

Aproximación a un modelo contextual para calidad de datos en agricultura de precisión*

Fulvio Yesid Vivas**
Juan Carlos Corrales***
Gustavo Ramírez-González****

Recibido: 04/08/2015 • Aceptado: 02/05/2016
DOI: 10.22395/rium.v15n29a6

Resumen

La agricultura de precisión es un concepto agronómico de gestión de parcelas agrícolas, basado en la existencia de variabilidad en campo. Comprende varias etapas: recolección de datos, procesamiento de información y toma de decisiones. Después de una extensa revisión de la literatura, se observa que el control de calidad de los datos es un proceso muy importante para agricultura de precisión que puede ser considerado en la recolección de datos. En este artículo se da una aproximación a una arquitectura de control de calidad de datos utilizando la información de contexto del sistema de adquisición (SAD) y el medio ambiente. Este enfoque puede proporcionar a los SAD la capacidad de comprender las situaciones de su entorno con el fin de mejorar la calidad de datos para la toma de decisiones.

Palabras clave: control de calidad de los datos, agricultura de precisión, metadatos, sistemas de adquisición de datos, modelo contextual.

* La presente propuesta estuvo apoyada por el Programa para el Fortalecimiento de la Red Interinstitucional de Cambio Climático y Seguridad Alimentaria - RICCLISA; específicamente por el Proyecto de investigación Servicios de generación de alertas Agroclimáticas como soporte a la toma de decisiones del sector Cafetero Colombiano - AgroCloud. Dicho proyecto es financiado por la Universidad del Cauca, el CINARA, CENICAFE, CIAT, CREPIC y el programa de Redes de Conocimiento de COLCIENCIAS para el periodo 2013-2017

** M. Sc(c) en Ingeniería Telemática de la Universidad del Cauca. Miembro del Grupo de Ingeniería Telemática (GIT); Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Departamento de Telemática, Grupo de Ingeniería Telemática, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. Calle 5 # 4 -70, Tel: (57 2) 8209800 ext. 2129, E-mail: fyvivas@unicauca.edu.co

*** Ph. D. En Ciencias de la Computación, Profesor Titular y Líder del Grupo de Ingeniería Telemática (GIT); Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Departamento de Telemática, Grupo de Ingeniería Telemática, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. Calle 5 # 4 -70, Tel: (57 2) 8209800 ext. 2129. E-mail: jcorral@unicauca.edu.co

**** Ph. D. en Ingeniería Telemática. Profesor titular; miembro del Grupo de Ingeniería Telemática (GIT); Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Departamento de Telemática, Grupo de Ingeniería Telemática, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. Calle 5 # 4 -70, Tel: (57 2) 8209800 ext. 2127, E-mail: gramirez@unicauca.edu.co

Towards a contextual model for data quality in precision agriculture

Abstract

Precision agriculture is a farming management concept, based on the crop variability in the field; it comprises several stages: data collection, information processing and decision-making. After an extensive review of the literature, it appears that data quality control is an important process in precision agriculture and can be considered in the data collection process. This paper makes an approach to data architecture quality control by applying the contextual information of the acquisition system (sad) and environment context information. This approach can provide the sad the capability to understand the situations of their environment in order to improve the quality of data for decision-making.

Key words: data quality control, precision agriculture, metadata, data acquisition systems, contextual model.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas productivos en Colombia se verán afectados por el cambio climático. Se indica que un 80 % de los cultivos sembrados y más del 60 % del área nacional cultivable sufrirán las consecuencias del incremento de la temperatura y la alteración en el patrón de las lluvias [1]. Serán los pequeños productores quienes sufran con mayor fuerza las inclemencias de la oferta climática cambiante. Lo anterior se traduce en problemas de índole socio-económica, ya que los pequeños productores no solo son responsables del 30 % de la producción de alimentos sino que generan el 50 % del empleo rural [1].

En términos generales, el desconocimiento y la falta de acceso a tecnología que facilita el proceso de toma de decisiones hacen que esta población sea más vulnerable. En este sentido, la agricultura de precisión es un concepto relativamente reciente que se enfoca en optimizar el uso de los recursos agrícolas con el propósito de hacer una gestión eficiente de las parcelas. Se basa en el reconocimiento de la variabilidad espacio-temporal intrínseca que supone el manejo de un cultivo considerando tres etapas: la recolección de datos al nivel intensivo de las variables de suelo, cultivo y microclima; la generación de información y el uso de esta información en la toma de decisiones.

La presente propuesta está centrada en la primera fase de la agricultura de precisión, específicamente en la recolección de datos, que lo lleva a cabo el sistema de adquisición de datos –SAD– entre los cuales están las estaciones climatológicas y las redes de sensores que monitorizan continuamente variables agroclimatológicas (temperatura, humedad, precipitación, presión atmosférica, radiación solar, viento, temperatura del suelo y humedad del suelo).

La función principal de un SAD es la medición de una variable física por medio de sensores, realizar algunas tareas simples de procesamiento y, por último, enviar los datos a un centro para su posterior análisis. Con base en esto, la energía se consume en tres formas: adquisición, procesamiento de datos y operaciones de comunicación. Estos sistemas son desatendidos ya que se despliegan en un área determinada del cultivo, reciben poca intervención humana y son susceptibles a fallas.

En [2] se describe una taxonomía de fallas presentadas en la etapa de adquisición del SAD que se clasifican: en centrada en los datos recolectados de los sensores (parámetros fuera del rango, valores atípicos, pocas o nulas variaciones para un periodo de tiempo más largo de lo esperado y ruido excesivo), y fallas centrada en el sistema (falta de calibración de los instrumentos, fallas en el hardware, batería baja, los valores ambientales superan las capacidades del sensor). Para la etapa de transmisión la confiabilidad de los datos, según [3-4] se basa en métricas de redes tradicionales. La mitigación o la reducción de todos los tipos, fuentes y causas posibles de errores o

fallas por medio de un conjunto de mecanismos y procedimientos es lo que se llama un control de calidad de los datos y es el enfoque de nuestra propuesta.

En agricultura de precisión la mayoría de procesos y mecanismos de control de calidad de los datos se ejecutan en el centro de datos [5–7], sobre una base de datos y hacen uso del contexto que según Dey [8] se define como “cualquier información que puede ser caracterizada para definir una situación de una entidad” y almacenados como metadatos [5-6]. Los metadatos son el resultado de la interacción y el conocimiento de información relacionada con el ambiente y la información procesada de otros sistemas de adquisición llamada información contextual que ayuda a modelar la situación de recolección de datos.

Nuestra propuesta se enmarca en definir y adaptar ciertos mecanismos de control de calidad de datos en el SAD, planteando una arquitectura que haga frente a los recursos limitados de los sistemas de adquisición e integre los metadatos para enriquecer el proceso de control de calidad [9].

El resto del documento se estructura de la siguiente forma: la sección 2 plantea la arquitectura de alto nivel; en la sección 3 se explica el modelo lógico del proceso de control de calidad de los datos; la sección 4 muestra en detalle los niveles funcionales de la capa de control de calidad y en la sección 5 se presentan algunas conclusiones.

1. TRABAJOS RELACIONADOS

A continuación se resumen algunos trabajos relacionados, agrupados en las siguientes temáticas de interés: las arquitecturas presentes en un SAD, los mecanismos de control de calidad y los atributos de información contextual.

En la arquitectura se tienen tres niveles [7]: en el primero se encuentran los datos y metadatos de los sensores; en el segundo se procesan los datos con una base de conocimiento (local y global), y en el tercero, el almacenamiento de los datos.

Los mecanismos de control de calidad de los datos en estaciones climatológicas deben seguir una serie de criterios tanto en el diseño, como en la operación de redes climatológicas y la trazabilidad de los datos según la WMO (World Meteorological Organization) en donde se aplican técnicas, reglas de decisión y detección de errores sobre cada sensor. Por lo general, dichos mecanismos se operan sobre un solo sensor y se computan en una base de datos central. [5–7, 10].

Los atributos de información contextual se evidencian en la etapa de transmisión de datos en un SAD, representados por los parámetros de comunicación [4], entre ellos: el retardo, el ancho de banda del canal, la capacidad de la red y la velocidad de

transmisión. Sumado a esto la descripción de algunos atributos y metadatos es almacenada en una base de datos central [5-6, 11]. Estos metadatos no son utilizados, ni procesados dentro del SAD, sino que generan nuevos servicios para los usuarios en el centro de datos.

No existen mecanismos de control de calidad que se ejecuten en la etapa de adquisición y procesamiento del SAD. Además, la información contextual que está inmersa en este proceso de captura de información no se integra a los procesos de control de calidad de los datos.

2. ARQUITECTURA QUE CONSIDERA EL CONTEXTO

La arquitectura propuesta a través de sus componentes persigue generar en el SAD una mejora en la calidad de los datos capturados de los sensores y enviarlos al centro de datos como información de alta confiabilidad para la toma de decisiones en el ámbito agrícola. En el proceso de definir una arquitectura se establecen las siguientes funcionalidades:

- Una mejora en la calidad de los datos recolectados en los sensores.
- Acceso automático a los parámetros y capacidades de los sensores.
- Recuperación en tiempo real de los datos y el despliegue de servicios en la web.
- Interoperabilidad de estándares de la OGC y la OMM.

Dicha arquitectura se concibe desde tres aspectos: el primero de ellos el modelo físico de un sistema de adquisición representado en un nodo sensor, el segundo un modelo contextual [12] que enriquece el proceso de control de calidad de los datos y el tercero un modelo interoperable, orientado a servicios y conectado a la web como es SWE (Sensor Web Enablement) especificado por la OGC (Open Geospatial Consortium) [13].

El modelo físico se basa en la estructura hardware de un nodo sensor que se compone de la unidad de sensado, la unidad de procesamiento, la unidad de comunicación y la unidad de energía. La unidad de sensado recopila los datos del sensor y los transfiere a la unidad de procesamiento, esta a su vez posee un pequeño almacenamiento que almacenan los datos temporalmente durante las tareas de procesamiento. La unidad de comunicación transfiere los datos desde el nodo a otros nodos o estación base y por último la unidad de energía que suministra al sensor y al nodo la fuente de energía para realizar sus funciones. Se debe tener en cuenta las restricciones de estos componentes hardware para mantener un grado de autonomía aceptable.

El modelo contextual [12] describe la información contextual presente en un nodo sensor: un contexto de sensado que ofrece el conocimiento relacionado con la captura de los datos; un contexto de nodo que evalúa el estado del nodo y el impacto de interoperabilidad con otros nodos; el contexto de red referida a las funcionalidades de colaboración e interrelación con otros nodos y, por último, el contexto al nivel de la organización que impone los objetivos, la seguridad y las restricciones de privacidad de la organización. Estos contextos buscan enriquecer el proceso de control de calidad de los datos definiendo un conjunto de metadatos.

El modelo interoperable se basa en SWE [14] que aporta un framework de estándares y buenas prácticas al nivel del modelo de información con acceso a los parámetros y capacidades del sensor desde un entorno web; SWE abarca: el esquema de observaciones y medidas (Observation & Measurement Schema, O&M) [15] que define un modelo de datos y esquemas XML para representar observaciones y medidas obtenidas por un sensor; el lenguaje de modelamiento de sensor (Sensor Model Language, SensorML) [16] que define un modelo de datos y esquemas XML para describir sistemas y procesos de sensores, y el servicio SOS [17] que define una interfaz de servicio web para la petición, filtrado y lectura de información de observaciones y sistemas de sensores.

En la figura 1 se muestra la arquitectura de alto nivel propuesta, en donde el modelo contextual se sobrepone sobre el modelo físico con el fin de evidenciar los metadatos que son descritos para ser interoperables según la iniciativa SWE.

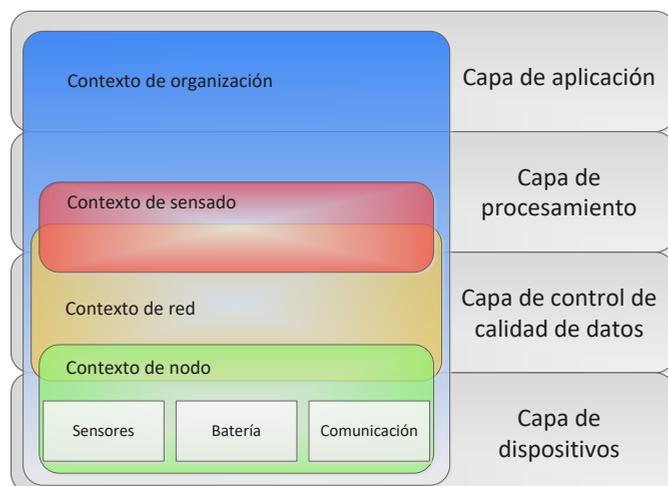


Figura 1. Arquitectura contextualizada de un SAD

Fuente: autores

A continuación se describe cada componente de la arquitectura propuesta.

- El contexto de nodo y la capa de dispositivos se refiere a la interacción con los

dispositivos físicos o hardware del sistema; en ellos se encuentran los diferentes sensores agroclimatológicos (temperatura, humedad, radiación solar, precipitación, velocidad y dirección del viento), ya sean de naturaleza analógica o digital, la tecnología de comunicaciones a emplear (802.15.4, Zigbee, Bluetooth, WiFi, GSM/GPRS) y la fuente de energía (batería y paneles solares).

- La capa de control de calidad de los datos asegura que los datos capturados reflejen fielmente las condiciones reinantes en la zona y que existe una coherencia entre los elementos observados en ese instante de tiempo. En esta capa debe existir una serie de mecanismos que ayuden a reducir el impacto que tiene los errores y fallas en la calidad de los datos y es aquí que confluyen el contexto de sensado, nodo y red que ayuden a evaluar y entender los datos capturados por los sensores.
- El contexto de sensado unido a la capa de procesamiento involucra todas las operaciones y condiciones de captura de datos teniendo en cuenta la información temporal, espacial y el tipo del fenómeno a ser observado; esto lo realiza el sistema operativo que, además, gestiona el uso de la memoria y da formato a los datos para ser enviados a un centro de datos.
- El contexto de organización y la capa de aplicación buscan ofrecer servicios e interoperabilidad a otros usuarios siguiendo las políticas de la organización en cuanto a seguridad, privacidad y entrega de información confiable, haciendo uso de estándares abiertos como el SWE.

3. CONTROL DE CALIDAD DE LOS DATOS

El control de calidad de datos (CCD) se refiere a los procesos y técnicas enfocados a mejorar la eficacia de los datos existentes. Además, debe incluir procedimientos para el retorno a la fuente de datos para verificarlos y prevenir la repetición de los errores. Es decir, si el valor de temperatura ambiente para la ciudad de Popayán, Colombia, registrado en el SAD es de 42 °C y según promedios históricos de temperatura para la ciudad es de 19 °C, este valor está por fuera del patrón de referencia ambiental, y el dato debe ser marcado como inconsistente para llevar a cabo las acciones necesarias, tales como la calibración del sensor, o su mantenimiento debido a un posible ruido en la medición de la variable temperatura producto de un agente externo.

El conocimiento de los procedimientos relativos al proceso de captura de los datos y al control de calidad permite a los usuarios evaluar la validez de la observación y convertir el proceso en un ciclo de mejora continua. Es por ello que se construye un modelo lógico (figura 2) que describe el flujo de los datos, las actividades para mejorar la calidad y los resultados obtenidos del proceso.

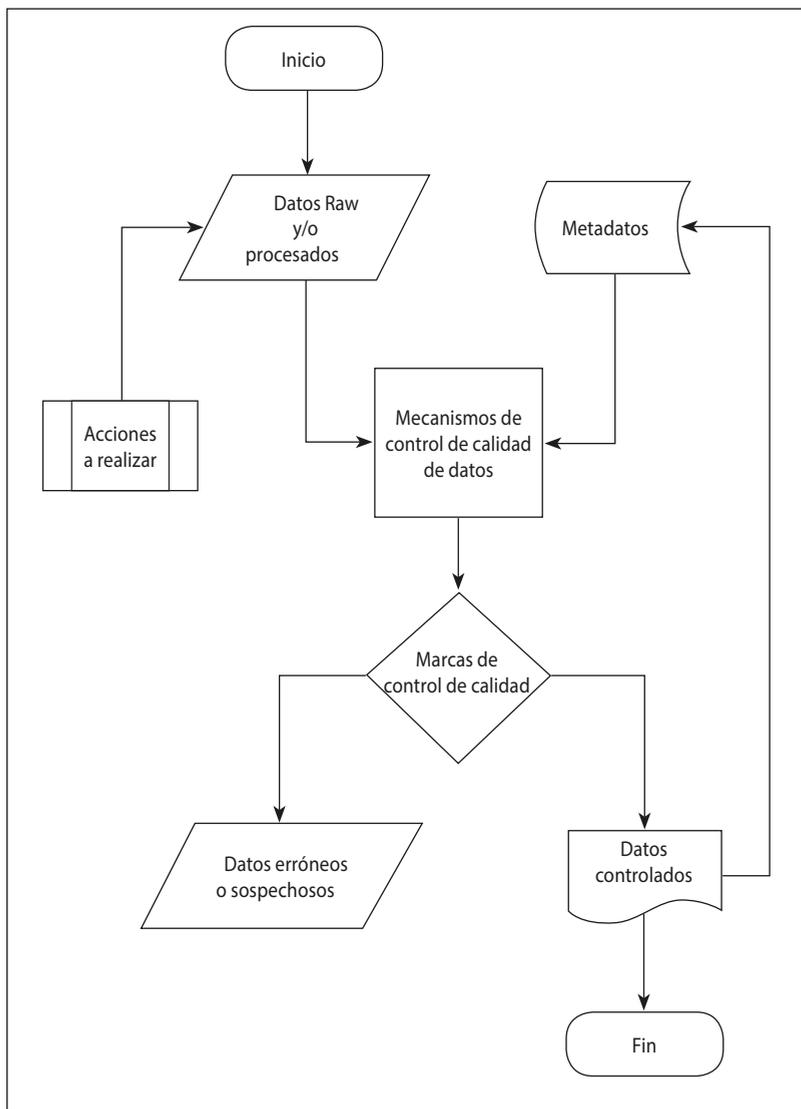


Figura 2. Modelo lógico capa de control de calidad de datos

Fuente: autores

La propuesta aborda:

- Un modelo de datos que está dividido en dos partes como lo sugiere [18]; la primera parte los datos brutos, datos procesados o controlados [19] que son recolectados de los sensores o vienen de etapas anteriores y es el objeto de nuestro estudio, y la otra, un conjunto de metadatos estándar o atributos de información entre ellos: datos del fabricante del sensor, métodos, esquemas de adquisición de datos, etc. Además,

se generan nuevos conjuntos de metadatos que son necesarios para informar a los futuros usuarios del tipo de datos que genera el sistema, la manera en que se capturaron los diversos conjuntos de datos y todos los problemas inherentes a la adquisición. Todos modelados bajo los estándares descritos por SWE, siguiendo las normas de la OMM.

- Los mecanismos de control de calidad para las diferentes fases del proceso de recolección de datos [20] son los responsables de mantener la confiabilidad de los datos, reducir en lo posible los errores, verificar y validar los datos capturados con el conjunto de metadatos. Entre los mecanismos se encuentran: reglas de decisión, funciones umbral, filtros lógicos, análisis estadísticos, interpolación y correlación de datos, entre otros.
- Marcas de control de calidad como lo sugiere la WMO [9] ofreciendo una categorización de los datos así:
 - Q.1. Buenos (datos con errores menores o iguales a un valor especificado)
 - Q.2. Inconsistentes (uno o más parámetros son incompatibles)
 - Q.3. Dudoso (sospechoso)
 - Q.4. Erróneos (datos con errores superiores a un valor especificado)
 - Q.5. Perdidos o faltantes.
- La salida del sistema de control de calidad debe incluir indicadores sobre el resultado de la medición, si es correcta o incorrecta, así como un conjunto de afirmaciones del resumen sobre los sensores, las marcas de calidad que se han atribuido a la observación; el historial de las modificaciones introducidas en los valores y en cualquier marca de calidad conexas. Además, se deben conservar los valores de los datos originales, estimados y modificados. Los datos controlados son el resultado de un dato marcado bueno y clasificado como satisfactoriamente controlado, y los datos que no superan el control de calidad son considerados como erróneos y no participan en futuros cálculos.
- Las acciones son llevadas a cabo si los datos son marcados como erróneos o sospechosos, caso en el cual se procede con otros mecanismos que evalúan los datos en una escala temporal y espacial para verificar los valores permisibles, la homogeneidad meteorológica y la verosimilitud física. Para los valores perdidos se puede tomar la acción de realizar nuevamente una captura del dato en el sensor, aumentando la calidad del sistema y reduciendo la incertidumbre que depende del nivel donde se encuentre la calidad de los datos.

4. NIVELES DE CONTROL DE CALIDAD

A continuación se muestra una jerarquía que se establece en la capa de control de calidad de los datos en un SAD producto del contexto de los datos y del sistema. Todos los niveles siguen el mismo modelo lógico propuesto anteriormente, teniendo sus diferencias en la información de los metadatos, los mecanismos de control de calidad utilizados, y las acciones a seguir cuando los datos son considerados sospechosos o erróneos.

- Nivel de control del sistema: en este nivel se realiza el control de la medición de los sensores teniendo en cuenta el contexto del sistema en que son tomados. Está destinado principalmente para indicar cualquier mal funcionamiento del sensor, la inestabilidad, el no cumplimiento de valores eléctricos cuando se capturan los datos, problemas de señales débiles cuando exista transferencia de información. Entre los metadatos está el nivel de la batería, la interfaz de comunicación con el sensor para garantizar un flujo continuo de los datos recolectados en una serie de tiempo. Los mecanismos de control de calidad se basan en reglas de decisión sobre las condiciones en que se toman los datos en los sensores, ya que pertenecen al contexto de sensado. Los valores marcados como erróneos en este nivel de control de calidad son eliminados y se solicita realizar una nueva medida; al mismo tiempo se asigna una marca sobre el sensor para reportar una posible alarma de mantenimiento.
- Nivel de control del fabricante: se hace el control de un tipo de datos (datos univariados), teniendo en cuenta los parámetros e información del fabricante, se revisan los umbrales de la medición para valores operacionales [21]. Los mecanismos de control de calidad utilizados se basan en rangos operacionales, función umbral y filtros lógicos [20] Los posibles datos erróneos se marcan y se almacenan para determinar las alarmas del sensor y programar planes de calibración y mantenimiento; además, se van estructurando los datos a un modelo estándar, basados en la especificación SensorML.
- Nivel de control contextual: se realiza el control teniendo presente múltiples tipos de datos (datos multivariados); los mecanismos son: patrones de referencia al nivel agroclimatológicos, pruebas de tolerancia en donde se establecen límites superiores o inferiores, pruebas de coherencia interna en cada sensor, pruebas de coherencia temporal [22] (análisis de Fourier, análisis de armónicos, análisis de componentes principales), pruebas de coherencia espacial y resumen de datos [9]. Un ejemplo que ilustra lo anterior es el descenso de 10 °C en la temperatura que, al cabo de una hora, puede ser sospechoso, pero podría resultar muy factible si se le relaciona

con el paso de un frente frío. El valor sospechoso tendrá que compararse con el tiempo reinante en ese momento y tal vez con otras observaciones (tales como la dirección del viento) antes de decidir si se valida o se modifica el dato.

5. CONCLUSIONES

La arquitectura propuesta refleja la capa de control de calidad de los datos y la forma como interactúa con las demás capas del SAD considerando el contexto de variables agroclimatológicas para agricultura de precisión. Esto fue posible gracias a situarse en el modelo físico de un SAD, para sobreponerlo con un modelo contextual de sensado y enriquecerlo con estándares abiertos e interoperables como el SWE.

La capa de control de calidad y sus diferentes niveles muestran un modelo de datos contextual compuesto por valores agroclimatológicos capturados por los sensores, información proveniente de otros niveles e información contextual almacenada como metadatos. Además, los mecanismos de control de calidad seleccionados tienen el conocimiento del contexto de sensado, y sus salidas son datos controlados en calidad a partir de una serie de marcas de calidad que siguen las normas de la OMM para su futura transmisión a un centro de datos donde se toman las decisiones del negocio.

La división por niveles de la capa de control de calidad permite una especialización en el manejo de datos resultantes que conducen a una mejora continua en el control de calidad de todo el SAD.

6. AGRADECIMIENTOS

Proyecto AgroCloud WP2 del programa RICCLISA financiado por Colciencias, Grupo de Ingeniería Telemática, Universidad del Cauca.

REFERENCIAS

- [1] C. LAU, A. Jarvis, and J. Ramírez, “Agricultura Colombiana: Adaptación al Cambio Climático”, *Cent. Int. Agric. Trop. (CIAT). 4p. ...*, vol. 1, p. 4, 2011.
- [2] K. Ni, M. Srivastava, N. Ramanathan, M. N. H. Chehade, L. Balzano, S. Nair, S. Zahedi, E. Kohler, G. Pottie, and M. Hansen, “Sensor network data fault types”, *ACM Transactions on Sensor Networks*, vol. 5, N.º 3. pp. 1–29, 2009.
- [3] E. C.-H. Ngai and P. Gunningberg, “Quality-of-information-aware data collection for mobile sensor networks”, *Pervasive Mob. Comput.*, vol. 11, pp. 203–215, 2014.
- [4] S. Ji, R. Beyah, and Y. Li, “Continuous data collection capacity of wireless sensor networks under physical interference model”, *Mob. Adhoc Sens. Syst. ...*, 2011.

- [5] C. L. Muller, L. Chapman, C. S. B. Grimmond, D. T. Young, and X.-M. Cai, "Toward a Standardized Metadata Protocol for Urban Meteorological Networks", *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 94, no. 8, pp. 1161–1185, 2013.
- [6] K. Hubbard, J. You, and M. Shulski, "Toward a Better Quality Control of Weather Data", pp. 3–30, 2012.
- [7] C. Gwilliams, A. Preece, and A. Hardisty, "Local and global knowledge to improve the quality of sensed data", *Int. J. ...*, vol. 2, N.º 2, pp. 164–180, 2012.
- [8] A. K. Dey, "Understanding and Using Context," *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 5, N.º 1, pp. 4–7, 2001.
- [9] Organización Meteorológica Mundial - OMM, *Guía de prácticas climatológicas Edición de 2011 OMM N.º 100*. Ginebra Suiza, 2011.
- [10] D. C. Van Essen, K. Ugurbil, E. Auerbach, D. Barch, T. E. J. Behrens, R. Bucholz, A. Chang, L. Chen, M. Corbetta, S. W. Curtiss, S. Della Penna, D. Feinberg, M. F. Glasser, N. Harel, a C. Heath, L. Larson-Prior, D. Marcus, G. Michalareas, S. Moeller, R. Oostenveld, S. E. Petersen, F. Prior, B. L. Schlaggar, S. M. Smith, a Z. Snyder, J. Xu, and E. Yacoub, "The Human Connectome Project: a data acquisition perspective", *Neuroimage*, vol. 62, N.º 4, pp. 2222–31, 2012.
- [11] C. a. Fiebrich, C. R. Morgan, A. G. McCombs, P. K. Hall, and R. a. McPherson, "Quality Assurance Procedures for Mesoscale Meteorological Data", *J. Atmos. Ocean. Technol.*, vol. 27, N.º 10, pp. 1565–1582, 2010.
- [12] D. Ballari, M. Wachowicz, and M. A. M. Callejo, "Metadata behind the interoperability of wireless sensor networks", *Sensors*, vol. 9, N.º 5, pp. 3635–3651, 2009.
- [13] G. Percivall, C. Reed, and J. Davidson, "Open Geospatial Consortium Inc . OGC White Paper OGC ® Sensor Web Enablement: Overview And High Level Architecture", *2007 IEEE Autotestcon*, vol. 4540, N.º December, pp. 1–14, 2007.
- [14] R. Lemmens, T. Everding, C. Stasch, I. Simonis, J. Echterhoff, S. Liang, A. Bröring, and S. Jirka, *New generation Sensor Web Enablement.*, vol. 11, N.º 3. 2011.
- [15] S. Cox, "Observations and measurements-XML implementation", *OGC document*. Open Geospatial Consortium Inc., pp. 1–76, 2011.
- [16] M. Botts and A. Robin, "OpenGIS ® Sensor Model Language (SensorML) Implementation Specification", *Design*. p. 180, 2007.
- [17] A. Na and M. Priest, "Sensor Observation Service", *English*, vol. OGC 06–009, N.º OGC 06–009r6, pp. 1–104, 2007.
- [18] S. J. K. Mason, S. B. Cleveland, P. Llovet, C. Izurieta, and G. C. Poole, "A centralized tool for managing, archiving, and serving point-in-time data in ecological research laboratories", *Environ. Model. Softw.*, vol. 51, pp. 59–69, 2014.

- [19] G. Huang, X. Y. Wu, M. Yuan, and R. F. Li, “Research on Data Quality of E&P Database Base on Metadata-Driven Data Quality Assessment Architecture”, *Appl. Mech. Mater.*, vol. 530–531, pp. 813–817, 2014.
- [20] J. Estévez, P. Gavilán, and J. V. Giráldez, “Guidelines on validation procedures for meteorological data from automatic weather stations”, *J. Hydrol.*, vol. 402, N.º 1–2, pp. 144–154, 2011.
- [21] A. M. D. S. A. D. J. A. Ritaban Dutta Claire D’Este, “Dynamic Evaluation and Visualisation of the Quality and Reliability of Sensor Data Sources”, *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 4, N.º 8, pp. 96–103, 2013.
- [22] C. Atzberger, “Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs”, *Remote Sens.*, vol. 5, N.º 2, pp. 949–981, 2013.

