

## Prototipo de estación agrometeorológica de monitoreo de datos climatológicos

### Prototype of agrometeorological station of monitoring of climatological data

DE LEÓN-CASTREJÓN, Andrés†\*, HERNÁNDEZ-ESTRADA, Pedro Pablo, NORIEGA-CANTÚ, David Heriberto y VILLEGAS-VERGARA, Alfonso

*Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Andrés, De León-Castrejón* / **ORC ID:** 0000-0003-2864-2358, **CVU CONACYT ID:** 744847

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Pedro Pablo, Hernández-Estrada* / **ORC ID:** 0000-0001-6798-7661, **CVU CONACYT ID:** 992067

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *David Heriberto, Noriega-Cantú* / **ORC ID:** 0000-0002-8215-4104, **CVU CONACYT ID:** 74588

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Alfonso, Villegas-Vergara* / **ORC ID:** 0000-0001-9466-952X, **CVU CONACYT ID:** 1000531

**DOI:** 10.35429/JSL.2019.21.6.34.44

Recibido 23 Julio, 2019; Aceptado 20 Diciembre, 2019

#### Resumen

Una de las limitantes en la producción agropecuaria en el Estado de Guerrero son los diversos eventos de desastres meteorológicos, con es el caso de la sequía recurrente, vientos huracanados, altas precipitaciones que provocan inundaciones y temperaturas diurnas muy altas que afectan directamente a cultivos anuales (maíz, frijol y sorgo) y perennes (mango, limón, aguacates). En la entidad hay una escasa información agroclimática veraz y oportuna que sirva como factor determinante en la toma de decisiones en los procesos productivos. El presente estudio tiene la finalidad de desarrollar un prototipo de estación agrometeorológica de bajo costo. Los datos podrán ser monitoreados vía internet las 24 horas del día, de las variables de clima, tales como: temperatura ambiental, humedad relativa, precipitación pluvial, radiación solar y ultravioleta, velocidad y dirección del viento. Con el almacenamiento de estos datos climatológicos se obtendrá información que coadyuve en la prevención de enfermedades y plagas en el cultivo de maíz, frutales y hortalizas de importancia económica. Razón por lo cual el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias y la Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero, están uniendo esfuerzos en el desarrollo de un prototipo de estación agrometeorológica.

**Prototipo, Estación Agrometeorológica, Datos Climatológicos**

#### Abstract

One of the limitations in agricultural production in the State of Guerrero is the various events of meteorological disasters, with the case of recurrent drought, hurricane winds, high rainfall that cause floods and very high daytime temperatures that directly affect annual crops (corn, beans and sorghum) and perennials (mango, lemon, avocados). In the entity there is little accurate and timely agroclimatic information that serves as a determining factor in the decision-making process of production processes. The present study has the purpose of developing a prototype of low-cost agrometeorological station. The data can be monitored via the Internet 24 hours a day, from the climate variables, such as: environmental temperature, relative humidity, rainfall, solar and ultraviolet radiation, wind speed and direction. With the storage of these climatological data, information will be obtained that contributes to the prevention of diseases and pests in the cultivation of corn, fruit trees and vegetables of economic importance. Reason for which the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research and the Technological University of the North Region of Guerrero, are joining forces in the development of a prototype of agrometeorological station.

**Prototype, Agrometeorological Station, Climatological Variables**

**Citación:** DE LEÓN-CASTREJÓN, Andrés, HERNÁNDEZ-ESTRADA, Pedro Pablo, NORIEGA-CANTÚ, David Heriberto y VILLEGAS-VERGARA, Alfonso. Prototipo de estación agrometeorológica de monitoreo de datos climatológicos. Revista de Simulación y Laboratorio. 2019, 6-21: 33-44

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: andresdlc@utrng.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer Autor

## Introducción

El presente trabajo tiene como propósito específico el desarrollo de un prototipo de una estación agrometeorológica que realice el sensado de datos de siete variables climatológicas, tales como: temperatura ambiental, humedad relativa, precipitación pluvial, radiación ultravioleta, radiación solar, dirección y velocidad del viento. De tal manera que el inifap determine si es costeable adquirir, instalar y mantener estaciones agrometeorológicas usando tecnología propia que pueda ser desarrollada entre el instituto y la universidad tecnológica de la región norte de guerrero.

Así mismo, se torna necesario resolver el problema que tiene el instituto con relación a las estaciones agrometeorológicas que una vez funcionaron por varios años y que a través del tiempo se han deteriorado al grado de que ya no funciona más que una de las tantas que tenía trabajando el instituto, pues resulta costoso el mantenimiento de las estaciones agrometeorológicas que se fueron adquiriendo a través de los años de parte de proveedores especializados en este ramo.

Se espera que con el desarrollo de un prototipo de estación agrometeorológica se pueda coadyuvar en brindar una solución que permita reactivar dichas estaciones agrometeorológicas que tiene sin funcionar el inifap y que permita obtener información del clima para apoyar en la toma de decisiones con respecto a la siembra de maíz en el temporal de lluvias.

## Problema

El inifap es una Institución dedicada al análisis y desarrollo de proyectos para la mejora del rendimiento de los cultivos, utilizando maquinaria y dispositivos de alta tecnología en beneficio del sector comercial agrícola y pecuario, así como de la sociedad en general.<sup>[7]</sup> Para ello, el instituto tiene bajo su control 20 estaciones agrometeorológicas ubicadas en las siete regiones del estado de Guerrero mediante las cuales se monitorean variables climáticas tales como: temperatura ambiental, humedad relativa, precipitación pluvial, velocidad y dirección del viento, y radiación solar y ultravioleta.

Conocer el comportamiento de dichas variables es un aspecto importante a considerar para las actividades agropecuarias y forestales. A lo largo de los años, distintas estaciones han presentado fallas debido a la falta de mantenimiento y averías en el equipo, por lo que actualmente solamente se encuentran operativas 3 de las 20 estaciones iniciales.

Concretamente en el campo experimental de Iguala ubicado en la localidad de Tuxpan, Guerrero, ahí se cuenta con 3 estaciones, de las cuales dos están inoperativas y la tercera solo funciona al 75% de su capacidad.

Las razones de la persistencia de este problema son que el instituto no cuenta con un departamento encargado del mantenimiento de las estaciones, además de que resulta costoso, por otro lado, al ser proporcionadas por empresas especializadas, el proceso de mantenimiento se encuentra limitado a personal especializado.

## Justificación

El presente proyecto permitirá disminuir costos de adquisición, instalación y mantenimiento de estaciones agrometeorológicas, garantizando medidas precisas de las distintas variables climatológicas utilizadas.

Además, proporcionará estas mediciones a clientes, productores y al público en general a través del sitio web y la aplicación móvil desarrollados para ello, haciendo más fácil el acceso a los datos proporcionados por el inifap.

## Hipótesis

Con el desarrollo de un prototipo de estación agrometeorológica se estará en condiciones de almacenar la información de siete variables en una base de datos a través de un sitio web, mismo que será alojado en un hosting para posteriormente procesarlos y lograr su manipulación y análisis en la toma de decisiones acerca de la siembra de maíz en el temporal de lluvias.

## Objetivos

### Objetivo General

Desarrollar un prototipo de estación agrometeorológica a partir de una estación climatológica, de bajo coste capaz de leer siete variables climatológicas para enviar los datos a un sitio web y a una aplicación móvil.

### Objetivos Específicos

- Desarrollar un sistema de adquisición de datos capaz de leer los datos de siete sensores mediante la tarjeta de desarrollo xatellite.
- Enviar los datos de las variables a un sitio web y aplicación móvil mediante el módulo sim900 para su almacenamiento y recuperación.
- Elaborar la conexión de los sensores junto con la tarjeta de desarrollo para ambientar el sistema de adquisición de datos.
- Construir un circuito digital que junto a la tarjeta xatellite realicen el envío de datos al sitio web y aplicación móvil.

### Metodología a desarrollar

Fase	Actividad
Requerimientos	Se realizará una entrevista con el Doctor Noriega, investigador del inifap, para obtener la información y construir el prototipo de la estación agrometeorológica.
Diseño	Se diseñará el prototipo, además se construirán los algoritmos para la obtención de los datos que leerán los sensores, se elegirá una tarjeta de adquisición de datos llamada xatellite la cual es fabricada microchip technology.
Pruebas	Se realizarán las pruebas utilizando el compilador cx8 con el ide mplab de microchip technology y la configuración del servicio web e implementarlo en ubidots.com para las pruebas.
Programación	En esta fase se realizará la programación de la tarjeta xatellite para obtener los datos de los siete sensores a utilizar.
Puesta en marcha	En esta fase una vez cubiertas las pruebas y la programación de la tarjeta xatellite se podrá implementar dicha tarjeta con los sensores de la estación climatológica y su ambientación en el campo.

**Tabla 1** Metodología a desarrollar

Fuente: *Elaboración Propia*

## Variables climatológicas

**La temperatura atmosférica:** es uno de los elementos que constituyen el clima. Indica la cantidad de energía calorífica que hay acumulada en el aire en un momento y lugar determinados.<sup>[5]</sup> . Proviene de los rayos que emite el sol, es decir, la radiación solar que llega hasta la tierra. Estos rayos son reflejados por la superficie terrestre y mandados otra vez al espacio.

**La precipitación:** Es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra. Ocurre cuando la atmósfera se satura con el vapor de agua, condensándola y haciéndola precipitarse. El aire se satura a través de dos procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad. La precipitación que alcanza la superficie de la tierra puede producirse en muchas formas diferentes, como lluvia, lluvia congelada, llovizna, nieve, aguanieve y granizo. Las precipitaciones, ya sean en forma de lluvia, granizo o nieve, se miden en milímetros (mm) lo que equivale a la altura que el agua, el granizo o la nieve alcanzarían sobre una superficie plana e impermeable con paredes verticales.<sup>[11]</sup>

**Humedad foliar:** Es un parámetro meteorológico que describe la cantidad de rocío y precipitación que quedan en las superficies. Se utiliza para el seguimiento de la humedad de la hoja con fines agrícolas, como el control de hongos y enfermedades, para el control de los sistemas de riego, y para la detección de las condiciones de niebla y rocío.



**Figura 1** Humedad Foliar

Fuente: <http://www.gruposacsa.com.mx/que-es-la-fertilizacion-foliar/>

**Dirección del Viento:** La circulación del aire en la atmósfera se realiza por el intercambio de calor que se produce entre los gases o fluidos calientes que ascienden y los gases fríos que descienden.

En el hemisferio norte, la rotación de la Tierra desvía los vientos de manera que se mueven en el sentido de las agujas del reloj alrededor de un área de alta presión (anticiclón), y en sentido contrario en un área de bajas presiones (depresión o ciclón). En el hemisferio sur los vientos se mueven en sentido contrario.<sup>[3]</sup>

Abreviatura	Dirección del viento	Grados
N	Norte	0°
NNE	Norte-Nordeste	22.5°
NE	Nordeste	45°
ENE	Este-Nordeste	67.5°
E	Este	90°
ESE	Este-Sudeste	112.5°
SE	Sudeste	135°
SSE	Sur-Sudeste	157.5°
S	Sur	180°
SSW	Sur-Sudoeste	202.5°
SW	Sudoeste	225°
WSW	Oeste-Sudoeste	247.5°
W	Oeste	270°
WNW	Oeste-Noroeste	292.5°
NW	Noroeste	325°
NNW	Norte-Noroeste	337.5°

**Tabla 2** Dirección del Viento

Fuente: <https://www.canaltiempo21.com/capitulo-6-el-viento/>

La dirección del viento viene definida por el punto del horizonte del observador desde el cual sopla (de donde proviene). En la actualidad, se usa internacionalmente la rosa dividida en 360°. El cálculo se realiza tomando como origen el norte y contando los grados en el sentido de giro del reloj.<sup>[13]</sup>

**Velocidad del Viento:** El viento produce energía porque está siempre en movimiento. Se estima que la energía contenida en los vientos es aproximadamente el 2% del total de la energía solar que alcanza la tierra. El contenido energético del viento depende de su velocidad.

La velocidad del viento se mide en diferentes escalas, dependiendo de la forma en que quiera utilizarse dicha medida.<sup>[6]</sup>

Escala de Beaufort	Nudos	m/s	Km/h	mph	Etiqueta
0	<1	0-0.2	<1	<1	Calma
1	1-3	0.3-1.5	1-5	1-3	Ventolina
2	4-6	1.6-3.3	6-11	4-7	Flojito
3	7-10	3.4-5.4	12-19	8-12	Flojo
4	11-15	5.5-7.9	20-28	13-17	Bonancible

5	16-21	8.0-10.7	29-38	18-24	Fresquito
6	22-27	10.8-13.8	39-49	25-30	Fresco
7	28-33	13.9-17.1	50-61	31-38	Frescachón
8	34-40	17.2-20.7	62-74	39-46	Temporal
9	41-47	20.8-24.4	75-88	47-54	Temporal fuerte
10	48-55	24.5-28.4	89-102	55-63	Tormenta fuerte
11	56-63	28.5-32.6	103-117	64-73	Temporal muy duro
12	64-71	>32.7	>118	>74	Temporal huracanado

**Tabla 3** Escala de Beaufort

Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso-fenomenos-meteorologicos/escala-beaufort>

**Rayos Ultravioleta:** Son una parte de energía radiante que emite el sol y se dividen en tres tipos: UVA, UVB y UVC. Los rayos UVC son absorbidos por los gases de la atmósfera. Los UVB alcanzan la superficie terrestre en un 10% aproximadamente.<sup>[15]</sup>

Las radiaciones ultravioletas (UV) son radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda entre 100 y 400nm. En cantidades pequeñas, son beneficiosas para la salud y desempeñan una función esencial en la producción de vitamina D.

También se ha comprobado que estas radiaciones aminoran la eficacia del sistema inmunitario.<sup>[10]</sup>

La radiación ultravioleta suele medirse utilizando el índice de UV eritemal –conocido generalmente como índice UV (UVI) –y se trata de una estimación de los niveles de UV, donde 1 unidad es igual a 25 mW/m<sup>2</sup>. Para esta medida no se toma en cuenta el efecto de blindaje de las nubes.

El índice de UV eritemal es una cantidad artificial derivada de la irradiación UV ponderada por la función de acción espectral de la comisión internacional de la iluminación (Commission Internationale de l'Eclairage, CIE).<sup>[13]</sup>

Categoría de exposición	Intervalo de valores
Baja	$\leq 2$
Moderada	3 – 5
Alta	6 – 7
Muy alta	8 – 10
Extremadamente alta	$\geq 11$

**Tabla 4** Categorías de Exposición

Fuente:

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42633/9/243590073.pdf>

La dosis mínima eritomagénica (Minimal erythema dose, MED), es otra forma de medir la radiación UV y representa la exposición más corta a la radiación ultravioleta que produce enrojecimiento de la piel en un periodo de 1 a 6 horas y desaparece en 24 horas.

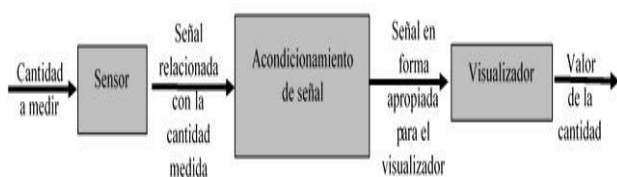
Los valores que representan al MED son: 1 MED/Hora = 0.0583 Watts/m<sup>2</sup> y 1 MED = dosis (irradiación) efectiva eritomagénica de 210 Joules/m<sup>2</sup>.

**Sistemas de Medición**

Un sistema de medición es la colección de operaciones, procedimientos, instrumentos de medición y otro equipo, software y personal definido para signar un número a la característica que está siendo medida.

Los sistemas de medición están conformados por tres elementos básicos:

1. Un sensor que responde a la cantidad a medir al dar como su salida una señal relacionada con la cantidad.
2. Un acondicionamiento de señal que toma la señal desde el sensor y la manipula dentro de una condición apropiada ya sea para presentarla en forma visual o, en el caso de un sistema de control, con el fin de ejercer control.
3. Un sistema visualizador que despliega la salida del acondicionamiento de señal.<sup>[1]</sup>



**Figura 2** Elementos de un sistema de medición

Fuente: BOLTON, W. *Mecatrónica. Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica*, 5ta Edición. Pág. 20

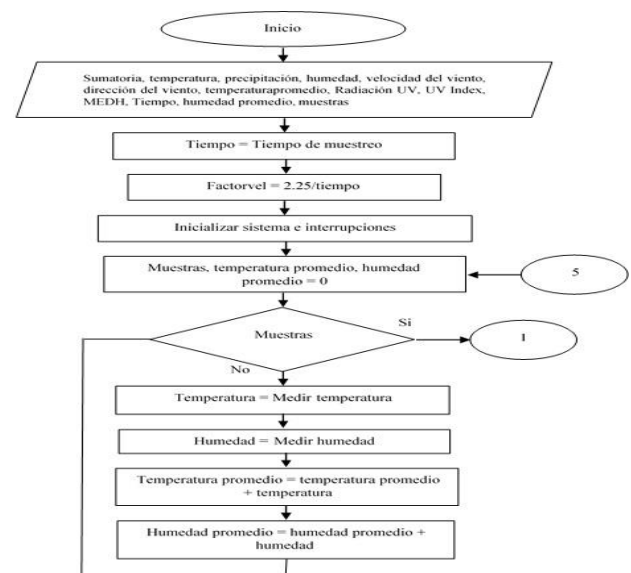
**Sensores**

Los sensores son dispositivos capaces de medir variables físicas tales como temperatura, fuerza, torque, presión, intensidad luminosa, distancia, posición, velocidad, aceleración, inclinación, desplazamiento, humedad, etc., y proporcionar una salida como señal eléctrica denominada variable de instrumentación. Los sensores tienen aplicaciones en la industria automotriz, sistemas mecatrónicos, medicina, aeroespacial, puertas automáticas, acceso de personal en áreas restringidas de la industria, universidades y centros de investigación. Un sensor aprovecha todas sus características físicas para medir una variable y proporcionar una salida como respuesta de medición. Por ejemplo, un sensor de temperatura de mercurio aprovecha la propiedad de dilatación o contracción por la temperatura.<sup>[11]</sup>

El sensor es la fuente de datos de un sistema automático, robot manipulador, sistemas mecatrónicos, proporcionando información sobre el estado de sus baterías, posición, velocidad, así como lecturas externas de su entorno.

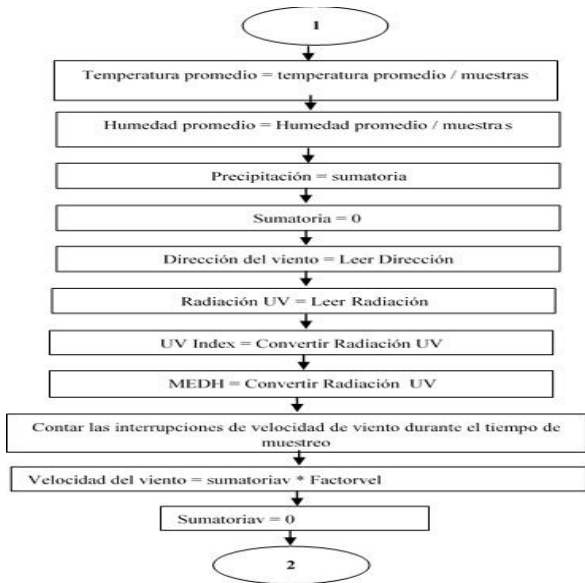
**Diseño**

Para comenzar a elaborar el algoritmo de medición se diseñó un diagrama de flujo, que servirá de base para programar el microcontrolador.

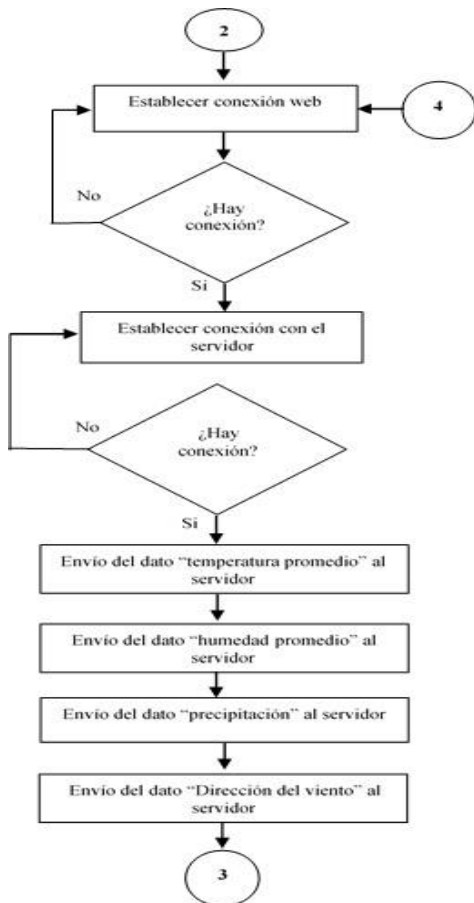


**Figura 3** Diagrama de flujo del programa (parte 1)

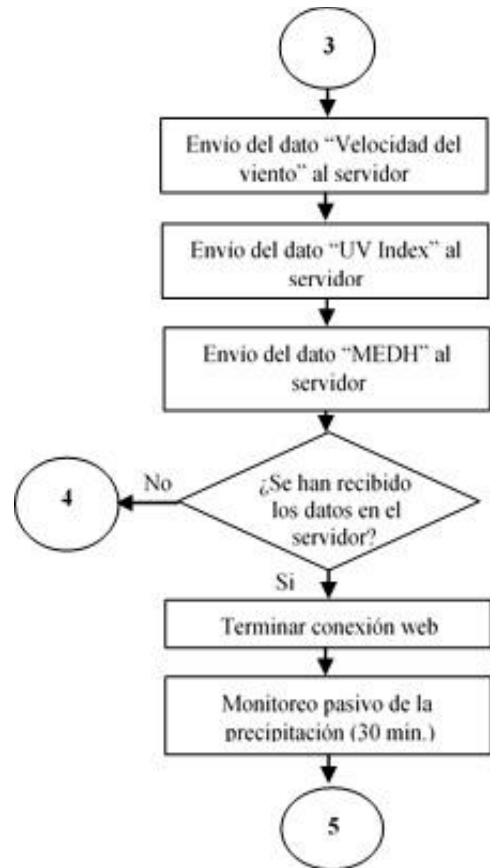
Fuente: *Elaboración Propia*



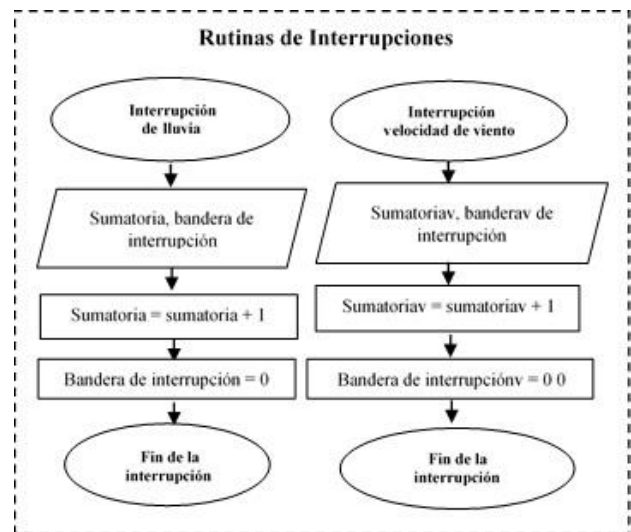
**Figura 4** Diagrama de flujo del programa (parte 2)  
 Fuente: Elaboración Propia



**Figura 5** Diagrama de flujo del programa (parte 3)  
 Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6** Diagrama de flujo del programa (parte 4)  
 Fuente: Elaboración Propia

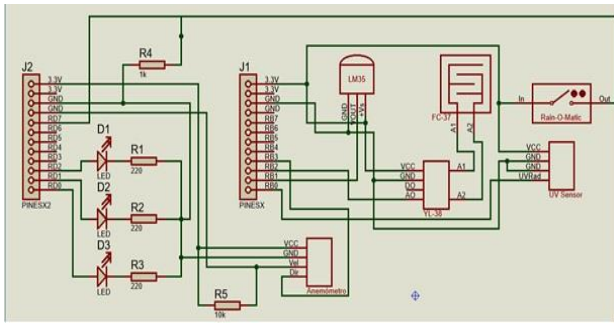


**Figura 7** Diagrama de flujo del programa (parte 5)  
 Fuente: Elaboración Propia

**Diagrama Eléctrico**

Se elaboró el diagrama de conexiones para los tres sensores, utilizando para esto los cuatro primeros pines del puerto B para los sensores analógicos y los pines 3.3V y GND para proporcionar alimentación eléctrica. De esta forma no será necesario utilizar fuentes de voltaje externas para ningún sensor.





**Figura 8** Diagrama de conexión de los sensores y los Led's indicadores

Fuente: Elaboración Propia

Para los dos sensores de tipo digital, se hará uso de los pines 6 y 7 del puerto D utilizando la función de PPS. También se propone utilizar 5 led's indicadores de estado, que servirán para identificar varias partes del programa. Dado que la placa Xatellite tiene dos led's incluidos junto con sus resistencias limitadores, solamente se conectarán 3 led's al bloque de conectores D.

**Resultados**

**Hardware a utilizar**

A continuación, se presenta el equipo necesario de los materiales y dispositivos utilizados en el proyecto.

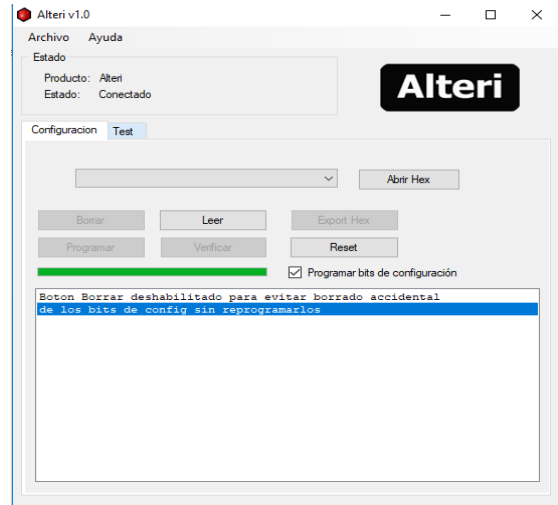
Material a utilizar	
Tarjeta de desarrollo Xatellite	Sensor de temperatura y humedad AMT1001
2 resistencias 1K	Pluviómetro Rain-O-Matic
Protoboard	Sensor UV 6490
Chip telefónico Telcel	Anemómetro 7411
3 resistencias 220	3 Led's
Cables dupont	Placa fenólica

**Tabla 5** Equipo necesario para el proyecto  
Fuente: Elaboración Propia

Se realizaron distintas pruebas para comprobar el funcionamiento de los sensores, así como la comunicación de la tarjeta de desarrollo con la red celular e internet. Otro punto importante a considerar en las pruebas fue la función de auto escritura de la placa Xatellite.

**Programación de la placa Xatellite**

La placa Xatellite usa una función de auto escritura con la cual no es necesario otro periférico para programarla, como pudiera ser un dispositivo Masterprog o un PicMaster. Este proceso se realiza con el software Alteri.



**Figura 9** Ventana del software Alteri  
Fuente: <http://dignal.com/alteri/>

Primero se conecta la tarjeta mediante USB y se entra al modo Bootloader presionando el botón Boot y el de reset simultáneamente. El software detectará inmediatamente la placa y ofrecerá varias opciones como borrar, programar, leer, etc. Con el botón "abrir hex" se selecciona el archivo para cargarlo a la placa y se presiona programar. Después de esto se elige la opción de reset para ejecutar el programa cargado.

**Comunicación a la red celular**

La placa Xatellite usa un chip de telefonía que, junto con el módulo sim900<sup>[12]</sup>, pueden comunicarse con la red celular para realizar llamadas, enviar mensajes e ingresar a internet.



**Figura 10** Módulo SIM900  
Fuente: <https://simcom.ee/modules/gsm-gprs/sim900/>

El siguiente paso fue integrar las diversas partes del proyecto para elaborar el programa. A continuación, se explican a más detalle las principales partes de éste.

## Inicialización de las librerías

Lo primero es inicializar las diversas librerías que serán utilizadas para el programa. Se encuentran “system.h” que contiene las configuraciones de la tarjeta Xatellite, “sim900.h” que contiene las funciones que comunican al microcontrolador con el módulo sim900 y los códigos AT para comunicarse con la red celular, “adc.h” contiene las instrucciones para realizar el tratamiento de los datos otorgados por los sensores analógicos, “servidorWEB.h” que almacena los datos de las variables y el token del usuario, así como las directrices para comunicarse con este servicio, “pps.h” que es utilizado para asignar los pines necesarios a las interrupciones y finalmente “stdint.h” que contiene diversas operaciones básicas para el programa.

## Inicialización de interrupciones

En esta sección del programa se utilizan las directivas explicadas con anterioridad acerca de las interrupciones, pues esta parte del programa actúa de un modo independiente al resto.

```
//Seleccionar pines Periféricos (PPS) Para las
interrupciones
PPSUnlock();
iPPSInput(IN_FN_PPS_INT2,IN_PIN_PPS_RP24); //Se
asigna la Interrupción 2 al pin (RP24/RD7)
iPPSInput(IN_FN_PPS_INT1,IN_PIN_PPS_RP23); //Se
asigna la Interrupción 1 al pin (RP23/RD6)
PPSLock();
//Interrupciones utilizadas para La cantidad de lluvia y
velocidad del viento
INTCONbits.GIE =1;//Habilitar interrupciones
Globales
//Lluvia
INTCON3bits.INT2IE =1;//Habilitar INT2/RD7
INTCON2bits.INTEDG2=1;//Flanco de subida de
INT2
//Viento
INTCON3bits.INT1IE=1; //Habilita INT1/RD6
INTCON2bits.INTEDG1=1;//Flanco de subida de
INT1
//Iniciar banderas en 0
INTCON3bits.INT2IF=0;
INTCON3bits.INT1IF=0;
```

Ambas interrupciones son colocadas en el mismo vector, por lo que no es necesario asignarles prioridades:

```
//Vector de interrupciones
void interrupt high_isr() {
if (INT2IF) { //Cuenta MM de lluvia
LED3=1;
delay_ms(100);
LED3=0;
sumatoria=sumatoria+1; //Suma 1 a la cantidad de mm
de agua
```

```
INT2IF=0; //Devuelve el valor de la
bandera a 0 para otra interrupción
}
if (INT1IF) { //Cuenta pulsos de la señal del
anemómetro
LED4=1;
delay_ms(100);
LED4=0;
sumatoriav=sumatoriav+1;
INT1IF=0; //Devuelve el valor de la bandera
a 0 para otra interrupción
}
}
```

Al inicio del programa es necesario inicializar la placa y el módulo sim900 con las funciones SYSTEM\_Initialize() y sim900Init() respectivamente.

```
void main (void) {
//Inicialización
SYSTEM_Initialize(); //Placa
sim900Init(); //Sim900
```

## Muestreo de los datos

La siguiente fase del programa es la que se encarga de efectuar la medición de las siete variables meteorológicas solicitadas. Se realizaron las conexiones de todos los sensores simultáneamente, como indica la siguiente figura:

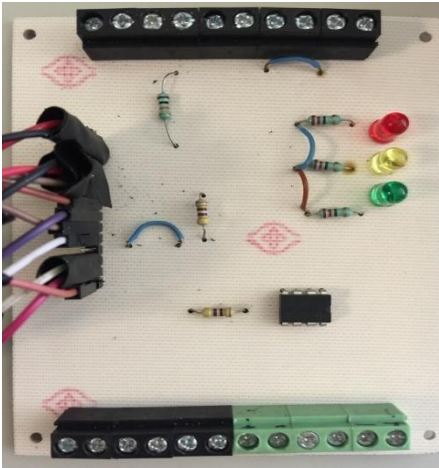


**Figura 11** Tarjeta Xatellite conectada con los sensores y los tres LED's indicadores

*Fuente: Elaboración Propia*

Y posteriormente se realizó un circuito digital para realizar la ambientación de la tarjeta xatellite con los siete sensores quedando como se ve en la figura 12.





**Figura 12** Circuito digital para conectar los sensores a la tarjeta xatellite

Fuente: *Elaboración Propia*

Para obtener resultados más confiables es necesario realizar un muestreo de las variables temperatura y humedad, esto para evitar desviaciones por subidas o bajadas de voltaje.

Para la precipitación y la velocidad del viento, por ser de tipo digital, no es necesario hacer ese paso.

En el caso de la radiación UV, el sensor presenta un intervalo de actualización de 50 segundos a 1 minuto (5 minutos en oscuridad) por lo que tampoco es necesario. De igual manera, para medir la dirección del viento sólo es necesario realizar una medición.

Para la adquisición de los datos a partir de las señales proporcionadas por los sensores, se utilizaron las funciones elaboradas para la temperatura ambiental, humedad relativa, dirección y velocidad del viento, radiación solar y ultravioleta y precipitación pluvial respectivamente.

### Verificación de la conexión al servidor web

Una vez obtenidos los siete datos más el de eritema se debe comprobar si existe una conexión, primero con la red celular y luego con el servidor web. Para revisar primero se usa la función `establishTCPIP_connection()` que verifica si estamos conectados a la red celular e inicia una sesión en la red GPRS.

```

Bool establishTCPIP_connection(void){
If ((checkNetworkRegistration() == OK) &&
(checkGPRS_connection() == OK)){
TCPUDP_cipShut(); //Cerramos session IP por si había
abierta una previa
setTCPIP_modeApp(COMMAND_MODE);
if(((setAPN(apn) == OK) &&
(bringUpWirelessConnection() == OK)){
LED1 = 1; //Indicador de servicio GPRS levantado
Return true;
}
}
Return false;
}

```

Una vez logrado esto se hace uso de la función `TCPUDP_startConnection()` que solicitará conectarse con el servidor web a través del puerto HTML. Cuando esto se haya logrado se avanzará al siguiente paso, en caso contrario intentará las veces que sean necesarias hasta lograrlo.

```

//espera hasta establecer conexion
if(establishTCPIP_connection() == true){
/*Establece la conexión TCP con la IP y número de
Puerto*/
if(TCPUDP_startConnection(TCP, ipAddress, port) ==
OK){
LED2 = 1; //indicador de conexión TCP con server
levantada

```

### Comunicación Xatellite-Servidor

Como se mencionó anteriormente, en la librería `servidorWEB.h` se almacenan los valores de las variables y el token que fue proporcionado por el servidor en forma de constantes globales para que pueda ser usada en cualquier parte del programa. Para enviar los datos a través de internet al servidor Web se hace uso de la función `TCPUDP_sendData()` que utiliza tres variables, el token de la tarjeta Xatellite, la ID de la variable a la cual se envía el dato y la variable donde esta almacenada la variable dentro del microcontrolador.

```

TCPUDP_sendData(servidorPOST(TOKEN,
VARIABLE_IDTemp, tprom), COMMAND_MODE);
TCPUDP_sendData(servidorPOST(TOKEN,
VARIABLE_ID2Hum, humprom),
COMMAND_MODE);
TCPUDP_sendData(servidorPOST(TOKEN,
VARIABLE_ID3Lluv, m), COMMAND_MODE);
TCPUDP_sendData(servidorPOST(TOKEN,
VARIABLE_ID4Dir, ang), COMMAND_MODE);
TCPUDP_sendData(servidorPOST(TOKEN,
VARIABLE_ID5Vel, v), COMMAND_MODE);
TCPUDP_sendData(servidorPOST(TOKEN,
VARIABLE_ID6UVIndex, UVIndex),
COMMAND_MODE);

```

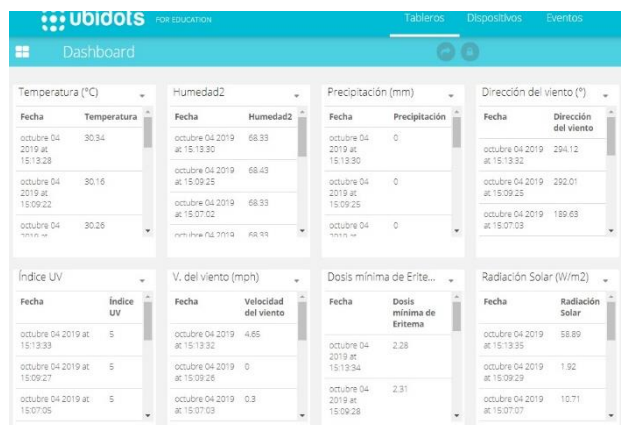
```

TCPUDP_sendData(servidorPOST(TOKEN,
VARIABLE_ID7MEDH, MEDH),
COMMAND_MODE);
delay_ms(5000);
TCPUDP_closeConnection(); //Termina la conexión TCP
TCPUDP_cipShut(); //Reset al contexto IP
delay_ms(60000); //Esperar 60 segundos
LED1=0;
LED2=0;

```

Esta función además espera a que el servidor web envíe un mensaje confirmando la recepción de los datos en su servidor. Después de eso se procede a cerrar la conexión a internet y se inicia una espera hasta la siguiente toma de datos.

A continuación, se muestran los diferentes valores medidos. Cada tabla representa el valor enviado por la placa xatellite por cada variable medida en las pruebas, a través de la plataforma de ubidots.com.



**Figura 1** Valores enviados a ubidots.com  
Fuente: <https://app.ubidots.com/ubi/insights/#/list>

## Agradecimientos

Se hace un agradecimiento y reconocimiento muy especial al Dr. David Heriberto Noriega Cantú, Ing. Pedro Pablo Hernández Estrada y al Maestro en Ingeniería Industrial Alfonso Villegas Vergara por su valioso apoyo en el trabajo en extenso.

## Conclusiones

- Se desarrollo un sistema de adquisición de datos capaz de leer los datos de siete sensores mediante la tarjeta de desarrollo xatellite.
- Se enviaron los datos de las variables a un servidor web llamado ubidots.com mediante el módulo sim900 para su visualización y análisis.

- Se elaboró la conexión de los sensores junto con la tarjeta de desarrollo para ambientar el sistema de adquisición de datos.
- Se verificó la fiabilidad de los datos obtenidos en la plataforma ubidots.com, con base en pruebas distintas, primero con cada sensor individualmente y después con todo el conjunto, además se probó la comunicación SMS y el protocolo TCP/IP.

## Trabajos futuros

- Agregar una pantalla lcd para que las variables puedan ser monitoreadas in situ por el operario.
- Añadir la medición de humedad del suelo mediante la adquisición de un sensor diseñados para ello.
- Multiplicar la cantidad de estaciones agrometeorológicas y colocarlas en puntos estratégicos de la región norte del Estado de Guerrero para mejorar la variedad de las mediciones.
- Realizar la implementación de dos api rest ful como microservicio para que sean ingresados los datos climatológicos en la base de datos del sitio web.
- Implementar otro microservicio a la aplicación móvil para consultar en tiempo real los datos climatológicos que sense el prototipo de la estación agrometeorológica.

## Referencias

- [1]. Bolton, W. (2013). *Mecatrónica. Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. Un enfoque multidisciplinario Quinta Edición*. Mexico: Alfa Omega.
- [2]. Bueno, S. R., Morales, L., & De Jesus, C. (2019). *Diseño de una Estacion Meteorológica para el Laboratorio de Simulaciones Udes*.
- [3]. Canaltiempo. (2003). *El Viento - La Circulación del Aire*. Obtenido de <http://www.mailxmail.com/curso-fenomenos-meteorologicos/viento-circulacion-aire>

- [4]. Castro Mesa, J. F. (2019). Diseño e Implementación de un Sistema en la Nube para el Seguimiento y Monitoreo permanente de Variables Ambientales en Cultivos de Uva en el Valle del Cauca.
- [5]. Climático, J. F. (s.f.). *Temperatura Atmosférica*. Obtenido de <http://www.jovenesfrentealcambioclimatico.com/glosario/temperatura-atmosférica>
- [6]. Ecured. (s.f.). *Velocidad del Viento*. Obtenido de [https://www.ecured.cu/velocidad\\_del\\_viento](https://www.ecured.cu/velocidad_del_viento)
- [7]. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, A. y. (2015). *INIFAP, Campo Experimental Iguala*. Obtenido de [http://www.inifap.gob.mx/SitePages/inifap2015/Quienes\\_Somos/quienes\\_somos.aspx](http://www.inifap.gob.mx/SitePages/inifap2015/Quienes_Somos/quienes_somos.aspx)
- [8]. Lara J, A. M., Agredo J., A. R., & Atencia M, P. M. (2019). Sistema de Monitoreo de Señales en Tierra usando la Estacion Terrena Satelital UPTC. INGE CUC. *15(1)*, 36-44.
- [9]. Mendez González, L. C. (2019). Prototipo de Estación Meteorológica. Instituto de Ingeniería y Tecnología.
- [10]. OMS. (s.f.). *Radiación Ultravioleta*. Obtenido de [https://www.who.int/topics/ultraviolet\\_radiation/es/](https://www.who.int/topics/ultraviolet_radiation/es/)
- [11]. Reyes Cortés, F. C. (2013). *Mecánica, Control y Automatización*. México: Alfa Omega.
- [12]. SIMCom. (s.f.). *SIM900*. Obtenido de <https://simcom.ee/modules/gsm-gprs/sim900/>
- [13]. Temis. (2017). *Radiation Monitoring: UV Index and UV Dose*. Obtenido de <http://www.temis.nl/uvradiation/info/uvindex.html>
- [14]. Urbano Toledo, W. S., & Martínez Vargas, D. (2019). Prototipo de Estación Meteorológica basada en Arduino y Web.
- [15]. Vida, F. P. (2016). *¿Cómo nos afectan los rayos UV?* Obtenido de <https://www.fundacionpielconvida.org/rayos-uv>