

RED SIPIA: Red de Sensores Inalámbricos para Investigación Agronómica

G. Mercado*, R. Borgo[§], F. Gonzalez Antivilo[§], G. Ortiz Uriburu[§], A. Diedrichs*,
P. Farreras*, M. Aguirre*, F. Battaglia*, G. Tabacchi*, S. Tromer*

*gridTICS – Grupo UTN de I&D en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Departamento de Electrónica - UTN Facultad Regional Mendoza
Rodríguez 273, Capital - Mendoza
{gustavo.mercado, ana.diedrichs, matias.aguirre}@gridtics.frm.utn.edu.ar

§ Cátedra de Fisiología Vegetal
Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo
Alte Brown 500, Chacras de Coria, Lujan de Cuyo - Mendoza
rborgo@fca.uncu.edu.ar, fgonzalezantivilo@gmail.com, gortiz@fca.uncu.edu.ar

Resumen

El proyecto consiste en el análisis y evaluación de una red de sensores inalámbricos basada en la norma IEEE 802.15.4, aplicada al entorno agropecuario en el ámbito de agricultura de precisión, con participación de ingenieros e investigadores agrónomos dedicados al tema. Gracias a los desarrollos que se han producido en las redes de sensores inalámbricos en los últimos años, especialmente la miniaturización de los dispositivos, han surgido nuevas tendencias en el sector agrícola como la llamada agricultura de precisión. Esta disciplina cubre múltiples prácticas relativas a la múltiple toma de datos para aplicar en la gestión y toma de decisiones de cultivos y animales. Por medio de sensores estratégicamente situados, se realizará un monitoreo de la temperatura y/o la humedad relativa, con el fin de proveer de gran cantidad de datos confiables para la investigación agronómica.

Se propone entonces el estudio de estas tecnologías en el contexto de un grupo de investigaciones que permita:

- La colaboración interinstitucional e interdisciplinaria entre especialistas de cada campo.
- El análisis, el estudio, el diseño y el desarrollo de las tecnologías en redes de sensores inalámbricas aplicadas a la agricultura de precisión; como herramienta instrumental en la investigación y producción agrícola.
- Comprobación de las prestaciones de hardware y software desarrollado con la meta de superar las limitaciones de productos actuales en el mercado.
- La verificación del impacto de estas tecnologías en el entorno agropecuario y
- La capacitación y difusión de los conocimientos adquiridos, como compromiso social en el ámbito empresarial y académico.

Palabras Clave

Redes de Sensores, IEEE 802.15.4, Agricultura de Precisión, Data Logger, Sensado remoto

Contexto

El proyecto se enmarca en el convenio de cooperación científica/tecnológica entre la Facultad de Ciencias

Agrarias de la UNCuyo y la Facultad Regional Mendoza de la UTN, con financiamiento de ambas instituciones y es llevado adelante por personal del GRIDTICS y la Cátedra de Fisiología Vegetal de ambas instituciones respectivamente.

En la FRM se inserta en el proyecto PID 25/J072 “LIVRES: Análisis y evaluación de características relevantes de las redes de sensores inalámbricos aplicadas al manejo y sensado en agricultura de precisión

En la FCA se inserta en los siguientes proyectos:

-2010 - proyecto “Estudio del efecto de las altas temperaturas sobre la fisiología y la calidad de uva de *Vitis vinifera* var Malbec”. Doctorando: Ing. Agr. Ortiz Uriburu.

-2010 - proyecto “Mecanismo de resistencia a temperaturas subcero en tejidos leñosos de *Vitis vinifera* cv Malbec. Doctorando: Ing. Agr. González Antivilo.

Introducción

Gracias a los avances y reducción de costos en dispositivos electrónicos y de comunicación inalámbrica, es posible construir dispositivos sensores multifuncionales y multipropósito de bajo costo que operan con poca energía, de un tamaño pequeño, y de una capacidad de comunicación a corta distancia. Estos dispositivos se denominan motes, y constan de una unidad de procesamiento con un poder de cómputo mínimo, memoria, una unidad de comunicación inalámbrica y uno o varios dispositivos de sensado que capturan parámetros como temperatura, aceleración, humedad, etc. Un conjunto de motes comunicados entre sí es lo que conocemos como una red de sensores inalámbrica (Wireless Sensor Network o WSN).

Una red de sensores está compuesta por varios motes que se encuentran esparcidos en un área determinada. La distribución de los mismos puede ser aleatoria o planeada, lo cual permite su uso en prácticamente en cualquier ambiente físico. Esta característica es provista por un conjunto de protocolos y algoritmos para redes de sensores. Otro de los beneficios que caracteriza a una red de sensores es que sus nodos pueden trabajar de modo cooperativo, aumentando sus posibilidades de aplicación. Además, gracias a la capacidad de cómputo de los mismos, más allá que sea mínima, éstos pueden

parcialmente, procesar los datos capturados antes de comunicarlos a la red.

Algunas características únicas de las WSN son:

- Una WSN está compuesta por una gran cantidad de nodos (cientos o miles).
- Las redes inalámbricas de sensores deben ser tolerantes a fallas (redundantes).
- Una WSN utiliza protocolos que le permitan auto-configurarse.
- El costo de los motes debe ser reducido.
- Los motes están limitados en consumo, capacidades de cómputo y memoria.
- Los nodos sensores pueden variar según el fabricante en capacidades de cómputo, memoria, interfaces de comunicación, etc.

En los últimos años, varios laboratorios de investigación, especialmente multinacionales como Intel, han apostado fuertemente por esta tecnología. En diversos informes se augura que este tipo de redes conllevarán una revolución tecnológica similar a la que tuvo la aparición de Internet.

Tal es la importancia de los sensores inalámbricos que según el MIT, está en el primer lugar de una lista de diez tecnologías que cambiarán el mundo. [3]

La agricultura constituye una de las áreas donde se prevé que pueda implantarse con mayor rapidez. Por ejemplo, las redes de sensores favorecen una reducción en el consumo de agua y pesticidas, contribuyendo a la preservación del entorno. Adicionalmente, pueden alertar sobre la llegada de heladas, así como ayudar en el trabajo de las cosechadoras. Agricultura de precisión cubre múltiples prácticas relativas a la gestión de cultivos y cosechas, árboles, flores y plantas, ganado, etc. Por medio de sensores estratégicamente situados, se pueden monitorizar parámetros tales como la temperatura o la humedad de las hojas, con el fin de detectar rápidamente situaciones adversas y desencadenar los tratamientos apropiados.

La agricultura de precisión consiste en el uso de sistemas de información basados en diversas tecnologías aplicadas al ámbito de la producción agraria. Algunas de las tecnologías aplicables serían; Redes de Sensores Inalámbricos (WSN), Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), evaluación de espectroscopia en el infrarrojo cercano (NIR), Sistemas de Información Geográfica (SIG). Sistemas que proporcionan medios de observación, evaluación y control de las prácticas agrícolas.

La búsqueda de modelos de cultivos, tanto protegidos (en invernaderos) como en campo abierto, ha sido tradicionalmente un reto puesto que la recolección de información de las diversas variables involucradas es un proceso complejo. Con el advenimiento de las redes de sensores la recolección de información puede precisarse arbitrariamente tanto en el tiempo como en el espacio.

Tradicionalmente estos modelos se han establecido de forma empírica, basados en la experiencia, observación visual e intuición de los agricultores [7], lo que usualmente implica que los modelos están lejos de ser óptimos, siendo una de las limitantes más importantes la escasa resolución espacial alcanzada. Las redes de

sensores permiten recopilar información con nuevos niveles de resolución espacial y temporal que brinda el soporte para la elaboración de nuevos modelos o el perfeccionamiento de los existentes.

Ya en el año 2004 Beckwith et. al. [8] establecieron ventajas de utilizar redes de sensores, contra sensores aislados o recolectores de datos (data loggers) en aplicaciones agronómicas, particularmente en el caso de viñedos. Aún en pequeñas extensiones menores a una hectárea las redes requieren menos tiempo de instalación y de recolección de datos, y son además más fáciles de mantener. Estas proveen además capacidad de reaccionar en tiempo real, de acuerdo a los datos recolectados, ya sea disparando alarmas sobre situaciones que deben ser atendidas manualmente, o activando dispositivos que puedan compensar eventos no deseados, por medio de mecanismos de irrigación, sistemas de ventilación, iluminación, etc. Un año antes la Universidad de Carnegie Mellon desarrolló una red de sensores para facilitar las operaciones en un vivero [9], midiendo temperatura y humedad relativa del aire y del suelo y luz, activando actuadores dependiendo de los datos medidos para alterar la circulación de aire, la luminosidad y la temperatura.

En [10] se presenta un panorama de la tecnología de redes inalámbricas de sensores hasta el año 2006, aptas para ser aplicadas en aplicaciones agrícolas y de la industria alimentaria. Se presentan comparaciones entre estándares inalámbricos de transmisión (WiFi, Bluetooth y ZigBee). También se mencionan los estándares para transductores inteligentes (IEEE1451) y su enlace (IEEE1451.5). En ese documento se clasifican las aplicaciones de redes de sensores en agricultura y la industria alimentaria en 5 grupos: vigilancia ambiental, agricultura de precisión, control de máquinas y procesos, automatización de edificios e instalaciones, y sistemas de rastreabilidad. Una revisión detallada de trabajos anteriores al año 2004 en esas cinco áreas es presentada, incluyendo, entre otros, ejemplos de irrigación automática, dosificación automática de fertilizantes, sistemas de información para agricultores, etc.

El proyecto Lofar Agro tuvo como objetivo mejorar las condiciones de combate de fitófitas a través del cálculo de riesgo de desarrollo de la enfermedad. Las tres fases del proyecto fueron documentadas: primero, como propuesta [11]; segundo, como caso de estudio en cuanto a problemas tecnológicos encontrados con redes de sensores en agricultura [12]; y finalmente se presentan los resultados un año después[7].

En un área afín, se presentó recientemente una propuesta de la organización australiana para la investigación científica e industrial (CSIRO, por sus siglas en inglés), donde se pretende crear una "granja inteligente" que utiliza redes de sensores en una aplicación agropecuaria para colaborar con el aseguramiento del bienestar animal, la inocuidad alimentaria y el impacto ambiental [13].

Un trabajo conjunto entre India y Suiza [14] dio origen a la COMMONSense Net, una red de sensores diseñada para proveer, a agricultores en zonas con recursos naturales restringidos en países en vías de desarrollo, con información capaz de dar soporte a decisiones orientadas

al mejoramiento de la producción. Esta red se utiliza en la recolección extensiva de datos que permitan validar y adaptar modelos de cultivos para condiciones climáticas y de suelo particulares.

Para mejorar el rendimiento de cultivos en las cuencas del río Huaihe en China, intentando a su vez reducir el desaprovechamiento de un 70% del agua utilizada se propone utilizar una red de sensores [15]. Un caso particular de aplicación de redes de sensores para la monitoreo de variables ambientales en invernaderos se presenta en [16].

Actualmente un caso de aplicación es en Los viñedos Camalie, en Estados Unidos. Tienen uno de los sistemas más avanzados de medida de la humedad del suelo. Usan la tecnología inalámbrica desarrollada por la Universidad de Berkeley en colaboración con Intel y comercializada por Crossbow. [5]

En la actualidad, la tecnología de sensores inalámbricos se encuentra en plena efervescencia. Es por ello que se espera que en los próximos años evolucione de forma significativa. Las investigaciones apuntan en direcciones relativamente claras. Resulta fundamental disponer de sensores de pequeño tamaño y gran autonomía, por lo que se investiga tanto en técnicas de miniaturización como de bajo consumo de potencia. Si bien el uso de pequeñas baterías es la opción más simple, resultaría clave disponer de técnicas para la alimentación remota e inalámbrica de dichos sensores. Adicionalmente, también son muy importantes los protocolos de comunicación y los interfaces radioeléctricos (Bluetooth, Wi-Fi, WiMAX, FHSS). Por último, las técnicas de inteligencia artificial se han aplicado ya con éxito en algunas experiencias, lo que sin lugar a dudas augura un futuro más que prometedor para esta tecnología. [2]

El estándar IEEE 802.15.4

El estándar IEEE 802.15.4 [17] define las características de la capa física y de la capa de control de acceso al medio (MAC) para redes inalámbricas de área personales (WPAN, Wireless Personal Area Networks) de baja tasa de transmisión. Este estándar no establece un nivel de red pero sí plantea parámetros para su implementación. Las ventajas de utilizar el estándar IEEE 802.15.4 es que permite la utilización de dispositivos de fácil instalación que proveen transmisiones confiables a distancias cortas a un precio muy bajo. Por otro lado, el estándar IEEE 802.15.4 permite proporcionar un tiempo de vida razonable al utilizar fuentes de energía limitada (e.j. baterías alcalinas) y al mismo tiempo proporciona una pila de protocolos simple. Las características generales, presentadas son: tasas de transferencias de 250Kb/S, 40Kb/S y 20Kb/S, manejo de redes en estrella y malla (peer-to-peer), direccionamiento corto con 16 bits y extendido con 64 bits, garantía del manejo de las ranuras de tiempo, detección de los niveles de energía recibidos, indicadores de calidad en el enlace así como de conmutación de canales para recibir paquetes, acceso al canal por CSMA/CA. El estándar de comunicaciones IEEE 802.15.4 ofrece dos tipos de dispositivos que participan en la red, estos son: FFD (Full Function

Device), dispositivo con todas las funciones y RFD (Reduced Function Device) dispositivo con funciones reducidas. Dependiendo de la aplicación el estándar permite operar en una de dos topologías: la estrella (Star) o punto a punto (peer-to-peer).

Especificación ZigBee

La pila de protocolos ZigBee [18] está diseñada para aplicaciones de bajo consumo, esto permite a un dispositivo ZigBee permanecer inactivo por un periodo largo de tiempo sin necesidad de volver a cargar la batería. Esto elimina la necesidad de recargar la batería frecuentemente. Está diseñado para dar servicio a dispositivos con baja tasa de transmisión de datos. Zigbee es adecuado para la automatización del hogar, Domótica. ZigBee especifica las capas superiores de la pila de protocolos. La capa de red se encarga de la organización y del enrutamiento a lo largo de una red multisaltos y ésta hace uso de las funcionalidades del estándar 802.15.4 que define las características de la capa de enlace de datos y de capa física. Por otro lado, la capa de aplicación proporciona un marco de referencia para el desarrollo de aplicaciones distribuidas y de comunicación. En el estándar ZigBee se definen tres tipos de dispositivos: dispositivo final ZigBee(End-Device), enrutadores ZigBee (Router) y coordinador ZigBee (Coordinator).

Líneas de investigación y desarrollo

El grupo de Redes de Sensores Inalámbricos, perteneciente al grupo UTN GridTICS, se forma por iniciativa de algunos de sus miembros en el año 2008 y comienza con el estudio de la tecnología para la capacitación de sus miembros, la adquisición de elementos y dispositivos para la conformación del laboratorio de WSN. Durante este periodo el grupo ha realizado publicaciones [30], presentación en congresos [31, 32], cursos de grado y postgrado y asistencia a tesinas de grado [33, 34] y tesis de postgrado.

La cátedra de Fisiología de la UNC posee una amplia trayectoria en la investigación de respuestas fisiológicas y ecofisiológica de cultivos de gran importancia económica para la región, como son, la vid, ajo y la cebolla. La cátedra y sus integrantes han contribuido al conocimiento de respuestas fisiológicas relacionadas a la calidad de los frutos de vid dependiendo de condiciones ambientales y culturales, y la participación de sus fotoasimilados. Los integrantes del grupo de trabajo acreditan presentaciones y asistencia a congresos [35, 36, 37, 38, 39, 40], y participación en estudios de postgrado [41, 42, 43] y publicaciones [44, 45, 46, 47, 48, 49].

Resultados y Objetivos

Objetivo principal

Diseñar y validar el comportamiento de una red de sensores inalámbricos en la adquisición de parámetros ambientales de parcelas agrícolas.

Para establecer los requerimientos para la aplicación de redes de sensores inalámbricos en investigación agrícola:

- Se plantearán escenarios típicos de uso de sensores inalámbricos..

- Se plantearán escenarios de condiciones ambientales a las cuales estarán sometidos los sensores. Se experimentarán las diferentes condiciones de temperatura, humedad, radiación, e incluso condiciones de pH (si estuviese dentro del vegetal) a los cuales podrían estar sometidos los cultivos.

- Se determinarán los requerimientos físicos y mecánicos de los sensores. En base a los escenarios planteados anteriormente determinar los requerimientos físicos para el correcto funcionamiento. Esto incluye aspectos de protección física contra factores como radiación, humedad, fauna, aunque también aspectos de fácil obtención de datos y uso del instrumental.

- Se determinarán los requerimientos del software para la recolección de datos. En base a la experiencia con software de adquisición de datos de sensores se analizarán los requerimientos para la obtención de un software de fácil uso, con funciones de análisis numérico y gráfico.

- Se realizará la especificación de la red. Para lo cual es necesario especificar con el máximo detalle la red de sensores prototipo que se utilizará. Se deberá especificar la cantidad de nodos, la topología, escalabilidad, autonomía,

-Se determinarán las especificaciones técnicas del instrumento de medición. Se requiere definir las siguientes especificaciones técnicas referentes al instrumento: Rango operativo, Precisión, Error absoluto máximo permitido, etc

Para desarrollar un dispositivo pasarela o concentrador (Gateway) que proporcione un respaldo digital a los datos de la red:

- Se debe definir el tipo de dispositivo que proporcionará la interfaz entre la WSN y el aplicativo web. En primera instancia se propone el uso de un gateway desarrollado sobre una plataforma diferente que haga de pasarela entre la red y la computadora servidor.

Para desarrollar un aplicativo web que permita la recolección, histórico, clasificación y análisis de los datos obtenidos de la WSN

- Se debe especificar de requisitos del software. En primera instancia se deberá realizar un relevamiento de las funcionalidades principales y secundarias que el usuario, en este caso el investigador e Ing. agrónomo requiere y necesita que el sistema tenga, determinando los límites y el alcance de la aplicación. Se define la forma de procesar los datos, niveles de seguridad, diseño del esquema de datos de reportes.

- Se debe diseñar de la interfaz humana: determinación de requisitos de diseños gráficos principales, tipos de gráficos para mostrar los datos, mensajes de error, entre otros.

- De debe establecer los requisitos de instalación: especificar el hardware/software necesario para servidor web y los requisitos previos que tiene que tener la pc del usuario para que el sistema funcione correctamente.

- Se deben especificar y realizar las pruebas unitarias, de integración y de aceptación correspondientes.

- Se debe ensayar y evaluar el prototipo en pruebas de campo

Una vez diseñado el prototipo (red de sensores, gateway, servidor y aplicación) se debe llevar al ámbito de aplicación y realizar los ensayos pertinentes. Esto implica verificar que se cumplan las especificaciones propuestas para luego realizar mejoras y correcciones si así se requiera.

Formación de Recursos Humanos

Este proyecto de investigación posibilita la colaboración inter-institucional y la ejecución de proyectos conjunto entre grupos I+D de diferentes disciplinas y por lo tanto formar recursos humanos para la proyección académica, científica e industrial de los temas tratados.

En el proyecto participan dos doctorandos con becas ANCYT, dos investigadores graduados con becas BINID UTN y cuatro becarios alumnos con beca UTN

Referencias

- [1] http://vinowiki.org/wiki/index.php/Agricultura_de_precisi%C3%B3n
- [2] www.radioptica.com/sensores/redes-sensores.pdf
- [3] http://www.rvcmar.org/otros/mapasc/JCR_EL_AVANCE_TECNOLOGICO.pdf
- [4] <http://meta.dsic.upv.es/wiki/pub/Main/RecursosAplicacionesIndustriales/agr%EDcolWSAN.pdf>
- [5] Camalie Net Wireless Sensing; <http://camalie.com/>
- [6] Universidad de Colima y Universidad de Valencia. <http://www.d2ars.org> [7] T. Wark, P. Corke, P. Sikka, L. Klingbeil, Y. Guo, C. Crossman, P. Valencia, D. Swain, , y G. Bishop- Hurley. Transforming agriculture through pervasive wireless sensor networks. Pervasive Computing, pags. 50-57, Abril-Junio 2008 6
- [8] R. Beckwith, D. Teibel, y P. Bowen. Report from the field: results from an agricultural wireless sensor network. In 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, pags. 471-478, November 2004.
- [9] W. Zhang, G. Kantor, y S. Singh. Integrated gíreles sensor/actuator networks in an agricultural application. In Proceedings of the 2nd International Conference On Embedded Networked Sensor Systems, pag. 317, 2004.
- [10] N. Wang, N. Zhang, y M. Wang. Wireless sensors in agriculture and food industry recent development and future perspective. Computers and Electronics in Agriculture, 50(1):1{14, Enero 2006.
- [11] A. Baggio. Wireless sensor networks in precision agriculture. In Proceedings of the Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks (REALWSN'05), Junio 2005.
- [12] K. Langendoen, A. Baggio, y O. Visser. Murphy loves potatoes: experiences from a pilot sensor network deployment in precision agriculture. In 14th Int. Workshop on Parallel and Distributed Real-Time Systems (WPDRTS), Rhodes, Greece, Abril 2006.
- [13] P. Haneveld. Evading murphy: A sensor network deployment in precision agriculture. TU-Delft, Junio 2009. <http://www.st.ewi.tudelft.nl/~koen>.

- [14] J. Panchard, S. Rao, P. T.V., J. Hubaux, y H. Jamadagni. Commonsense net: A wireless sensor network for resource-poor agriculture in the semiarid areas of developing countries. *Information Technologies and International Development*, 4(1):51-67, 2007.
- [15] Y. Wang, L. Huang, J. Wu, y H. Xu. Wireless sensor networks for intensive irrigated agriculture. In *IEEE 4th Consumer Communications and Networking Conference*, pags. 197-201, January 2007.
- [16] H. Liu, Z. Meng, y S. Cui. A wireless sensor network prototype for environmental monitoring in greenhouses. In *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, pags. 2344-2347, September 2007.
- [17] IEEE 802.15 Working Group for WPAN. <http://www.ieee802.org/15/>
- [18] ZigBee Alliance. <http://www.zigbee.org/>
- [30] Aguirre M, Egea M, Godoy P, Martínez J, Generale S, Mercado G y Robles J, "Nota de Aplicación NA036: Alarma Anti – Robo inalámbrica ZIG BEE con transceiver MC 13192 contenido en módulo de radio (ANT – ZigBee)", *Electrocomponentes SRL*, Dic 2008.
- [31] Aguirre, Matias – Diedrichs, Ana – Egea, Mariano – Godoy, Pablo – Mercado, Gustavo, " Alarma Hogareña con tecnología Inalámbrica basada en IEEE 802.15.4", *Congreso Virtual de Microcontroladores*, Setiembre 2009
- [32] Aguirre, Matias – Diedrichs, Ana – Egea, Mariano – Godoy, Pablo – Mercado, Gustavo, "Método de acceso de bajo consumo para IEEE 802.15.4", *EnIDI 2009*, Los Reyunos, San Rafael. Mendoza
- [33] J. Martínez, "Leistungsbewertung eines Lokalisierungsalgorithmus in drahtlosen Sensoren", tesina de diplomatura, Technische Universität Dresden - Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik - Institut für Nachrichtentechnik, 2009
- [34] G. Bloch, "Implementierung eines Lokalisierungsalgorithmus in drahtlosen Sensoren", tesina de diplomatura, Technische Universität Dresden - Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik - Institut für Nachrichtentechnik, 2009
- [35] Cambio climático en la Cordillera de los Andes. Dictado por CCT. Característica: curso de posgrado. Participación: asistente. Ing. Agr. Francisco Gonzalez Antivilo - Ing. Agr. Gisela Ortiz Uriburu
- [36] Workshop Ecofisiología de la Vid. Participación como Organizador. MSc Roberto Borgo
- [37] XI Congreso Latinoamericano de viticultura y enología, Tema: "Partición de fotoasimilados, en vides con diferente potencial vegetativo, con afecciones en la relación fuentes/destinos. Autores: Borgo, R; Gonzalez Antivilo, F; Gamboa, D; Cavagnaro, B; Perez Peña, J; Solanes, Lugar: Mendoza, Argentina.
- [38] SeCyT(U.N.Cuyo2007-2009) Tema: Aspectos fisiológicos y manejo de viñedos afectados por granizo. (Roberto Borgo:Co-Director).
- [39] SeCyT (ANPCyT) 2007 "Estudio exploratorio sobre el impacto del Cambio Climático en cultivos agrícolas de la Región Cuyo" del Programa de Recursos naturales, medio ambiente y Prevención de catástrofes (participante por INTA).
- [40] SeCTyP (UNCuyo). 2009/11. Efecto de altas temperaturas, estrés hídrico y ácido abscísico sobre el crecimiento, producción, composición de bayas y de los vinos obtenidos en *Vitis vinifera L. cv Malbec*
- [41] Proyecto "Estudio del efecto de las altas temperaturas sobre la fisiología y la calidad de uva de *Vitis vinifera var Malbec*". Doctorando: Ing. Agr. Ortiz Uriburu.
- [42] Proyecto "Mecanismo de resistencia a temperaturas subcero en tejidos leñosos de *Vitis vinifera cv Malbec*". Doctorando: Ing. Agr. González Antivilo.
- [43] Ajuste de un método colorimétrico para la determinación de almidón en tejidos leñosos (en evaluación *Revista Enología*).
- [44] GALMARINI, C.R.; R. BORGIO; J. GAVIOLA y R.M. TIZIO. 1988. "Efecto del ácido giberélico (AG3) sobre la producción de semillas de zanahoria (*Daucus carota L.*) cv. Flackkeé. I- Efecto de diferentes concentraciones y épocas de aplicación sobre la duración del ciclo vegetativo, rendimiento y calidad de semilla.
- [45] BORGIO, R.; O.M.S. de FERNANDEZ; J.B. CAVAGNARO y G. ESTEVEZ 1992. "DESCANUTADO: Comentarios sobre posibles causas de la disparidad de resultados experimentales". *INFORAJO Suplemento 1 setiembre-diciembre 1992*.
- [46] MAKUCH, M.A. y R. BORGIO. 1994 "Influencia del estado de madurez y almacenamiento de frutos de *Cucurbita moschata* (Dutch.) cv Paquito-INTA, sobre la calidad de la semilla". *Revista RIA*, Vol 25 (1): 97-106.
- [47] STAHLSHMIDT, O.M.; J.B. CAVAGNARO y R. BORGIO. 1994. "Influence of planting date and seed cloves size on leaf area and yield of two garlic cultivars (*Allium sativum L.*)". In *Proceedings of the International Symposium on Edible Alliaceae ACTA HORTICULTURAE Nro 433 519-527*. 1998
- [48] STAHLSCHMID, O.M.; J.B.CAVAGNARO y R. BORGIO" Growth- analysis of three garlic (*Allium sativum L.*) cultivars with differences in yield". Agosto 1994. In *Proceedings of the International Symposium on Edible Alliaceae ACTA HORTICULTURAE Nro 433 427-435*. 1998
- [49] CAVAGNARO,J.B.; O.M. STAHLSHMIDT, y R. BORGIO Leaf area and assimilate partitioning as determinants of yield in three garlic cultivars (*Allium sativum L.*).En fase de Publicación *SCIENTIAE HORTICULTURAE* (1999).
- VALENTINE AJ, MORTIMER PE, LINTNAAR M, BORGIO R (2006) Photosynthetic and nutritional responses of drought stressed arbuscular mycorrhizal grapevines. *SYMBIOSIS JOURNAL* Vol. 41, No. 3 (2006), pp. 127-134