

Estimación de la distribución espacial de la evapotranspiración utilizando imágenes satelitales en el sistema de riego “El Cenizo”, Venezuela

Estimation of spatially-distributed crop evapotranspiration using satellite images for the “Cenizo” Irrigation System in Venezuela

R. Trezza y L. Sánchez

Departamento de Ingeniería –NURR, Universidad de Los Andes, Trujillo, Venezuela.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), a través de imágenes satelitales, para el caso particular del sistema de Riego “El Cenizo”, ubicado en Trujillo, Venezuela. En la investigación se utilizó una imagen satelital LANDSAT correspondiente al 18/5/1999, con el fin de obtener el índice de vegetación (NDVI), el cual es un indicativo del estado de desarrollo de la vegetación, lo que permite la estimación de los coeficientes del cultivo (K_c). Posteriormente, utilizando información meteorológica de la zona, se determinó la evapotranspiración de los cultivos, siguiendo la metodología de la FAO-56. La aplicación de la metodología permitió elaborar un mapa de evapotranspiración de los cultivos a una resolución espacial de 30 m.

Palabras clave: evapotranspiración, teledetección, Landsat, coeficiente del cultivo, NDVI, El Cenizo, distribución espacial.

Abstract

The aim of this research is the crop estimation of evapotranspiration (ET_c) using satellite images on the “El Cenizo” irrigation system, Trujillo state, Venezuela. A Landsat TM image corresponding to 18/5/1999 was used in this study in order to obtain the normalized differences vegetation index (NDVI), which is taken as an indicator of the status of the vegetation and allows the estimation of the crop coefficient (K_c). Then, using a weather data, the crop evapotranspiration was calculated using the FAO-56 methodology. A 30 m spatial resolution map of crop evapotranspiration was produced as a result.

Keywords: evapotranspiration, remote sensing, Landsat, crop coefficient, NDVI, El Cenizo, spatial distribution.

Introducción

En la sub-región planicie aluvial del río Motatán se encuentra uno de los mayores potenciales agropecuarios del estado Trujillo, caracterizado por la producción de carne y leche, con grandes extensiones de suelos de excelente calidad. En esta zona se encuentra igualmente una de las más importantes infraestructuras de riego por gravedad del país, como es el sistema de Riego El Cenizo con capacidad para regar 40.000 hectáreas, utilizando las aguas del río Motatán, represadas en el embalse de Agua Viva (Corpoandes, 2013).

Para estimar las demandas de agua de los cultivos la publicación de la FAO-56 (Allen *et al.*, 2006) presenta el método del coeficiente del cultivo (K_c), donde la evapotranspiración del cultivo (ET_c) es calculada como el producto de K_c y la ET_o , siendo la ET_o la evapotranspiración de referencia calculada con datos registrados en estaciones meteorológicas cercanas al área de interés.

El problema de esta metodología estriba en que el valor de K_c varía con el tipo de cultivo y estado de desarrollo del mismo, por lo que es altamente variable en tiempo y en espacio. Esta alta variabilidad espacial y temporal solo puede ser caracterizada a través del uso de imágenes satelitales, las cuales contienen información espacial relacionada con el estado de desarrollo de la vegetación, correspondiente al momento de la obtención de las mismas.

El uso de las imágenes de satélite se ha extendido de manera importante en la agricultura, permitiendo la determinación de las demandas de

Introduction

In the alluvial sub-region Plain of Motatán River is one of the highest livestock potential of Trujillo state, characterized by the meat and milk production with great soil extensions of excellent quality. In this area there is one of the most important irrigation infrastructures by gravity of the country, such as the Irrigation system "El Cenizo", with irrigation capacity of 40.000 hectares, using water of the Motatán River, at Agua Viva reservoir (Corpoandes, 2013).

To estimate the water demand of the crops, the FAO-56 publication (Allen *et al.*, 2006) presents the coefficient crop method (K_c), where the crop evapotranspiration (ET_c) is calculated as the product of K_c and the ET_o , being the ET_o the reference evapotranspiration measured with data registered in meteorological stations close to the interest area.

The problem of this methodology relies that the K_c value varies with the type of crop and its development phase, making it variable in the time and space. This high spatial and temporal variability can only be characterized using satellite images, which have spatial information related to the development vegetation phase, corresponding to the moment when obtained.

The use of satellite images has extended into the agriculture, allowing the determination of water demand of the crops in the extension areas with variability in the land use, overcoming the limitations of the accurate information of meteorological stations. Different researches have proved the

agua de los cultivos en áreas de gran extensión, que presentan variabilidad en el uso de la tierra, venciendo las limitaciones de la información puntual de las estaciones meteorológicas. Diversos trabajos han demostrado la posibilidad de obtener K_c a partir del denominado Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI, por sus siglas en inglés), que se calcula utilizando los valores de reflectancia espectral de la cubierta vegetal en las bandas satelitales del rojo e infrarrojo cercano (Singh e Irmak, 2008). Calera *et al.* (2005) describe una metodología para la estimación de K_c a partir de NDVI para ser utilizada en servicios para regantes en Europa. Bos *et al.* (2008) presenta una relación entre K_c y NDVI que permite la estimación del coeficiente del cultivo a partir de imágenes satelitales. Mientras que los modelos basados en NDVI permiten estimar la evapotranspiración (ET_c) en cultivos sin limitaciones hídricas, otros modelos utilizan el balance de energía (Allen *et al.*, 2011; Trezza, 2006) para calcular la evapotranspiración real (ET) y así obtener coeficientes de cultivo que reflejen el impacto del estrés hídrico y otros factores influyentes en la evapotranspiración. Es por ello que se recomienda el uso de modelos basados en el balance de energía cuando se desee cuantificar ET como dato de entrada en modelos de simulación de acuíferos o para resolver conflictos derivados en las limitaciones del recurso hídrico. Para actividades de planificación agrícola general o calendarios de riego, el uso de metodologías basadas en NDVI tienen la ventaja de su alta operatividad y simplicidad, ob-

possibility of obtaining K_c after the normalized differences vegetation index (NDVI), which is calculated using the spectrum reflection values of the vegetal cover in the satellite bands of red and close infrared (Singh e Irmak, 2008).

Calera *et al.* (2005) describe a methodology for estimating K_c after the NDVI to be used in irrigation services in Europe. Bos *et al.* (2008) present a relation between the K_c and NDVI that allows the coefficient estimation of the crop after satellite images. Meanwhile, the models based on the NDVI allows estimating the evapotranspiration (ET_c) in crops without water limitations, other models use the energy balance (Allen *et al.*, 2011; Trezza, 2006) to calculate the real evapotranspiration (RE) and to obtain the crop coefficient that show the water stress impact and other influential factors in the evapotranspiration. For this reason, it is recommended to use the models based on the balance of energy when pretended to quantify the RE as an entrance data in simulation models of aquifers or to solve problems derive on the limitations of the water resource. For activities of general agriculture planning or irrigation calendars, the use of methodologies based on NDVI have the advantages of their high operation and simplicity, obtaining good RE estimations for these activities (Calera *et al.* 2005).

In this research, a methodology was applied to estimate the crop coefficient after vegetation indexes obtained from Landsat satellite images. Later, the evapotranspiration of the reference crop (ET_o) was calculated

teniendo buenas estimaciones de ET para estas actividades (Calera *et al.*, 2005).

En este trabajo se aplicó una metodología para estimar el coeficiente de cultivo a partir de índices de vegetación obtenidos de imágenes del satélite Landsat. Posteriormente, se calculó la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_c) utilizando información meteorológica de la zona y finalmente se obtuvieron los valores de ET_c siguiendo la metodología de la FAO-56. Los valores de ET_c representan la demanda potencial de los cultivos y permitirían realizar el manejo del riego en la zona de estudio. Para ser útiles a los usuarios del sistema de riego, los valores de ET_c deberán ser convertidos a volumen o tiempo de riego, tomando en cuenta la eficiencia de riego y el área efectiva a regar.

Materiales y métodos

Características del área de estudio

El sistema de riego El Cenizo se ubica políticamente en la República Bolivariana de Venezuela, estado Trujillo, en la jurisdicción del municipio Miranda. Geográficamente se localiza en la cuenca del río Motatán entre las coordenadas geográficas 9°31'17" y 9°32'57" de Latitud Norte y 70°42'06" y 70°43'49" de Longitud Oeste. Los cultivos presentes en el sistema de riego son: pastos (H" 50% del área), caña de azúcar (H"25%), y en menor porcentaje hortalizas, sandía, banana, plátanos y frutales (restante 25%). El tipo de riego predominante es por gravedad, aunque también existen aéreas regadas por aspersión y goteo.

using the meteorological information of the area; finally the ET_c values were obtained following the FAO-56 methodology.

The ET_c values represent the potential demand of the crops and will allow performing the irrigation handle in the area under research. To be useful for the users of the irrigation system, the ET_c values should be converted to volume or irrigation time, considering the irrigation efficiency and effective area to irrigate.

Materials and methods

Characteristics of the area under research

The irrigation system "El Cenizo" is politically located at the Bolivarian Republic of Venezuela, Trujillo state, on Miranda County. Geographically it is on the basin of the Motatán River at 9°31'17" and 9°32'57" of North latitude and 70°42'06" and 70°43'49" of West longitude. The crops in the irrigation system are: pastures (H" 50% of the area), sugarcane (H"25%), and in lower percentage vegetables, watermelon, banana, plantain and fruits (the rest 25%). The predominant type of irrigation in the area is by gravity; however, there are aerial irrigations by aspersion and dropping.

The soils are recently formed by accumulation of alluvial material transported by the action of the Motatán River, maps with slopes lower to 3%, which allow the agriculture and technical farming exploitation. Among the soil series present, the majority is characterized by presenting clays and silts with predominant textures,

Los suelos son recientemente formados por acumulación de material aluvial transportado por acción del río Motatán, planos con pendientes menores del 3%, que permiten explotaciones agrícolas y ganaderas tecnificadas. Entre las series de suelos que se encuentran, la mayoría se caracterizan por presentar arcillas y limos como texturas predominantes, condición que origina la dificultad del drenaje, y su alta capacidad de compactación.

De acuerdo a los registros pluviométricos de la estación El Cenizo – Campamento Vivian, la precipitación media anual para el período 1986 – 2005 es de 1021,5 mm y se ajusta a un régimen bimodal, caracterizado por dos periodos lluviosos abril – mayo y septiembre – noviembre, siendo octubre el mes más lluvioso con un promedio anual de 176,7 mm, y el mes de enero, el mes más seco con un promedio anual de 42,7 mm.

Datos satelitales

Una imagen Landsat 5 TM, path 6, rows 53 y 54 fue utilizada en el presente estudio con el objeto de obtener los valores de NDVI, Kc y ET_c . Se revisaron una serie de imágenes, desde 1998 hasta el 2013, seleccionando la imagen correspondiente al 18 de Mayo de 1999, debido a la poca nubosidad presente en la misma.

Descripción de la metodología utilizada

La metodología considerada en el presente estudio se basa en la utilización de imágenes Landsat para el cálculo del índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI), a través de la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (1)$$

condition that originates the drainage difficulty, and its high compacting capacity.

According to the rainy registers at the station “El Cenizo – Vivian camping”, the mean annual precipitation for 1986-2005 was of 1021.5 mm and adjusts to a bimodal regimen, characterized by two rainy seasons April-May and September-November, being October the rainiest month with an annual average of 176.7 mm, and January the driest month with an annual average of 42.7 mm.

Satellite data

A Landsat 5 TM, path 6, rows 53 and 54 image was used with the aim of obtaining the NDVI, Kc and ET_c values. Several images were revised from 1998 to 2013, selecting the image corresponding to May 18, 1999, due to the little cloudiness present on it.

Description of the methodology used

The methodology considered in the current research is based on the use of Landsat images, for calculating the normalized differences vegetation index (NDVI), through the following equation:

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (1)$$

Where NDVI is the normalized differences vegetation index, ρ_4 is the reflectance in the band 4 (that corresponds to the spectrum region of the close infrared in Landsat) and ρ_3 is the reflectance in the band 3 (that corresponds to the red spectrum region of the in Landsat).

The reflectance values for bands 3 and 4 (ρ_3 and ρ_4), at a satellite level are calculated as:

Donde NDVI es el índice de vegetación de diferencias normalizadas, ρ_4 es la reflectancia en la banda 4 (que corresponde a la región espectral del infrarrojo cercano en Landsat) y ρ_3 es la reflectancia en la banda 3 (que corresponde a la región espectral del rojo en Landsat).

Los valores de reflectancia para las bandas 3 y 4 (ρ_3 y ρ_4), a nivel de satélite, se calculan como:

$$\rho_b = \frac{\pi * L_b}{ESUN_b * \cos \theta * dr} \quad (2)$$

Donde b es el número de banda (b=3 para la banda 3 y b=4 para la banda 4) ρ_b es la reflectancia para la banda "b"; L_b es el valor de radiancia correspondiente en la banda "b", $ESUN_b$ es el valor de la constante solar correspondiente a la banda "b" y dr es la distancia relativa inversa entre la tierra y el sol. Los valores de ESUN son, para Landsat 5: 1554 (banda 3) y 1036 (banda 4). En el caso de utilizar imágenes L7ETM+ los valores correspondientes son 1551 (banda 3) y 1044 (banda 4).

Los valores de radiancia para las bandas 3 y 4 (L_3 y L_4), L_b se calculan como:

$$L_b = \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{cmax} - Q_{cmin}} \right) * (DN - Q_{cmin}) + L_{min} \quad (3)$$

donde L_b es la radiancia en $W/m^2/sr/\mu m$; L_{max} , L_{min} , Q_{cmax} y Q_{cmin} son parámetros que están disponibles en el archivo "metadata" que acompaña la imagen satelital, DN es el número digital de cada pixel en la imagen.

La distancia relativa entre la tierra y el sol (dr) es calculada con la ecuación 4:

$$\rho_b = \frac{\pi * L_b}{ESUN_b * \cos \theta * dr} \quad (2)$$

Where b is the number of band (b=3 for band 3 and b=4 for band 4), ρ_b is the reflectance for band "b", L_b is the radiance value corresponding to the band "b", $ESUN_b$ is the value of the solar constant corresponding to the band "b" and dr is the inverse relative distance between the earth and the sun. The ESUN values are, for Landsat 5: 1554 (band 3) and 1036 (band 4). In the case of using L7ETM+ images, the corresponding values are 1551 (band 3) and 1044 (band 4).

The radiance values for the bands 3 and 4 (L_3 and L_4), are calculated as:

$$L_b = \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{cmax} - Q_{cmin}} \right) * (DN - Q_{cmin}) + L_{min} \quad (3)$$

Where is the radiance in $W/m^2/sr/\mu m$; L_{max} , L_{min} , Q_{cmax} and Q_{cmin} are parameters available in the metadata file, that come with the satellite image, DN is the digital number of each pixel in the image.

The relative distance between the earth and the sun (dr) is calculated with the equation 4:

$$dr = 1 + 0,033 * \cos \left(\frac{DOY * 2\pi}{365} \right) \quad (4)$$

Where dr is the relative distance between the earth and the sun; DOY is the Julian day of the year (January 1st represents DOY=1 and December 31st represents DOY=365).

To find the value of the sun angle to the normal on the surface (θ), using the equation (2) can be observed the elevation angle (β), available in the metadata file that comes to the image, thus:

$$dr = 1 + 0,033 * \cos\left(\frac{DOY * 2\pi}{365}\right) \quad (4)$$

donde dr es la distancia relativa entre la tierra y el sol; DOY es el día juliano del año (Enero 1 representa DOY=1 y Diciembre 31 representa DOY=365).

Para hallar el valor del ángulo del sol con la normal a la superficie (θ), a utilizarse en la ecuación (2) podemos usar el ángulo de elevación (β), disponible en el archivo metadata que viene con la imagen, entonces:

$$\cos \theta = \cos\left(\frac{\pi}{180} * (90 - \beta)\right) \quad (5)$$

Una vez obtenido el valor de NDVI, podemos estimar el valor del coeficiente de cultivo K_c , utilizando la siguiente ecuación:

$$K_c = a * NDVI + b \quad (6)$$

Siendo a y b definidos a partir de los valores tabulados de K_c de FAO-56 (Allen *et al.*, 2006) para los cultivos predominantes en el área de estudio:

$$a = \frac{K_{c_{med}} - K_{c_{ini}}}{NDVI_{med} - NDVI_{ini}} \quad (7)$$

$$b = K_{c_{med}} - a * NDVI_{med} \quad (8)$$

donde $K_{c_{med}}$ y $K_{c_{ini}}$ son los valores de K_c correspondiente a la fase de mediados de temporada y la fase inicial de desarrollo del cultivo, tomados del cuadro de K_c de FAO-56 (Allen *et al.*, 2006) y $NDVI_{med}$ y $NDVI_{ini}$ son los valores de NDVI para las mismas fases. El valor de $NDVI_{med}$ corresponde al valor de NDVI cuando el cultivo alcanza completa cobertura, el cual es asumido como $NDVI_{med} = 0,8$. Por su parte, el valor de $NDVI_{ini}$ corresponde

$$\cos \theta = \cos\left(\frac{\pi}{180} * (90 - \beta)\right) \quad (5)$$

Once obtained the NDVI value, the K_c crop coefficient value can be estimated using the following equation:

$$K_c = a * NDVI + b \quad (6)$$

Being a and b defined after the tabulated values of K_c of FAO-56 (Allen *et al.*, 2006) for the crops in the field area:

$$a = \frac{K_{c_{med}} - K_{c_{ini}}}{NDVI_{med} - NDVI_{ini}} \quad (7)$$

$$b = K_{c_{med}} - a * NDVI_{med} \quad (8)$$

Where $K_{c_{med}}$ and $K_{c_{ini}}$ are the K_c values corresponding to the phase of mid of season and the initial development phase of the crop, taken from the K_c table of FAO-56 (Allen *et al.*, 2006) and $NDVI_{med}$ and $NDVI_{ini}$ are the NDVI values for the same phases. The $NDVI_{med}$ corresponds to the NDVI value, when the crop reaches a full cover, assumed as $NDVI_{med} = 0.8$. On the other hand, the $NDVI_{ini}$ value corresponds to the initial development phase, when the crop is Young and starts to cover the soil, corresponding to a $NDVI_{ini} = 0.25$ value.

If there is not information of the crops and for effects of irrigation handle, an approximation can be obtained using the following equation (Bos *et al.*, 2008 and Calera *et al.*, 2005):

$$K_c = 1,25 * NDVI + 0,2 \quad (9)$$

Finally, the evapotranspiration value of the crop (ET_c) is calculated as:

a la fase inicial de desarrollo, cuando el cultivo es joven y empieza a cubrir el suelo, correspondiente a un valor de $NDVI_{ini} = 0,25$.

De no contarse con información de cultivos y para efectos de manejo de riego, se puede obtener una aproximación, utilizando la siguiente ecuación (Bos *et al.*, 2008 y Calera *et al.*, 2005):

$$Kc = 1,25 * NDVI + 0,2 \quad (9)$$

Finalmente el valor de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) es calculado como:

$$ET_c = Kc * ET_o \quad (10)$$

La metodología descrita se puede implementar en cualquier software que permita el procesamiento de imágenes en formato RASTER, tal como ArcGis, Idrisi, ERDAS, entre otros.

Resultados y discusión

El procedimiento utilizado y los resultados obtenidos se describen a continuación:

a) Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia

El valor de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) fue calculado a través de la ecuación de Hargreaves (Allen *et al.*, 2006), utilizando valores de temperatura máxima y temperatura mínima reportados por la estación Mene Grande, resultando en $ET_o = 5,2$ mm/d.

b) Obtención de la imagen satelital y extracción de la información del archivo metadata

La imagen Landsat 5 TM, path 6, rows 53 y 54, correspondiente al 18

$$ET_c = Kc * ET_o \quad (10)$$

The methodology described can be implemented in any software that allows the processing of images in RASTER format, such as ArcGis, Idrisi, ERDAS, among others.

Results and discussion

The procedure used and the results obtained are described:

a) Evapotranspiration calculus of the reference crop

The evapotranspiration value of the reference crop (ET_o) was calculated after the Hargreaves equation (Allen *et al.*, 2006), using the values of maximum and minimum temperature reported by the Mene Grande station, resulting in $ET_o = 5.2$ mm/d.

b) Obtaining of the satellite image and extraction of the information from the megadata file

The Landsat 5 TM, path 6, rows 53 and 54 image, corresponding to May 18, 1999, was obtained from the site GLOVIS of the Geologic Service of the United States (USGS, 2013). Once obtained the image, it was preceded to extract the information that was in a megadata file, which is presented in table 1.

c) Processing of the image and obtaining of Kc and ET_c maps

Subsequently, the equations from 1 to 8 were implemented, elaborating a computer software using Model Maker of the ERDAS software. As a result, a Kc map was obtained, with a spatial resolution of 30m x 30m (pixel size of 900 m²).

For defining the equation (6), the predominance of pastures in the field

de Mayo de 1999 fue obtenida del sitio GLOVIS del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2013). Una vez obtenida la imagen, se procedió a extraer la información contenida en su archivo metadata, la cual es presentada en el cuadro 1.

c) Procesamiento de la imagen y obtención de los mapas de K_c y ET_c

Posteriormente, se implementaron las ecuaciones 1 al 8, elaborando un programa de computación utilizando la herramienta "Model Maker" del software ERDAS. Como resultado se obtuvo un mapa de K_c , con una resolución espacial de 30m x30m (tamaño de pixel de 900 m²).

Para la definición de la ecuación (6), se consideró la predominancia de pastos en el área de estudio, por lo que fueron asumidos los siguientes valores de coeficiente de cultivo: $K_{c_{ini}} = 0,40$; $K_{c_{ini}} = 1,15$, extraídos de la publicación FAO-56. Considerando además $NDVI_{med} = 0,8$ y $NDVI_{ini} = 0,25$ y utilizando las ecuaciones (7), (8) y finalmente (6) se obtuvo la siguiente ecuación:

$$K_c = 1,25 * NDVI + 0,15 \quad (11)$$

Como último paso se multiplicaron los valores de K_c y la ET_c , produciendo el mapa de evapotranspiración del cultivo, con una resolución espacial de 30 m. En la figura 1 se presen-

area was considered, assuming the following crop coefficient values: $K_{c_{ini}} = 0.40$; $K_{c_{ini}} = 1.15$, extracted from the FAO-56 publication. Also considering $NDVI_{med} = 0.8$ and $NDVI_{ini} = 0.25$ and using the equations (7), (8) and finally (6), the following equation was obtained:

$$K_c = 1,25 * NDVI + 0,15 \quad (11)$$

As a last step, the K_c and ET_c values were multiplied, producing an evapotranspiration map of the crop, with a spatial resolution of 30 m. In figure 1 is presented the ET_c map, corresponding to 18/5/1999, for a portion of the irrigation system "El Cenizo". The core of the image is located at an approximate latitude of 9°31'50.31" N and 70°46'25.96" W.

Conclusions

In this research a simple methodology was applied that allows estimating the elaboration of crop coefficient map in raster format and at 30 resolution meters, after the NDVI values calculated with the reflective bands 3 and 4 of the Landsat satellite. This K_c map allowed elaborating a map of ET_c values in millimeters, for the irrigation system "El Cenizo", corresponding to the day

Cuadro 1. Información del archivo metadata para el 18/5/1999.

Table 1. Information of the megadata file for 18/5/1999.

Lmax para las bandas 3 y 4	264,00; 221,00
Lmin para las bandas 3 y 4	-1,170; -1,510
Q _c max ; Q _c min	225,0; 1,0
Elevación solar (β)	59,58 grados



Figura 1. Mapa de evapotranspiración del cultivo (ET_c) en milímetros por día, a una resolución de 30 m x 30 m, correspondiente al 18/5/1999.

Figure 1. Evapotranspiration map of the crop (ET_c) in millimeters per day at a 30 m x 30 m resolution, corresponding to 15/5/1999.

ta el mapa de ET_c correspondiente a 18/5/1999, para una porción del sistema de riego "El Cenizo". El centro de la imagen se encuentra a un latitud aproximada de $9^{\circ}31'50.31''$ N y $70^{\circ}46'25.96''$ O.

Conclusiones

En este trabajo se aplicó una metodología sencilla que permite estimar la elaboración de un mapa del coeficiente del cultivo, en formato raster y a 30 metros de resolución, a partir de los valores de NDVI calculados con las bandas reflectivas 3 y 4 del satélite Landsat. Este mapa de K_c permitió la elaboración posterior de un mapa de valores de ET_c , en milímetros, para el

where the image was taken, which is 18/05/1999. This information is useful for the decision-making on the water handle coming from the Agua Viva reservoir, since the values obtained can be transformed into flows for the moment of the irrigation.

It is important to mention that the procedure on this research is essentially based on the FAO-56 methodology for estimating the evapotranspiration. This methodology is widely used in the water handle as agriculture use, and it is mainly used in the plot. When it is about the evapotranspiration estimation in big areas where there is a great variability of crops and their development phases, satellite images

sistema del riego “El Cenizo”, correspondiente al día de toma de la imagen, ósea el 18/5/1999. Esta información es de utilidad para la toma de decisiones sobre el manejo del agua proveniente del embalse de Agua Viva, debido a que los valores obtenidos pueden ser transformados a caudales a derivar para el momento del riego.

Es importante recalcar que el procedimiento seguido en este trabajo está basado esencialmente en la metodología de la FAO-56 para la estimación de la evapotranspiración. Esta metodología es ampliamente utilizada en el manejo de agua para uso agrícola y se utiliza principalmente a nivel parcelario. Cuando se trata de la estimación de evapotranspiración en áreas grandes, donde existe gran variabilidad de cultivos y etapas de desarrollo de los mismos, entonces se debe recurrir a imágenes satelitales para poder caracterizar esta variabilidad en el uso de la tierra.

La metodología aquí presentada puede ser aplicada en otras plataformas que tengan bandas espectrales ubicadas en la región del rojo e infrarrojo cercano. En nuestro país, el satélite Miranda (VRSS-1) posee estas bandas, lo que permitiría su uso para la estimación de las demandas de agua de los cultivos.

Literatura citada

- Allen, R., Pereira L., Raes D., Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Publicación de la FAO #56, serie de riego y drenaje. Roma, Italia. 299 p.
- Allen, R., Irmak, A., Trezza, R., Hendrickx, J., Bastiaanssen, W., Kjaersgard, J. 2011. Satellite-based ET estimation to characterize this variability in the use of the earth.
- This methodology can be applied in other platforms with spectrum bands located in the red and close infrared region. In our country, the Miranda satellite (VRSS-1) has these bands, which will allow its use for the estimation of the water demand of crops.
-
- End of english version*
-
- in agriculture using SEBAL and METRIC. Hydrological Processes 25:4011-4027.
- Bos, M., Kselik, R., Allen, R., Molden, D. 2008. Water requirements for irrigation and the environment. Springer. Netherlands. 174 p.
- Calera A., Jochum, A., Cuesta, A., Montoro, A. y Lopez, P. 2005. Irrigation management from space: towards user-friendly products. Irrigation and Drainage Systems 19:337-353.
- Corpoandes, 2013. Características y potencialidades Sistema de Riego “El Cenizo”. Disponible en: <http://www.corpoandes.gov.ve/?q=node/246>. Fecha de acceso: 01/02/2013.
- Trezza, R. 2006. Evapotranspiration from a remote sensing model for water management in an irrigation system in Venezuela. Interciencia 31(6): 417-423.
- Singh, R., y Irmak, A. 2008. Estimation of crop coefficients using satellite remote sensing. Journal of Irrigation and Drainage 135(5): 597-608.
- USGS (United States Geological Service). 2013. GLOVIS: The USGS Visualization Viewer. Disponible en: <http://glovis.usgs.gov/>. Fecha de acceso: 01/02/2013.