



MODELADO MATEMÁTICO PARA LA PREDICCIÓN DE BIOMASA RESIDUAL DEL CAFÉ

MATHEMATICAL MODELING FOR THE PREDICTION OF COFFEE RESIDUAL BIOMASS

María García ⁽¹⁾; Edwin Solórzano ⁽²⁾; Lauro Macas ⁽³⁾.

⁽¹⁾ Universidad Técnica de Ambato, Ambato - Ecuador.

⁽²⁾ Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda - Ecuador.

⁽³⁾ Instituto Tecnológico Superior Tsáchila, Santo Domingo – Ecuador.

Email: mariegp16@gmail.com

<https://doi.org/10.33789/talentos.9.1.159>

Resumen: *El estudio del café es elemental para tener mejor información sobre esta área de producción agrícola. Debido a esto se trabajó bajo el objetivo realizar predicciones matemáticas mediante la obtención de un modelo específico para la variedad Robusta. El modelado matemático constituye una herramienta para la predicción, de esa manera disminuir los costos de producción que se generan al desarrollar una experimentación determinada. El trabajo presenta una ecuación para predecir la cantidad de biomasa residual por efecto de poda a partir de datos de las medidas demétricas que son fáciles de obtener como diámetro de copa y altura total de las plantas de café variedad robusta, se aplicó un análisis estadístico multivariado para determinar las características de las variables de estudio, el modelo fue validado con los datos reservados para dicho fin. Se conoció que modelo ejecutado es válido y se ajusta a los datos reales y se pudo ver el peso de la biomasa residual del café calculado en kilogramos.*

Palabras Clave: *Análisis estadístico multivariado, biomasa residual, datos dendrométricos, modelado matemático, validación.*

Recibido: 01 de enero de 2022

Online: 10 de marzo de 2022

Publicado como artículo científico en la Revista de Investigación Talentos 9 (1), 33-44

Acceptado: 02 de marzo de 2022

Publicación Vol 9 (1): 01 de enero de 2022

Abstract: *The study of coffee is essential to have better information on this area of agricultural production. Due to this, we worked under the objective of making mathematical predictions by obtaining a specific model for the Robusta variety. Mathematical modeling constitutes a tool for prediction, thus reducing the production costs that are generated when developing a certain experimentation. The work presents an equation to predict the amount of residual biomass due to pruning from data of demetric measurements that are easy to obtain, such as crown diameter and total height of robusta variety coffee plants, a multivariate statistical analysis was applied. To determine the characteristics of the study variables, the model was validated with the data reserved for that purpose. It was known that the executed model is valid and fits the real data and it was possible to see the weight of the residual biomass of coffee calculated in kilograms.*

Keywords: *Multivariate statistical analysis, dendrometric data, mathematical modeling, residual biomass, validation.*

I. INTRODUCCIÓN

La biomasa es toda materia orgánica que bajo un proceso adecuado se puede usar como una fuente de energía renovable, que genera menos contaminación que los combustibles convencionales. Debido a esto el objetivo de la presente investigación fue realizar predicciones matemáticas mediante la obtención de un modelo específico para la variedad Robusta. La biomasa residual una vez caracterizada, puede usarse como fuente de energía limpia (Alvarado et al., 2018). Dependiendo de las propiedades específicas basadas en una caracterización físico-química de cada especie, puede ser destinada como materia prima para biocombustible, compost orgánico, o pallets para calderas, que estas a su vez pueden ser industriales o domésticas. Pudiendo ser ésta una alternativa energética. (Velázquez, 2018).

Siendo el Ecuador uno país privilegiado por su ubicación, es apto para el cultivo de

café de todas las variedades, mismo de gran importancia en su economía. Se conoce que por esta razón en este país se producen café Arábico y Robusta, incluso antes de lo 90 era uno de los productos de mayor comercio Por lo que en los últimos años se ha incrementado la siembra (Venegas et al., 2018). Es decir, posee gran potencial biomásico que aún no se explota debido a la falta de estudios que brinden la información desarrollada y sustentada para dicho fin, más bien, se encuentra en el proceso de concientización y orientación tanto a los agricultores, como a las Instituciones públicas o privadas. Se ha encontrado también que no hay suficiente tecnología que ayude a la producción agrícola de este producto, aun así se busca innovar a la producción de este sector agrícola (Ponce et al., 2016). En los agricultores se busca incentivar para sembrar cultivos como fuente de biomasa, destinados específicamente para el uso energético, como por ejemplo la caña de azúcar. Además de aprovechar el material considerado como residuos (poda, cortezas de

frutas, pepas o huesos) (Gaibor et al., 2016). Dentro de los 10 cultivos agrícolas reportados como fuente importante de biomasa de contenido energético se encuentra el café, uno de los cultivos más importantes desde el punto de vista económico, que se convierte en el objeto de esta investigación (Instituto Nacional de Preinversión, 2014).

El café, variedad Robusta es más resistente a los cambios de temperatura y a las enfermedades. Los resultados son mejores en un clima tropical, bajo los 1600 m, con una precipitación entre 1000 y 1800 mm y una temperatura entre 22 y 27°C. La planta necesita menos cuidado que el arábigo y el rendimiento es más alto, el sabor es amargo y tiene el doble de cafeína que en el arábigo (Aceves et al., 2018). Por eso, el robusta es más barato y es muy utilizado en la fabricación de café soluble o instantáneo. Representa el 30% del café comercializado en el mundo. La planta de robusta tiene un sistema poco profundo de raíz, toma un año para madurar sus frutos (Arcila et al., 2010). En la actualidad se cultiva no sólo en África sino también en medio oriente, América del norte, América latina entre ello Ecuador (Ocampo et al., 2017).

El objetivo de esta investigación fue realizar predicciones matemáticas mediante la obtención de un modelo específico para la variedad Robusta, que explique y prediga la cuantificación de biomasa residual procedente de la poda de las plantas, y, en función de variables fácilmente medibles. Para elaborar el modelo matemático para la predicción y cuantificación de biomasa residual se trabajó

con datos propios recolectados para este fin. Las variables dendrométricas que entraron al modelo fueron la altura total (AT) y el diámetro de copa (DC) mediante el uso del software STATGRAPHICS y R.

Se usó datos dendrométricos reservados para validar el modelo, el cual, puede aplicarse para realizar una cuantificación a mayor escala para estimar la biomasa residual de toda la plantación. De esta manera enfocar hacia una alternativa sustentable, atenuando los potenciales impactos ambientales que deja el mal manejo de los residuos de poda, además de brindar una alternativa para el productor, usar su propio combustible o comercializarlo, de esta manera optimizar al máximo la producción de las plantaciones cafeteras.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudió el café *Coffea robusta*, en la localidad del Cantón Caluma de la Provincia de Bolívar, Ecuador. Bajo una metodología cuantitativa de campo, realizada mediante obtención de datos de las variables en estudio y su posterior modelización (Hernández Sampieri y Mendoza Torres, 2018). Para el estudio se tomaron 80 árboles de café de tres fincas diferentes en el sector Caluma de la provincia de Bolívar. Las variables dendrométricas de medición fueron: Altura total de la planta (AT), Altura del Fuste (AF), Altura de la Copa (AC), Diámetro de Copa (DC), Diámetro de tronco (DT).

Luego se procedió a pesar los residuos de la poda, ramas y hojas (considerado como

biomasa residual).

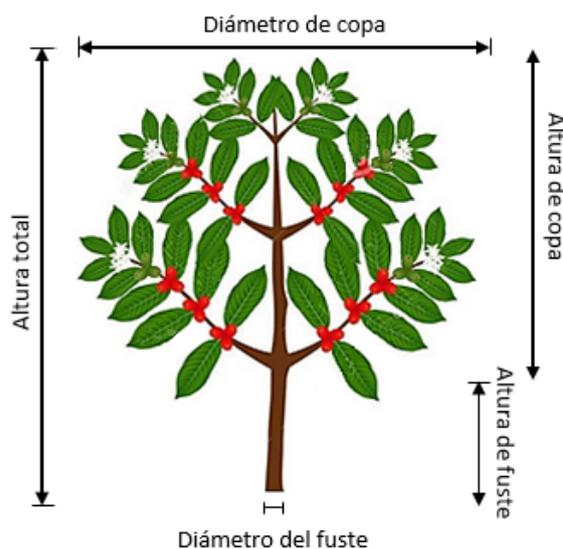
Fig. 1 History and Maps (2015).



Estudios Dendrométricos

En la figura 1 podemos ver el mapa político del Ecuador enfocándose en la provincia de Bolívar, direccionando a Caluma donde se encuentra 7,5% de cultivo. De acuerdo a Velázquez et al. (2012) la dendrometría se ha aplicado tradicionalmente a los árboles forestales. Sin embargo, poca investigación se ha realizado en árboles frutales debido a su estructura heterogénea. Para desarrollar el proceso de cuantificación de biomasa fue necesario realizar sistemas de Medición, que permite determinar los volúmenes de los árboles analizados. Ellos usan una técnica de dendrometría adaptada en su estudio. Propone expandir el estudio de cuantificación de biomasa que antes se dirigía únicamente a los árboles hacia cultivos de plantas frutales.

Fig. 2 Medición de variables dendrométricas.



En la figura 2 se observa un esquema referencial para tomar los datos de las variables dendrométricas, en este caso la planta de café, que se caracteriza por poseer una altura de fuste relativamente más pequeña que la altura de copa. En su estudio Sagüi (2011) generó un modelo matemático específico de (*Pinus tecunumanii* Eguiluz & J.P Perry), para la estimación de biomasa total por arriba del suelo y cuantificación de carbono total de árboles en pie, en la Reserva de Biósfera Sierra de las Minas en San Jerónimo, Baja Verapaz, utilizando la metodología destructiva, es decir derribando los árboles. Este modelo es específico de la especie estudiada y sirve para predecir la estimación de biomasa total de los árboles en pie, a partir de variables dendrométricas.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Métodos de Creación del Modelo Matemático

Para obtener el modelo se trabajó con mediciones de campo que fueron llevadas a una matriz en Excel las variables independientes (altura total, altura de fuste, altura de copa, diámetro de copa, diámetro de fuste, con sus combinación lineal y cuadrática para garantizar un mejor ajuste) y, la variable dependiente, biomasa.

Se aplicó un análisis estadístico multivariado con la finalidad de cumplir con los criterios de normalidad, analizando el rango de curtosis estandarizada y sesgo estandarizado o coeficiente de simetría. Se eliminó los datos atípicos de uno en uno hasta ajustar los rangos de curtosis estandarizada y sesgo estandarizado para garantizar un mejor ajuste del modelo, además de eliminar las variables colineales AF (altura de fuste) ya que es una combinación lineal de la diferencia, AT-AC (altura total - altura de copa)

Tabla 1. Descripción estadística de las variables dendrométricas para obtención del modelo matemático

	AT	AC	DC	DF	AT ²	AC ²	DC ²	DF ²	AT*AC	AT*DC	AT*DF	AC*DC	AC*DF	DC*DF	BIOMASA
Recuento	55	55	55	55	555	55	55	50	50	50	50	50	50	50	50
Promedio	3,15	2,23	2,15	0,12	9,97	5,02	4,66	0,01	7,07	6,85	0,37	4,86	0,26	0,25	3,04
Desviación Estándar	0,256	0,197	0,207	0,02	1,61	0,88	0,87	0,004	1,18	1,26	0,08	0,91	0,05	0,05	0,48
Coefficiente de Variación %	8,14	8,84	9,64	13,62	16,10	17,50	18,61	26,61	16,67	18,33	20,32	18,72	20,44	22,92	15,81
Mínimo	2,7	1,89	1,7	0,09	7,29	3,57	2,89	0,007	5,103	4,59	0,23	3,213	0,162	0,145	2,28
Máximo	3,5	2,53	2,4	0,14	12,25	6,40	5,76	0,019	8,855	8,5	0,49	6,075	0,354	0,336	3,8
Rango	0,8	0,64	0,7	0,05	4,96	2,83	2,87	0,012	3,752	3,91	0,26	2,862	0,192	0,191	1,52
Sesgo Estandarizado	-0,45	-0,26	-1,71	-1,32	-0,18	0,02	-1,44	-1,04	-0,14	-1,38	-1,07	-1,28	-0,92	-1,78	-1,05
Curtosis Estandarizada	-1,78	-1,83	-1,49	-1,30	-1,85	-1,89	-1,62	-1,30	-1,89	-1,56	-1,42	-1,55	-1,37	-1,47	-1,76

En la tabla 1 se encuentra la descripción estadística de las variables dendrométricas para obtención del modelo matemático, lo cual, se recabo para esta investigación. Una

vez estandarizados los datos, se elevó las variables lineales al cuadrado y se hizo una combinación entre las variables lineales, para garantizar un mejor ajuste del modelo, de la

siguiente manera:

Tabla 2. Variables dendrométricas para obtención del modelo matemático.

Lineales	cuadráticos	Combinación lineal
AT	AT ²	AT*AC
AC	AC ²	AT*DC
DC	DC ²	AT*DF
DF	DF ²	AC*DC
		AC*DF
		DC*DF

Nota. Descripción: Altura total AT, altura de fuste AF, altura de copa AC, diámetro de copa DC, diámetro de fuste DF.

Tabla 3. Modelo de regresión para el modelo matemático 1 de la predicción de biomasa residual del café.

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P	FIV
CONSTANTE	-0,918346	0,323229	-2,84116	0,0066	
DC	1,24072	0,306999	4,04145	0,0002	7
AT ²	0,129722	0,0396421	3,27233	0,0020	7

En la tabla 3, se puede ver el modelo de regresión para el modelo matemático. El modelo de regresión para el modelo matemático de la predicción de biomasa residual del café obtenido a partir del criterio de eliminación paso a paso de las variables que presentan valor-P mayor a 0,05. Se observa al contrastar que todas las variables independientes presentan un valor-P menor a 0,05, concluyendo que las dos variables que representan el modelo son significativas para su predicción, lo cual, se corrobora con las puntuaciones del estadístico T.

El modelo queda escrito bajo la siguiente ecuación:

En la tabla 2, se puede ver que, para establecer el modelo de la predicción de biomasa, se trabajó con regresión lineal múltiple por el criterio de mínimos cuadrados ordinarios, selección hacia atrás y selección hacia adelante, corroborando resultados en STATGRAPHICS y SPSS. Relacionando las variables independientes con la dependiente.

$$\text{biomasa (kg)} = -0,918346 + 1,24072 * \text{DC} + 0,129722 * \text{AT}^2$$

Dónde:

DC: diámetro de copa

AT²: altura total al cuadrado

Tabla 4. Datos de la regresión lineal múltiple del modelo 1

Estadístico	Valor
R-cuadrada	89,6827%
R-cuadrado ajustado	89,2437%
Error estándar del est	0,158532
Error absoluto medio	0,123393
Estadístico Durbin-Watson	2,3144

En la tabla 4 se puede ver los datos de la regresión lineal, la descripción del modelo obtenido con un 89,6827% de R-cuadrada,

es decir de explicación del modelo de la variabilidad en BIOMASA así bajo ese ajuste. El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 89,2437%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,158532. El error absoluto medio (MAE) de 0,123393 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada

en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor es de 2,3 con un nivel de confianza del 95,0%, se encuentra dentro del rango 1.5-2.5 en el cual se garantiza la independencia entre los residuos y no hay problemas de homocedasticidad. Este nivel de coincidencias no se encuentra siempre, por ejemplo en una investigación realizada en Guatemala enfocada en las plantaciones de Teca no arboles no tienen mayor significancia entre las plantaciones de 14 y 15 años (Alvarado et al., 2018).

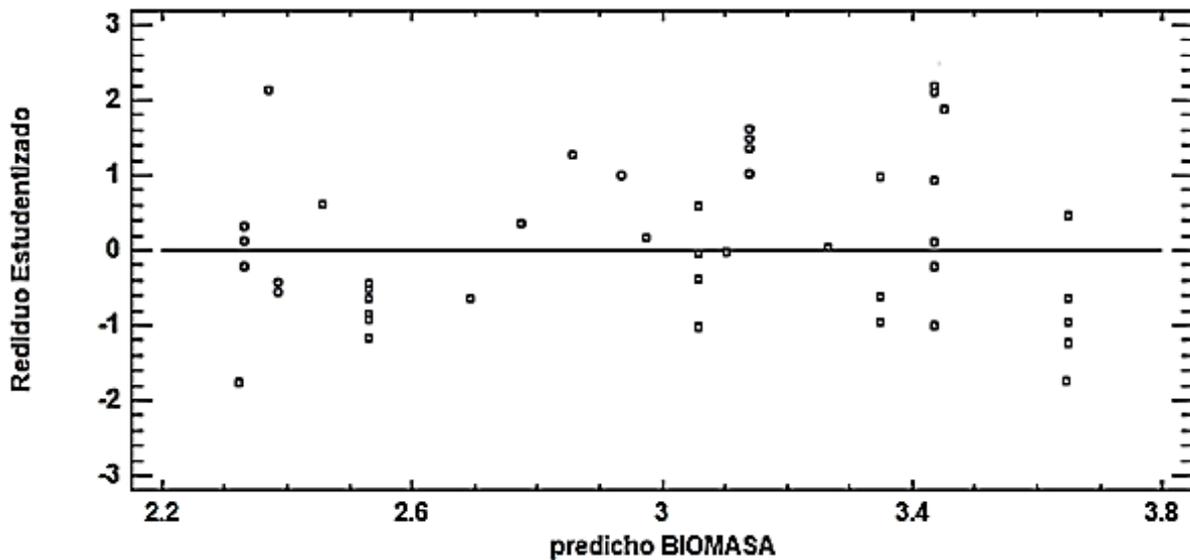
Tabla 5. *Análisis de varianza para el modelo matemático 1 de la predicción de biomasa residual del café*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	10,2677	2	5,13384	204,27	0
Residuo	1,18122	47	0,0251323		
Total (Corr.)	11,4489	49			

En la tabla 5 se encuentra el análisis de varianza para el modelo matemático de la predicción de biomasa residual del café. Donde se observa que presenta un valor-P menor a 0,05, concluyendo que existe una relación lineal estadísticamente significativa entre las variables independientes (diámetro de copa y altura total al cuadrado) y la variable dependiente (biomasa) con un nivel de confianza del 95%. Podemos afirmar, por tanto, que el hiperplano definido por la ecuación de regresión ofrece un buen ajuste a la nube de puntos. Nos permite decidir si existe relación lineal significativa entre la variable dependiente y el conjunto de variables independientes tomadas juntas. Es decir, podemos aceptar el modelo. Esta información son datos importantes en el estudio de las plantas ya que la funcionalidad

de cada una de ella permite manejar las plantas de mejor manera. Como se puede ver en la instilación de Bolívar sobre el método para predecir la biomasa residual del cultivo de maíz, lo cual, permitió conocer sobre el número de días de secado del maíz (Gaibor et al., 2016).

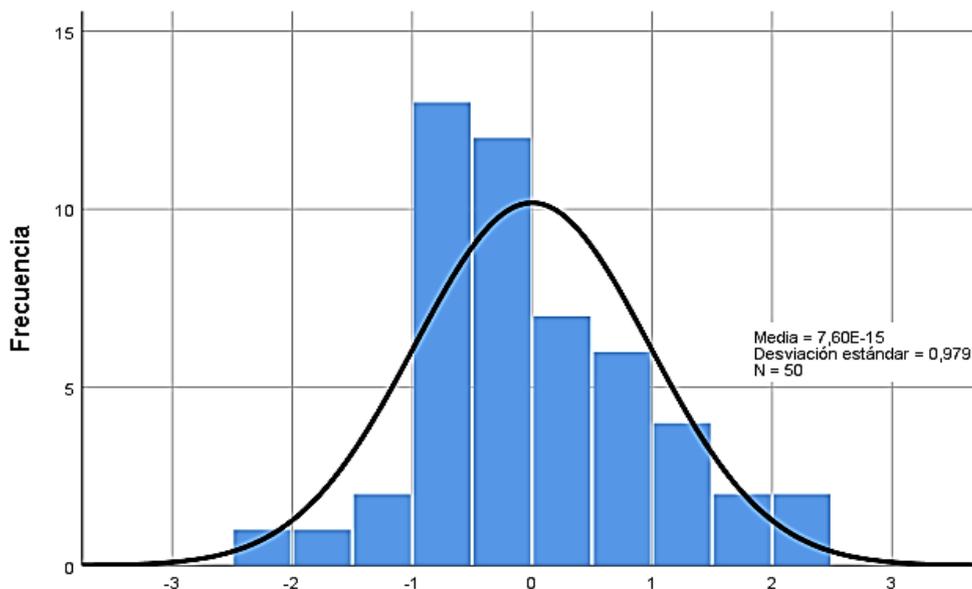
Figura 3. Gráfico de residuos (análisis en STATGRAPHICS)



En la figura 3 en el gráfico de los residuos del error se puede visualizar la nube de puntos y, que no varía la dispersión, pudiendo concluir que se cumple con el criterio de Homocedasticidad de varianza de los errores.

Cabe tener en cuenta que en Colombia se usa de los residuos orgánicos del café por medio de extracciones bioactivas con agua, sacando polifenol y antioxidantes beneficiosos en aprovechar la materia (Serna et al., 2018).

Figura 4. Histograma de frecuencias del Residuo estandarizado, modelo (análisis en SPSS)



En la figura 4 se encuentra el histograma de frecuencias para el Residuo estandarizado para el modelo obtenido, se encontró una

distribución normal, media cercana a 0 y desviación estándar cercana a 1.

Pruebas de Verificación del Modelo

La validación del modelo se aplicó la técnica de Cross-Validation, a razón de 75-25, 75% de los datos para establecer el modelo matemático y 25% para validar al modelo obtenido. Mediante 20 datos elegidos al azar del total de observaciones, y que se reservaron para dicho fin, sin incluirse para la obtención del modelo matemático. Aplicando la ecuación obtenida del modelado matemático a los datos reservados, se obtuvo la validación. Para lo cual se plantearon

previamente las hipótesis para garantizar la normalidad de los datos al 95% de confianza. De esta forma, contrastar el test de hipótesis se usó el estadístico Shapiro-Wilk al tratarse de muestras menores a 30, es decir paramétricas (Esquivel et al., 2011).

$H_0 \rightarrow$ Los datos provienen de una distribución normal

$H_1 \rightarrow$ Los datos NO provienen de una distribución normal

Tabla 6. Resultado de contraste de hipótesis para normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Biomasa real medida en el campo	0,924	20	0,118
Biomasa estimada con el modelo matemático	0,977	20	0,167

Usamos el criterio que si P-Valor $\geq \alpha$ se acepta H_0 . La tabla 6 muestra un sig superior a 0,05 por lo que aceptamos la hipótesis nula al 95% garantizando la normalidad de los datos. Para aceptar el modelo matemático como valido se realizó una comparación de medias de muestras pareadas con el test de hipótesis T de student. Entre valores estimados en

campo y valores predichos a partir de las variables regresoras estimadas. Para lo cual nos planteamos las hipótesis.

$H_0 \rightarrow$ media = 0 (existe igualdad en medias)

$H_1 \rightarrow$ media \neq 0 (no existen igualdad en medias)

Tabla 7. Contraste de hipótesis para comparación de medias

	t	gl	Sig. (bilateral)
Biomasa real medida en el campo	-0,335	19	0,225
Biomasa estimada con el modelo matemático			

En la tabla 7 podemos ver el estadístico producto de la comparación de medias, presenta un P-Valor de 0,225, por lo que no se rechaza la hipótesis nula para alfa igual al 0,05. Aceptando y validando el modelo, dado

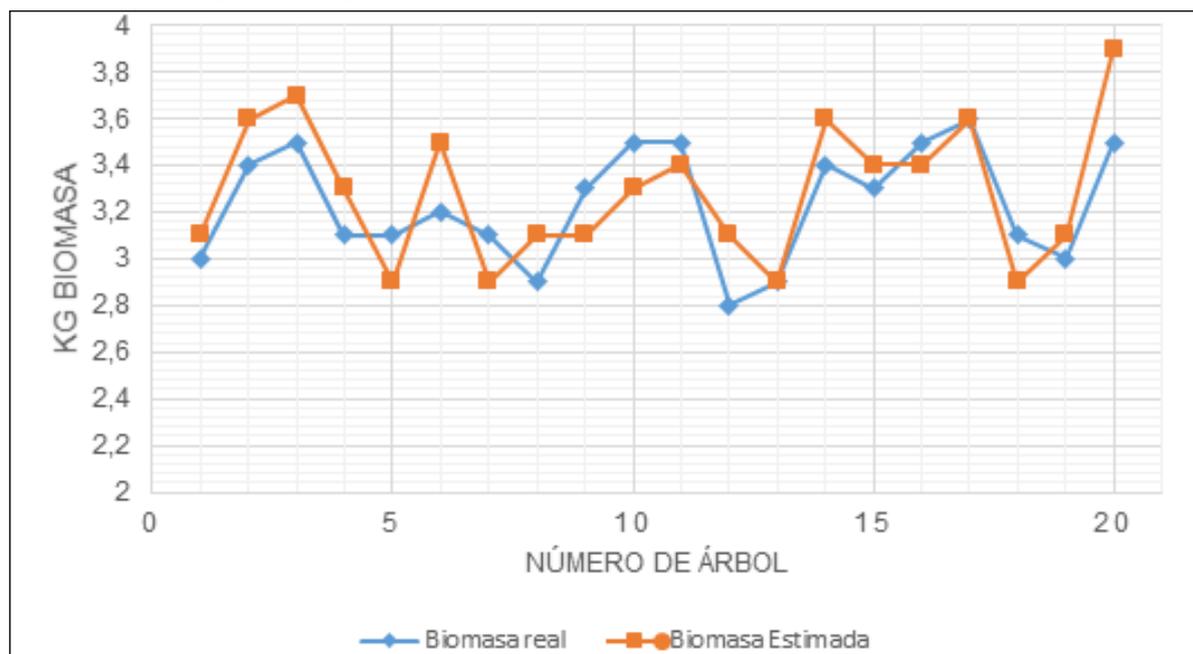
que por compensación entre lo observado y lo predicho, las medias deben ser igual a 0.

Métodos para Obtener la Solución Óptima del Modelo

Una vez obtenido el modelo ajustado, se procedió a la validación, reemplazando las variables del modelo con la data almacenada, al resultado se denomina biomasa residual

calculada, y la comparamos con la biomasa real de la poda. Posteriormente aplicamos una prueba de muestras independientes basado en el estadístico de contraste T de Student en el software STATGRAPHICS y SPSS, entre la biomasa real, y la biomasa estimada mediante el modelo obtenido.

Figura 5. Comparación entre biomasa real y biomasa calculada (Gráfico Excel)



Se puede observar en la figura 5 un gráfico de dispersión comparativo de la biomasa residual real, es decir aquella que pesamos en el campo luego de la poda, y la biomasa estimada por medio de las variables dendrométricas fácilmente medibles. Se puede observar la solución óptima del modelo, ya que las líneas que describen la variabilidad están muy cercanas, razón por la cual la prueba de hipótesis nos ha llevado a aceptar la H_0 y dar por validado el modelo. Esto nos abre la puerta a motivar a los agricultores a motivar a la producción del café e intentar usar el 100% de materia que sale de estas plantas (Andrade et al., 2015).

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se modeló matemáticamente la cuantificación y predicción de biomasa del café, obteniendo un modelo ajustado con el 89 % de coeficiente de determinación R-cuadrada ajustada. Se obtuvo muestras de la biomasa residual en el cultivo de café, además se cuantificó las variables dendrométricas observadas y medidas en el campo. Datos que se analizaron mediante la descripción estadística, para garantizar la normalidad y correlación lineal. Para determinar el modelo, se relacionó las variables dendrométricas independientes

lineales, altura total (AT), altura de copa (AC), diámetro de copa (DC), diámetro de fuste (DF), cuadráticas AT^2 , AC^2 , DC^2 , DF^2 y sus combinaciones lineales $AT*AC$, $AT*DC$, $AT*DF$, $AC*DC$, $AC*DF$, $DC*DF$, con la variable dependiente kilogramos de biomasa. Se usaron tres criterios de introducción de variables al modelo, descartando dos por presentar multicolinealidad. De esta manera obtuvimos un modelo matemático en función de dos variables predictoras fácilmente medibles en el campo el diámetro de copa (DC) y la altura total al cuadrado (AT^2).

Se validó el modelo obtenido para predicción de biomasa residual por efecto de poda, con 20 datos que no se usaron para modelar, a los cuales, se aplicó la ecuación obtenida para calcular la biomasa residual estimada. La biomasa calculada se comparó con la real que se obtuvo en el campo como peso del material de poda correspondiente a las variables regresoras. Se aplicó un contraste de hipótesis con la prueba T de Student para muestras relacionadas, planteando la hipótesis nula, que, las medias de las muestras son 0. La hipótesis nula se aceptó partiendo de los valores de la prueba con un P-Valor superior a 0,05, por lo que concluimos que el modelo es válido y se ajusta a los datos reales, por lo tanto, es predictivo.

En la simulación se realizó un Script en R para aplicación del modelo obtenido en la investigación, donde se presenta por medio de una interfaz de usuario una interacción donde se pueden ingresar los valores de las variables que se determinaron significativas para el modelo como son altura total al cuadrado

(AT^2) y diámetro de copa (DC). Apareciendo como respuesta el peso de la biomasa residual del café calculado en kilogramos.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceves, L., Rivera, B., López, A., Palma, D., González, Ri., y Juárez, J. (2018). Áreas potenciales y vulnerabilidad del cultivo de café tipo robusta (*Coffea canephora* P.) al cambio climático en el estado de Tabasco, México. *Revista de Investigación de La Universidad de La Salle Bajío, Nova Scientia*, 10(1), 369–396. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v10n20/2007-0705-ns-10-20-369.pdf>
- Alvarado, A., Vaides, E., y López, H. (2018). Evaluación de carbono fijado en la biomasa aérea de plantaciones de teca en Chahal, Alta Verapaz, Guatemala. *Agronomía Costarricense*, 42(1), 137–153. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15517/rac.v42i1.32201>
- Andrade, J., Bernal, J., y Silva, J. (2015). Factores motivacionales que permitieron el surgimiento de los productores en cafés especiales en el departamento de Huila. *Revista de Investigaciones Agroempresarias*, 1, 54–67. <http://revistas.sena.edu.co/index.php/riag/article/view/310/332>
- Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, L., y Hincapié, E. (2010). *Sistemas de producción de café en Colombia* (1st ed.). Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

- Esquivel, J., Carbonelli, M., y Irrazabal, G. (2011). *Introducción al conocimiento científico y metodología de la investigación social*. Universidad Nacional Arturo Jauretche. <https://www.aacademica.org/gabriela.irrazabal/50.pdf>
- Gaibor, J., Pérez, S., Vélazquez, B., Niño, Z., & Domínguez, V. (2016). Dendrometric characterization of corn cane residues and drying models in natural conditions in Bolivar Province (Ecuador). *Renewable Energy*, 86, 745–750. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.009>
- Hernández Sampieri, R., y Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (McGrawHill (Ed.)).
- History and Maps. (2015). *La Historia con Mapas*. <https://www.lahistoriaconmapas.com/>
- Instituto Nacional de Preinversión. (2014). *Atlas Bioenergetico Del Ecuador* (1st ed.). ESIN Consultora. S. A.
- Ocampo, O., Ovalle, A., Arroyave, A., Salazar, K., Ramírez, C., y Oliveros, C. (2017). Nuevo método estándar para la recolección selectiva de café. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 18(2), 127–137. <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v18n2/1405-7743-iit-18-02-00127.pdf>
- Ponce, L., Orellana, K., y Acuña, I. (2016). Diagnóstico y propuesta de un sistema de innovación tecnológica cafetalera en Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 4(2), 120–129. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5768631.pdf>
- Sagüi, N. (2011). *Generación de un modelo matemático para la estimación de biomasa y carbono para (Pinus tecunumanii Eguiluz & J.P Perry), en bosques natura les de la reserva de biósfera Sierra de las Mina LÓPEZ et al.: Carbono en biomasa de teca 153* *Agronomía Costarricense*. Universidad Rafael Landívar.
- Serna, J., Torres, L., Martínez, K., y Hernández, M. (2018). Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. *Revista Ion*, 31(1), 37–42. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018006>
- Velázquez, B. (2018). *Aprovechamiento de la biomasa para uso energetico*. Editorial Reverté.
- Velázquez, B., Estornell, J., López, I., & Marti, J. (2012). Calculation of biomass volume of citrus trees from an adapted dendrometry. *Biosystems Engineering*, 112(4), 285–292. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.04.011>
- Venegas, S., Orellana, D., y Pérez, P. (2018). La realidad Ecuatoriana en la producción de café. *Revista Científica Mundo de La Investigación y El Conocimiento*, 2(2), 2–91. <https://doi.org/http://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/218>