

# PREVENCIÓN DEL RIESGO A LA SALUD HUMANA POR EFECTO DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PM 10 y PM 2.5 EN INTERIORES Y EXTERIORES, MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE SENSORES DE BAJO COSTO.



**MSc. SEBASTIAN RUGELES AHUMADA**

Marzo, 2023

Desarrollar metodologías que permitan establecer en tiempo real la **exposición** a los contaminantes **PM10 Y PM2.5**, y los riesgos que se pueden estar generado sobre la salud de las poblaciones



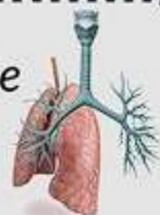
La contaminación atmosférica se ha convertido en una **problemática ambiental** con gran relevancia, debido a las diversas **afecciones negativas** que tiene sobre la **salud humana**. **(OMS, 2019).**

### Partículas Suspendidas PM<sub>10</sub> y 2,5

Son una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos. El PM<sub>10</sub> se forma por la agricultura, la industria, la minería y el tráfico vehicular, mientras que el PM<sub>2.5</sub> provienen de la combustión o condensación de gases contaminantes

#### EFECTOS A LA SALUD

Asma agravada, irritación de vías respiratorias, función pulmonar reducida



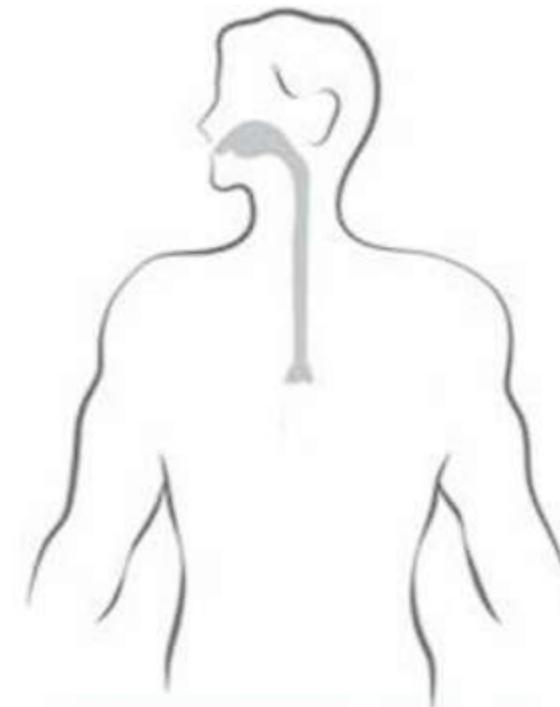
Infartos de miocardio no mortales, latidos irregulares

Síntomas menores como irritación ocular y ojos llorosos



PM 10

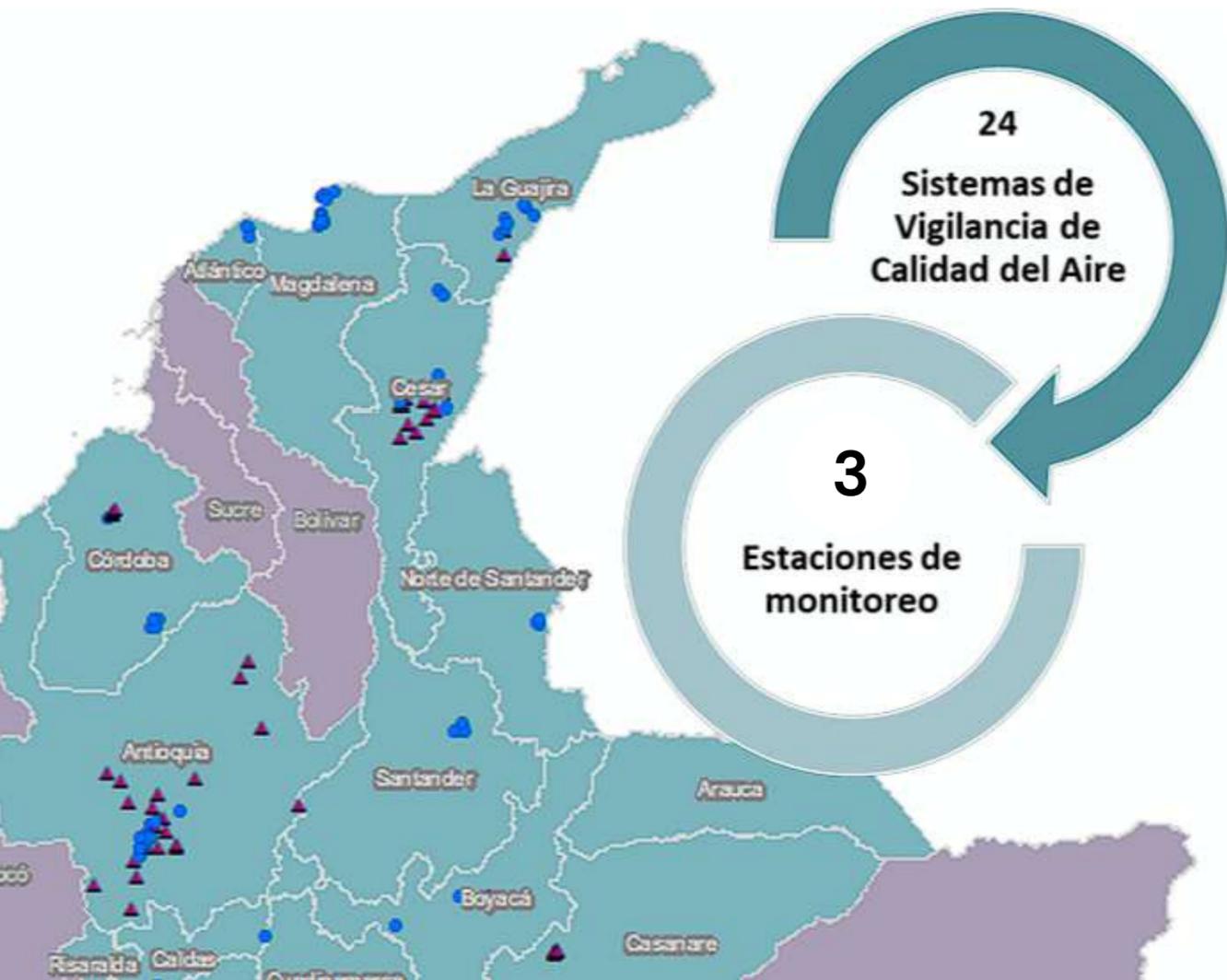
PM 2.5



**Partículas gruesas**  
Tracto respiratorio superior

**Partículas finas**  
Tracto respiratorio inferior

- 1 Falta de programas de monitoreos, análisis y seguimientos continuos para la determinación de la calidad del aire.
- 2 Falta de mecanismos de alertas tempranas para la ciudadanía en las situaciones que puedan llegar a ser críticas.



**¿ES POSIBLE QUE LA INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE SENSORES EXISTENTES Y DE BAJO COSTO, PERMITA LA PREVENCIÓN DEL RIESGO A LA SALUD HUMANA POR EFECTO DEL CONTAMINANTE ATMOSFÉRICO PM10 Y PM2,5 EN INTERIORES Y EXTERIORES?**

# OBJETIVOS

## GENERAL

Determinar la concentración del **PM10**, **PM2,5** en exteriores e interiores, a través de la integración de Sensores de bajo costo, como medida preventiva para las afectaciones sobre la salud humana.

## ESPECIFICOS

1

Plantear, a partir de la integración de tecnologías existentes, un sensor de medición de calidad de aire de bajo costo, junto con un protocolo de calibración basado en la comparación de métodos estandarizados por la EPA.

2

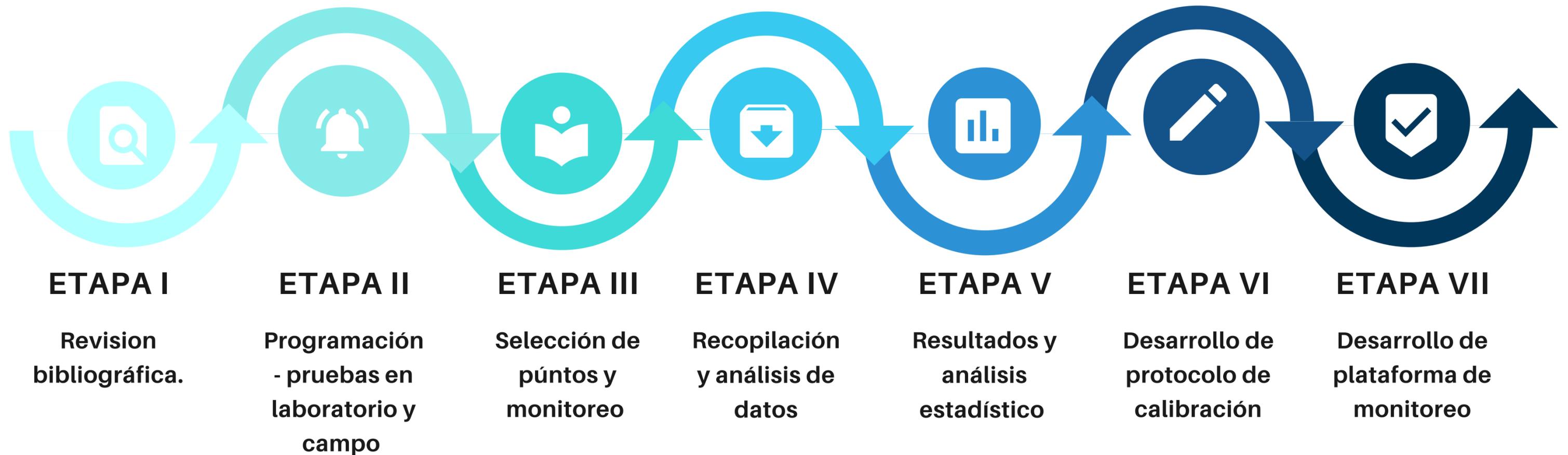
Diseñar y montar plataformas de monitoreo de calidad de aire para dos tipos de ambientes; exterior e interior.

3

Implementar un sistema de alertas de calidad de aire para la posterior toma de decisiones sobre los efectos en la Salud.

# METODOLOGIA

INVESTIGACIÓN DE TIPO DESCRIPTIVA Y CUANTITATIVA, DESARROLLADA A TRAVES DE ETAPAS



# EQUIPOS Y MATERIALES

ESTACIONES DE CALIDAD DE AIRE  
AUTORIDAD AMBIENTAL



SENSORES INSTALADOS  
INTERIOR-EXTERIOR

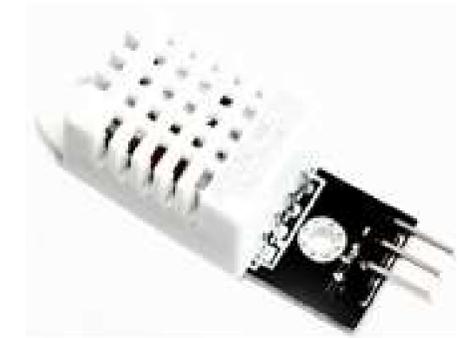
PLACA E SP8266



SENSOR POLVO  
PMS7003

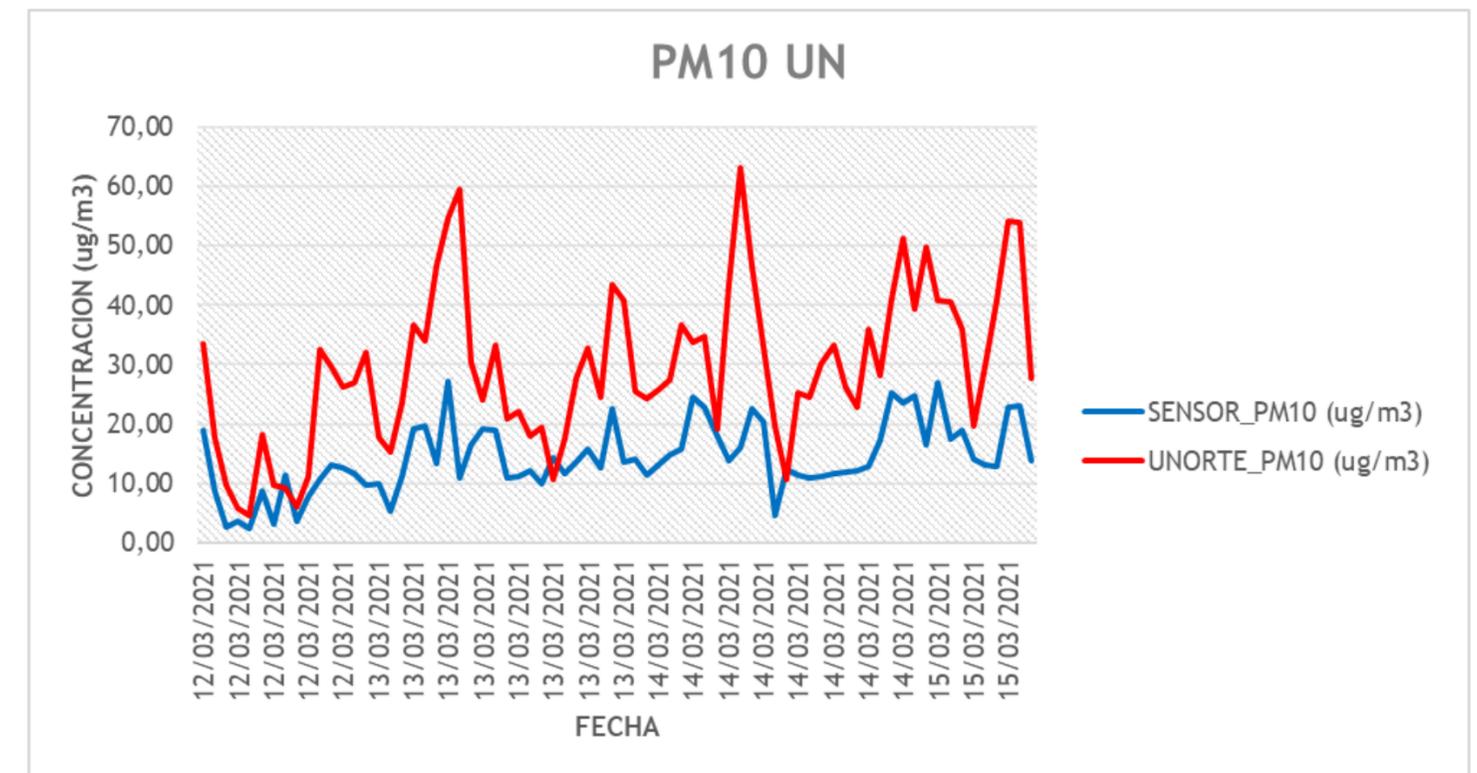
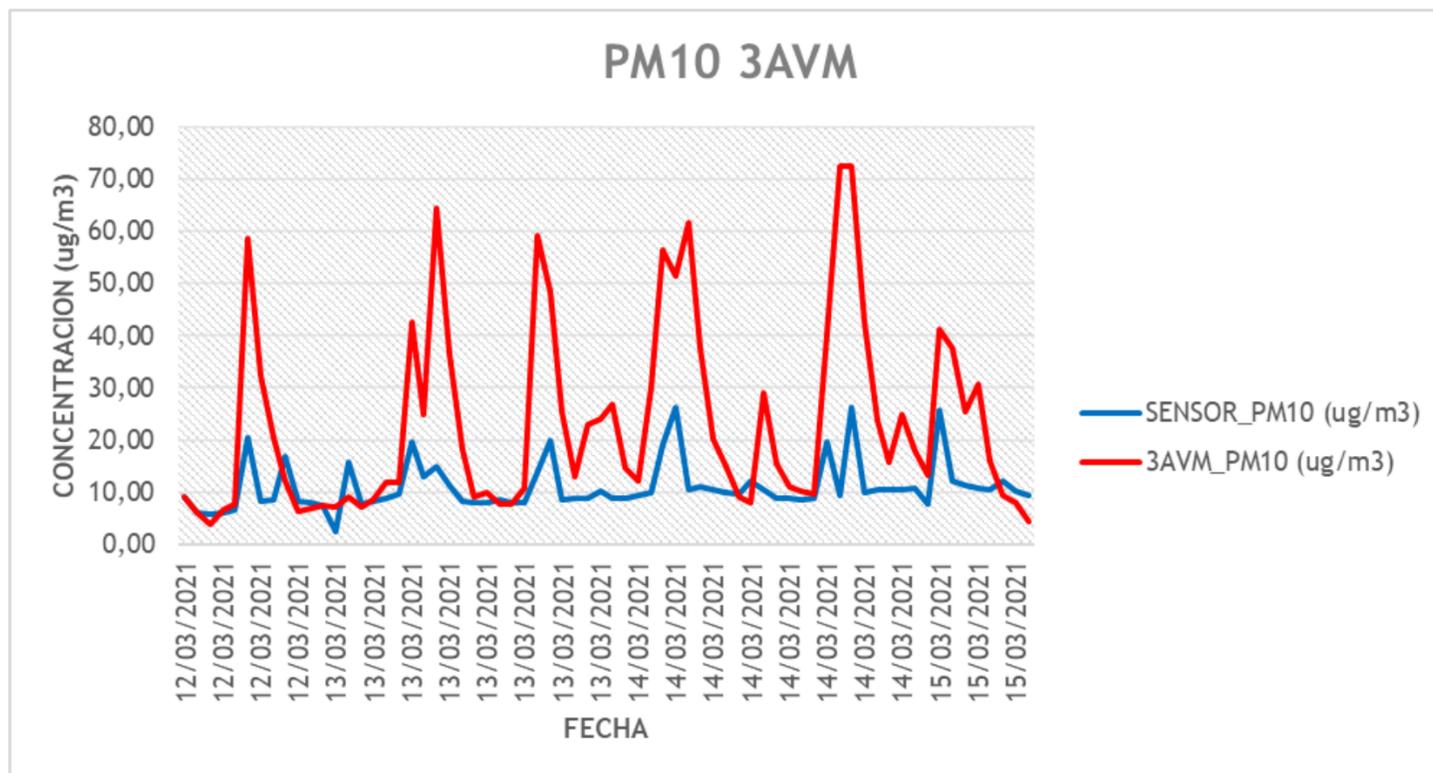
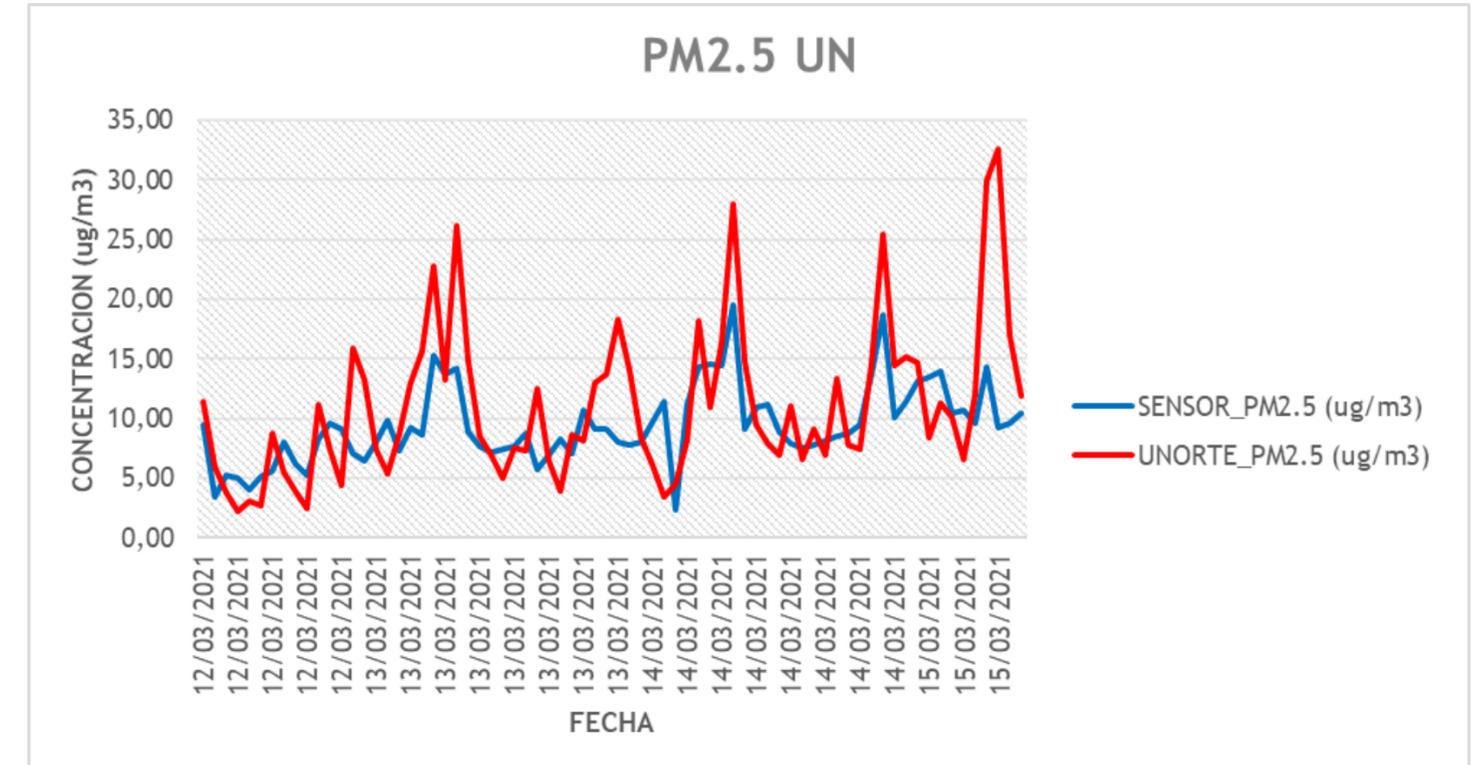
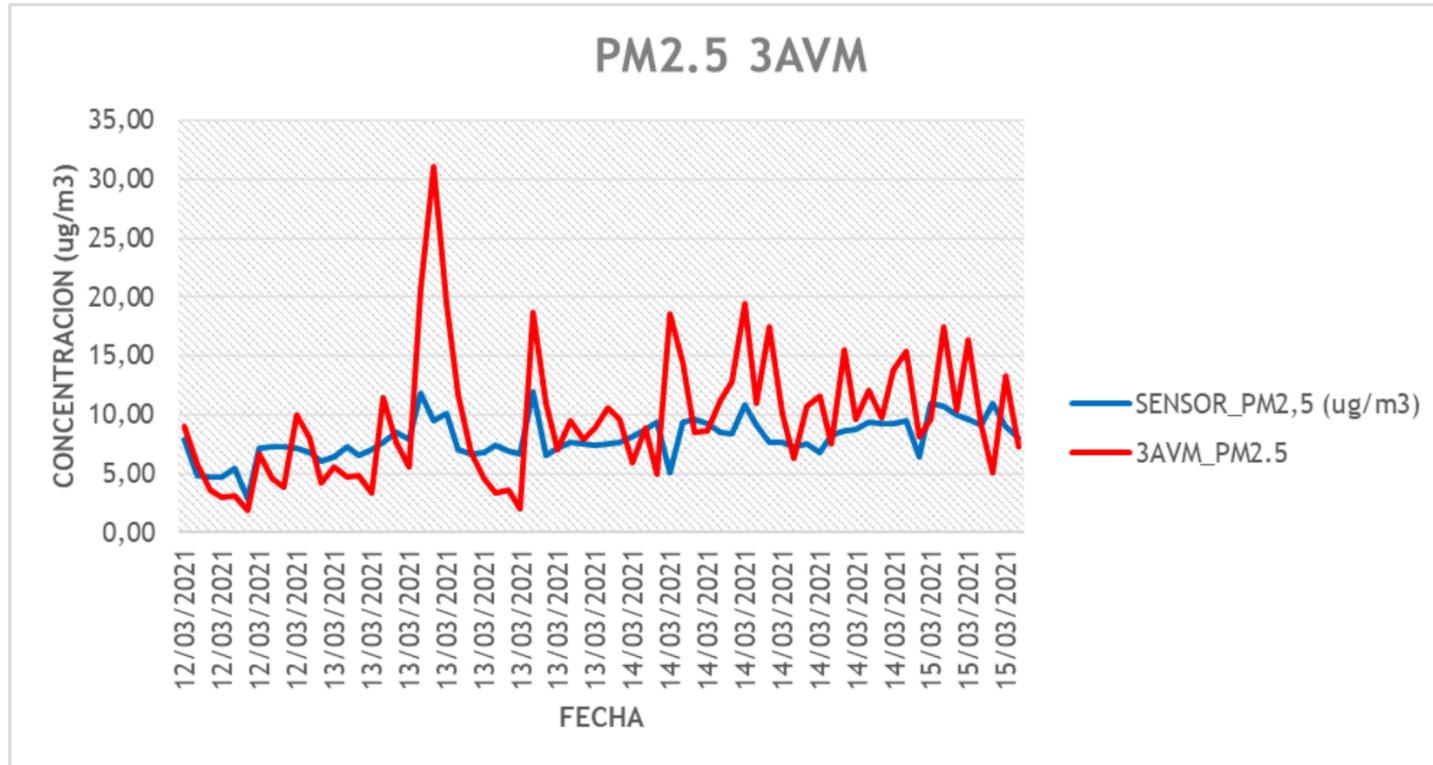


SENSOR T °C &  
H%-DHT22



# RESULTADOS

## Análisis descriptivo exteriores





# RESULTADOS

## Análisis de mediciones (Experimental vs Referencia)

1

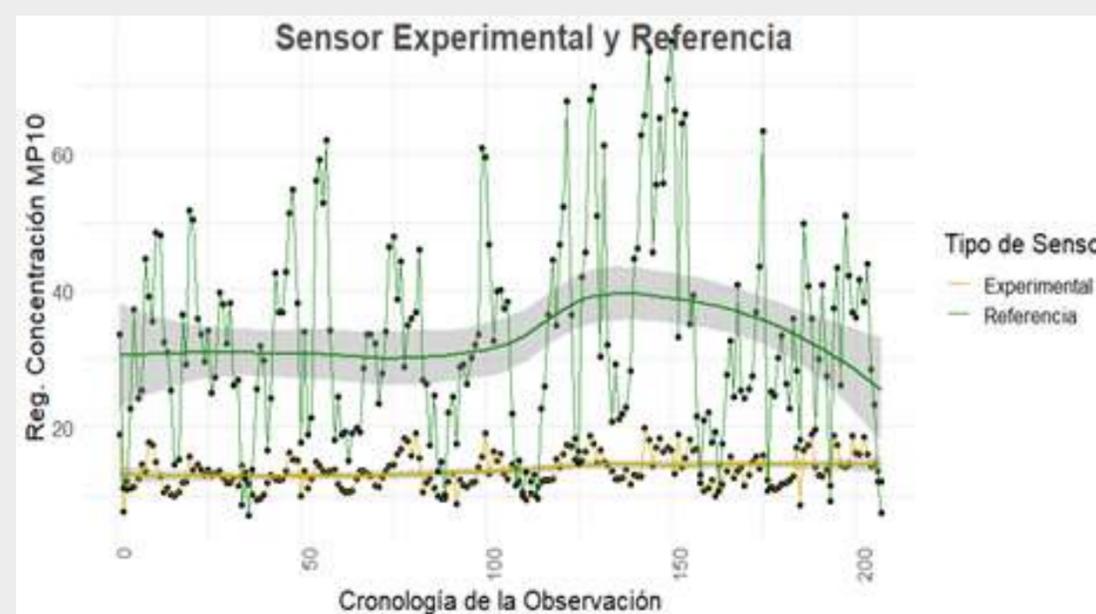
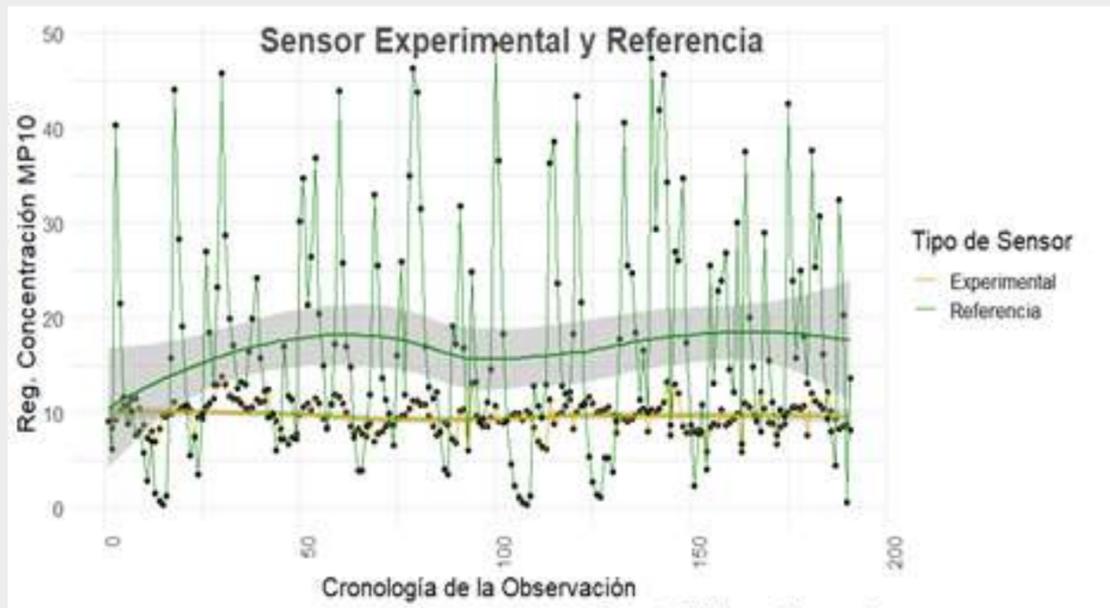
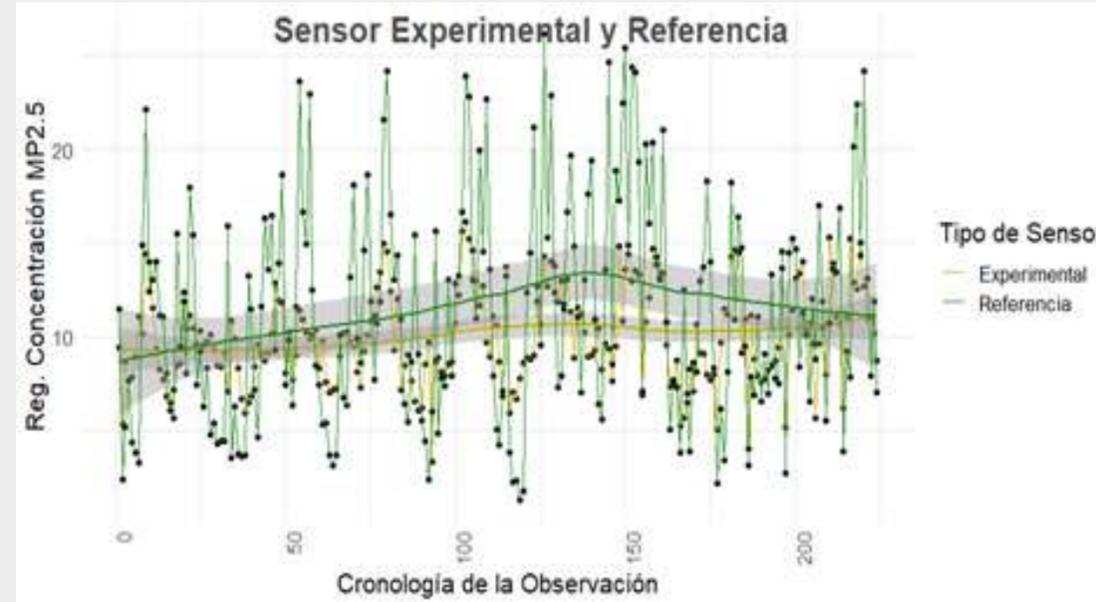
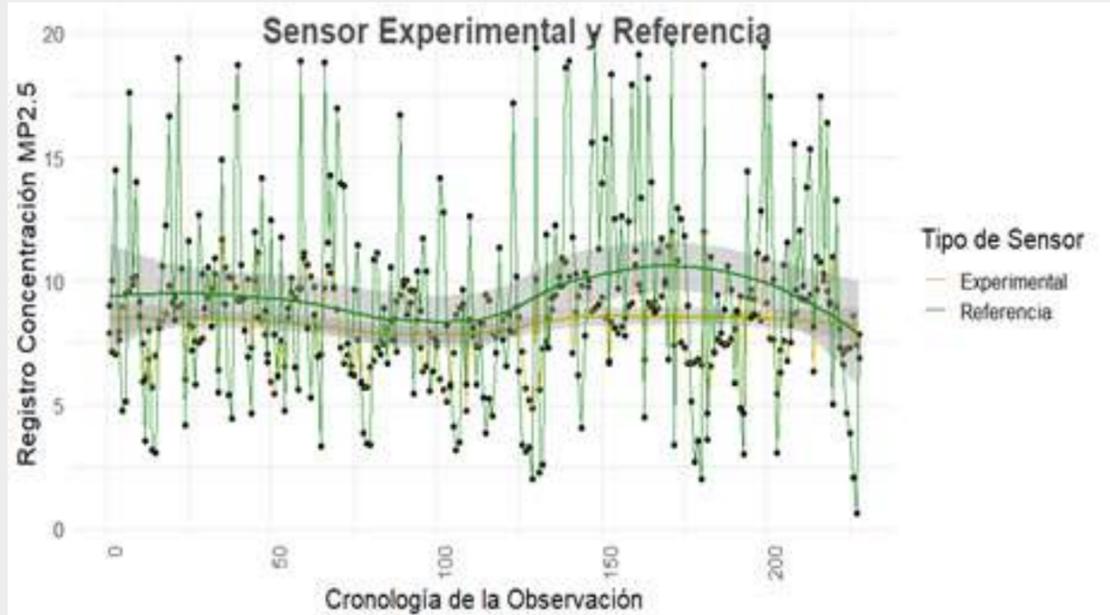
ANALISIS  
COMPARATIVO DE  
SENSORES  
EXPERIMENTALES

2

ANALISIS  
COMPARATIVO DE  
SENSORES  
AUTORIDAD A

3

ANALISIS  
GRAFICO



228 MEDICIONES  
PM2.5

164 MEDICIONES  
PM10

Series de observaciones de **PM2,5** y **PM10**-exteriores/**E1** y **E2**

Los registros para los sensores tuvieron un comportamiento semejante, sin embargo, es también evidente que los valores registrados en cada punto son diferentes en magnitud.

**Sensor E1 en exterior - parámetro MP2,5 un R2 de 0.1943 (Modelo lineal) y PM10 un R2 de 0.1424 (Modelo Spline Cuadrático), mientras que para E2 el mejor R2 fue de 0.3133 para PM 2,5 (Modelo Spline lineal) y para PM10 un R2 de 0.3428 (Modelo Spline lineal).**

# RESULTADOS

## Análisis de mediciones (Experimental vs Referencia)

1

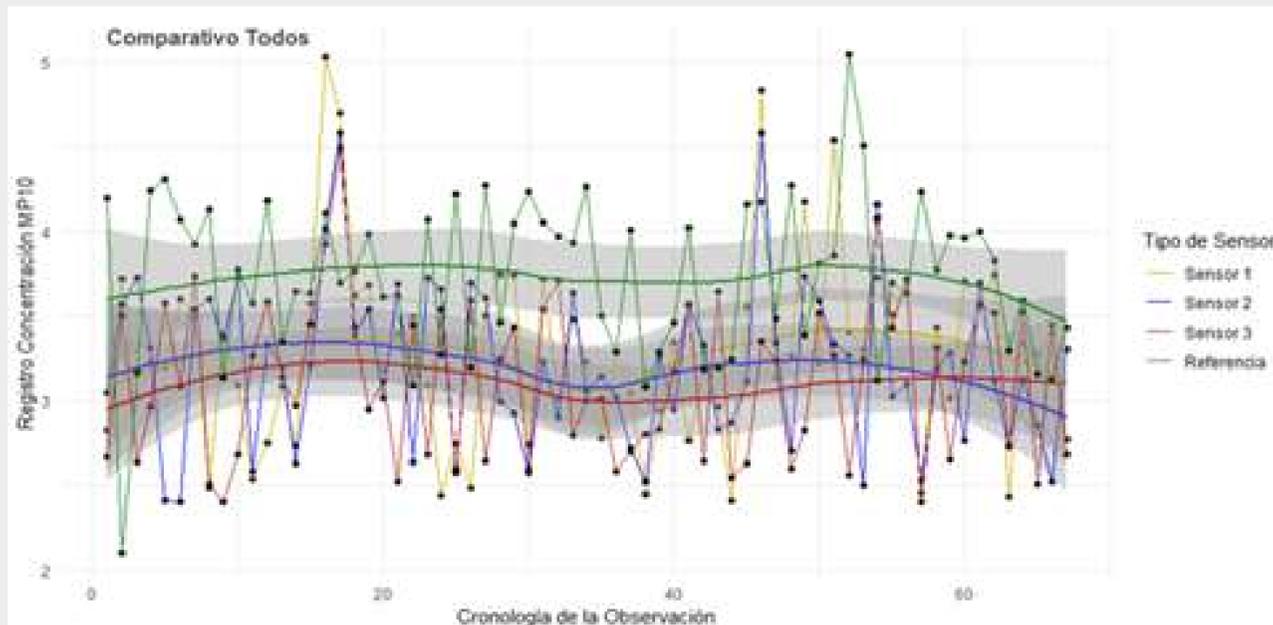
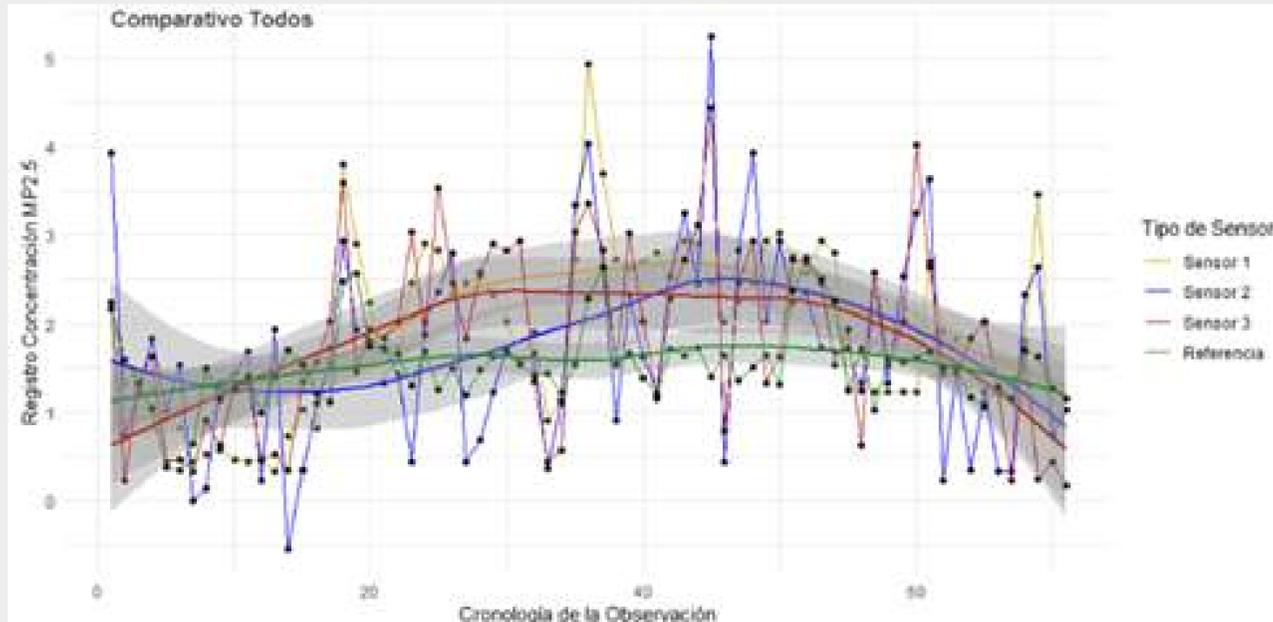
ANALISIS  
COMPARATIVO DE  
SENSORES  
EXPERIMENTALES

2

ANALISIS  
COMPARATIVO DE  
SENSORES  
AUTORIDAD A

3

ANALISIS  
GRAFICO



Las formas de las series experimentales son diferentes a la serie de referencia, siendo la más similar la del sensor 2, y la del sensor 1 la menos ajustada. En el caso de PM10, se observa que las formas de las series experimentales son muy similares a la serie de referencia, siendo la más similar la del sensor 2, y la del sensor 3 la menos ajustada.

68 MEDICIONES  
PM2.5

71 MEDICIONES PM10

Series de observaciones de **PM2,5** y **PM10**-interior/**S1**, **S2** y **S3**.

**Para PM2,5, el sensor S1 en interior mostro mejor ajuste con el modelo lineal con un R2 de 0.3635, el sensor S2 con el modelo que más se ajusto fue el Spline cubico natural con un R2 de 0,1924, de igual forma el sensor S3 un R2 de 0.1884 con el modelo Spline lineal; mientras que para PM10 en interiores con el sensor S1, el modelo lineal con un R2 de 0,0180, para S2 un R2 de 0.02162 con el modelo Spline Lineal Cuadrático, y para finalizar S3 con 0,0325 bajo el modelo Spline lineal.**

# RESULTADOS

## Análisis de medida de resumen

**Resumen de los modelos implementados por parámetro (PM10 y PM2.5), por estación y por ambiente (Externo e Interno).**

Se estimaron modelos lineales y no lineales, los no lineales corresponden a modelos obtenidos mediante regresión por Spline lineales (de grado 1), cuadráticos (de grado 2) y Spline cúbico natural (de grado 3)

El número de grados de libertad y de cortes (knots) para la generación de los Splines es determinado, a partir de los quintiles (Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub>),

Variable	Min	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Max	Media	D. Estándar	Cof. Variación.
Exp. E1 MP2,5	4.642	7.306	8.439	9	11.972	8.33	1.521	0.1826
Exp. E1 MP10	5.896	8.571	9.715	10.642	13.748	9.637	1.536	0.1594
Ref. E1 MP2,5	0.622	6.252	9.016	11.847	19.913	9	4.403	0.465
Ref. E1 MP10	0.286	8.483	13.106	24.057	47.348	16.721	11.613	0.6945
Exp. E2 MP2,5	3.37	8.276	9.647	11.548	16.145	9.996	2.538	0.2539
Exp. E2 MP10	7.732	11.915	13,328	15.33	19.87	13.652	2.493	0.1826
Ref. E2 MP2.5	1.29	6.805	10.97	14.721	26.118	11.291	5.827	0.5161
Ref. E2 MP10	7.12	22.46	32.13	41.173	76.3	33.11	15.127	0.4569
Exp. S1 MP2,5	0.33	1.23	1.91	2.69	4.93	1.917	0.9772	0.4992
Exp. S2 MP2,5	0.01	1.025	1.67	2.4	5.24	1.738	1.089	0.6264
Exp. S3 MP2,5	0.17	0.97	1.66	2.57	4.43	1.77	1.021	0.5769
Exp. S1 MP10	2.41	2.971	3.279	3.613	5.184	3.366	0.6768	0.2011
Exp. S2 MP10	2.401	2.865	3.165	3.545	4.583	3.198	0.4694	0.1468
Exp. S3 MP10	2.39	2.667	3.128	3.509	4.904	3.131	0.5104	0.163
Ref. E2 MP2,5 Int.	0.346	1.254	1.498	1.689	2.74	1.524	0.455	0.2983
Ref. E2 MP10 Int.	2.39	2.67	3.128	3.509	4.902	3.13	0.5104	0.163



# PROTOCOLO DE CALIBRACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE SENSORES EN DIFERENTES AMBIENTES.

## OBJETIVO Y ALCANCE

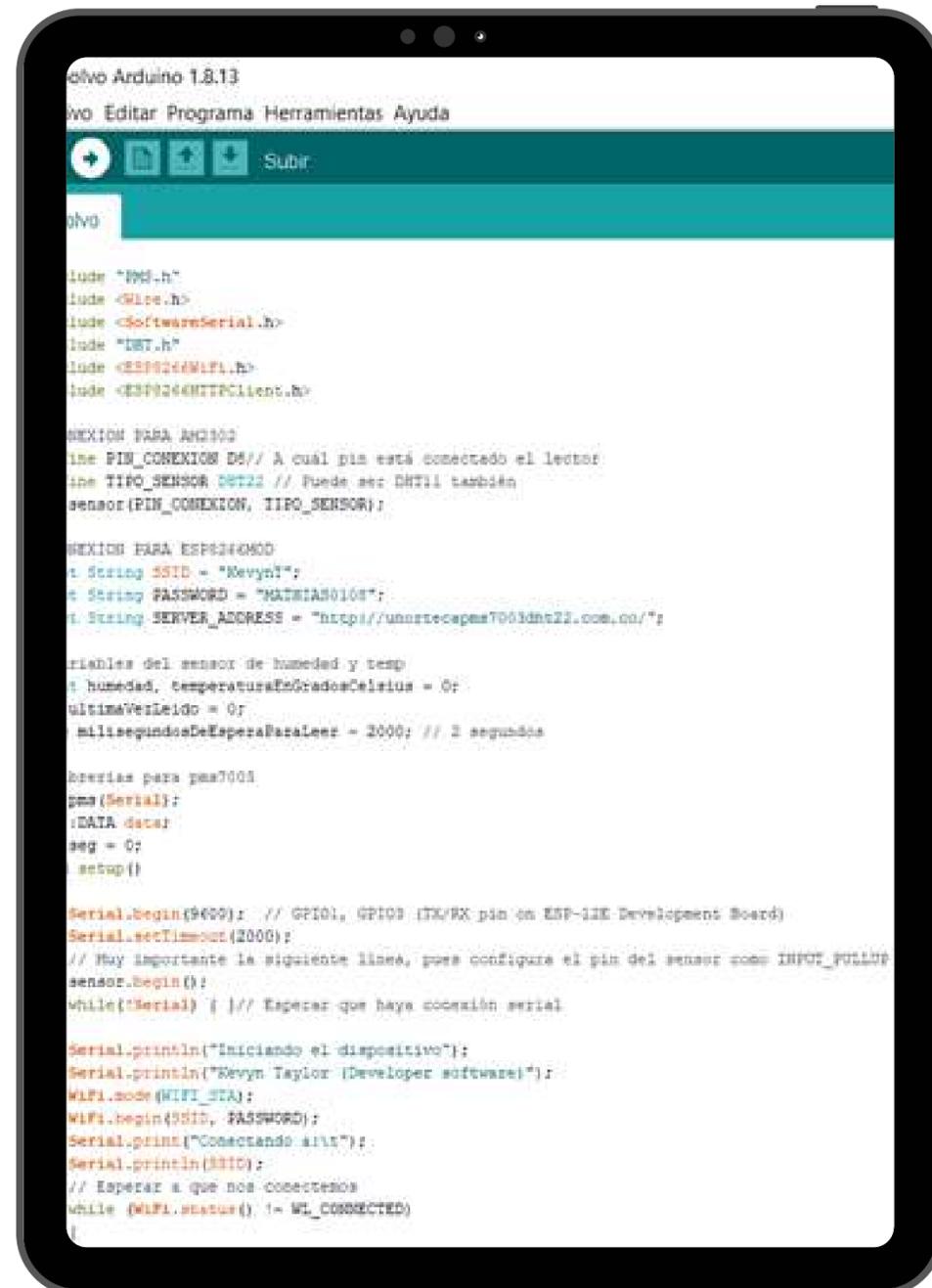
Pautas y principios de verificación.

## AMBIENTES

Exteriores e Interiores.

## CALIBRACIÓN Y PRECAUCIÓN

Instructivo de calibración PMS7003



```

Arduino 1.8.13
Arquivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Subir
PMS.h
Gpio.h
SoftwareSerial.h
TFT.h
ESP8266WiFi.h
ESP8266HTTPClient.h

// DISEÑO PARA Arduino
#define PIN_CONEXION D5 // A cuál pin está conectado el lector
#define TIPO_SENSOR SHT22 // Puede ser DHT11 también
Sensor(PIN_CONEXION, TIPO_SENSOR);

// DISEÑO PARA ESP8266
const String SSID = "ReynT";
const String PASSWORD = "MATIAS0108";
const String SERVER_ADDRESS = "http://unntecopms7003dht22.com.co/";

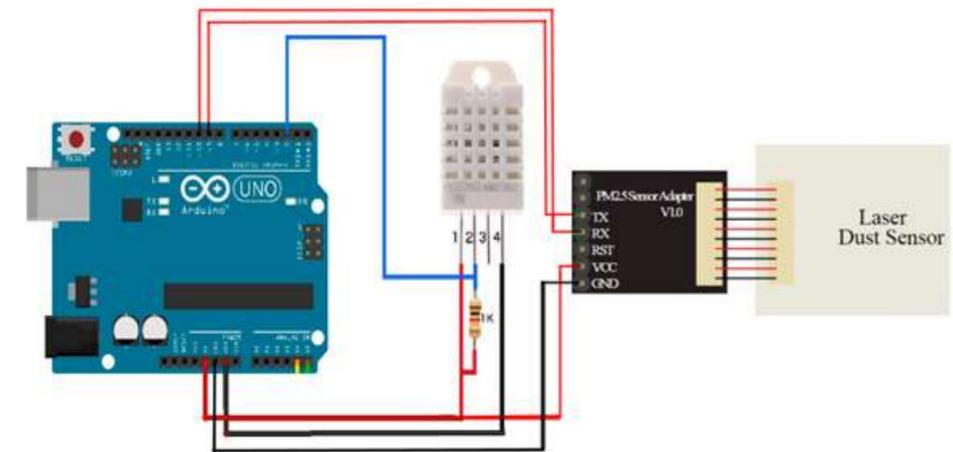
// Variables del sensor de humedad y temp
float humedad, temperaturaEnGradosCelsius = 0;
int ultimoVuelo = 0;
int milisegundosDeEsperaParaLeer = 2000; // 2 segundos

// Comandos para pms7003
void pms(Serial):
{
  DATA data;
  seg = 0;
  setup();
}

Serial.begin(9600); // GPIO1, GPIO3 (TX/RX pin on ESP-12E Development Board)
Serial.setTimeout(2000);
// Muy importante la siguiente línea, pues configura el pin del sensor como INPUT_PULLUP
sensor.begin();
while(!Serial) {} // Esperar que haya conexión serial

Serial.println("Iniciando el dispositivo");
Serial.println("Reyn Taylor (Developer software)");
WiFi.mode(WIFI_STA);
WiFi.begin(SSID, PASSWORD);
Serial.println("Conectando a internet");
Serial.println(SSID);
// Esperar a que nos conectemos
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
  }
  
```

## ENSAMBLE DEL SENSOR



- 1 Las calibraciones pueden ser afectadas por fluctuaciones de voltaje.
- 2 No se debe realizar la calibración bajo condiciones de inestabilidad de vientos.
- 3 No deben realizarse estas operaciones en condiciones de lluvia, tormentas o, neblinas.

# FORMATO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

 <b>FORMATO CALIBRACION DE SENSORES LOW-COST</b>	
INFORMACION DEL SERVICIO	
ESTACION / COORDENADA	
ID SENSOR	
RESPONSABLE	
FECHA	
UNIDAD DE MEDIDA	
Sensor en Ambiente Exterior	PM2.5
	VALOR REAL      VALOR AJUSTADO
	15,61 <b>13,38949</b>
	PM10
17,91 <b>32,5488724</b>	
Sensor en Ambiente Interior	PM2.5
	2,99 <b>1,8355001</b>
	PM10
	4,31 <b>2,2182869</b>

UBICACIÓN DE MONITOREO

IDENTIFICADOR DEL SENSOR S1

ENCARGADO DE CALIBRACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN

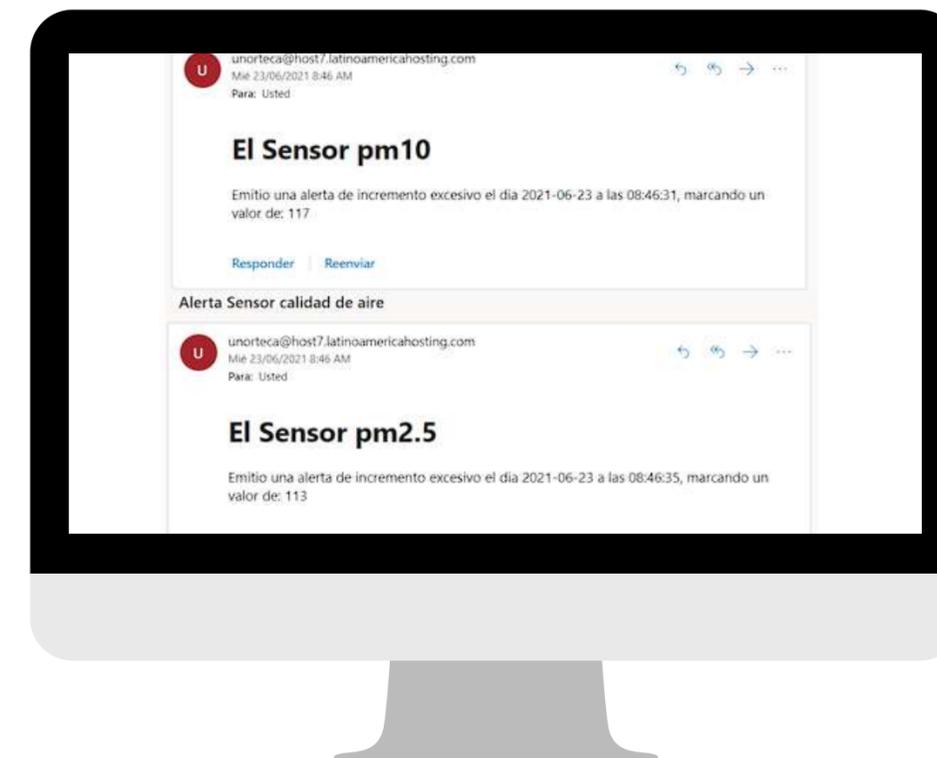
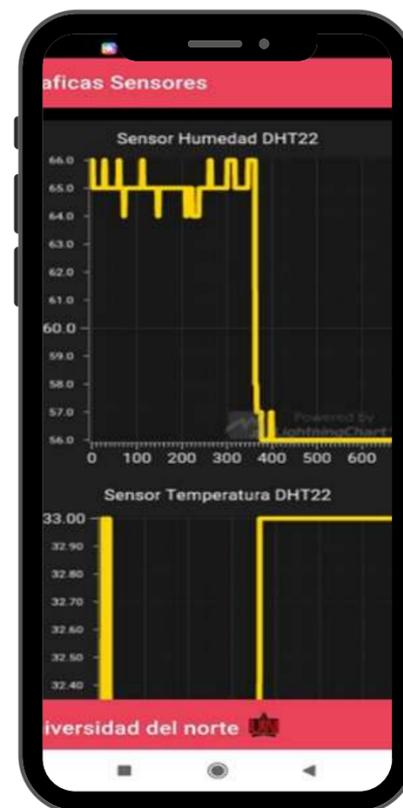
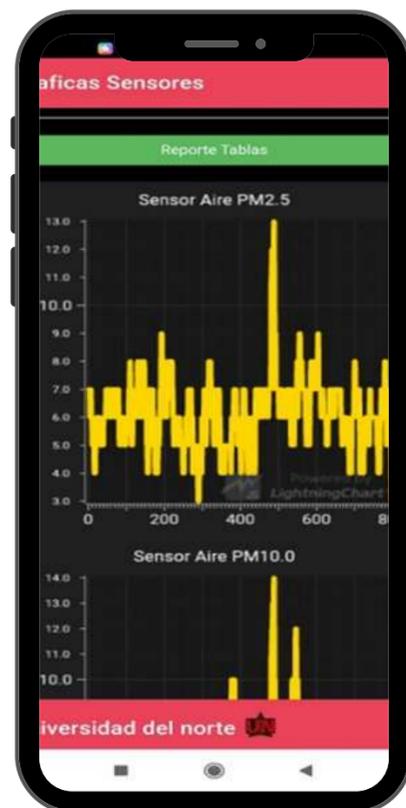
UNIDAD DE MEDIDA (mg/m3 o ug/m3)

VALORES OBTENIDOS EN MEDICION  
(DATOS CRUDOS)



# DISEÑO DE PLATAFORMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE Y SISTEMA DE ALERTA

PLATAFORMA DE MONITOREO -----DESARROLLO DE APLICATIVO MOVIL--SEGUIMIENTO DE CALIDAD DE AIRE



# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

No se presenta una buena correlación entre los conjuntos de datos de los sensores experimentales y los equipos de referencia.

Al identificar posibles puntos críticos de contaminación del aire los sensores tienen un comportamiento similar.

Los sensores Low-Cost tienen potencial para ser utilizados para detectar rápidamente grandes áreas de contaminación.

## DISEÑO DE CÁMARA AISLADA

Evaluar el comportamiento de las **variables meteorológicas**, para encontrar finalmente una **ecuación** que incluya la dependencia existente entre estas y la señal reportada por el sensor.

## DISEÑO DE SISTEMA DE DESHUMIDIFICACIÓN

**Controlar** la **humedad** en campo y lograr **automatizar** el filtrado en los equipos por correcciones adicionales



**CASAP IX**  
CONGRESO COLOMBIANO Y  
CONFERENCIA INTERNACIONAL  
DE CALIDAD DE AIRE, CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD PÚBLICA



**MSc. SEBASTIAN RUGELES AHUMADA**  
RUGELESS@UNINORTE.EDU.CO  
3013442550



**PH.D DAYANA AGUDELO CASTAÑEDA**  
MDAGUDELO@UNINORTE.EDU.CO  
3015493883