

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

Facultad de Ingeniería



Diseño de un sistema de monitoreo para evaluar el comportamiento de la hoja del café arábico con respecto al ambiente empleando sensores, Regresión Lineal Múltiple e IoT

Sistemas Embebidos - TRABAJO FINAL

Ciclo: 2021-2

Profesor: Rubén Eusebio Acosta Jacinto

Integrantes

Ayala Galarza, Luis Ángel
Casimiro Cajas, Kimberly

U201714518
U201821486



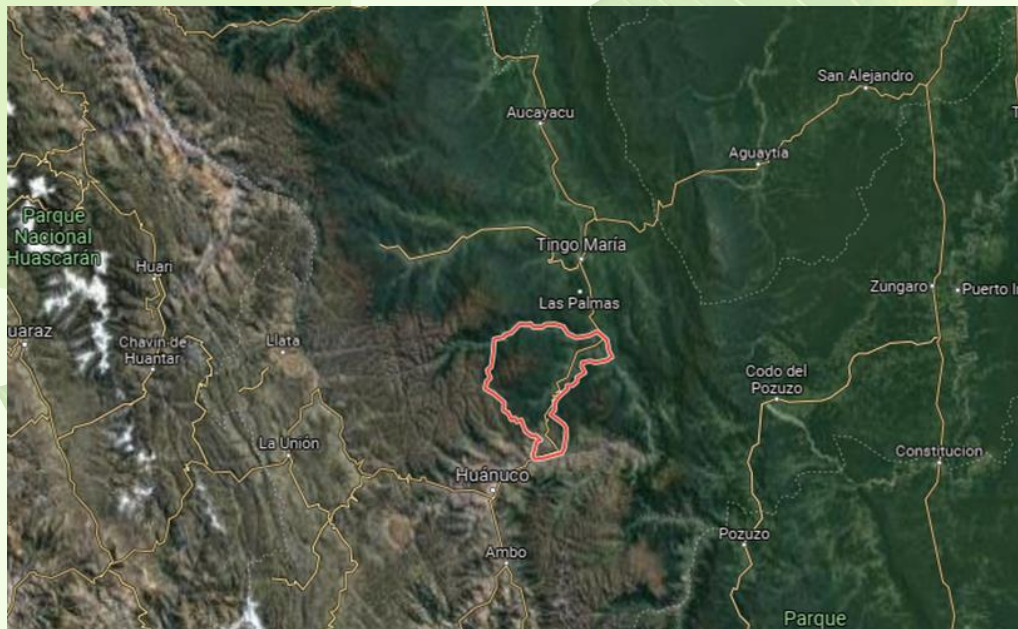
1. Antecedentes

Antecedentes

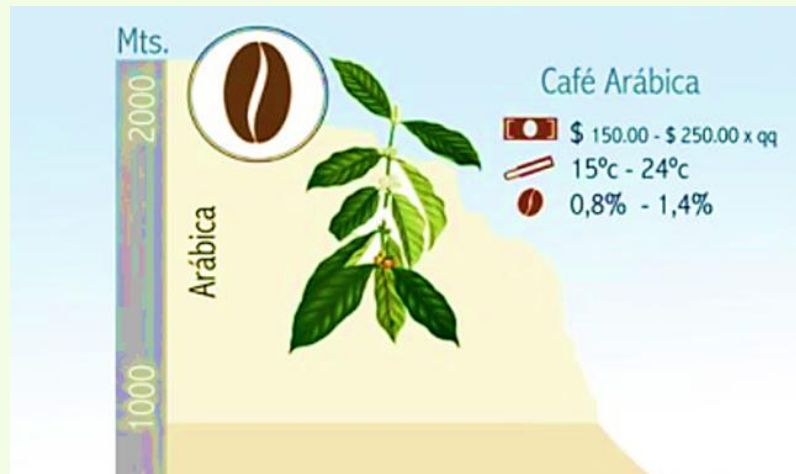


- Aplicación del Internet de las cosas a través de una red de sensores inalámbricos en un cultivo de café para monitorear y controlar sus variables ambientales (2019)
- Catálogo IoT 2021 (Internet de las cosas) Para el Monitoreo Continuo y en Tiempo Real de Ambientes Agrícolas, Naturales y Artificiales (2021)
- Desarrollo y validación de un diagrama de área estándar para estimar la severidad de la roya de la hoja en Café arabica y *C. canephora*. (2011)
- Clip de sensor de temperatura "ecológico" compatible con Leaf para redes inalámbricas de monitoreo de alta densidad (2015)

Limitaciones



Distrito de Chinchao, Huánuco

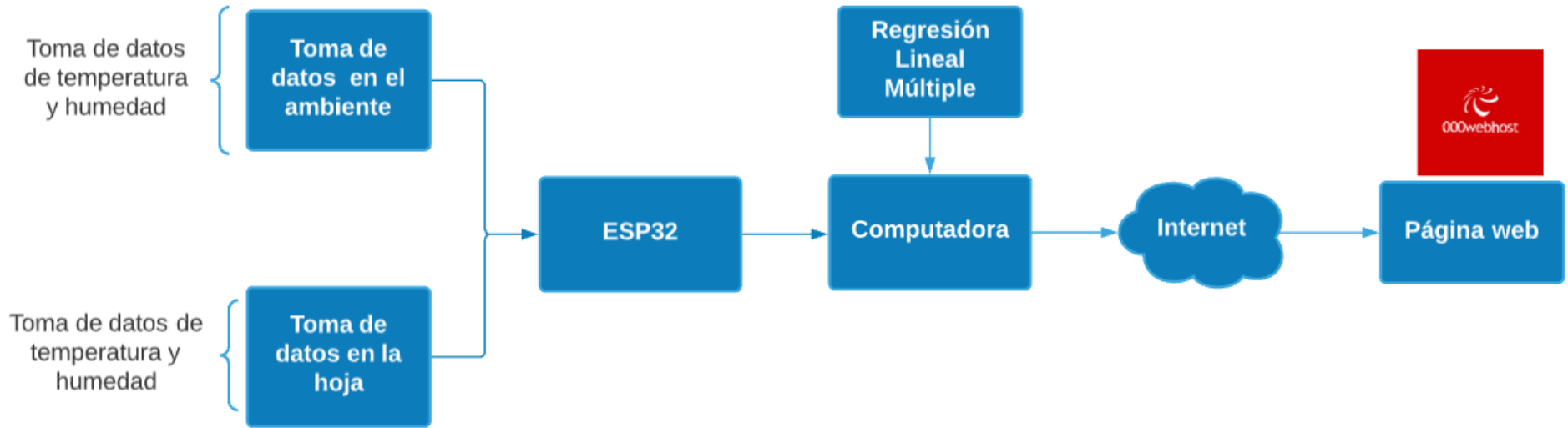


Café arábico



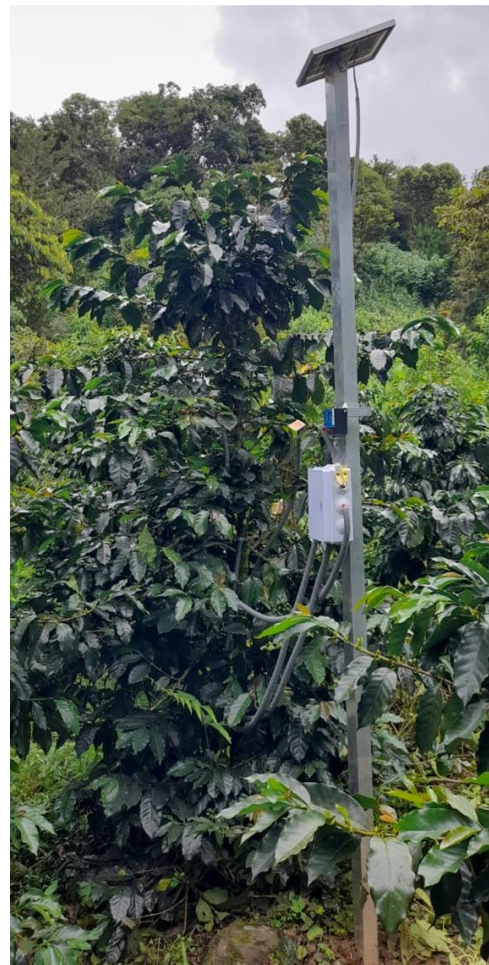
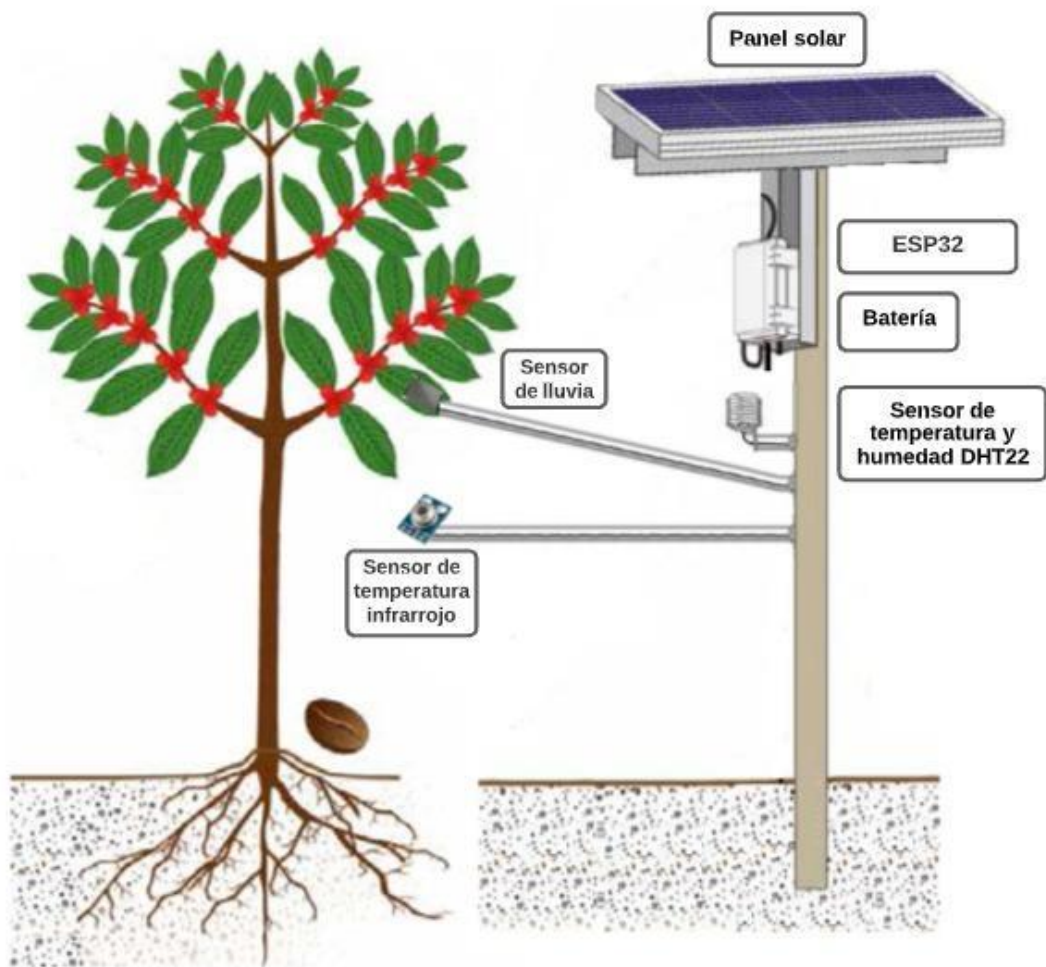
2. Diagrama de bloques

Diagrama de bloques





2. Diseño de disposición de sensores



4.7 Estructura



Tubo corrugado



Teflón



Tubo rectangular de aluminio



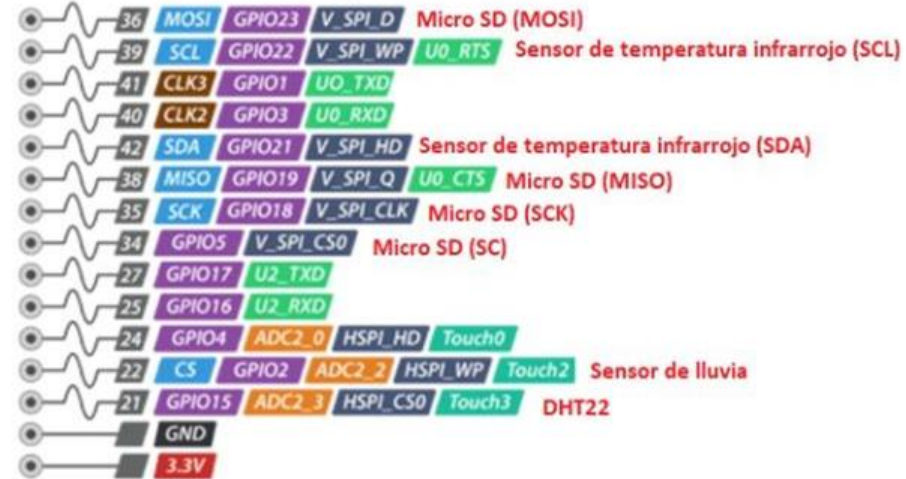
3. Fase 1: Medición y recolección de data



3.1. Mediciones de los parámetros (humedad y temperatura)

Mediciones de los parámetros

Conexiones



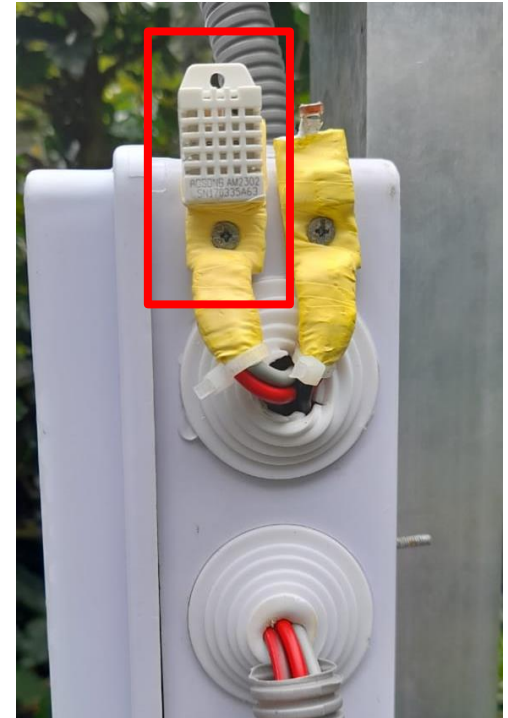
Mediciones de los parámetros

Humedad y temperatura del ambiente

Dht22

- Voltaje de alimentación: 3.3v a 5V
- Corriente de consumo: max 2.5 mA durante la solicitud de datos
- Máxima velocidad de muestreo: 2 segundos
- Rango de medición de humedad: 0-100% $\pm 2\%$ de exactitud
- Rango de medición de temperatura: -40°C a 80°C $\pm 0.5^{\circ}$ de exactitud

Temp. ambiente,	Temp. hoja,	Hum. ambiente,	Hum. hoja,	Luz ambiente,	Luz hoja,	Fecha,	hora
24.30,	25.69,	62.70,	35.41,	72.87,	77.61,	29/11/2021,	11:37
24.30,	25.79,	61.40,	0.00,	75.31,	32.97,	29/11/2021,	12:07
24.30,	25.43,	64.40,	36.56,	74.68,	41.81,	29/11/2021,	13:07
24.30,	25.61,	64.00,	32.14,	74.14,	13.41,	29/11/2021,	13:37



4.1 Mediciones de los parámetros

Humedad del la hoja

Sensor de lluvia

- Corriente de operación:
15mA
- Voltaje de Operación:
- 3.3 V – 5 V
- Superficie Niquelada
resistente a la oxidación
- Salida analógica (ADC) :
0 a 4095 (12 bits)

1	Temp. ambiente, Temp. hoja, Hum. ambiente, Hum. hoja, Lu
2	24.30,25.69,62.70,35.41,72.87,77.61,29/11/2021,11:37
3	24.30,25.79,61.40,0.00,75.31,32.97,29/11/2021,12:07
4	24.30,25.43,64.40,36.56,74.68,41.81,29/11/2021,13:07
5	24.30,25.61,64.00,32.14,74.14,13.41,29/11/2021,13:37



Mediciones de los parámetros

Temperatura de la hoja

Sensor de temperatura infrarrojo MLX90614

- Voltaje de operación: 3.3V - 5V DC
- Rango de temperatura ambiente de trabajo: -40°C hasta $+170^{\circ}\text{C}$
- Rango de temperatura de objeto: -70°C hasta $+380^{\circ}\text{C}$
- Precisión: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$



Mediciones de los parámetros

LDR (Bajo el Dosel)

LDR

- Voltaje de alimentación: 3.3V-5V
- Salida analógica y digital(comparador)
- Potenciómetro para ajuste de comparador

Temp. ambiente, Temp. hoja, Hum. ambiente, Hum. hoja, Luz ambiente, Luz hoja, Fecha, hora			
24.30,25.69,62.70,35.41,72.87,77.61,29/11/2021,11:37			
24.30,25.79,61.40,0.00,75.31,32.97,29/11/2021,12:07			
24.30,25.43,64.40,36.56,74.68,41.81,29/11/2021,13:07			
24.30,25.61,64.00,32.14,74.14,13.41,29/11/2021,13:37			



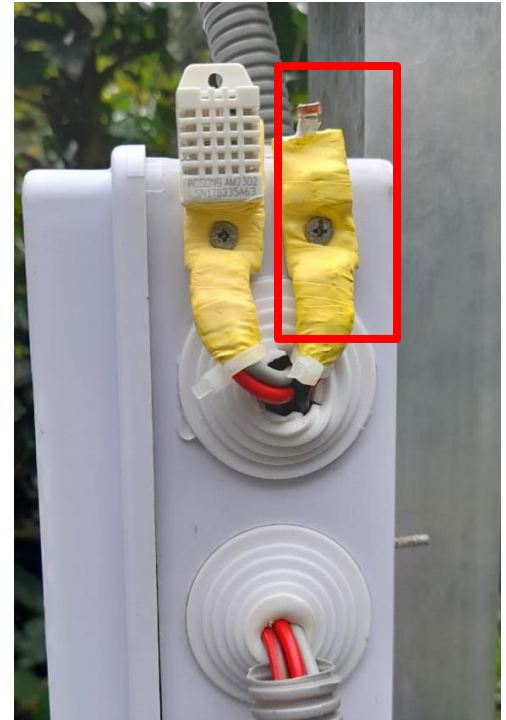
Mediciones de los parámetros

LDR (Sobre Dose)

LDR

- Voltaje de alimentación: 3.3V-5V
- Salida analógica y digital(comparador)
- Potenciómetro para ajuste de comparador

Temp. ambiente, Temp. hoja, Hum. ambiente, Hum. hoja, Luz ambiente, Luz hoja, Fecha, hora			
24.30,25.69,62.70,35.41,72.87,77.61,29/11/2021,11:37			
24.30,25.79,61.40,0.00,75.31,32.97,29/11/2021,12:07			
24.30,25.43,64.40,36.56,74.68,41.81,29/11/2021,13:07			
24.30,25.61,64.00,32.14,74.14,13.41,29/11/2021,13:37			





3.2

Almacenamiento de datos

Almacenamiento de datos

Módulo lector de memoria micro SD card

- Voltaje de Operación: 3.3V - 5V
- Interfaz: SPI
- Cuenta con todos los pines SPI de la tarjeta SD: MOSI, MISO, SCK, CS
- Te permite almacenar grandes cantidades de datos en memorias SD

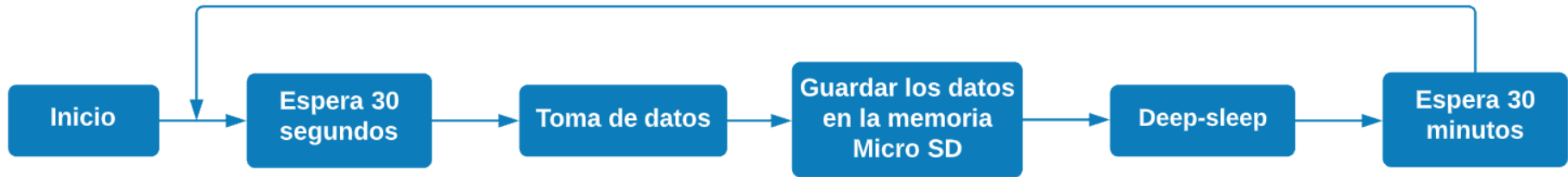


Guardar datos en formato csv

(Temp ambiente, Temp hoja, Humedad ambiente, Humedad hoja, Luz ambiente, Luz hoja, Fecha, Hora)

Almacenamiento de datos

Módulo lector de memoria micro SD card



Almacenamiento de datos

Módulo lector de memoria micro SD card

1	Temp. Ambiente, Temp. Hoja, Hum. Ambiente, Hum. Hoja, Luz ambiente, Luz hoja, Fecha, hora			
2	24.08,25.5,66.9,51.15,53.82,80.32,18/11/2021,14:37			
3	23.73,21.46,79.32,54.72,55.63,53.67,18/11/2021,15:07			
4	23.74,24.67,77.85,77.25,76.85,64,18/11/2021,15:37			
5	21.63,20.01,78.36,12.35,83.06,51.93,18/11/2021,16:08			
6	25.42,22.13,61.76,73.14,63.75,80.78,18/11/2021,16:38			



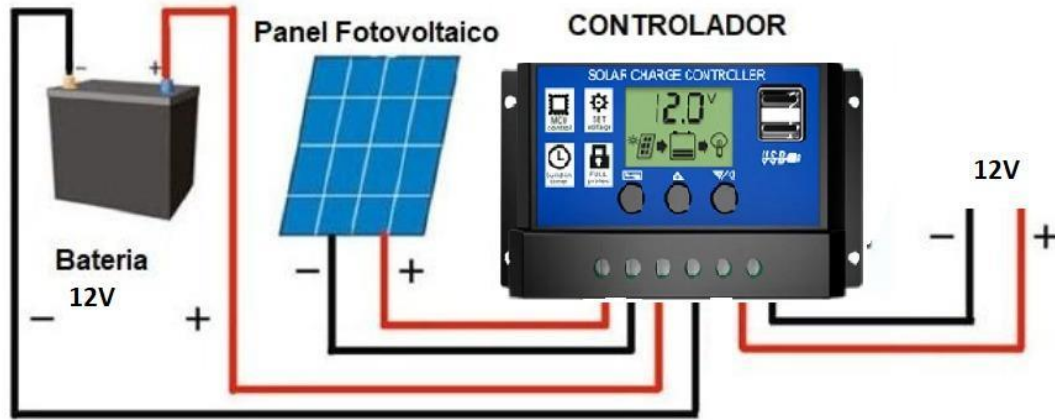


3.3

Energización del circuito

Energización del circuito

Conexiones



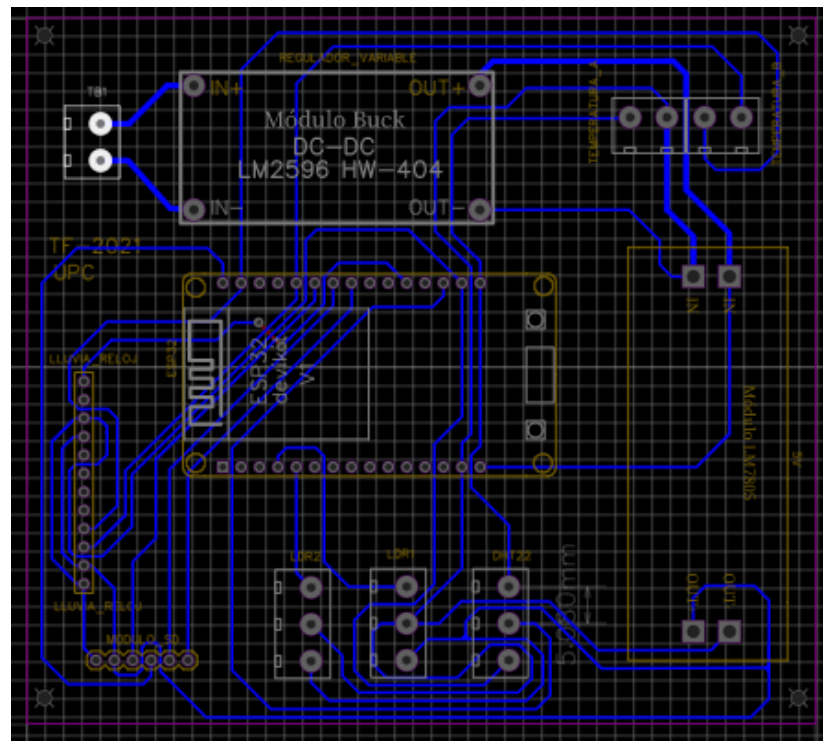
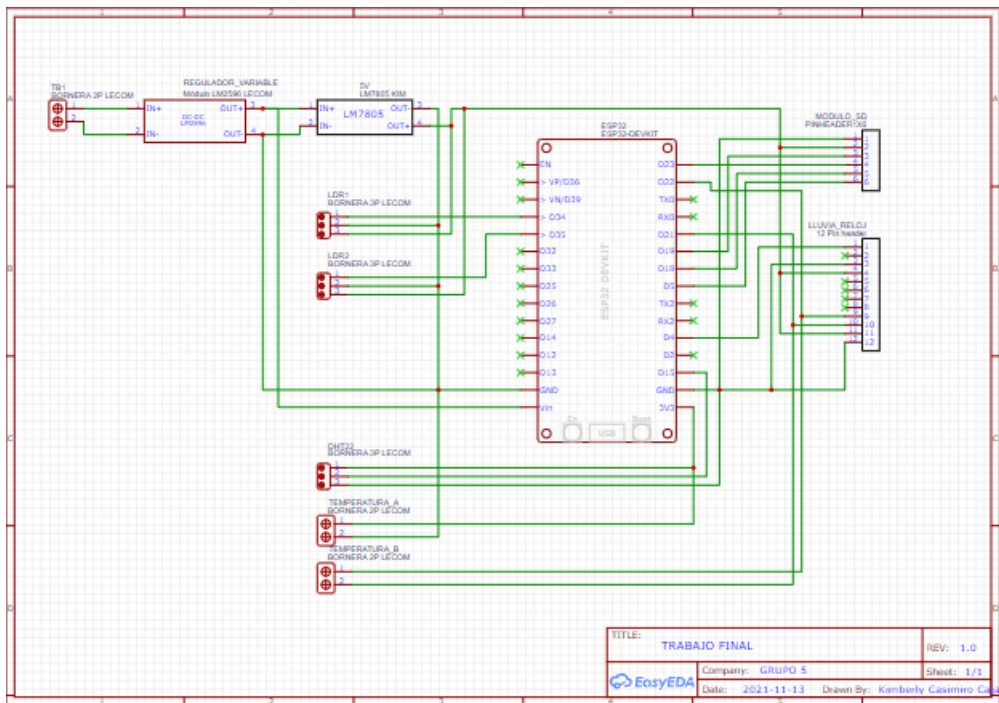


3.4

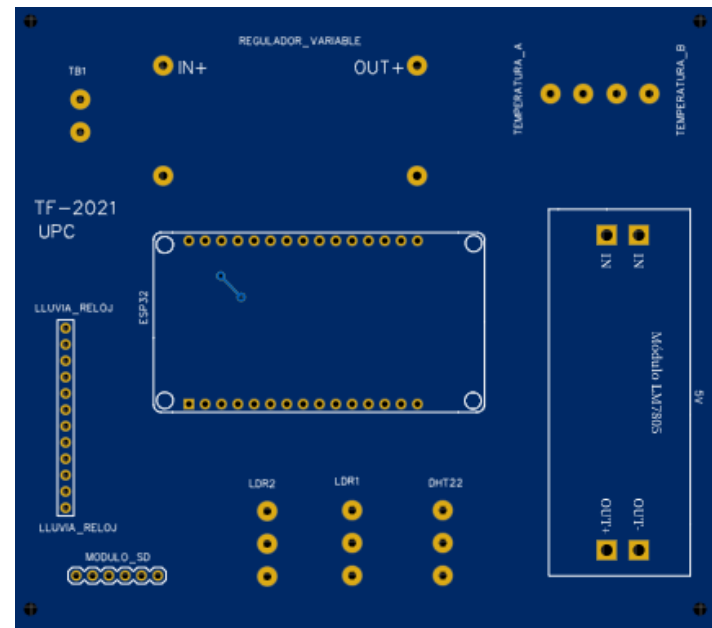
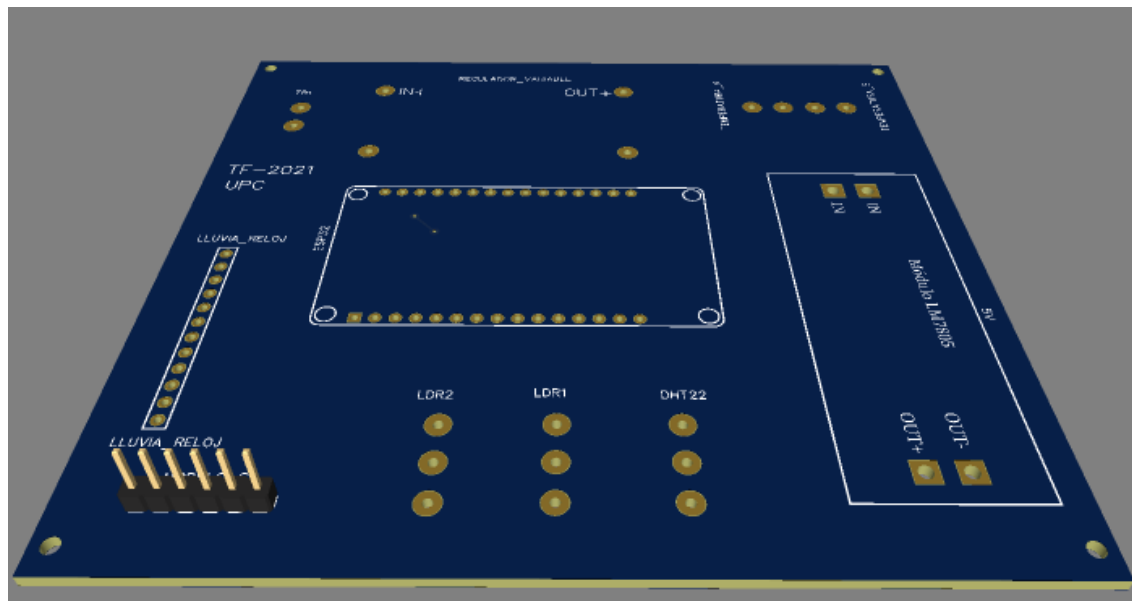
Diseño del circuito del proyecto

PCB

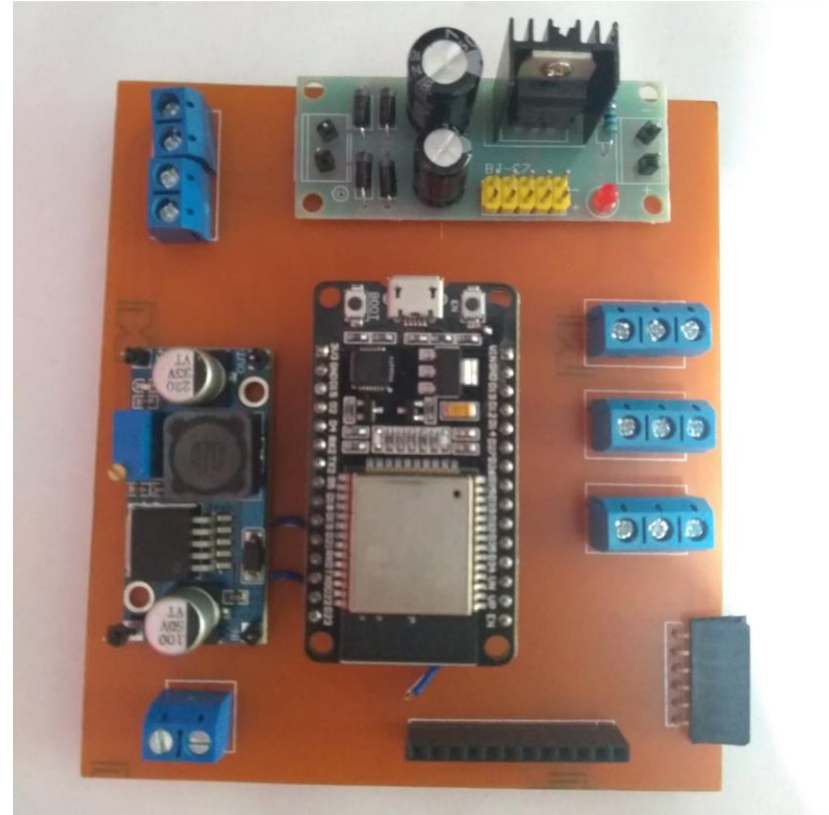
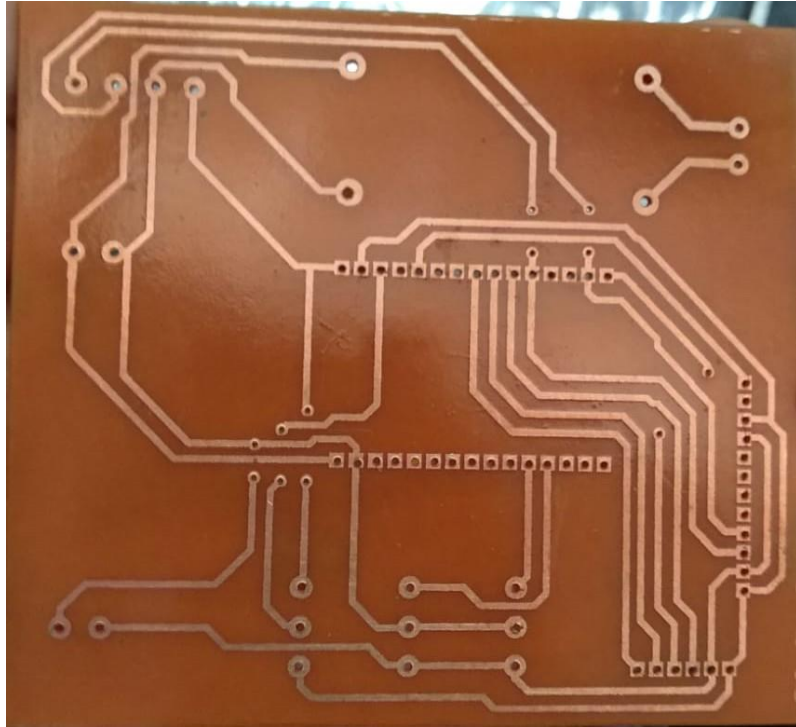
Conexiones



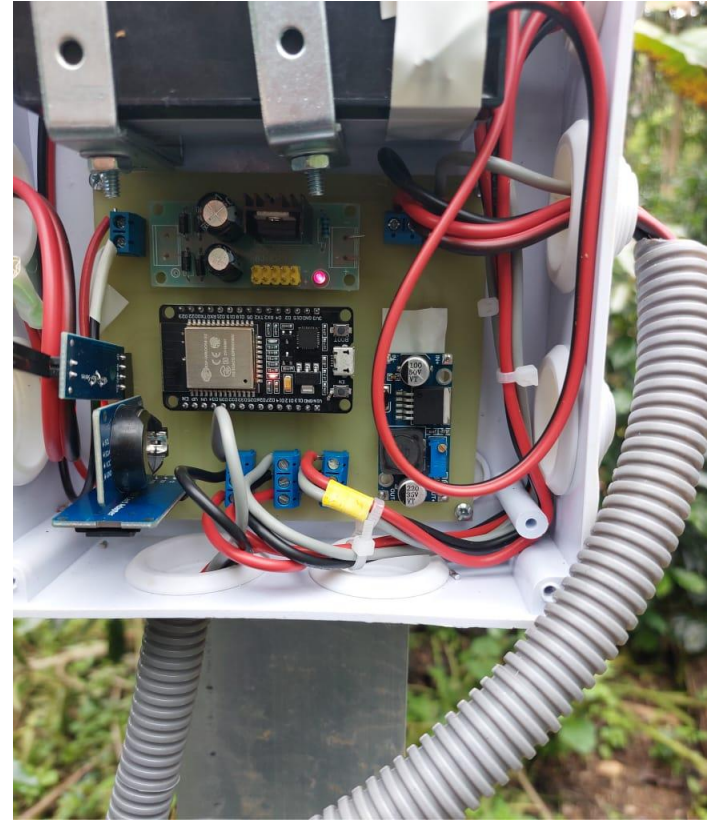
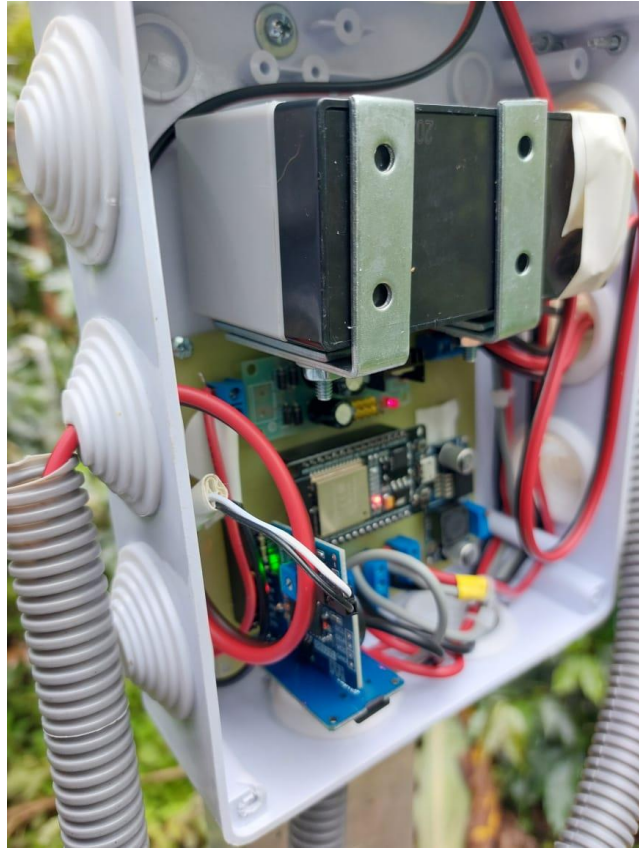
PCB



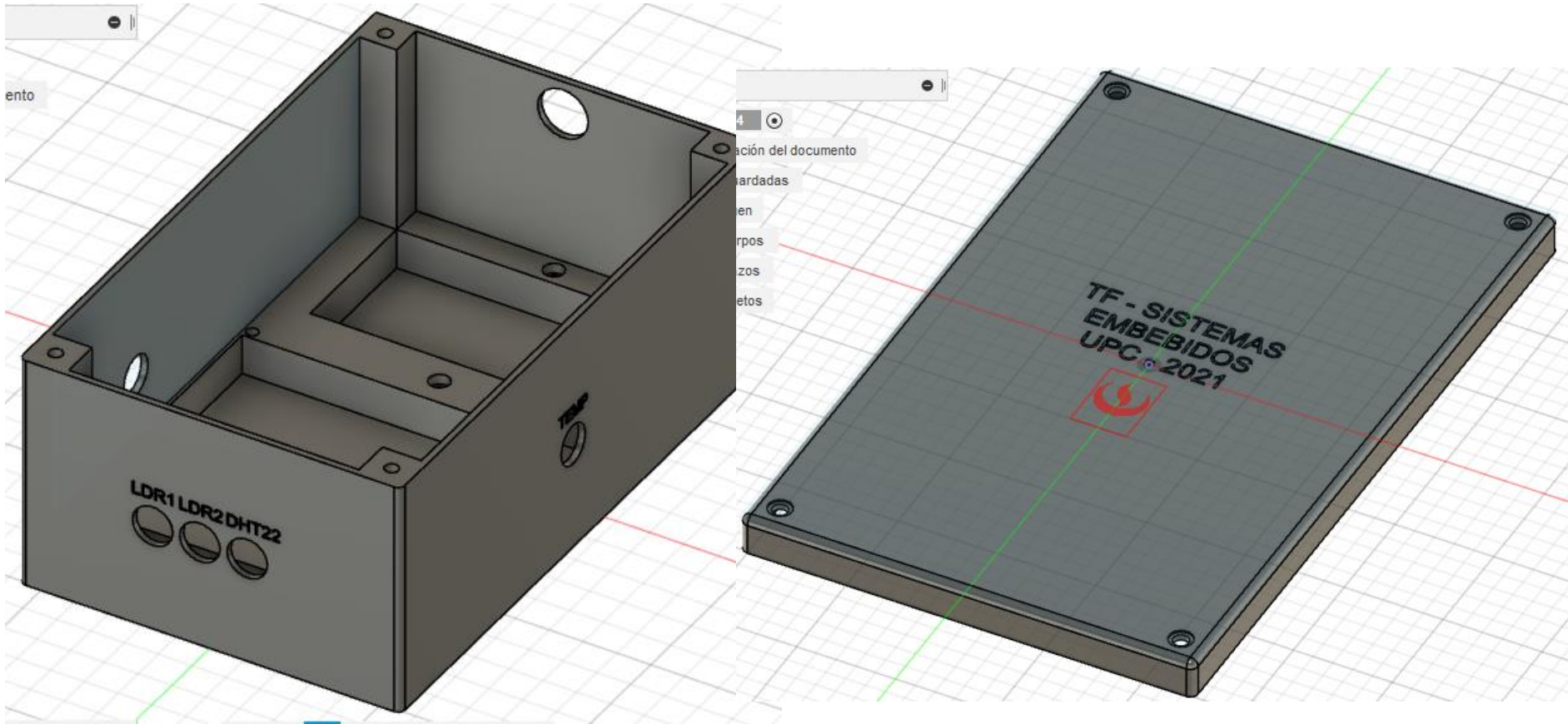
PCB




Circuito



BOX





4. Fase 2: Procesamiento de la data

Condiciones favorables para el
desarrollo de roya amarilla:

Temperatura: 21°C-25 °C

Humedad relativa: Mayor a 80%

4. Procesamiento de la data

Regresión lineal múltiple

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik} + u_i$$

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ coeficientes de regresión

4. Procesamiento de la data

Datos

	Temp. Ambiente	Temp. Hoja	Hum. Ambiente	Hum. Hoja	Luz ambiente	Luz hoja
0	24.08	25.50	66.90	51.15	53.82	80.32
1	23.73	21.46	79.32	54.72	55.63	53.67
2	23.74	24.67	77.85	77.25	76.85	64.00
3	21.63	20.01	78.36	12.35	83.06	51.93
4	25.42	22.13	61.76	73.14	63.75	80.78
...
667	25.02	23.98	74.79	1.45	40.25	25.24
668	24.23	21.15	74.37	52.37	38.45	26.56
669	23.10	24.99	65.59	87.68	32.29	20.10
670	25.56	23.32	63.98	33.79	28.76	40.20
671	25.95	23.53	69.05	66.78	31.90	18.39

672 rows × 6 columns

4. Procesamiento de la data

Coeficiente de correlación r

$$r = \frac{\sum [(x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 * \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

	Variable 1	Variable 2	r	abs_r
34	Luz hoja	Luz ambiente	0.813507	0.813507
29	Luz ambiente	Luz hoja	0.813507	0.813507
30	Luz hoja	Temp. Ambiente	0.071449	0.071449
5	Temp. Ambiente	Luz hoja	0.071449	0.071449
4	Temp. Ambiente	Luz ambiente	0.053450	0.053450
24	Luz ambiente	Temp. Ambiente	0.053450	0.053450
12	Hum. Ambiente	Temp. Ambiente	-0.033780	0.033780
2	Temp. Ambiente	Hum. Ambiente	-0.033780	0.033780
26	Luz ambiente	Hum. Ambiente	0.033059	0.033059
16	Hum. Ambiente	Luz ambiente	0.033059	0.033059

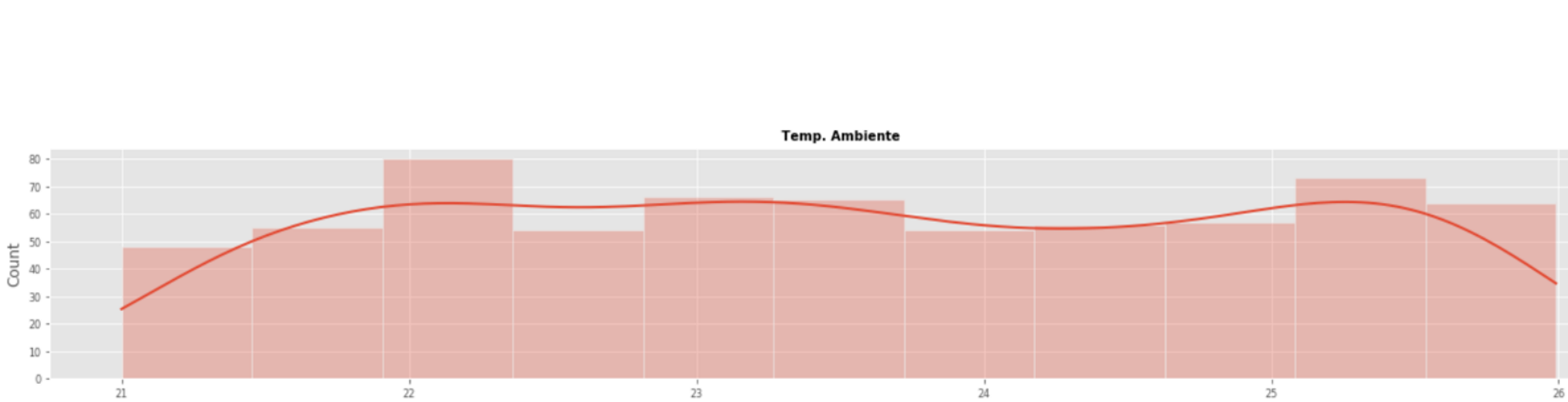
4. Procesamiento de la data

Matriz de las correlaciones

Temp. Ambiente	1	-0.0073	-0.034	-0.011	0.053	0.071
Temp. Hoja	-0.0073	1	0.015	0.0027	0.021	-0.0012
Hum. Ambiente	-0.034	0.015	1	-0.0089	0.033	0.0034
Hum. Hoja	-0.011	0.0027	-0.0089	1	-0.02	0.0039
Luz ambiente	0.053	0.021	0.033	-0.02	1	0.81
Luz hoja	0.071	-0.0012	0.0034	0.0039	0.81	1
	Temp. Ambiente	Temp. Hoja	Hum. Ambiente	Hum. Hoja	Luz ambiente	Luz hoja

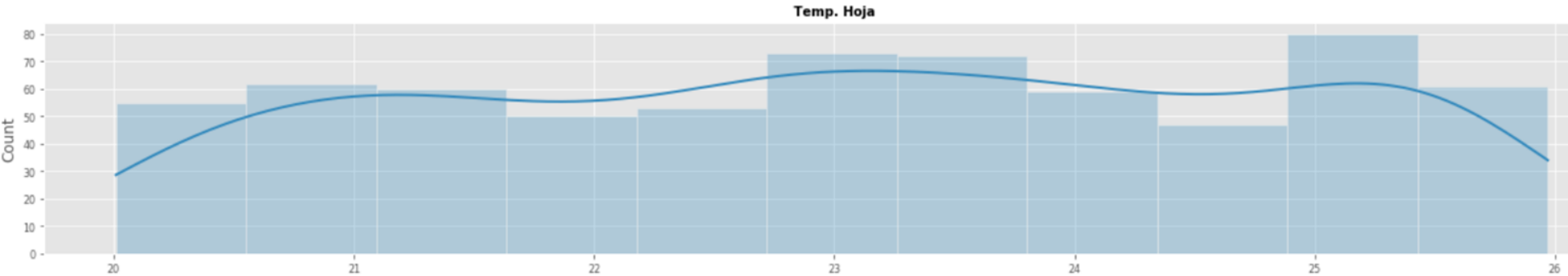
4. Procesamiento de la data

Distribución de las variables



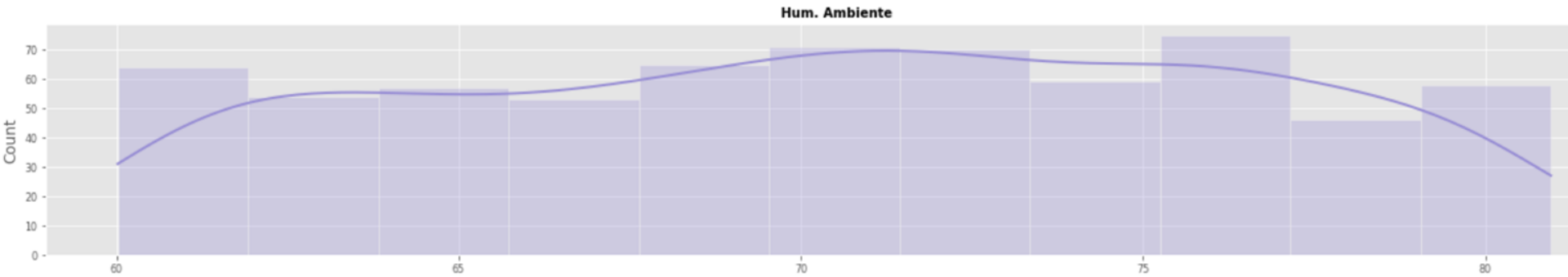
4. Procesamiento de la data

Distribución de las variables



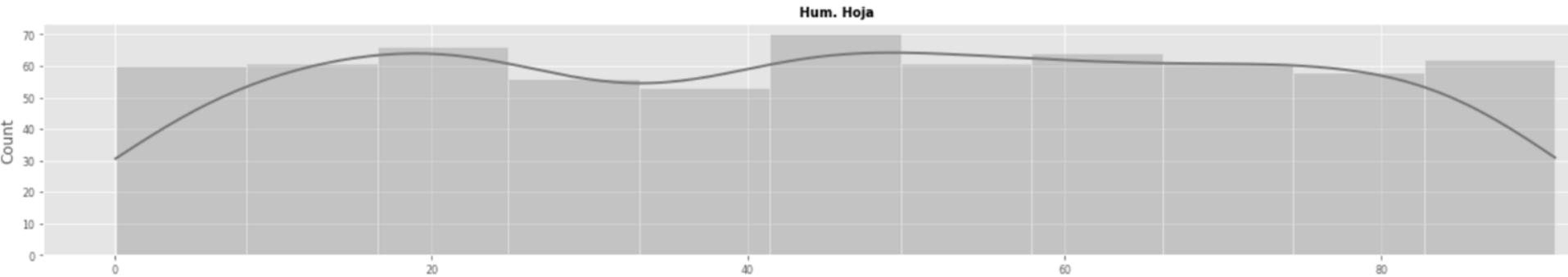
4. Procesamiento de la data

Distribución de las variables



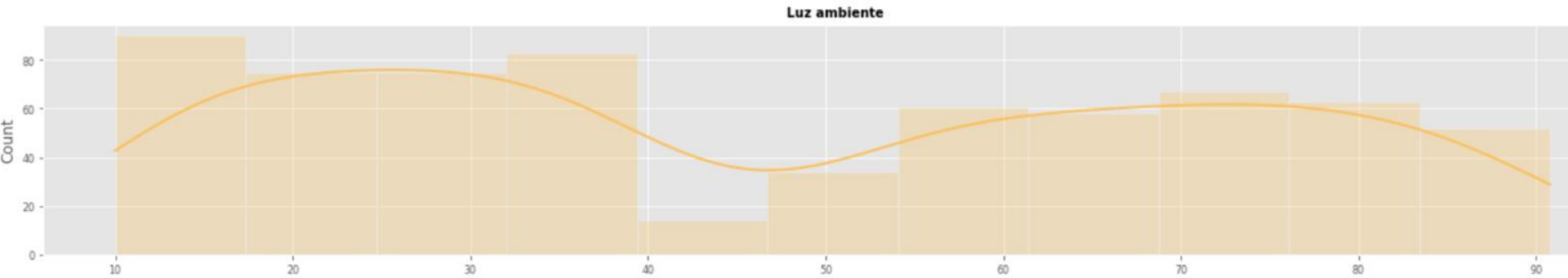
4. Procesamiento de la data

Distribución de las variables



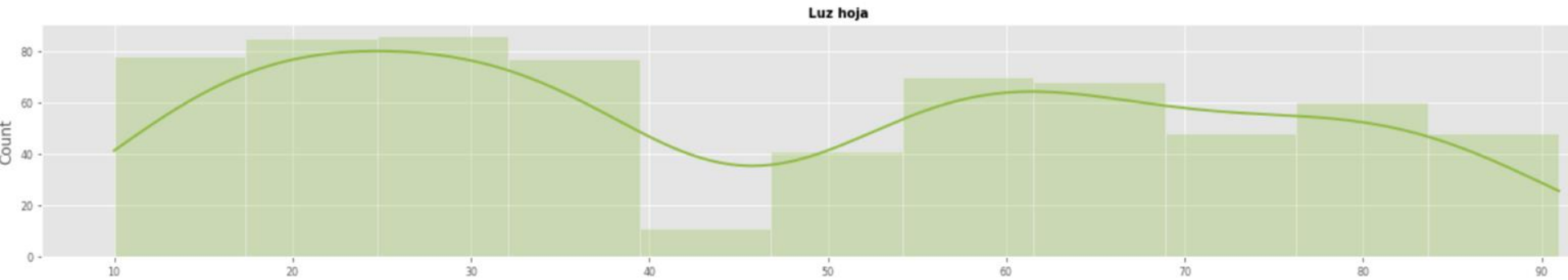
4. Procesamiento de la data

Distribución de las variables



4. Procesamiento de la data

Distribución de las variables



4. Procesamiento de la data

Visualización en página web

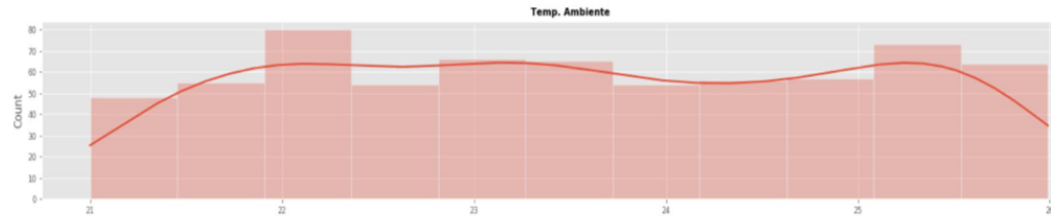
Diseño de un sistema de monitoreo para evaluar el comportamiento de la hoja del café con respecto al ambiente empleando sensores, deep learning e IoT.

Dataset capturado con los sensores

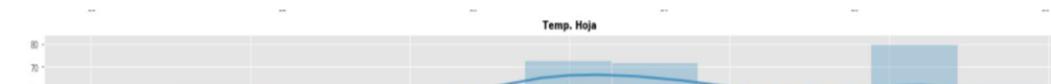
	Temp. Ambiente	Temp. Hoja	Hum. Ambiente	Hum. Hoja	Luz ambiente	Luz hoja
0	24.08	25.50	66.90	51.15	53.82	80.32
1	23.73	21.46	70.32	54.72	55.63	53.67
2	23.74	24.67	77.65	77.25	76.85	64.00
3	21.63	20.01	76.36	12.35	83.06	51.93
4	25.42	22.13	61.76	73.14	63.75	80.78
...
667	25.02	23.98	74.79	1.45	40.25	25.24
668	24.23	21.15	74.37	52.37	38.45	26.56
669	23.10	24.99	65.59	87.68	32.29	20.10
670	25.56	23.32	63.98	33.79	28.78	40.20
671	25.95	23.53	69.05	66.78	31.90	18.39

672 rows × 6 columns

Distribución de los valores de la Temperatura del ambiente



Distribución de los valores de la Temperatura de la hoja



4. Procesamiento de la data

Regresión con el método OLS

OLS Regression Results						
=====						
Dep. Variable:	y	R-squared:	0.003			
Model:	OLS	Adj. R-squared:	-0.005			
Method:	Least Squares	F-statistic:	0.3227			
Date:	Sat, 04 Dec 2021	Prob (F-statistic):	0.899			
Time:	06:16:05	Log-Likelihood:	-1250.9			
No. Observations:	638	AIC:	2514.			
Df Residuals:	632	BIC:	2541.			
Df Model:	5					
Covariance Type:	nonrobust					
=====						
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]

const	22.6875	1.425	15.918	0.000	19.889	25.486
Hum. Hoja	-8.551e-05	0.003	-0.033	0.974	-0.005	0.005
Temp. Ambiente	-0.0084	0.047	-0.176	0.860	-0.102	0.085
Hum. Ambiente	0.0074	0.012	0.643	0.520	-0.015	0.030
Luz ambiente	0.0049	0.005	1.036	0.301	-0.004	0.014
Luz hoja	-0.0042	0.005	-0.853	0.394	-0.014	0.005
=====						

Dep. Variable:	y	R-squared:	0.003			
Model:	OLS	Adj. R-squared:	-0.005			
Method:	Least Squares	F-statistic:	0.3227			
Date:	Sat, 04 Dec 2021	Prob (F-statistic):	0.899			
Time:	06:16:05	Log-Likelihood:	-1250.9			
No. Observations:	638	AIC:	2514.			
Df Residuals:	632	BIC:	2541.			
Df Model:	5					
Covariance Type:	nonrobust					
=====						
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]

const	22.6875	1.425	15.918	0.000	19.889	25.486
Hum. Hoja	-8.551e-05	0.003	-0.033	0.974	-0.005	0.005
Temp. Ambiente	-0.0084	0.047	-0.176	0.860	-0.102	0.085
Hum. Ambiente	0.0074	0.012	0.643	0.520	-0.015	0.030
Luz ambiente	0.0049	0.005	1.036	0.301	-0.004	0.014
Luz hoja	-0.0042	0.005	-0.853	0.394	-0.014	0.005
=====						

4. Procesamiento de la data

Modelo de la regresión múltiple

$$\begin{aligned} Temp_{Hoja} = & 22.6875 - 0.8551 \times 10^{-5} \times Hum_{hoja} - 0.0084 \times Temp_{amb} + 0.0074 \times Hum_{amb} \\ & + 0.0049 \times Luz_{amb} - 0.0042 \times Luz_{hoja} \end{aligned}$$

4. Procesamiento de la data

Predicción

	Temp. Ambiente	Temp. Hoja	Hum. Ambiente	Hum. Hoja	Luz ambiente	Luz hoja
0	24.08	25.50	66.90	51.15	53.82	80.32
1	23.73	21.46	79.32	54.72	55.63	53.67
2	23.74	24.67	77.85	77.25	76.85	64.00
3	21.63	20.01	78.36	12.35	83.06	51.93
4	25.42	22.13	61.76	73.14	63.75	80.78
...
497	24.10	22.62	69.74	39.29	66.13	66.00
498	21.28	22.30	66.52	63.73	87.78	86.75
499	24.39	21.59	75.57	22.30	83.12	62.70
500	24.65	25.92	67.99	0.11	71.13	88.39
501	25.49	22.52	72.60	71.82	77.79	79.30

	mean	mean_se	mean_ci_lower	mean_ci_upper	obs_ci_lower	obs_ci_upper
376	23.015905	0.151350	22.718695	23.313115	19.611131	26.420679
501	23.060419	0.161256	22.743756	23.377081	19.653891	26.466946
360	23.045432	0.138262	22.773924	23.316940	19.642805	26.448059
625	23.123929	0.110775	22.906396	23.341461	19.725183	26.522674

El error (rmse) de test es: 1.762613670425214

The background is a solid light green color. On the left side, there are several decorative elements: a large, detailed green leaf with visible veins, a smaller solid green leaf, and several overlapping circles in different shades of green (light, medium, and dark).

5. Conclusiones

6. Conclusiones

- Se concluye que con la regresión lineal múltiple se logró un modelo entrenado de la temperatura de la hoja que se aleja en promedio de 1.76°C en promedio con el valor real.
- Se concluye que el sensor de lluvia no es muy preciso para tomar los datos de la humedad de la hoja, debido a que debe estar con gotas de lluvia en todo su plataforma para que pueda capturar la información, sino su valor será de 0.
- Se concluye que la ubicación del sensor infrarrojo con respecto a la hoja para medir la temperatura de la hoja influye en poco en sus valores.