

Resumen

El presente trabajo de investigación se desarrolló como una respuesta científica a las inquietudes planteadas por el gobierno nacional de Colombia y el gremio ganadero en el sentido de poder determinar los niveles o volúmenes de agua requeridos para la producción de biomasa en las pasturas o praderas y cuál es el nivel o potencial para la producción de biomasa de la región productora de leche de la sabana de Bogotá (Colombia), teniendo en cuenta sus condiciones biofísicas, y sus limitaciones agroclimáticas, de agua y las praderas existentes.

El objetivo principal estuvo orientado a la determinación de la producción de biomasa a partir del agua con base en las relaciones hídricas, los niveles de consumo de agua de las especies, y las variables del clima que inciden en la formación de biomasa y el suelo presentes y se centró específicamente en dos cultivos forrajeros los cuales fueron Avena Forrajera (*Avena sativa*, L.) y Raigrás (*Lolium perenne*).

La solución al problema se basa en el modelo AquaCrop (FAO) *Steduto et al*, (2009) el cual fue propuesto recientemente para la determinación tanto de la biomasa como de la producción agrícola a partir del agua transpirada por las especies herbáceas, en este se reúnen los avances científicos y tecnológicos que sobre el efecto del agua en la estimación de la producción de cultivos se ha logrado en los últimos años.

En el presente trabajo de investigación se han determinado las principales variables de entrada al modelo AquaCrop, para las dos especies mencionadas, por medio de investigación de campo realizada con la metodología del gradiente de *Hanks et al*, (1980), y con una nueva metodología propuesta para la determinación del estrés hídrico.

Se desarrollaron un total de 18 experimentos principales generando los niveles de producción de biomasa de avena forrajera y raigrás, determinando 32 variables o parámetros para cada uno de los cultivos que requiere el modelo para la estimación de la biomasa producida por las especies forrajeras y pastos.

El modelo AquaCrop implementa varios avances sobre el conocimiento del desarrollo de cultivos, como la separación de la evapotranspiración en

evaporación del suelo y la transpiración del cultivo, la consideración independiente de la producción del cultivo en biomasa y el índice de cosecha.

Para la determinación del desarrollo del cultivo se maneja el porcentaje de cobertura del dosel en vez del índice de área foliar (*IAF*), que tradicionalmente es considerado y que es dispendioso en su determinación. Además, el motor para la determinación de la producción del cultivo que maneja el modelo es el concepto de la productividad hídrica del cultivo (*WP*) la cual es un parámetro conservativo que redundante en mayor robustez, la productividad hídrica además se normaliza bajo dos aspectos que son el clima representado por la evapotranspiración de referencia (*ET₀*) y el contenido del *CO₂* en la atmósfera.

Estas normalizaciones permiten abstraer tanto el clima como el contenido de *CO₂* a través del tiempo, por lo cual, el motor del modelo resulta ser una herramienta fundamental para la estimación tanto de la biomasa como de la producción, incluso considerando los efectos del cambio climático global.

El modelo además maneja un número relativamente pequeño, explícito e intuitivo de parámetros y variables de entrada que requieren métodos relativamente sencillos para su determinación. Además permite la determinación de la biomasa y la producción en períodos más cortos que el ciclo del cultivo, incluso a nivel diario.

Los experimentos fueron realizados principalmente durante los años 2008 a 2013 en el Centro de Investigación Tibaitatá (*CORPOICA*) ubicado en la Sabana de Bogotá (Colombia). Para avena forrajera se desarrollaron cinco ciclos del cultivo y para raigrás se hicieron tres ciclos completos con siete, cuatro y dos cortes respectivamente.

Con base en la información establecida en campo se calibraron y validaron los cultivos de avena forrajera y raigrás para el modelo AquaCrop alcanzando ajustes de $R^2=0,92$, $RMSE=1,86t.ha^{-1}$, $NRMSE=17,67\%$, $EF=0,91$, y $d=0,97$ para avena forrajera y de $R^2=0,97$, $RMSE=0,47t.ha^{-1}$, $NRMSE=13,6\%$, $EF=0,88$, y $d=0,98$ para raigrás. Se determinaron dos cultivos sintéticos uno para cada especie, los cuales constituyen los “prototipos” que son el punto de partida para la estimación de la biomasa a partir del uso del agua en diferentes condiciones de los cultivos mencionados.

La biomasa total para avena forrajera fue determinada en $22,2t.ha^{-1}$ en promedio con valores máximos que pueden llegar a alcanzar hasta $27t.ha^{-1}$ en el entorno productivo de la sabana de Bogotá. Para raigrás la biomasa total alcanzó niveles de hasta $9t.ha^{-1}$, para el período de siembra a primer corte, y de $6t.ha^{-1}$ para los cortes posteriores al primero. La huella hídrica intrínseca para avena forrajera fue determinada en $175L.kg^{-1}$ y para raigrás en $442L.kg^{-1}$ y $431L.Kg^{-1}$.

Como resultados alternativos que fundamentan la calibración y validación del modelo se obtuvieron además, la determinación de la evapotranspiración de referencia de la región, las curvas de K_c , K_{cb} y K_e que determinan la huella hídrica de las dos especies, los desarrollos de las coberturas del dosel a través de los ciclos fenológicos de las especies estudiadas, las curvas de humedad del suelo y de biomasa en respuesta a seis niveles de riego y varias épocas de siembra y las funciones de producción de ambas especies.

El presente trabajo es novedoso por la implementación de los avances científicos y tecnológicos de AquaCrop en cultivos forrajeros, para la determinación de la biomasa a partir del agua, pues hasta la presente no habían sido calibrados y validados para el modelo, las consideraciones biofísicas especiales de los cultivos forrajeros que manejan de forma diferente elementos como la producción de cosecha y el índice de cosecha. La importancia de los cultivos estudiados, especialmente los pastos que han sido tomados como cultivos de referencia por sus características de porte y cobertura, sobre todo en lo que tiene que ver con la evapotranspiración a lo largo del ciclo del cultivo, el cual se ha tomado en general como una constante.

Se determinaron los parámetros conservativos de los cultivos de avena forrajera y raigrás, así como una muestra referenciada localmente de los parámetros y variables no conservativos de estas especies, lo que constituye a nivel mundial en un avance significativo en la calibración y validación del modelo AquaCrop para cultivos forrajeros.

Se hicieron mejoras a las metodologías empleadas con el uso de medios fotográficos y algoritmos de seguimiento y cálculo de variables fenológicas, las cuales resultaron ser menos subjetivas, más exactas y confiables, para la determinación de la cobertura vegetal, los balances hídricos, y la determinación de los coeficientes del cultivo, etc.

La trascendencia de los resultados radica en las implicaciones tecnológicas que conllevan las ulteriores simulaciones de pastos y forrajes en la producción de carne y leche en ganadería no sólo a nivel local sino mundial, con múltiples posibilidades de combinación, en sistemas de producción de carne, leche, o doble propósito y combinación de especies y razas animales. Además por las grandes extensiones de áreas que existen hoy en el mundo de cultivos forrajeros y pastos, las cuales pueden ser incorporadas en estudios locales, regionales o globales de producción de biomasa, eficiencia en el uso del agua, consumos y determinación de requerimientos hídricos, captura de carbono, y determinación de los efectos de las variaciones de las coberturas de pastos y forrajes en el cambio climático global.