



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
División Académica de Ciencias Biológicas



**“MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES EN ESPACIOS DE LA
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS CON
SENSORES DE BAJO COSTO”**

Trabajo recepcional, en la modalidad de:

Tesis

Para obtener el título de:

Licenciatura en Ingeniería Ambiental

Presenta:

Anahi Guadalupe Bolaina García

Directores:

Mipa. Sergio Ramos Herrera
Dra. Carolina Zequeira Larios

Villahermosa, Tabasco, México

Octubre, 2020

Universidad Autónoma de Tabasco

MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES EN ESPACIOS DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLOGÍCAS CON SENSORES DE BAJO COSTO

Por Anahi Guadalupe Bolaina García

CANTIDAD DE PALABRAS 12402

HORA DE ENTREGA

26-JUN-2025 01:17 P. M.

NÚMERO DE
IDENTIFICACIÓN DEL
TRABAJO

116937078

MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES EN ESPACIOS DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS CON SENSORES DE BAJO COSTO

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	ri.ujat.mx Internet	517 palabras — 5%
2	www.coursehero.com Internet	110 palabras — 1%
3	programarfacil.com Internet	87 palabras — 1%
4	eprints.uanl.mx Internet	68 palabras — 1%
5	hdl.handle.net Internet	60 palabras — 1%
6	www.dspace.espol.edu.ec Internet	58 palabras — 1%
7	pdffox.com Internet	57 palabras — 1%
8	repository.usta.edu.co Internet	56 palabras — 1%
9	qdoc.tips Internet	50 palabras — < 1%

10	mcivancolombiabogota.blogspot.com Internet	35 palabras — < 1%
11	bdigital.unal.edu.co Internet	33 palabras — < 1%
12	dokumen.pub Internet	32 palabras — < 1%
13	dspace.ups.edu.ec Internet	28 palabras — < 1%
14	doi.org Internet	27 palabras — < 1%
15	manualzz.com Internet	27 palabras — < 1%
16	americanae.aacid.es Internet	26 palabras — < 1%
17	Washington Torres Guin, José Sánchez Aquino, Samuel Bustos Gaibor, Marjorie Coronel Suarez. "IoT Architecture for Vehicle Pollutant Gas Emission Monitoring and Validation through Machine Learning", Ingenius, 2024 Crossref	24 palabras — < 1%
18	docplayer.es Internet	23 palabras — < 1%
19	chiotirado.wordpress.com Internet	22 palabras — < 1%
20	dspace.utpl.edu.ec Internet	22 palabras — < 1%
21	personales.ya.com Internet	22 palabras — < 1%

		22 palabras — < 1 %
22	uvadoc.uva.es Internet	22 palabras — < 1 %
23	www.researchgate.net Internet	21 palabras — < 1 %
24	doku.pub Internet	19 palabras — < 1 %
25	www.stat.math.ethz.ch Internet	18 palabras — < 1 %
26	repositorio.uchile.cl Internet	17 palabras — < 1 %
27	secretariageneral.gov.co Internet	16 palabras — < 1 %
28	www.eddcontrol.org Internet	16 palabras — < 1 %
29	xdocs.net Internet	16 palabras — < 1 %
30	eduardomartinezconalep183.wordpress.com Internet	15 palabras — < 1 %
31	www.facebook.com Internet	13 palabras — < 1 %
32	"Ambiente & Sociedade: concepções, fundamentos, diálogos e práticas para conservação da natureza", Editora Científica Digital, 2021 Crossref	12 palabras — < 1 %
33	noesis.uis.edu.co	

Internet

12 palabras — < 1%

34 bindani.izt.uam.mx
Internet

11 palabras — < 1%

35 es.scribd.com
Internet

11 palabras — < 1%

36 ingenius.ups.edu.ec
Internet

11 palabras — < 1%

37 pcientificas.ujat.mx
Internet

11 palabras — < 1%

38 revistaalconpat.org
Internet

11 palabras — < 1%

39 www.cnp.org.co
Internet

11 palabras — < 1%

40 www.testo.com
Internet

11 palabras — < 1%

41 Ricardo Macías-Quijas, Autumn Geil, Ramiro Velázquez, Aimé Lay-Ekuakille. "Development of an Electronic Nose Device for Security Applications", 2019 IEEE 39th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIX), 2019
Crossref

10 palabras — < 1%

42 doaj.org
Internet

10 palabras — < 1%

43 hvac-eng.com
Internet

10 palabras — < 1%

44 rdrr.io
Internet

10 palabras — < 1%

45	repositorio.ucsg.edu.ec Internet	10 palabras — < 1 %
46	1library.co Internet	9 palabras — < 1 %
47	revistas.unal.edu.co Internet	9 palabras — < 1 %
48	www.ev.state.az.us Internet	9 palabras — < 1 %
49	www.investigacion.biblioteca.uvigo.es Internet	9 palabras — < 1 %
50	www.libble.de Internet	9 palabras — < 1 %
51	NAKAMURA CONSULTORES SAC - NAKCSAC. "Segunda Actualización del Plan de Manejo Ambiental del DAP del Predio Callao-IGA0016805", R.D. N° 00125-2022-PRODUCE/DGAAMI , 2022 Publicaciones	8 palabras — < 1 %
52	atsmexico.org Internet	8 palabras — < 1 %
53	bvs.sld.cu Internet	8 palabras — < 1 %
54	ciep.ing.uaslp.mx Internet	8 palabras — < 1 %
55	es.slideshare.net Internet	8 palabras — < 1 %
56	idoc.tips Internet	8 palabras — < 1 %

57	repositoriodspace.unipamplona.edu.co Internet	8 palabras — < 1%
58	repository.udistrital.edu.co Internet	8 palabras — < 1%
59	scienti.minciencias.gov.co Internet	8 palabras — < 1%
60	sedici.unlp.edu.ar Internet	8 palabras — < 1%
61	tesis.pucp.edu.pe Internet	8 palabras — < 1%
62	www.baptisthealth.net Internet	8 palabras — < 1%
63	www.slideshare.net Internet	8 palabras — < 1%
64	repositorio.unan.edu.ni Internet	7 palabras — < 1%
65	www.elsitioagricola.com Internet	6 palabras — < 1%
66	issuu.com Internet	5 palabras — < 1%
67	repositorio.unitec.edu Internet	5 palabras — < 1%
68	www.doccity.com Internet	5 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS < 4 PALABRAS

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**



2020
LEONA VICARIO
HEROÍNA MEXICANA DE LA PAZ

AGOSTO 03 DE 2020

**C. ANAHÍ GUADALUPE BOLAINA GARCÍA
PAS. DE LA LIC. EN ING. AMBIENTAL
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se les autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis denominado: **"MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES EN ESPACIOS DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS CON SENSORES DE BAJO COSTO"**, asesorado por MIPA. Sergio Ramos Herrera y Dra. Carolina Zequeira Larios sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por el Dr. Raúl German Bautista Margulis, M. en C. Jesús Manuel Ascencio Rivera, MIPA. Sergio Ramos Herrera, Dr. José Ramón Laines Canepa.

**A T E N T A M E N T E
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCION EN LA FE**


**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR**

C.c.p.- Expediente del Alumno.
Archivo.

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

CARTA AUTORIZACIÓN

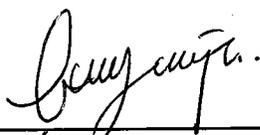
El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Licenciatura denominado: **“MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES EN ESPACIOS DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS CON SENSORES DE BAJO COSTO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el Día 03 de Agosto de Dos Mil Veinte.

AUTORIZO



ANAHÍ GUADALUPE BOLAINA GARCÍA

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

A Dios, mis padres, hermanos y familia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a mi Dios padre por guiarme en todo momento y nunca soltarme del buen camino y por bendecirme siempre de formas únicas. Por permitir que mi familia este conmigo en este logro de mi vida.

A mis padres Rosa María García Olán y Victor Manuel Bolaina López por su apoyo incondicional en mis sueños e ilusiones y la confianza que tuvieron en mi a lo largo de mi vida académica, por los sacrificios, trabajo y esfuerzos que me brindaron estos años. Por ser quienes me forjaron en la persona que soy actualmente con principios, valores y consejos.

A mis hermanos Luis Enrique, Yeni del Carmen y Victor Angel, por siempre estar presentes y su apoyo incondicional como familia. Gracias hermanos míos por su amor y apoyo moral. Deseo ser un buen ejemplo para ustedes.

A personas especiales que jamás olvidare su apoyo incondicional y agradeceré por siempre RR.

Agradezco a mi director de tesis, M.I.A Sergio Ramos Herrera por ser un pilar muy importante en mi proyecto, por la dedicación y apoyo brindado.

A mis maestros que fueron un pilar importante en mi vida académica.

A la Universidad Juárez Autónoma De Tabasco por ser mi alma mater y a la División Académica De Ciencias Biológicas por ser parte de sus generaciones.

Resumen

El monitoreo en el ambiente ha ido evolucionando continuamente debido al desarrollo de tecnologías. El objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño de cuatro sensores de bajo costo en la medición de la temperatura, humedad relativa y presión barométrica del aire respecto a los datos medidos por una estación meteorológica comercial. Los sensores evaluados se seleccionaron conforme a la disponibilidad en el mercado, rango de mediciones y el costo. Posteriormente se realizaron experimentos en tres escenarios diferentes; en el interior de una sala de maestros, espacio exterior y en el interior de un herbario. Los monitoreos se realizaron en días y horas distintas. Se evaluaron las mediciones de los sensores y la estación meteorológica comercial con una recta de regresión lineal y la variabilidad entre sensores se obtuvo mediante intervalos de confianza. Se creó un blog educativo para difundir los datos obtenidos e informar sobre esta herramienta. Los resultados de esta investigación resultaron ser precisos, se obtuvieron parámetros del sensor DHT11 en interiores con un coeficiente de determinación (R^2) en humedad relativa (HR) de ($R^2 = 0.86$) y en la temperatura (T) de ($R^2 = 0.9$). Con el sensor DHT22 en HR ($R^2 = 0.84$) y en T ($R^2 = 0.9$) y el sensor LM35 en T ($R^2 = 0.9$). En el exterior se obtuvieron parámetros con el sensor DHT11 en HR ($R^2 = 0.91$) y en T ($R^2 = 0.89$). Con el sensor DHT22 en HR ($R^2 = 0.92$) y en T ($R^2 = 0.93$) y el sensor LM35 se obtuvo en T ($R^2 = 0.9$). Y para en sensor BME280 en interior del herbario en presión barométrica se obtuvo ($R^2 = 0.99$). El estudio demostró que los sensores estiman bien los valores medianos y resultaron prácticos para monitoreo temporal en interiores y exteriores.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	2
LISTA DE FIGURAS	2
1 INTRODUCCIÓN	4
2 MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Sensores.....	5
2.2 Sensores de humedad y temperatura DHT11 Y DHT22	6
2.3 Sensor de temperatura LM35.....	7
2.4 Sensor de presión atmosférica BME280.....	7
2.5 Arduino.....	8
3 ANTECEDENTES	9
3.1 Sensores de temperatura y humedad relativa.....	9
3.2 Medición con sensores en sistemas costeros y plantas de tratamiento.....	9
3.3 Comunicación inalámbrica con sensores.....	11
4 JUSTIFICACIÓN	12
5 OBJETIVOS	13
5.1 OBJETIVO GENERAL	13
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
6 METODOLOGÍA.....	14
6.1 Materiales	14
6.2 Área de estudio	14
6.3 Circuito electrónico.....	16
6.4 Evaluación del desempeño	18
6.5 Desarrollo del blog	21
7 RESULTADOS	21
7.1 Evaluación del desempeño de los sensores DHT11, DHT22 y LM35 en el cubículo del Área de Básicas.....	21
7.2 Evaluación del desempeño entre sensores de temperatura y humedad relativa en el exterior del cubículo del Área de Básicas	27
7.3 Evaluación del desempeño del sensor BME280 con respecto a la humedad relativa, temperatura y presión barométrica en el Herbario de la DACBiol	33

7.4 Análisis del comportamiento temporal de la temperatura medida con los sensores DHT22 y DHT11	39
7.5 Difusión de resultados mediante un blog	40
8 CONCLUSIONES	45
9 REFERENCIAS.....	47
ANEXO.....	50

LISTA DE CUADROS

Tabla 1. Lista de sensores evaluados y sus especificaciones.....	14
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sensor DHT11 y DHT22	6
Figura 2. Sensor LM35.....	7
Figura 3. Sensor BME280	8
Figura 4. Arduino Uno	8
Figura 5. Diagrama de circuito de sensores de temperatura.....	17
Figura 6. Diagrama de circuito de sensor de presión	18
Figura 7. Comportamiento de la humedad relativa en el cubículo del Área de Básicas empleando diferentes equipos de medición.....	22
Figura 8. Gráfica de regresión lineal de humedad relativa en interiores utilizando el sensor DHT22 y DHT11.	24
Figura 9. Comportamiento de la temperatura en interiores en el área de Biológicas empleando diferentes equipos de medición.	25
Figura 10. Gráfica de regresión lineal de la temperatura en interiores empleando los sensores DHT22, DHT11 Y LM35.	27
Figura 11. Comportamiento de la humedad relativa en el exterior del área de Biológicas empleando diferentes equipos de medición.....	28
Figura 12. Gráfica de regresión lineal de humedad relativa en exteriores con la Estación y los sensores.....	29

Figura 13. Comportamiento de la temperatura en el exterior del área de biológicas empleando diferentes equipos de medición.	31
Figura 14. Gráfica de regresión lineal de la temperatura en el exterior con la Estación y los sensores.....	32
Figura 15. Comportamiento de la humedad relativa en el interior del Herbario del área de Biológicas empleando diferentes equipos de medición.....	34
Figura 16. Gráfica de regresión lineal de humedad relativa en el Herbario empleando el sensor BME280.	35
Figura 17. Comportamiento de la temperatura en el interior del Herbario del área de Biológicas empleando diferentes equipos de medición.	36
Figura 18. Gráfica de regresión lineal de temperatura en el interior del Herbario empleando el sensor BME280.	37
Figura 19. Comportamiento de Presión en el interior del Herbario del área de Biológicas empleando diferentes equipos de medición.	38
Figura 20. Gráfica de regresión lineal de presión del aire en el interior del Herbario.	39
Figura 21. Comparación de temperatura con clima apagado y encendido durante diferentes horas del día.	40
Figura 22. Blog de difusión de resultados.	41
Figura 23. Sección “Base de datos” del blog.	42
Figura 24. Sección “Código Arduino” del blog.	43
Figura 25. Sección “Enlaces de interés” del blog.	44

1 INTRODUCCIÓN

Los métodos y dispositivos de medición de parámetros ambientales están cambiando gracias a la tecnología de los sensores de bajo costo. El uso de estos sensores incrementa gracias a la disponibilidad de redes inalámbricas que permiten fácil conexión en tiempo real, el acceso a la información por varios usuarios y el bajo consumo de energía de estos sensores (Snyder *et al.*, 2013). El monitoreo del ambiente o la medición de ciertos parámetros físicos, químicos y biológicos es importante en la evaluación de la calidad del aire, del agua o para el control de un sistema en laboratorio (Othman, M. F. & Shazali, K.2012). Esta actividad es factible cuando se cuenta con los recursos económicos para adquirir o dar mantenimiento a equipos comerciales como medidores multi-paramétricos de calidad del agua o equipo portátil para medir la calidad del aire, por ejemplo. Pero, ¿Qué sucede cuando hay recurso limitado? ¿Qué alternativas hay para la medición? A nivel comercial todavía se pueden contar con equipos económicos que tienen ciertas limitaciones relacionadas con la medición automática y el aseguramiento de los datos. Lo anterior representa un problema cuando se requiere de la medición continua Guz *et. al* (2015). A pesar de los avances en investigación, la implementación de sensores de bajo costo en el sector ambiental ha resultado difícil debido a la sensibilidad y confiabilidad de los sensores en condiciones atmosféricas (Cappelli, Sironi y Del Rosso 2014). Este trabajo se desarrolló en la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Se derivó de un proyecto relacionado con la recopilación de datos de calidad del aire y del agua y el desarrollo de aplicaciones web para visualizarlos fácilmente. La investigación se enfocó en la evaluación del desempeño de cuatro sensores para la medición de la temperatura, humedad relativa y presión barométrica. Los sensores fueron de bajo costo y de fácil adquisición y se programaron con un micro controlador comúnmente conocido como Arduino. Este trabajo beneficiará a la comunidad universitaria de Ciencias Biológicas y sentará las bases metodológicas de trabajos futuros.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Los sensores se pueden clasificar como digitales o analógicos. Un sensor analógico es aquel que, como salida, emite una señal con múltiples valores de un rango que varían en el tiempo. Un sensor digital en cambio puede adoptar únicamente dos valores de salida: 0 y 1, que corresponde a encendido o apagado. Los valores de un sensor digital son absolutos y únicos.

Algunas características de los sensores son:

- Sensibilidad
- Rango de medida.
- Precisión.
- Resolución y
- Tiempo de respuesta.

La *sensibilidad* puede definirse como la capacidad del sensor para detectar un cambio en la señal de entrada. Esta capacidad se expresa como la cantidad mínima que el sensor será capaz de medir para que se modifique la señal de salida. En un sensor de temperatura, la sensibilidad será cuantos grados es capaz de detectar el sensor para que modifique la salida en voltios.

La *precisión* es el error que se produce entre el valor real y el valor obtenido. Por ejemplo, si la temperatura correcta es T_i y la que mide el sensor es T_s , entonces, la precisión del sensor puede expresarse como el valor de la desviación $T_i - T_s$. Si se realizan n mediciones habrá n desviaciones y la precisión se puede representar como el valor medio de estas desviaciones o con otro tipo de error, como el error cuadrático medio.

El *rango de medida* se refiere al mínimo y máximo que puede medir el sensor, y dependerá de las condiciones físicas del sensor.

La *resolución* de un sensor se define como la capacidad del sensor para detectar un cambio mínimo en la señal de salida. Los sensores no cambian su estado o señal de salida de forma inmediata con respecto a una señal de entrada. Debe pasar un tiempo y a este tiempo se le llama el *tiempo de respuesta*, es decir, un tiempo necesario para que un cambio en la entrada produzca un cambio en la salida. Normalmente este tiempo se mide en porcentaje e indica cuanto tiempo tarda en producirse un % de variación.

2.2 Sensores de humedad y temperatura DHT11 Y DHT22

Los sensores DHT11 y DHT22 son sensores que miden la temperatura (T) del aire en ° C y la humedad relativa (HR) en %. Ambos sensores son de entrada digital. El DHT11 tiene una alimentación de 3.3 V a 5 V de corriente directa, una precisión de $\pm 5 \%$ en la determinación de la HR y de $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ en la determinación de la T. El rango de detección de T va de 0 a 50 °C y de 20 % - 90 % en la HR (Gay, 2018). El DHT22 también llamado AM2302 tiene calibración de fábrica. Este sensor mide la humedad relativa en el rango que va de 0-100 % con una precisión de $\pm 2 \%$ a $\pm 0.5 \%$ y una sensibilidad de 0.1 %. La temperatura la mide en el rango de -40 a 80 °C con precisión de $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ y una sensibilidad de 0.1 °C. El voltaje de energía debe ser de 3.3 a 6 V (Liu, 2013).

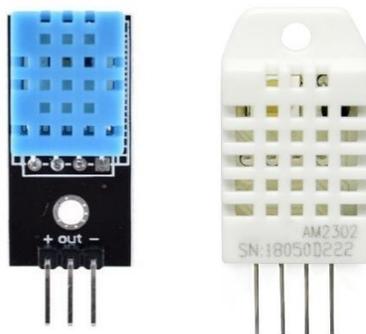


Figura 1. Sensor DHT11 y DHT22

sensor tiene un rango de presión de 300 hPa a 1100 hPa con una precisión de ± 1.0 hPa, una alimentación de corriente de 1.7 V a 3.6 V, un rango de temperatura que de -40 °C a $+85$ °C con una precisión de ± 1 °C y un rango de humedad relativa de 0 a 100 % con una precisión de ± 3 % (Bosch Sensortec GmbH, 2011; Bosch Sensortec GmbH, 2015).



Figura 3. Sensor BME280

2.5 Arduino

Arduino es una placa electrónica de código abierto con una serie de pines-hembra que están unidos a las patillas de entradas analógicas y digitales del microcontrolador que le permiten hacer conexiones de sensores. Su alimentación es de 5 V (Torrente, 2013).



Figura 4. Arduino Uno

3 ANTECEDENTES

El monitoreo de parámetros ambientales en el agua, el suelo o el aire de espacios exteriores e interiores es importante para evaluar la condición en la que se encuentra un sistema ambiental. Por ejemplo, es importante conocer la temperatura y la humedad relativa del aire de los espacios interiores, como aulas escolares, porque son una medida de confort ambiental.

3.1 Sensores de temperatura y humedad relativa

La temperatura y la humedad relativa se han medido con éxito con los sensores DHT11 y el DHT22, que son modelos de sensores económicos y de fácil adquisición (Aizebeokhai, Ekumatalor, Oyeyemi y Obafemi, 2018). Además, la programación en código Arduino es sencilla y hay mucho soporte en línea gratuito que orientan sobre el tipo de paquetería idóneo para cada sensor. En los invernaderos también es importante llevar un control de la temperatura y la humedad relativa ya que los cambios en estos parámetros pueden influir en el desarrollo de los cultivos (Abdul, Hilmi, Ismail, Mehat y Haroon, 2009). Por tal motivo, en vez de la medición manual se está probando la medición automática con sensores económicos y se ha probado que son adecuados para llevar un control preciso de las condiciones ambientales en un invernadero (Jiménez, Espinosa y Foliaco, 2013; Mamani, Villalobos y Herrera, 2017).

3.2 Medición con sensores en sistemas costeros y plantas de tratamiento

Se ha probado el empleo de sensores económicos en ambientes menos amigables, como los sistemas costeros (Lockridge, Dzwonkowski, Nelson y Powers, 2016). En este tipo de sistemas, las mediciones de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto son importantes debido a la sensibilidad de ciertas especies acuáticas a estos parámetros de calidad del agua y porque determinan la presencia o el rápido crecimiento de organismos patógenos. Sin embargo, el monitoreo con equipo comercial puede ser costoso para organizaciones pequeñas de productores locales. Esto ha motivado el desarrollo de sondas de bajo costo, robustas (debido a la naturaleza dinámica y corrosiva del medio ambiente) y

fáciles de operar y mantener. Estas sondas se han desarrollado de modo que midan múltiples parámetros, como los ya mencionados, la posición GPS y detecten niveles de estratificación en el cuerpo de agua (Lockridge *et al.*, 2016).

Además, hay investigaciones sobre el empleo de sensores económicos para la medición automática y continua de la concentración de gases generada en biodigestores y plantas de tratamiento (PTAR). Yang *et al.* (2019) evaluaron el desempeño del sensor de Metano MQ-4, contra un cromatógrafo de gases equipado con un detector de conductividad térmica, en la determinación del contenido de metano de biogás producido a partir de un digestor anaerobio de lecho fluidizado a escala de laboratorio que trata el almacenamiento de una planta de etanol celulósico. Considerando como error absoluto la diferencia entre el sensor y la medición del cromatógrafo, obtuvieron un error absoluto promedio de 0.69 % con desviación estándar de 0.55 % mientras que el error relativo absoluto promedio fue de $1.1\% \pm 0.85\%$. El sensor se colocó dentro de un frasco hermético equipado con un puerto de inyección de muestra, con un material que mantuviera las condiciones de humedad relativa adecuadas para el funcionamiento del sensor (una humedad relativa > 95% puede afectar la sensibilidad del sensor). Además, para operar el sensor dentro del rango de detección de metano especificado por el fabricante (200 ppm y 10 000 ppm) la muestra de biogás se diluyó previamente. Todas estas consideraciones dieron como resultado mediciones del sensor comparables con las del cromatógrafo y así la expectativa de que esto es funcional (Yang *et al.*, 2019).

En la actualidad, no se han desarrollado de manera satisfactoria sistemas para el monitoreo automático y continuo de parámetros de calidad del agua (pH, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, etcétera) en plantas de tratamiento de aguas residuales (Cappelli, Sironi y Del Rosso 2014). Esto ha motivado el desarrollo de nuevos métodos de medición o de adaptación de tecnologías existentes que funcionen con sensores comerciales. Una de estas tecnologías es conocida como nariz electrónica (e-nose en inglés) que consiste en una matriz de

sensores de gases de bajo costo. La nariz electrónica contiene varios sensores para detección de gases y se ha usado con éxito en el monitoreo de la calidad del aire y en la detección y cuantificación de olores (Cappelli *et al.*, 2014).

Otro campo de aplicación de las narices electrónicas es el análisis de la calidad del agua. Guz *et al.*, (2015) condujeron experimentos con una nariz electrónica donde determinaron que el análisis de la fase gaseosa en contacto con las aguas residuales tratadas mediante lodos activados está altamente correlacionado ($r > 0.87$) con los valores de los parámetros de calidad del agua obtenidos por métodos fisicoquímicos tradicionales. Esto establece la posibilidad de medir estos parámetros fisicoquímicos en muestras de gases y no necesariamente en la fase líquida que puede ser más corrosiva que la gaseosa en plantas de tratamiento de aguas residuales.

3.3 Comunicación inalámbrica con sensores

Debido a los avances en las tecnologías de comunicación inalámbrica, ha sido posible la creación de redes de sensores inalámbricos con sensores pequeños y de bajo costo para la medición remota de parámetros ambientales básicos (temperatura, humedad, luz y presión atmosférica) en ambientes naturales (Othmana & Shazalib, 2012). Para la comunicación inalámbrica de los sensores, algunas redes han utilizado los nodos del sensor XBee. Este sensor se comunica mediante el protocolo de comunicación inalámbrica conocido como ZigBee y en combinación con Arduino se ha usado en el procesamiento y almacenamiento local de los datos o en combinación con Raspberry Pi (un ordenador simple) para el almacenamiento remoto (Raghavan & Shahnasser, 2015).

Como se nota de los antecedentes expuestos, existen alternativas para la medición de parámetros ambientales básicos de forma automática y continua con sensores económicos que dan resultados confiables. Por supuesto, hay también equipo comercial de precios variados para llevar a cabo las mismas tareas. Sin embargo, cuando un proyecto tiene recursos limitados o representa una iniciativa

de investigación sin apoyo económico, la adquisición de tales equipos resulta inalcanzable. Una solución alternativa es implementar dispositivos de monitoreo que utilicen sensores ambientales de bajo costo y hardware libre como el microcontrolador Arduino, que mediante programación recolecta la lectura de los sensores. El monitoreo ambiental con software y hardware de bajo costo es una vía para generar investigación innovadora tanto para investigadores como para estudiantes, ya que los componentes son de fácil adquisición y existe mucho soporte en línea. Eso sí, se debe estudiar el desempeño de estos sensores para garantizar buenos resultados. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño de sensores de bajo costo en la determinación de la temperatura, humedad relativa y presión barométrica del aire atmosférico. Al mismo tiempo, este trabajo sienta las bases para el diseño y desarrollo de dispositivos electrónicos para el monitoreo de parámetros ambientales en proyectos de investigación de bajo costo.

4 JUSTIFICACIÓN

El monitoreo ambiental es importante en la evaluación de la calidad del aire, del agua o de la evaluación del confort ambiental en espacios interiores, solo por mencionar algunos ejemplos. Esta actividad es factible cuando un proyecto de investigación cuenta con recurso económico como para adquirir, dar mantenimiento o comprar los consumibles de un equipo comercial. Sin embargo, cuando el recurso económico es limitado o se trata de una iniciativa de investigación personal la adquisición de tales equipos no es viable. Actualmente muchas instituciones e investigadores están optando por implementar dispositivos de medición hechos con tecnología económica. Una de estas opciones es la programación de sensores de bajo costo que miden parámetros ambientales básicos como la temperatura y humedad relativa del aire, la presión barométrica y la temperatura del agua. Estos sensores se programan con la ayuda del micro controlador Arduino, que es un hardware libre y que se adquiere localmente igual que los sensores. La razón por la que esta opción está resultando llamativa en la investigación es que existe mucho soporte gratuito en línea para la programación

de los sensores y el armado del circuito de modo que es suficiente con tener un conocimiento básico de electrónica y un curso básico de programación para armar los dispositivos y usarlos en la medición. Debido a que los ingenieros ambientales tienen conocimientos de programación y la necesidad de hacer un diagnóstico de la condición de un sistema ambiental, la medición de parámetros ambientales con sensores económicos y Arduino es una competencia que puede ayudarles en su vida profesional. Por tal motivo este proyecto en el que se evaluó el desempeño de diferentes sensores ambientales sienta las bases para el diseño y desarrollo de dispositivos electrónicos para el monitoreo ambiental y fortalece la capacidad tecnológica en el monitoreo del ambiente.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el desempeño de cuatro sensores de bajo costo para la medición de la temperatura, humedad relativa y presión barométrica del aire con respecto a los datos medidos por una estación meteorológica comercial.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Programar cuatro sensores con Arduino.
- Monitoreo de la variabilidad y la precisión de los sensores DHT11, DHT22 y LM35 en la determinación de la temperatura (T) y la humedad relativa (HR) del aire.
- Monitoreo de la variabilidad y la precisión del sensor BME280 en la medición de la presión barométrica del aire (P_{bar}).
- Análisis del comportamiento temporal de la temperatura y humedad relativa medidos con los sensores DHT22 y DHT11.
- Desarrollo de un blog para difundir los resultados de las mediciones de los parámetros ambientales con fines educativos.

6 METODOLOGÍA

6.1 Materiales

Para desarrollar este trabajo se utilizaron los siguientes sensores de bajo costo: DHT11, DHT22, LM35 y BME280. A excepción del DHT11 que se adquirió localmente, los otros sensores se adquirieron principalmente del norte del país. La tabla 1 muestra las especificaciones de los cuatro sensores que se evaluaron en este trabajo: modelo, parámetro que miden (P_{bar} es la presión barométrica), sensibilidad, rango de medida, precisión, resolución, tiempo de respuesta y el costo en moneda nacional.

Tabla 1. Lista de sensores evaluados y sus especificaciones

Modelo	Parámetro	Sensibilidad	Rango de medida	Precisión	Tiempo de respuesta	Costo
DHT22	HR y T	0.1 % 0.1 °C	0-100 % -40 a 80 °C	± 0.5 % ±2 °C	2 s	\$100.00
DHT11	HR y T	1 % 1 °C	20-90 % 0-50°C	± 5 % ±2 °C	2 s	\$80.00
LM35	T	10 mV/ °C	-55 a +150 °C	± 0.5 °C	4 min	\$26.00
BME280	P_{bar} , T y HR	0.16 Pa 0.01°C 0.008 %	hPa -40 +85 °C 0 a 100 %	± 1.0 hPa ± 1 °C ±3 %	1s	\$99.00
Arduino	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	\$250.00

6.2 Área de estudio

El presente estudio se desarrolló en las instalaciones de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Para evaluar el desempeño de los sensores DHT11, DHT22, LM35 y BME280 se condujeron experimentos donde se midió la temperatura y humedad relativa en el cubículo de

profesores del Área de Básicas y adicionalmente la presión barométrica en el Herbario de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL). La medición en el cubículo de profesores se llevó a cabo en un lapso de 9 días diferentes, entre las nueve de la mañana y las tres de la tarde del 19 de noviembre del 2019 a 22 de enero del 2020. En estas mediciones se usó como equipo de referencia o de comparación las lecturas de una Consola Vantage Vue que funciona como receptor de la señal que envía una estación meteorológica portátil ubicada en el exterior del cubículo pero que mide adicionalmente la temperatura y humedad relativa del interior.

La medición en el aire ambiente exterior del cubículo de profesores, solo fue de la humedad relativa y la temperatura del aire. Esta se llevó a cabo durante 7 días del 23 de enero del 2020 al 7 de febrero del 2020 entre las diez de la mañana y las dos de la tarde. Se utilizó la estación Meteorológica portátil como equipo de referencia, pero adicionalmente se colocó la Consola receptora de señal de la estación –que solo es para interiores- solo para verificar su capacidad de medida de los mismos parámetros. En este caso se evaluó el desempeño del DHT11 y el DHT22. Tanto la consola como los dispositivos electrónicos se protegieron de la exposición directa al exterior con una cubierta impermeable colocada por encima de los dispositivos y de modo que permitiera el flujo libre de la corriente del aire.

La medición en el edificio del Herbario se llevó a cabo durante cinco días, del 17 de febrero al 2 de marzo del 2020 en un horario de diez de la mañana a dos de la tarde. En este espacio se usó como equipo de referencia la Consola Vantage Vue y la estación Meteorológica portátil que fue la única de las dos que midió la presión barométrica del interior. En este caso se evaluó el desempeño del sensor BME280 que midió tres parámetros: temperatura, humedad relativa y presión barométrica. La consola y el sensor se colocaron próximos entre sí cerca de un humidificador, por ser la ubicación disponible. La estación portátil se coloca en otro punto tratando que los climas, que funcionaron todo el día, no afectaran sus lecturas.

En todos los casos de medición, los dispositivos se programaron para registrar lecturas cada cinco minutos y los datos se descargaron diariamente de modo que se fue integrando una base de datos en Excel para su análisis estadístico posterior con el programa R.

6.3 Circuito electrónico

Los sensores DHT y LM35 tienen un pin de datos, un pin de tierra (GND), un pin de voltaje. Los pines de voltaje y tierra se conectaron a los pines 5 V y GND de Arduino. El pin de datos del DHT11 se conectó al pin digital 4 de Arduino con una resistencia de 10 K Ω para que trabaje como una resistencia pull up y la lectura se realice sin problemas. El pin de datos del DHT22 se conectó al pin digital 2 de Arduino y el pin de datos del sensor LM35 se conectó al pin analógico A0 de Arduino. La figura 5 muestra el diagrama de este circuito. El cable rojo indica voltaje, el negro tierra y azul está asociado al pin de datos. En la implementación del código para interpretar las lecturas de los sensores se empleó la librería *DHT.h* que contiene funciones predefinidas para facilitar la programación. El circuito se alimentó mediante un convertidor de corriente a 7 V y se programó una memoria microSD de 1 Gb, que se integró al circuito, para almacenar las lecturas.

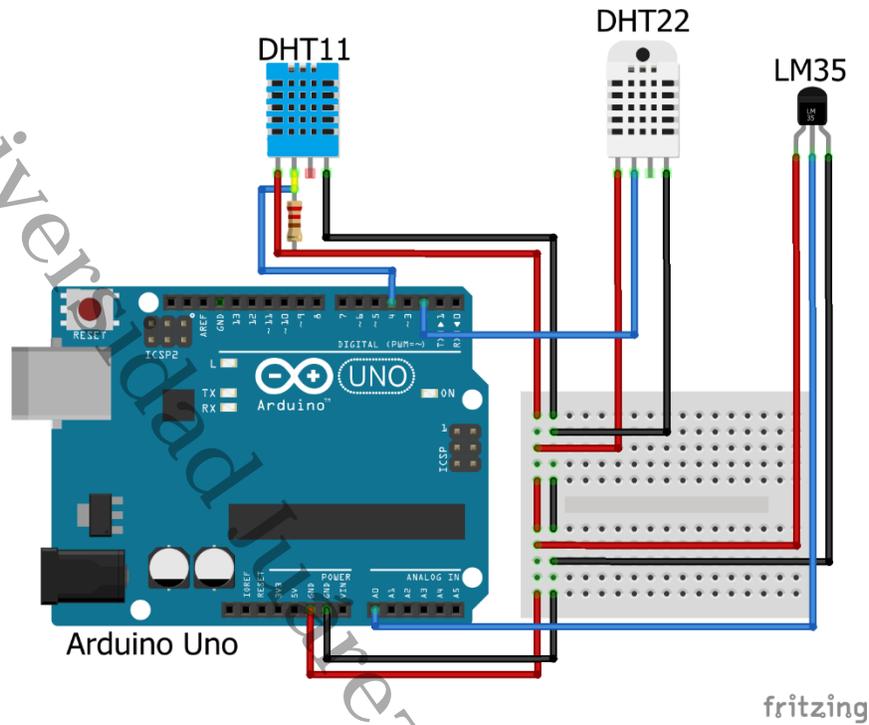


Figura 5. Diagrama de circuito de sensores de temperatura

El sensor de presión BME280 tiene seis pines de conexión, un pin de voltaje (5 V), un pin de tierra (GND), un pin analógico SCK, un pin analógico SDI, un pin CSB y un pin SDO. Los pines de datos analógicos se conectaron al pin A3 y A4 de Arduino, los pines sobrantes no tendrán conexión ya que se usó el protocolo de comunicación I2C (Figura 6). En la implementación del código se utilizó la librería Adafruit_Sensor.h y Adafruit_BME280.h.

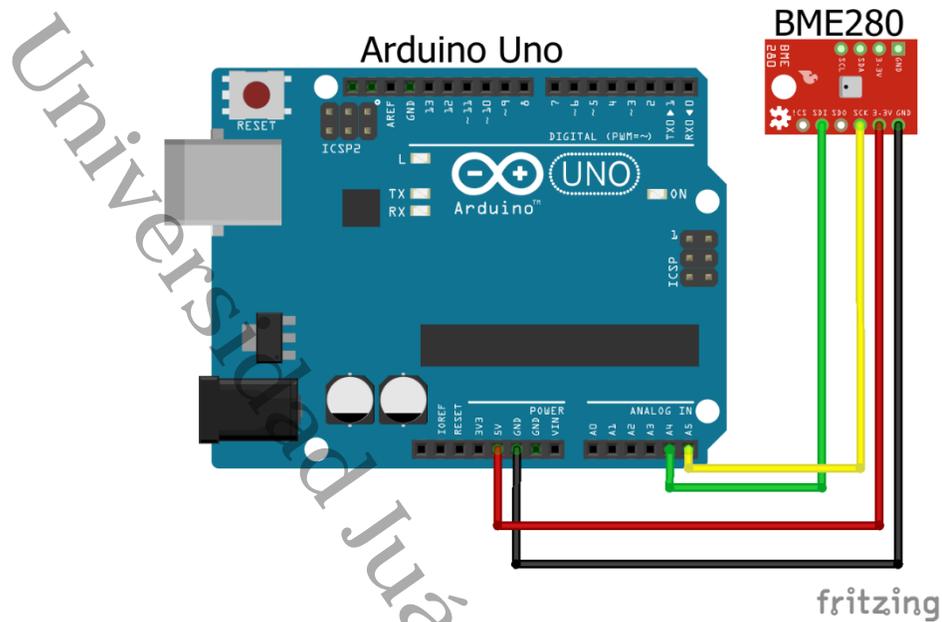


Figura 6. Diagrama de circuito de sensor de presión

6.4 Evaluación del desempeño

Una vez obtenidos los datos, la evaluación del desempeño se hizo analizando la variabilidad entre sensores y su precisión con respecto al equipo de referencia. Para analizar la variabilidad entre sensores, se calculó el intervalo de confianza del 95 % de la media de la diferencia apareada de los datos medidos con cada tipo de sensor. Esta se obtuvo del siguiente modo: con las variables y_i y x_i se representó la medición del parámetro de interés con dos tipos de sensores, entonces la diferencia apareada fue $d_i = y_i - x_i$. Como d_i es una nueva variable aleatoria, se construyó un intervalo de confianza del 95 % suponiendo tamaños de muestra grande ($n > 30$) y usando la ecuación 3. En esta ecuación, \bar{d} es la media de las diferencias pareadas (Ecuación 1), S es la desviación estándar de la muestra (Ecuación 2), n el tamaño de muestra y $z_{1-\alpha/2}$ es un valor crítico de tal modo que $2P(Z \geq z_{1-\alpha/2}) = \alpha$. Para distribuciones normales e intervalos de confianza del 95% ($\alpha=0.05$) este valor crítico es igual a 1.96 y supone que la estadística de interés tiene distribución normal.

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\bar{d} \pm z_{1-\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Los intervalos de confianza calculados con la ecuación 3 se obtuvieron en R con la función *t.test()* cuya sintaxis fue: *t.test(y, x, paired=TRUE, conf.level=0.95)*. Dónde *y* y *x* son vectores con la información correspondiente medida por cada sensor. Además, esta prueba también realizó una prueba de hipótesis para demostrar que la diferencia media apareada es significativamente distinta de cero. El criterio de decisión fue que el valor *p* de la prueba fuera menor a 0.05. Adicionalmente se comparó la desviación estándar de los datos de cada sensor y se compararon sus gráficas de caja para una evaluación visual de la variabilidad.

Para evaluar la precisión de los sensores (el grado al cual las mediciones del sensor se ajustan a las lecturas con el equipo de referencia) se ajustó una recta de regresión (Ecuación 4) tomando como variable independiente los valores del equipo de referencia y como variable dependiente los valores medidos por el sensor.

$$Y_{\text{sensor}} = \beta_0 + \beta_1 Y_{\text{estación}} + \varepsilon \quad (\text{Ecuación 4})$$

El criterio para evaluar la precisión fue el siguiente: si un sensor es muy preciso, la pendiente (β_1) de la recta de regresión será igual a la unidad, la intersección (β_0) será igual a cero y el coeficiente de determinación R^2 será igual a la unidad. Sin embargo, debido a la variabilidad natural de los datos ambientales es difícil esperar que los sensores aun teniendo muy buena precisión midan exactamente

lo que mida el equipo de referencia. Por eso se determinó en este trabajo, como criterio personal, que si β_1 y R^2 (en el rango de 0.8 a 1.0) son cercanos a la unidad el sensor se considerará preciso, siempre que β_0 -que refleja más el efecto de la variabilidad ambiental- no esté muy alejado del valor cero. Para determinar si los valores de β_1 y β_0 estadísticamente son diferentes de cero se hizo una prueba de hipótesis. En esta prueba, la hipótesis nula fue $H_0: \beta_1=0$ contra la alternativa $H_1: \beta_1 \neq 0$. Como las muestras son de tamaño ($n \geq 30$) El estadístico de la prueba se calculó con la ecuación 5 donde SE es la desviación estándar dada por la ecuación 6. La hipótesis nula se rechazó si $z > z_{\alpha/2}$ o $z < -z_{\alpha/2}$ con $z_{\alpha/2}$ el valor crítico de la prueba. Como la prueba se realizó con un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$) entonces este valor fue 1.96. Esta prueba se realizó con la función $lm()$ del paquete estadístico R que además de calcular los parámetros de la recta de regresión realizó la prueba de hipótesis correspondiente.

$$z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{SE} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$SE = \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

La sintaxis de esta función fue la siguiente: $modelo=lm(y \sim x)$. El resultado del modelo se guardó en el objeto *modelo* y posteriormente los coeficientes del modelo y los resultados se obtuvieron con la función *summary* del siguiente modo: $summary(modelo)$.

La precisión también se cuantificó mediante el error medio (EM), el error medio absoluto (EMA) y el error cuadrático medio (ECM). Estos errores se calcularon con las ecuaciones 7 a 9.

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{i,sensor} - Y_{i,estación}) \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_{i,sensor} - Y_{i,estación}| \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$ECM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{i,sensor} - Y_{i,estación})^2} \quad (\text{Ecuación 9})$$

El error medio indicó la tendencia del sensor a subestimar o sobreestimar los valores del equipo de referencia. El criterio para evaluar la precisión fue entonces que entre más cerca de cero estén estos errores más precisos fue el sensor (Liu, Schneider, Haugen y Vogt, 2019).

La misma metodología se siguió para evaluar el desempeño del sensor de presión barométrica BME280, sólo que en este caso las mediciones se hicieron en el Herbario de la División Académica de Ciencias Biológicas.

6.5 Desarrollo del blog

Finalmente, para socializar los datos generados en este estudio y fomentar su uso con fines educativos en las aulas escolares, tal vez como parte del curso de estadística o el de monitoreo ambiental, se creó un blog con la aplicación Blogger. Esta es una herramienta de *Gmail* gratuita y fácil de utilizar. Contiene componentes predefinidos para el diseño del blog. El objetivo en este caso fue compartir los datos y la experiencia adquirida como Ingeniero Ambiental en la programación de los sensores. Por eso en esta misma página se muestran los códigos o programas en Arduino para la programación de los sensores y algunas ligas o páginas de interés.

7 RESULTADOS

7.1 Evaluación del desempeño de los sensores DHT11, DHT22 y LM35 en el cubículo del Área de Básicas

En la figura 7 se compara la humedad relativa medida en el cubículo del Área de Básicas con la Consola, los sensores DHT22 y DHT11. Los valores medianos de

la humedad relativa obtenidas son 69.0 %, 68.3 % y 70.0 % respectivamente. Los promedios fueron 68.8 %, 65.2 % y 67.0 % y las desviaciones estándares respectivas fueron 3.8 %, 9.8 % y 9.6 %. Como se nota, las desviaciones estándares de los sensores DHT22 y DHT11 son parecidas. El intervalo de confianza de la diferencia apareada *DHT22-DHT11* de las lecturas de la humedad relativa fue [-1.8 %, -1.6 %]. Como el intervalo no incluyó el cero, se concluyó que estos sensores no miden la humedad relativa de manera idéntica, pero ya que sus mediciones no son muy diferentes como muestra el comportamiento de la mediana se puede decir que la variabilidad entre estos sensores es muy parecida. Además, ya que la mediana y el promedio de la humedad de los sensores difiere poco de los valores de la Consola, se concluyó que ambos sensores pueden emplearse para estimar los valores medios o medianos de este parámetro en este espacio interior en sustitución de la Consola, que en este trabajo es un equipo de referencia o comparación.

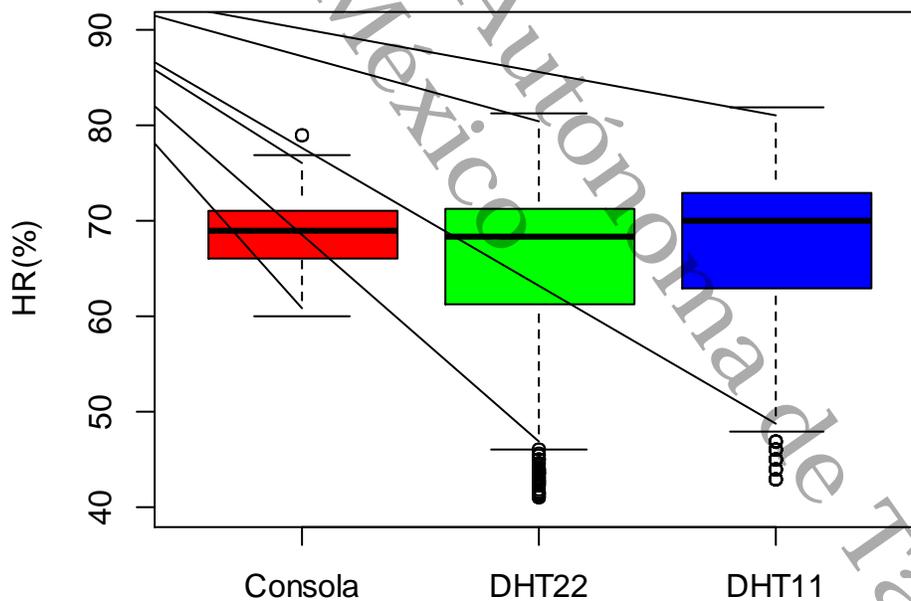


Figura 7. Comportamiento de la humedad relativa en el cubículo del Área de Básicas empleando diferentes equipos de medición.

En la figura 8 se muestra las gráficas de dispersión de la humedad relativa medida con los sensores DHT22, DHT11 contra la humedad relativa medida por la Consola. También se indica la recta de regresión lineal que se ajustó en cada caso. En la recta de regresión ajustada con los datos del sensor DHT22 y la Consola se obtuvieron los siguientes parámetros: $\beta_0 = 0.48$ y $\beta_1 = 1.016$ con un $R^2 = 0.84$. Como β_1 es casi la unidad y β_0 no está tan alejado de cero (el valor ideal) se puede concluir que el sensor DHT22 tiene precisión regular en la determinación de la humedad relativa. El error medio *DHT22-Consola* fue de 1.6 %, la desviación media absoluta fue de 1.9 % y el error cuadrático medio fue de 2.3 %, todos bastante bajos reforzando la conclusión de que el sensor DHT22 tiene buena precisión e igual a ± 1.93 % en promedio.

En la recta de regresión con los datos del sensor DHT11 y la Consola se obtuvieron los siguientes parámetros: $\beta_0 = 6.3$ y $\beta_1 = 0.95$ con un $R^2 = 0.86$. Tanto β_1 como R^2 son cercanos a la unidad; sin embargo, β_0 es muy diferente de cero. El error medio *DHT11-Consola* fue de 3.5 %, la desviación media absoluta fue de 3.5 % y el error cuadrático medio fue de 3.8 % resultando un error de precisión en campo de ± 3.6 %. Este error es mayor al del DHT22. El error es grande sobre todo si se desea medir con bastante precisión este parámetro y ya que R^2 fue mayor a 0.8, se concluyó que este sensor tuvo una precisión regular en la medición de la humedad relativa del interior con respecto a la consola.

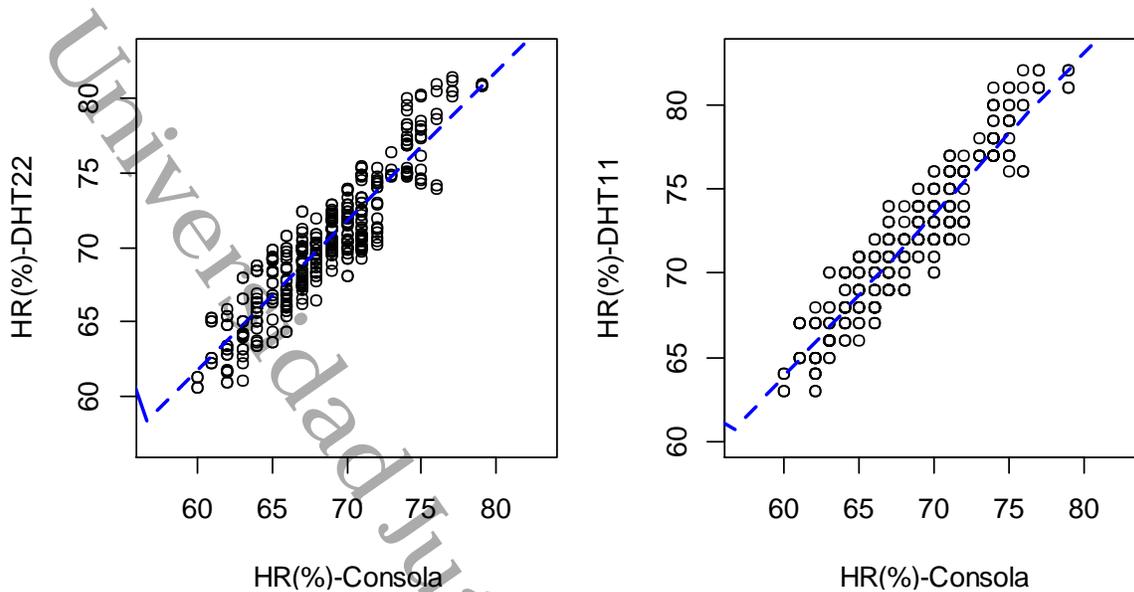


Figura 8. Gráfica de regresión lineal de humedad relativa en interiores utilizando el sensor DHT22 y DHT11.

Con los parámetros de las rectas de regresión ajustadas anteriormente, para cada tipo de sensor se obtuvieron las ecuaciones 13 y 14 para la corrección o calibración de las lecturas obtenidas con estos sensores:

$$HR_{ajustada} = \frac{HR_{DHT22} - 0.48}{1.0} = HR_{DHT22} - 0.48 \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$HR_{ajustada} = \frac{HR_{DHT11} - 6.3}{0.95} \quad (\text{Ecuación 14})$$

La figura 9 muestra el comportamiento de la temperatura medida en el cubículo del Área de Básicas por la consola y los sensores DHT22, DHT11 y LM35. Es evidente que la tendencia de los tres sensores fue medir temperaturas menores a los que mide la Consola. La temperatura mediana de la consola y los sensores fueron 26.2 °C, 25.2 °C, 25.1 °C y 25.4 °C respectivamente. Los promedios respectivos fueron 26.01 °C, 25 °C, 24.9 °C y 25.1 °C. Las desviaciones

estándares fueron 0.96 °C, 1.02 °C, 1.1 °C y 1.05 °C. De nuevo es evidente que la desviación estándar de los tres sensores es parecida. El intervalo de confianza de las diferencias apareados fueron las siguientes: entre el sensor *DHT22* y *DHT11* [0.072 °C, 0.11 °C], entre el sensor *DHT22* y *LM35* [-0.17 °C, -0.12 °C] y entre el *DHT11* y el *LM35* [-0.27 °C, -0.21 °C]. Todos estos resultados muestran que la variabilidad entre los tres sensores es parecida y ligeramente mayor al de la consola como se observa en el alto de las cajas de la figura 9.

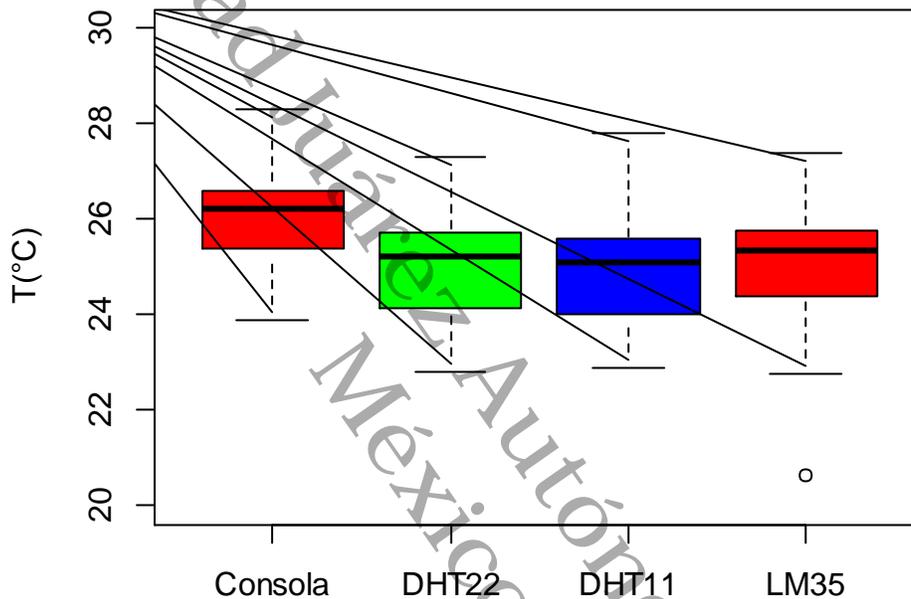


Figura 9. Comportamiento de la temperatura en interiores en el área de Biológicas empleando diferentes equipos de medición.

En la figura 10 se muestran la gráfica de dispersión de la temperatura de los sensores *DHT22*, *DHT11* y *LM35* contra las mediciones de temperatura de la Consola. En la figura, la línea recta a trazos indica la recta de regresión que se ajustó. Para el par *DHT22-Consola* se obtuvieron los siguientes parámetros: $\beta_0 = -1.13$ y $\beta_1 = 1.012$ con un $R^2 = 0.9$. Se observa que β_1 y R^2 son cercanos a la unidad y β_0 , no es estrictamente cero. De acuerdo a lo observado en la figura 9, el *DHT22* está midiendo temperatura por debajo de los datos de la consola. El error medio fue de -0.81 °C, la desviación media absoluta fue de 0.81 °C y el error cuadrático medio fue de 0.6 °C resultando un error de precisión medio de ± 0.82 °C.

Los parámetros de la recta de regresión ajustada con los datos del par *DHT11-Consola* se fueron: $\beta_0 = -0.16$ y $\beta_1 = 0.97$ con un $R^2 = 0.9$. Aunque que β_1 y R^2 son cercanos a la unidad, β_0 es diferente de cero, pero pequeño. De acuerdo a la información el sensor está midiendo temperaturas por debajo de los datos de la consola. El error medio fue de -0.89 °C, la desviación media absoluta fue de 0.89 °C y el error cuadrático medio fue de 0.93 °C resultando un error de precisión medio de ± 0.90 °C. Los parámetros de la recta de regresión ajustada con los datos del par *LM35-Consola* fueron los siguientes: $\beta_0 = 0.27$ y $\beta_1 = 0.96$ con un $R^2 = 0.9$. Se observa que β_1 y R^2 son cercanos a la unidad y β_0 no es cero pero tiene un valor pequeño. El error medio fue de -0.70 °C, la desviación media absoluta fue de 0.70 °C y el error cuadrático medio fue de 0.77 °C resultando un error de precisión medio de ± 0.72 °C.

Con los parámetros de las rectas de regresión ajustadas anteriormente y tomando en cuenta que $R^2 \geq 0.9$, para cada tipo de sensor se obtuvieron las ecuaciones 15 a 17 para la corrección o calibración de las lecturas obtenidas con estos sensores:

$$T_{ajustada} = \frac{T_{DHT22} + 1.13}{1.01} \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$T_{ajustada} = \frac{T_{DHT11} + 0.16}{0.97} \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$T_{ajustada} = \frac{T_{LM35} - 0.27}{0.96} \quad (\text{Ecuación 17})$$

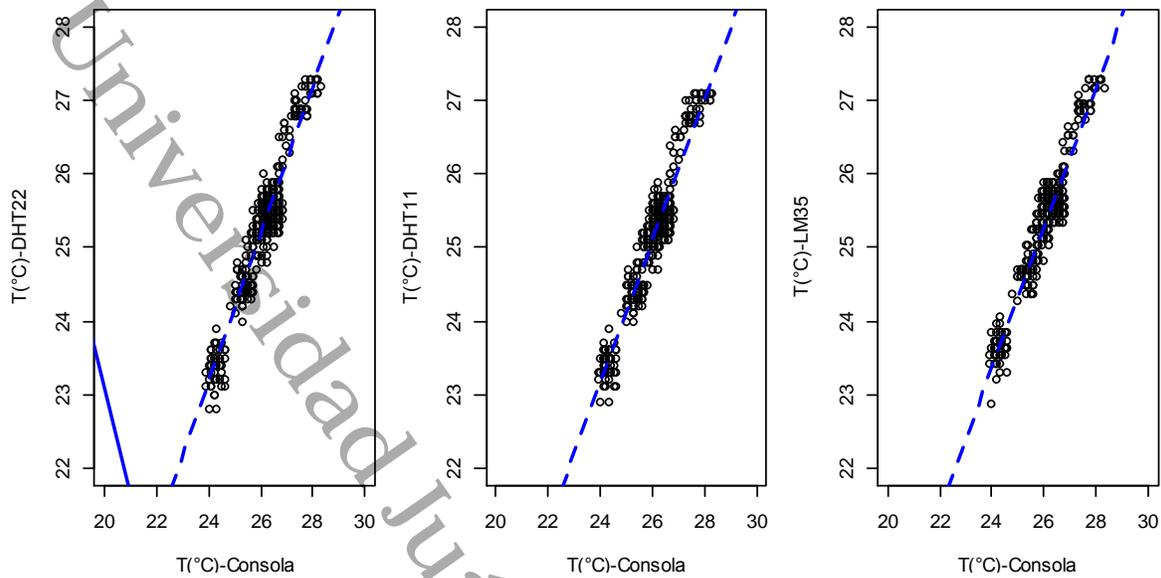


Figura 10. Gráfica de regresión lineal de la temperatura en interiores empleando los sensores DHT22, DHT11 Y LM35.

7.2 Evaluación del desempeño entre sensores de temperatura y humedad relativa en el exterior del cubículo del Área de Básicas

La figura 11 muestra el comportamiento de la humedad relativa medida en el exterior con la Estación portátil (equipo de referencia), la Consola y los sensores DHT22 y DHT11. Es notable que las mediciones de humedad de la Consola (que es para mediciones interiores) estuvieron por debajo de las mediciones de la estación portátil, incluso por debajo de las mediciones de los dos sensores. Los valores medianos de la humedad fueron 71 %, 85 %, 80 % y 78 % respectivamente. Los promedios respectivos fueron 72.0 %, 86.1 %, 80.4 % y 79.3 % y las desviaciones estándares respectivas fueron 7.6 %, 7.5 %, 9.2 % y 9.7 %. Los dos últimos valores e desviación son cercano indicado que los sensores tienen casi la misma variabilidad. El intervalo de confianza de la diferencia apareada *DHT22-DHT11* de la humedad relativa fue [0.89 %, 1.4 %] indicando que el DHT22 tendió a medir humedades mayores que el DHT11. Resultado que es evidente al comparar las medianas. Por otro lado, la mediana del sensor DHT22 fue la más cercana a la de la estación portátil.

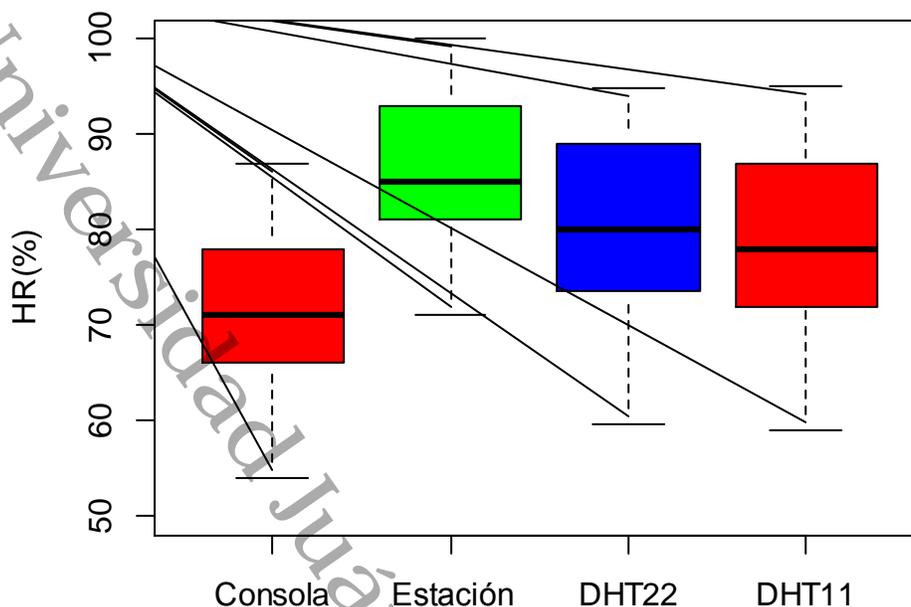


Figura 11. Comportamiento de la humedad relativa en el exterior del área de Biológicas empleando diferentes equipos de medición.

No se analizó la relación lineal entre las mediciones de humedad de los sensores y la Consola ya que en este proceso de medición el equipo de referencia fue la estación portátil. Es evidente que la Consola, diseñada para estar en interiores, no fue útil para medir la humedad del exterior, aunque sí para comprobar que los sensores son más precisos que esta. La figura 12 muestra la gráfica de dispersión de la humedad relativa de los sensores DHT22 y DHT11 contra la Estación portátil y la recta de regresión ajustada. Los parámetros de la recta de regresión del par *DHT22-Estación* fueron los siguientes: $\beta_0 = -15.8$ y $\beta_1 = 1.1$ con un $R^2 = 0.92$. β_1 y R^2 son muy cercanos a la unidad, pero β_0 no fue cercano a cero. Esto indicó que este sensor no tuvo buena precisión en la determinación de la humedad relativa en el exterior. El error medio del par *DHT22-Estación* fue de -6 %, la desviación media absoluta fue de 6 % y el error cuadrático medio fue de 6.6 % resultando en un error de precisión de ± 6.2 % en campo.

Los parámetros de la recta de regresión del par *DHT11-Estación* fueron los siguientes: $\beta_0 = -20.8$ y $\beta_1 = 1.1$ con un $R^2 = 0.91$. Los valores de β_1 y R^2 son

cercanos a la unidad, pero β_0 no es cercano a cero. La conclusión es la misma que la anterior: es sensor DHT11 no tuvo buena precisión en la determinación de la humedad relativa en el exterior. El error medio del par *DHT11-Estación* fue de - 7.1 %, la desviación media absoluta fue de 7.1 % y el error cuadrático medio fue de 7.9 % ligeramente mayores a los observados con el par *DHT22-Estación*. El error de precisión del DHT11 fue de ± 7.4 %.

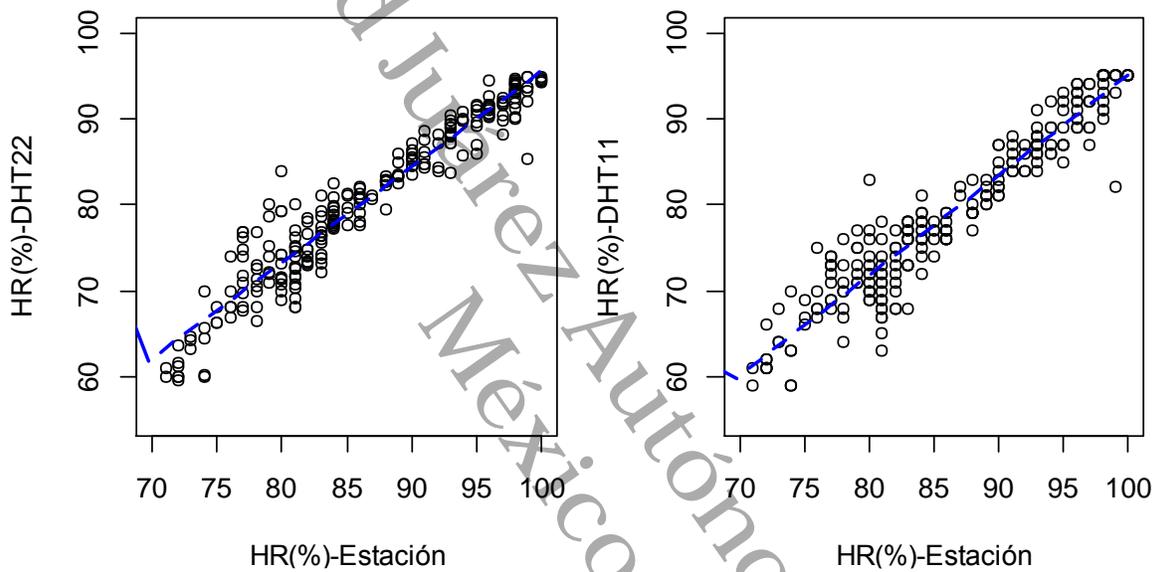


Figura 12. Gráfica de regresión lineal de humedad relativa en exteriores con la Estación y los sensores.

A partir de los parámetros estimados de las rectas de regresión se obtuvieron las ecuaciones 19 y 20 que tal vez puedan emplearse para corregir las lecturas del sensor DHT22 y DHT11 respectivamente cuando se utilicen en el exterior, pero tendría que verificarse.

$$HR_{ajustada} = \frac{HR_{DHT22} + 15.8}{1.1} \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$HR_{ajustada} = \frac{HR_{DHT11} + 20.8}{1.1} \quad (\text{Ecuación 20})$$

En la figura 13 se muestra el comportamiento de la temperatura del aire medido con los cinco dispositivos: la Consola, la Estación y los sensores DHT22, DHT11 y LM35. Los valores medianos obtenidos fueron 27.3 °C, 26.1 °C, 25.8 °C, 26.1 °C y 26.3 °C respectivamente. Las desviaciones estándares respectivas fueron 2 °C, 1.9 °C, 1.9 °C, 2.1 y 2 °C. Los tres últimos valores de la desviación no son tan diferentes de modo que puede decirse que estos tres sensores tienen la misma variabilidad. Los promedios obtenidos fueron 27.3 °C, 25.9 °C, 26.0 °C, 26.3 °C y 26.5 °C. El intervalo de confianza de la diferencia apareada *DHT22-DHT11* de humedad relativa fue [-0.3 °C, -0.2 °C] indicando la tendencia del DHT22 a medir por debajo del DHT11. El intervalo de confianza de la diferencia *DHT22-LM35* fue [-0.5 °C, -0.3 °C] indicando la tendencia del DHT22 a medir por debajo del LM35. El intervalo de confianza de la diferencia *DHT11-LM35* fue [-0.22 °C, -0.04 °C] indicando la tendencia del DHT11 a medir por debajo del LM35. Estos intervalos de confianza refuerzan la conclusión hecha con las desviaciones estándares: los tres sensores tienen la misma variabilidad en su lectura de la temperatura. Con respecto a la consola, es notable que tendió a medir una temperatura mayor a la de la estación incluso a la de los sensores. La mediana supera casi en un grado Celsius la mediana de la Estación.

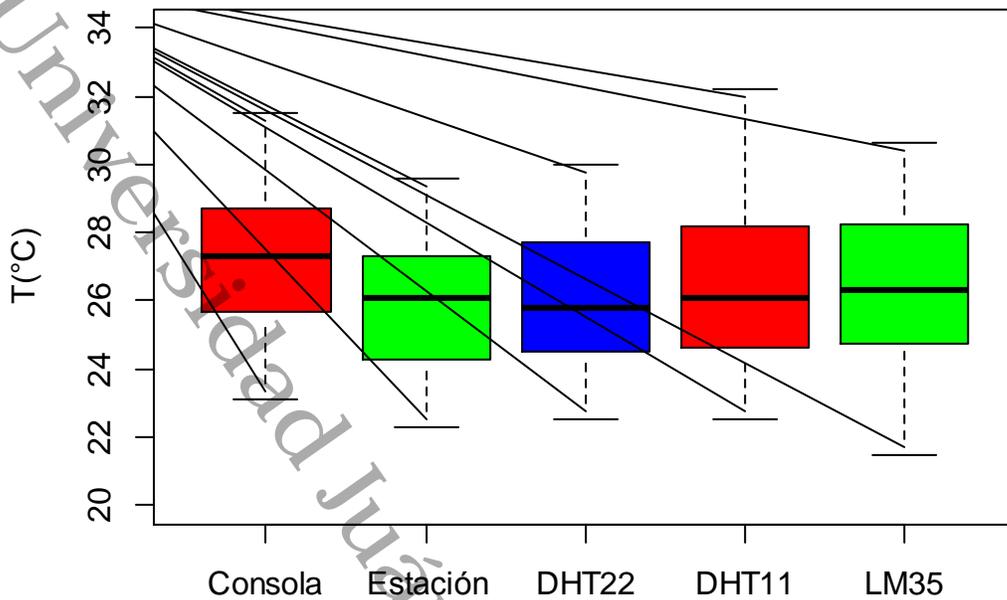


Figura 13. Comportamiento de la temperatura en el exterior del área de biológicas empleando diferentes equipos de medición.

En la figura 14 se muestran la gráfica de dispersión de la temperatura medida con los sensores DHT22, DHT11 y LM35 contra las mediciones de la Estación. Los parámetros de la recta de regresión ajustada para el *DHT22 vs Estación* fueron los siguientes: $\beta_0 = 2.2$ y $\beta_1 = 0.92$ con un $R^2 = 0.93$. Se observa que β_0 discrepa de cero mientras que β_1 y R^2 son muy cercanos a la unidad. El error medio de *DHT22-Estación* fue de 0.03 °C, la desviación media absoluta fue de 0.43 °C y el error cuadrático medio fue de 0.57 °C resultando un error de precisión en campo de ± 0.34 °C. Los resultados de la recta de regresión indican que la precisión del DHT22 no es idéntica a la de la Estación. Sin embargo los errores medios son pequeños, significando que es posible que mediante una calibración, las lecturas pueden ajustarse para reproducir lo del equipo de referencia.

Los parámetros de la recta de regresión ajustada para el *DHT11 vs Estación* fueron los siguientes: $\beta_0 = 0.25$ y $\beta_1 = 1$ con un $R^2 = 0.89$. El valor de R^2 es bueno, pero en los casos anteriores fue mayor a 0.9. No hay problema con β_1 , pero si con β_0 porque es diferente de cero; sin embargo, tiene un valor aceptable. El error

medio asociado a las mediciones *DHT11-Estación* fue de 0.28 °C, la desviación media absoluta fue de 0.6 °C y el error cuadrático medio fue de 0.79 °C resultando en un error medio de precisión de ± 0.55 °C. Estos errores son mayores que los del par anterior, pero con la corrección adecuada este sensor también puede utilizarse para seguir el comportamiento temporal de la temperatura exterior en sustitución de la estación meteorológica portátil.

Los parámetros de la recta de regresión ajustada para el sistema *LM35 vs Estación* fueron los siguientes: $\beta_0 = 1.5$ y $\beta_1 = 0.96$ con un $R^2 = 0.9$. Los valores de β_1 y R^2 no son idénticos a la unidad, pero son; sin embargo, el valor de β_0 no es cero. El error medio de *LM35-Estación* fue de 0.47 °C, la desviación media absoluta fue de 0.6°C y el error cuadrático medio fue de 0.79 °C resultando en un error medio de precisión de ± 0.62 °C. Ya que los errores medios son pequeños Este sensor puede utilizarse para medir la temperatura del aire exterior en sustitución de la estación meteorológica portátil con una calibración adecuada.

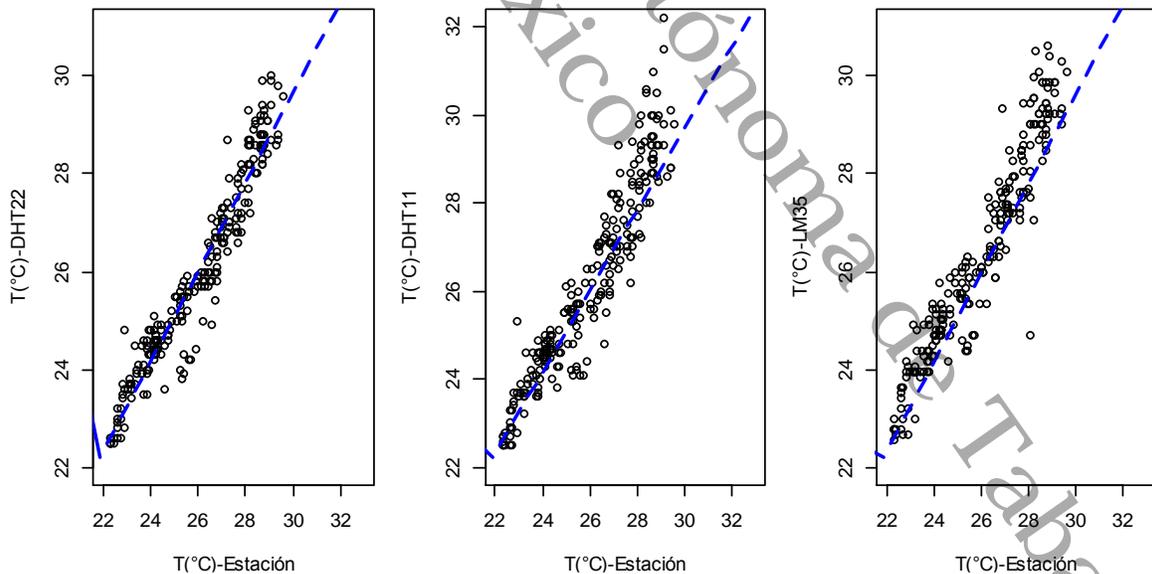


Figura 14. Gráfica de regresión lineal de la temperatura en el exterior con la Estación y los sensores.

A partir de los parámetros estimados de las rectas de regresión se obtuvieron las ecuaciones 21 a 23 que pueden emplearse para corregir la lectura de la temperatura exterior de los sensores DHT22 y LM35 con respecto a los de la Estación portátil.

$$T_{ajustada} = \frac{T_{DHT22} - 2.2}{0.92} \quad (\text{Ecuación 21})$$

$$T_{ajustada} = T_{DHT11} - 0.25 \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$T_{ajustada} = \frac{T_{LM35} - 1.5}{0.96} \quad (\text{Ecuación 23})$$

7.3 Evaluación del desempeño del sensor BME280 con respecto a la humedad relativa, temperatura y presión barométrica en el Herbario de la DACBiol

En la figura 15 se comparan las mediciones de humedad relativa en el Herbario de la DACBiol con tres dispositivos: la *Consola* (equipo de referencia), la *Estación* meteorológica de exteriores y el sensor BME280. Los valores medianos de la humedad relativa medidos en ese espacio fueron: 47 %, 68 % y 44.1 % respectivamente. Los promedios respectivos fueron 47 %, 69.5 % y 43 %. Las desviaciones estándares respectivas fueron 3 %, 6.9 % y 4.8 %. Se observaron diferencias significativas entre la *Consola* y el sensor BME280 respecto de la Estación portátil. La explicación es que la estación se colocó en una ubicación contrapuesta y cercana a una pared y a la acción de los climas que son necesarios para mantener una temperatura adecuada de este espacio. El intervalo de confianza de las diferencias apareadas entre las mediciones del par *BME280-Consola* fue de [-4.2 %, -3.4 %]. Ya que este intervalo no incluyó el cero, la conclusión fue que existe variabilidad significativa entre el sensor y la *Consola*.

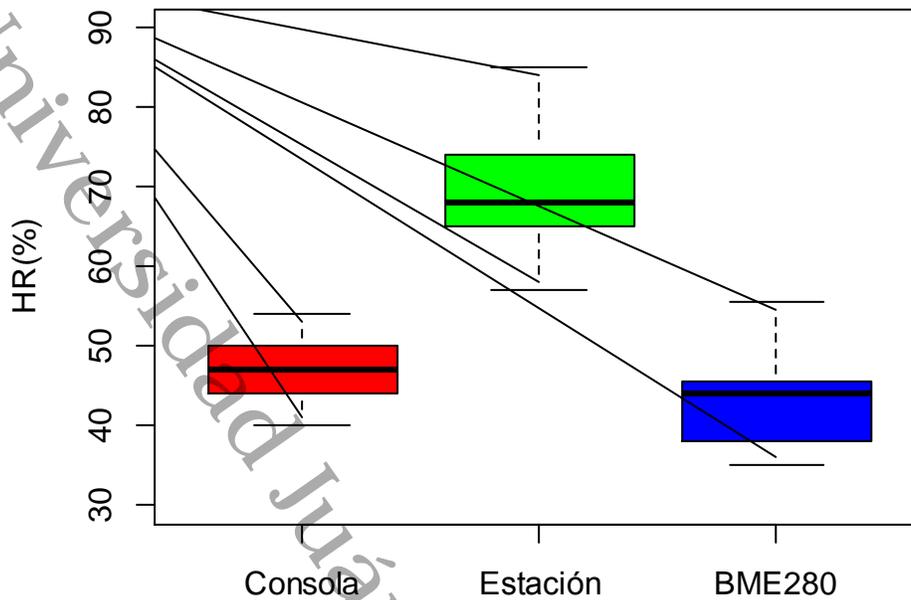


Figura 15. Comportamiento de la humedad relativa en el interior del Herbario del área de Biológicas empleando diferentes equipos de medición.

En la figura 16 se muestra la gráfica de dispersión de la humedad relativa medida con el sensor BME280 y la Consola. También se indica la recta de regresión ajustada. Los parámetros de la recta fueron los siguientes: $\beta_0 = -5.2$ y $\beta_1 = 1.03$ con un $R^2 = 0.44$. Se observa que β_1 es cercano a la unidad, pero β_0 y R^2 no son cercanos a la unidad y cero respectivamente. El error medio *BME280-Consola* fue de -3.9 %, la desviación media absoluta fue de 4.8 % y el error cuadrático medio fue de 5.2 % con un error de precisión promedio de ± 4.6 %. No se propuso una recta de calibración de las lecturas del *BME280* debido a que el valor de R^2 no es cercano a la unidad indicando que la recta de regresión no explica más del 50 % de la variabilidad observada en las mediciones y que este sensor no tuvo buena precisión para medir la temperatura interior en el herbario.

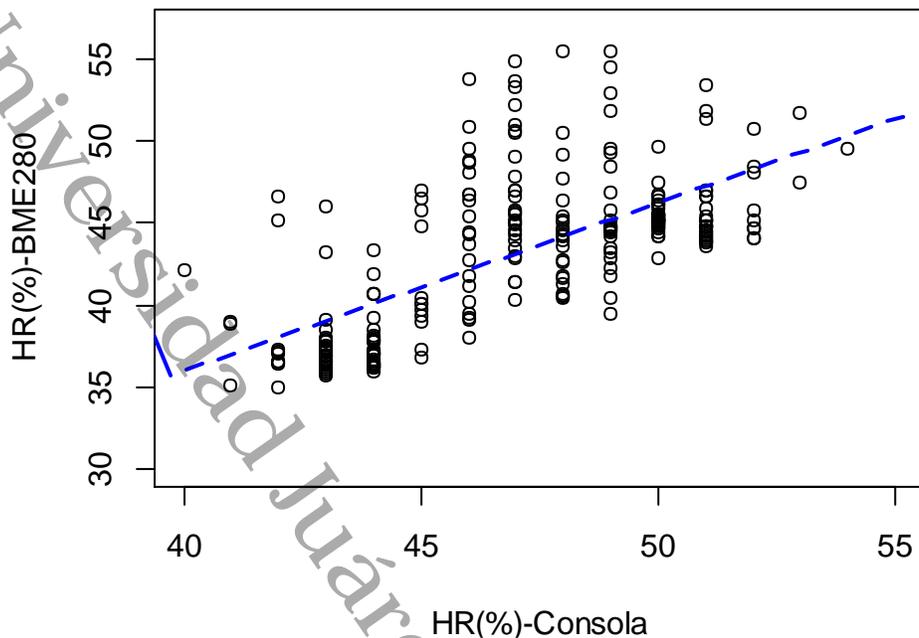


Figura 16. Gráfica de regresión lineal de humedad relativa en el Herbario empleando el sensor BME280.

En la figura 17 se compara las lecturas de la temperatura del aire interior en el Herbario empleando diferentes equipos de medición: la Consola, la Estación y el sensor BME280. Los valores medianos de la temperatura obtenida fueron 21.1 °C, 30.9 °C y 20 °C. Los promedios fueron 21.3 °C, 30.7 °C y 20.5 °C, las desviaciones estándares fueron 1.7 °C, 1.6 °C y 1.9 °C. Se notó como las tres desviaciones estándares no son tan diferentes. El intervalo de confianza de muestras apareadas del par *BME280-Consola* fue de [-0.99 °C, -0.72 °C], que es bastante angosto. En general, la estación portátil midió temperaturas por arriba de los otros dos dispositivos, indicando que no hay una distribución uniforme de la temperatura en este espacio interior.

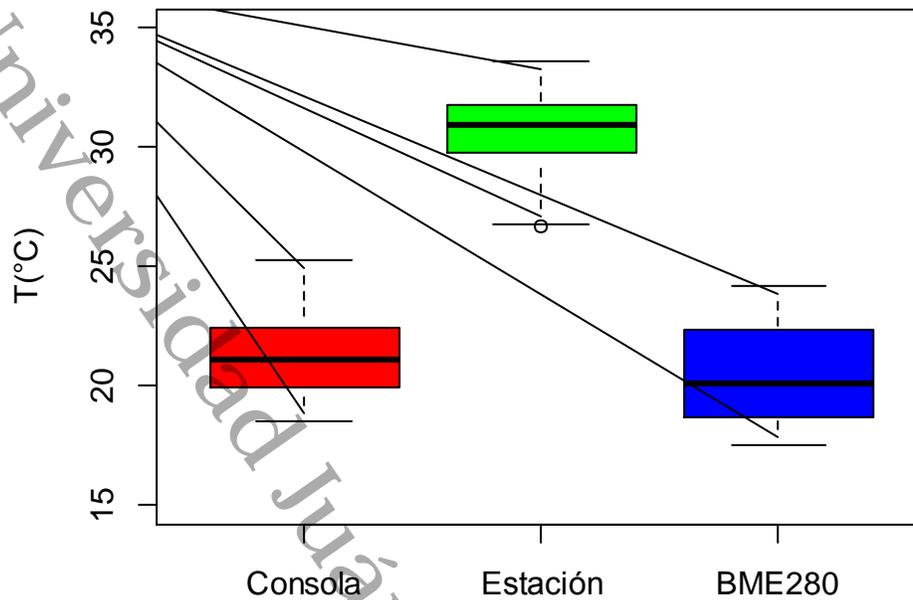


Figura 17. Comportamiento de la temperatura en el interior del Herbario del área de Biológicas empleando diferentes equipos de medición.

En la figura 18 se muestran la gráfica de dispersión de la temperatura medida con el sensor BME280 y la Consola. También se indica la recta de regresión lineal que se ajustó. Los parámetros de la recta de regresión que se ajustó fueron: $\beta_0 = 0.4$ y $\beta_1 = 0.94$ con un $R^2 = 0.69$. Se observa que β_1 es cercano a la unidad, y β_0 no es cero pero no está muy lejos de este valor, sin embargo el valor de R^2 no es cercano a la unidad. Esto indica que este sensor no es muy preciso. El error medio *BME280-Consola* fue de -0.87 °C, la desviación media absoluta fue de 0.99 °C y el error cuadrático medio fue de 1.4 °C resultando un error de precisión promedio en campo de ± 1.1 °C. La figura 18 muestra mucha dispersión en torno a la recta de tendencia tal vez debido al efecto de por lo menos dos climas que a juicio causaban una variación fuerte debido a la acción de sus ventiladores. Ya que el R^2 no fue mayor a 0.9 no se ajustó una recta de calibración de la temperatura de este sensor y no se recomienda para llevar un registro temporal de la temperatura del aire en interiores a menos que se ajuste mediante programación el factor de corrección del sensor.

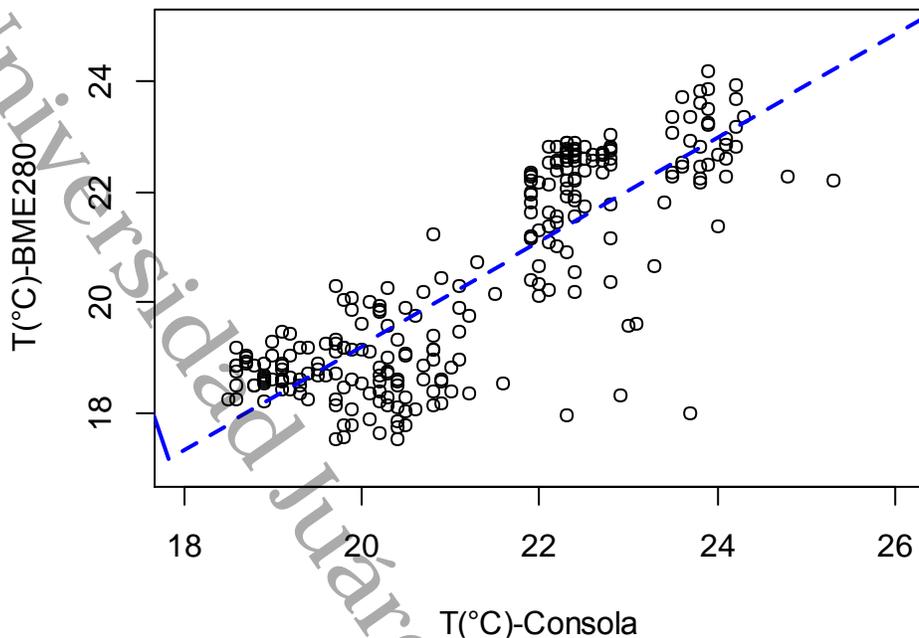


Figura 18. Gráfica de regresión lineal de temperatura en el interior del Herbario empleando el sensor BME280.

Los resultados de las mediciones de la presión del aire obtenidos en el Herbario con la estación meteorológica y el sensor BME280 se muestran en la figura 19. Los valores medianos obtenidos fueron 1010.1 mbar y 1011.9 mbar respectivamente. La desviación estándar fue de 2.6 mbar en ambos casos y la presión promedio fue 1010.4 mbar y 1011.5 mbar respectivamente. El intervalo de confianza de muestras apareadas *BME280-Consola* fue de [-0.99 mbar, -0.73 mbar] y estrictamente hablando indica que la variabilidad del sensor es diferente a la de la consola ya que no incluyó el valor cero. Esto significa que el BME280 no mide exactamente los mismos valores que la estación portátil, pero ya que el intervalo de confianza no supera 1 milibar se concluye que este sensor puede utilizarse para estimar tendencias centrales de este parámetro.

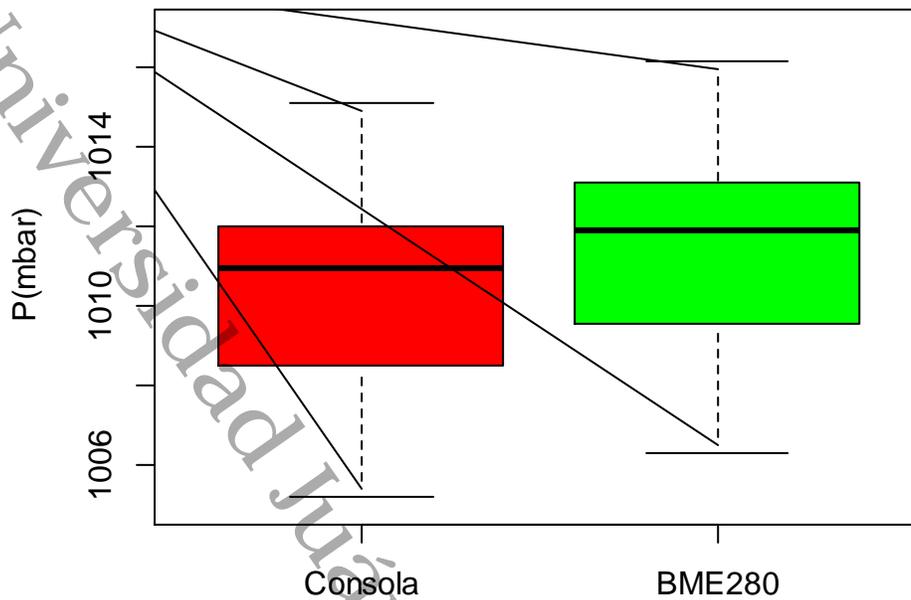


Figura 19. Comportamiento de Presión en el interior del Herbario del área de Biológicas empleando diferentes equipos de medición.

En la figura 20 se muestran la gráfica de dispersión de la presión del aire medida con el sensor BME280 y la Estación. Los parámetros de la recta de regresión ajustada fueron los siguientes: $\beta_0 = 19.7$ y $\beta_1 = 0.98$ con un $R^2 = 0.99$. Se observa que β_1 y R^2 son muy cercanos a la unidad, indicando que este sensor tiene buena precisión, pero que no reproduce exactamente lo de la estación (β_0 está muy lejos de 0). El error medio *BME280-Consola*, la desviación media absoluta y el error cuadrático medio todos fueron de 1.16 mbar siendo este mismo el error de precisión.

Ya que β_0 y R^2 son cercanos a la unidad, se ajustó una recta de regresión (Ecuación 18) para la corrección o calibración de las lecturas obtenidas con este sensor.

$$P_{ajustada} = \frac{P_{BME280} - 19.7}{0.98} \quad (\text{Ecuación 18})$$

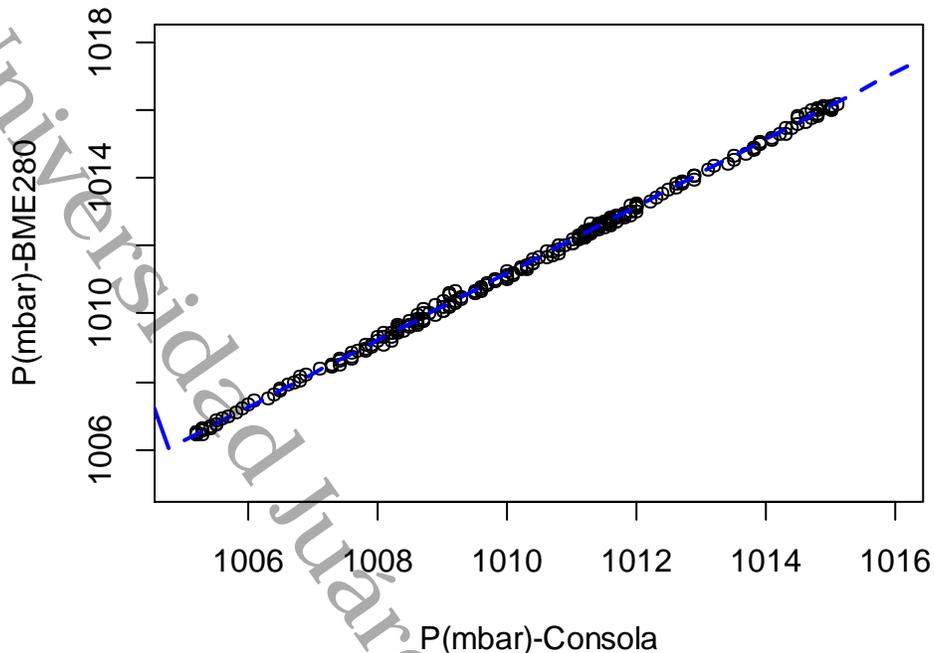


Figura 20. Gráfica de regresión lineal de presión del aire en el interior del Herbario.

7.4 Análisis del comportamiento temporal de la temperatura medida con los sensores DHT22 y DHT11

En la figura 21 se muestra el comportamiento temporal de la temperatura medida con la Consola y los sensores DHT22, DHT11 y LM35 los días 5 y 6 de febrero de 2020 en un horario de 09:00 a 15:00 horas. En este experimento de medición llevado a cabo también en el cubículo del Área de Básicas se empezó con el clima encendido y se apagó por aproximadamente dos horas. El comportamiento temporal mostró que al apagar el clima la temperatura registrada por la Consola aumento gradualmente – como se esperaba- y también lo hizo la temperatura registrada por los tres sensores. Como ya se demostró en los resultados anteriores, los sensores tendieron a medir temperaturas por debajo de la consola - o Estación como se indica en la figura. Pero por otro lado es digno de mencionar que los sensores si registraron este efecto de cambio de la temperatura en respuesta al apagado y encendido de los climas.

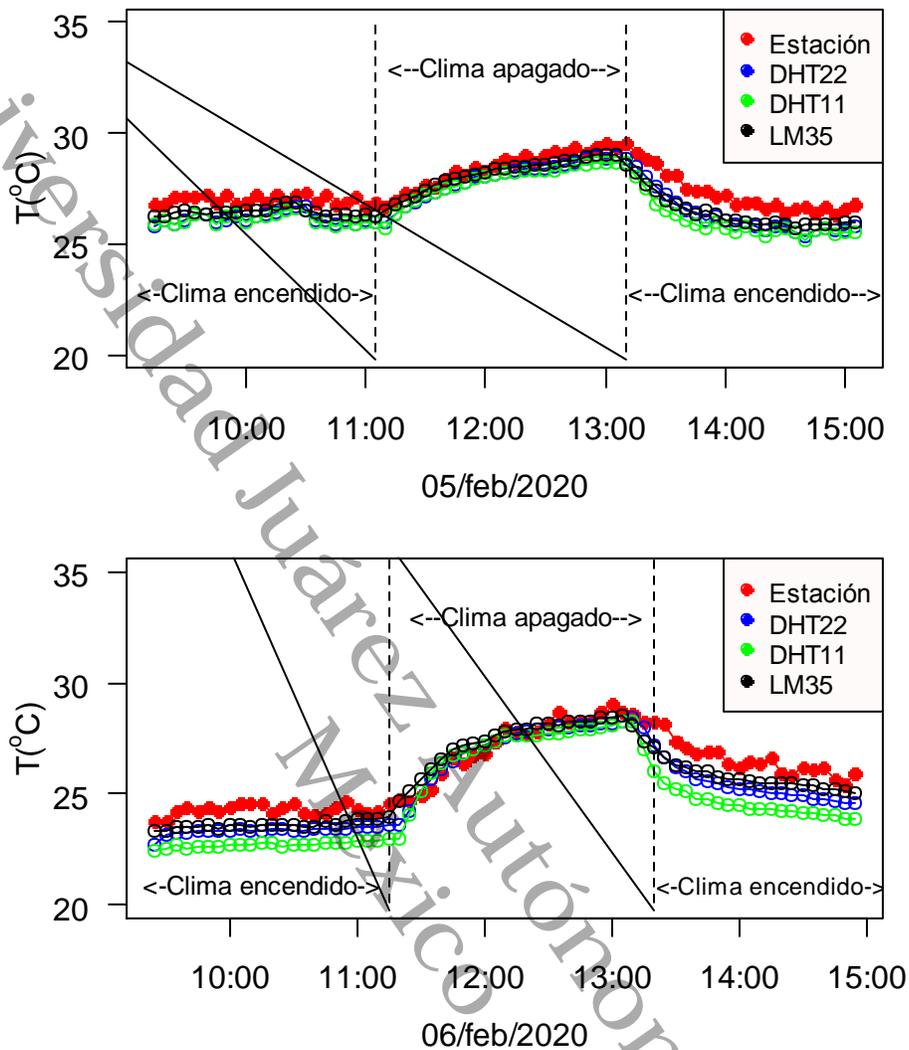


Figura 21. Comparación de temperatura con clima apagado y encendido durante diferentes horas del día.

7.5 Difusión de resultados mediante un blog

La figura 22 muestra el aspecto de inicio del blog que se generó para difundir los resultados de este trabajo principalmente dirigido a la comunidad universitaria de la DACBiol. Este blog puede consultarse en la dirección web: <https://monitoreoambientalconarduino.blogspot.com/>. El blog cuenta con cuatro secciones. La sección de inicio da la bienvenida e indica al internauta que se puede esperar en este blog y su contenido.

Monitoreo ambiental del aire con Arduino

Blog con fines educativos y de investigación.

[Inicio](#) [Base de datos](#) [Código Arduino](#) [Enlaces de interes](#)

Monitoreo ambiental con Arduino

BIENVENIDOS

En este blog encontraras los resultados de un trabajo de ingeniería ambiental realizado en la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Mediante sensores de bajo costo programados con Arduino, se realizaron mediciones automáticas cada cinco minutos de parámetros ambientales (temperatura, humedad relativa y presión barométrica del aire). Con el objetivo de mostrar el uso de estos sensores en la medición de variables ambientales y los resultados registrados para poder llevar a cabo el análisis estadísticos correspondiente.

La presentación de los resultados se hace en tres apartados:

- a) Base de datos donde se muestran los resultados obtenidos de las mediciones.
- b) Código Arduino. Código utilizado para configurar los sensores y obtener el registro de las variables ambientales.
- c) Enlaces de interés. Se proporcionan los enlaces que pueden proporcionar mayor información sobre el código y el material

CONTACTO

Ing. Anahí Guadalupe Bolalna García
anah_bolalna@hotmail.com

MI. Sergio Ramos Herrera
sergiohe@hotmail.com

Buscar este blog

Suscríbime

Figura 22. Blog de difusión de resultados.

En la figura 23 se muestra la sección base de datos se pueden descargar las mediciones realizadas con los sensores. Estas bases de datos tienen campos como fecha y hora para hacer un análisis descriptivo básico.

Monitoreo ambiental del aire con Arduino

Blog con fines educativos y de investigación.

[Inicio](#) [Base de datos](#) [Código Arduino](#) [Enlaces de interes](#)

Base de datos

Las Bases de datos obtenidas después de realizado el monitoreo se generaron en formato Excel, las cuales se describen a continuación y puedes descargar libremente:

1. Monitoreo de temperatura y humedad relativa en el interior de un coche (descargar).

En esta base de datos se generó un archivo con dos variables: la temperatura y la humedad relativa. Las mediciones se tomaron casa 20 segundos.

2. Monitoreo de temperatura de enfriamiento (descargar).

En esta base de datos se generó un archivo con la variable de temperatura, comparando las mediciones del sensor DS18B20, el termómetro de vidrio y un termómetro infrarrojo, este ultimo para el exterior de la taza.

3. Monitoreo de temperatura y humedad relativa en oficina (descargar).

En esta base de datos se genero un archivo con las variables de temperatura y humedad relativa. Comparando las mediciones de la Unidad de referencia y los sensores DHT22, DHT11 y LM35. Las mediciones se tomaron cada 5 minutos.

CONTACTO

Ing. Anahí Guadalupe Bolaina Garcia
anah_bolaina@hotmail.com

MI. Sergio Ramos Herrera
sergiohe@hotmail.com

Buscar este blog

Suscribirse

Figura 23. Sección “Base de datos” del blog.

La sección “Código Arduino” se muestra en la figura 24. Contiene una lista de los programas que se emplearon para programar los sensores. Pero también tiene fotos de estos sensores y una breve descripción de en qué tipo de experimento se usaron. Esta sección, al igual que la anterior cuenta con la opción de publicar algún comentario para promover la comunicación con los interesados (Figura 21).

Monitoreo ambiental del aire con Arduino

Blog con fines educativos y de investigación.

[Inicio](#) [Base de datos](#) [Código Arduino](#) [Enlaces de interes](#)

Código Arduino

PROGRAMAS EN ARDUINO

1. Sensor de temperatura de líquidos DS18B20 ([descargar](#)).



El sensor de temperatura de líquidos DS18B20 es un dispositivo de fácil adquisición y de bajo costo. Este sensor mide temperatura de líquidos. Este sensor fue el que se empleo para probarlo con una taza de agua calentada previamente en un microondas.

2. Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11 ([descargar](#)).



El sensor de temperatura y humedad relativa del aire DHT11 es un dispositivo de fácil adquisición y de bajo costo aproximadamente de unos \$100.00 MXN. Este sensor se utilizo para medir en interiores y exteriores.

CONTACTO

Ing. Anahí Guadalupe Bolalna Garcia
anah_bolalna@hotmail.com

Mi. Sergio Ramos Herrera
sergiohe@hotmail.com

Buscar este blog

Suscribme

Figura 24. Sección "Código Arduino" del blog.

Por último, en la figura 25 se muestra la sección de enlaces de interés, esta última contiene enlaces de páginas de internet relacionadas con el proyecto de investigación.

Monitoreo ambiental del aire con Arduino

Blog con fines educativos y de investigación.

Inicio Base de datos Código Arduino Enlaces de interes

Enlaces de interes

1. South Coast AQMD

En un esfuerzo por informar al público en general sobre el rendimiento real de los sensores de calidad del aire de "bajo costo" disponibles en el mercado, el South Coast AQMD ha establecido el programa del Centro de evaluación del rendimiento del sensor de calidad del aire (AQ-SPEC). El programa AQ-SPEC tiene como objetivo realizar una caracterización exhaustiva de los sensores de "bajo costo" disponibles actualmente en condiciones ambientales (de campo) y controladas (de laboratorio).
Visitar en <http://www.aqmd.gov/aq-spec>

2. Arduino

Esta es la pagina oficial de Arduino en la cual podemos encontrar material e información de gran interés acerca de como funciona y como se puede relacionar esta placa en el ámbito ambiental.
Visitar en <https://www.arduino.cc/>



CONTACTO

Ing. Anahi Guadalupe Bolaina Garcia
anahi_bolaina@hotmail.com

MI. Sergio Ramos Herrera
sergiohe@hotmail.com

Buscar este blog

Suscribirse

No hay comentarios:

Figura 25. Sección "Enlaces de interés" del blog.

8 CONCLUSIONES

- Los sensores DHT11 y DHT22 mostraron una variabilidad parecida en la determinación tanto de la humedad como de la temperatura del aire en el cubículo de profesores. Ambos estimaron bien los valores medios o medianos de la humedad relativa en el cubículo de profesores ya que sus lecturas difieren menos de 2 % de las del equipo de referencia usado. El valor medido estuvo 1 °C por debajo de la del equipo de referencia. La precisión de DHT22 fue de 2.03 % y de ± 3.7 % con respecto a la humedad relativa y de ± 0.86 °C y ± 0.93 °C con respecto a la temperatura. Los sensores describieron bien la variación temporal tanto de la humedad como de la temperatura del interior ($0.8 < R^2 < 0.9$ y $\beta_1 \approx 1$) como lo mostró el análisis descriptivo de las mediciones temporales de la temperatura en el cubículo de profesores con el efecto inducido al apagar el clima cierto tiempo y encenderlo de nuevo.
- El sensor LM35 mostro una variabilidad parecida a la del DHT22 y DHT11 en la lectura de la temperatura interior en el cubículo de profesores. Se observó tendencia a medir temperaturas medianas por debajo de la del equipo de referencia. Su precisión fue de ± 0.75 °C. Sin embargo, se puede utilizare este sensor para describir el comportamiento temporal de la temperatura del aire en interiores ($\beta_1 = 0.94$ y $R^2 = 0.9$) usando una recta de calibración.
- El sensor DHT22 y DHT11 tuvieron la misma variabilidad en la determinación de la humedad relativa en el aire ambiente exterior y lo mismo se observó en la determinación de la temperatura junto con el sensor LM35. Sus valores medianos de humedad fueron menores al de la estación portátil. La precisión del DHT22 con respecto a la humedad fue de ± 6.2 % y la del DHT11 fue de ± 7.4 %. Con respecto a la temperatura sus precisiones respectivas fueron ± 0.34 °C y ± 0.55 °C y la del LM35 fue de ± 0.62 °C. Los tres sensores fueron adecuados para estimar el valor mediano de la temperatura, pero los DHT no tanto en la estimación del valor

mediano de la humedad relativa. Comparados con el equipo de referencia, estos sensores no tienen buena precisión en la determinación de la humedad relativa pero si en la determinación de la temperatura.

- El sensor BME280 tendió a medir humedades relativas y temperaturas ligeramente menores que los de la Consola en el herbario. Con relación a la humedad su precisión fue de $\pm 4.6 \%$ y con relación a la temperatura fue de $\pm 1.1 \text{ }^\circ\text{C}$. Las rectas de regresión ajustadas indicaron que este sensor no es preciso con respecto a la consola en la medición de la humedad relativa y la temperatura. Con relación a la determinación de la presión barométrica la precisión del sensor fue de $\pm 1.16 \text{ mbar}$. Este sensor puede utilizarse para medir la presión en el interior del herbario usando una recta de calibración de las lecturas.

9 REFERENCIAS

- Abdul, J. D. A., Hilmi, M. H., Ismail, M. J., Mehat, M y Haroon, N. S. (2009). Remote monitoring in agricultural greenhouse using wireless sensor and short message service (SMS). *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*, 9(09): 35-43. Recuperado el 6 de noviembre del 2019, << <http://ijens.org/IJET%20Vol%2009%20Issue%2009.html> >>
- Aizebeokhai. A. P., Ekumatalor I O., Oyeyemi K. M. y Obafemi. (2018). Construction of a portable cost effective temperature and humidity measuring device. *Conference Series: Earth and Environmental Science* 173(1): 1-6. Recuperado el 31 de octubre de 2019, << <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/173/1/012006> >>
- Bosch Sensortec GmbH. (2011). *Bosch Sensortec.com*. GERMANY. Recuperado el 8 de noviembre de 2019, <<https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME280-DS002.pdf>>
- Bosch Sensortec GmbH. (2015). *Bosch Sensortec.com*. GERMANY. Recuperado el 8 de noviembre de 2019, << https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BMP180-DS000.pdf>>
- Capelli, L., Sironi, S., y Del Rosso, R. (2014). Electronic noses for environmental monitoring applications. *Sensors*, 14(11), 19979-20007. Recuperado el 22 de noviembre del 2019. <<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4279467/>>>
- Feenstra, B., Papapostolou, V., Hasheminassab, S., Zhang, H., Der Boghossian, B., Cocker, D., y Polidori, A. (2019). Performance evaluation of twelve low-cost PM2. 5 sensors at an ambient air monitoring site. *Atmospheric Environment*, 216, 1-10. Recuperado el 21 de noviembre del 2019. <<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231019305850?via%3Dihub>>>

- Gay, W. (2018). Sensor. *In Advance Raspberry Pi* (2^{da} ed., pp. 399-418). Berkeley, CA: Apress.
- Guz, L., Lagód, G., Jaromin-Gleń, K., Suchorab, Z., Sobczuk, H. y Bieganowski, A. (2015). Application of gas sensor arrays in assessment of wastewater purification effects. *Sensors*, 15(1): 1-21. Recuperado el 6 de noviembre de 2019, <<<https://www.mdpi.com/1424-8220/15/1/1>>>
- Jiménez, D. S. V., Espinosa, E. V. R., y Foliaco, J. E. O. (2013). Alternativas para la Detección y Monitoreo de Amenazas Sísmicas basadas en Arduino. *Revista Ingenierías USBmed*, 4(2), 45-54. Recuperado el 13 de noviembre del 2019. << <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6833252>>>
- Liu, H. Y., Schneider, P., Haugen, R., y Vogt, M. (2019). Performance assessment of a low-cost PM2.5 Sensor for a near four-month period in Oslo, Norway. *Atmosphere*, 10(2), 41. Recuperado el 21 de noviembre del 2019. << <https://www.mdpi.com/2073-4433/10/2/41/htm>>>
- Liu, T. (2013). Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302). Recuperado el 5 de noviembre del 2019, << <https://datasheetspdf.com/pdf-down/D/H/T/DHT22-Aosong.pdf>>>
- Lockridge, G., Dzwonkowski, B., Nelson, R., y Powers, S. (2016). Development of a low-cost arduino-based sonde for coastal applications. *Sensors*, 16(4), 528. Recuperado el 27 de junio del 2019, << <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/4/528/htm>>>
- Mamani, M., Villalobos, M., y Herrera, R. (2017). Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(4), 599-618. Recuperado el 27 de junio del 2019, << https://www.ingeniare.cl/index.php?option=com_ingeniare&view=vv&vid=94&lang=es >>
- Maxim Integrated. (2019). *Maxim Integrated Products*. San José, CA. recuperado el 8 de noviembre del 2019, << <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>>>

- Othman, M. F., y Shazali, K. (2012). Wireless sensor network applications: A study in environment monitoring system. *Procedia Engineering*, 41, 1204-1210. Recuperado el 29 de junio del 2019, <<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812027026>>>
- Raghavan, V., y Shahnasser, H. (2015). Embedded wireless sensor network for environment monitoring. *Journal of Advances in Computer Networks*, 3(1), 13-17. Recuperado el 24 de octubre del 2019, <<<http://www.jacn.net/vol3/134-W006.pdf>>>
- Snyder, E. G., Watkins, T. H., Solomon, P. A., Thoma, E. D., Williams, R. W., Hagler, G. S., ... & Preuss, P. W. (2013). The changing paradigm of air pollution monitoring. *Environmental Science & Technology* 47(20): 11369-11377. Recuperado el 16 de junio del 2020 <<<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es4022602#>>>
- Texas Instruments Incorporated. (2017). *Analog, Embedded Processing, Semiconductor Company, Texas Instruments-TI.com*. Boulevard Dallas, Texas 75243 USA. Recuperado el 8 de noviembre del 2019, <<<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>>>
- Torrente, A. O. (2013). *ARDUINO. Curso práctico de formación*. Madrid, España: RC Libros.
- Valdez, J., y Becker, J. (2015). Understanding the I2C bus. Embedded Processing, Semiconductor Company, Texas Instruments SLVA704. Recuperado el 05 de noviembre del 2019, <<<http://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf?keyMatch=UNDERSTANDING%20OPERATIONALAMPLIFIER%20SPECIFICATIONS&tisearch=Search-EN-everything>>>
- Yang, S., Liu, Y., Wu, N., Zhang, Y., Svoronos, S., y Pullammanappallil, P. (2019). Low-cost, Arduino-based, portable device for measurement of methane composition in biogas. *Renewable energy*, 138, 224-229. Recuperado el 13 de junio del 2019, <<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119300965>>>

ANEXO

Código de sensores DHT

```
float tempC; //LM35
int pinLM35 = 0; // LM35
#include <DHT.h>
#include <SD.h>

#define DHT1PIN 2 // DHT22
#define DHT2PIN 7 // DHT11-PCB
#define DHT1TYPE DHT22
#define DHT2TYPE DHT11

File dataFile;
DHT dht1 (DHT1PIN , DHT1TYPE);
DHT dht2 (DHT2PIN , DHT2TYPE);
const int chipSelect = 9;

void setup() {
  pinMode(chipSelect, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("Sensor DHT22");
  Serial.print("\t");
  Serial.print("Sensor DHT11");
  Serial.print("\t");
  Serial.println("Sensor LM35");
  dht1.begin();
  dht2.begin();
  analogReference(INTERNAL); //LM35
  SD.begin(chipSelect);

  if (!SD.begin(chipSelect))
  {
    Serial.println(F("Error al iniciar"));
    return;
  }
  Serial.println(F("Iniciado correctamente"));
}

void loop() {
  float h1 = dht1.readHumidity();
  float t1 = dht1.readTemperature();
  float h2 = dht2.readHumidity();
  float t2 = dht2.readTemperature();

  if (isnan(h1) || isnan(t1)) {
    Serial.println("Failed to read from DHT #1!");
  }
  else {
```

```
Serial.print("HR=");
Serial.print(h1);
Serial.print("%\t");
Serial.print("T=");
Serial.print(t1);
Serial.print("°C\t");
}
```

```
if (isnan(t2) || isnan(h2)) {
  Serial.println("Dailed to read from DHT #2");
} else{
  Serial.print("HR= ");
  Serial.print(h2);
  Serial.print("%\t");
  Serial.print("T=");
  Serial.print(t2);
  Serial.print("°C\t");
}
```

```
tempC = analogRead(pinLM35);
tempC = (1.1 * tempC * 100.0)/1024.0;
Serial.print("T= ");
Serial.print(tempC);
Serial.println("°C");
```

File dataFile = SD.open("datalog1.txt", FILE_WRITE); //Si no existe el archivo lo creará, y si existe, escribe dentro de él.

```
dataFile.print("HR1= ");
dataFile.print(dht1.readHumidity());
dataFile.print(" ");
dataFile.print(", T1=");
dataFile.print(dht1.readTemperature());
dataFile.print("°C");
```

```
dataFile.print(", HR2=");
dataFile.print(dht2.readHumidity());
dataFile.print(", T2= ");
dataFile.print(dht2.readTemperature());
dataFile.print("°C");
```

```
//dataFile.print(tempC = analogRead(pinLM35));
dataFile.print(", T3=");
dataFile.print(tempC);
dataFile.println("°C");
```

```
dataFile.close();
delay(300000);
}}
```

Código de sensor BME280

```
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <SD.h>
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(10, 8, 5, 4, 3, 2);

#define BME_SCK 13
#define BME_MISO 12
#define BME_MOSI 11
#define BME_CS 10

#define SEALEVELPRESSURE_HPA (1013.25)

File dataFile;
Adafruit_BME280 bme;
const int chipSelect = 9;

unsigned long delayTime;

void setup() {
  pinMode(chipSelect, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  while(!Serial);
  Serial.println("BME280");
  lcd.begin(16,2);

  unsigned status;

  status = bme.begin();
  if (!status) {
    Serial.println("Could not find a valid BME280 sensor, check wiring, address, sensor ID!");
    Serial.print("SensorID was: 0x"); Serial.println(bme.sensorID(),16);
    Serial.print("    ID of 0xFF probably means a bad address, a BMP 180 or BMP 085\n");
    Serial.print("    ID of 0x56-0x58 represents a BMP 280,\n");
    Serial.print("    ID of 0x60 represents a BME 280.\n");
    Serial.print("    ID of 0x61 represents a BME 680.\n");
    while (1);
  }
  SD.begin(chipSelect);
  if (!SD.begin(chipSelect))
  {
    Serial.println(F("Error al iniciar"));
    return;
  }
}
```

```

Serial.println(F("Iniciado correctamente"));
Serial.print("T °C");
Serial.print("\t");
Serial.print("P hPa");
Serial.print("\t");
Serial.print("H m");
Serial.print("\t");
Serial.print("HR %");
Serial.print("\t");
Serial.println();
}

void loop() {
  printValues();
}

void printValues() {

  Serial.print(bme.readTemperature());
  Serial.print("\t");
  Serial.print(bme.readPressure() / 100.0F);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(bme.readAltitude(SEALEVELPRESSURE_HPA));
  Serial.print("\t");
  Serial.println(bme.readHumidity());

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(bme.readTemperature());
  lcd.print((char)223);
  lcd.print("C");
  lcd.setCursor(9,0);
  lcd.print(bme.readHumidity());
  lcd.print("%");
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print(bme.readPressure()/100.0);
  lcd.print("mb");

  File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE); //Si no existe el archivo lo creará, y si existe,
  escribe dentro de él.

  dataFile.print(bme.readTemperature());
  dataFile.print("\t");
  dataFile.print(bme.readPressure() / 100.0F);
  dataFile.print("\t");
  dataFile.print(bme.readAltitude(SEALEVELPRESSURE_HPA));
  dataFile.print("\t");
  dataFile.println(bme.readHumidity());
  dataFile.close();
  delay(300000); }

```