



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Gandia

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Evaluación y Seguimiento Ambiental de Ecosistemas Marinos y Costeros

AUTOR/A: Zúñiga Ortiz, Karen Gisset

Tutor/a: Lloret Mauri, Jaime

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Esta investigación está dentro del proyecto PID2020-114467RR-C33 financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Don Alfonso todo el apoyo recibido durante esta etapa académica. Sin su ánimo y cariño jamás habría emigrado de Colombia a este hermoso país.

El Dr. Jaime Lloret, director de este trabajo fin de máster, por confiar en mi y darme la oportunidad de participar en su grupo de investigación.

A la Dra. Sandra Sendra por toda su orientación y ánimo, sin su ayuda no lo hubiera logrado en tan poco tiempo y a los demás integrantes del Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de Zonas Costeras, Sandra² y Javier por hacerme sentir parte del grupo.

Gracias.

Resumen

Cistus ladanifer L. pertenece a la familia de las cistáceas, es una especie nativa y extendida en la región mediterránea. Crece desde el nivel del mar hasta unos 1.500 m s. n. m. Este arbusto aromático produce una oleoresina aromática (ládano) utilizada en perfumes como fijador, posee propiedades medicinales y antifúngicas, además sus tallos y ramas son usados para la fabricación de pellets que son fuente potencial de energía renovable autóctona. La tolerancia y adaptabilidad de *C. ladanifer* a diferentes tipos de suelo incluyendo suelos serpentinos, contaminados y poco fértiles junto a su potencial evolutivo para adaptarse a ambientes extremos permite ser utilizada en procedimientos de fitoestabilización para disminuir la subsiguiente degradación ambiental. El objetivo de este trabajo es determinar la cantidad y el tipo de gases que despiden esta planta en todo su desarrollo fisiológico para desarrollar un sistema de sensores para determinar su punto ideal de recolección. Además, se pretende estimar como este arbusto leñoso se ve afectado y afecta al ecosistema en el que se desarrolla.

Palabras clave: *Cistus ladanifer* L. Sensores, Emisiones de gases

Abstract

Cistus ladanifer L. belongs to the cistaceae family, it is a native and widespread species in the Mediterranean region. It grows from sea level to about 1,500 m a.s. n. m. This aromatic shrub produces an aromatic oleoresin (labdanum) used in perfumes as a fixative, it has medicinal and antifungal properties, and its stems and branches are used for the manufacture of pellets that are a potential source of autochthonous renewable energy. The tolerance and adaptability of *C. ladanifer* to different types of soil, including serpentine, polluted and infertile soils, together with its evolutionary potential to adapt to extreme environments, allows it to be used in phytostabilization procedures to reduce subsequent environmental degradation. The objective of this work is to determine the amount and type of gases given off by this plant throughout its physiological development to develop a sensor system to determine its ideal collection point. In addition, it is intended to estimate how this woody shrub is affected and affects the ecosystem in which it develops

Key words: *Cistus ladanifer* L. sensors, Gas emissions

índice

Tabla de contenido

Capítulo 1: introducción	1
1.1 Uso de sensores de gas.....	1
1.2 Descripción morfológica, fenológica y ecológica de <i>Cistus Ladanifer</i>	2
1.3 Objetivos	4
1.4 estructura del proyecto	5
Capítulo 2: Marco teórico.....	6
2.1 Exudado de <i>Cistus ladanifer</i>	6
2.2 Importancia de <i>Cistus Ladanifer</i>	6
2.3 Uso de sensores de gas para monitorizar el desarrollo en plantas.....	8
Capítulo 3: Materiales y Métodos.....	9
3.1 Cámara de concentración	9
3.1.1 Selección de la planta.....	9
3.2 Componentes del array de sensores	10
3.2.1 Sensores	10
3.2.2 Sensor de gas MQ-2.....	10
3.2.3 Sensor de gas MQ-3.....	10
3.2.4 Sensor de gas MQ-4.....	10
3.2.5 Sensor de gas MQ-5.....	11
3.2.6 Sensor de gas MQ-6.....	11
3.2.7 Sensor de gas MQ-7.....	11
3.2.8 Sensor de gases MQ-8.....	12
3.2.9 Sensor de gas MQ 135	12
3.2.10 Modulo DHT11.....	12
3.3 Otros componentes	13
3.3.1 Placa Mega 2560	13
3.3.2 YwRobot 545043	13
3.3.3 Módulo reloj de tiempo real (RTC)	13
3.3.4 Módulo de memoria SD	14
3.3.5 Pantalla LCD.....	14
3.3.6 Adaptadores AC/DC	14
3.4 Montaje	14
3.5 Gases a medir	15
3.5.1 CO ₂	15
3.5.2 H ₂	16
3.5.3 LPG	16
3.5.4 CO	16
3.5.5 Alcohol.....	16

3.5.6 propano	16
3.5.7 CH ₄	16
3.5.8 Hexano	17
3.5.9 Benceno	17
3.5.10 Humo(smoke)	17
3.6 Diseño de muestreo	17
3.7 Software.....	18
3.7.1 Arduino	18
Capítulo 4: Resultados.....	19
4.1 Resultados sensor 1.....	19
4.1.1 Día 1	19
4.1.2 Día 2.....	20
4.1.3 Día 3.....	20
4.1.4 Día 4.....	21
4.1.5 Día 5.....	22
4.1.6 Día 6.....	22
4.1.7 Día 7.....	23
4.2 Resultados sensor 2.....	24
4.2.1 Día 1	24
4.2.2 Día 2.....	24
4.2.3 Día 3.....	25
4.2.4 Día 4.....	26
4.2.5 Día 5.....	26
4.2.6 Día 6.....	27
4.2.7 Día 7.....	28
4.3 Resultados sensor 3.....	28
4.3.1 Día 1	28
4.3.2 Día 2.....	29
4.3.3 Día 3.....	30
4.3.4 Día 4.....	31
4.3.5 Día 5.....	33
4.3.6 Día 6.....	34
4.3.7 Día 7.....	34
4.4 Resultados sensor 4.....	35
4.4.1 Día 1	35
4.4.2 Día 2.....	36
4.4.3 Día 3.....	37
4.4.4 Día 4.....	37
4.4.5 Día 5.....	38

4.4.6 día 6.....	39
4.4.7 Día 7	40
4.5 Resultados sensor 5.....	40
4.5.1 Día 1	40
4.5.2 día 2.....	41
4.5.3 Día 3.....	41
4.5.4 día 4.....	42
4.5.5 Día 5.....	43
4.5.6 Día 6.....	43
4.5.7 Día 7.....	44
Capítulo 5: Discusión de resultados.....	45
Capítulo 6: Conclusiones	47
6.1 Cumplimiento del objetivo.	47
6.2.- Problemas encontrados y cómo se han solucionado.....	47
6.3.- Futuras líneas de investigación	47
Bibliografía.....	48

Capítulo 1: introducción

1.1 Uso de sensores de gas

Al comienzo de esta área de investigación, surgió la pregunta de si las reacciones químicas entre los marcadores volátiles y varios sensores podrían amplificarse y ser lo suficientemente sensibles como para permitir que se midieran las diferencias cualitativas entre los marcadores en concentraciones relativamente bajas. Se hicieron intentos en la década de 1970 para estudiar la posibilidad de usar reacciones redox de compuestos volátiles y amplificar la conductividad volátil y el contacto entre moléculas volátiles y materiales basados en sensores. Esto resultó en el primer modelo de una 'nariz electrónica', informado por (Persaud & Dodd, 1982). Su idea era tratar de detectar diferentes compuestos volátiles mediante la simulación de las diferentes etapas del sistema olfativo humano, incluido el muestreo y filtrado de olores, el uso de sensores bioquímicos con los que los compuestos volátiles pueden reaccionar, la amplificación y el tratamiento de las respuestas de la señal del sensor y el uso de redes neuronales como se puede observar el ejemplo de la figura 1.

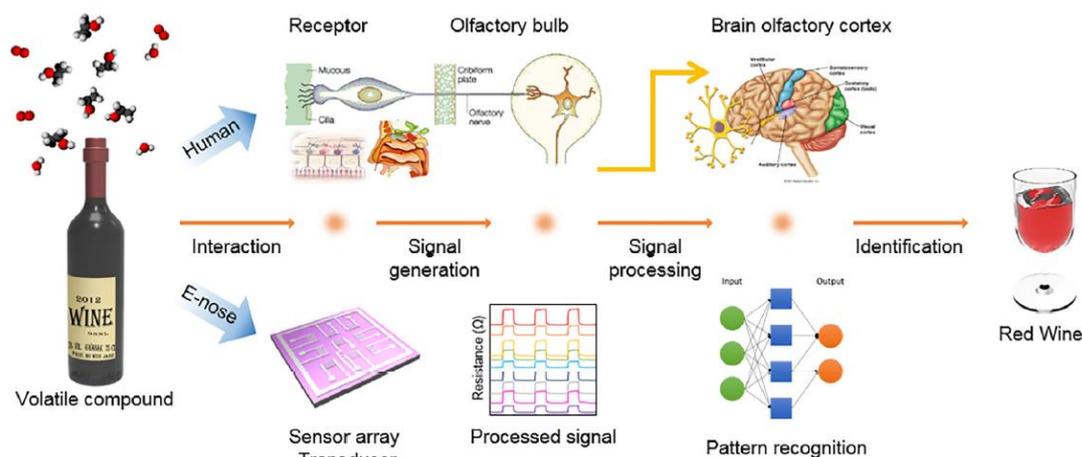


Figura 1 Tomada de (Park et al., 2019).

El interés por este tipo de sistemas y la investigación en olfato electrónico dio un salto espectacular en la primera mitad de los 90, es en esta etapa en la que se acuña la definición comúnmente aceptada hoy en día de sistema de olfato electrónico el cual es un instrumento que comprende una matriz de sensores químicos con sensibilidades parcialmente solapadas y algoritmos inteligentes capaces de reconocer aromas simples o complejos (Brezmes Llecha, 2002).

Una nariz electrónica (e-nose) es un dispositivo que puede detectar y reconocer olores y sabores utilizando una serie de sensores. Ha recibido un interés considerable en la última década porque se requiere en varias áreas, como señales biomédicas (Campaña Bastidas & Londoño Peláez, 2013), monitoreo ambiental, aplicaciones industriales, automóviles, almacenamiento de alimentos y militares (Park et al., 2019).

En Europa, el control de la calidad del aire ambiente es obligatorio según la Directiva Europea 2008/50EC debido a su efecto sobre la salud. Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son compuestos peligrosos que pueden causar daños a los seres humanos por una exposición prolongada. Los principales compuestos de interés consisten en aromáticos como benceno, tolueno, xileno y etilbenceno (BTEX) y

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

aldehídos, como formaldehído, acetaldehído. Esta Directiva establece que el método de referencia para la medición de BTEX consiste en un muestreo activo o en línea seguido de desorción y cromatografía de gases. Implementar estas medidas requiere personal capacitado para cumplir con operaciones complejas. Mientras que alguna implementación de este método no es fácilmente transportable y prohíbe la estimación de la exposición de la población. Por lo tanto, el método de referencia no es adecuado para construir redes densas de sitios de monitoreo automático BTEX para cubrir grandes áreas o para la estimación de la evaluación de la exposición humana en tiempo real. La necesidad de aplicaciones móviles y una mejor cobertura espacial solo se puede satisfacerse reduciendo el tamaño y los costos de los dispositivos de monitoreo que utilizados. Los sensores comerciales de bajo costo representan una gran oportunidad para desarrollar redes de sensores de VOC capaces de monitorear grandes áreas con un costo limitado en comparación con las mediciones de referencia. Además, la AQD permite utilizar medidas indicativas sin restricción en las zonas donde no se supera el umbral superior de evaluación (UAT), mientras que su implementación permite una reducción del 50 % de las medidas mínimas de referencia donde se supera el UAT. La tecnología actual de sensores de gas ha permitido la introducción en el mercado de varios tipos de sensores de bajo costo para monitorear la contaminación del aire: sensores de óxido de metal (MOx), celdas electroquímicas amperométricas o potenciométricas, detectores de fotoionización (PID), portátiles y micro GC (μGC) (Spinelle et al., 2017).

En la sociedad actual, la medicina preventiva se está convirtiendo en el enfoque terapéutico aceptado y los pacientes comienzan a exigir un diagnóstico cualitativo rápido y temprano de enfermedades microbianas. La discriminación temprana entre diferentes infecciones también es importante para facilitar un tratamiento rápido como parte de una estrategia de salud preventiva. Es bien sabido que las especies microbianas producen una variedad de compuestos volátiles. Muchos estudios, especialmente aquellos que utilizan herramientas analíticas como la cromatografía de gases (GC) o la GC vinculada con la espectrometría de masas (GC-MS) para el análisis de espacio de cabeza, han demostrado que los microorganismos producen muchos compuestos orgánicos volátiles, incluidos alcoholes, ácidos alifáticos y terpenos, algunos de los cuales son que tienen olores característicos. Investigaciones han demostrado que el tipo de medio de cultivo y la edad del cultivo, así como las especies microbianas, influyen en las cantidades y patrones de los compuestos volátiles que se producen. Como estos patrones son característicos de ciertos tipos de microorganismos infecciosos, pueden utilizarse potencialmente como biomarcadores de enfermedades (Turner & Magan, 2004).

1.2 Descripción morfológica, fenológica y ecológica de *Cistus Ladanifer*

Pertenece a la familia de las Cistáceas, una de las familias más características de la flora mediterránea, siendo el género *Cistus*, uno de sus principales representantes. *Cistus ladanifer* L., conocida vulgarmente con el nombre de jara, jara pingosa o jara del ládano, se caracteriza principalmente por su penetrante aroma. Es una planta que presenta un gran interés tanto en el ámbito forestal como al ámbito comercial, *C. ladanifer* es un arbusto siempre verde que en condiciones óptimas puede llegar a medir hasta 4 m, pero que habitualmente no supera los 2 m. Las hojas son opuestas como podemos observar en la Figura 2, carecen de estípulas y se sueldan entre sí en la base; son enteras, alargadas y estrechas, alcanzando hasta 10 cm de largo y 1,5 cm de anchura. En etapas iniciales están fuertemente impregnadas de una sustancia pegajosa el ládano, que les da un aspecto lustroso y se adhiere fácilmente a manos y ropa, posee flores muy grandes, de hasta 10 cm de diámetro, con 3 sépalos y 5 pétalos de un color blanco puro que en ocasiones presentan una mancha purpúrea en la base. El fruto es una cápsula globosa con 7-10 compartimentos y que se abre en la

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

madurez en otras tantas valvas Presentan fruto en cápsula oval-oblonga o suboblonda escamosa-vellosa, con válvulas en número básico de 10, pero frecuentemente con 9 e incluso 8 por abortos carpelares. La dehiscencia es loculicida valvar dejando al descubierto numerosas semillas (250 por carpelo), diminutas (en torno a 0,5-1mm), poliédricas, lisas o muy ligeramente rugosas.

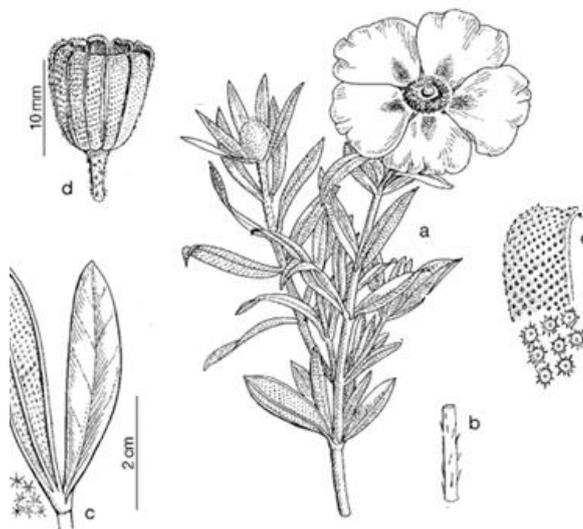


Figura 2. *Cistus ladanifer*.

a) rama florífera; b) detalle de una ramilla y pilosidad de esta; c) hojas y detalle de la pilosidad del envés; d) cápsula madura; e) valva y pilosidad de esta (Flora Ibérica, 2022).

Una sola planta puede llegar a engendrar un máximo de 250.000 semillas por año, necesitando estas semillas para germinar, un choque térmico que rompa la dureza de su cubierta seminal y su impermeabilidad, debido a la necesidad del fuego para su propagación, se dice de ella que es una planta pirófila, la cual es capaz de mantener sus semillas sin germinar durante años, amoldarse a suelos pobres y otras situaciones de escasez; esta adaptación a distintos factores como temperatura, precipitación, pH... hace que su nicho ecológico sea muy extenso, al adaptarse a hábitats muy variados con condiciones ambientales diferentes, como los extremos termopluviométricos del clima peninsular, además de convertirse en una especie altamente inflamable (Carrión Prieto, 2017).

El estudio del ciclo vegetativo y reproductivo a lo largo del año aporta una importante información acerca de la duración de diversas fases de desarrollo vegetativo frente a la variación de factores ambientales (Valares Masa, 2011). En *C. ladanifer* los distintos estados fenológicos son los siguientes:

- La producción foliar se inicia cuando empiezan las primeras lluvias, reduciéndose durante el periodo de sequía. La formación de yemas auxiliares tiene su inicio de modo general en la segunda quincena de enero hasta mayo, periodo que coincide con la mayor abundancia de agua en el suelo.
- La floración ocurre entre mediados de febrero y mayo, dependiendo de las localidades.
- La caída de hojarasca tiene lugar dos veces al año, la primera y más pronunciada, ocurre durante la segunda quincena de mayo y la primera quincena de junio, y la segunda entre agosto y octubre. Este periodo debe estar controlado por mecanismos fisiológicos, que a su vez están

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

condicionados por diversos factores como temperatura, humedad, etc. El desarrollo de nuevas hojas y flores debe ser el factor desencadenante del desprendimiento de las antiguas. Además, que la caída sea justo antes de verano favorece la retención del agua, puesto que disminuye la evapotranspiración de la planta, ya que la superficie foliar de las nuevas hojas resulta bastante inferior a las de las viejas (Núñez, 1989).

BRAUN-BLANQUET & WARNER, (1941) afirman que la especie de *C. ladanifer* es originaria del suroeste de la Península Ibérica y zona septentrional de Marruecos. En España, abunda en Andalucía Occidental, Extremadura y las zonas Occidentales de Madrid, Castilla La Mancha y Castilla León, tornándose más rara en el norte de Galicia, Asturias, País Vasco, Aragón, Murcia, Valencia y Cataluña como se puede observar en la Figura3.

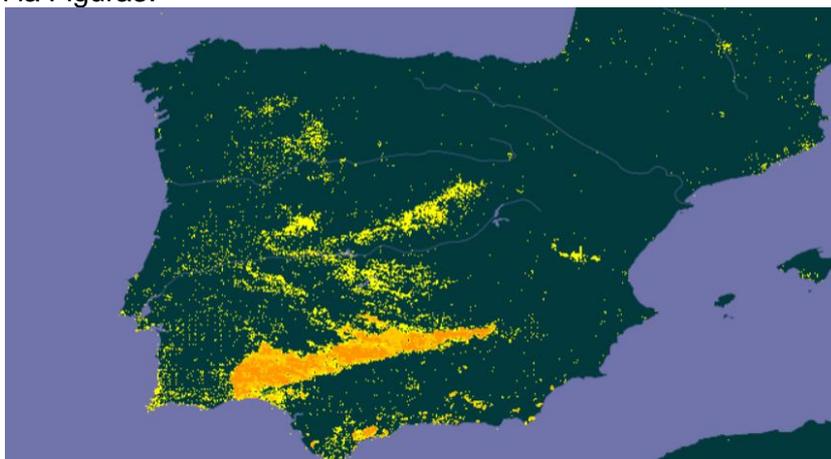


Figura 3. Distribución de *Cistus ladanifer* (GBIF, 2022).

Las jaras son especies colonizadoras, típicamente xerófilas, sin especificidad para tipos de suelos. Coloniza suelos generalmente muy degradados asociados a etapas tempranas de la sucesión y que se adapta perfectamente a condiciones de baja fertilidad y otras situaciones extremas periódicas. Se desarrolla en ambientes climáticos muy diversos, siendo capaz de soportar desde estrés de frío hasta sequedad y altas temperaturas, durante periodos más o menos largos del año. Todos estos factores en sus valores extremos son factores de estrés que tienden a limitar el crecimiento de la planta y frente a los cuales ha desarrollado diferentes mecanismos adaptativos.

1.3 Objetivos

- Determinar la cantidad y el tipo de gases que despiden esta planta en todo su desarrollo fisiológico.
- Desarrollar un sistema de sensores para determinar su punto ideal de recolección.
- Estimar como este arbusto leñoso se ve afectado y afecta al ecosistema en el que se desarrolla.

1.4 estructura del proyecto

Este documento se ha organizado siguiendo el esquema marcado por los objetivos. Consta de 6 capítulos y anexos donde se encuentran las gráficas de sensibilidad de los sensores en el anexo 1, los comandos de programación utilizados para cada sensor y las tablas con los datos en el anexo 3.

Tras el capítulo introductorio, el capítulo 2 trata sobre los exudados de *Cistus ladanifer*, su importancia, el uso de sensores de gas para monitorizar el desarrollo en plantas y conocer los avances en el área y limitaciones.

En el capítulo 3 se presenta el prototipo del array de sensores, como se diseñó, todas las partes que lo componen, esquemas, gas que se medirán, software utilizado y el muestreo diseñado.

En el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos de forma gráfica con las 155 graficas generadas con las medidas obtenidas por cada sensor.

En el capítulo 5 se realiza un resumen de los datos obtenidos donde se discute y se presentan tablas con los valores más altos obtenidos en casa sensor por día.

Finalmente, en el capítulo 6 se detallan las conclusiones obtenidas tras la realización de los estudios descritos en los capítulos 2, 3 y 4, los problemas y soluciones que se presentaron y apuntando hacia donde deben continuar los esfuerzos en las líneas de investigación tratadas en trabajo de fin de máster.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Exudado de *Cistus ladanifer*

Los compuestos derivados del metabolismo secundario en las plantas realizan una variedad de funciones ecológicas, proporcionando a la planta resistencia a factores bióticos y abióticos. *Cistus ladanifer* es llamada “Jara pringosa” debido a la peculiaridad que presentan sus tallos y hojas de secretar una sustancia pegajosa denominada ládano el cual posee mucho aroma. Diversos estudios han demostrado que los metabolitos secundarios presentes en el exudado de la hoja y tallo de *Cistus ladanifer*, específicamente los flavonoides aglicónicos y los diterpenos, desempeñan un papel ecofisiológico. Protegen contra la radiación ultravioleta, tienen actividad antiherbívora y son agentes alelopáticos (Chaves & Escudero, 1997).

Los niveles basales de estos metabolitos para cada tipo de órgano, tejido o célula dependen del estado de desarrollo de la planta y pueden verse modificados como respuesta al estrés biótico y/o abiótico. Los metabolitos secundarios de *Cistus ladanifer* se han cuantificado en hojas y tallos a lo largo de otoño, invierno, primavera y verano, y en diferentes edades de la planta, los cuales han demostrado que existen diferencias significativas entre hojas jóvenes, hojas maduras y tallos, y entre individuos de diferentes edades. Las hojas jóvenes muestran una síntesis significativamente mayor de flavonoides y diterpenos que las hojas y tallos maduros, con una clara variación estacional, y las diferencias entre hojas en diferentes etapas de crecimiento y tallos se mantienen durante las estaciones cuantificadas. Con respecto a la edad, los ejemplares menores de un año secretaron cantidades significativamente menores de compuestos. La variación en la composición de metabolitos secundarios entre las distintas partes de la planta, la época del año y las variaciones en la edad pueden determinar las interacciones de *Cistus ladanifer* con los factores bióticos y abióticos a los que está expuesta. (Valares Masa, Sosa Díaz, et al., 2016)

Los flavonoides y diterpenos ejercen una amplia variedad de funciones ecológicas y fisiológicas. Las propiedades de estos compuestos dependen de su concentración, y la concentración depende de la síntesis de estos compuestos en la planta. En *C. ladanifer*, la síntesis de flavonoides y diterpenos depende del efecto de factores ambientales, como la luz ultravioleta, el fotoperíodo y el estrés hídrico (Haberstroh et al., 2018; Valares Masa, 2011).

2.2 Importancia de *Cistus Ladanifer*

Las propiedades aromáticas y medicinales de la jara eran de gran importancia y muy populares en la antigüedad; tanto que se convirtieron en productos indispensables en el comercio (Becerro et al., 2014). Este arbusto fuerte y aromático segrega una resina gomosa, conocida como ládano, que ha sido extraída en países como España, Francia y Portugal. De la planta se obtienen diferentes materiales odoríferos, como el aceite de jara, la goma de ládano y el aceite de ládano. Los productos “*Cistus*” son particularmente apreciados por su olor balsámico, así como por sus propiedades fijadoras. Varios trabajos de investigación han sido reportados en la literatura sobre compuestos volátiles de *C. ladanifer* L., debido a la gran importancia de esta materia prima para la industria de las fragancias (Teixeira et al., 2007).

Cistus ladanifer L. es una planta muy utilizada en la medicina popular para el tratamiento de diversas enfermedades. Este estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de la época de floración de la planta sobre la composición química y el efecto

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

antimicrobiano de su aceite esencial. Las propiedades antibacterianas y antifúngicas se probaron contra cuatro bacterias seleccionadas (*Staphylococcus aureus*, *Salmonella Typhi*, *Escherichia coli* y *Acinetobacter baumannii*) y nueve hongos (Levadura (*Candida tropicalis*, *Candida glabrata*, *Candida dubliniensis*, *Candida sp.*, *Rhodotorula rubra*, *Cryptococcus neoformans*) y mohos (*Penicillium sp.* (P), *Fusarium sp.* (F), *Aspergillus niger* (*A. niger*)), respectivamente. Obteniendo como resultado que el aceite esencial de *C. ladanifer* demostró una potente actividad antibacteriana y exhibió una notable actividad antimicrobiana que podría explotarse más para desarrollar remedios naturales dirigidos contra enfermedades específicas (el Karkouri et al., 2021)

Se investigaron los suelos del área minera contaminada de Aljustrel, situada en el suroeste de Portugal, en la Faja Pirítica Ibérica, y *Cistus ladanifer* L., un arbusto aromático autóctono, para cuantificar los elementos más relevantes presentes en los suelos y en la planta, y evaluar la posibilidad de la fitorremediación de esa zona, en particular de los elementos de mayor potencial contaminante. cuyos resultados sugieren que *C. ladanifer* ha desarrollado selectividad en la captación y translocación de metales. En cuanto a los metales esenciales Mn, Zn y Cu, la planta es acumuladora del primero, indicadora del segundo y excluyente del tercero, que es relativamente tóxica. En cuanto al Pb, elemento tóxico no esencial, se excluye de la planta en mayor medida que el cobre. Esto ilustra la capacidad de *C. ladanifer* para hacer frente a condiciones de suelo desfavorables, con altos niveles de elementos tóxicos, capacidad de resistencia que también ha mostrado frente a cambios ambientales físicos. Por lo tanto, parece que *C. ladanifer* exhibe una capacidad potencial para ser utilizada en procedimientos de fitoestabilización para esa zona minera y eventualmente puede reducir los riesgos de la movilidad de los metales y disminuir la degradación ambiental subsiguiente. (Alvarenga et al., 2004).

El uso de biomasa como combustible es una aplicación atractiva debido a su naturaleza renovable y la formación limitada de contaminantes y compuestos de efecto invernadero. En este estudio se recogieron muestras de *Cistus ladanifer*, y se secaron en un horno solar. Posteriormente, se produjeron pellets, alimentando lotes de aserrín de *Cistus ladanifer* con 10% de humedad (wb), secuencialmente, hasta siete veces por cada experimento. Se recogieron muestras después de cada proceso de granulación para determinar la tasa de pérdida de agua evaporada y se realizaron pruebas de calidad de los gránulos para evaluar la influencia en la calidad de los gránulos. Se perdió un promedio de 7% de contenido. Se obtuvo un contenido mínimo de humedad final del gránulo del 3% (p.e.). Las pruebas de durabilidad revelaron un índice de 98,5%, muy por encima de los estándares internacionales de 97,5% siendo una excelente alternativa para uso de biomasa como combustible renovable. (Almeida et al., 2014).

Las especies de *cistus* pueden formar tanto ectomicorrizas como micorrizas arbusculares vesiculares y están asociadas con más de 200 especies de hongos ectomicorrízicos de 40 géneros diferentes, la especie de hongo más valiosa asociada a estos ecosistemas es *Boletus edulis* Bull., que es un hongo culinario muy apreciado en muchos países, y percibido como un bien de lujo en los principales mercados españoles. Sin embargo, la fructificación significativa de estos hongos en el bosque ocurre solo en rodales maduros (30-40 años) y dado que la fructificación en los ecosistemas de *C. ladanifer* ocurre a una edad mucho más temprana (3-4 años) (Hernández Rodríguez, 2016).

Estos estudios son ejemplo de las múltiples utilidades de la jara y lo importante de la conservación de matorrales de *C. ladanifer* ya que son de interés en áreas con suelos pobres y degradados, donde la productividad de las áreas boscosas es muy baja y el

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

beneficio económico escaso. Para mantener adecuadamente estas áreas es necesario llevar a cabo técnicas de manejo con el fin de incrementar los beneficios económicos y evitar el alto riesgo de incendios asociado a los matorrales pirofíticos senescentes de *C. ladanifer*. Con este fin se plantean este trabajo de fin de máster.

2.3 Uso de sensores de gas para monitorizar el desarrollo en plantas.

El problema de la identificación de la fecha óptima para cosechar ha sido estudiado en el caso de manzanas, duraznos, nectarinas entre otros en donde la nariz electrónica obtiene resultados comparables a la mayoría de los métodos destructivos tradicionales (Brezmes Llecha, 2002).

Una aplicación de gran importancia social e industrial es la relacionada con la seguridad alimentaria como es el caso de la necesidad de monitorizar la infestación de ácaros en cereales (Ridgway et al., 1999), monitorización de la calidad de frutas y verduras (Rifna & Dwivedi, 2021), la calidad de microbiológica de granos (Jonsson et al., 1997) detección temprana de contaminación y defectos en alimentos (Sanaeifar et al., 2017) y el grado de ranciedad en patatas (Vinaixa et al., 2005) en bebidas son conocidos estudios con café y vinos (Prieto, 2012), dónde la correlación de estos resultados con los paneles de catadores son casos típicos de estudios realizados también se han publicado estudios en detección de microorganismos en pescados carnes panadería y lácteos (Duran, 2006). Son algunos de los ejemplos en la industria alimenticia.

De todas maneras, las aplicaciones comerciales con más futuro son aquellas en las que se utiliza el sistema de olfato electrónico para monitorizar del estado fisiológico de diferentes productos bien sea durante la producción o durante su conservación (Brezmes Llecha, 2002).

La mayoría de estos estudios carecen de aplicabilidad en campo ya sea por sus elevados costos o por la dificultad para la instalación, por esta razón en este TFM se propone el diseño de un array de sensores empleando sensores comerciales de bajo costo.

3.2 Componentes del array de sensores

3.2.1 Sensores

Los sensores de la familia MQ de alta sensibilidad y respuesta rápida son amplia y eficientemente utilizados. Estos sensores son electroquímicos y varían su resistencia cuando se exponen a determinados gases, internamente posee un calentador encargado de aumentar la temperatura interna y con esto el sensor pueda reaccionar con los gases provocando un cambio en el valor de la resistencia. El sensor propiamente se encuentra encerrado en dos capas de malla de acero inoxidable que asegura que el elemento calentador interno no cause una explosión dado que en su ambiente de trabajo puede haber presencia de gases inflamables, además filtra las partículas suspendidas para que solo gases accedan a la cámara. Dentro, se encuentra una bobina de níquel-cromo para formar el sistema de calefacción y un revestimiento de dióxido de estaño (que es sensible a gases combustibles) forma el sistema de detección. Una vez se calienta el dióxido de estaño absorbe el oxígeno (del aire limpio) en su superficie, atrayendo electrones del dióxido de estaño y dificultando el flujo de corriente. En presencia de gases la densidad de oxígeno absorbido disminuye liberando a los electrones permitiendo que la corriente fluya con mayor libertad por el sensor (DataSheet.es, 2021).

3.2.2 Sensor de gas MQ-2

El material sensible del sensor de gas MQ-2 es SnO₂, que tiene una conductividad más baja en aire limpio. Cuando existe el gas combustible objetivo, la conductividad del sensor es más alta junto con el aumento de la concentración de gas. El sensor de gas MQ-2 mide H₂, LPG, CO, Alcohol, Propano.



Figura 6. Sensor de gas MQ-2

3.2.3 Sensor de gas MQ-3

sensor compuesto por el tubo de cerámica micro AL₂O₃, la capa sensible al dióxido de estaño (SnO₂), el electrodo de medición y el calentador se fijan en un corteza hecha por red de plástico y acero inoxidable. El calentador proporciona las condiciones de trabajo necesarias para el trabajo de componentes sensibles. El sensor MQ- es sensible principalmente al Alcohol, LPG, CH₄, CO, Benceno, Hexano.

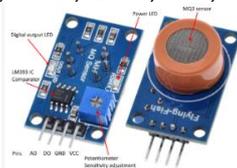


Figura 7. MQ-3

3.2.4 Sensor de gas MQ-4

El material sensible del sensor de gas MQ-4 es SnO₂, que tiene una conductividad más baja en aire limpio. Cuando existe el gas combustible objetivo, la conductividad del sensor es más alta junto con el aumento de la concentración de gas. El sensor de gas MQ-4 tiene alta sensibilidad al Metano, LPG, CO, Alcohol, Humo(smoke).

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*



Figura 8. Sensor de gas MQ-4

3.2.5 Sensor de gas MQ-5

El sensor semiconductor MQ-5 para gas combustible, el material sensible del sensor de gas MQ-5 es SnO_2 , que tiene una conductividad más baja en aire limpio. Cuando existe el gas combustible objetivo, la conductividad del sensor es más alta junto con el aumento de la concentración de gas. El sensor de gas MQ-5 tiene una alta sensibilidad al metano, H_2 , LPG, CO, Alcohol.



Figura 9. Sensor MQ-5

3.2.6 Sensor de gas MQ-6

El sensor de gas MQ-6 puede detectar o medir gases como el H_2 , LPG, CH_4 , CO, Alcohol. El módulo del sensor MQ-6 viene con un pin digital que hace que este sensor funcione incluso sin un microcontrolador y eso es útil cuando solo intenta detectar un gas en particular. Cuando se trata de medir el gas en ppm, se debe usar el pin analógico, el pin analógico también funciona con TTL y funciona con 5 V y, por lo tanto, se puede usar con la mayoría de los microcontroladores comunes.



Figura 10. Sensor de gas MQ-6

3.2.7 Sensor de gas MQ-7

El MQ-7 Detector de Monóxido de Carbono es un sensor electro-químico que varía su resistencia al estar en contacto con monóxido de carbono (CO) en el aire, el módulo contiene un circuito electrónico que permite realizar la conexión con alguna tarjeta de desarrollo, y cuenta con una salida analógica y otra digital. El MQ-7 es ideal para aplicaciones que buscan detectar concentraciones de Monóxido de carbono en el rango de 20 ppm a 2000 ppm (partes por millón) en el ambiente, tiene una salida analógica que permite medir el cambio progresivo en la concentración de gases y una salida digital cuyo umbral de detección puede ser ajustado. Mide H_2 , LPG, CH_4 , CO, Alcohol.



Figura 11. Sensor de gases MQ-7

3.2.8 Sensor de gases MQ-8

El sensor de gas de hidrógeno MQ-8 es adecuado para detectar concentraciones de hidrógeno en el aire. El MQ-8 puede detectar concentraciones de gas hidrógeno entre 100 y 10 000 ppm. Este sensor tiene una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta rápido. También puede medir LPG, CH₄, CO, Alcohol.



Figura 12. Sensor de gases MQ-8

3.2.9 Sensor de gas MQ 135

Los sensores de gas MQ-135 se utilizan en equipos de control de calidad del aire y son adecuados para la detección o medición de NH₃, NO_x, alcohol, benceno, humo, CO₂. El módulo del sensor MQ-135 viene con un pin digital que hace que este sensor funcione incluso sin un microcontrolador y eso es útil cuando solo intenta detectar un gas en particular. Si necesita medir los gases en PPM, debe usar el pin analógico.



Figura 13. Sensor de gas MQ 135

3.2.10 Modulo DHT11

El sensor DHT11 consiste en un elemento sensor de humedad capacitivo y un termistor para detectar la temperatura. Dentro del DHT11, hay un componente sensor de humedad junto con un termistor. El componente de detección de humedad tiene dos electrodos con un sustrato que retiene la humedad entre ellos. Los iones son liberados por el sustrato a medida que éste absorbe el vapor de agua, lo que a su vez aumenta la conductividad entre los electrodos. El cambio de resistencia entre los dos electrodos es proporcional a la humedad relativa. Una mayor humedad relativa disminuye la resistencia entre los electrodos, mientras que una menor humedad relativa aumenta la resistencia entre los electrodos. Para medir la temperatura, este sensor utiliza un termistor de coeficiente de temperatura negativa, que provoca una disminución de su valor de resistencia con el aumento de la temperatura. Para obtener un mayor valor de resistencia incluso para el más pequeño cambio de temperatura, este sensor suele estar compuesto por cerámicas semiconductoras o polímeros.

El rango de temperatura del DHT11 es de 0 a 50 grados centígrados con una precisión de 2 grados. El rango de humedad de este sensor es de 20 a 80% con una precisión del 5%. La tasa de muestreo de este sensor es de 1Hz, es decir, da una lectura por cada segundo. El DHT11 es de tamaño pequeño con un voltaje de operación de 3 a 5 voltios. La máxima corriente utilizada en la medición es de 2,5mA.



Figura 14. Modulo DHT11.

3.3 Otros componentes

3.3.1 Placa Mega 2560

El Mega 2560 es una placa de microcontrolador basada en el ATmega2560. Tiene 54 pines de entrada/salida digital (de los cuales 15 se pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos seriales de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; se puede conectar a una computadora con un cable USB o enciende con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de los escudos diseñados para Uno y las placas anteriores Duemilanove o Diecimila.

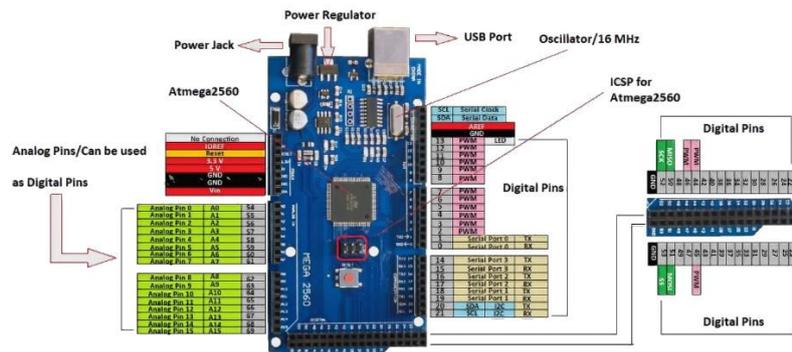


Figura 15. Placa Mega 2560

3.3.2 YwRobot 545043

El YwRobot es un módulo que permite alimentar una protoboard MB-102 mediante plug a un transformador de pared hasta 12v. Proporciona dos salidas independientes que son seleccionables mediante jumpers y permiten suministrar 5V o 3.3V. Cuenta además con salida de 5V por conector USB.

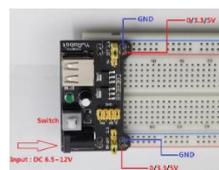


Figura 16. YwRobot 545043

3.3.3 Módulo reloj de tiempo real (RTC)

El DS1307 es un reloj / calendario BCD de bajo consumo de energía, tiene una memoria DRAM de 56 bytes. Transfiere los datos en serie a través de un bus bidireccional I²C. El reloj / calendario ofrece segundos, minutos, horas, días, fecha, mes y año. El final de la fecha del mes se ajusta automáticamente durante los meses con menos de 31 días, incluyendo correcciones para los años bisiestos. El reloj funciona tanto en formato de 24 horas como de 12 horas con indicador AM / PM. El DS1307 tiene un circuito integrado que detecta fallas de energía y cambia automáticamente a la alimentación de reserva. Utiliza una batería de Litio (CR1225).



Figura 17. Módulo reloj RTC

3.3.4 Módulo de memoria SD

Esta tarjeta de interfaz está diseñada para acceder a la memoria SD en modo SPI, por lo que las señales de control se etiquetan claramente con los nombres de las señales en dicho bus de comunicaciones. Posee un regulador de tensión incluido para alimentar con 5 y 3.3 V. Su interfaz de comunicación SPI permite poder utilizarlo con Arduino o PIC.



Figura 18. Modulo memoria SD

3.3.5 Pantalla LCD

Este componente se encarga de convertir las señales eléctricas de la placa en información visual fácilmente entendible por los seres humanos. Y tiene la gran ventaja es que se pueden visualizar los datos en tiempo real.



Figura 19. Pantalla LCD.

3.3.6 Adaptadores AC/DC

Los convertidores de alimentación a 5V, usados para alimentar los YwRobot 545043.



Figura 20. Adaptador AC/DC.

3.4 Montaje

En la figura 21 podemos observar el esquema inicial de las conexiones del circuito. En él se han respetado los colores que tiene el montaje real. Los sensores MQ Tienen alimentación independiente de la placa Mega 2560. El reloj RTC, el lector de tarjetas SD y el módulo DHT11 están alimentaos por el Arduino.

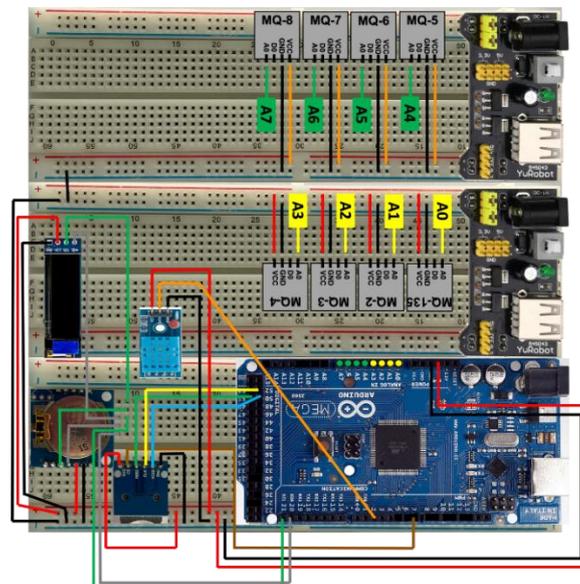


Figura 21. Esquema inicial.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

Posteriormente se realizó una modificación donde se sacaron los sensores para que el protoboard quedara afuera de la cámara de concentración y solo a dentro los sensores y facilitar su manejo como se observa en las figura 22.



Figura 22. Antes y después de la modificación.

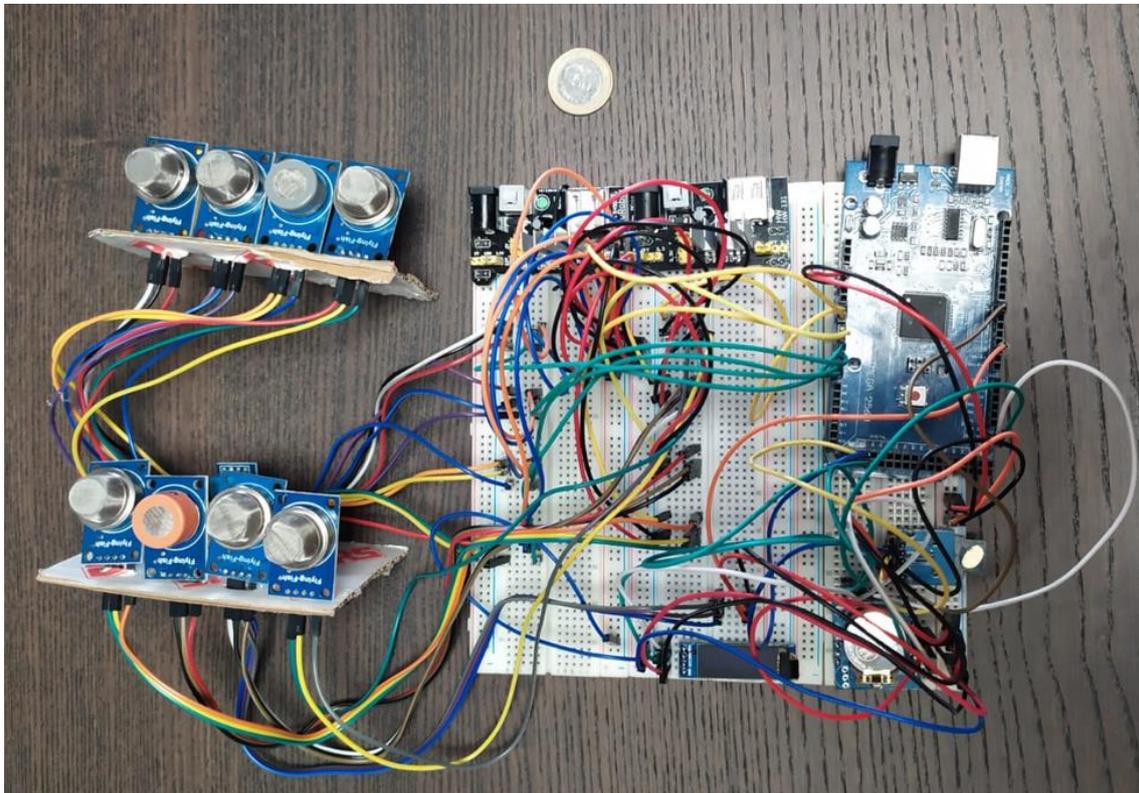


Figura 23. Array de sensores diseñado.

3.5 Gases a medir

3.5.1 CO₂

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas inodoro, incoloro, ligeramente ácido y no inflamable. Es soluble en agua cuando la presión se mantiene constante, y está formado por una molécula lineal de un átomo de carbono ligado a dos átomos de oxígeno, es el principal gas de efecto invernadero que se emite a raíz de las

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

actividades del ser humano. En la naturaleza, una fuente de emisión importante son los procesos fotosintéticos, concretamente el proceso de respiración, en el que los componentes alimentarios de animales y plantas se oxidan para la obtención de energía, desprendiéndose en la reacción, dióxido de carbono y agua. Los incendios forestales también constituyen un foco de liberación significativa, ya que se produce la quema de combustibles fósiles (madera y biomasa fundamentalmente). Las plantas, durante el día y gracias a la luz del sol y el proceso de fotosíntesis, capturan el CO₂ atmosférico y lo transforman en los carbohidratos que precisan para crecer, liberando al mismo tiempo oxígeno. El proceso se invierte durante la noche, capturando oxígeno y liberando CO₂. Las plantas, por tanto, ejercen como almacenes de carbono. De ahí que muchas veces se hable de ellas como sumideros de carbono. Múltiples estudios se han realizado en España para cuantificar el carbono que se encuentra en los matorrales de *Cistus ladanifer* concluyendo que es un sistema de sumidero importante (García Rosa, 2013).

3.5.2 H₂

El Dihidrógeno es la forma estable del primer elemento de la tabla periódica por lo tanto el más liviano, es un gas, insípido, incoloro e inodoro. El hidrogeno en la Tierra es muy abundante, constituye aproximadamente el 75 % de la materia del Universo, pero se encuentra combinado con otros elementos como el oxígeno formando moléculas de agua, o al carbono, formando compuestos orgánicos.

3.5.3 LPG

El gas licuado del petróleo (GLP) es la mezcla de gases licuados presentes en el gas natural o disueltos en el petróleo. Lleva consigo procesos físicos y químicos, por ejemplo, el uso de metano. Los componentes del GLP, aunque a temperatura y presión ambientales son gases, son fáciles de licuar, de ahí su nombre. En la práctica, se puede decir que el GLP es una mezcla de propano y butano.

3.5.4 CO

es un gas incoloro y altamente tóxico. Puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados. Se produce por la combustión deficiente de sustancias como gas, gasolina, queroseno, carbón, petróleo, tabaco o madera.

3.5.5 Alcohol

El etanol (C₂H₅OH) es un subproducto natural de fermentación vegetal y también se puede producir mediante la hidratación del etileno. es un líquido volátil e incoloro que tiene un olor intenso muy característico.

3.5.6 propano

El propano (C₃H₈), es un gas licuado del petróleo (GLP) que se obtiene de yacimientos de petróleo y de gas natural.

3.5.7 CH₄

El metano es un gas natural, incoloro e inodoro que se produce debido a la descomposición o la digestión de materia orgánica, como las plantas. Se registró la

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

emisión de metano de origen aparentemente biológico tanto de plantas enteras como de hojas sueltas. Aunque las plantas no tienen vía bioquímica conocida para sintetizar metano. Sin embargo, bajo condiciones de alto estrés UV, puede haber una descomposición espontánea del material vegetal, lo que libera metano (Nisbet et al., 2009).

3.5.8 Hexano

El hexano o *n*-hexano es un hidrocarburo alifático alcano con seis átomos de carbono. Su forma química es C₆H₁₄. Se trata de un líquido incoloro, fácilmente inflamable y con un olor característico.

3.5.9 Benceno

El butano (C₄H₁₀), es un hidrocarburo saturado, parafínico o alifático, inflamable, gaseoso que se licúa a presión atmosférica a -0,5 °C. es un gas incoloro e inodoro perteneciente a los LPG.

3.5.10 Humo(smoke)

El humo es una suspensión en el aire de pequeñas partículas sólidas que resultan de la combustión incompleta de un combustible.

Aunque estos gases no han sido reportados dentro del listado de gases que emite la *Cistus ladanifer* se usaran como marcadores debido a que los sensores de gas MQ son de carácter genérico ya que no han sido diseñados específicamente para una aplicación concreta y pueden detectar diferentes gases cada uno. Con esto buscamos hallar alguna relación y que los sensores detecten algunos de ellos y posteriormente relacionarlos con su desarrollo fisiológico.

3.6 Diseño de muestreo

Para cumplir con todas las posibles configuraciones de los sensores y medir todos los posibles gases, se han configurado 5 códigos los cuales hemos llamado sensores gas 1,2,3,4 y 5. En la tabla 1. se muestra que gases mide cada sensor en cada código.

En todos los casos, el sensor MQ-135 mide nivel de CO₂

	MQ-2	MQ-3	MQ-4	MQ-5	MQ-6	MQ-7	MQ-8
Sensores_gas_1	H2	Benceno	Humo	H2	H2	H2	H2
Sensores_gas_2	LPG						
Sensores_gas_3	Propano	Hexano	CH4	CH4	CH4	CH4	CH4
Sensores_gas_4	CO						
Sensores_gas_5	Alcohol						

Tabla 1. Configuración de códigos

Se tomarán datos cada minuto durante 7 días por cada sensor programado. Para un total de 1441 medidas durante 35 días, la toma de datos inicia a las 0:00 y termina a las 23:29 para ver la fluctuación de los gases durante el día entero. La cámara de concentración estará siempre sellada y solo se abrirá para aplicar riego a la planta. La toma de datos inicio el 20 de junio del 2022 y se prolongó hasta el 26 de agosto debido a múltiples factores que se tocaran más adelante.

3.7 Software

3.7.1 Arduino

Arduino ofrece un entorno de desarrollo gratuito en el que realizar programas para que sean volcados al microcontrolador posteriormente vía USB. Arduino se programa mediante el uso de un lenguaje propio basado en el lenguaje de programación de alto nivel Processing. Sin embargo, se pueden emplear otros lenguajes y aplicaciones en Arduino, ya que emplea la transmisión serial de datos soportada por la mayoría de los lenguajes. Incluso es posible emplear software intermediario para aquellos lenguajes no compatibles con el formato serie (Arduino, 2022).

Este entorno de desarrollo además habilita un monitor serie que permite ver los datos que se encuentran en los diferentes puertos serie del ordenador. En él simplemente hay que ajustar la velocidad (baudios) de dicho puerto.

Se programo para realizar la calibración de los sensores partiendo de las gráficas de sensibilidad de cada sensor que se encuentran en el anexo 1. Los códigos de programación de cada sensor se encuentran en el anexo 2.

Capítulo 4: Resultados

4.1 Resultados sensor 1

4.1.1 Día 1

Se realizó el día 6 de julio de 2022, anteriormente se había realizado el montaje, pero los datos no se almacenaban con éxito en la SD.

La temperatura (figura 24) promedio del día 1 fue de 29,5°C. La humedad (figura 25) promedio del día 1 fue de 93.2%. La concentración promedio de dióxido de carbono en el día 1 fue de 667 ppm. Podemos observar que cuando aumenta la temperatura disminuye la humedad.

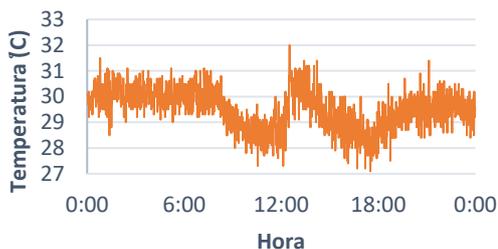


Figura 24. Temperatura día 1 sensor 1.

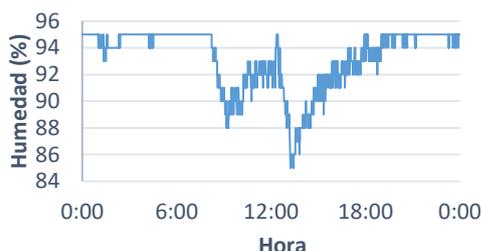


Figura 25. Humedad día 1 sensor 1.

En las figuras 26 y 27 se observan las fluctuaciones durante el día. Los valores promedios de CO₂ fue de 668.6ppm. El promedio de humo registrado fue de 6.6 ppm. El sensor de gas detecto humo solo el primer día.

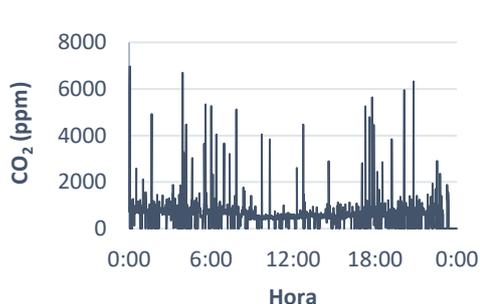


Figura 26. CO₂ día 1 sensor 1.

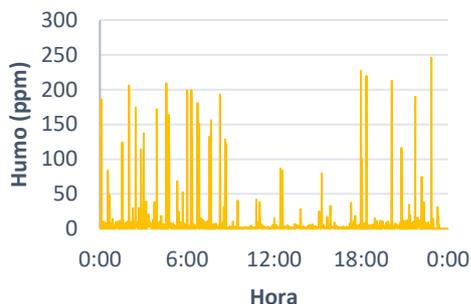


Figura 27. Humo día 1 sensor 1.

En la figura 28 podemos observar la diferencia en el rango de los valores reportados en 5 sensores (MQ2, MQ5, MQ6, MQ7 y MQ8) ya que en este sensor se programaron estos 5 sensores para que tomaran valores de dihidrógeno, los que presentaron valores más bajos fueron los sensores MQ7 y MQ5 con valores promedios de 0.6 y 0.5 ppm respectivamente, MQ2 también presentó valores bajos con un promedio de 2.7 ppm, mientras que MQ6 tuvo un promedio de 22 ppm, el MQ8 con 49.4 ppm. Esto podría deberse a que el sensor MQ8 es más sensible al dihidrógeno.

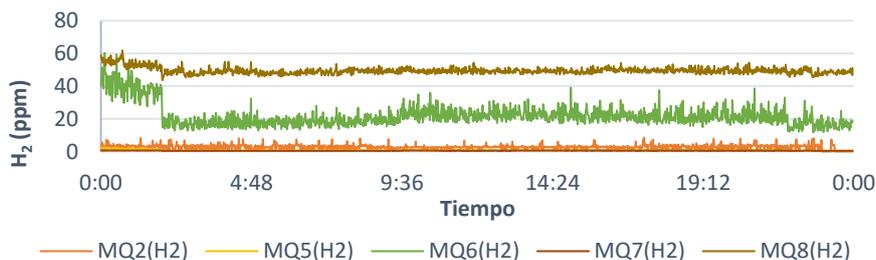


Figura 28. H₂ día 1 sensor 1.

4.1.2 Día 2

Medidas tomadas el 7 de julio de 2022.

Se puede observar en las figuras 29 y 30 como son inversamente proporcional la temperatura y la humedad, donde hay picos de temperatura alta disminuye el % de humedad en la misma. La temperatura promedio del día 2 del sensor 1 fue de 29.1°C. La humedad promedio del día 2 sensor 1 fue de 92%.



Figura 29. Temperatura día 2 sensor 1.



Figura 30. Humedad día 1 sensor 2.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 31) del día 2 del sensor 1 fue de 9.2 ppm. En la figura 32 podemos observar cómo se conserva el comportamiento de los valores obtenidos por los sensores, siendo el MQ8 el sensor que presenta los valores más altos con un promedio de 50.8 ppm y el segundo continúa siendo el MQ6 con un promedio de 23.7 ppm, mientras que MQ2, MQ5 y MQ7 presentaron un promedio inferior al día 1 con valores de 0.1, 0.6 y 0.6 ppm respectivamente.

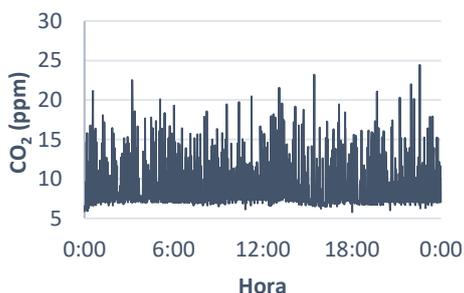


Figura 31. CO₂ día 2 sensor 1

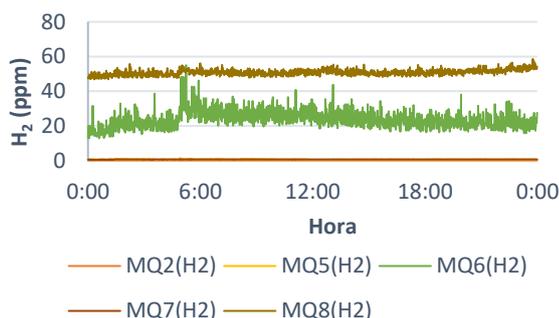


Figura 32. H₂ sensor 1 día 2.

4.1.3 Día 3

Medidas tomadas el 8 de julio 2022.

La temperatura (figura 33) promedio del día 3 del sensor 1 fue de 29.1 °C. La humedad (figura 34) promedio del día 3 sensor 1 fue de 92%.

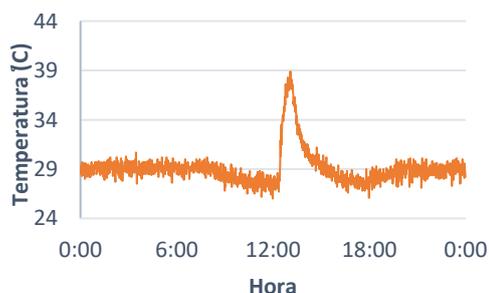


Figura 33. Temperatura día 3 sensor 1.



Figura 34. Humedad día 3 sensor 1.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 35) del día 3 del sensor 1 fue de 9 ppm., mientras que los sensores de dihidrógeno (figura 36) el MQ8 es el sensor que presenta los valores más altos con un promedio de 53.3 ppm y el segundo continúa siendo el MQ6 con un promedio de 20.5 ppm, mientras que MQ2, MQ5 y MQ7 presentaron valores con un promedio de 0.1, 0.5 y 0.6 ppm respectivamente.

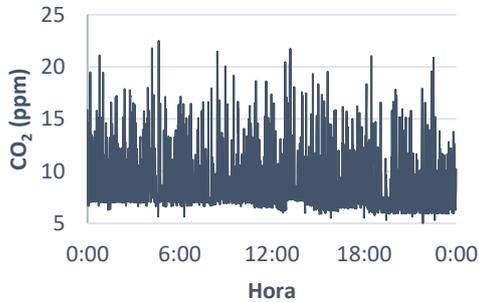


Figura 35. CO₂ día 3 sensor 1.

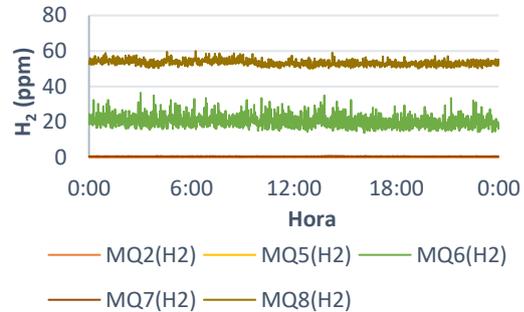


Figura 36. H₂ sensor 1 día 3.

4.1.4 Día 4

Medidas tomadas el 9 de julio 2022.

La temperatura (figura 37) promedio del día 4 del sensor 1 fue de 29.5 °C. La humedad promedio fue de 93.7% figura 38.

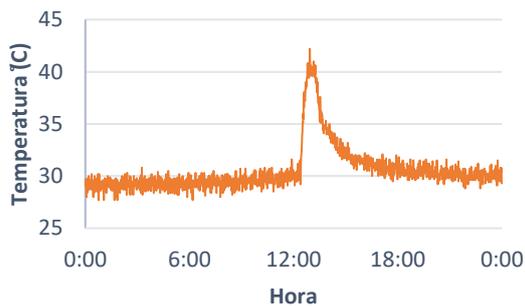


Figura 37. Temperatura día 4 sensor 1.

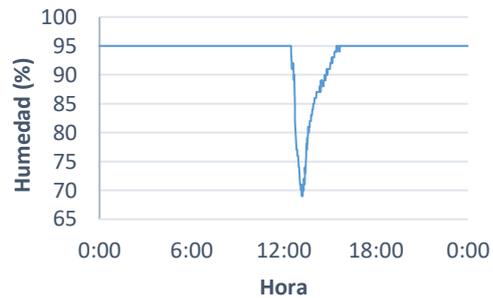


Figura 38. Humedad día 4 sensor 1.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 39) del día 4 del sensor 1 fue de 9.3 ppm., mientras que los sensores de dihidrógeno (figura 40) el MQ8 el sensor que presenta los valores más altos con un promedio de 53.7 ppm y el segundo continúa siendo el MQ6 con un promedio de 16.5 ppm, mientras que MQ2, MQ5 y MQ7 presentaron valores con un promedio de 0.1, 0.6 y 0.6 ppm respectivamente.

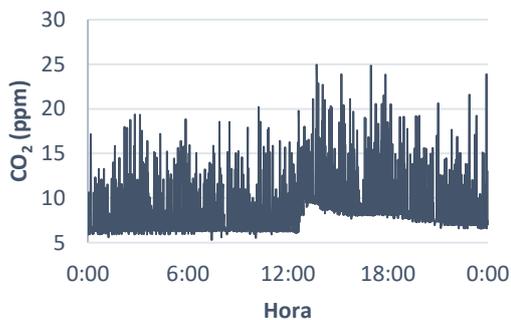


Figura 39. CO₂ día 4 sensor 1.

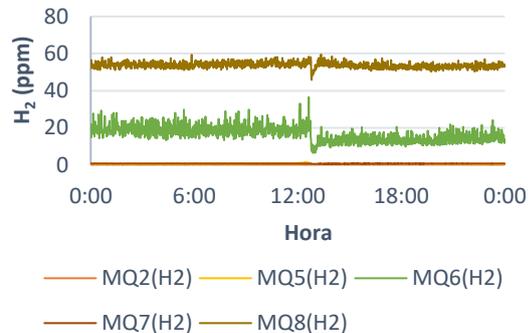


Figura 40. H₂ sensor 1 día 4.

4.1.5 Día 5

Medidas tomadas el 10 de julio 2022.

La temperatura (figura 41) promedio del día 5 del sensor 1 fue de 31.5 °C. La humedad promedio fue de 81.7%. en la figura 42 podemos observar una disminución grande de la humedad entre las 17h y el final del día.



Figura 41. Temperatura día 5 sensor 1.



Figura 42. Humedad día 5 sensor 1.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 43) fue de 69.5 ppm. Al igual que en la gráfica 19 de humedad vemos un cambio en el comportamiento normal de los valores, pero en este caso es un incremento muy elevado a las 17h. En el día 5 continúa el comportamiento de los valores obtenidos por los sensores (figura 44), siendo el MQ8 el sensor que presenta los valores más altos con un promedio de 53.4 ppm y el segundo continúa siendo el MQ6 con un promedio de 23.3 ppm, pero presentó un aumento notable a las 17h como paso con el CO₂ y la humedad, mientras que MQ2, MQ5 y MQ7 presentaron valores con un promedio de 0.2, 0.5 y 0.6 ppm respectivamente.

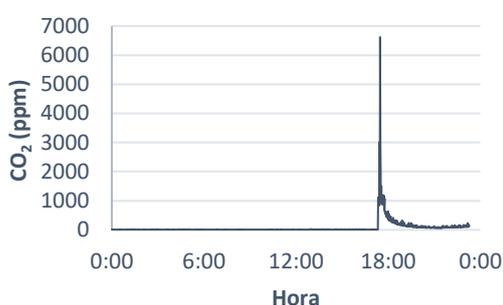


Figura 43. CO₂ día 5 sensor 1.

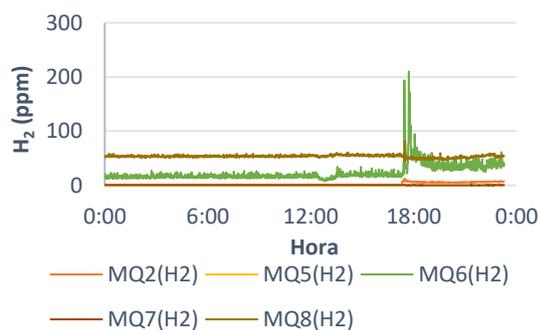


Figura 44. H₂ sensor 1 día 5.

4.1.6 Día 6

Medidas tomadas el 11 de julio 2022.

La temperatura (figura 45) promedio del día 6 del sensor 1 fue de 33.8 °C. La humedad (figura 46) promedio fue de 47.3% mostrando valores muy inferiores a los días anteriores.

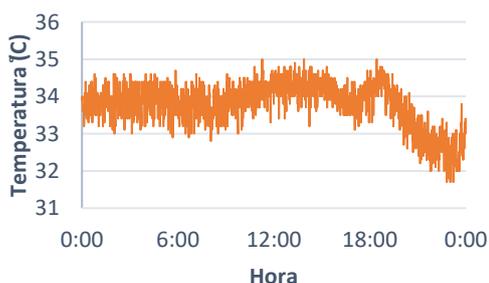


Figura 45. Temperatura día 6 sensor 1.



Figura 46. Humedad día 6 sensor 1.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 47) del día 6 del sensor 1 fue de 193 ppm. Muy superiores a los presentados en los días anteriores. Los sensores que miden dihidrógeno (figura 48) el MQ8 es el sensor que presenta los valores más altos con un promedio de 62 ppm y el segundo continúa siendo el MQ6 con un promedio de 36 ppm, mientras que MQ2, MQ5 y MQ7 presentaron valores con un promedio de 7.2, 0.05 y 0.4 ppm respectivamente.

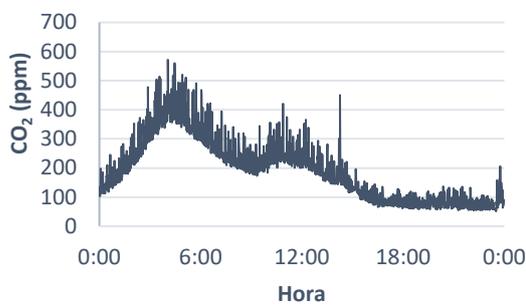


Figura 47. CO₂ día 6 sensor 1.

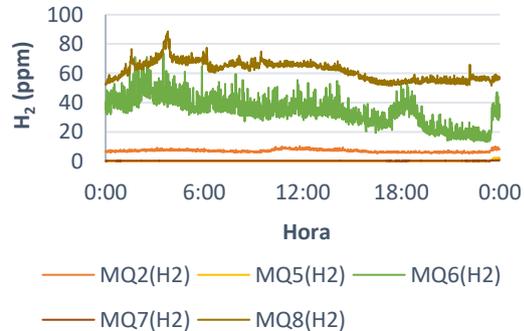


Figura 48. H₂ sensor 1 día 6.

4.1.7 Día 7

Medidas tomadas el 13 de julio 2022.

La temperatura (figura 49) promedio del día 7 del sensor 1 fue de 34.2 °C y la humedad (figura 50) promedio fue de 47.3%. Se mantiene la disminución del porcentaje de humedad dentro de la cámara.

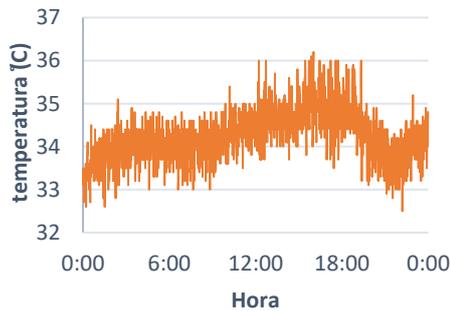


Figura 49. Temperatura día 7 sensor 1.



Figura 50. Humedad día 7 sensor 1.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 51) del día 7 del sensor 1 fue de 96.7 ppm. En las medidas de H₂ (figura 52) el MQ8 es el sensor que presenta los valores más altos con un promedio de 56.2 ppm y el segundo continúa siendo el MQ6 con un promedio de 19.6 ppm, mientras que MQ2 aumento sus valores con promedio de 9.6 ppm, MQ5 y MQ7 presentaron valores con un promedio de 2.7 y 0.7 ppm respectivamente.

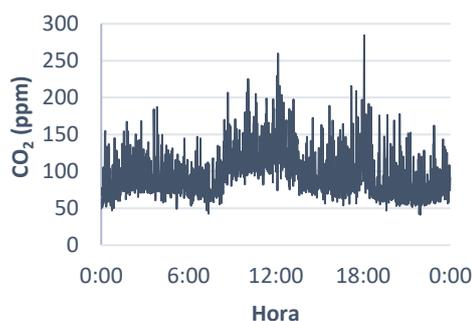


Figura 51. CO₂ día 7 sensor 1.

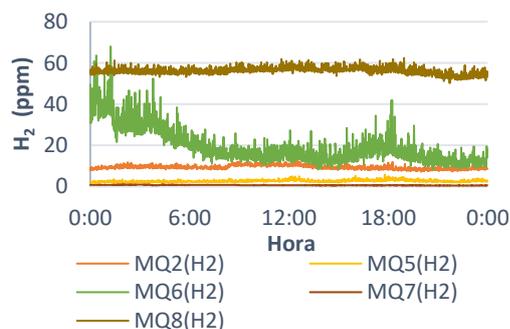


Figura 52. H₂ sensor 1 día 7

4.2 Resultados sensor 2

4.2.1 Día 1

Medidas tomadas el 31 de julio 2022.

La temperatura (figura 53) promedio del día 1 del sensor 2 fue de 33.6 °C. La humedad (figura 54) promedio fue de 34.7%.

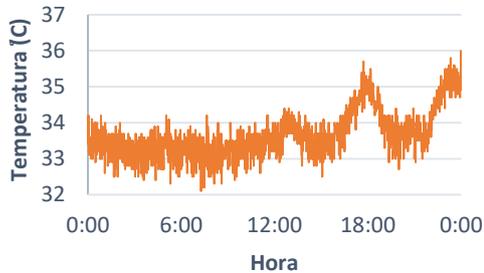


Figura 53. Temperatura día 1 sensor 2.

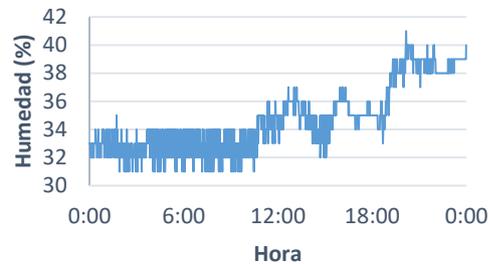


Figura 54. Humedad día 1 sensor 2.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 55) del día 1 del sensor 2 fue de 171 ppm. El gas LPG se midió con 7 sensores simultáneamente (figura 56). El sensor que presenta valores más altos de LPG es el MQ4 con un promedio de 31.8 ppm, en segundo está el MQ8 con 14.8 ppm de promedio, MQ6 6.6 ppm, MQ2 3,9 ppm, MQ5 1 ppm y por último MQ7 y MQ3 con 0,04 y 0,03 ppm respectivamente.

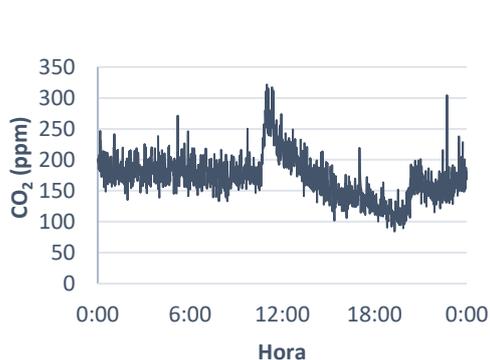


Figura 55. CO₂ día 1 sensor 2.

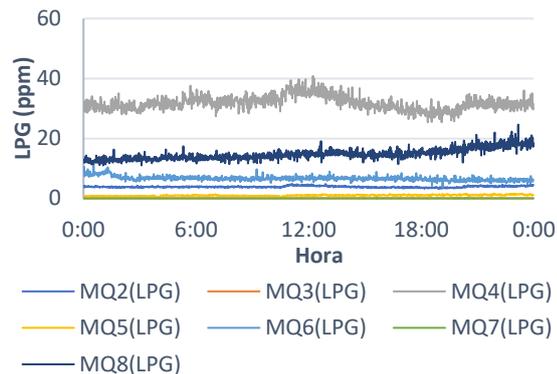


Figura 56. LPG día 1 sensor 2.

4.2.2 Día 2

Medidas tomadas el 1 de agosto 2022.

La temperatura (figura 57) promedio del día 2 del sensor 2 fue de 34.7 °C. La humedad (figura 58) promedio fue de 42%. Presento un aumento a las 13:30h.

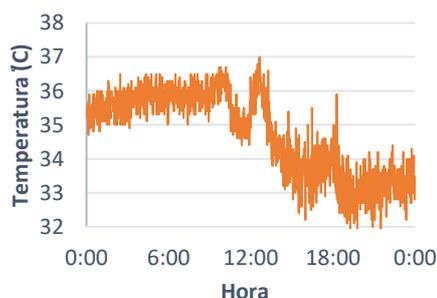


Figura 57. Temperatura día 2 sensor 2.

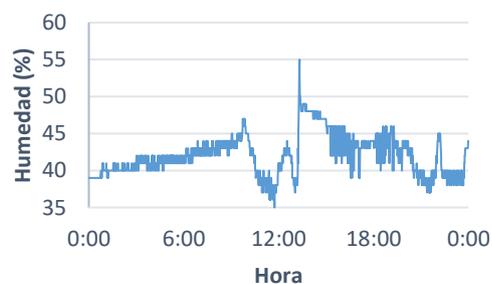


Figura 58. Humedad día 2 sensor 2.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 59) del día 2 del sensor 2 fue de 280 ppm. Y tuvo un aumento a las 13h coincidiendo con el aumento en el % de humedad. El sensor que presenta valores más altos de LPG (figura 60) es el MQ4 con un promedio de 42.2 ppm, en segundo está el MQ8 con 33.7 ppm de promedio, MQ3 aumentando sus calores un promedio de 13.1, ppm MQ6 11 ppm, MQ2 5.1 ppm, MQ5 2 ppm y por último MQ7 0,03 ppm. Y al igual que la humedad a las 13h presento un incremento que fue disminuyendo hasta los valores normales.

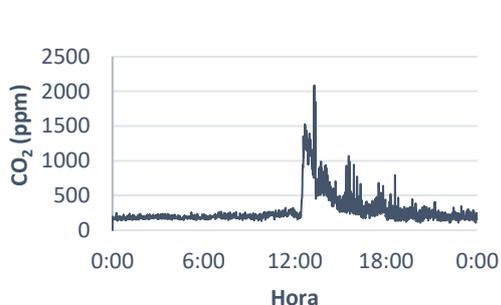


Figura 59. CO₂ día 2 sensor 2.

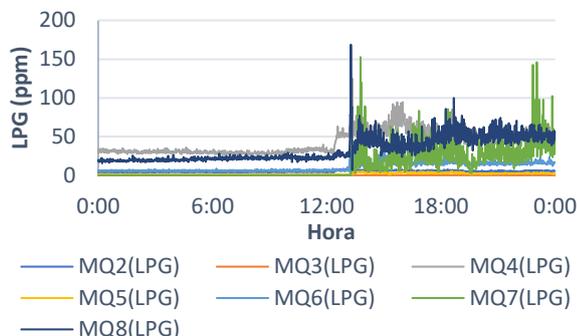


Figura 60. LPG día 2 sensor 2.

4.2.3 Día 3

Medidas tomadas el 2 de agosto 2022.

La temperatura (figura 61) promedio del día 3 del sensor 2 fue de 34.7 °C. La humedad (figura 62) promedio fue de 41.4%.

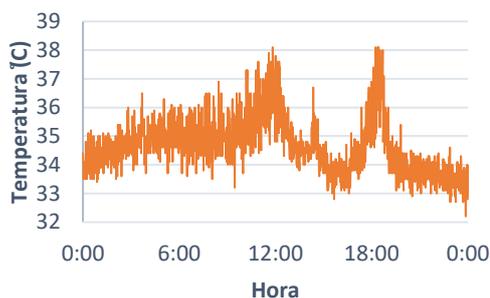


Figura 61. Temperatura día 3 sensor 2.

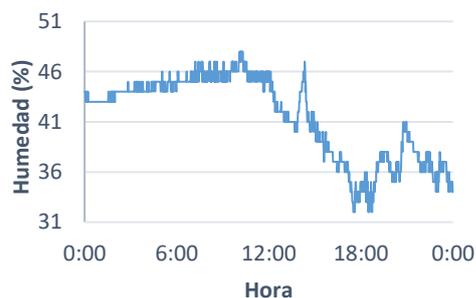


Figura 62. Humedad día 3 sensor 2

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 63) del día 3 del sensor 2 fue de 356.5 ppm. El sensor que presenta valores más altos de LPG (figura 64) es el MQ8 con un promedio de 58.8 ppm, en segundo está el MQ4 con 43.1 ppm de promedio, MQ7 con 25 ppm, MQ6 20.7 ppm, MQ2 5.6 ppm, MQ5 2.7 ppm y por último MQ3 con 0,03 ppm.

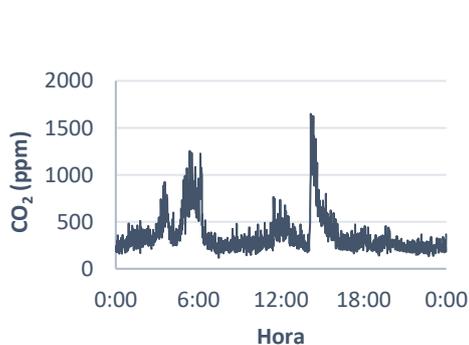


Figura 63. CO₂ día 3 sensor 2.

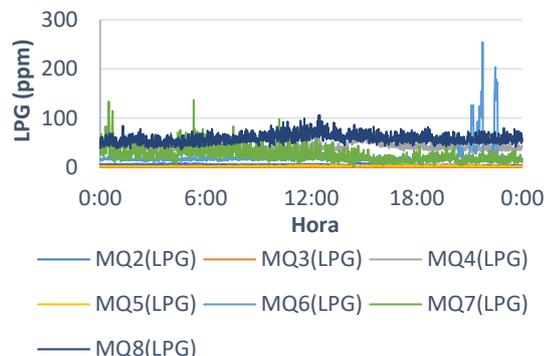


Figura 64. LPG día 3 sensor 2.

4.2.4 Día 4

Medidas tomadas el 3 de agosto 2022.

La temperatura (figura 65) promedio del día 4 del sensor 2 fue de 34.5 °C. La humedad (figura 66) promedio del día 4 sensor 2 fue de 39.1%.

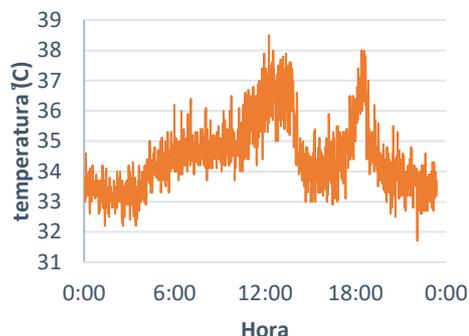


Figura 65. Temperatura día 4 sensor 2.



Figura 66. Humedad día 4 sensor 2.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 67) del día 4 del sensor 2 fue de 497.7 ppm. El sensor que presenta valores más altos de LPG (figura 68) es el MQ8 con un promedio de 67.7 ppm, en segundo está el MQ4 con 37.8 ppm de promedio, MQ7 con 23.2 ppm, MQ6 14.4 ppm, MQ2 4.5 ppm, MQ5 3 ppm y por último MQ3 con 0,05 ppm.

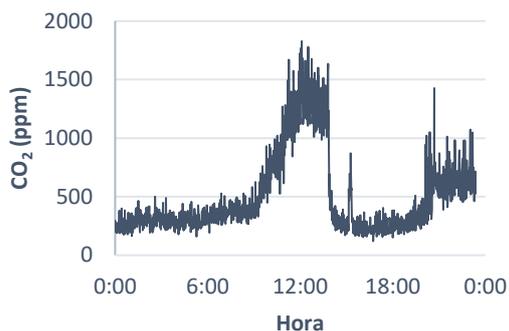


Figura 67. CO₂ día 4 sensor 2.

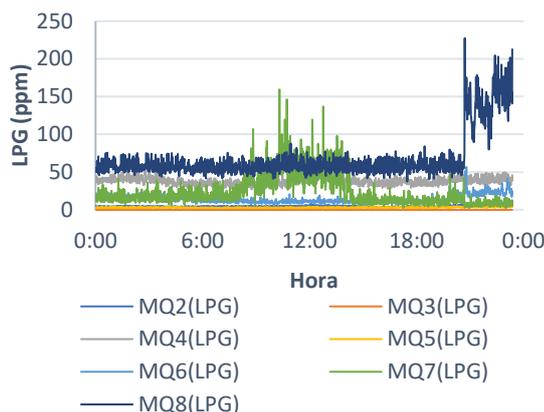


Figura 68. LPG día 4 sensor 2.

4.2.5 Día 5

Medidas tomadas el 11 de agosto 2022.

La temperatura (figura 69) promedio del día 5 del sensor 2 fue de 34.5 °C. La humedad (figura 70) promedio fue de 41.9%.

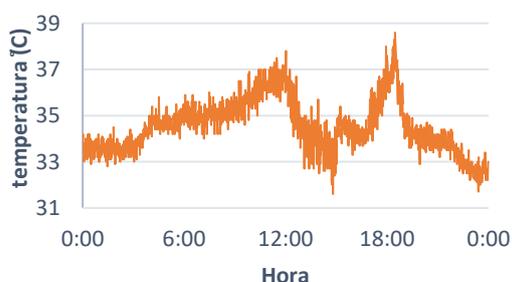


Figura 69. Temperatura día 5 sensor 2.

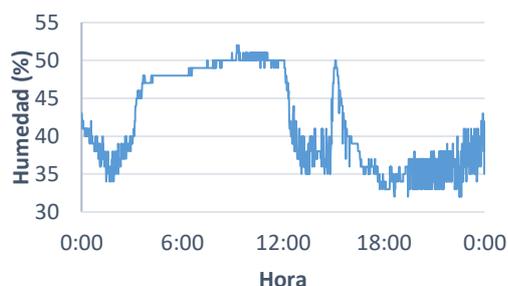


Figura 70. Humedad día 5 sensor 2.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 71) del día 5 del sensor 2 fue de 1077.6 ppm. Que es más del doble de la media que se reportó en el muestreo día 5 del sensor 1, esto se debe a que estas medidas se tomaron 8 días después con el fin de notas cambios en la planta se rotaron los sensores y no se tomaron medidas tan consecutivas como en el sensor 1. El sensor que presenta valores más altos de LPG (figura 72) es el MQ8 con un promedio de 27.7 ppm, en segundo está el MQ4 con 22.9 ppm de promedio, MQ6 5.8 ppm, MQ2 4.5 ppm, MQ5 0.6 ppm y por último MQ3 con 0,02 ppm. El sensor MQ7 no presento datos, el sensor MQ 8 presento un promedio menor a los reportados en los días anteriores.

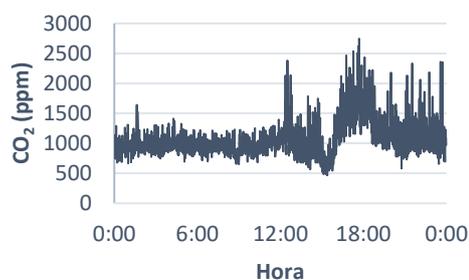


Figura 71. CO₂ día 5 sensor 2.

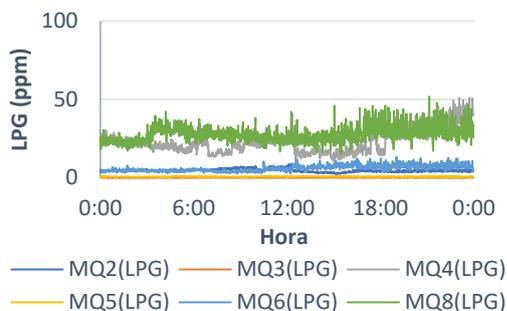


Figura 72. LPG día 5 sensor 2.

4.2.6 Día 6

Medidas tomadas el 12 de agosto 2022.

La temperatura promedio (figura 73) del día 6 del sensor 2 fue de 34 °C. La humedad (figura 74) promedio fue de 39.3%.



Figura 73. Temperatura día 6 sensor 2.

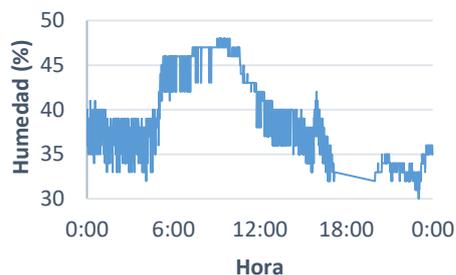


Figura 74. Humedad día 6 sensor 2.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 75) del día 6 del sensor 2 fue de 1079.1 ppm. Siendo este dato acorde con el presentado en el día 5. El sensor que presenta valores más altos de LPG (figura 76) es el MQ8 con un promedio de 36.9 ppm, en segundo está el MQ4 con 30.8 ppm de promedio, MQ6 10.7 ppm, MQ2 4.8 ppm, MQ5 0.7 ppm y por último MQ3 con 0,02 ppm, el sensor MQ7 no presento valores este día.

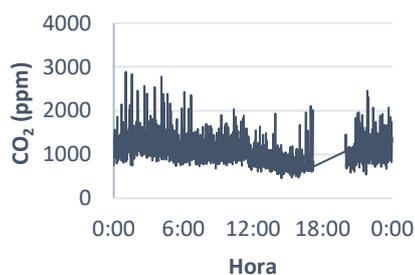


Figura 75. CO₂ día 6 sensor 2.

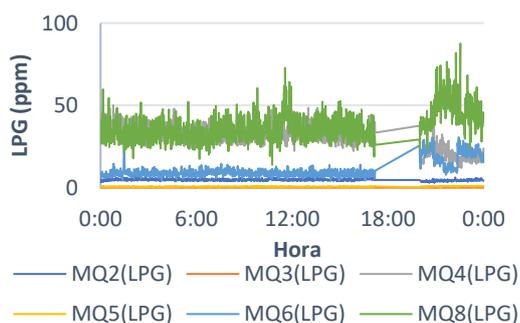


Figura 76. LPG día 6 sensor 2.

4.2.7 Día 7

Medidas tomadas el 13 de agosto 2022.

La temperatura (figura 77) promedio del día 7 del sensor 2 fue de 35 °C. La humedad (figura 78) promedio fue de 35.5%.

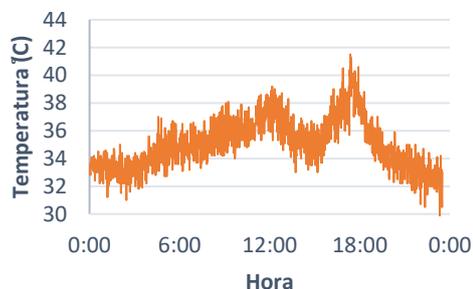


Figura 77. Temperatura día 7 sensor 2.



Figura 78. Humedad día 7 sensor 2.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 79) del día 7 del sensor 2 fue de 2900.7 ppm. Este valor equivale aproximadamente a tres veces el valor del día anterior. El sensor que presenta valores más altos de LPG (figura 80) es el MQ8 con un promedio de 43.6 ppm, en segundo está el MQ4 con 21.8 ppm de promedio, MQ6 18.7 ppm, MQ2 5.6 ppm, MQ5 1 ppm y por último MQ3 con 0,02 ppm, el sensor MQ7 no presento valores este día.



Figura 79. CO₂ día 7 sensor 2.

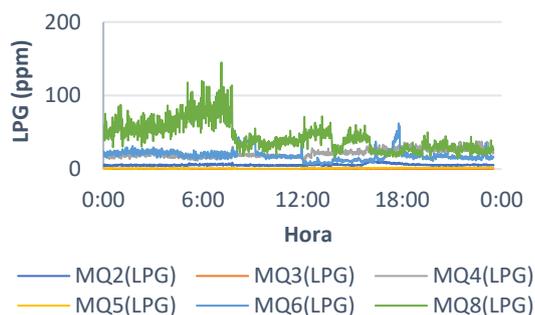


Figura 80. LPG día 7 sensor 2.

4.3 Resultados sensor 3

4.3.1 Día 1

Medidas tomadas el 17 de julio 2022.

La temperatura (figura 81) promedio del día 1 del sensor 3 fue de 34 °C. La humedad (figura 82) promedio fue de 36.5%.

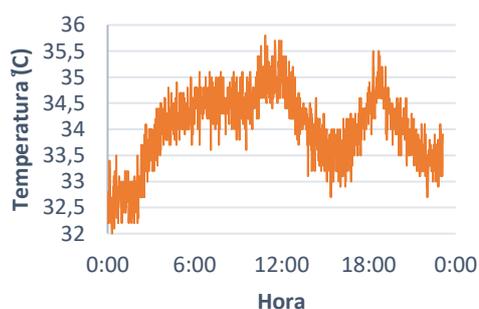


Figura 81. Temperatura día 1 sensor 3.



Figura 82. Humedad día 1 sensor 3.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 83) del día 1 del sensor 3 fue de 681.4 ppm. El valor promedio del propano (C_3H_8) 3.2 ppm (figura 84).

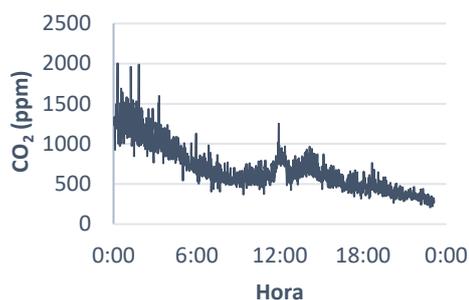


Figura 83. CO_2 día 1 sensor 3.



Figura 84. Propano día 1 sensor 3.

El sensor que se programó para medir hexano (C_6H_{14}) fue el MQ3 (figura 85) el cual presento un valor promedio de 0,05 ppm. El metano (CH_4) fue medido por 5 sensores (figura 86), el sensor que presento valores más altos fue el MQ8 con un promedio de 6191.6 ppm, MQ4 13 ppm, MQ5 9 ppm, MQ6 12.4 ppm y MQ7 0.05 ppm.

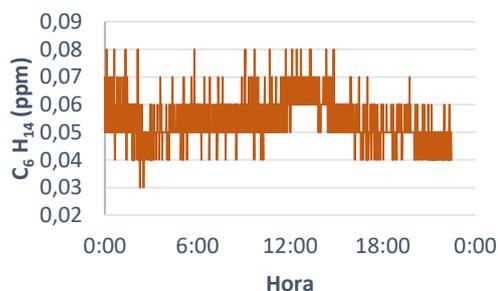


Figura 85. Hexano día 1 sensor 3.

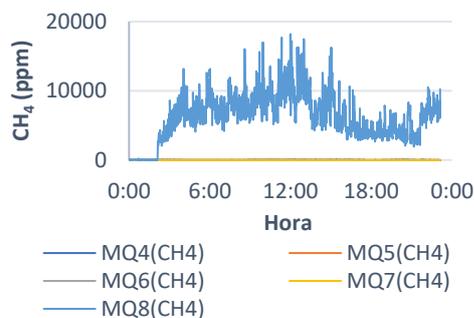


Figura 86. Metano día 1 sensor 3.

4.3.2 Día 2

Medidas tomadas el 18 de julio 2022.

La temperatura (figura 87) promedio del día 2 del sensor 3 fue de 34 °C. La humedad (figura 88) promedio fue de 36.8%.

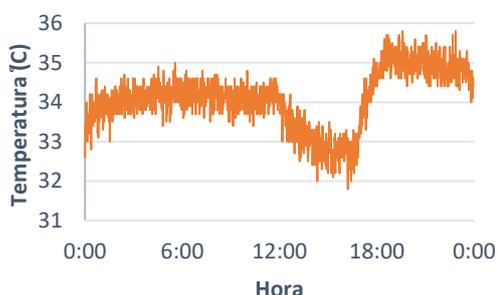


Figura 87. Temperatura día 2 sensor 3.

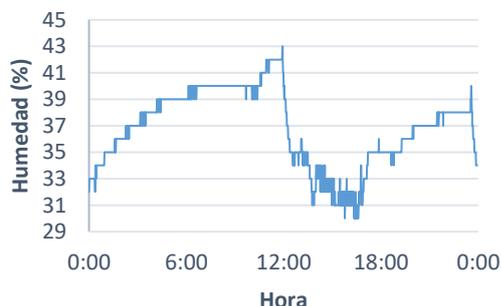


Figura 88. Humedad día 2 sensor 3.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 89) del día 2 del sensor 3 fue de 514.8 ppm. El valor promedio del propano (C_3H_8) 3.6 ppm. (figura 90).

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

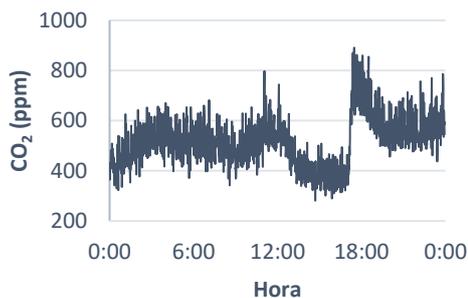


Figura 89. CO₂ día 2 sensor 3.

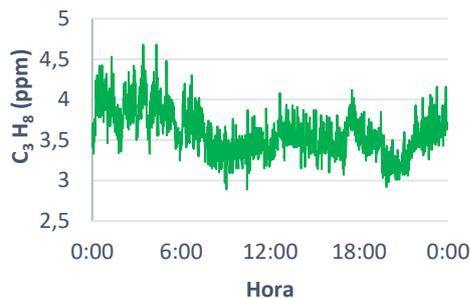


Figura 90. Propano día 2 sensor 3.

El hexano (C₆ H₁₄) (figura 91) presento un valor promedio de 0,06 ppm. El metano (CH₄) en el día 2 del sensor 3 (figura 92), el sensor que presento valores más altos fue el MQ8 con un promedio de 18.9 ppm siendo valores muy inferiores al día 1 pero más acorde con los otros 4 sensores, MQ4 13.9 ppm, MQ5 1 ppm, MQ6 6.9 ppm y MQ7 0.03 ppm.

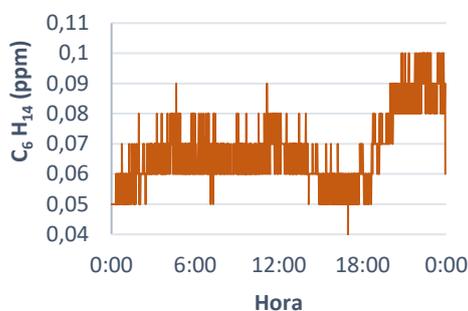


Figura 91. Hexano día 2 sensor 3.

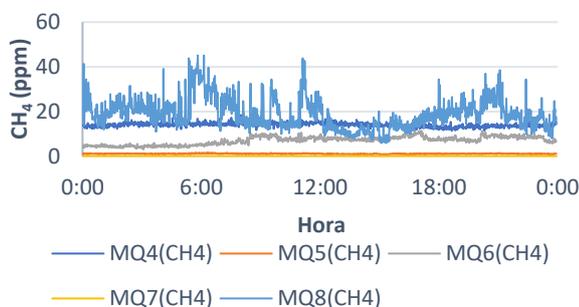


Figura 92. Metano día 2 sensor 3.

4.3.3 Día 3

Medidas tomadas el 19 de julio 2022.

La temperatura (figura 93) promedio del día 3 del sensor 3 fue de 35.2 °C. La humedad (figura 94) promedio fue de 39.3%.

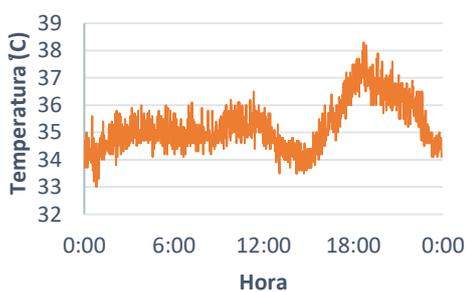


Figura 93. Temperatura día 3 sensor 3.



Figura 94. Humedad día 3 sensor 3.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 95) del día 3 del sensor 3 fue de 426.6 ppm. El valor promedio del propano (C₃ H₈) 3.6 ppm. (figura 96).

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

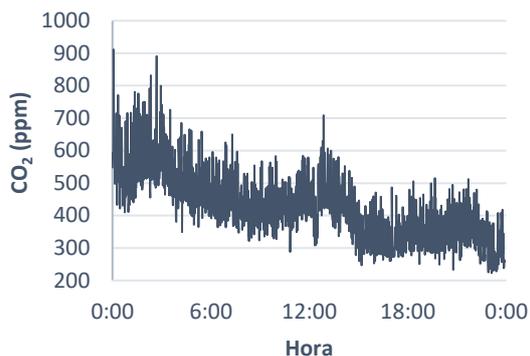


Figura 95. CO_2 día 3 sensor 3.

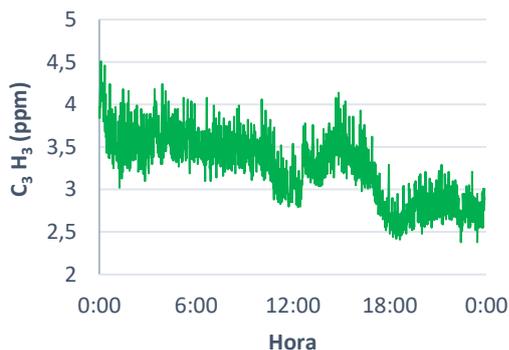


Figura 96. Propano día 3 sensor 3.

El hexano (C_6H_{14}) (figura 97) presentó un valor promedio de 0,05 ppm. El metano (CH_4) en el día 3 del sensor 3 (figura 98), el sensor que presentó valores más altos fue el MQ8 con un promedio de 25.3 ppm, MQ4 14.6 ppm, MQ5 1.5 ppm, MQ6 3.3 ppm y MQ7 0.02 ppm.



Figura 97. Hexano día 3 sensor 3.

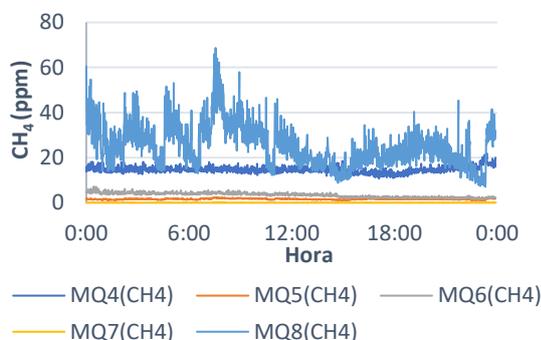


Figura 98. Metano día 3 sensor 3.

4.3.4 Día 4

Medidas tomadas el 29 de julio 2022.

La temperatura (figura 99) promedio del día 4 del sensor 3 fue de 38.7 °C. La humedad (figura 100) promedio fue de 40.7%. se observa como la temperatura y la humedad están tomando curvas similares.

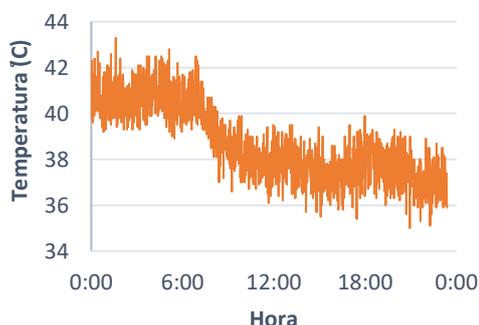


Figura 99. Temperatura día 4 sensor 3.

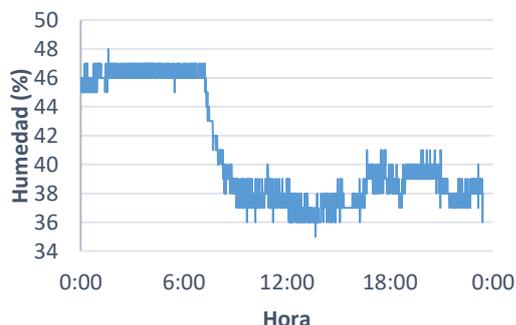


Figura 100. Humedad día 4 sensor 3.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 101) del día 4 del sensor 3 fue de 937018 ppm. Se puede observar un pico bastante pronunciado al final del día. El valor promedio del propano (C_3H_8) (figura 102) 614.5 ppm. En este día presentó varios picos de emisión aumentando así el promedio de los valores presentados hasta ahora.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

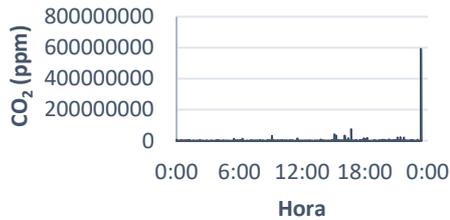


Figura 101. CO₂ día 4 sensor 3.



Figura 102. Propano día 4 sensor 3.

El hexano (C₆ H₁₄) (figura 103) presentó un valor promedio de 9.1 ppm. El hexano también presentó picos en sus vales al igual que el propano y el dióxido de carbono.

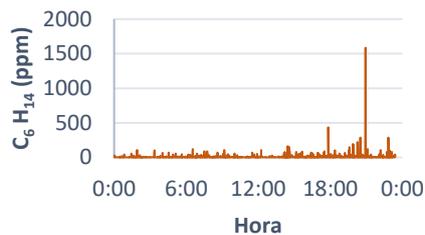


Figura 103. Hexano día 4 sensor 3

El metano (CH₄) (figura 104) en el día 4 del sensor 3 presentó datos muy extraños, extremadamente alto que impidió crear una sola gráfica. Estos datos se pudieron presentar por alguna sobrecarga de energía ya que ese mismo día fue necesario cambiar el módulo alimentado YwRobot. Estos datos no se tomarán en cuenta por que no son representativos.

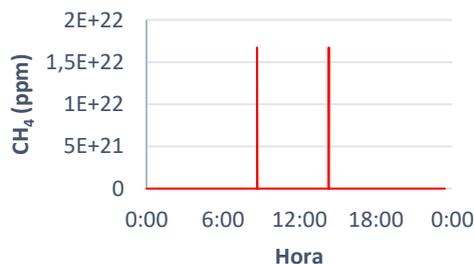
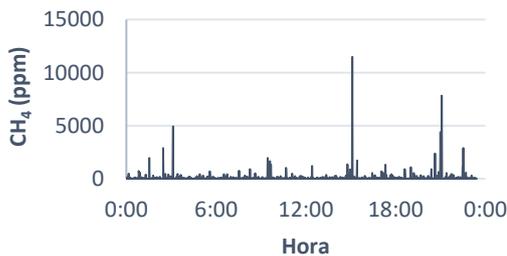


Figura 104. Metano día 4 sensor 3.

4.3.5 Día 5

Medidas tomadas el 14 de agosto 2022.

La temperatura (figura 105) promedio del día 5 del sensor 3 fue de 36.8°C. La humedad (figura 106) promedio fue de 34.2%.



Figura 105. Temperatura día 5 sensor 3.

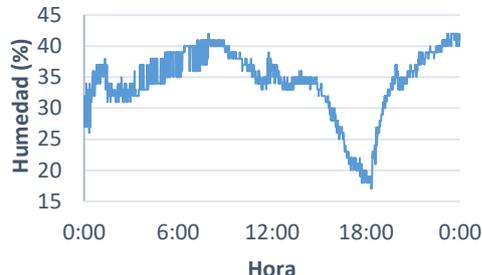


Figura 106. Humedad día 5 sensor 3

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 107) del día 5 del sensor 3 fue de 2110 ppm. Este valor es superior a los reportados los días anteriores ya que este muestreo se realizó 15 días después que el día 4 del sensor 3, esto puede ser por la acumulación de este dentro de la cámara o por que la planta ya estaba muriendo. El valor promedio del propano (C_3H_8) 7.9 ppm. (figura 108).

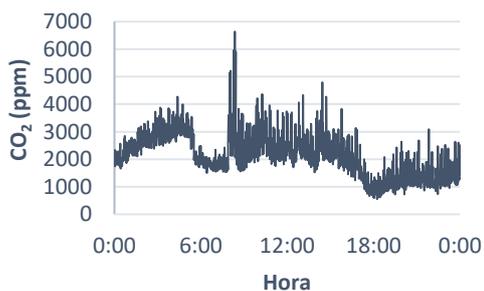


Figura 107. CO_2 día 5 sensor 3.



Figura 108. Propano día 5 sensor 3.

El hexano (C_6H_{14}) (figura 109) presento un valor promedio de 0,05 ppm. El metano (CH_4) (figura 110) el día 5 del sensor 3, el sensor que presento valores más altos fue el MQ8 con un promedio de 128.3 ppm, MQ4 8.5 ppm, MQ5 2.4 ppm, MQ6 43.8 ppm y MQ7 0.02 ppm.

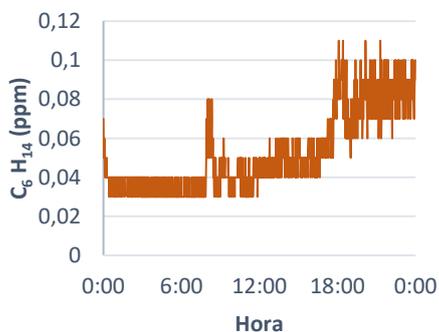


Figura 109. Hexano día 5 sensor 3.

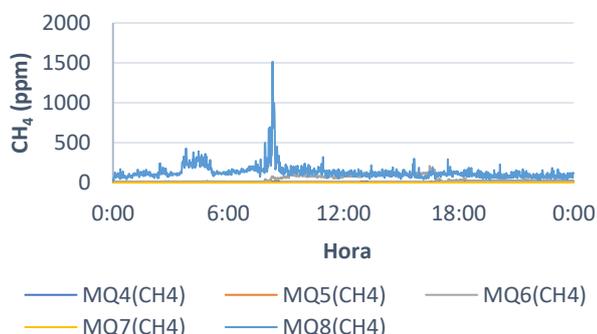


Figura 110. Metano día 5 sensor 3.

4.3.6 Día 6

Medidas tomadas el 15 de agosto 2022.

La temperatura (figura 111) promedio del día 6 del sensor 3 fue de 36 °C. La humedad (figura 112) promedio fue de 35.1%.

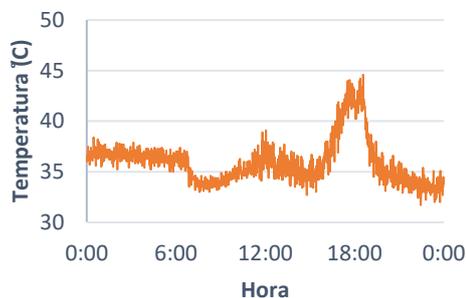


Figura 111. Temperatura día 6 sensor 3.

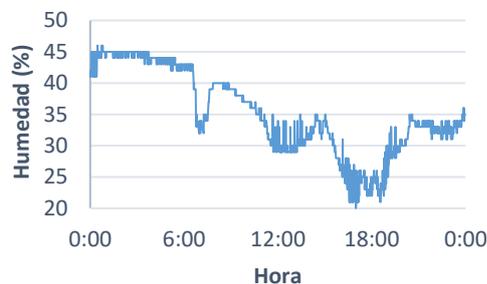


Figura 112. Humedad día 6 sensor 3

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 113) del día 6 del sensor 3 fue de 2514.8 ppm. Valor similar al presentado en el día 5. El valor promedio del propano (C_3H_8) 6.1 ppm. (figura 114).

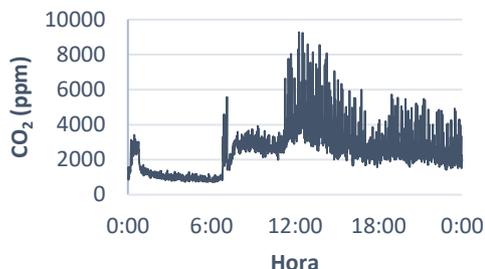


Figura 113. CO₂ día 6 sensor 3.



Figura 114. Propano día 6 sensor 3.

El hexano (C_6H_{14}) (figura 115) presento un valor promedio de 0,04 ppm. El metano (CH_4) (figura 116) el día 6 del sensor 3, el sensor que presento valores más altos fue el MQ8 con un promedio de 189 ppm, MQ4 14.4 ppm, MQ5 1.6 ppm, MQ6 33 ppm y MQ7 7.4 ppm.

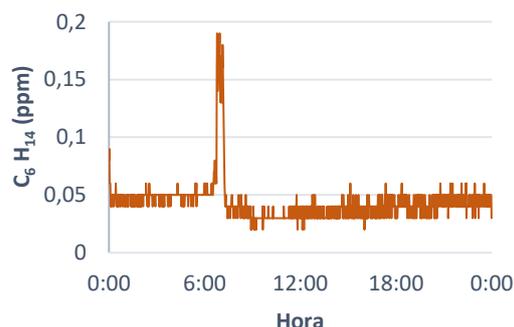


Figura 115. Hexano día 6 sensor 3.

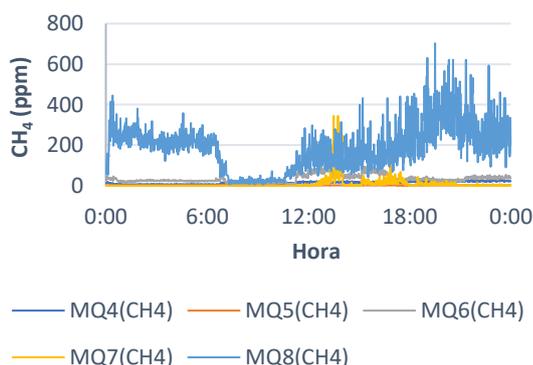


Figura 116. Metano día 6 sensor 3.

4.3.7 Día 7

Medidas tomadas el 16 de agosto 2022.

La temperatura (figura 117) promedio del día 7 del sensor 3 fue de 35 °C. La humedad (figura 118) promedio fue de 31.3%.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

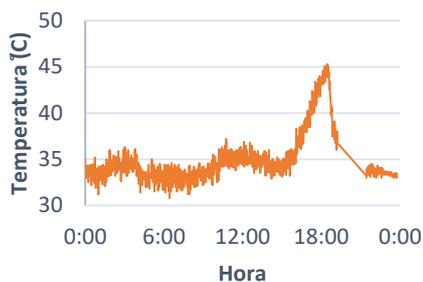


Figura 117. Temperatura día 7 sensor 3.

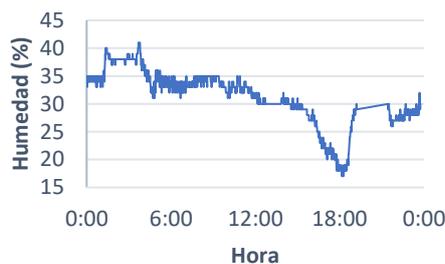


Figura 118. Humedad día 7 sensor 3

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 119) del día 7 del sensor 3 fue de 1963.2 ppm. El valor promedio del propano (C_3H_8) 5.9 ppm. (figura 120).

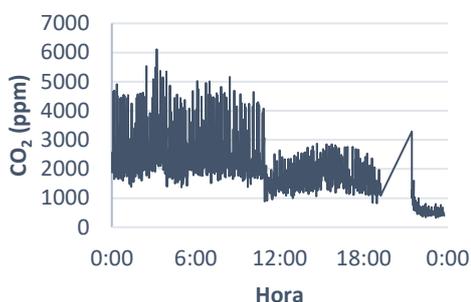


Figura 119. CO_2 día 7 sensor 3.



Figura 120. Propano día 7 sensor 3.

El hexano (C_6H_{14}) (figura 121) presento un valor promedio de 0,05 ppm. El metano (CH_4) (figura 122) el muestreo del día 7 sensor 3 presento valores muy altos, el sensor que presento valores más altos fue el MQ7 con un promedio de 1494 ppm y este sensor fue el que presento valores más bajos los 6 días anteriores, MQ8 425.6 ppm, MQ4 25.7 ppm, MQ5 1.5 ppm 6 MQ7 30 ppm.



Figura 121. Hexano día 7 sensor 3.

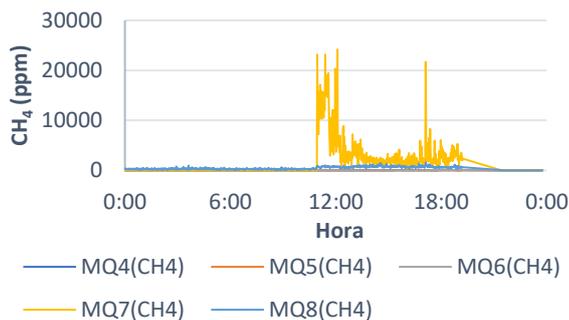


Figura 122. Metano día 7 sensor 3.

4.4 Resultados sensor 4

4.4.1 Día 1

Medidas tomadas el 19 de agosto 2022.

La temperatura (figura 123) promedio del día 1 del sensor 4 fue de 34.4°C. La humedad (figura 124) promedio fue de 33.2%.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

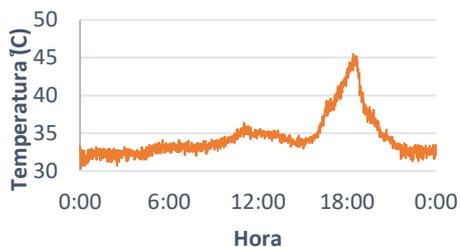


Figura 123. Temperatura día 1 sensor 4.



Figura 124. Humedad día 1 sensor 4.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 125) del día 1 del sensor 4 fue de 527 ppm. El monóxido de carbono se programó para ser medido por 7 sensores (figura 126), en el día 1 el sensor que presentó los valores más altos fue el sensor MQ8 con un promedio de 20565 ppm, MQ2 33 ppm, MQ3 0.08, MQ4 18 ppm, MQ5 7.7 ppm, MQ6 17.4 ppm, MQ7 0.6 ppm.

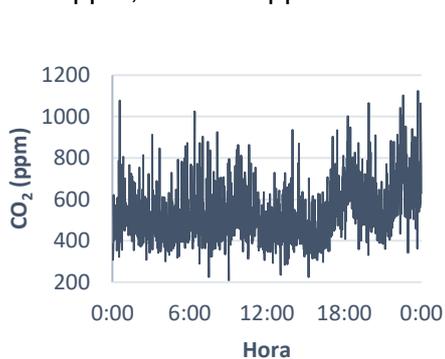


Figura 125. CO₂ día 1 sensor 4.

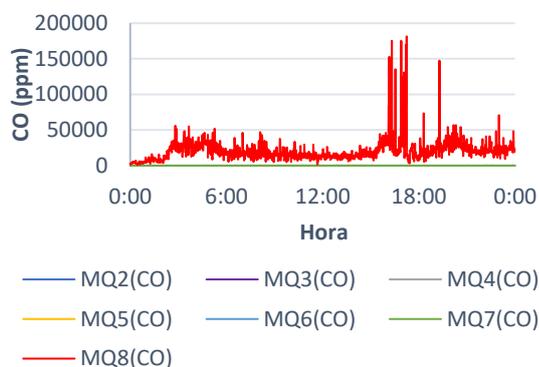


Figura 126. CO día 1 sensor 4.

4.4.2 Día 2

Medidas tomadas el 20 de agosto 2022.

La temperatura (figura 127) promedio del día 2 del sensor 4 fue de 34.7°C. La humedad (figura 128) promedio fue de 33.2%.

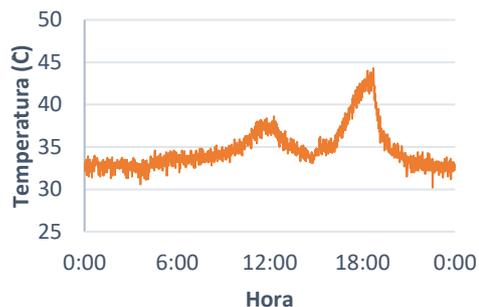


Figura 127. Temperatura día 2 sensor 4.



Figura 128. Humedad día 2 sensor 4.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 129) del día 2 del sensor 4 fue de 854.1 ppm. El sensor que presentó los valores más altos de CO (figura 130) fue el sensor MQ8 con un promedio de 21391 ppm, MQ2 32.5 ppm, MQ3 0.1, MQ4 12.5 ppm, MQ5 8.3 ppm, MQ6 2.9 ppm, MQ7 0.8 ppm.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

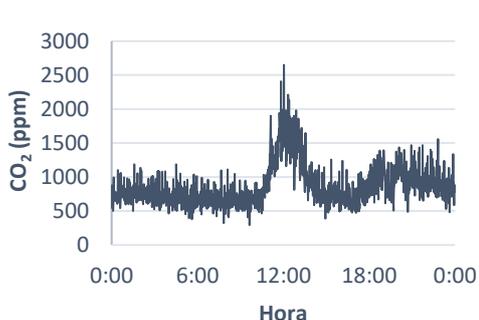


Figura 129. CO₂ día 2 sensor 4.

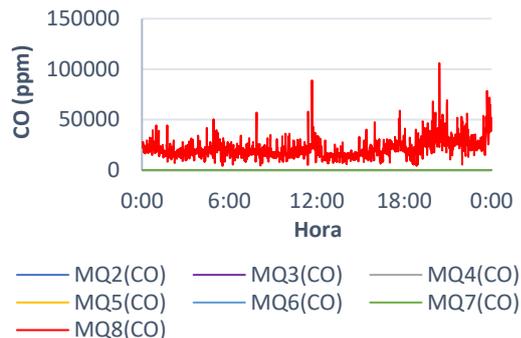


Figura 130. CO día 2 sensor 4

4.4.3 Día 3

Medidas tomadas el 21 de agosto 2022.

La temperatura (figura 131) promedio del día 3 del sensor 4 fue de 35.3°C. La humedad (figura 132) promedio fue de 36.3%.

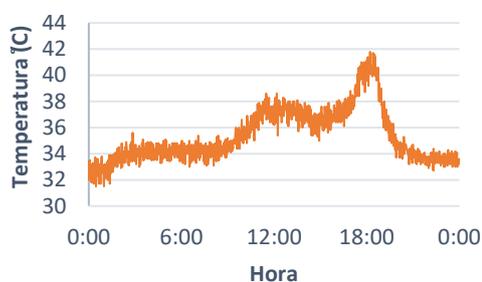


Figura 131. Temperatura día 3 sensor 4.



Figura 132. Humedad día 3 sensor 4.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 133) del día 3 del sensor 4 fue de 1117.8 ppm. El sensor que presentó los valores más altos fue el sensor MQ8 con un promedio de 21210 ppm, MQ2 37.1 ppm, MQ3 0.1, MQ4 10 ppm, MQ5 9 ppm, MQ6 3985 ppm, MQ7 0.7 ppm. (figura 134).

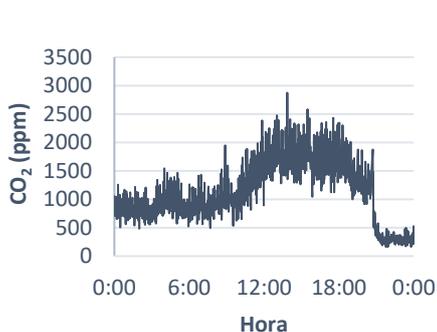


Figura 133. CO₂ día 3 sensor 4.

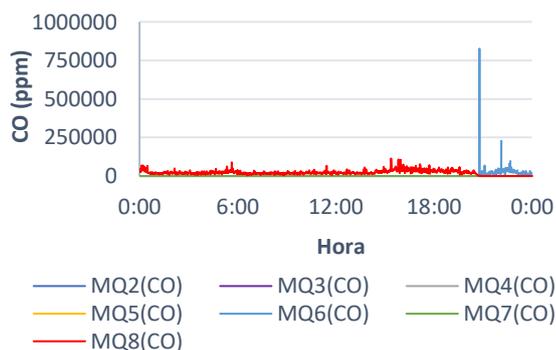


Figura 134. CO día 3 sensor 4.

4.4.4 Día 4

Medidas tomadas el 22 de agosto 2022.

La temperatura (figura 135) promedio del día 4 del sensor 4 fue de 35.3°C. La humedad (figura 136) promedio fue de 37.7%.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

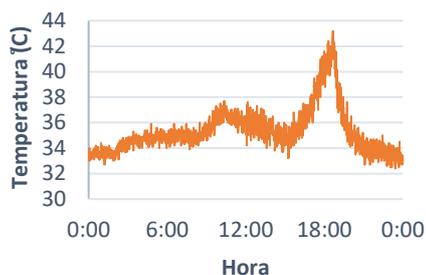


Figura 135. Temperatura día 4 sensor 4.



Figura 136. Humedad día 4 sensor 4.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 137) del día 4 del sensor 4 fue de 357.4 ppm. Está disminuyendo. El sensor que presento los valores más altos de CO (figura 138) fue el sensor MQ6 con un promedio de 11045279 ppm, MQ2 10.8 ppm, MQ3 0.1, MQ4 2.3 ppm, MQ5 2.7 ppm, MQ7 0.6 ppm, MQ8 691 ppm. El sensor MQ6 aumento significativamente sus valores promedios.

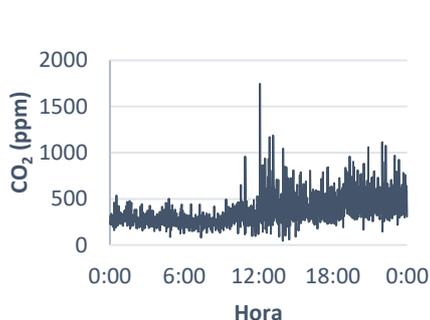


Figura 137. CO₂ día 4 sensor 4.

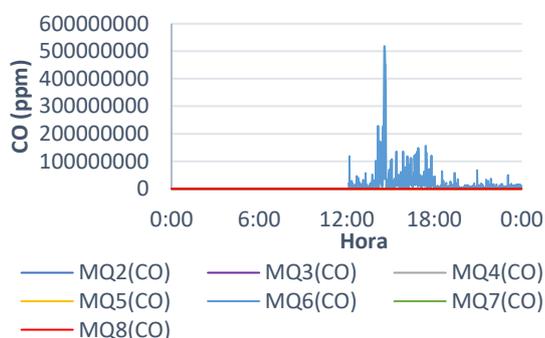


Figura 138. CO día 4 sensor 4.

4.4.5 Día 5

Medidas tomadas el 23 de agosto 2022.

La temperatura (figura 139) promedio del día 5 del sensor 4 fue de 36.2C. La humedad (figura 140) promedio fue de 37.4%.

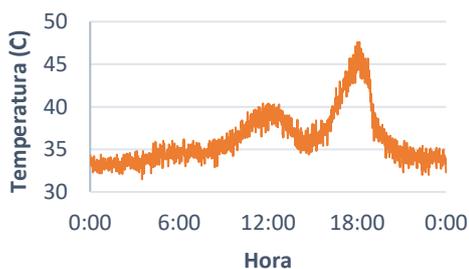


Figura 139. Temperatura día 5 sensor 4.

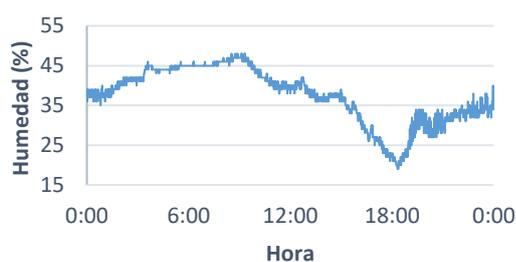


Figura 140. Humedad día 5 sensor 4.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 141) del día 5 del sensor 4 fue de 524.2 ppm. El día 5 el sensor que presento los valores más altos de CO (figura 142) fue el sensor MQ6 con un promedio de 4393510 ppm, MQ2 15.8 ppm, MQ3 0.2, MQ4 2 ppm, MQ5 3 ppm, MQ7 0.5 ppm, MQ8 554.7 ppm.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

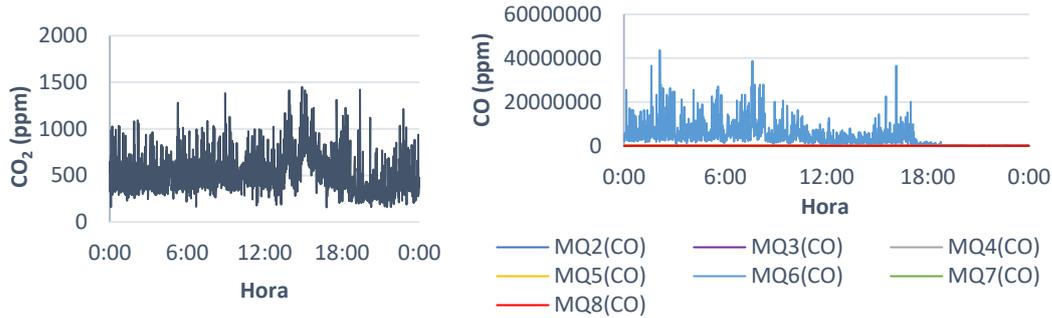


Figura 141. CO₂ día 5 sensor 4.

Figura 142. CO día 5 sensor 4.

4.4.6 día 6

Medidas tomadas el 24 de agosto 2022.

La temperatura (figura 143) promedio del día 6 del sensor 4 fue de 35.5°C. La humedad (figura 144) promedio fue de 36.1%.

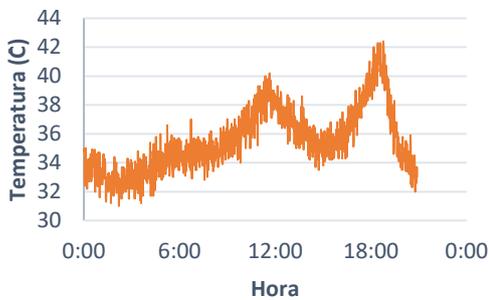


Figura 143. Temperatura día 6 sensor 4.

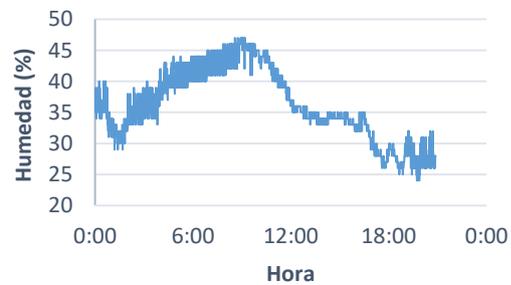


Figura 144. Humedad día 6 sensor 4.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 145) del día 6 del sensor 4 fue de 329 ppm. El sensor que presentó los valores más altos de CO (figura 146) fue el sensor MQ6 con un promedio de 94120 ppm, MQ2 13.4 ppm, MQ3 0.1, MQ4 2 ppm, MQ5 3.7 ppm, MQ7 0.5 ppm, MQ8 120.9 ppm.

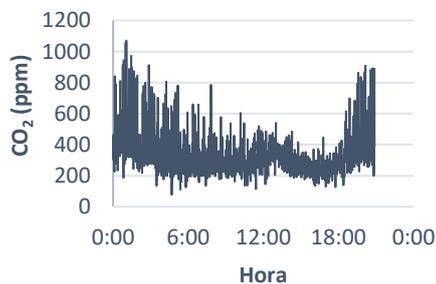


Figura 145. CO₂ día 6 sensor 4.

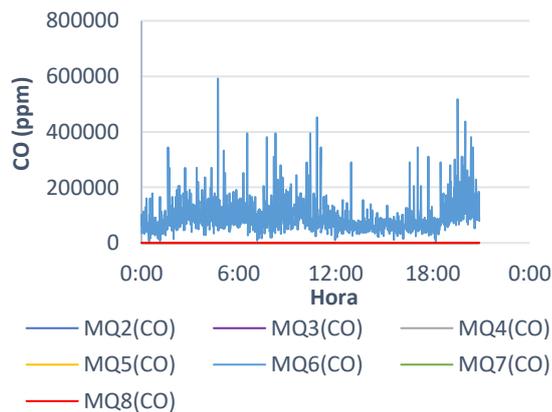


Figura 146. CO día 6 sensor 4.

4.4.7 Día 7

Medidas tomadas el 24 de agosto 2022.

La temperatura (figura 147) promedio del día 7 del sensor 4 fue de 35.4°C. La humedad (figura 148) promedio fue de 35.8%.

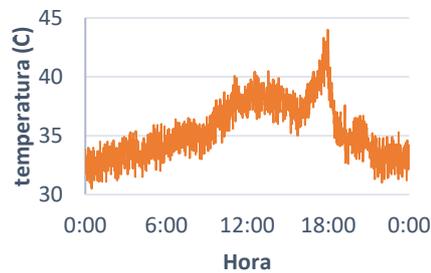


Figura 147. Temperatura día 7 sensor 4.

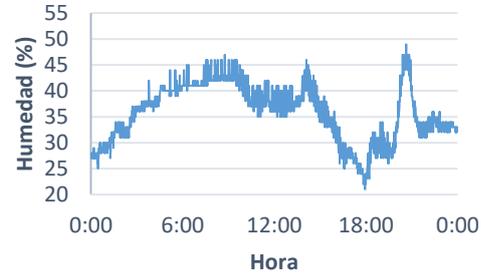


Figura 148. Humedad día 7 sensor 4.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 149) del día 7 del sensor 4 fue de 600.4 ppm. El sensor que presentó los valores más altos de monóxido de carbono (figura 150) fue el sensor MQ6 con un promedio de 296934 ppm, MQ2 16.2 ppm, MQ3 0.1, MQ4 0.5 ppm, MQ5 4.6 ppm, MQ7 0.5 ppm, MQ8 182.3 ppm.

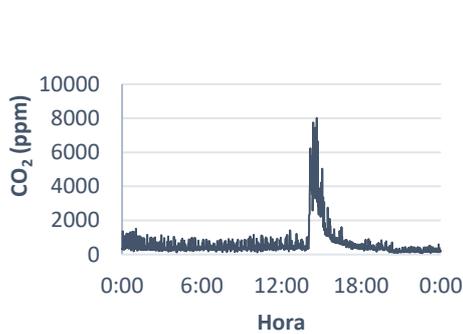


Figura 149. CO₂ día 7 sensor 4.

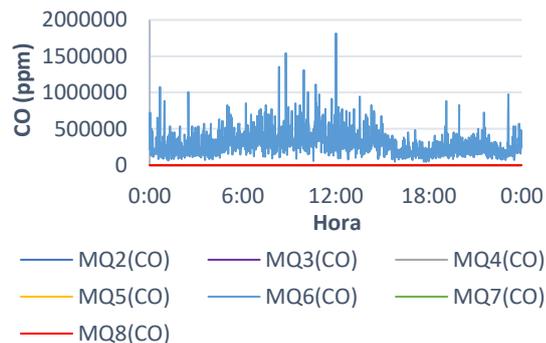


Figura 150. CO día 7 sensor 4.

4.5 Resultados sensor 5

4.5.1 Día 1

Medidas tomadas el 4 de agosto 2022.

La temperatura (figura 151) promedio del día 1 del sensor 5 fue de 34.7°C. La humedad (figura 152) promedio fue de 40.4%.

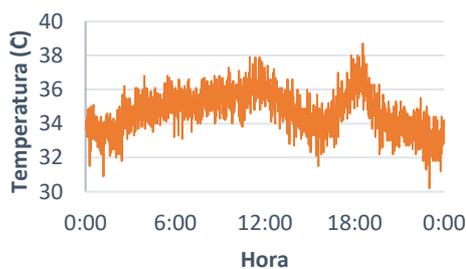


Figura 151. Temperatura día 1 sensor 5.

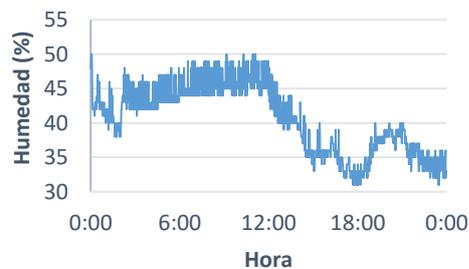


Figura 152. Humedad día 1 sensor 5.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 153) del día 1 del sensor 5 fue de 309.3 ppm. El alcohol se ha medido con 7 sensores (figura 154), el que presento valores más altos fue el MQ4 con un promedio de 1721.3 ppm, MQ2 13.4 ppm, MQ5 13.2 ppm, MQ6 415.2 ppm, MQ7 0.9 ppm y MQ8 39.6 ppm. El sensor MQ3 no presento ningún valor.

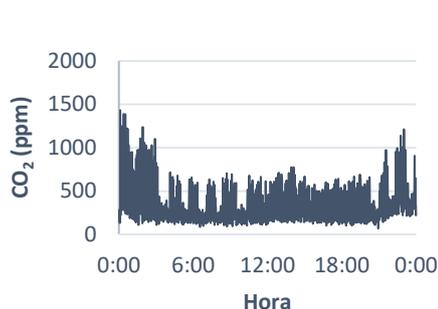


Figura 153. CO₂ día 1 sensor 5.

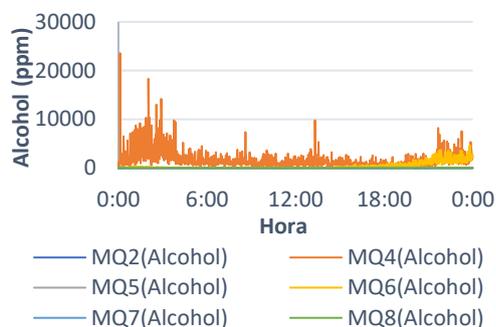


Figura 154. Alcohol día 1 sensor 5

4.5.2 día 2

Medidas tomadas el 5 de agosto 2022.

La temperatura (figura 155) promedio del día 2 del sensor 5 fue de 34.9°C. La humedad (figura 156) promedio fue de 41%.

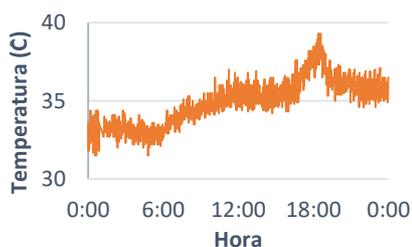


Figura 155. Temperatura día 2 sensor 5.

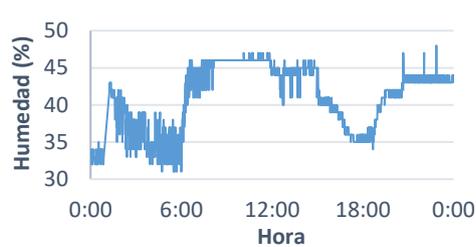


Figura 156. Humedad día 2 sensor 5.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 157) del día 2 del sensor 5 fue de 355.7 ppm. Se observan unos picos al inicio del día durante una hora aproximadamente y disminuye en el resto del día, el sensor que presento valores más altos de alcohol (figura 158) fue el MQ6 con un valor promedio de 84.6 ppm, MQ2 9.2 ppm, MQ4 80.9 ppm, MQ5 7.1 ppm, MQ7 0.06 ppm y MQ8 28 ppm. El sensor MQ3 no presento ningún valor.

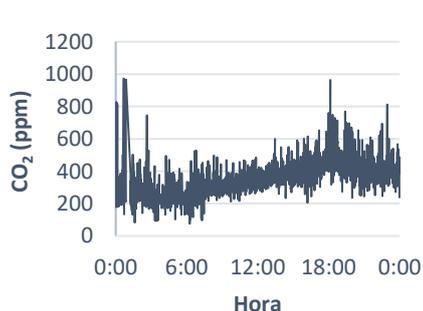


Figura 157. CO₂ día 2 sensor 5.

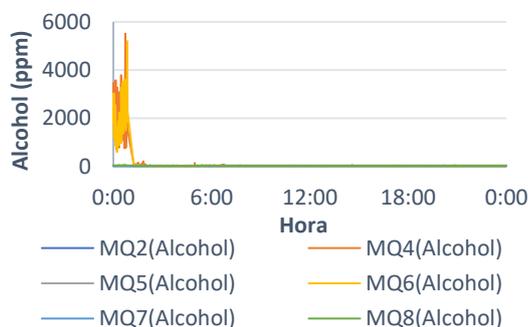


Figura 158. Alcohol día 2 sensor 5

4.5.3 Día 3

Medidas tomadas el 6 de agosto 2022.

La temperatura (figura 159) promedio del día 3 del sensor 5 fue de 36.4°C. La humedad (figura 160) promedio fue de 43.5%.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

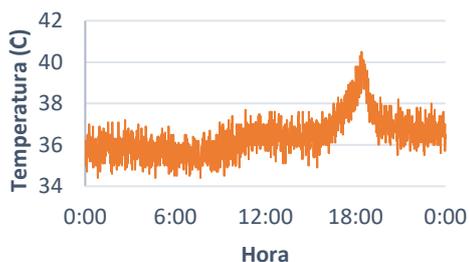


Figura 159. Temperatura día 3 sensor 5.



Figura 160. Humedad día 3 sensor 5.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 161) del día 3 del sensor 5 fue de 374.7 ppm. El sensor que presentó valores más altos de alcohol (figura 162) fue el MQ8 con un valor promedio de 28.6 ppm, MQ2 8.5 ppm, MQ4 8. ppm, MQ5 8.2 ppm, MQ6 5.3 ppm y MQ7 0.08 ppm. El sensor MQ3 no presentó ningún valor.

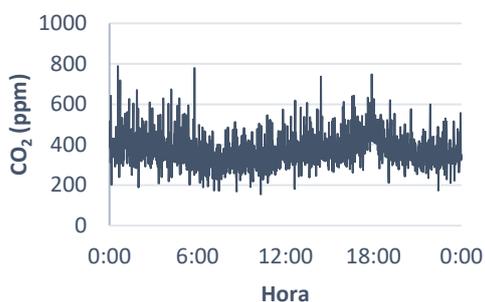


Figura 161. CO₂ día 3 sensor 5.

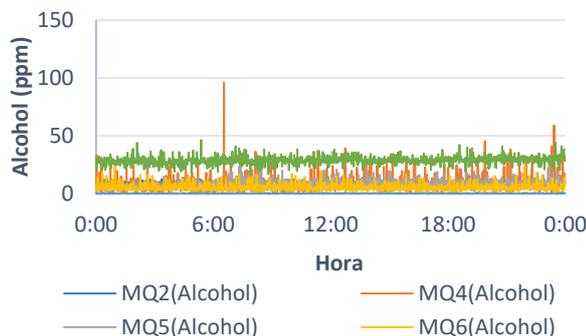


Figura 162. Alcohol día 3 sensor 5.

4.5.4 día 4

Medidas tomadas el 7 de agosto 2022.

La temperatura (figura 163) promedio del día 4 del sensor 5 fue de 35.2°C. La humedad (figura 164) promedio fue de 42.5%.

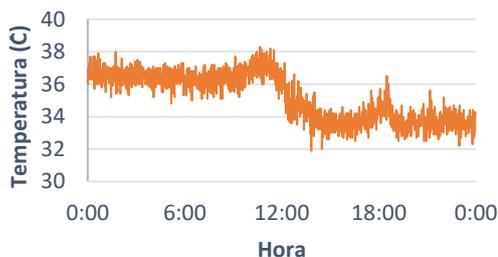


Figura 163. Temperatura día 4 sensor 5.



Figura 164. Humedad día 4 sensor 5.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 165) del día 4 del sensor 5 fue de 224.7 ppm. El sensor que presentó valores más altos de alcohol (figura 166) fue el MQ5 con un valor promedio de 34 ppm, MQ2 9.3 ppm, MQ4 13.7 ppm, MQ6 31.4 ppm, MQ7 11.3 ppm y MQ8 33.3 ppm. El sensor MQ3 no presentó ningún valor.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

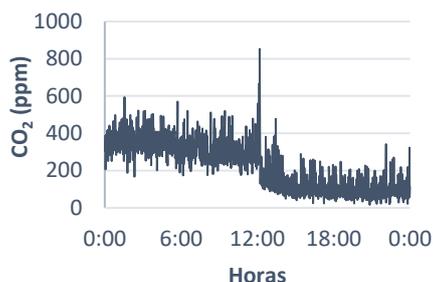


Figura 165. CO₂ día 4 sensor 5.

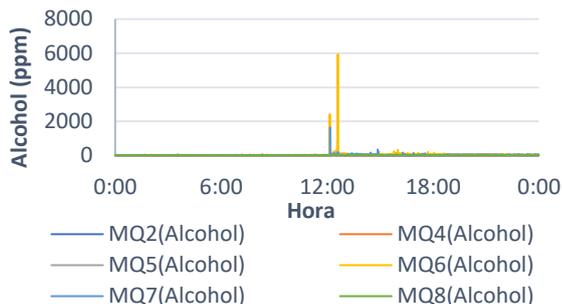


Figura 166. Alcohol día 4 sensor 5

4.5.5 Día 5

Medidas tomadas el 8 de agosto 2022.

La temperatura (figura 167) promedio del día 5 del sensor 5 fue de 34.4°C. La humedad (figura 168) promedio fue de 40.9%.

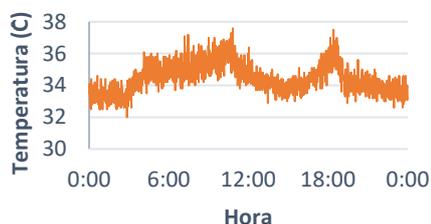


Figura 167. Temperatura día 5 sensor 5.



Figura 168. Humedad día 5 sensor 5.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 169) del día 5 del sensor 5 fue de 103.2 ppm. El sensor que presentó valores más altos de alcohol (figura 170) fue el MQ5 con un valor promedio de 48.1 ppm, MQ2 10 ppm, MQ4 4.6 ppm, MQ6 40.9 ppm, MQ7 29.8 ppm y MQ8 38 ppm. El sensor MQ3 no presentó ningún valor.

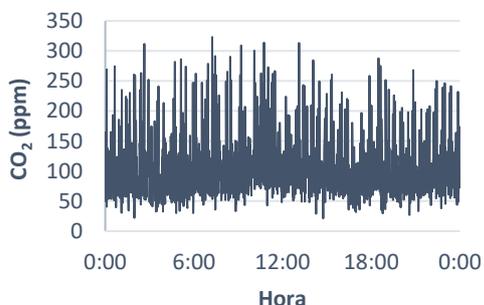


Figura 169. CO₂ día 5 sensor 5.

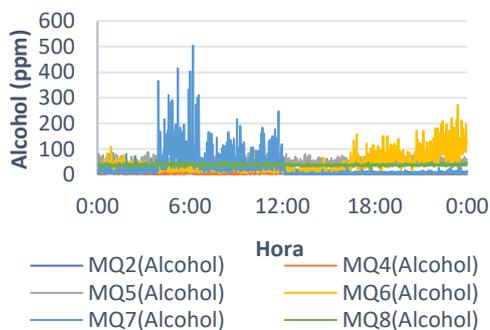


Figura 170. Alcohol día 5 sensor 5

4.5.6 Día 6

Medidas tomadas el 17 de agosto 2022.

La temperatura (figura 171) promedio del día 6 del sensor 5 fue de 34.8°C. La humedad (figura 172) promedio fue de 29.3%.



Figura 171. Temperatura día 6 sensor 5.

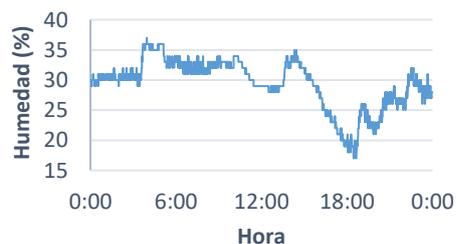


Figura 172. Humedad día 6 sensor 5.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 173) del día 6 del sensor 5 fue de 632.5 ppm. El sensor que presentó valores más altos de alcohol (figura 174) fue el MQ4 con un valor promedio de 205 ppm, MQ2 10.5 ppm, MQ5 8.4 ppm, MQ6 70.1 ppm, MQ7 0.08 ppm y MQ8 30.6 ppm. El sensor MQ3 no presentó ningún valor.

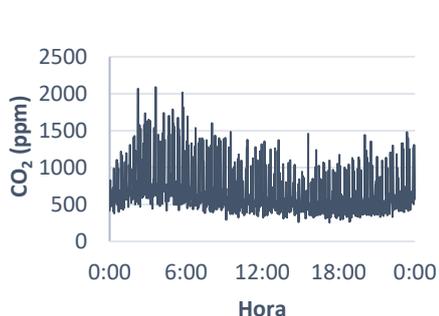


Figura 173. CO₂ día 6 sensor 5.

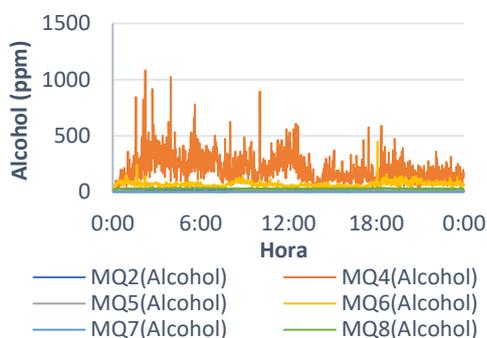


Figura 174. Alcohol día 6 sensor 5

4.5.7 Día 7

Medidas tomadas el 17 de agosto 2022.

La temperatura (figura 175) promedio del día 7 del sensor 5 fue de 35.7°C. La humedad (figura 176) promedio fue de 31.9%.

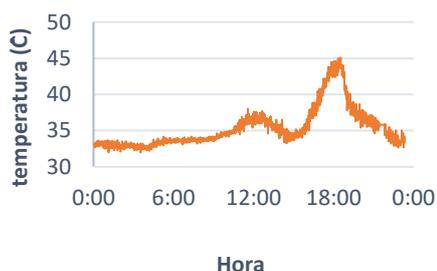


Figura 175. Temperatura día 7 sensor 5.



Figura 176. Humedad día 7 sensor 5.

El valor promedio de dióxido de carbono (figura 177) del día 7 del sensor 5 fue de 572.4 ppm. El sensor que presentó valores más altos de alcohol (figura 178) fue el MQ4 con un valor promedio de 75.5 ppm, MQ2 10.7 ppm, MQ5 9.8 ppm, MQ6 55.8 ppm, MQ7 0.004 ppm y MQ8 27.8 ppm. El sensor MQ3 no presentó ningún valor.

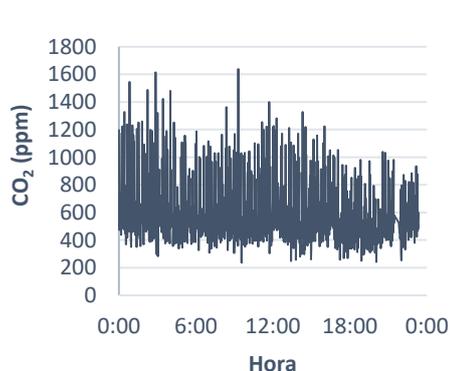


Figura 177. CO₂ día 7 sensor 5.

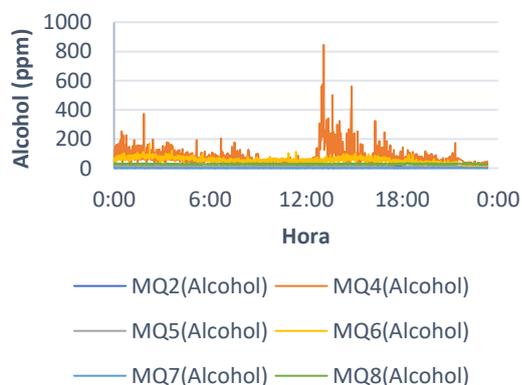


Figura 178. Alcohol día 7 sensor 5.

Capítulo 5: Discusión de resultados

En el sensor programado 1, cuatro sensores midieron H₂, el sensor MQ-8 y MQ-6 fueron los que obtuvieron valores más altos en la medición de H₂ y los valores fueron constantes en los 7 días en que se tomaron medidas, el sensor MQ-135 responsable de medir CO₂ en los 5 sensores programados mostro un aumento con el paso de los días, no se detectaron datos de benceno y de humo solo el primer día. En la tabla 2 se muestran los valores máximos presentados por cada sensor en cada día.

Sensor 1										
Día	Temperatura (C)	Humedad (%)	MQ135(CO2) (ppm)	MQ2(H2) (ppm)	MQ3(Benceno) (ppm)	MQ4(Humo) (ppm)	MQ5(H2) (ppm)	MQ6(H2) (ppm)	MQ7(H2) (ppm)	MQ8(H2) (ppm)
dia 1	32,0	95,0	6968,4	8,6	0,0	246,1	2,7	60,2	0,8	61,8
dia 2	37,1	95,0	24,4	0,2	0,0	0,0	1,4	55,0	0,8	58,6
dia 3	38,9	95,0	22,5	0,2	0,0	0,0	0,7	36,5	0,8	60,0
dia 4	42,2	95,0	25,0	0,2	0,0	0,0	1,4	36,5	0,7	59,5
dia 5	41,5	95,0	6619,4	12,6	0,0	0,0	1,3	209,9	1,0	81,2
dia 6	35,0	53,0	572,0	10,4	0,0	0,0	2,8	73,7	0,9	88,7
dia 7	36,2	52,0	284,4	12,9	0,0	0,0	5,9	68,0	1,0	62,4

Tabla 2. Valores máximos sensor 1.

En el sensor programado 2, siete sensores midieron gas licuado del petróleo (LPG), los sensores MQ-8, MQ-4 y MQ-6 fueron los sensores que presentaron valores más altos de LPG con variaciones entre los días sin ser constantes en el tiempo. En la tabla 3 se presentan los valores máximos registrados cada día por cada sensor.

Sensor 2										
Día	Temperatura (C)	Humedad (%)	MQ135(CO2) (ppm)	MQ2(LPG) (ppm)	MQ3(LPG) (ppm)	MQ4(LPG) (ppm)	MQ5(LPG) (ppm)	MQ6(LPG) (ppm)	MQ7(LPG) (ppm)	MQ8(LPG) (ppm)
dia 1	36,0	41,0	321,8	4,9	0,1	40,9	1,6	12,1	0,1	24,6
dia 2	37,0	55,0	2087,0	13,3	0,2	125,0	7,3	38,4	152,7	168,8
dia 3	38,1	48,0	1649,0	9,5	0,1	72,3	4,8	254,7	136,8	106,3
dia 4	38,5	47,0	1827,9	7,3	0,1	57,5	5,4	56,8	159,5	227,6
dia 5	38,6	52,0	2746,2	8,7	0,1	51,1	1,2	13,1	0,0	51,8
dia 6	37,0	48,0	2886,3	6,3	0,1	50,1	1,3	34,9	0,0	87,6
dia 7	41,5	44,0	8694,0	11,9	0,1	37,7	2,2	62,2	0,0	145,0

Tabla 3. Valores máximos sensor 2.

En el sensor programado 3, cinco sensores midieron metano, el sensor que presento valores más altos en la medición de CH₄ fue nuevamente el MQ-8 y antes caso mostro un leve aumento en el tiempo, el hexano mostro valores muy bajos por lo que se descarta este gas, el propano mostro datos bajos. El metano es un gas que ya está reportado como subproducto de las plantas (Nisbet et al., 2009). En el día 4 obtuvimos unos picos de valores muy marcados y altos al igual que datos anómalos que no se registraban, también tuvimos quemas de dos adaptadores de corriente en días consecutivos y un módulo de adaptación y esto fue lo que provocó los datos anómalos debido a una sobrecarga eléctrica (T. et al., 2021). En la tabla 4 se presentan los valores máximos cada sensor del sensor 3 en cada día medido.

Sensor 3										
Día	Temperatura (C)	Humedad (%)	MQ135(CO2) (ppm)	MQ2(Propano) (ppm)	MQ3(Hexano) (ppm)	MQ4(CH4) (ppm)	MQ5(CH4) (ppm)	MQ6(CH4) (ppm)	MQ7(CH4) (ppm)	MQ8(CH4) (ppm)
dia 1	35,8	45	2004,08	5,16	0,08	20	15,97	28,84	0,69	18207,33
dia 2	35,8	43	891,3	4,68	0,1	18,46	1,55	11,52	0,1	45,08
dia 3	38,3	45	911,89	4,51	0,08	21,9	2,32	7,16	0,08	68,67
dia 4	43,3	48	593386750	442230,34	1585,14	1395396,3	30068078	11476,26	6,3874E+18	1,6728E+22
dia 5	46	42	6636,11	13,54	0,11	19,98	5,25	208,57	0,93	1514,77
dia 6	44,6	46	9273,31	10,83	0,19	32,96	4,79	111,42	344,24	703,11
dia 7	45,3	41	6109,77	9,15	0,09	46,46	2,68	67,4	24196,94	1636,66

Tabla 4. Valores máximos sensor 3.

En el sensor programado 4, siete sensores midieron monóxido de carbono, los sensores que presentaron valores más altos fueron MQ-6 y MQ-7 con valores muy superiores a los reportados por los otros sensores. En la tabla 5 se muestran los valores máximos registrados por cada sensor en cada día del sensor 4.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

Sensor 4										
Día	Temperatura (C)	Humedad (%)	MQ135(CO2) (ppm)	MQ2(CO) (ppm)	MQ3(CO) (ppm)	MQ4(CO) (ppm)	MQ5(CO) (ppm)	MQ6(CO) (ppm)	MQ7(CO) (ppm)	MQ8(CO) (ppm)
dia 1	45,5	40	1124,3	48,56	0,2	182,74	33,41	225,28	1,12	181472,58
dia 2	44,3	42	2650,19	49,52	0,18	125,82	32,95	39,14	1,69	106001,06
dia 3	41,8	42	2873,24	62,96	0,18	289,56	27,54	826789,63	0,93	113685,63
dia 4	43,2	47	1746,2	21,35	0,32	130,67	10,68	518026020	1,26	7926,15
dia 5	47,6	48	1449,97	38,54	0,35	130,67	10,82	43607868	0,83	3786,22
dia 6	42,4	47	1070,55	27,08	0,25	3,86	12,85	592148,31	0,76	453,92
dia 7	44	49	8011,95	102,17	0,31	4,16	12,68	1815075,9	0,87	667,13

Tabla 5. Valores máximos sensor 4.

Y por último el sensor programado 5, tomo medidas de alcohol con siete sensores de los cuales el MQ-3 no reporto dato y el MQ-4 y el MQ-6 fueron los que mostraron los datos más altos.

Sensor 5										
Día	Temperatura (C)	Humedad (%)	MQ135(CO2) (ppm)	MQ2(Alcohol) (ppm)	MQ3(Alcohol) (ppm)	MQ4(Alcohol) (ppm)	MQ5(Alcohol) (ppm)	MQ6(Alcohol) (ppm)	MQ7(Alcohol) (ppm)	MQ8(Alcohol) (ppm)
dia 1	38,7	50	1431,56	27,91	0	23583,72	70,38	4677,66	190,2	70,75
dia 2	39,3	48	972,83	19,76	0	5511,96	30,3	5201,34	1,23	42,96
dia 3	40,5	50	788,87	13,91	0	95,85	27,44	28,33	1,69	46,14
dia 4	38,3	49	852,9	16,98	0	862,98	167,59	5930,87	1647	52,35
dia 5	37,6	52	323,23	15,81	0	28,55	105,83	272,92	504,12	52,11
dia 6	44,6	37	2088,85	22,22	0	1082,09	32,06	450,56	1,07	43,45
dia 7	45,1	38	1639,02	17,12	0	845,3	23,37	170,32	0,06	36,85

En cuanto a la humedad que se midió durante todo el experimento fue disminuyendo del 93% del día 1 del muestreo 1 hasta el 35% aproximadamente, esto es debido a que la planta entro en estrés y empezó a perder sus hojas.

La temperatura que también se midió todos los días fue estable en 35 °C en promedio. Mientras que el CO₂ con cada día de muestreo empezó a aumentar hasta que empezó a disminuir lentamente, esto fue debido a la acumulación dentro de la cámara y cuando la planta empezó a perder sus hojas se estabilizo al no haber intercambio gaseoso.

Las tablas con todos los datos registrados se encuentran en el anexo 3.

Capítulo 6: Conclusiones

6.1 Cumplimiento del objetivo.

El objetivo primordial de este estudio ha sido valorar la posibilidad de utilizar un array de sensores para cuantificar los gases que emite *Cistus ladanifer* y correlacionarlos con su desarrollo fisiológico para determinar cuándo es necesario o conveniente realizar la cosecha. Para lograr dicha meta esta es la primera etapa.

La primera etapa requería la construcción de un prototipo en el que las consideraciones operativas eran obviadas para centrarse en su objetivo: ver si *Cistus ladanifer* emitía suficientes volátiles como para ser detectados y determinar cuáles de los sensores usados presenta los mejores resultados, estos datos fueron discutidos en el capítulo 5. Al ser sensores de carácter genérico ya que no han sido diseñados específicamente para una aplicación concreta y los gases que mide no han sido reportados como emitidos por *Cistus ladanifer*, lo que se buscó fue una correlación entre lo que mide el sensor y lo emitido por la planta y pudiera que presentar datos, pero es poco probable determinar concretamente que gas es el que se estaría midiendo. También ha habido solo unos pocos estudios de investigación previos exitosos con sensores comerciales para la determinación cuantitativa. Además, en general, la información sobre las especificaciones sobre el rendimiento del sensor está dispersa y es difícil de comparar (Spinelle et al., 2017).

6.2.- Problemas encontrados y cómo se han solucionado.

El problema principal que tuve fue que los datos no se almacenaban correctamente en la memoria SD y eso me llevo a una pérdida de tiempo importante ya que no encontramos la causa de este problema, al ser un prototipo es normal que se presenten este tipo de problemas, la solución inicial que se le dio fue esta constantemente revisando la pantalla para confirmar que estuviera tomando datos y tomar acciones se no se veía que así fuera pero esta no fue una buena solución ya que los sensores si tomaban los datos y el problema real era que no se almacenaba la información dentro de la memoria y la solución definitiva fue conectar un computador durante todo el muestreo teniéndolo encendido habilitada la ventana del monitor serie del Arduino y así ver los datos en tiempo real, estos datos se copiaban de esta ventana y se iban pegando en un archivo durante todo el día, todos los días de muestreo. Otro problema fue la calibración de la hora ya que cuenta con un módulo RTC que es indispensable para el correcto funcionamiento del sistema y estaba presentando fallos ya que no encontraba la hora correcta y el sistema entraba en bucle o dejaba de funcionar, esto se solucionó poniendo una nueva pila. La planta se murió y esto fue debido a la saturación dentro de la cámara ya que la planta de *Cistus ladanifer*, esto nos permitió evaluar los sensores en diferentes estados de la planta (viva y muerta) aun que los resultados no son concluyentes para reportar diferencias entre estos estados.

6.3.- Futuras líneas de investigación

Como dije al inicio de las conclusiones, esta solo es la primera etapa donde pudimos comprobar que estos sensores si detectan gases emitidos por *Cistus ladanifer*, pero es necesario continuar con más muestreos en plantas de diferentes edades y estados fisiológicos para poder determinar si es posible diferenciar su desarrollo con el uso estos sensores. También es necesario corregir algunos errores del prototipo para facilitar su manejo.

Bibliografía

- Almeida, D., Ferreira, T., Marques, E., Paiva, J. M., & Pinho, C. (2014). *Moisture influence on the quality of pellets made of Cistus ladanifer shrubs*. 1–7.
- Alvarenga, P. M., Araújo, M. F., & Silva, J. A. L. (2004). Elemental Uptake and Root-Leaves Transfer in *Cistus Ladanifer* L. Growing in a Contaminated Pyrite Mining Area (Aljustrel-Portugal). *Water, Air, and Soil Pollution 2004* 152:1, 152(1), 81–96. <https://doi.org/10.1023/B:WATE.0000015333.24165.5E>
- Arduino. (2022). *software | arduino*. <https://www.arduino.cc/en/software>
- Becerro, G., Lucini, C., & Maiz, M. (2014). Aprovechamiento de *Cistus ladanifer* L. CONAMA, 1–12. www.conama2014.org
- BRAUN-BLANQUET, M., & WARNER, H. (1941). Prodome des groupements vegetaux. *Montpellier, Francia*.
- Brezmes Llecha, J. (2002). *Diseño de una nariz electrónica para la determinación no destructiva del grado de la maduración de la fruta*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Campaña Bastidas, S. E., & Londoño Peláez, J. M. (2013). Estudio de redes de sensores y aplicaciones orientadas a la recolección y análisis de señales biomédicas. *Gerencia Tecnológica Informática*, 12(33), 85–99.
- Carrión Prieto, P. (2017). *Caracterización físico química y aprovechamiento de dos especies pirófilas mediterráneas: Cistus Ladanifer L. y Erica Arborea L.* [Universidad de Valladolid]. <https://doi.org/10.35376/10324/26891>
- Chaves, N., & Escudero, J. C. (1997). Allelopathic effect of *Cistus ladanifer* on seed germination. *Functional Ecology*, 11(4), 432–440. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1997.00107.x>
- DataSheet.es. (2021). *MQ-2 Datasheet - Gas Sensor*. <http://www.datasheet.es/PDF/622943/MQ-2-pdf.html>
- Duran, C. M. (2006). Diseño y optimización de los subsistemas de un sistema de olfato electrónico para aplicaciones agroalimentarias e industriales [Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Tarragona. Universitat Rovira i Virgili.]. In *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <http://www.tdx.cat/handle/10803/8451>
- el Karkouri, J., Bouhrim, M., al Kamaly, O. M., Mechchate, H., Kchibale, A., Adadi, I., Amine, S., Ismaili, S. A., & Zair, T. (2021). Chemical Composition, Antibacterial and Antifungal Activity of the Essential Oil from *Cistus ladanifer* L. *Plants* 2021, Vol. 10, Page 2068, 10(10), 2068. <https://doi.org/10.3390/PLANTS10102068>
- Flora Ibérica. (2022). *Cistus*. http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/03_066_01_Cistus.pdf
- García Rosa, M. (2013). *Estudio de la biomasa de "Cistus ladanifer L." y "Retama sphaerocarpa L." como sumidero de CO2: Existencias y potencialidad* [Universidad de Extremadura]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=37961&info=resumen&idioma=SPA>
- GBIF. (2022, January). *Cistus ladanifer* L. <https://www.gbif.org/species/6437976>
- Haberstroh, S., Kreuzwieser, J., Lobo-do-Vale, R., Caldeira, M. C., Dubbert, M., & Werner, C. (2018). Terpenoid Emissions of Two Mediterranean Woody Species in Response to Drought Stress. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01071>
- Hernández Rodríguez, M. (2016). *Manejo de ecosistemas pirófitos mediterráneos dominados por "Cistus ladanifer" para incrementar la producción micológica y prevenir incendios forestales* [Universidad de Valladolid]. <https://doi.org/10.35376/10324/22079>
- Jonsson, A., Winquist, F., Schnurer, J., Sundgren, H., & Lundstrom, I. (1997). Electronic nose for microbial quality classification of grains. *International Journal of Food Microbiology*, 35(2), 187–193. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(96\)01218-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(96)01218-4)
- Malo, J., & Suárez, F. (1996). *Cistus ladanifer* recruitment-not only fire but also deer. *Acta Ecológica*, 17(1), 55–60.

Desarrollo y medidas experimentales de un array de sensores para el estudio del tipo de gas y la variabilidad de la planta *Cistus Ladanifer*

- Nisbet, R. E. R., Fisher, R., Nimmo, R. H., Bendall, D. S., Crill, P. M., Gallego-Sala, A. V., Hornibrook, E. R. C., López-Juez, E., Lowry, D., Nisbet, P. B. R., Shuckburgh, E. F., Sriskantharajah, S., Howe, C. J., & Nisbet, E. G. (2009). Emission of methane from plants. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1660), 1347–1354. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.1731>
- Núñez, E. (1989). *Ecología del jaral de cistus ladanifer l.* Universidad Extremadura, España.
- Park, S. Y., Kim, Y., Kim, T., Eom, T. H., Kim, S. Y., & Jang, H. W. (2019). Chemoresistive materials for electronic nose: Progress, perspectives, and challenges. *InfoMat*, 1(3), 289–316. <https://doi.org/10.1002/INF2.12029>
- Persaud, K., & Dodd, G. (1982). Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose. *Nature*, 299(5881), 352–355. <https://doi.org/10.1038/299352a0>
- Prieto, N. (2012). *Implementación de un sistema de evaluación sensorial electrónico para el control de calidad de vinos* [Universidad de Valladolid]. <https://doi.org/10.35376/10324/1900>
- Ridgway, C., Chambers, J., Portero-Larragueta, E., & Prosser, O. (1999). Detection of mite infestation in wheat by electronic nose with transient flow sampling. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(15), 2067–2074. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199912\)79:15<2067::AID-JSFA490>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199912)79:15<2067::AID-JSFA490>3.0.CO;2-3)
- Rifna, E. J., & Dwivedi, M. (2021). Emerging nondestructive technologies for quality assessment of fruits, vegetables, and cereals. *Food Losses, Sustainable Postharvest and Food Technologies*, 219–253. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821912-6.00009-2>
- Sanaeifar, A., ZakiDizaji, H., Jafari, A., & Guardia, M. de la. (2017). Early detection of contamination and defect in foodstuffs by electronic nose: A review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 97, 257–271. <https://doi.org/10.1016/J.TRAC.2017.09.014>
- Spinelle, L., Gerboles, M., Kok, G., Persijn, S., & Sauerwald, T. (2017). Review of Portable and Low-Cost Sensors for the Ambient Air Monitoring of Benzene and Other Volatile Organic Compounds. *Sensors*, 17(7), 1520. <https://doi.org/10.3390/s17071520>
- T., A. A., F., O. J., O., Y. A., & O., P. J. (2021). Analytical determination of load resistance value for MQ-series gas sensors: MQ-6 as case study. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 19(2), 575. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v19i2.17427>
- Teixeira, S., Mendes, A., Alves, A., & Santos, L. (2007). Simultaneous distillation–extraction of high-value volatile compounds from *Cistus ladanifer* L. *Analytica Chimica Acta*, 584(2), 439–446. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2006.11.054>
- Turner, A. P. F., & Magan, N. (2004). Electronic noses and disease diagnostics. *Nature Reviews Microbiology*, 2(2), 161–166. <https://doi.org/10.1038/nrmicro823>
- Valares Masa, C. (2011). *VARIACIÓN DEL METABOLISMO SECUNDARIO EN PLANTAS DEBIDA AL GENOTIPO Y AL AMBIENTE* [Universidad de Extremadura]. <http://www.unex.es/publicaciones>
- Valares Masa, C., Alías Gallego, J. C., Chaves Lobón, N., & Sosa Díaz, T. (2016). Intra-Population Variation of Secondary Metabolites in *Cistus ladanifer* L. *Molecules*, 21(7). <https://doi.org/10.3390/MOLECULES21070945>
- Valares Masa, C., Sosa Díaz, T., Alías Gallego, J. C., & Chaves Lobón, N. (2016). Quantitative Variation of Flavonoids and Diterpenes in Leaves and Stems of *Cistus ladanifer* L. at Different Ages. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 21(3), 275. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES21030275>
- Vinaixa, M., Vergara, A., Duran, C., Llobet, E., Badia, C., Brezmes, J., Vilanova, X., & Correig, X. (2005). Fast detection of rancidity in potato crisps using e-noses based on mass spectrometry or gas sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 106(1), 67–75. <https://doi.org/10.1016/J.SNB.2004.05.038>