

**DATA ACQUISITION SYSTEM FOR MONITORING QUALITY OF WATER  
REVERSE VARIABLE pH, CONDUCTIVITY, TEMPERATURE AND  
DISSOLVED OXYGEN**

**SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL MONITOREO DE LA  
CALIDAD DEL AGUA A TRAVÉS DE LAS VARIABLES DE pH,  
CONDUCTIVIDAD, TEMPERATURA Y OXIGENO DISUELTO**

**Ing. Reinaldo Almario Ospino\*, PhD(c). Bladimir Azdrubal Ramón Valencia\*\*  
PhD. Jacipt Alexander Ramón Valencia\***

**Universidad de Pamplona**

\* Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo GIAAS.

\*\* Grupo de Investigaciones en Ingeniería Mecánica GIMUP.

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Colombia, Tel.: (577)-5685303 Ext. 140.

E-mail: {reinaldo.almario, hbladimir, jacipt}@unipamplona.edu.co

**Abstract:** This paper describes the design of a given acquisition, storage and data recorder (Datalogger SADU), with special features such as GSM / GPRS, with I2C Bus Extender, USB 2.0 communication with a computer, temperature sensor, conductivity and included dissolved oxygen, among others, these features give users an open system that allows the incorporation of a greater number of variables to compare the traditional Datalogger, Microcontroller firmware update without an external programmer, data monitoring anywhere there is coverage to the GSM / GPRS, compact design and greater versatility than most Datalogger.

**Keywords:** GSM Datalogger, I2C, AT commands, Visual Studio 2010, water monitoring, water quality.

**Resumen:** En este documento se describe el diseño de un sistema de adquisición, almacenamiento y registrador de datos (Datalogger SADU), con características especiales como: comunicación GSM/GPRS, Bus I<sup>2</sup>C con extensor, comunicación USB 2.0 con ordenador, sensor de temperatura, conductividad y oxígeno disuelto incorporado, entre otros; estas características brindan al usuario un sistema abierto, que posibilita la incorporación de un mayor número de variables a comparación de los Datalogger tradicionales, actualización del Firmware del Microcontrolador sin necesidad de un programador externo, monitoreo de datos en cualquier lugar donde exista cobertura a la red GSM/GPRS, diseño compacto y mayor versatilidad que la mayoría de los Datalogger.

**Palabras Claves:** GSM, Datalogger, I2C, Comandos AT, Visual Studio 2010, monitoreo de aguas, calidad del agua.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde 1999 se determinó que en la gestión de los recursos hídricos o hidrosistemas como parte del ambiente natural, en relación con su ambiente

socioeconómico, se deben distinguir cuatro niveles de gestión y operación: (1) la gestión operacional, (2) la realización de políticas estratégicas y la planeación, (3) la infraestructura institucional enfocada al monitoreo, la colección y el

procesamiento de datos orientado hacia hechos específicos, y (4) el soporte analítico enfocado en la toma de decisiones. Actualmente es reconocido que tales niveles requieren del diseño e implementación sistemas de soporte a decisiones asistidos computacionalmente que permitan, sobre la base de modelos, la simulación prospectiva orientada a la identificación, análisis y evaluación de asignaciones, políticas o planes alternativos.

Lo anterior tiene su base en que la gestión del agua en las cuencas hidrográficas al ser una tarea compleja, que requiere entre otros, del conocimiento de muchas disciplinas, incluidas el análisis de riesgos, análisis de datos, análisis de políticas, modelamiento y simulación espaciales y análisis de decisión, necesita de la implementación de herramientas computacionales avanzadas que den soporte y que faciliten la valoración de situaciones presentes y asistan en el desarrollo y evaluación de soluciones.

En contraste, poca atención se ha dado al desarrollo de sistemas y herramientas que cubran todos los aspectos y procesos relevantes del agua en el entorno de su cuenca hidrográfica como un todo. Esto puede ser explicado en el hecho de que nociones más amplias, como la de gestión integrada del agua sea relativamente reciente (Pratt, et al., 2005; Rasch, et al., 2005; Jeffrey y Gearey, 2006), y a la complejidad del monitoreo, al igual que al análisis de la interacción entre los subsistemas naturales y socio-económicos (Tippett, 2005). En cuanto al soporte analítico de la gestión operacional del agua, los avances de las TI, han generado resultados interesantes que para la fecha se han aplicados con éxito en muchas cuencas hidrográficas del mundo, donde el monitoreo es llevado a cabo sobre una rutina base y los resultados almacenados en bases de datos.

Al respecto existen actualmente, retos interesantes tanto en la homogenización de los métodos del monitoreo y en el análisis de datos, usados por diferentes instituciones y agencias (especialmente en cuencas internacionales), como en hacer que la información esté disponible para cualquiera que esté interesado o involucrado en ella. La evaluación de la calidad del agua es un proceso que involucra los diversos componentes que interactúan para definir sus características en términos de variables físicas, químicas y biológicas, las autoridades ambientales, instituciones, el sector productivo y particular, requieren información de calidad del agua que permiten tomar decisiones en materia de programas y proyectos encaminados a la protección, conservación y recuperación del

recurso hídrico y/o su aprovechamiento para un uso específico. la implementación del dispositivo permite realizar la captura y emisión de datos exactos, confiables y adecuados que establecen las condiciones de calidad del recurso hídrico, con el fin de asegurar la confiabilidad de los resultados; el problema de mantener la comunicación y el muestreo de datos requiere de trabajo interdisciplinario y es de mucho interés en la comunidad científica por todas sus implicaciones tecnológicas (uso, adaptación y desarrollo de las tecnologías y técnicas más avanzadas, aplicaciones prácticas importantes, integración sinérgica de componentes y conocimientos), científicas (aplicación de ciencia básica) y humanas.

En la actualidad los sistemas registradores de datos están limitados a registrar variables fijas como la temperatura y la humedad, capacidad de memoria limitada y estructuras complejas para realizar el monitoreo de las variables. Debido a estas limitaciones, SADU, está en la capacidad de incluir la mayor cantidad de variables según las necesidades de los usuarios, realizar una comunicación remota utilizando la Red Celular e incorpora una mayor cantidad de memoria para el soporte de la información.

## 2. PRESENTACIÓN DEL DATALOGGER DE DATOS POR USB

El Datalogger que se utilizó tiene la capacidad de registrar cinco variables analógicas con una resolución de 10bit, entre las cuales el sistema utiliza una para la medición de la humedad relativa, por lo tanto el administrador del Datalogger dispondrá de 4 de estas entradas. Para extender las aplicaciones del Datalogger se disponen de 5 puertos I<sup>2</sup>C los cuales le permiten al administrador del Datalogger vincular nuevas variables al sistema, las cuales tienen la ventaja de incorporarse con una distancia máxima de 5 metros por variable. El sistema integra una memoria del tipo MicroSD de alta capacidad para el almacenamiento de las variables, un reloj calendario el cual nos facilita el manejo del tiempo, un sensor de temperatura que registra la temperatura ambiente en la cual está trabajando nuestro Datalogger, el sistema facilita la comunicación con el ordenador por puerto USB lo cual permite una excelente manipulación con ordenadores portátiles, además de incorporar comunicación RS232 en la cual se enlaza un modem GSM/GPRS que hace de este sistema un registrador de datos para monitoreo o supervisión en zonas remota.

En la figura 1 se puede observar la vista anterior del Datalogger, en la cual se destaca las siguientes características: 5 puertos para comunicación I<sup>2</sup>C de tipo RJ11, un puerto de comunicación USB y RS232, el cerebro utilizado, el PIC18f2550 y otros dispositivos que trabajando en conjunto hacen de este Datalogger una excelente herramienta como registrador de datos.

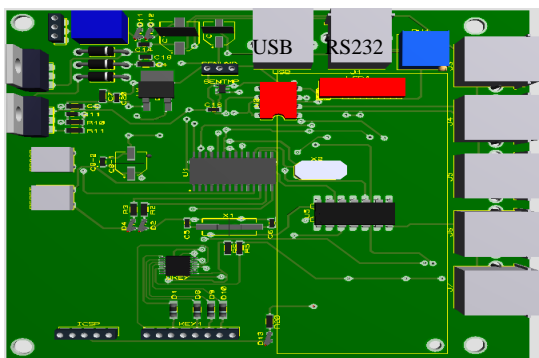


Fig. 1: Vista anterior del Datalogger

En la figura 2 se observa la vista posterior en la cual se enfatizan las siguientes características: un conector para batería de litio tipo lenteja, un conector para memoria tipo MicroSD y otros dispositivos.

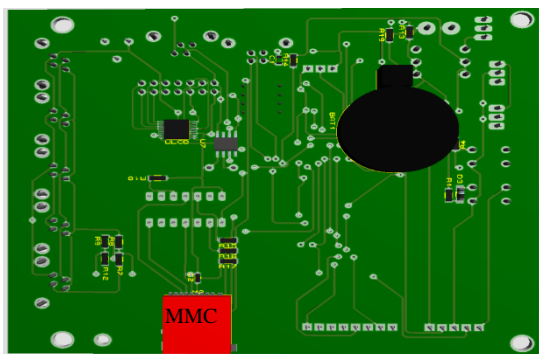


Fig. 2: Vista posterior del Datalogger

Por lo general los Datalogger son sistemas cerrados que se implementa para el monitoreo de ciertas variables conocidas como se estipulo en el párrafo anterior, esto hace que para diferentes aplicaciones requiere de diferentes Datalogger o uno que integre las necesidades de la aplicación. El Datalogger que se presenta en este artículo es un sistema totalmente abierto, gracias a que incorpora el bus I<sup>2</sup>C y permite la actualización del firmware de forma fácil y sencilla utilizando el puerto USB2.0, por ej. Si el registrador de datos fue implementado para monitoreo de ciertas variables en un proceso y a este se le vincula otra variable, se relaciona esta nueva variable por el bus I<sup>2</sup>C y se actualiza el firmware del Microcontrolador.

Este sistema también está preparado para funcionar en modo de alarma, en este modo si ocurre alguna anomalía en las variables monitoreada el sistema avisaría enviando un mensaje de texto reportando la anomalía.

### 3. DISEÑO DEL DATALOGGER

Este sistema está basado en un microcontrolador de la familia de Microchip específicamente el PIC18f2550 el cual puede trabajar a una frecuencia máxima de 48Mhz.

El sistema Puede adquirir hasta 5 variables analógicas con una resolución de 10bits, incorpora diferentes módulos que se integran para dotar de mejores prestaciones al Datalogger los cuales especificamos a continuación

#### 3.1 Módulo MicroSD

Este es uno de los módulos más importantes que incorpora el Datalogger el cual se encuentra dotado de una gran Memoria de almacenamiento, específicamente de 2GB. Este módulo hace al Datalogger versátil para cualquier aplicación en donde no se dispone de un ordenador ni de un sistema de comunicación inalámbrica. La información es almacenada en la memoria en un archivo con la extensión (\*.xls), permitiendo poder abrirlo en Microsoft Excel 2010 y de forma rápida poder visualizar las figuras de las variables almacenadas.

En la figura 3 se puede observar el diseño de este módulo. En donde el LED que nos indica la actividad de la memoria, este LED de color amarillo en el Datalogger parpadea cada vez que se utiliza la memoria, ya sea para almacenar o extraer información de la misma, el condensador que se aprecia se utiliza para el filtrado de la línea de alimentación de 3.3V los cuales son requerido para alimentación de la MicroSD según el fabricante este dispositivo es de vital importancia para el sistema. Además, se comprobó gracias a pruebas experimentales de este dispositivo que debe ir lo más cerca al conector de la tarjeta MicroSD de no ser así no ariá ninguna función en el Datalogger.

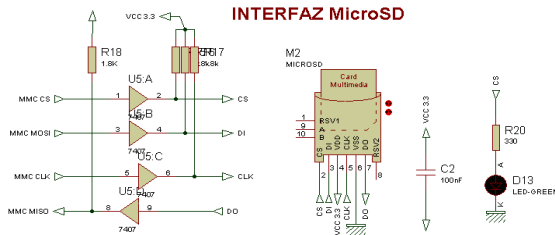


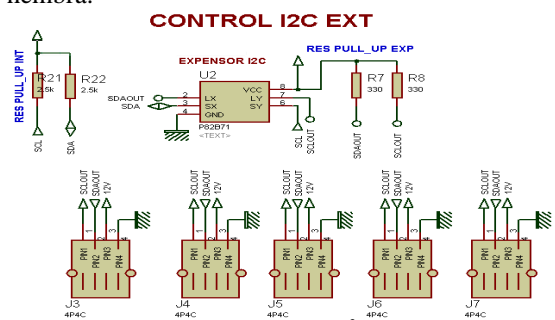
Fig. 3: Interfaz MicroSD.

### 3.2 Módulo de Comunicación I<sup>2</sup>C

Con este módulo se pueden monitorear la cantidad de variables en el *Datalogger*. El *Datalogger* incorpora este Bus en modo Master, para implementar este Bus se utilizan 2 líneas una que funciona como señal de Reloj y otra que funciona como señal de Datos. El estándar de este Bus se limita a la capacitancia de la línea la cual no debe ser mayor que 400 pf por consiguiente si deseáramos agregar una variable que utilice este Bus.

La máxima distancia que se puede utilizar para conectarlo es de 3.6m, teniendo en cuenta que un cable convencional presenta una capacitancia de 100 pf/m y cada dispositivo que se conecte el Bus agrega 20 pf de capacitancia. Por lo tanto, si ahora se requiere conectar otro sensor la distancia del cable que une a los sensores se reduce 1.7m por sensor. Viendo las limitaciones del Bus se puede pensar que es una mala idea implementar este Bus en la *Datalogger*, pero la empresa *Texas Instrument* nos ofrece la respuesta a este problema por que distribuye un dispositivo capas de aumentar el nivel de la capacitancia del bus en 10 beses, este dispositivo tiene como nombre P82B715.

En la figura4 se puede observar el diseño de este módulo del sistema. En cual se puede destacar el dispositivo de expansión del bus I<sup>2</sup>C explicado anteriormente con sus respectivas resistencias de pull\_up tanto la línea de baja capacitancia como en la de alta capacitancia, 5 conectores del tipo RJ11 hembra.

Fig. 4: Módulo I<sup>2</sup>C.

### 3.3 Módulo de Comunicación Inalámbrica

Para dotar al *Datalogger* de excelentes prestaciones como sistema de monitoreo, se utilizó la Red GSM/GPRS o Red Celular para la transferencia de datos. La cual nos permite Implementarlo casi en cualquier parte de Colombia y del mundo donde exista cobertura a la Red.

El Modem GSM utilizado es el FSU005-KB de WAVECOM el cual permite enviar y recibir datos por medio de la Red celular. Este módulo se controla por simples comandos AT o comandos HAYES. Para obtener los datos se implementó el envío de mensajes de texto a intervalos de tiempos en los cuales se envía información de los variables registradas.

### 3.4 Módulos adicionales

En esta categoría es importante destacar diferentes complementos que hacen del *Datalogger* un sistema potente para las diferentes aplicaciones. El *Datalogger* diseñado posee sensores internos que le permite conocer el estado de la humedad relativa la temperatura ambiente, lo cual es muy importante porque si el *Datalogger* se encuentra en un área donde la humedad es alta y la temperatura haciende significativamente puede causar que las moléculas de agua se condensen creando agua en la placa de circuito impreso, la cual puede deteriorar de forma fatal al *Datalogger*.

## 4. DISEÑO DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

El *Datalogger* está preparado para operar en zonas remotas, porque incorpora un modem GSM/GPRS. La adquisición de las diferentes variables se realiza cada 15 minutos y se almacenan en un buffer y se envían los mensajes de texto al *Datalogger*. Posteriormente el sistema toma dicho buffer el cual se convierte en una cadena de caracteres con información precisa de cada variable, esta cadena de caracteres es almacenada en la MicroSD y enviada atreves del modem GSM/GPRS con comunicación serial RS232 por medio de simples comandos AT:

1. Saber si el sistema reconoce comandos AT. Desde el *Datalogger* se envía la palabra "AT\r" donde el modem responde "ok" si es aceptado o responde con "error" si es que no acepta este tipo de comando la instrucción "\r" hace referencia a retorno de carro.

2. Establecer el mensaje en modo de texto para esto enviamos desde el Datalogger el siguiente comando "AT+CMGF=1\r", el modem responde "ok" si es aceptado "error" si no es aceptado.
3. Configurar el centro de mensaje para esto enviamos el comando "AT+CSCA="+573103150030\r", donde el número +573103150030 es el número de centro de mensaje de Comcel. El modem responde "ok" si es aceptado "error" si no es aceptado.
4. Establecer el número de destino para lo cual se envía el siguiente comando "AT+CMGS=311XXXXXX\r", donde las X corresponden a los numero que conforman al número de destino. El modem responde "ok" si es aceptado "error" si no es aceptado.
5. Crea el mensaje que se va a enviar, para esto enviamos el siguiente comando "BUFFER\_MENSAJE+Ctrl-Z" donde BUFFER\_MENSAJE es un vector que contiene la información de las variables registradas y Ctrl-Z corresponde el carácter número 26 en la tabla ASCII.

## 5. DISEÑO DE LA SOFTWARE RESIDENTE EN EL ORDENADOR

El software o Interfaz Hombre Máquina (HMI) fue diseñado en *Visual Studio 2010*, usando el lenguaje de programación Visual Basic. Esta plataforma permite la creación de aplicaciones para Windows de forma fácil y rápida, por ser una programación totalmente orientada a objeto.

En la figura 5 se observa una representación gráfica de la interfaz. Es un entorno basado en pestaña con colores atractivos y refrescantes, que le brinda al administrador del Datalogger un entorno fácil y agradable de usar.

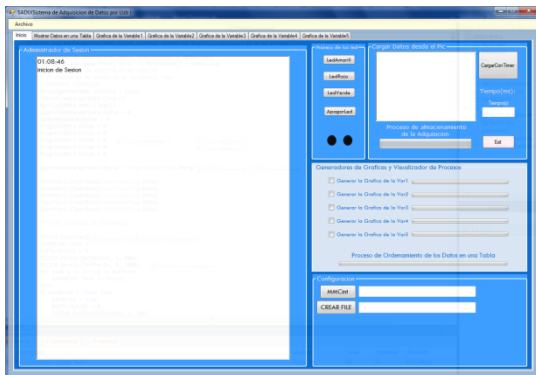


Fig. 5: Representación gráfica de la Interfaz.

A continuación se presenta una descripción de cada pestaña

**Pestaña de Inicio:** en esta pestaña se va a inicializar una nueva la cual puede ser directamente desde el Ordenador, de esta forma el sistema puede adquirir hasta 10000 datos por segundo o vía GSM con una tasa mucho menor.

**Pestaña Mostrar datos en una Tabla:** en esta pestaña organizamos todos los datos obtenidos de cada variable en una tabla de esta forma se nos facilita la comprensión y análisis de los datos.

**Pestañas Gráfica de la VariableX:** En estas pestañas se pueden apreciar las diferentes graficas que determinan el comportamiento de la VariableX donde X es un número que identifica la variable.

## 6. RESULTADOS

Los resultados mostrados en este artículo se basan en la adquisición de las 5 entradas analógicas que nos brinda el Datalogger. En las figura 6, 7, 8, 9 y 10 se pueden observar las entradas del pH, Conductividad, temperatura, Oxígeno disuelto y humedad relativa respectivamente. Los datos obtenidos por el Datalogger son registrados en la HMI y almacenados en la memoria MicroSD.

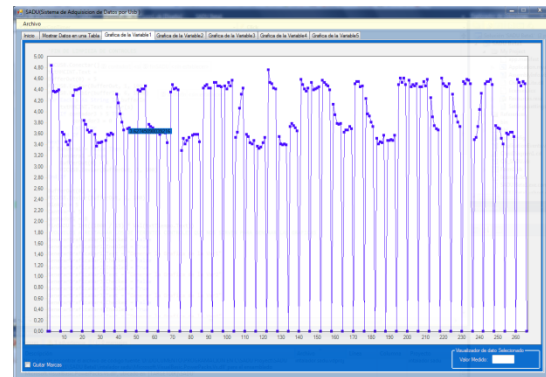


Fig. 6: Entrada analógica pH.

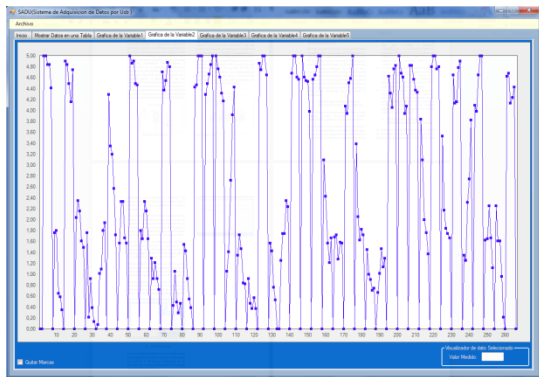


Fig. 7: Entrada analógica Conductividad

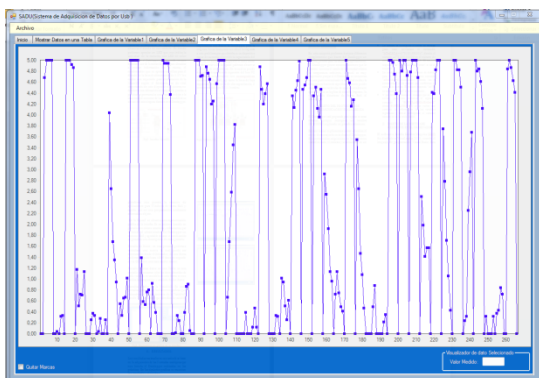


Fig. 8: Entrada analógica temperatura.

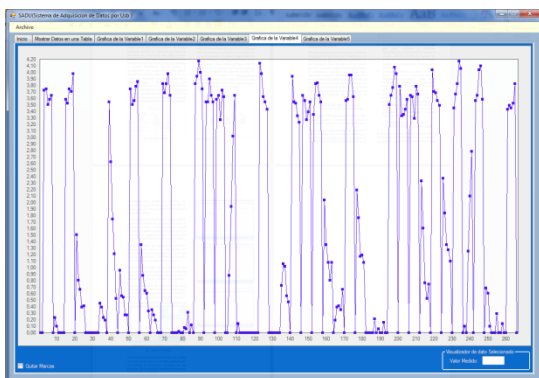


Fig. 9: Entrada analógica Oxígeno disuelto

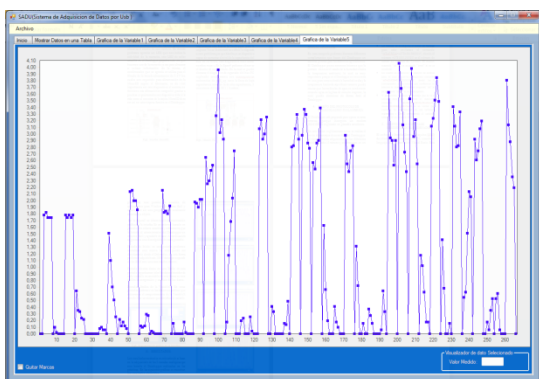


Fig. 10: Entrada analógica Humedad Relativa

## 7. CONCLUSIONES

El sistema diseñado de captura, procesamiento y supervisión de datos hidrometeorológicos cumple con las expectativas del trabajo, ya que es un sistema de adquisición robusto y autónomo, de bajo costo enfocado al monitoreo de la calidad ambiental.

El diseño y la implementación de una tarjeta de adquisición masiva de datos con interfaz de comunicaciones USB. Esta tarjeta de adquisición de datos trabaja en conjunto con una estación base, ampliando enormemente las utilidades y prestaciones del sistema.

Para demostrar la versatilidad y potencial de la aplicación, se añadieron distintos tipos de sensores entre los que se encuentran un circuito acondicionador de señal, un sensor analógico integrado y diferentes tipos de sensores digitales. La tarjeta de adquisición masiva de datos permite el funcionamiento coordinado de cada uno de estos sensores, ajustando su modo de funcionamiento a las características de la aplicación concreta.

Una vez analizado el funcionamiento del sistema y haber sometido al producto final a pruebas realistas como las descritas en el apartado anterior, se han puesto de manifiesto los buenos resultados logrados, habiendo superado con creces las expectativas iniciales del problema ambiental que se genera.

## REFERENCIAS

- David Muños Martínez (julio del 2006), Implementación de un tarjeta de adquisición masiva de datos por USB.
- P.S. Rasch, N. Ipsen, A. Malmgren-Hansen and B. Mogensen Linking (2005). integrated water resources management and integrated coastal zone management. Water Science & Technology Vol 51 No 11 pp 221–229 © IWA Publishing 2005.
- A. Pratt, J. Lønholdt, P.E. Jørgensen, B. Persson, V. Nikolov, R. Ianev, V. Dontchev and M. Klint Implementing the Water Framework Directive in Bulgaria: integrated river basin management on the Black Sea coast. Water Science & Technology Vol 51 No 11 pp 53–61 © IWA Publishing 2005.
- Nick Hanleya, Robert E. Wrightb, Begona Alvarez-Farizoc Estimating the economic value of improvements in river ecology using

- choice experiments: an application to the water framework directive. *Journal of Environmental Management* 78 (2006) 183–193
- Uzcátegui, “El clima y los factores climáticos”, Documento Interno, Universidad del Sur del Lago “Jesús María Semprum”. Venezuela, 1999.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, “Red meteorológica Colombiana”, Documento Publicado en la Web del IDEAM. Colombia, 2005.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, “Conceptos básicos de meteorología”, Documento Publicado en la Web del IDEAM. Colombia, 2006.
- Organización Meteorológica Mundial, “Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos”, Secretaria de la Organización Meteorológica Mundial. Suiza, 1990.
- W. Cooper y A. Helfrick. *Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición*, 2000.
- A. Creus. *Instrumentación industrial*, Editorial Alfaomega, 2001.
- IDEAM, datos Hidrometeorológicos Marzo – Junio 2008.
- A. Jaramillo. “Diagnóstico de algunos elementos ambientales en las microcuencas Agua Blanca, La Colonia, Iscala y la Honda, como parte del plan de manejo y ordenamiento de la cuenca del Río Pamplonita”, Tesis de pregrado, tecnología en saneamiento ambiental, Universidad de Pamplona. 2008.
- A. Jaramillo. “Diagnóstico ambiental de la microcuenca ulaga con énfasis en la evaluación del recurso hídrico como parte esencial para la reformulación del POT de la cuenca del Río Pamplonita”, Tesis de Pregrado, Ingeniería Ambiental, universidad de Pamplona. 2007.
- David Muñoz Martínez. “Implementación de una tarjeta de adquisición masiva de datos con interfaz de comunicación USB”, Tesis de pregrado, Escuela técnica superior civil e industrial universidad de la laguna. 2006.
- Alberto Lorenzo Bonillo. “Comunicación Punto a Punto vía modem GSM”, Tesis de pregrado, Universidad Rovira i Virgili, 2004.