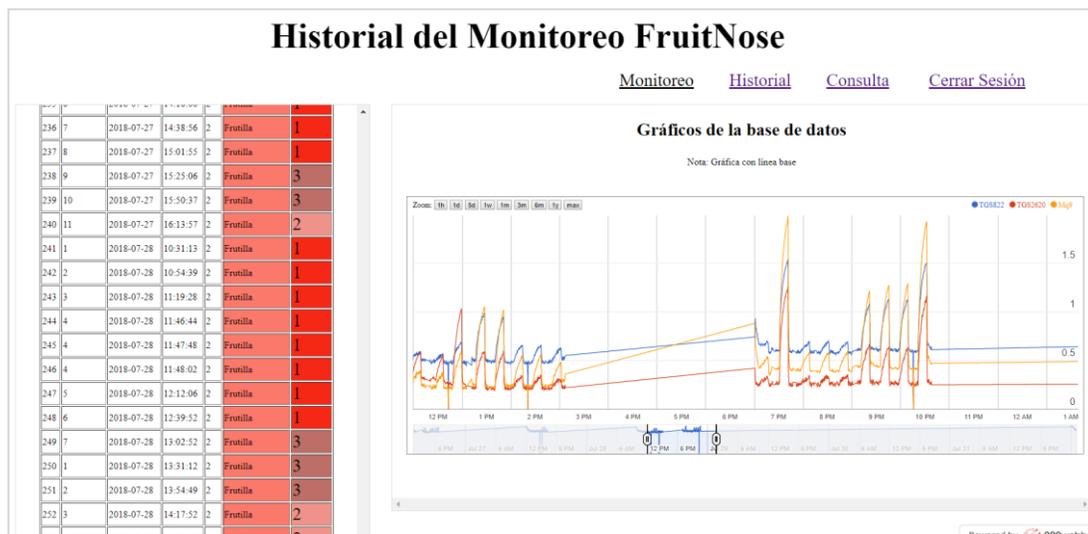


Figura 122. Página “Historial”

Y por último la página “Consulta” donde se puede realizar una consulta por ID y Prueba, en la que se puede observar los resultados de la misma como el promedio de los tres sensores, los máximos, y sin línea base.

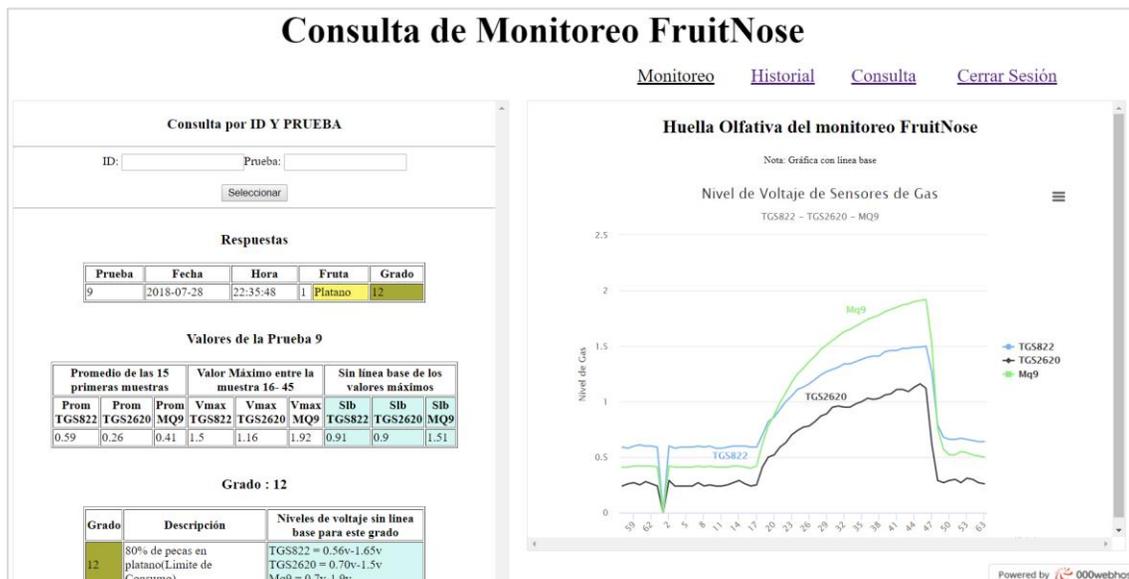


Figura 123. Página “Consulta”

4.3 Resultados

Para ver los resultados del prototipo y el sistema FruitNose se realizó el monitoreo de otro grupo de frutas (frutilla, plátano) en el transcurso de su vida útil, durante 5 días para la frutilla y 8 días para el plátano, realizando 12 pruebas para cada fruta por día, que en tiempo equivale a 8 horas por día.

El primer día de la frutilla se tomó 12 pruebas para identificar el nivel, como se puede ver en la tabla 37, la respuesta en el día uno de la frutilla, se obtuvo que en las 12 pruebas indican grado 1.



Figura 124. Frutilla en un “Grado 1”

Tabla 37

Resultados de la frutilla del día 1

ID	Prueba	Fecha	Hora	Nombre Fruta	Grado
1	1	28/6/2018	21:55:22	2 Frutilla	1
2	2	28/6/2018	22:18:05	2 Frutilla	1
3	3	28/6/2018	22:42:18	1 Plátano	1
4	4	28/6/2018	23:05:01	2 Frutilla	1
5	5	28/6/2018	23:27:47	2 Frutilla	1
6	6	28/6/2018	23:50:30	2 Frutilla	1
7	7	29/6/2018	0:59:10	2 Frutilla	1
8	8	29/6/2018	1:21:56	2 Frutilla	1
9	11	29/6/2018	1:45:04	2 Frutilla	1
10	12	29/6/2018	2:07:55	2 Frutilla	1
11	1	29/6/2018	10:38:09	2 Frutilla	1
12	2	29/6/2018	11:01:14	2 Frutilla	1

Y en la figura 125 se muestra la gráfica del resultado de la medición de los sensores con línea base de la prueba 1 de la frutilla.

En la tabla 38 se puede observar los puntos altos sin línea base de las 12 pruebas, estos datos con el modelo dan el grado de madurez de la fruta y como se puede ver en la figura 127 todos los patrones tienen una similitud y por eso el sistema FruitNose envió como respuesta “Grado 1”.

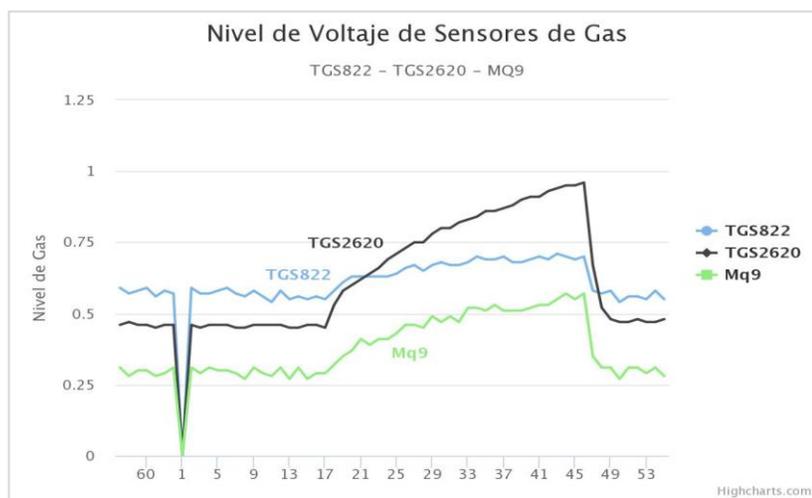


Figura 125. Datos de la prueba 1 de la frutilla

Tabla 38

Datos de los sensores sin línea base

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10	Prueba 11	Prueba 12	Promedio
TGS 822	0,21	0,14	0,09	0,13	0,13	0,12	0,15	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14
TGS 2620	0,38	0,21	0,20	0,28	0,26	0,29	0,32	0,30	0,33	0,33	0,34	0,33	0,298
MQ9	0,30	0,14	0,18	0,23	0,17	0,18	0,18	0,18	0,17	0,23	0,26	0,15	0,198

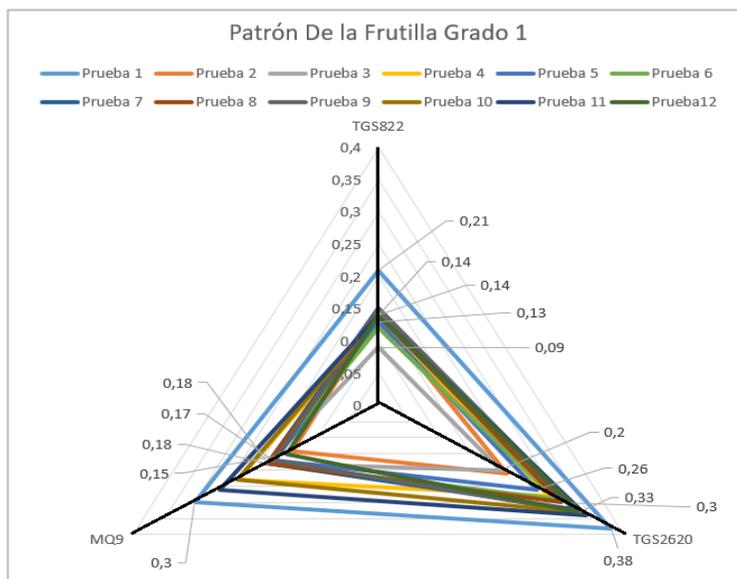


Figura 126. Patrón de las 12 pruebas de la frutilla

Con respecto a la temperatura, se puede indicar que la fruta se encontraba a una temperatura ambiente ya que la “*TemAmbiente*” y “*TemObjeto*” son similares (ver en la tabla 39).

Tabla 39

La temperatura de la frutilla de las 12 pruebas del día 1

---	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10	Prueba 11	Prueba 12	Promedio
Tem. Ambient	20,97	20,92	21,20	20,77	21,00	20,61	20,91	20,80	20,37	20,69	20,75	20,39	20,78
Tem Frutilla	20,22	20,70	20,70	20,67	20,59	20,21	20,57	20,38	19,97	20,38	20,39	20,39	20,43



Figura 127. Frutilla en el día 3

Con el fin de analizar el progreso en la maduración se muestran los resultados pasando un día. En la tabla 40 se presentan los datos de las doce pruebas del día 3 de la frutilla, donde muestran las respuestas entre en “Grado 1” y “Grado 2”.

Tabla 40

Resultado de las 12 pruebas de la frutilla en el día 3

ID	Prueba	Fecha	Hora	Nombre Fruta	Grado
27	1	30/6/2018	9:05:55	2 Frutilla	1
28	2	30/6/2018	9:28:42	2 Frutilla	2
29	3	30/6/2018	10:32:26	2 Frutilla	1
30	4	30/6/2018	10:55:02	2 Frutilla	2
31	5	30/6/2018	11:18:08	2 Frutilla	1
32	6	30/6/2018	11:40:55	2 Frutilla	1
33	7	30/6/2018	12:03:36	2 Frutilla	1
34	8	30/6/2018	12:26:22	2 Frutilla	2
35	9	30/6/2018	12:52:26	2 Frutilla	2
36	10	30/6/2018	13:15:37	2 Frutilla	1
37	11	30/6/2018	13:39:08	2 Frutilla	1
38	12	30/6/2018	14:02:13	2 Frutilla	2

En la tabla 41 se muestran los resultados de la frutilla en el día 5 en la que la frutilla ya se encuentra en un estado de descomposición como se puede observar en la figura 129.



Figura 128. Frutilla en el día 5

Tabla 41*Resultados de la frutilla en el día 5*

ID	Prueba	Fecha	Hora	Nombre Fruta	Grado
90	1	2/7/2018	15:39:26	2 Frutilla	3
91	2	2/7/2018	16:02:49	2 Frutilla	3
92	3	2/7/2018	16:25:35	2 Frutilla	2
93	4	2/7/2018	16:48:25	2 Frutilla	3
94	5	2/7/2018	18:41:30	2 Frutilla	3
95	6	2/7/2018	19:04:13	2 Frutilla	3
96	7	2/7/2018	19:27:22	2 Frutilla	3
97	8	2/7/2018	19:50:00	2 Frutilla	3
98	9	2/7/2018	20:14:58	2 Frutilla	3
99	10	2/7/2018	20:38:01	2 Frutilla	2
100	11	2/7/2018	21:11:35	2 Frutilla	3
101	12	2/7/2018	21:36:41	2 Frutilla	3

En base a las pruebas el porcentaje de error del sistema en el día 1 fue del 0% ya que en las 12 pruebas indicaron “Grado 1”; en el día tres el sistema dió resultados entre el “Grado 1” y el “Grado 2”, tuvo una indeterminación del 41% sin embargo el “Grado 2” indica el límite para consumo; en el último día el sistema arrojó un porcentaje de error del 16% ya que en dos pruebas el resultado fue de “Grado 2”. Para más detalles y el análisis completo ver Anexo 3.

Para las pruebas sobre el plátano, que maduró durante 8 días, se obtuvieron los datos de la tabla 42 para el día 1 de pruebas, la tabla 43 para el día 4 y a tabla 46 para el día 8.

**Figura 129.** Plátano en el día 4

Tabla 42*Resultados del plátano del día 1*

ID	Prueba	Fecha	Hora	Nombre Fruta	Grado
3	1	29/6/2018	22:00:44	1 Plátano	7
14	2	29/6/2018	22:24:03	1 Plátano	7
15	3	29/6/2018	22:47:38	1 Plátano	7
16	4	29/6/2018	23:10:25	1 Plátano	7
17	5	29/6/2018	23:33:13	1 Plátano	7
18	6	29/6/2018	23:55:51	1 Plátano	7
19	7	30/6/2018	0:18:34	1 Plátano	7
22	8	30/6/2018	0:43:55	1 Plátano	7
23	9	30/6/2018	1:04:00	1 Plátano	7
24	10	30/6/2018	1:29:11	1 Plátano	7
25	11	30/6/2018	2:43:48	1 Plátano	7
26	12	30/6/2018	3:08:20	1 Plátano	7

En la tabla 43 se observa las respuestas del sistema del día 4.

Tabla 43*Respuestas de las 12 pruebas del plátano en el día 4*

ID	Prueba	Fecha	Hora	Nombre Fruta	Grado
76	1	2/7/2018	8:21:38	1 Plátano	8
77	2	2/7/2018	8:44:25	1 Plátano	8
78	3	2/7/2018	9:07:12	1 Plátano	9
79	4	2/7/2018	9:30:56	1 Plátano	9
80	5	2/7/2018	9:53:27	1 Plátano	9
81	6	2/7/2018	10:16:24	1 Plátano	9
82	7	2/7/2018	10:39:15	1 Plátano	9
84	8	2/7/2018	13:10:23	1 Plátano	8
86	9	2/7/2018	13:57:02	1 Plátano	8
87	10	2/7/2018	14:19:46	1 Plátano	9
88	11	2/7/2018	14:42:52	1 Plátano	9
89	12	2/7/2018	15:05:40	1 Plátano	9

Y en la figura 130 se puede ver la reacción de los sensores ante el plátano en “Grado 8”.

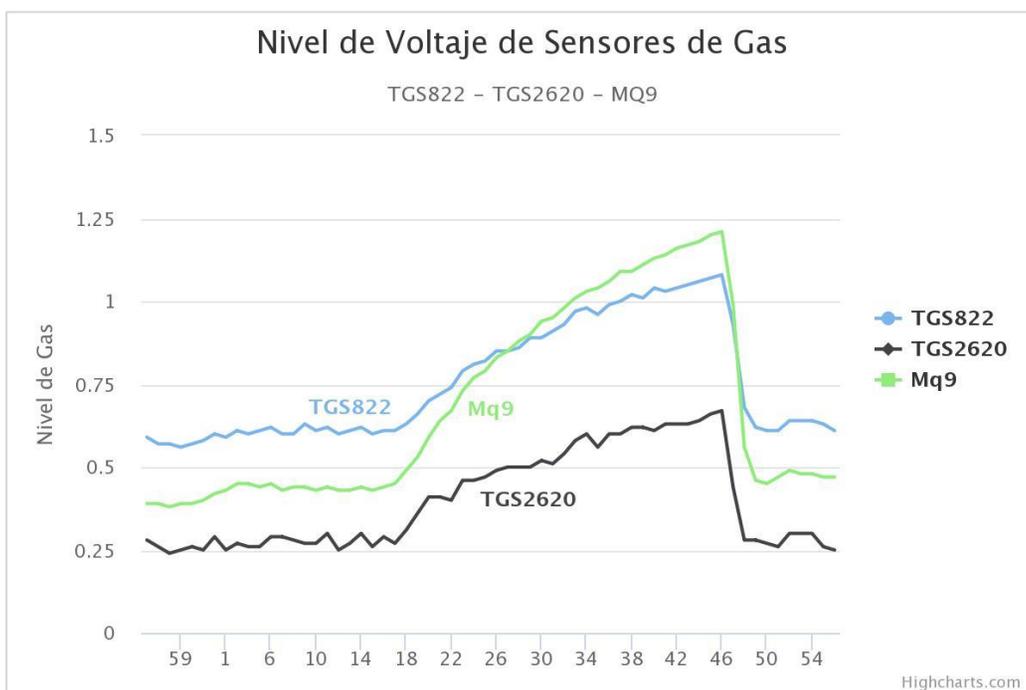


Figura 130. Plátano en el día 4

En la tabla 44 muestra los puntos altos sin línea base y con el modelo, da como resultado el grado de madurez de la fruta. Con los datos de la tabla 44 se forma el patrón de la figura 131.

Tabla 44

Datos sin línea base del plátano día 4

---	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10	Prueba 11	Prueba 12	Promedio
TGS822	0,43	0,52	0,61	0,61	0,65	0,64	0,64	0,53	0,54	0,65	0,63	0,61	0,59
TGS2620	0,58	0,71	0,79	0,79	0,79	0,76	0,82	0,83	0,81	0,83	0,77	0,76	0,77
MQ9	0,58	0,79	0,86	0,86	0,85	0,86	0,87	0,90	0,82	0,88	0,80	0,85	0,83

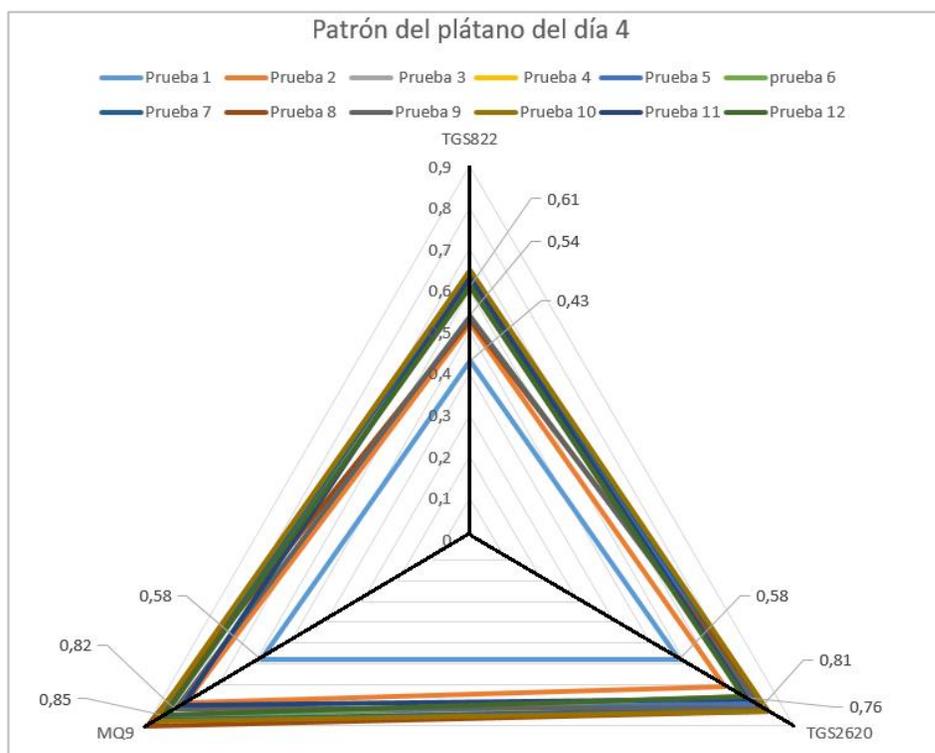


Figura 131. Patrón de las doce pruebas del plátano del día 4

En la figura 131 se muestran los patrones de “Grado 8” (prueba 1,2,8,9) con un patrón de “Grado 9” (prueba 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12).

Tabla 45

Temperatura ambiente y temperatura del plátano en el día 4

-----	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10	Prueba 11	Prueba 12	Promedio
Tem Ambient	19,04	19,31	19,71	20,00	20,33	20,42	20,63	20,71	20,15	20,54	20,73	20,90	20,21
Tem Frutilla	18,47	18,52	19,29	19,02	19,35	19,45	19,62	19,98	19,46	19,69	19,95	20,05	19,4

Como se puede observar en la tabla 45 la diferencia entre la temperatura ambiente y la fruta varía entre 0,56°C y 1,011°C.



Figura 132. Plátano en el día 8

La tabla 46 muestra las respuestas de las doce pruebas del plátano en el día 8

Tabla 46

Respuesta de las 12 pruebas del plátano en el día 8

ID	Prueba	Fecha	Hora	Nombre Fruta	Grado
137	1	5/7/2018	14:42:38	1 Plátano	13
138	2	6/7/2018	15:10:47	1 Plátano	13
139	3	7/7/2018	15:47:13	1 Plátano	13
140	4	8/7/2018	16:17:41	1 Plátano	13
141	5	9/7/2018	16:43:55	1 Plátano	13
142	6	10/7/2018	18:45:44	1 Plátano	13
143	7	11/7/2018	20:09:54	1 Plátano	13
144	8	12/7/2018	20:33:49	1 Plátano	12
145	9	13/7/2018	20:57:18	1 Plátano	13
146	10	14/7/2018	21:22:20	1 Plátano	13
147	11	15/7/2018	21:45:22	1 Plátano	13
148	12	16/7/2018	22:08:15	1 Plátano	13

Como resultado el porcentaje de error para el plátano en el día 1 es del 0%, ya que en las doce pruebas indican “Grado 7”, en el día 4 existe un porcentaje de incertidumbre del 33% ya que hubo 4 pruebas de “Grado 8” y 8 pruebas con el resultado de “Grado 9”, en el día 8 el porcentaje es del 8.33% ya que hubo una prueba de “Grado 12” y 11 pruebas con respuesta de “Grado 13”, lo que indica que los grados de madurez superiores pueden ser menos precisos debido a la subjetividad usada para las etiquetas o demasiados niveles muy cercanos entre ellos.

Tabla 47
Temperatura ambiente y el plátano en el día 8

---	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10	Prueba 11	Prueba 12	Promedio
Tem Ambient	20,95	21,61	21,25	21,55	21,66	21,78	21,79	21,62	21,24	21,78	21,99	22,18	21,62
Tem Plátano	20,80	21,18	21,00	21,23	21,15	21,33	21,44	21,13	20,67	21,27	21,54	21,71	21,21

En los ocho días de vida útil del plátano se lo ha conservado en temperatura ambiente, por esta razón no existe mucha variación entre la temperatura del ambiente con la de la fruta, se encuentra en un rango entre $0,152^{\circ}\text{C}$ y $0,565^{\circ}\text{C}$.

En la tabla 48 se puede visualizar el análisis de los aciertos y fallas que tuvo el sistema ante el aroma de la frutilla y el plátano. El sistema tiene el 81,41% de confiabilidad en el acierto de predecir el grado de madurez de la fruta.

Tabla 48
Análisis del sistema

Fruta	Días(Vida útil de la fruta)	Pruebas (12 pruebas por día)	Aciertos	Fallas
Frutilla	5	60	50	10
Plátano	8	96	77	19
Total		156	127	29
Porcentajes		100%	81,41%	18,59%

Cabe indicar que cuando el sistema no se encuentra evaluando la fruta, no toma datos y los sensores pueden estabilizar su medida a valor de línea base.

En la figura 133 se observa la diferencia de la línea base cuando existe un tiempo mayor a cinco minutos de estabilidad para los sensores, el tiempo que se esperó entre monitoreo fue de 30 minutos. Mientras que en la figura 134 las pruebas se hicieron de forma continua y se puede observar que la línea base se mantiene.

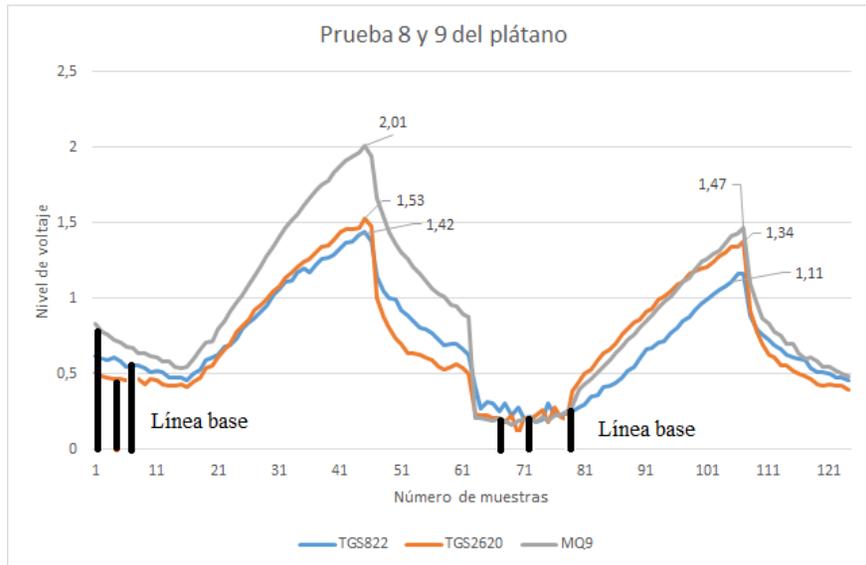


Figura 133. Diferencia de línea base

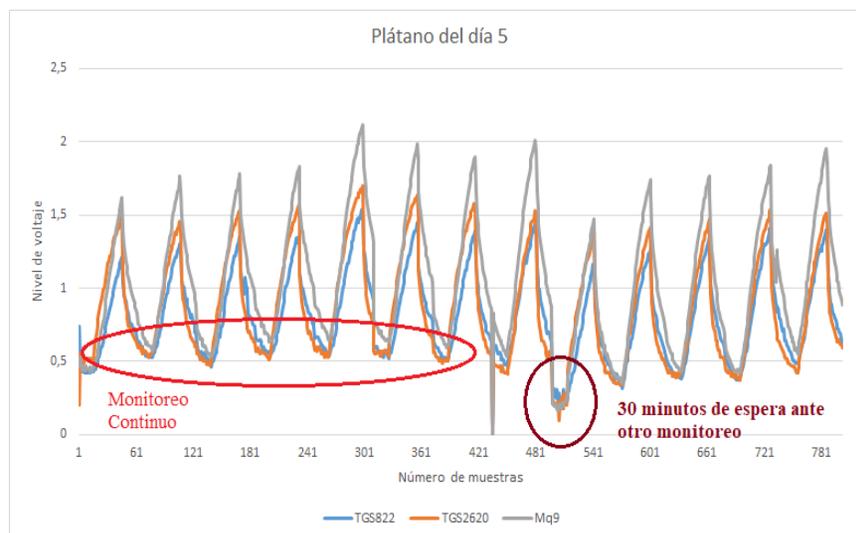


Figura 134. Monitoreo del plátano en el día 5

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El sistema FruitNose tiene la capacidad de monitorear y analizar en tiempo real el grado de madurez de frutas como la frutilla y el plátano, el dispositivo tiene el 81,41% de efectividad en la identificación del estado en el que se encuentra la fruta. Siempre y cuando funcione a temperatura ambiente y el monitoreo se realice en un contenedor cerrado.

En el desarrollo e implementación de una nariz electrónica intervienen sensores que sean sensibles a gases como disolventes orgánicos y compuestos volátiles que son sustancias que emite una fruta durante el proceso de maduración. Por lo tanto en la construcción del prototipo electrónico FruitNose se utilizó una matriz de sensores electroquímicos como el TGS822, TGS2620, y el sensor MQ9, ya que son sensores que detectan compuestos volátiles.

Los sensores de gas reaccionan de diferente manera ante aromas como alcohol, licor y al aroma de una fruta, por esto es importante la caracterización de cada uno de los sensores, para obtener la única “Huella digital olfativa”. Por lo tanto para definir la “Huella digital olfativa” se consideró en tomar pruebas de la fruta en un contenedor abierto, pero el aroma de la fruta se dispersa y se mezcla con aromas del ambiente, de esta manera no se obtiene datos claros e identificables, que podrían confundir al sistema. Por esta razón se decidió realizar el sistema con un contenedor cerrado para que, de esta manera el aroma de las frutas no se mezcle con otros aromas y los datos obtenidos sean representativos de los aromas en la caja.

En el proceso de la “Huella digital olfativa” se utilizó el método multivariante de Regresión Lineal, que permite relacionar una variable dependiente a múltiples variables independientes, la cual se ajusta a las necesidades de la nariz electrónica. Debido a que el sistema tiene varios datos de la fruta, por los sensores, que se deben relacionar con una etiqueta determinada para definir el estado de madurez.

El prototipo electrónico para su funcionamiento tiene un tiempo de monitoreo 20 minutos (5 minutos sin fruta, 10 minutos con fruta y 5 minutos sin fruta). Los 5 minutos sin fruta iniciales es el tiempo de estabilidad inicial de los sensores, de manera empírica se determinó que es el tiempo suficiente para evaluar la línea base de los sensores. Los 10 minutos con fruta es el tiempo determinado para obtener el aroma que emite la fruta y a partir de los valores máximos recibidos por los sensores obtener el grado de madurez y los 5 minutos finales es el tiempo mínimo necesario para que los sensores dejen de estar excitados una vez despejado el ambiente volviendo al estado inicial.

El prototipo logra enviar los datos en tiempo real a un servidor de base de datos siempre que cuente con la conexión a Internet, esto permite visualizar el monitoreo de la fruta y sus resultados. Pero si no cuenta con la conexión a Internet el prototipo posee una Micro SD que permite tener un respaldo de las pruebas que se realicen.

El sistema FruitNose tiene la capacidad de identificar el grado de madurez del plátano y la frutilla, pero no de identificar que fruta se ingresa para el monitoreo, por lo que hay que indicar manualmente la fruta a analizar. Ya que el prototipo se enfocó a los niveles de maduración que tiene la frutilla y el plátano.

La frutilla y el plátano tienen diferentes tiempos de vida útil, ya que la frutilla es una fruta no climatérica, esto quiere decir que solo madura en la planta y no se puede cosechar antes de su maduración y se reduce el tiempo de conservación. Por esta razón la frutilla solo tiene 3 grados en el nivel de maduración del sistema y es más fácil de diferenciar un grado de otro. Mientras que el plátano es una fruta climatérica, que quiere decir que es una fruta que se puede cosechar antes de su maduración, tiene más tiempo de conservación, es por esto que tiene 13 grados en el nivel de maduración del sistema y es más difícil poder distinguir un grado de otro.

5.2 Recomendaciones

Tener en cuenta que el voltaje de alimentación de los sensores químicos de gas es de 5 ± 0.5 voltios, ya que, si es mayor a ese valor, pueden causar graves daños en ellos.

Al grabar el programa del Arduino es recomendable desmontar el módulo Bluetooth de la placa, ya que si está conectado puede haber un error que no permita cargar el archivo al Arduino. Debido a que el módulo Bluetooth utiliza un modo de comunicación inalámbrico y al conectar el Arduino al puerto existe comunicación serial.

El prototipo debe disponer de un contenedor cerrado que no permita la fuga del aroma de la fruta ni el ingreso de otros aromas, ya que esto podría causar datos erróneos y confusión en el sistema FruitNose por la disipación del aroma en el ambiente.

Se recomienda instalar la App en un teléfono móvil con una tarjeta Micro SD, con una versión Android 5.0, que cuente con tecnología Bluetooth y Wifi, ya que sin esta característica no podrá funcionar la comunicación con el sistema para el envío y recepción de datos a la plataforma.

Para el monitoreo se recomienda tomar en cuenta que en la muestra 15 se ingresa la fruta y en la muestra 45 se retira la fruta del prototipo lo cual es indicado por alarmas sonoras que emite la aplicación móvil. Ya que, si no se cumple con el proceso, la información del sistema será erróneo e incompleta.

Para poder visualizar los datos monitoreados se debe contar con un “*Usuario*” y “*Contraseña*” ya que el sistema requiere estos parámetros para su ingreso y como medio de seguridad para mostrar la información y consultas.

Para que el sistema cuente con los datos de los niveles 1 ,2, 3 y 4 de maduración del plátano, que no han sido considerados, se debería tener acceso a un plátano que recién haya sido cosechado para poder extraer su huella digital con las pruebas indicadas, y posteriormente incluirlo al modelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abc de frutas y verduras. (Abril de 2005). *Manual técnico de frutas y verduras*. Recuperado el 15 de Enero de 2017, de <http://www.abcdefrutasyverduras.com/descargas/Manual%20Tecnico%20Frutas%20y%20Verduras.pdf>
- Biedma, O. (Julio de 2004). *Diseño y realización de una nariz electrónica para la maduración de quesos*. Recuperado el 02 de Diciembre de 2016, de [deeea.urv.cat: http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/620pub.pdf](http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/620pub.pdf)
- Brezmes Llecha, J. (2001). *Diseño de una Nariz electrónica para la determinación no destructiva el grado de maduración de la fruta*. Catalunya, España. Recuperado el 25 de Mayo de 2017, de [upcommons: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/94188/TESI_TEXT_COMPLET.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/94188/TESI_TEXT_COMPLET.pdf)
- Carollo Limeres, M. (2012). *Regresión lineal simple*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2017, de Universidad de Santiago de Compostela: http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat_50140116_Regr_%20simple_2011_12.pdf
- Circulo Gourmet App. (02 de Marzo de 2016). *Frutas y su conservación*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2016, de <http://www.circulogourmetapp.com/Blog/alto-a-la-discriminacion-de-frutas-y-verduras/>
- Correa Hernando, E. C. (Marzo de 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*. Madrid, España. Recuperado el 10 de Noviembre de 2016, de <http://oa.upm.es/30/1/02200310.pdf>
- Correa, E. C. (2005). *Las narices electrónicas en el ambito de la industria agropecuaria*. Dialnet, 90-98.

- Correa, E. C., Barreiro, P., Ruiz-altisent, M., & Chamorro, C. (2005). *Nariz eletrónica, Herramienta para la calidad en la industria agroalimentaria*. Recuperado el 19 de Enero de 2017, de http://oa.upm.es/9957/2/Correa_NEHerramientaIndAgroali_Calidad_2005.pdf
- Departamento de Matemáticas CSI/ITESM. (18 de Noviembre de 2008). *Simulated Annealing*. Recuperado el 21 de Enero de 2018, de <http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/m/ma00-130/lecturas/m130-19.pdf>
- Durán Acevedo, C. (Julio de 2014). *Nariz electrónica para determinar el índice de madurez del tomate de árbol*. Science Direct, 15, 351-362. Recuperado el 07 de Junio de 2017, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1405774314703464>
- El Comercio. (6 de Abril de 2015). *El consumo de comida en mal estado es causa de unas 200 enfermedades*. Recuperado el 13 de Marzo de 2017, de <http://www.elcomercio.com/tendencias/comida-malestado-insalubre-enfermedades-alimentos.html>
- Figaro. (Septiembre de 2002). *Figaro Sensor TGS 822*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2017, de <http://www.figarosensor.com/products/822pdf.pdf>
- Figaro. (Enero de 2005). *Figaro Sensor TGS2620*. Obtenido de <http://www.figarosensor.com/products/2620pdf.pdf>
- Galdikas, A. (2001). *Detection of Bateria in Meat with Dynamic Electronic Nose*. La Metrologie de Odeurs el les Nez Electroniques.
- Gardner, & Barlett. (2000). *Electronic Noses: Principles and Applications*. (Vol. 11). Oxford, Reino Unido.
- Gaviria Peña, C. (2016). *Regresión por Mínimos Cuadrados Parciales P LS Aplicada a Datos Variedad Valuados*. Medellín, Colombia. Recuperado el 12 de 12 de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/53233/1/8105560.2016.pdf>
- Henan Hanwei Electronics Co.Ltd. (s.f.). *Sensor de Gas MQ9*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2017, de <http://www.haoyuelectronics.com/Attachment/MQ-9/MQ9.pdf>

- Horticultivos. (19 de Diciembre de 2016). *Influencia del etileno en la fruta*. Recuperado el 19 de Enero de 2017, de <http://horticultivos.com/influencia-del-etileno-la-maduracion-los-frutos/>
- Iñigo, A. (23 de Octubre de 2015). *Alimentos sin desperdicio*. Recuperado el 12 de Abril de 2017, de <https://asindesperdicio.wordpress.com/2015/10/23/cuanto-alimento-dice-la-fao-que-se-pierde-y-desperdicia-en-el-mundo-3/>
- La Capital. (15 de Septiembre de 2015). *En los supermercados rosarinos se desechan verduras y frutas por "motivos estéticos"*. Obtenido de La Capital: <https://www.lacapital.com.ar/la-ciudad/en-los-supermercados-rosarinos-se-desechan-verduras-y-frutas-motivos-esteticos-n468897.html>
- López Camelo, A. (2003). *Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas*. Obtenido de [www.fao.org](http://www.fao.org/docrep/006/Y4893S/Y4893S00.HTM): <http://www.fao.org/docrep/006/Y4893S/Y4893S00.HTM>
- Marquez, C., & Trillos, O. (2009). *Evaluación Físico-Química y sensorial de Frutos de Uchuva*. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, 16(1), 42-48. Recuperado el 12 de Abril de 2017, de <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v16n1/v16n1a05.pdf>
- Martin, N. (2005). *Algo huele bien en la uba*. Encrucijadas.
- Mazariegos, M. (Enero de 2016). *Pérdida y desperdicio de alimentos tiene un impacto en el medioambiente*. Recuperado el 15 de Marzo de 2017, de Latinoamericascience: <http://latinamericascience.org/spanish/2016/01/perdida-y-desperdicio-de-alimentos-tiene-un-impacto-en-el-medioambiente/>
- Mendez. (16 de Julio de 2009). *Especificación de Requisitos según el estándar*. Obtenido de Universidad Complutense Informática: <https://www.fdi.ucm.es/profesor/gmendez/docs/is0809/ieee830.pdf>
- Microelectronic. (28 de Febrero de 2013). *Microelectronic Integrated Systems*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2017, de <https://hetpro-store.com/images/companies/1/DATSH/MLX90614.pdf?1462821213785>

- Microelectronic Integrated System. (30 de Marzo de 2009). *Sparkfun Sensor infrarrojo*. Recuperado el 2017 de Noviembre de 20, de <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/SEN-09570-datasheet-3901090614M005.pdf>
- Montero, R. (Marzo de 2016). *Modelos de regresión lineal múltiple*. Recuperado el 21 de Febrero de 2018, de http://www.ugr.es/~montero/matematicas/regresion_lineal.pdf
- Moreno, I. (2009). *La Nariz Electrónica- Estado del Arte*. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, 76-91.
- Moreno, I., & Serracín, J. (2016). *Matriz de sensores: fundamento de la nariz*. Memorias de un Congreso, 37-39. Recuperado el 10 de Mayo de 2017, de <http://revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/view/1282/1720>
- Organización Mundial de la Salud. (2015). *Enfermedades de transmisión alimentaria*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016, de FAO: http://www.who.int/foodsafety/areas_work/foodborne-diseases/es/
- Peña, D. (1 de Agosto de 2003). *Análisis de datos multivariantes*. España. Recuperado el 07 de Junio de 2017, de https://www.mhe.es/universidad/ciencias_matematicas/pena/home/CAPITULO.PDF
- Quicaza S, M. C., Diaz M, A. C., & Zuluaga D, C. M. (2011). *Electronic nose a novel tool for quality and process control in the food industry*. Scielo, 209-217. Recuperado el 17 de Enero de 2017, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0121-40042011000200012
- Raskhi Seth, S. S. (2013). *Optimization of Image Compression Technique*. International Journal of Science and Research (IJSR), 4.
- Rodríguez, M. L. (2001). *Análisis sensorial de alimentos Nariz electrónica*. Recuperado el 18 de Mayo de 2017, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/866608.pdf>

- Sommerville, I. (Agosto de 2015). *Requerimientos de software*. Recuperado el 17 de Febrero de 2018, de www.uv.mx:https://www.uv.mx/personal/fcastaneda/files/2015/08/F_Capitulo_5_Requerimientos_del_software.pdf
- Statgraphics. (25 de Abril de 2007). *Mínimos cuadrados parciales*. Recuperado el 08 de Junio de 2017, de <http://www.statgraphics.net/wp-content/uploads/2011/12/tutoriales/Minimos%20Cuadrados%20Parciales.pdf>
- Stetter, J. R., & Pensore, W. R. (2001). *Electrochemistry Encyclopedia*. Departamento of Biological, Chemical and Physical Sciences Illinois Institute of Technology Chicago. Recuperado el 02 de Diciembre de 2016, de <http://electrochem.cwru.edu/ed/encycl/art-n01-nose.htm>
- Tecnicoagricola. (7 de Junio de 2011). *Definicion de Calidad en frutas y hortalizas*. Recuperado el 12 de Abril de 2017, de [www.Tecnicoagricola.es: http://www.tecnicoagricola.es/definicion-de-calidad-en-frutas-y-hortalizas/](http://www.Tecnicoagricola.es:http://www.tecnicoagricola.es/definicion-de-calidad-en-frutas-y-hortalizas/)
- Tirado, C. (16 de Diciembre de 2003). *Enfermedades alimentarias*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016, de http://web.archive.org: http://web.archive.org/web/20050416103540/http://www.euro.who.int/eprise/main/who/mediacentre/PR/2003/20031212_2
- Umapatent. (s.f.). *Nariz Electrónica de alta frecuencia*. Obtenido de Patentes de la Universidad de Málaga para empresas que buscan tecnologías innovadoras: <http://umapatent.uma.es/es/patent/nariz-electronica-de-alta-frecuencia791/>
- Young y Herrera. (Julio de 2014). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en América Latina y El Caribe*. Recuperado el 12 de Abril de 2017, de <http://www.fao.org/3/a-i3942s.pdf>
- Zhang, H., Wang, J., Sheng, Y., & Chang, M. (2008). *Evaluation of peach quality indices using an electronic nose by MLR*. *Sensor and Actuators B: Chemical*, 134, 332-338.