

# SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA LA REDUCCIÓN DE RIEGOS DE INUNDACIONES, UTILIZANDO TECNOLOGÍA ARDUINO Y COMUNICACIÓN CON REDES DE DATOS PARA EL ÁREA DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO LEMPA.

## EARLY WARNING SYSTEM FOR THE REDUCTION OF RISKS OF FLOODS, USING ARDUINO TECHNOLOGY AND NETWORK COMMUNICATION OF DATA FOR THE MIDDLE BASIN AREA OF RIO LEMPA

Celestino Hernández

Master en Docencia Universitaria

Investigador - Universidad de Oriente

chernandez@univo.edu.sv

### Resumen

El Salvador es uno de los países más vulnerables a riesgos en el mundo, según informe presentado por el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2017). El 88.7% del territorio se considera zona de riesgo, superficie en la que se asienta el 95.4% de la población. Según estadísticas, entre los años 1990 a 2014 se han dado el 86 % de pérdidas económicas y 40 % de muertes por terremotos, el 10 % de pérdidas y el 27 % de muertes han sido por inundaciones, 26 % de muertes han sido por deslizamientos, 3 % por tormentas eléctricas y 4 % por otro tipo de desastres (Mendoza, Laguan, & Rivas, 2017). Por esta razón, es necesario disponer de un sistema de alerta temprana para mejorar la capacidad de respuesta ante estos fenómenos y que alerten a los centros de monitoreo ante cualquier emergencia. La propuesta consiste

en diseñar, un prototipo de sistema de alerta temprana para la reducción de riegos de inundaciones, desde un primer análisis del estado actual, especificación y diseño, hasta llegar a la implementación, esto permitirá que, en esta zona, se tenga acceso a una estación que indique constantemente el nivel del río por medio de una interfaz simple y amigable. Por tanto, el producto final es un sistema de seguridad que permite producir una alerta, activando una señal acústica, generando una notificación a través de redes de comunicación de datos SMS, a la entidad encargada de monitorear la zona de resguardo.

**Palabras clave:** Alerta temprana, Arduino, GSM/GPRS SIM900, ultrasonido, alarma.

### Abstract

El Salvador is one of the most vulnerable

countries to risks in the world (MARN, 2017). 88.7% of the country is considered a risk zone, an area in which 95.4% of the population is housed. Between 1990 and 2014, 86% of economic losses and 40% of deaths were caused by earthquakes, 10% of losses and 27% of deaths were caused by floods, and 26% of deaths were caused by landslides, 3% by electric storms and 4% by other types of disasters (Mendoza, Laguan, & Rivas, 2017). Considering this context, it is necessary to have a system of early warning to improve the response capacity to any emergency from the monitoring stations. The proposal consists of designing a prototype of an early warning system for reducing flood risks, analyzing the current situation, specifying and designing it until it is implemented; this will allow us to constantly monitor the level of the river through a simple and friendly interface. The final product is a security system that allows emitting an alert, by activating an acoustic signal, generating a notification through SMS data communication networks to the entity in charge of monitoring the guard zone.

**Keywords:** Early warning, risks and floods, Arduino technology, Rio Lempa.

## Introducción

El cambio climático es un problema de orden mundial, que impacta a nivel nacional y local, causado por diferentes factores, tanto naturales como antropogénicos tales como el

incremento de la demanda y del consumo energético, la actividad industrial, la deforestación y la producción agrícola no controlada, esto causa un incremento de las emisiones a la atmósfera de CO y metano, los cuales son los principales gases de efecto invernadero causantes del cambio climático (Miah & Gammack, 2009) citado por (Acosta Coll, 2013, p. 303).

El diseño del sistema se llevó a cabo siguiendo un método que facilita su construcción, a través de un tipo de investigación tecnológica. Además, por su naturaleza la investigación es también aplicada, y el proyecto se centra en el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta temprana para la reducción de riegos de inundaciones, utilizando tecnología Arduino y comunicación con redes de datos para el área de la cuenca media del Río Lempa.

La peculiaridad principal de este sistema es que hace uso de una tarjeta Arduino UNO R3 que se comunica con una tarjeta GSM/GPRS SIM900 incrustada sobre ella, la cual permite manipular y accionar los diferentes actuadores conectados, y que permiten alertar a los residentes en las riberas de las zonas que estarían siendo salvaguardados. Esto permite que el costo del sistema sea bajo y que responda a las necesidades de seguridad ante los desastres naturales, como son las inundaciones.

Uno de los objetivos principales de la

investigación desarrollada fue construir un sistema de alerta temprana para la reducción de riesgos de inundaciones, utilizando tecnología Arduino, que permita la comunicación con redes de datos en especial SMS.

## Metodología de la investigación

La investigación que se realizó fue de tipo tecnológico, que consiste en trabajos sistemáticos basados en conocimientos existentes, obtenidos mediante investigación y/o experiencias prácticas que se dirigen de nuevos materiales, productos o dispositivos, establecer nuevos procesos, sistemas y servicios. Esto permite la mejora sustancial de trabajos ya existentes. Además, por su naturaleza, esta investigación es también aplicada porque está sujeta en las aplicaciones de conocimiento teóricos a micros y macroprocesos, cuyo propósito fundamental es dar solución a los problemas en el proceso de aprendizaje (Murillo, 2008, Citado por Zoila Rosa Vargas Cordero) y a esto se orienta la investigación para dar soluciones prácticas a los seres humanos.

Para dar respuesta efectiva a las instituciones de socorro y pobladores de la zona, se evaluaron dos tipos de sensores de ultrasonido: HC-SR04 y JSN-SR04T. Estos son de bajo costo para pruebas de laboratorio, concluyendo que la mejor opción para garantizar la efectividad del área protegida era la adquisición de sensores

profesionales: los JSN-SR04T, ya que la medición es efectiva y su calibración precisa y no se requiere de electrónica de adaptación, con lo cual existe la posibilidad de agregar cierto grado de error si se utilizan los sensores de laboratorio.

## Resultados

### Propuesta de prototipo del sistema de seguridad para interiores

El sistema de alerta temprana está formado por una tarjeta Arduino UNO R3 que se encarga del control lógico y de las operaciones de conversión del sensor; un módulo GSM/GPRS SIM900, para la comunicación con la red GSM; un sensor de ultrasonido JSN-SR04T de alta precisión y una sirena de 12VDC; y la electrónica de adaptación y protección de voltaje. En la Figura 1 se muestra el esquema de funcionamiento del prototipo, con las unidades que coexisten e interactúan.

Figura 1. Descripción conceptual del sistema



Fuente: Elaboración propia

## Equipos y Materiales:

En esta sección se detallan los diferentes equipos y materiales que fueron utilizados para el desarrollo del prototipo del sistema de alerta temprana.

### Equipos:

Los equipos utilizados para el desarrollo del prototipo de sistema de alerta temprana son:

- »Computadora Laptop, para la programación del sistema y carga del mismo a la tarjeta Arduino.
- »Una tarjeta Arduino UNO R3.
- »Una tarjeta GSM/GPRS SIM900, para la comunicación de mensajes a celulares.
- »1 Sensor JSN-SR04T.

### Materiales:

Los materiales utilizados para el desarrollo del prototipo de sistema de alerta temprana, son los siguientes:

Tabla 1. Materiales utilizados en el desarrollo del prototipo

Cantidad	Descripción
1	Módulo Relé de 2 canales 5VDC
1	Módulo Relé de 1 canal 5VDC
1	Inversor de 30 Wats: 120 Vol.
1	Panel solar de 30 watts Policristalino
15	Jumper (macho-hembra)
1	Codo PVC
2	Metros de cable flexible calibre 12 AWG.
4	Metros de cable flexible calibre 22AWG.
1	Regulador de carga 20Amp.
1	Batería solar de 12 Vol. (Almacenamiento de energía)
1	Tubo PVC de 6 metros

Fuente: Elaboración propia

## Hardware

### Arduino UNO R3

Es la placa estándar y posiblemente la más conocida y documentada. Salió a la luz en septiembre de 2010 sustituyendo su predecesor Duemilanove con varias mejoras de hardware que consisten básicamente en el uso de un USB HID propio, en lugar de utilizar un conversor FTDI para la conexión USB. Es 100% compatible con los modelos Duemilanove y Diecimila. Viene con un Atmega328 con 32Kbytes de ROM para el programa.

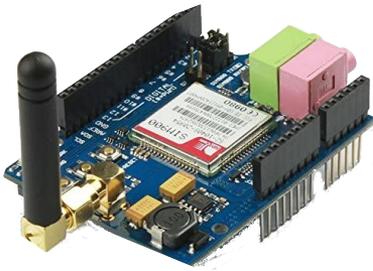
Figura 2. Placa Arduino UNO R3



### Shield GSM/GPRS SIM900.

El Shield GSM/GPRS le proporciona una manera de utilizar la red de telefonía celular GSM para recibir datos desde una ubicación remota, el GSM/GPRS 850/900/1800/1900 MHz ofrece servicios de señales de audio, SMS y GPRS. Es compatible con todas las placas que tienen el mismo factor de forma (y pinout) como una placa Arduino estándar. Este escudo GPRS/GSM se configura y controla a través de su UART utilizando los comandos AT.

Figura 3. Shield GSM/GPRS SIM900 para Arduino



toda la electrónica encargada de hacer la medición. El funcionamiento del sensor es el siguiente: se emite un pulso de sonido (TRIG), se mide la anchura del pulso de retorno (ECHO), se calcula la distancia a partir de las diferencias de tiempos entre el Trig y Echo.

Figura 5. Sensor de ultrasonido JSN-SR04T



## Sirena

Esta es la unidad sonora. A través de Arduino, esta unidad será capaz de controlar el sonido. Se utiliza en combinación con la placa Arduino y sensores, para lograr el control interactivo entre estos elementos. Con esta sirena electrónica SI-136 con 20 Watts de alta potencia, de fácil instalación y alta duración, se podrán tener 6 tonos de alerta para poder propagar el sonido de emergencia.

Figura 6. Alarma de 12 voltios



## Software

### IDE Arduino

Dado que el Arduino es como un pequeño

## Módulos Relé

Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Este tipo de módulos permite activar actuadores como por ejemplo el de una persiana, la puerta del garaje o el de una bombilla o una sirena.

Figura 4. Relé de 1 y 2 Módulos



## Sensor de Ultrasonido JSN-SR04T

El sensor JSN-SR04T es un sensor de distancia que utiliza ultrasonido (sonar) para determinar la distancia de un objeto en un rango de 25 a 450 cm. Destaca por su pequeño tamaño, bajo consumo energético, buena precisión y especialmente por su resistencia al agua.

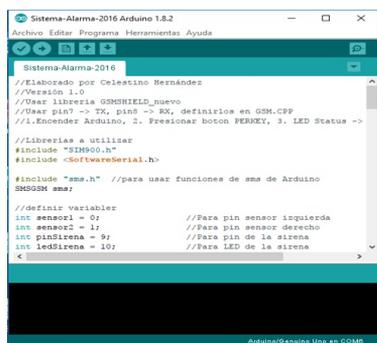
El sensor trabaja con ultrasonido y contiene

ordenador que ejecuta una serie de códigos que previamente se le han introducido, se necesitará un programa para poder ingresar estos códigos a la propia placa. Este programa se llama IDE, que significa "Integrated Development Environment" (Entorno de Desarrollo Integrado).

Este IDE estará instalado en la PC, es un entorno muy sencillo de usar y en él escribiremos el programa que queramos que el Arduino ejecute. Una vez escrito, lo cargaremos a través del USB y Arduino comenzará a trabajar de forma autónoma.

El siguiente paso que se debe realizar será configurar nuestro IDE para que se comunique con la placa Arduino. Para ello conectaremos nuestro Arduino mediante el cable USB al PC, y después de que el sistema operativo haya reconocido e instalado la tarjeta automáticamente, nos dirigimos a la zona de menú, pulsamos en Herramientas y después en Tarjeta. Ahí seleccionamos el modelo de tarjeta Arduino que se tenga, en este caso "Arduino Uno".

Figura 7. Interfaz de Arduino

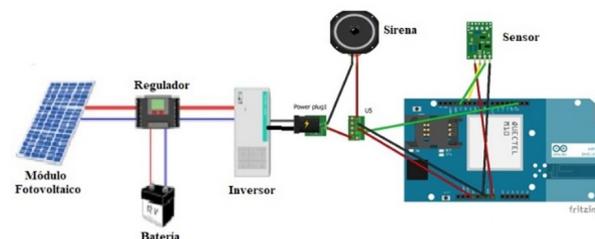


Fuente: Elaboración propia

## Montaje del circuito a través Fritzing

El esquema de la figura 8, muestra los componentes eléctricos y electrónicos que forman parte del sistema de alerta temprana. Las señales de control del sensor JSN-SR04T y los actuadores se conectarán a una fuente de energía proporcionada por un panel solar de 30 Watts (reducida a través de otros componentes a 12 Voltios); así también la placa Arduino será alimentada a través de una fuente de 5V, convertida de la fuente de 12 Voltios.

Figura 8. Descripción del circuito montado del sistema diseñado

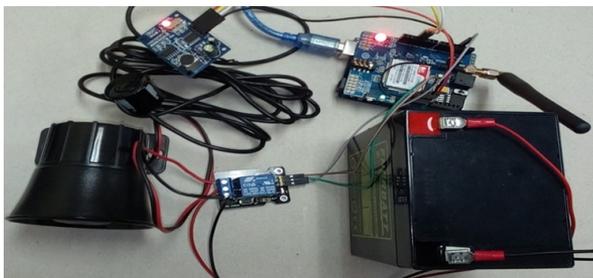


Fuente: Elaboración propia

## Prototipo del sistema de alerta temprana Río Lempa

La figura anterior muestra la prueba final de laboratorio realizada utilizando un sensor de ultrasonido JSN-SR04T, de acuerdo a los resultados pudo observarse una medición más exacta; por lo tanto, es el sensor seleccionado para el prototipo final.

Figura 10. Prueba final, prototipo del sistema de alerta temprana Río Lempa



fuentes: Elaboración propia

## Programación de la placa Arduino

El código del programa desarrollado en el Arduino cuenta con dos partes fundamentales: la inicialización (setup) y el bucle (loop). A continuación, se explica detenidamente cada una de estas partes.

### Setup

La función setup () es llamada solo una vez, cuando comienza el sketch. Es un buen lugar para realizar tareas de configuración, como definir los pines o inicializar bibliotecas. En el prototipo esta parte será la encargada de la inicialización del sensor JSN-SR04T que implementa el Arduino y de la carga de parámetros almacenados en la memoria del Arduino. Para saber cuál sensor hay en el sistema, se almacena el pin donde está conectado para el tipo correspondiente. Para saber las acciones que hay que realizar se almacenan parejas de pines donde el primero es el sensor activo y el segundo el actuador que hay que activar. Al final con estos datos se inicializa el sistema y se configuran los diferentes pines del Arduino según su

función.

### Código del método Setup

```
void setup() {
  SIM900.begin(19200);
  delay(5000);
  pinMode(TRIGGER_PIN, OUTPUT);
  pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
  pinMode(relay, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("OK"); //Mensaje OK en el arduino,
  para saber que todo va bien.
  delay(5000);
}
```

### Función Loop

La función del método loop que implementa Arduino será recibir una serie de parámetros y órdenes del servidor o placa Arduino, como pueden ser activar o desactivar la alarma, o la configuración de sensores y actuadores.

```
void loop() {
  // Esperar 1 segundo entre mediciones
  delay(1000);
  // Obtener medición de tiempo de viaje del
  sonido y guardar en variable uS
  int uS = sonar.ping_median();
  // Imprimir la distancia medida a la consola
  serial
  Serial.print("Distancia: ");
  // Calcular la distancia con base en una
  constante
  distancia = float(uS / US_ROUNDTRIP_CM);
  Serial.print(distancia);
  //Serial.print(uS / US_ROUNDTRIP_CM);
  Serial.println("cm");
  if(distancia >= 40)
```

```

{
  Serial.println("Nivel de agua del rio presenta
un peligro para la comunidad");
  //llamar();
  digitalWrite(relay, HIGH);
  delay(1000);
  Serial.println("Relay accionado");
  digitalWrite(relay, LOW);
  sendSMS();
}
else
{
  Serial.println("El nivel de agua del río no
presenta un peligro para la comunidad");
  digitalWrite(relay, LOW);
  Serial.println("Relay No accionado");
}
}

```

## Enviar SMS

Al realizar esta petición, la placa Arduino buscará si existen los parámetros adecuados y correctos para analizar si es una instrucción conocida. El siguiente fragmento de código es el encargado de realizar esta acción:

```

void sendSMS()
{
  Serial.println("Enviando SMS...");
  SIM900.print("AT+CMGF=1\r"); //Configura
el modo texto para enviar o recibir mensajes
  delay(1000);

  SIM900.println("AT+CMGS=\""79155716\""); //
Numero al que vamos a enviar el mensaje
  delay(1000);
  SIM900.println("Alerta, El Nivel de agua del
rio está subiendo"); // Texto del SMS
  delay(100);
}

```

```

SIM900.println((char)26); //Comando de
finalización de mensaje ^Z
  delay(100);
  SIM900.println();
  delay(5000); // Esperamos un tiempo para
que envíe el SMS
  Serial.println("SMS enviado"); // turn off
module
}

```

## Discusión

En el proceso de desarrollo del proyecto realizado se tomaron en cuenta algunos sistemas existentes en la actualidad, los cuales, de alguna manera tienen similitudes, que abordan esta temática, en un momento precedente a esta investigación. Es muy importante establecer algunas diferencias entre el proyecto de investigación “Sistema de alerta temprana para la reducción de riesgos de inundaciones, utilizando tecnología Arduino y comunicación con redes de datos para el área de la cuenca media del Río Lempa”, respecto a otros proyectos precedentes, ya que se han considerado muchos elementos diferentes, como por ejemplo elementos, tales como:

»Uso de sensores de distancia de ultrasonidos JSN-SR04T, que son más exactos que los Sensores de ultrasonido HC-SR04.

»Para la alimentación de energía, se ha utilizado un sistema solar fotovoltaico, el cual alimenta al sistema con 5 y 12 Voltios, que son aquellos con los que trabaja Arduino, y algunos actuadores (por ejemplo, la sirena) respectivamente.

Concluido el trabajo de investigación y cumpliendo con el objetivo propuesto del proyecto se ha logrado realizar el sistema de alerta temprana mediante el empleo de diferentes tecnologías de software libre. Una de las más importantes ha sido el uso del hardware Arduino. Este hardware ha sido fundamental en la consecución del proyecto, ya que ha sido el cerebro que nos ha permitido poder interconectar el sensor y darle funcionalidad al sistema, pudiendo conectarlo a una tarjeta GSM/GPRS SIM900.

Lo más relevante de esta investigación consistió en desarrollar un prototipo diferente a otros, ya que únicamente para efectos de prueba de laboratorio se utilizó una batería de 12V a 4AH, luego, para el prototipo final para alimentar de energía tanto al sensor como a la sirena, se utilizó una fuente de alimentación a través de un sistema fotovoltaico, permitiendo así el máximo rendimiento de cada uno de los elementos que componen el sistema de alerta temprana.

## Conclusiones

Con la llegada de las tecnologías basadas en microcontroladores de bajo costo es más rápido el desarrollo de prototipos o soluciones que permitan la integración de los sensores (SN-SR04T y otros) y los actuadores (relevadores, sirenas, indicadores visuales, etc.) con plataformas de

comunicación tradicionales como la red de telefonía. Además, se reducen los costos tanto de adquisición como de mantenimiento, porque continúa el auge y sutileza de este tipo de tecnologías basadas en microcontroladores. Muchos módulos de expansión, no se venden en tiendas de electrónica en el país, pero existen empresas que brindan el servicio de importar los dispositivos y componentes requeridos.

»Se diseñó y construyó un sistema electrónico de alerta temprana y monitoreo del comportamiento del nivel del río Lempa, siendo este de bajo costo.

»Se define como fuente de alimentación una energía renovable para todo el sistema, usando una batería de 12 Voltios del tipo normal que se carga mediante energía solar por medio de un sistema fotovoltaico.

»Se utilizó un sensor de ultrasonido JSN-SR04T, por ser de muy buena precisión y efectividad al momento de tomar las medidas del nivel de agua.

## Recomendaciones

Considerando las conclusiones, podemos establecer las siguientes recomendaciones:

»Utilizar un sistema operativo Android o IOS, para desarrollar una interfaz para dispositivos móviles que permita realizar ciertas tareas de telecomando al sistema de seguridad.

»Desarrollar un mantenimiento preventivo frecuente al sensor y el sistema en general, para evitar un mal funcionamiento y esto conlleve a errores de medición del mismo.

»Para generar una alarma más impactante, se recomienda instalar una sirena de mayor potencia para que pueda ser escuchada a una distancia muy significativa.

»Como el proyecto descrito en el presente documento es un prototipo, y no se especifica el lugar de la instalación en el río. Cuando se requiera realizar el montaje en campo, hay que construir una estructura de hierro con la debida seguridad, para evitar el daño al mismo por los fenómenos hidrológicos y para protegerlo de manipulación por personas no autorizadas.

## Bibliografía

Australian Greenhouse Office, in the Department of the Environment and Heritage, Australian Greenhouse Office. (2006). *Climate Change Impacts & Risk Management: A Guide for Business and Government*, ISBN: 1921120 56 8. Australia: Australian Greenhouse Office.

Cegarra Sánchez, J. (2004). *Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica*. Madrid: Díaz de Santos.

Crespo, J. E. (2014). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/06/26/microcontroladores-2/>: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/016/06/26/microcontroladores-2/>

Campo Erazo, P. A., & Zafra Vallejo, K. (2013). *Sistema electrónico Inalámbrico de alerta temprana y monitoreo del comportamiento del nivel de los ríos de bajo costo*. Recuperado el 17 de abril de 2017, de Universidad San Buena Ventura: [http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/2144/1/Sistema\\_Electronico\\_Inalambrico\\_Monitoreo\\_Campo\\_2013.pdf](http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/2144/1/Sistema_Electronico_Inalambrico_Monitoreo_Campo_2013.pdf).

Coté, M., & Teixeira Santos, S. (2012). *Integración del cambio climático en los procesos nacionales de desarrollo y en la programación de países de las Naciones Unidas*. Nueva York, NY, EE. UU.: ONU.

Gallardo González, J. G. (2016). *Diseño e implementación de un prototipo telemétrico autosustentable para supervisión de las condiciones hídricas y eficiencia de riego en plantaciones agrícolas*. Guayaquil, Colombia: Universitaria.

Ingeniería Electrónica. (2015). *Tipos de Arduino, detalles y diferencias entre las placas*. Recuperado el 22 de 02 de 2015, de Ingeniería electrónica: <http://ingenieriaelectronica.org/tipos-de-arduino-detalles-y-diferencias-entre-las-placas/>

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2009). *Sistema de Alerta Temprana por Inundaciones*. Obtenido de <http://www.rimd.org/>:<http://www.rimd.org/advf/documentos/b4f8c809fe9f0.86389562.pdf>

Nuñez, J. (s.f.). *Curso de rehabilitación energética de edificios*. Obtenido de <http://www.serviex.net/>:[http://www.serviex.net/ficheros/archivos/2013\\_01/2.pdf](http://www.serviex.net/ficheros/archivos/2013_01/2.pdf)

Organización de Estados Americanos. (2010). *Manual para el Diseño, instalación, operación y mantenimiento de Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana ante inundaciones*. Washington, Estados Unidos: OEA.

Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. Obtenido de <https://www.unisdr.org/>: [https://www.unisdr.org/files/43291\\_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf)  
Servicio Nacional de Estudios Territoriales, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2004). *Sistema de Alerta Temprana por Inundaciones Experiencia en El Salvador - SNET*. San salvador: SNET.

Temas de divulgación. (s.f.). *Temas de divulgación*. Recuperado el 24 de abril de 2017, de <http://www.pluviometro.com>: <http://www.pluviometro.com/temasdivul/plugral.html>

Mendoza, B., Laguan, J., & Rivas, I. (24 de octubre de 2017). *Así de vulnerable y riesgoso es El Salvador ante desastres por fenómenos naturales*. Obtenido de La Prensa Gráfica: <https://www.laprensagrafica.com/elsalvador/Asi-de-vulnerable-y-riesgoso-es-El-Salvador-ante-desastres-por-fenomenos-naturales-20171024-0064.html>

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2009). *Sistema de Alerta Temprana por Inundaciones*. Obtenido de <http://www.rimd.org>: <http://www.rimd.org/advf/documentos/4b4f8c809fe9f0.86389562.pdf>

Miah & Gammack, (2009) *Precepciones del Cambio Climático*. <http://www.who.int/topics/climate/es/>

Murillo, W. (18 de Noviembre de 2008, Citado por Zoila Rosa Vargas Cordero). *LA INVESTIGACIÓN APLICADA: UNA FORMA DE CONOCER LAS VERDADES*. Obtenido de <http://www.redalyc.org>: <http://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>

Schwartz, M. (2014). *Arduino Networking*. California: Packet Publishing.