



Indicadores de sostenibilidad. Huella de carbono y huella hídrica de un viñedo considerando distintos sistemas de riego en Mendoza, Argentina

B. CIVIT^{1,2}, P. ARENA^{1,2}, S. CURADELLI¹ y R. PIASTRELLINI^{1,2}

(1) Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza. Argentina.

(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

RESUMEN

Argentina es el quinto productor de vinos a nivel internacional y el 70% de los viñedos argentinos están localizados en Mendoza. Los vinos mendocinos han conquistado mercados internacionales donde los requerimientos de sostenibilidad son cada vez más exigentes. Este estudio presenta el cálculo de la huella de carbono y la huella hídrica en la etapa de cultivo de vid en una finca situada en Mendoza. En él se consideran las actividades de mantenimiento del suelo, irrigación, fertilización, control de plagas y malezas y cosecha. La huella hídrica se determinó contemplando tres sistemas de riego y sus eficiencias correspondientes. Los resultados obtenidos constituyen una contribución significativa al uso sostenible de los recursos para las condiciones locales. El etapa agrícola es uno de los puntos relevantes donde se deben tomar medidas para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de agua.

Palabras clave: Industria del vino, impactos ambientales, eficiencia de riego.

ABSTRACT

Argentina is the fifth wine producer worldwide and 70% of the vineyards are located in Mendoza, Argentina. Mendoza wines have won international markets where the requirements of sustainability are increasingly demanding. This study presents the calculation of carbon footprint and water footprint of grapes production in a vineyard located in Mendoza. It considers the activities of soil maintenance, irrigation, fertilization, pest and weed control and harvesting. The water footprint is determined considering three irrigation systems and their corresponding efficiencies. The results constitute a significant contribution to the sustainable use of resources at local conditions. The agricultural stage is one of the highlights where you should take steps to reduce emissions of greenhouse gases and water consumption.

Key words:

Introducción

La vitivinicultura es una de las principales industrias en las economías regionales del oeste argentino. Argentina es el quinto productor mundial de vino y Mendoza y San Juan concentran el 85% de los establecimientos vitivinícolas de la región con el 96,2% de la producción de vino. La industria del vino en Mendoza es una de las más importantes industrias regionales y cuenta con un nivel de desarrollo que ha logrado conquistar tanto el mercado interno como el externo, cada vez más exigentes a la hora de incorporar un producto agrario, castigando las malas prácticas y premiando la buena gestión acorde al cuidado del medio ambiente. El sector industrial ha implementado diversos mecanismos y normativas para asegurar la calidad de los productos, las condiciones de higiene y seguridad dentro de las empresas, las buenas prácticas en la manufactura de productos de base agrícola, normas de tratamiento de efluentes industriales, entre otros. Sin embargo, los aspectos ambientales relacionados con la sostenibilidad ambiental han sufrido un cierto retraso respecto de los otros aspectos mencionados. En los últimos años, y como consecuencia de la Cumbre de la Tierra en 1992, se ha comenzado a prestar especial atención a los medios científicos y tecnológicos que permitan a las industrias adoptar e implementar mecanismos y tecnologías más eficientes en los procesos de elaboración de sus productos con el objeto de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen de manera directa con el cambio climático global. Por otra parte, si bien el agua dulce se ha considerado siempre como un recurso natural renovable, la disponibilidad de agua



Figura 1. Cultivo de vid en Junín, Mendoza. Fuente: B. CIVIT (2009).

para consumo está disminuyendo de manera constante porque, al aumentar la población mundial, aumenta también la demanda de agua siendo en muchos casos mayor que la capacidad de recuperación natural. Estas dos situaciones han puesto de manifiesto la necesidad de contar con herramientas de evaluación de los sistemas de producción y, en muchos casos, de certificación de la bondad de los productos y de los procesos productivos. Desarrollar sistemas que garanticen el menor impacto ambiental de los procesos permite por una parte, mejorar las condiciones ambientales de los países productores, y por otra, facilitar las exportaciones y evitar barreras comerciales. En la industria vitivinícola del mundo, y de Argentina particularmente, se ha instalado la necesidad de contar con indicadores de sostenibilidad como la huella de carbono (HC) (contabiliza las emisiones de GEI a lo largo del ciclo de vida del producto) y la huella hídrica (HH) (cuantifica el uso y consumo de agua durante el ciclo de vida del producto), con el objeto de co-

nocer los puntos críticos para reducir los impactos y posicionar de un modo altamente competitivo el producto, sin perder de vista la calidad del mismo, y se están creando capacidades para poder calcular estos indicadores de manera operativa en las industrias del sector. Es decir, si se puede mostrar la benignidad ambiental de su producto mediante una herramienta objetiva, se encontrarán amplios beneficios en el mercado internacional conforme a las exigencias vigentes. Tal es así, que Bodegas de Argentina ha formado la Comisión de Sustentabilidad integrada por representantes de distintas bodegas, organismos públicos y privados, que tiene por finalidad conformar un foro de debate sobre esta temática.

Si bien en la industria del vino, los impactos ambientales se asocian al proceso mismo de fabricación, por el uso de electricidad, el envasado y el transporte, los más importantes aportes se verifican en la etapa agrícola, es decir, en la etapa de producción de la materia prima: la uva. Es por ello

FIGURA 2. Esquema huella de carbono de uvas Cabernet Sauvignon.



que este trabajo pretende calcular la huella de carbono y la huella hídrica de un viñedo típico mendocino, con el objeto de ajustar la metodología de cálculo, pero que al mismo tiempo sirva como punto de partida para un estudio más ambicioso que abarque al sector vitícola del oeste argentino y se obtenga un documento de referencia metodológica y técnica para los actores involucrados en el sector.

Materiales y métodos

Cálculo de la Huella de Carbono

De acuerdo con WIEDMANN y MINX (2007) la huella de carbono es una medida de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) solamente. Sin embargo, otras definiciones de este concepto establecen que es un inventario de emisiones de GEI expresado en términos de kg de CO₂ equivalentes, y puede determinarse para un producto, una actividad, una

organización, un individuo o un evento determinado (WEIDEMA *et al.*, 2008; CARBON TRUST, 2007) considerando todas las etapas de su ciclo de vida. La huella de carbono es una herramienta de sostenibilidad efectiva para la gestión energética y ambiental de una empresa porque permite cuantificar las emisiones de GEI y, sobre esa base, disponer del adecuado manejo de sus operaciones y procesos. En este sentido, constituye una herramienta para identificar y cuantificar las fuentes de emisiones de GEI en el proceso productivo y de comercialización del producto, y en función de ello permite definir políticas de reducción de emisiones costo efectivas y eficientes. En los últimos años el término huella de carbono está tomando cada vez más relevancia, imponiéndose con más fuerza en el plano comercial y dentro de las organizaciones no gubernamentales. Con ello, se pretende brindar al consumidor información ambiental específica sobre los productos

que adquieren. Esta acción es notoria y creciente en empresas y cadenas de ventas minoristas en numerosos países de Europa y en América del Norte. Sin embargo, en los países en vías de desarrollo la inclusión de medir la huella de carbono es reciente y está poco difundida en la mayoría de las industrias.

La norma británica PAS 2050 (BSI, 2008) dispone la guía para el cálculo de la Huella de Carbono de un producto sobre la base del enfoque de ciclo de vida tal como se establece en la norma ISO 14000, series 40, 41, 42 y 42 (ISO, 1997).

En este trabajo, el cálculo de HC se realizó siguiendo un Análisis de Ciclo de Vida (ACV)¹ simplificado (ISO, 1997), considerando como única categoría de impacto el Potencial de Calentamiento Global (GWP). Se tuvo en cuenta el método IPCC 2007 100a V1.01, utilizando como herramienta el software SimaPro 7.1 (Pré Consultants).

Contabilidad de la Huella Hídrica

La huella hídrica fue introducida por primera vez en 2003 por Arjen Hoekstra, y luego Hoekstra y Chapagain en 2007 definieron y desarrollaron una herramienta que calcula el consumo directo e indirecto de agua por parte de un consumidor o un productor. El concepto es similar al de la huella ecológica definida por WACKERNAGEL y REES, (1996), pero contabilizando agua en lugar de superficie productiva. La huella hídrica fue concebida como una herramienta analítica, geográficamente explícita, para abordar cuestiones referidas con políticas de seguridad hídrica y uso sostenible del recurso hídrico, relacionando la ubicación (y la extensión) donde se produce el uso con el consumo que realizan las distintos consumidores (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

El cálculo de la huella hídrica permite cuantificar el volumen total de agua consumida y/o contaminada por unidad de tiempo que se emplea para producir un bien o un servicio, o que consume un individuo, una comunidad o una fábrica teniendo en cuenta toda el agua utilizada en los procesos in-

(1) Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se define como:

"Un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final." (CÓNSOLI *et al.*, 1993)

volucrados en la cadena de suministro del producto. El Manual para Evaluar la Huella Hídrica (*Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard*) de HOEKSTRA *et al.*, 2011, establece cuatro etapas en el cálculo de la huella hídrica: a) Definición de objetivos y alcance, b) Contabilidad de los volúmenes de agua a lo largo del ciclo de vida del producto, proceso u objeto de estudio (Inventario); c) Análisis de sostenibilidad, en la que se relaciona los valores de huella encontrados con un valor de referencia elegido según la escala y el objetivo del estudio; y por último, d) Las recomendaciones, en donde se pueden proponer estrategias de reducción del uso y consumo de agua con el fin de contribuir a la sostenibilidad del sistema considerado (CIVIT *et al.*, 2011).

La metodología de la huella hídrica permite, a quien realiza el estudio, poder identificar y cuantificar el uso y consumo de agua según el origen de la misma. De este modo, se tiene tres huellas: azul, verde y gris. La huella de agua azul (WF_{azul}) se refiere al consumo de los recursos de agua superficial y subterránea a lo largo del ciclo de vida del producto o actividad. El consumo se refiere a la pérdida de agua disponible en un depósito superficial en la zona de captación. Las pérdidas se producen cuando el agua se evapora, vuelve a otra área de influencia, al mar o se incorpora a un producto. La huella hídrica verde (WF_{verde}) representa el consumo de agua de lluvia en la medida en que no se convierta en escorrentía. Por último, la huella de agua gris (WF_{gris}) se define como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de un contaminante dado y llevarlo a concentraciones admitidas en las normas de calidad del sitio donde se realiza el estudio.

En el caso de un producto de base agrícola, la etapa de desarrollo del cultivo, que es materia prima del producto, se considera como un proceso: el proceso de crecimiento del cultivo. Es por ello que la huella de agua para estos casos se calcula como la *huella de agua de un proceso* (WF_{proc}), y se expresa como (HOEKSTRA *et al.*, 2011):

$$WF_{proc} = WF_{proc, azul} + WF_{proc, verde} + WF_{proc, gris} \quad (1)$$

Donde $WF_{proc, azul}$ es la huella de agua azul del proceso, $WF_{proc, verde}$ es la huella de agua verde del

proceso y $WF_{proc,gris}$ es la huella de agua contaminada o gris de proceso estudiado. Todos expresados en volumen de agua por unidad de masa de producto, por ejemplo en m^3/ton .

Las componentes se calculan como la relación entre la cantidad de agua azul o verde consumida por el cultivo (CWU_{azul} ; CWU_{verde}) en m^3/ha e Y la producción expresada en tm/ha :

$$WF_{proc, azul} = \frac{CWU_{azul}}{Y} \quad (2)$$

$$WF_{proc, verde} = \frac{CWU_{verde}}{Y} \quad (3)$$

Finalmente, la huella gris se calcula como:

$$WF_{proc, gris} = \frac{(\alpha \times AR) / (c_{m\acute{a}x} - c_{nat})}{Y} \quad (4)$$

Donde α es la fracción de lixiviado del contaminante, AR es la cantidad de agroquímico aplicada en kg/ha , $c_{m\acute{a}x}$ es la concentración máxima aceptable para ese agroquímico en el agua, c_{nat} en kg/m^3 es la concentración que existe naturalmente de esa sustancia en el agua y finalmente, Y es la producción en kg/ha .

Caso de estudio

Este estudio se realiza con datos de una finca de 12 ha con cultivo de vid (*Vitis vinifera*), variedad Cabernet Sauvignon, ubicada en el departamento de Junín, Mendoza (Figura 1). Los datos específicos de manejo del cultivo del caso fueron brindados por los responsables de la finca en entrevistas personales y corresponden a la campaña 2009–2010. La producción media fue de 9 tm/ha . No se tuvo en cuenta la implantación de las vides porque el viñedo tiene más de 10 años de antigüedad. En este estudio, la etapa agrícola comprende el cultivo y recolección de las uvas, abarcando las operaciones de laboreo y mantenimiento del terreno, riego, aplicación de agroquímicos y cosecha de los frutos. La unidad funcional es 1 kg de uvas Cabernet Sauvignon para vinificar.

Para el cálculo de la huella de agua, se elaboraron tres escenarios teniendo en cuenta distintas eficiencias de irrigación correspondientes a sistemas

de riego: gravitacional y presurizado por aspersión y goteo, considerando 35, 70 y 95% de eficiencia de riego respectivamente, con la finalidad de evaluar la incidencia que tiene esta variable sobre la huella de agua. En el caso del riego gravitacional, el surco es el método más común empleándose agua superficial aunque también en numerosos casos el agua proviene de perforaciones subterráneas, sobre todo en períodos de escasez hídrica.

Los datos meteorológicos se tomaron de la Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas la provincia de Mendoza.

El requerimiento de agua del cultivo se calculó mediante el software CROPWAT 8.0, de la Organización de Alimentos y Agricultura (FAO) (FAO, 1992), tal como lo recomienda HOEKSTRA *et al.* (2011). Los valores de las concentraciones de contaminantes máximas permitidas y concentraciones de base se tomaron de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA) (EPA, 2009).

En el cálculo de la huella de carbono se tomó en consideración el combustible empleado por el tractor que permite las tareas de labranza y la aplicación de fertilizantes y agroquímicos, la fabricación de los agroquímicos, la energía eléctrica necesaria en todo el proceso considerado, el transporte de los bins en los que se almacena la uva para llevar a bodega y la fabricación de los mismos (Figura 2).

Resultados y discusión

Se calculó la huella hídrica de referencia que tiene en cuenta el requerimiento de agua teórico del cultivo, resultando la huella hídrica azul (Wf_{blue}) en 586,7 m^3/ton y huella hídrica verde (Wf_{green}) en 98 m^3/tm , lo que representa el 86% y el 14% del total (684,2 m^3/tm) respectivamente (Figura 3). Esta diferencia es esperable porque las lluvias, aun registrándose en la época estival, no son suficientes para que el cultivo se desarrolle y como consecuencia es necesario aplicar riego artificial. La huella hídrica gris resultó en 0,251 m^3/tm , que es sustancialmente menor en valor absoluto que las otras dos. La huella hídrica gris está ligada fundamentalmente al uso de fertilizantes y, en el caso de la vid para vinificar, el uso de estos es prácticamente nulo, muy controlado y medido para poder cumplir con los estándares de calidad de vino actuales.

La diferencia que se encontró en las huellas de los tres escenarios considerados (35, 70 y 95% de eficiencia) se visualiza mediante la comparación de la cantidad de agua extra al requerimiento teórico que hay que suministrar mediante el sistema de riego elegido de acuerdo a su eficiencia. La *Figura 4* muestra el agua requerida por el cultivo en barras azules (WFblue) durante el período durante el cual se realizó el estudio, y en barras amarillas el agua extra suministrada para cada uno de los tres escenarios propuestos. Claramente se percibe que el riego por goteo resulta ser el más eficiente y el que tiene una huella hídrica menor en comparación con los otros dos sistemas considerados, lográndose una diferencia en los extremos considerados de aproximadamente un 90%.

Como el menor valor de huella hídrica se registró para el caso del riego por goteo, se calculó la huella de carbono para este mismo sistema de riego dando como resultado para 1kg de uvas Cabernet Sauvignon 0,729 kg equivalentes de CO₂ total. La huella de carbono total está compuesta por los valores correspondientes a cada tarea de la etapa agrícola considerada.

Las labores de terreno presentaron una huella de carbono de 0,043 kg eq de CO₂, la aplicación de agroquímicos dio un valor de 0,175 kg eq de CO₂, la huella de carbono correspondiente a la cosecha fue de 0,187 kg eq de CO₂ mientras que la del riego fue de 0,323 kg eq de CO₂ (*Figura 5*).

De acuerdo al Instituto Nacional de Vitivinicultura, la provin-

FIGURA 3. Huella hídrica azul y huella hídrica verde teóricas.

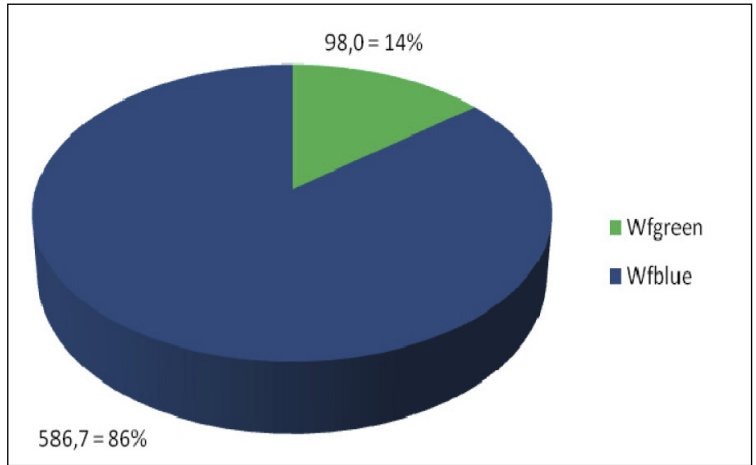


FIGURA 4. Huella hídrica correspondiente a los tres escenarios considerados.

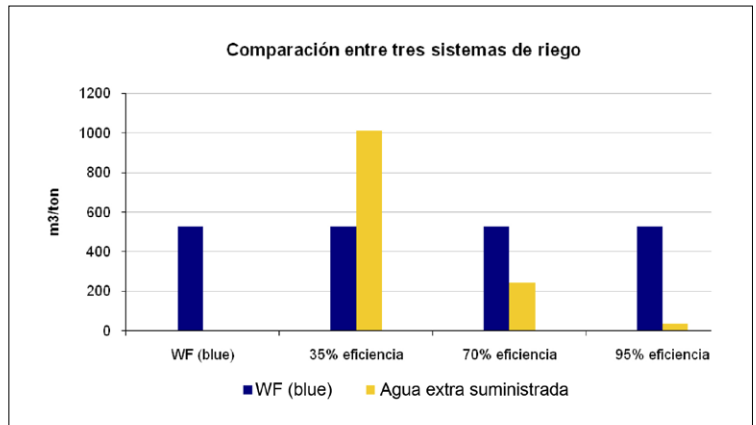
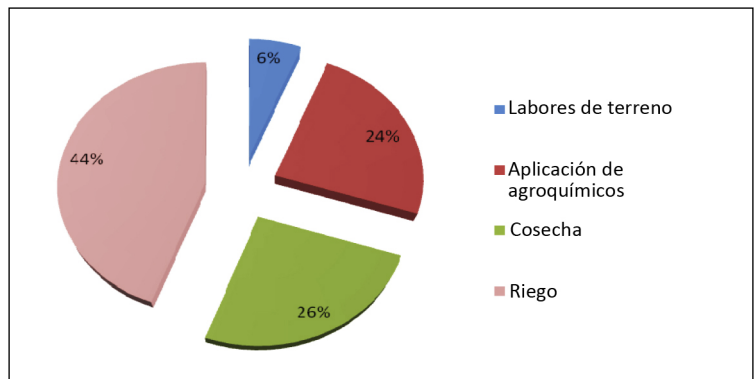


FIGURA 5. Huella de carbono por tareas en la etapa de cultivo de vid con riego por goteo.



cia de Mendoza posee el 87,8% de sus viñedos con riego gravitacional (eficiencia 35–50%), un 11,9% con riego por goteo (eficiencia 95%), y el restante 0,23% con riego por aspersión (eficiencia 70%). Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este trabajo referidos a la huella hídrica queda claro que el sistema de riego por goteo es el más conveniente de aplicar en regiones donde el agua es un recurso escaso, fundamentalmente en tierras secas, como las que se encuentran en la provincia de Mendoza. Una alternativa tendiente a optimizar el uso del recurso hídrico sería la de extender a una mayor cantidad de superficie implantada este sistema de riego. Para mejorar el desempeño ambiental global del sistema de riego, quedaría pendiente tomar medidas destinadas a disminuir la huella de carbono. De acuerdo a lo que se observa en la *Figura 5*, el 44% de la huella de carbono se debe al consumo de energía eléctrica del sistema de bombeo y el 32% de la misma está relacionada al consumo de gas-oil durante las labores del terreno y la cosecha. La utilización de energías alternativas renovables y el uso de biodiesel podrían ser algunas opciones que produzcan un mayor impacto tendiente a reducir las emisiones de CO₂.

Conclusiones

Durante el cálculo de la huella hídrica para productos agrícolas, la principal dificultad encontrada fue la gran cantidad de información específica involucrada, que suele encontrarse muy dispersa y que no siempre el dato que se consigue proviene de una fuente confiable. Por ello se hace necesaria la colaboración de expertos en el campo agronómico que puedan aportar información precisa y actualizada sobre las condiciones y manejo del cultivo. Después, para procesar los datos, es necesario su sistematización y el establecimiento de criterios para el tratamiento de los resultados.

Del análisis de los resultados obtenidos, se puede concluir que la contabilización y posterior análisis de la huella hídrica es una herramienta de gran utilidad para hacer una asignación eficiente del recurso hídrico en la industria del vino, un producto de base agrícola. La huella hídrica junto a la huella de carbono constituye herramientas objetivas para quienes tienen a su cargo la toma de decisio-

nes referidas a la asignación de recursos teniendo en cuenta la sostenibilidad regional.

En zonas áridas, en este caso en la Provincia de Mendoza, mejorar la eficiencia de riego permitiría obtener agua disponible para otros usos, por ejemplo extender la frontera agrícola o destinarla para consumo industrial y doméstico. •

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Srta. *Analia Morales* por su participación en la recopilación de información para el cálculo del requerimiento de riego, a los Ing. *Gaspar Roby, Ricardo Gattoni* y *Oswaldo Llamas* de la bodega Navarro Correas del grupo Diageo por brindarnos datos referidos al cultivo de vid.

Bibliografía

- BRITISH STANDARDS (2008). PAS 2050 (Publicly Available Specification). Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.
- CARBON TRUST (2007). Carbon footprinting: an introduction for organization.
- CÓNSOLI, F, ALLEN, D; BOUSTEAD, I; FAVA, J; FRANKLIN, W; JENSEN, A; de OUDE, N; PARRISH R; PERRIMAN, R; POSTLETHWAITE, D; QUAY, B; SEGUIN, J and VIGON, B (1993). Guidelines for life-cycle assessment: a code of practice, Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC).
- EPA (2009) List of drinking water contaminants: ground water and drinking water, US Environmental Protection Agency, www.epa.gov/safewater.
- FAO (1992) CROPWAT: a computer program for irrigation planning and management. Irrigation and Drainage, Paper NO. 46, FAO, Rome, <http://www.fao.org>
- HOEKSTRA, A, CHAPAGAIN, A, ALDAYA, M y MEKONNEN, M (2011). The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. Earthscan, London Washington, DC.
- HOEKSTRA, A.Y. (2003) (ed) Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, IHE Delft, the Netherlands.
- HOEKSTRA, AY and CHAPAGAIN, AK (2007). Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resour Manage* (2007) 21:35–48, DOI 10.1007/s11269-006-9039-x.
- ISO (1997). Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Standard Organization.
- WACKERNAGEL M and REES W (1996). Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth. New Society Publishers, Gabriola Island, BC, Canada.
- WEIDEMA Bo, THRANE, MI, CHRISTENSEN. P (2008). Carbon Footprint. A Catalyst for Life Cycle Assessment?. *Journal of Industrial Ecology*. Volume 12, Number 1.
- WIEDMANN,T, MINX, J. (2007). A definition of Carbon Footprint. ISA UK Research report 07–01. (2007).