

Determinación de las emisiones de gases de efecto invernadero en las operaciones mecanizadas de espacios verdes deportivos mediante técnicas de Agricultura de Precisión

M. Lobeto¹, M. Perez-Ruiz², J. Carballido¹, J. Agüera¹

¹ Departamento de Ingeniería Rural. Universidad de Córdoba, ETSIAM, Campus Rabanales 14014 Córdoba.

² Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos. Área de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Sevilla, ETSIA Ctra. Sevilla-Utrera km 1 41013 Sevilla. E-mail: manuelperez@us.es

Resumen

Desde el punto de vista de los insumos y las condiciones en las que se realizan los trabajos, el mantenimiento del césped en los espacios verdes deportivos muestra muchas similitudes con una explotación agrícola. Por tanto, en este sentido se pueden aplicar herramientas y metodologías de Agricultura de Precisión que permitan una reducción de los costes de producción del césped y un menor impacto ambiental (Pedersen et al., 2007). El objetivo de este trabajo se ha centrado en la monitorización y análisis de la información obtenida por sensores instalados en la maquinaria para la estimación de las emisiones directas de gases de efecto invernadero. En una primera aproximación se ha monitorizado un equipo de precisión para el segado del césped, utilizado 3-4 veces a la semana, y enviando información de distancia recorrida, velocidad, activación del rotor de corte, etc. en tiempo real y de forma remota mediante un módem GPRS (Agüera et al., 2009). Esto ha permitido conocer que durante la operación realizada en el green se emiten unos 8kg de CO₂ y 3.38 kg de CO₂ en los desplazamientos, esto no es más que una pequeña muestra de las posibilidades de esta metodología. Estos primeros resultados obtenidos demuestran que el uso de técnicas de Agricultura de Precisión, como los sistemas GNSS, sensores, instrumentación junto con los sistemas Ag SIG mejoran la eficiencia en la gestión de los espacios verdes deportivos y disminuyen su impacto en el medio ambiente.

Palabras clave: agricultura de precisión, espacios verdes, gases de efecto invernadero

Detecting greenhouse gas emission of mechanized operations in sport green spaces using Precision Agriculture techniques.

Abstract

Sport green grass has many similarities to agriculture crops. Both seek to minimize cost by reducing inputs water, fertilizer, herbicide, mechanical operations, etc. Thus, precision agriculture methodologies can be applied to reduce production cost and lessen the environmental impact of grass production (Pedersen et al., 2007). This work involves real-time monitoring and analysis of data from sensors installed on agricultural machinery for the estimation of greenhouse gas emissions. Our approach was to monitor precision grass cutting equipment, used 3-4 times weekly, and sending continues data of location, speed, cutting rotor start up, etc. using a GPRS modem (Agüera et al., 2009). This has allowed knowing that during the operation performed on the green about 8 kg of CO₂ and 3.38 kg of CO₂ on the go were emitted. This is just a small sample of the possibilities of this methodology. These results showed that the use of Precision Agriculture techniques using GNSS systems, sensors and instrumentation systems with Ag GIS, improved efficiency in the management of sport green spaces and lowered their impact upon the environment.

Key words: precision agriculture, green spaces, greenhouse gas emission

Introducción y/o Justificación

Desde el punto de vista de los insumos y las condiciones en las que se realizan los trabajos, el mantenimiento del césped en los espacios verdes deportivos muestra muchas similitudes con las prácticas agrícolas y que generan impacto sobre las matrices ambientales. Por tanto, en este sentido se pueden aplicar herramientas y metodologías de Agricultura de Precisión que permitan una reducción de los costes de producción del césped y un menor impacto ambiental (Pedersen et al., 2007).

Actualmente son muchos los trabajos publicados en revistas especializadas y en revistas científicas que relacionan la Agricultura de Precisión y los espacios verdes deportivos en aspectos como: a) muestreo y análisis de conductividad eléctrica del suelo (Allred et al., 2005), b) determinación de zonas de manejo diferenciadas (Carrow et al., 2010), c) imágenes espectrales (Huang et al., 2011) y, d) monitorización de parámetros climatológicos en la mayoría de los casos en estos dos últimos casos para optimizar el riego (Cardenas-Lailhacar et al., 2010). A nivel científico han sido menores los trabajos encontrados que hayan utilizado las tecnologías avanzadas de la agricultura de precisión y robótica para la optimización del parque de maquinaria que tienen los espacios verdes deportivos. Have et al. (2005) consiguieron transformar una segadora convencional de césped en un equipo totalmente autónomo produciendo un importante ahorro en coste de personal.

Una estimación precisa de los tiempos para desarrollar las operaciones con maquinaria en las distintas áreas de un espacio verde deportivo puede permitir en primer lugar una buena planificación del parque necesario. Además permite conocer con antelación los costes de utilización de la maquinaria, con las implicaciones que ello conlleva respecto a su rentabilidad para el beneficio final de las instalaciones deportivas. Monitorizar esta información podría hacerse directamente en campo y posteriormente procesar la información (McDonald y Fulton, 2005), pero esta forma de proceder resulta bastante costosa y requiere un gran esfuerzo.

El uso de los sensores que determinen directamente el consumo de combustible o medir directamente la cantidad consumida después de un trabajo, permite conocer el CO₂ liberado a la atmosfera durante el trabajo de la máquina estudiada. Por ejemplo, el caso de un vehículo agrícola o forestal que consuma 12 l h⁻¹ y trabaje 8 h al día, dejará en la atmosfera 249.6 kg de CO₂. Otra forma de expresar esta contaminación a la atmosfera es por kilómetro recorrido, suponiendo que el vehículo se mueve a una media de 6 km h⁻¹ dejaran en la atmosfera, unos 5.2 kg km⁻¹ de CO₂. Estos datos son para unas condiciones particulares, el gas producido dependerá fundamentalmente de la velocidad del giro del motor, tipo de motor y potencia del mismo, por lo que tendremos cambios constantes dependiendo del trabajo que se esté realizando (Rinaldi y Stadler, 2002).

En este trabajo se presenta una metodología para realizar el seguimiento remoto de las máquinas involucradas en los espacios verdes deportivos sin intervención por parte del operario. Como primer paso en la aplicación práctica de esta metodología, se ha realizado la monitorización y análisis de la información obtenida por sensores instalados en una segadora de precisión para el corte del césped (2-3 mm) en espacios verdes deportivos para la estimación de las emisiones directas de CO₂.

Materiales y Métodos

Equipo Monitorizado

La máquina monitorizada ha sido una segadora de precisión (modelo Green Master 3250-D, TORO Company, Bloomington, MN, USA) (Figura 1). Algunas de sus características técnicas son: motor de tres cilindros, 850 cm³ de cilindrada, de 3.2-8 km/h de velocidad de siega y ancho de corte de 1.5 cm conseguido por tres unidades de corte. Esta máquina junto con la de siega manual son las más

utilizadas en los campo de golf, donde el corte de los greens se produce como media unas 3-4 veces a la semana y dependiendo de la estación del año y el tipo de competición se puede incrementar las horas de uso. La precisión en el corte, afinada al milímetro (2-3 mm), junto con revisiones prácticamente diarias de estas máquinas es fundamental para el éxito de este tipo de instalaciones deportivas.



Figura 1. Equipo monitorizado con módem y GPS

Hardware montado en el equipo

El vehículo de siega ha sido equipado con un módem GPRS/GSM (MTX 65 + G) programable en Java y con receptor DGPS que proporciona mensajes según el protocolo NMEA-0183 a intervalos de tiempo configurables. El receptor DGPS realiza sus correcciones mediante EGNOS con una precisión en el posicionamiento de 2.6 m según el fabricante. A pesar de ser un receptor DGPS de bajo coste, sus prestaciones cubren completamente las necesidades de esta aplicación.

Este modem se activa automáticamente cuando el operador pone en marcha la maquina mediante su llave de contacto. A partir del momento en que el receptor GPS que lleva incorporado comienza a generar coordenadas validas, el programa Java que se ha desarrollado origina el envío de registros al servidor WEB a intervalos de 4 segundos. Cada registro consta de una cabecera que identifica el vehículo de donde proceden los datos y de una serie de campos de información codificada que incluye entre otros: fecha, hora, latitud, longitud, velocidad, rumbo, nivel de cobertura GPRS y el estado lógico de 4 entrada digitales que permiten conocer el estado de funcionamiento de la maquina mediante los sensores externos conectados a ellas. Una de estas entradas ha sido utilizada con un sensor de activación de los rotores de la cabeza de corte, lo que permite distinguir los trayectos en que trabajan dichos rotores (trabajo) respecto a los trayectos en que están detenidos (desplazamientos).

Software de visualización y análisis de la información monitorizada

Se han desarrollado dos aplicaciones informáticas para la explotación de los datos monitorizados por el sistema. Ambas, se han desarrollado en Visual Basic 6 (Microsoft, Redmon, WA, USA), utilizan como entrada directamente los archivos resultantes de las descargas, efectuando previamente la conversión de la hora UTC registrada a hora local. El modem MTX-65 + G transmite al servidor OVIDIA y éste ofrece la información mediante Internet a los diferentes clientes que sean usuarios. La Figura 2 describe la arquitectura servidor utilizada.

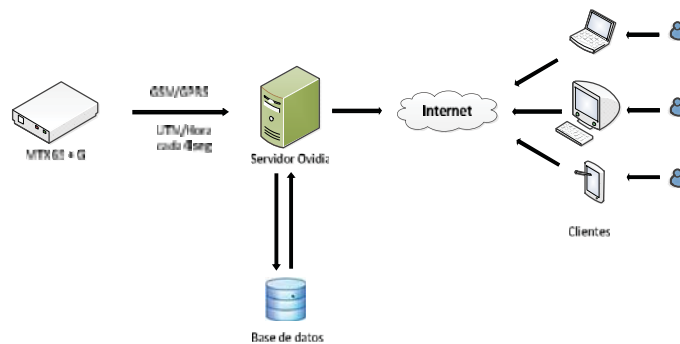


Figura 2. Arquitectura utilizada en el sistema

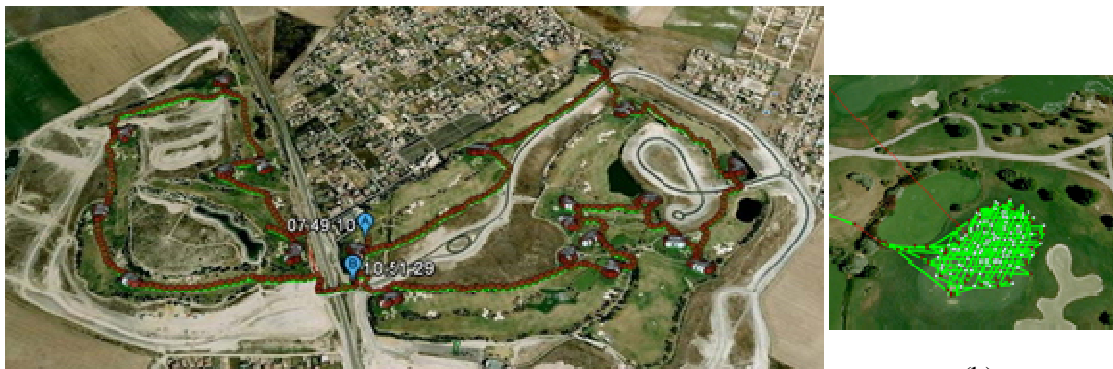
Desde la Web creada descargamos la información generada y se crea en primer lugar un archivo con formato de Lenguaje de Marcas de Keyhole o KML, el cual permite la visualización de toda la trayectoria recorrida por el vehículo sobre Google Earth. Cada registro genera un punto cuyo aspecto puede ser diferente según el estado de los sensores en ese instante. Haciendo clic sobre cualquiera de esos puntos aparece un globo con la información asociada a ese punto, es decir, el contenido de todos los campos que componen el registro, excepto los de longitud y latitud que siempre pueden leerse en otras ventanas de la aplicación. Además permite conocer fácilmente dónde se encontraba el vehículo a una hora concreta y cuál era el estado de sus entradas digitales. Con estas herramientas ya podría hacerse un análisis de los trabajos realizados por el vehículo en cuanto a greenes visitadas, tiempos empleados, superficie trabajada y distancias recorridas en los desplazamientos, sin embargo esto exigiría un tiempo considerable.

La segunda aplicación desarrollada, a la que hemos llamado REPORTER permite realizar ese análisis más rápido y cómodamente ya que, una vez seleccionado el archivo a procesar, genera un cuadro de resultados en el que cada fila se refiere a un green trabajado. Para llevar a cabo esta aplicación ha sido necesario confeccionar previamente una base de datos de greenes trabajados por el vehículo, con los archivos de los polígonos de los greenes (shapefiles), así como una serie de módulos de programación especializados en el manejo de archivos shp, topología, proyecciones de coordenadas geográficas, etc. El cálculo de distancias recorridas se ha realizado de forma automática a través de análisis geográficos con el software comercial ArcGIS 10 (Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, CA, USA).

Para el procedimiento de cálculo de CO₂ se ha tenido en cuenta la relación estequiométrica de la combustión del nonato (C₉ H₂₀) como hidrocarburo representativo del combustible empleado, se producen 3,1 kg de CO₂ por cada kg de gasóleo quemado (Dante Giacosa, 1970) lo que supone una producción de 2,6 kg de CO₂ por litro de combustible, considerando una densidad de 0,84 kg/L

Resultados y Discusión

El seguimiento de las operaciones realizadas en espacios verdes deportivos por parte de la maquinaria, como el posterior análisis de los datos registrados con los sensores adecuados, permite plantear estrategias de toma de decisiones en el manejo de la propia maquinaria para conseguir reducir costes y emisión de CO₂. La figura 3a muestra el recorrido completo de una jornada de trabajo (16/03/2013) en la que se trabajaron los 18 hoyos del campo de golf. La jornada se puede dividir en dos tipos de tiempo: tiempo en desplazamientos ($X=45$ min; $n=15$ días) y tiempo segando el green ($X=5.44$ min; $n=15$ días). El registro y posterior cálculo de esta información mostrada permite una mejor localización de los recursos y una mejor prevención del mantenimiento, coincidiendo con Mckenna, 2001.



(a)

(b)

Figure 3. a) Recorrido realizado por la segadora de precisión en un día de trabajo y b) trabajo realizado dentro del green número 18.

Cada una de estas partidas de tiempo lleva asociada una distancia recorrida y además se ha medido de forma precisa el consumo medio de combustible en desplazamiento: 19.27 ml, y en trabajo: 27.79 ml a los 100 m. Esto ha permitido generar la tabla 1.

Tabla 1. Resultados del análisis de la información registrada por green.

Green	Dist. Recorrida (m)	Consumo Diesel (ml)	Emisión de CO ₂ (kg)
1	814	226.21	0.59
2	589	163.68	0.43
3	643	178.69	0.46
4	692	192.31	0.5
5	792	220.1	0.57
6	724	201.2	0.52
7	708	196.75	0.51
8	542	150.62	0.39
9	467	129.78	0.34
10	663	184.25	0.48
11	452	125.61	0.33
12	544	151.18	0.39
13	525	145.9	0.38
14	389	108.1	0.28
15	512	142.28	0.37
16	772	214.54	0.56
17	665	184.8	0.48
18	574	159.51	0.41

De la Tabla 1 se puede deducir que la cantidad de CO₂ emitido por esta máquina durante el tiempo de corte en el green ha sido de 8 kg y sabiendo que en desplazamientos se han recorrido 6744 m podemos calcular una emisión de 3.38 kg de CO₂, lo que supone una cantidad total de 11.38 kg de CO₂ por día de trabajo. Son 416 los campos de golf federados en España, si se asume una media de 18 greenes por campo y misma superficie, se emite cada día aproximadamente unas 5 t de CO₂. Esto no es más que una pequeña muestra de las posibilidades que esta metodología brinda, al poder calcular índices de muy diverso tipo, relacionados con los tiempos, las distancias recorridas, superficies trabajadas o combinación de ellas. Una buena estrategia que permita una optimización en el recorrido y trayectorias que realizan este tipo de máquinas en sus zonas de trabajo pueden conseguir reducir el

coste de la misma por el combustible ahorrado y el tiempo dedicado, además de emitir menos CO₂ a la atmósfera.

Conclusiones

Se ha desarrollado una metodología para la adquisición remota de información referida al trabajo de máquinas en espacios verdes deportivos y su explotación posterior. Además la información obtenida ha permitido el cálculo de la emisión de CO₂ durante la operación de corte del césped en un campo tipo (18 hoyos, 50-60 ha) en forma de:

- Mapas de recorridos sobre un sistema de información geográfica de uso libre como es Google Earth, con indicación del estado de sus parámetros característicos a intervalos de 4 segundos.
- Los ensayos de campo muestran que el equipo es robusto, adaptándose perfectamente a las condiciones de trabajo y operativa de estas máquinas.
- Se ha determinado una emisión de CO₂ de 11.38 kg por día de trabajo.
- La información obtenida en cuanto a trayectorias, recorridos y tiempo de operación abren el camino a la optimización de todos ellos, estableciendo estrategias que permitan reducir costes de operación y emisión de CO₂, o el inicio de líneas de investigación sobre la variabilidad de los resultados obtenidos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario ceiA3 su financiación, a Soluciones Agrícolas de Precisión S.L. su asistencia técnica y Golf El Puerto por facilitarnos el trabajo en sus instalaciones.

Bibliografía

- Agüera, J., Perez-Ruiz, M., Carballido, J. (2009). Determinación del rendimiento de campo de operaciones mecanizadas mediante un equipo autónomo de acceso remoto. V Congreso Nacional y II congreso Iberico AGROINGENIERIA, Lugo
- Allred, B.J., Redman, J.D. McCoy, E.L., Taylor, R.S. (2005). Golf course applications of near-surface geophysical methods: a case study. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics* 10, 1-19.
- Cardenas-Lailhacar, B., Dukes, M.D. and Miller, G.L. (2010). Sensor-based automation of irrigation on Bermudagrass during dry weather conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 136, 184-193.
- Carrow, R.N., Krum, J.M., Flicroft, I. and Cline, V. (2010). Precision turfgrass management: challenges and field applications for mapping turfgrass soil and stress. *Precision Agriculture* 11, 115-134
- Giacosa, D. (1970). Motores endotérmicos. Editorial Científico-Médica. Barcelona, España.
- Have, H., Nielsen, J., Blackmore, S. and Theilby, F. (2005). Development and test of an autonomous Christmas tree weeder. In: *Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Ed. J. V. Stafford, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.
- Huang, W., Hu, J., Lu, T., Chen, W. and He, X. (2011). Monitoring urban turf quality using very high resolution satellite imagery. *19th International Conference on Geoinformatics*, 1-7.
- McDonald, T.P. and Fulton, J.P. (2005). Automated time study of skidders using global positioning system data. *Computers and Electronics in Agriculture* 48, 19-37
- Pedersen, S.M., Fountas, S. and Blackmore, S. (2007). Economic potential of robots for high value crops and landscape treatment. *Precision Agriculture* 07. ed. J. Stafford, V. Wageningen Academic Publisher. pp. 457-464.
- Rinaldi, M. and Stalder, G. (2002). Trends in Abgasverhalten Landwirtschaftlicher Traktoren-Neue Modelle deutlich sauberer. FAT-Bericht Nr. 577. Swiss Federal Research Station for Agricultural Economics and Engineering (FAT), Taenikon, Ettenhausen, Switzerland.