

**PLUVIOGRAPH ELECTRONIC WITH WIRELESS DATA TRANSMISSION****PLUVIÓGRAFO ELECTRÓNICO CON TRANSMISIÓN DE DATOS  
INALÁMBRICA**

**Ing. Giovanni Sandoval, Ing. Jacobo Tobar Molano, MSc. Víctor Hugo Mosquera,  
MSc. Luis Jorge González**

**Universidad del Cauca**

Calle 5, No. 4-70, Popayán, Cauca, Colombia.

Tel.: 57-2-8209800, Fax: 57-2-8209810, Ext. 2120.

E-mail: {giosan, jtobarmolano, mosquera, ljgonza}@unicauca.edu.co

**Abstract:** This work corresponds to the implementation of an electronic system adaptable to a Hellman rain gauge, with the aim of acquiring data from atmospheric precipitation affecting the study area, using a wireless communication system and an application control software, storage and analysis of data. To achieve these processes are done through the implementation of an electronic circuit, also wireless transmission devices with Wi-Fi, and a software application designed in PHP programming language, which can be installed on a computer Web page server. The information obtained from atmospheric precipitation is presented in a Web page, which can be queried for current and historical data of rainfall recorded by the gage, displaying graphics as pluviograph charts, hyetograph, accumulated precipitation, intensity-duration curves, among others.

**Keywords:** Pluviosity, pluviograph, pluviograph charts, Wi-Fi.

**Resumen:** Este trabajo corresponde a la implementación de un sistema electrónico adaptable a un pluviógrafo tipo Hellman de sifón automático, con el objetivo de adquirir los datos de la precipitación atmosférica que afecta la zona de estudio, haciendo uso de un sistema de comunicación inalámbrica, y una aplicación software para el control, almacenamiento y análisis de los datos. Para llevar a cabo estos procesos se implementa un circuito electrónico, dispositivos de transmisión inalámbrica con tecnología *Wi-Fi* y una aplicación software diseñada en lenguaje de programación *PHP*, que puede ser instalada en un equipo servidor de páginas Web. La información obtenida de la precipitación atmosférica se presenta en una página Web, en la cual se pueden hacer consultas de los datos actuales e históricos de la precipitación registrada por el pluviógrafo, desplegando gráficas como *Pluviogramas*, *Hietogramas*, *Curvas Masa*, *Curvas Intensidad-Duración*, entre otras.

**Palabras Claves:** Pluviosidad, Pluviógrafo, Pluviograma, Wi-Fi.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los instrumentos meteorológicos son una herramienta de gran importancia para los estudios climatológicos, permiten cuantificar parámetros ambientales como temperatura, precipitación

atmosférica, humedad, radiación solar, entre otros parámetros que comúnmente se evalúan a diario. Para este trabajo se utiliza un pluviógrafo tipo Hellman de sifón automático, siendo este un instrumento meteorológico usado en el estudio y análisis de la precipitación atmosférica y tiene

como función, registrar en un gráfico, la cantidad de precipitación en un tiempo determinado, lo cual permite conocer la cantidad, duración e intensidad en que ocurre la lluvia, ya que es posible conocer la hora de inicio y finalización del fenómeno (Aparicio 2005). La medida de la lluvia se expresa en milímetros; 1 milímetro de lluvia es equivalente a 1 litro de agua precipitada por metro cuadrado de superficie (Lladó, 1997).

El pluviógrafo mecánico consigna los datos en una cinta de papel; este sistema requiere de personal que se desplace a la zona de ubicación del instrumento a cambiar el papel, cargar la plumilla con tinta y dar cuerda al sistema de relojería, por lo general se debe realizar a diario, semanal o mensual según el tipo de pluviógrafo (el pluviógrafo utilizado usa papel de registro semanal). Además se deben analizar los datos a partir de los gráficos, que en ocasiones pueden presentar problemas como gráficas borrosas debido a la falta de tinta en la plumilla, atasco de la plumilla, obstrucción en los ductos de agua, fallas de calibración, entre otras, degenerando la información de los registros.

Como una solución al problema del registro de los datos, se implementa un sistema electrónico de medida, adaptable al pluviógrafo mecánico tipo Hellman, que permite mejorar los procesos de funcionamiento de dicho instrumento, a fin de obtener mayor calidad de la información de la precipitación atmosférica. Además el nuevo sistema de medida ofrece la capacidad de efectuar funciones de captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información en una página Web. En el proceso de captura intervienen elementos electrónicos como circuitos integrados programables y elementos pasivos que permiten el acople de la parte mecánica del pluviógrafo al sistema electrónico. Para llevar a cabo el proceso de almacenamiento de los datos es necesario contar con una base de datos alojada en un equipo servidor, que a su vez contiene la página principal del sistema. La página Web hace posible visualizar y controlar los procesos que intervienen en el pluviógrafo electrónico, entre los que se encuentran; presentación de gráficas en tiempo real, consulta de datos históricos y configuración de parámetros de funcionamiento. Por otra parte la comunicación entre la estación de monitoreo remota y el circuito electrónico que se instala en el pluviógrafo, utilizan dispositivos inalámbricos de transmisión de datos y tarjetas de control basadas en el uso de protocolos TCP/IP, haciendo posible la conexión del circuito a las redes Ethernet.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema se compone de un circuito electrónico, dispositivos para redes inalámbricas y una aplicación software; la figura 1, muestra el esquema general de funcionamiento del sistema. El circuito electrónico permite la captura de la señal del sensor que mide el nivel de la precipitación dentro del colector de agua del pluviógrafo, este circuito se conecta por medio de un cable UTP cat5e a un dispositivo de red inalámbrico (*Router o Access Point*), estableciendo la comunicación hacia una estación remota de monitoreo, que posee otro dispositivo de red inalámbrico (*Router*). Esta estación remota se encarga de controlar mediante el software las condiciones de funcionamiento del circuito electrónico y procesos necesarios para el almacenamiento y presentación de los datos provenientes de la estación pluviográfica.

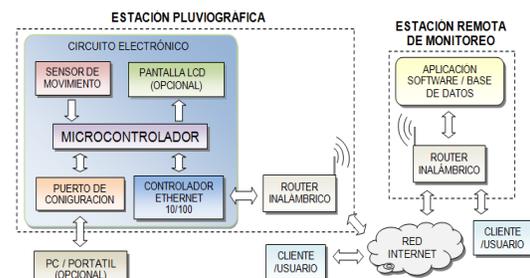


Fig. 2. Diagrama de General del Sistema.

### 2.1. Circuito Electrónico

En la figura 2, se presenta el diagrama en bloques del circuito.

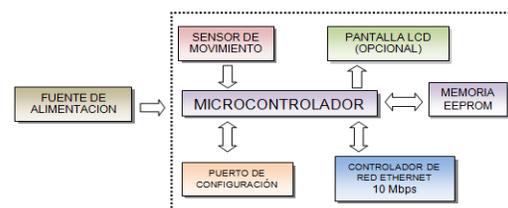


Fig. 2. Diagrama de Bloques del Circuito.

El funcionamiento de este depende de la interacción de sus componentes, constituido por un microcontrolador (PIC18f452), que ejerce funciones de control para los procesos de comunicación inalámbrica y captura los datos de precipitación atmosférica por medio de un sensor tipo potenciómetro lineal que realiza la medición del nivel, la figura 3 presenta un esquema del sensor; también posee un circuito integrado (RTL8019as), que establece el funcionamiento para la comunicación hacia las redes Ethernet,

además posee una memoria EEPROM (24lc256), para almacenar datos de configuración, una pantalla LCD de dos líneas para visualizar datos de configuración, también tiene un circuito integrado que es utilizado para establecer un conexión del PIC hacia un computador mediante el puerto serial para efectos de cambios en la configuración de funcionamiento del circuito. Se define como el circuito electrónico adaptable al pluviógrafo tipo Hellman al conjunto de estos elementos, el sistema hardware implementado se presenta en la figura 4. Los detalles del hardware se presentan en (Sandoval y Tobar, 2010).

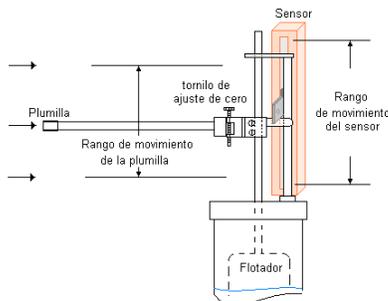


Fig. 3. Sensor de nivel implementado en el pluviógrafo.

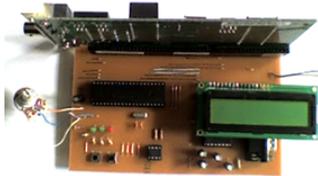


Fig. 4. Circuito de medición de precipitación con conexión inalámbrica.

## 2.2. Transmisión Inalámbrica.

Los equipos utilizados para establecer la comunicación inalámbrica entre la estación de monitoreo y la estación pluviográfica, se basan en la tecnología Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), la cual se compone de un conjunto de estándares referentes a las redes inalámbricas y basadas en la especificación IEEE 802.11. La tecnología Wi-Fi se creó para ser utilizada en redes locales inalámbricas, y este uso se ha ampliado dando también cobertura a accesos a la red Internet, brindando ventajas en cuanto a facilidad de implementación de los dispositivos, facilidad de adquisición los equipos en el mercado a bajos costos, uso de frecuencias de operación regidas por las bandas de frecuencia de uso libre en Colombia, compatibilidad con redes cableadas del estándar IEEE802.3 y en este caso permite la posibilidad de acoplar múltiples sensores en la estación meteorológica utilizando el mismo canal de comunicación, además que es una tecnología

ampliamente usada, la evolución de este tipo de redes permite a futuro contar equipos con bajos consumo de energía, dispositivos de menor tamaño, rangos de cobertura más amplios, y mejores velocidades reales de transmisión, por consiguiente se hace uso de dispositivos para la transmisión inalámbrica que operan en conjunto a los estándares IEEE 802.11b y IEEE802.11g, en las frecuencia de 2.4 GHz con tasas, brindando tasas de transferencia máximas teóricas de 11 Mbps y 54 Mbps respectivamente. (Rojas, 2006) y (Araujo, 2008).

Para el área de ubicación del equipo de almacenamiento de los datos, se usa un dispositivo conocido como **Router** o Enrutador, que se encarga de proveer una conexión al equipo de almacenamiento, compatible con las redes tipo Ethernet. El equipo de almacenamiento se encuentra configurado como un equipo servidor de páginas Web, por lo que el *Router* provee acceso a la red de Internet mediante el puerto WAN que este posee. Y para la zona de ubicación del pluviógrafo se usa un dispositivo conocido como *Access Point* o punto de acceso, gracias a que este dispositivo posee configuraciones para el rastreo de las señales que se encuentran en su rango de alcance. Estos dos dispositivos inalámbricos están distanciados aproximadamente a 240 metros. La figura 5 indica la ubicación de la estación meteorológica y la estación remota de monitoreo, mediante una imagen satelital que puede ser consultada por software *Google Earth*.



Fig. 5. Ubicación estación remota de monitoreo y estación meteorológica.

(Fuente: Google Earth, 2010).

## 2.3. Router Inalámbrico.

El Router o Enrutador es el dispositivo que permite la interconexión de las redes LAN, WLAN y WAN. El "*Router*" toma decisiones lógicas con respecto a la mejor ruta para el envío de los datos debido a que este dispositivo establece una interfaz de conexión hacia la red Internet, posibilitando la ejecución del software de control del pluviógrafo en una página Web. El dispositivo usado como

*Router* es fabricado por la empresa QPCOM con referencia QP-WR258GHP, este dispositivo usa tecnología IEEE802.11 b/g (QPCOM 2008).

#### 2.4. Access Point (AP)

Este equipo permite la interconexión de las redes LAN y WLAN, tiene funciones que operan en la capa dos (nivel enlace) del modelo de referencia OSI. El modo de operación para este dispositivo es el modo cliente, quien establece la petición de conexión al equipo *Router*. En el diseño de transmisión inalámbrica se hace uso del Access Point QPCOM QP-WA257GHP dispositivo inalámbrico de tecnología IEEE802.11 b/g (QPCOM 2007).

#### 2.5. Aplicación software para el control y procesamiento de datos

El diseño software esta implementado bajo el lenguaje de programación PHP (*Hypertext Preprocessor*), es un lenguaje de código abierto de alto nivel, especialmente pensado para desarrollos web y el cual puede ser incrustado en páginas HTML. La mayoría de su sintaxis es similar a C, Java y Perl. (Achour *et al.*, 2010). Además el diseño del software hace uso del software MySQL que proporciona un gestor de base de datos SQL (*Structured Query Language*) muy rápido, multi-hilo, multi-usuario y robusto, con características que pueden ser vistas en (Corporación ORACLE 2010) y que permite el almacenamiento de la información proveniente del circuito electrónico de la estación pluviográfica. El software permite controlar y procesar los datos mediante funciones para el almacenamiento de información, análisis de datos de acuerdo al modelo matemático aplicable a registros pluviográficos. La información se presenta en gráficos generados por el software ChartDirector ya que permite la creación de gráficos dinámicos con opciones que permiten modificar de forma sencilla los rangos de visualización.

La figura 6 muestra el diagrama de componentes de la herramienta desarrollada y que permite identificar cada uno de los actores en el proceso, como son; la base de datos, en el cual se encuentra la información de la precipitación atmosférica, el servidor de aplicaciones en el cual se encuentra la página WEB, que despliega y permite el acceso a la información del pluviógrafo y finalmente el usuario quien es el encargado de generar los análisis de la información que se presenta en la página WEB.

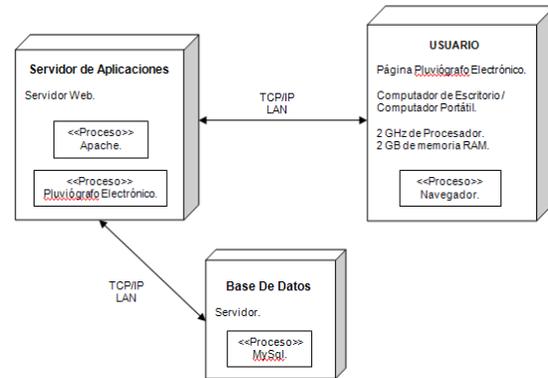


Fig. 6. Diagrama de componentes del software.

La información que suministra la aplicación software permite conocer:

- El comportamiento de la plumilla inscriptora del pluviógrafo, indicando su movimiento en un gráfico (Pluviograma en tiempo real), figura 7.



Fig. 7. Pluviograma en Tiempo Real.

- Valores de la precipitación acumulada en días, en meses y en años, representados en gráficos de barras. Cada barra posee un link que indica información más detallada de la pluviosidad acumulada o el pluviograma registrado, figura 8. Esta información no es posible obtenerla del pluviógrafo mecánico de forma directa, ya que este registra datos de forma semanal, lo cual hace del sistema diseñado un herramienta útil en el proceso de análisis de datos históricos.

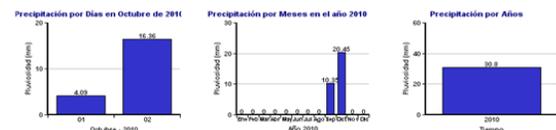


Fig. 8. Precipitación total representada en gráficos de barras.

- Distribución de las lluvias respecto al tiempo, mediante un gráfico. (inicio y finalización de los eventos de precipitación, y en la parte inferior se indican las características asociadas a las lluvias), figura 9.

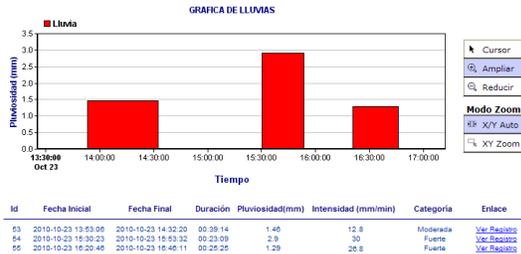


Fig. 9. Gráfica de lluvias.

- Características de las lluvias, mediante la creación de gráficos conocidos como hietogramas, curva masa, hietogramas de intensidades y curvas Intensidad duración. En la figura 10 se presenta el gráfico de curva masa en el lado izquierdo, y el hietograma en el lado derecho.

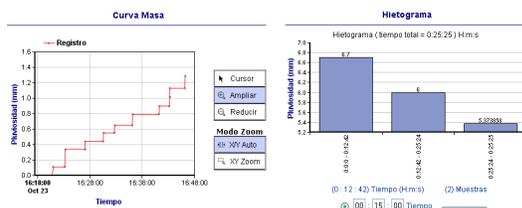


Fig. 10. Gráfica de Curva Masa, Hietograma.

- Datos históricos, mediante la consulta de pluviogramas, tablas de lluvias y reportes.

La herramienta desarrollada permite llevar un registro en tiempo real de la precipitación, la creación de gráficos como hietogramas, curvas de masa, que permiten un mejor análisis por parte del personal encargados de trabajar en el estudio de las condiciones ambientales.

### 3. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas de funcionamiento del sistema total del Pluviógrafo Electrónico (Figura 11), que consiste en la adaptación del circuito electrónico al pluviógrafo tipo Hellman, la conectividad del radioenlace haciendo uso de los equipo de transmisión inalámbrica de la empresa QpCom, la configuración como servidor de páginas Web el equipo remoto destinado al almacenamiento de los datos y la instalación aplicación software en el servidor, se determina las condiciones de funcionamiento y calibración del instrumento para poder realizar un análisis comparativo entre dos instrumentos de medida de la precipitación en la zona de estudio (Pluviógrafo Hellman y Pluviógrafo Electrónico).

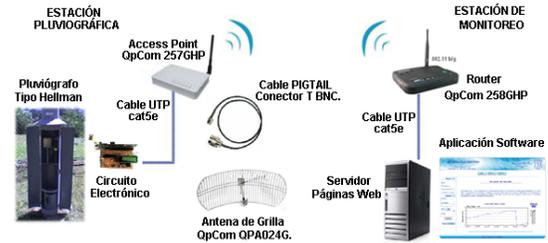


Fig. 11. Elementos para la Instalación del Pluviógrafo Electrónico.

Para realizar un análisis comparativo de los resultados de la precipitación atmosférica registrada diariamente mediante el pluviógrafo convencional y el pluviógrafo electrónico diseñado, se aplica la prueba t-student, ya que esta es una herramienta estadística que se utiliza para comparar dos grupos de datos, en la que se determina si existen diferencias significativas entre las variables que se analizan, con individuos o muestras distintas (prueba t no pareada, puede ser distinto número de muestras) o cuando tenemos el mismo grupo evaluado, por ejemplo con un antes y después (prueba t pareado, igual número de muestras) (Angel 2007). Esta prueba es usada comúnmente para saber si un instrumento de medición cualquiera está calibrado, desde el punto de vista de la exactitud.

En las figura 12 y 13, se presentan los pluviogramas generados a partir de los dos instrumentos (pluviógrafo convencional y pluviógrafo electrónico), para las fechas comprendidas entre el miércoles 20 de Octubre de 2010 y el 25 de Octubre de 2010.

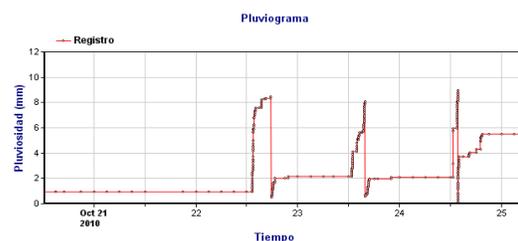


Fig. 12. Pluviograma obtenido con Pluviógrafo Electrónico.



Fig. 13. Pluviograma obtenido con Pluviógrafo tipo Hellman de sifón Automático.

La Tabla 1, presenta los valores más representativos que se obtiene de los dos pluviogramas, se extraen los datos de forma visual del pluviograma obtenido por el pluviógrafo tipo Hellman, y se extraen los valores correspondientes de la base de datos para el pluviograma obtenido por el pluviógrafo electrónico.

Tabla: 1. Valores obtenidos de los dos pluviogramas.

Datos	Valor observado en el papel (mm). A	Valor capturado por el Software (mm). B	Diferencia A-B.
1	0,5	0,93	-0,43
2	0,7	0,93	-0,23
3	0,7	0,93	-0,23
4	7,4	7,57	-0,17
5	7,9	8,2	-0,3
6	0,4	0,51	-0,11
7	1,85	2	-0,15
8	1,85	2,15	-0,3
9	4,05	4,13	-0,08
10	5,5	5,59	-0,09
11	8,05	8,06	-0,01
12	0,55	0,58	-0,03
13	1,85	1,97	-0,12
14	1,9	2,08	-0,18
15	5,85	5,96	-0,11
16	9,1	8,96	0,14
17	0,1	0,11	-0,01
18	3,55	3,7	-0,15
19	3,9	4,04	-0,14
20	3,9	4,29	-0,39
21	5,4	5,51	-0,11

El promedio de la diferencia de los dos registros es de 0,1524 mm y con desviación estándar de 0,13172. Esto indica que los dos registros difieren en  $0,1524 \text{ mm} \pm 0,13172$ . Para observar de una forma más apreciativa la diferencia de los dos pluviogramas podemos superponer las dos graficas y se obtiene la figura 14.

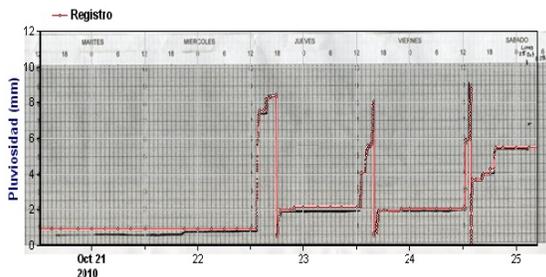


Fig. 14. Superposición de los dos pluviogramas.

Del anterior análisis podemos concluir que el pluviógrafo electrónico realiza una marcación similar a la que produce el pluviógrafo convencional, y a partir de los registros se puede determinar la pluviosidad que se registra en la zona de estudio para un determinado intervalo de tiempo.

#### 4. CONCLUSIONES

Los instrumentos meteorológicos juegan un papel muy importante en la descripción del comportamiento climático que afecta una zona en particular, el uso del pluviógrafo permite generar datos de gran importancia acerca comportamiento de las lluvias. Como la información obtenida con el pluviógrafo tipo Hellman, depende de la manipulación humana de este instrumento, es muy común encontrar datos incorrectos en los pluviogramas que este genera. La adaptación del circuito electrónico, la instalación de dispositivos de transmisión inalámbrica y el diseño de una aplicación software, hace posible mejorar los procesos de funcionamiento y calidad de información que se obtiene de este instrumento, además la información puede ser consultada en la red Internet para datos actuales (hora actual en segundos) y para datos históricos (por días, meses o años).

A partir de los registros del pluviógrafo, es posible extraer información valiosa de las lluvias que presentan en la zona de estudio, mediante la creación de pluviogramas, hietogramas, hietogramas de intensidades, curvas masa de precipitación, gráficas para la distribución de las lluvias respecto al tiempo de duración, y otras gráficas que pueden ser creadas a partir de los datos capturados por el sistema y que son presentadas al usuario mediante el uso de gráficas dinámicas para su mayor comprensión haciendo uso de opciones de ampliación o reducción de la visualización sobre el gráfico.

Las mediciones de la precipitación atmosférica obtenida por los dos instrumentos (el Hellman y el diseñado), generan pluviogramas que al compararlos entre sí, no establecen diferencias significativas, teniendo en cuenta la calibración aplicada a los dos instrumentos mediante el análisis estadístico de la prueba *t-student*, bajo un margen de aceptación del 90% ( $1 - \alpha$ ).

El pluviógrafo y pluviómetro poseen características de funcionamiento similares en cuanto a su sistema de medición mecánica, la diferencia radica en la presentación de la información. Los pluviómetros totalizan la cantidad de lluvia ya sea por días, meses o años, y el pluviógrafo describe el comportamiento de la lluvia en función del tiempo. Si se realizan mediciones con un pluviómetro usando un tiempo de muestreo muy pequeño (segundos), este instrumento se puede decir que presentaría un comportamiento similar a un pluviógrafo.

El uso de una herramienta software aplicada al análisis de la información de pluviogramas, hace parte de la innovación que se obtiene en el proyecto, debido a la complejidad en la extracción de la información que se aplican a estos registros, que con una visión a futuro se pueden realizar numerosos cálculos a partir de estos registros para diversas áreas de la investigación.

## REFERENCIAS

- Aparicio F. (2005). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, Limusa, México.
- Lladó L., Teixidó, M. Hernández F. y Gutiérrez C. (1997) *Atlas temático meteorología*, Levante, España.
- Rojas R. Rivera R. y Quispe W. (1997). *Internet y redes Inalámbricas*, CLANAR Centro de enseñanza para Latinoamérica, Arequipa, Perú.
- Araujo G., Camacho L., Chávez D. y Vera J. (2008). *Redes Inalámbricas para Zonas Rurales*, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- QPCOM (2008). *Qp-WR258GHP High Power 802.11b/g Wireless AP Router*.
- QPCOM (2007). *QP-WA257GHP 802.11b/g Wireless High Power Access Point with PoE*.
- M. Achour et al. (2010). *Manual de PHP*, the PHP Documentation Group. Disponible: <http://www.php.net/manual/es/> . [Acceso: Agosto 2, 2010].
- Corporación ORACLE (2010). *Manual de Referencia MySQL 5.0*, revisión: 22139, Corporación Oracle y afiliados. Disponible: <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.0/es/> [Acceso: Agosto 2, 2010].
- Angel J. (2007). *Estadística General Aplicada*, 1ra ed. Medellín, Colombia.
- Sandoval G. y Tobar J. (2010). *Diseño e implementación de un pluviógrafo electrónico con transmisión de datos inalámbrica a partir de un pluviógrafo tipo hellman*, Universidad del Cauca. Colombia.