

Artículo de investigación

<https://doi.org/10.33789/talentos.11.1.195>

Seguimiento fisicoquímico en camas de lombricultura – modelación químico computacional 3D del ácido húmico

Monitoring and statistics of physicochemical parameters in vermiculture beds – 3D computational modeling of humic acid



Fabián Mauricio Santana Romo 

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí - Ecuador

fmsantana@espe.edu.ec

Henry Roberto Benavides Gutiérrez 

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí - Ecuador

Resumen: Como consecución a la implementación de camas de lombricultura, se construyeron dos modelos, uno basado en la literatura, y otro propuesto por la comunidad beneficiaria. Luego de adecuar las cuatro camas con material orgánico, y lombrices californianas (*Eisenia foetida*), se tomaron mediciones de parámetros fisicoquímicos (conductividad, humedad, temperatura, y pH) a través de un cronograma semanal definido. Se trató estadísticamente los resultados obtenidos con la premisa de entender la correlación que tienen las variables en estudio; se consideró al pH como una de las principales, ya que el ácido húmico producido por el metabolismo de las lombrices aumenta su concentración con respecto al tiempo y condiciones paralelas favorables. Se llegó a obtener una ecuación para su regresión lineal, proveyendo un modelo matemático aplicable para la predicción. Se encontró que el manejo ancestral, conocimiento de los beneficiarios, hay que potenciarlo con datos actuales y adecuación a la realidad local, para obtener mejores resultados. Para complementar el estudio se aplicó conocimiento multidisciplinar, con la química computacional para describir las moléculas químicas presentes en el humus, y modelar la estructura tridimensional del ácido húmico con el fin de reconocer las unidades monoméricas que lo conforman.

Palabras Clave: ácido húmico, lombricultura, humus, parámetros fisicoquímicos, química computacional.

Abstract: Due to the implementation of vermiculture beds, two models were built, one based on the literature, and another proposed by the beneficiary community. After adopting the four beds with organic material and Californian worms (*Eisenia foetida*), measurements of physicochemical parameters (conductivity, humidity, temperature, and pH) were taken through a defined weekly schedule. The results obtained were treated statistically with the premise of understanding the correlation that the variables under study have; pH was considered one of the main ones since the humic acid produced by the metabolism of worms increases its concentration with respect to time and favorable parallel conditions. An equation was obtained for its linear regression, providing a mathematical model applicable to prediction. It was found that ancestral management and knowledge of the beneficiaries must be enhanced with current data and adaptation to the local reality to obtain better results. To complement the study, multidisciplinary knowledge was applied, with computational chemistry to describe the chemical molecules present in humus and to model the three-dimensional structure of humic acid to recognize the monomeric units that make it up.

Keywords: computational chemistry, humic acid, humus, physicochemical parameters, vermiculture.

Citación sugerida: Santana Romo, F., & Benavides Gutiérrez, H. (2024). Seguimiento fisicoquímico en camas de lombricultura – modelación químico computacional 3D del ácido húmico. *Revista de Investigación Talentos*, 11(1), 32-46. <https://doi.org/10.33789/talentos.11.1.195>

I. Introducción

En los países industrializados la agricultura ha mostrado un desarrollo económico muy marcado, siendo así estadísticas muestran que las exportaciones de productos agrícolas generan alrededor de 290 mil millones de dólares. La agricultura como actividad comercial en los países del primer mundo se la considera más como un estilo de vida, habiendo ciudades enteras que dedican su tiempo y recursos a la producción de los suelos. Agricultores ancestrales, conocen y manejan prácticas paralelas al uso de químicos para la eliminación de plagas y generación de abonos. (Ilie & Mihalache, 2019)

La agricultura en el Ecuador representa el 9% del Producto Interno Bruto (PIB), ya que en la constitución se asegura por parte del gobierno la soberanía alimentaria, proyecciones muestran que la productividad agrícola debe aumentar 1,75% cada año, para sostener el crecimiento poblacional al año 2050 según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2024). Los agricultores requieren ayuda y gestión de recursos, para que se pueda promover el uso de herramientas actualizadas, con enfoque a la agricultura netamente orgánica, evitando el uso de abonos y recursos de síntesis químicos. (Santana-Romo et al., 2021; Sonko et al., 2018)

Datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador evidencian que alrededor de 70 mil agricultores producen activamente en sus tierras, rotando los cultivos,

y contribuyendo a la soberanía alimentaria. Siendo un estrato muy importante que nutre el desarrollo económico y social del país, carreras universitarias como la ingeniería agronómica han podido crecer en demanda, al tener más agricultores que requieren un manejo inteligente de su producción, datos reportados por el Canco Central del Ecuador. (BCE, 2024)

Para alcanzar una buena producción agrícola se recurre a la utilización de abonos, lo que puedan enriquecer el suelo y hacerlo más fértil, entre ellos: compost, turba, estiércol, humus de lombriz, guano, abono verde (residuos de hortalizas), harinas de hueso, y cenizas de materias orgánicas. En general se busca proveer de micro y macronutrientes para favorecer su transformación a biomasa, productos vegetales, metabolitos primarios y secundarios. (Cárdenas, 2015)

En la provincia de Cotopaxi, se ha difundido ampliamente el uso de camas para lombricultura, obteniendo así el *humus*, que es un abono orgánico, sólido, de característica granulometría fina. Enriquece la calidad del suelo contribuyendo a estabilizar sus parámetros fisicoquímicos. La materia orgánica provista en el suelo es transformada en vitaminas, hormonas de crecimiento, enzimas como proteasas, amilasas, celulasa, entre otras; por acción de las lombrices. (Aminulloh et al., 2019)

En la actualidad, proyectos de investigación y vinculación con la sociedad, buscan recolectar datos de diferentes parámetros

fisicoquímicos como: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), sólidos totales (ST), temperatura (T), humedad relativa (HR) y luminosidad (L) (Kostecka et al., 2018). los que usualmente son medidos periódicamente en los terrenos de las comunidades beneficiarias, con la finalidad de establecer el efecto que tiene el clima y el uso de distintos abonos orgánicos sobre los cultivos, y también contribuir a la ciencia con la descripción de suelos y cultivos propios de la Sierra central del Ecuador, como producto destacable se generan artículos científicos de interés para la comunidad universitaria, beneficiarios, expertos y principiantes en el tema. (Caicedo, 2020)

De esta forma el propósito de la investigación se enfoca medir parámetros fisicoquímicos estándar en las camas de lombricultura implementadas previamente en la comunidad beneficia, tratando los datos de forma estadística para interpretarlos, y sacar conclusiones representativas sobre el cuidado, manejo, y seguimiento de las camas. Se plantea también un análisis computacional descriptivo en el que se detallan las posibles moléculas químicas que contribuyen a potenciar el humus, escogiendo la estructura representativa de este proceso, el ácido húmico, mostrándolo en su configuración 2D y 3D, entendiendo así sus propiedades de solubilidad, reactividad, y unidades monoméricas que lo conforman (Santana-Romo et al., 2020).

II. Materiales y Métodos

Elaboración Del Pre Compost

Se visitó en el barrio San Marcos del cantón Salcedo las camas de lombricultura en donde se evaluaron condiciones ambientales (temperaturas, humedad, acidez, conductividad), estado de las camas; la identificación de problemas que permitió ajustar y mejorar el ambiente para optimizar la producción y la salud de las lombrices. Consistió en mezclar de forma inicial materia orgánica: 0,25 m³ de tierra negra, 0,125 m³ de materia vegetal, estiércol de vaca o cuy 0,125 m³ de paja picada y se adicionaron entre 75-100 lombrices californianas.

Una vez puesto el compost se procedió a colocar las lombrices rojas en el fondo, las que se obtuvieron de medios silvestres en páramos de la zona, medio y a nivel superior de las camas las cuales descompondrán todo el material orgánico y así se podrá obtener el humus. Las camas de lombricultura que se utilizaron se implementaron bajo la siguiente descripción: dos camas de dimensiones de 2 m de largo, 1 m de ancho y 0,3 m de profundidad (0,6 m³), y dos camas de dimensiones de 2x1x0,8 m, largo ancho y profundidad equivalente a 1,6 m³. Las dos primeras de diseño técnico, las complementarias fueron requerimiento de las personas beneficiarias.

Muestreo De Parámetros Fisicoquímicos

Se implementó la colocación de materia

orgánica y técnicas de volteo, aireación y humedad en las camas de lombricultura, con el propósito de mejorar la calidad del sustrato, favorecer el desarrollo saludable de las lombrices, promover la descomposición eficiente de residuos orgánicos y mejorar la producción de abono de alta calidad.

Mediante un cronograma que consiste en 2 mediciones semanales durante 3 meses, posterior a la estabilización de la materia orgánica, y de la siembra de las lombrices californianas *Eisenia fétida*, y con la ayuda de equipos portables para la medición de parámetros fisicoquímicos enfocados a la agricultura, se procedió a reportar organizadamente las variables de: temperatura interna y externa (TI) y (TE), porcentaje de HR, CE, pH. (Peña-Venegas et al., 2007)

Análisis Estadístico De Parámetros Fisicoquímicos

Para la generación del reporte estadístico se utilizaron herramientas informáticas estándar, tales como intervalos de confianza, y análisis de varianza; asimismo, correlaciones para el análisis de regresión lineal involucrando todas las variables de estudio, todo esto con el fin de dar explicación al manejo de las camas de lombricultura a través de los parámetros fisicoquímicos medidos y reportados durante el experimento. (Ramírez Ríos & Polack Peña, 2020; Vilà Baños et al., 2019)

Se realizó una comparación entre las camas de lombricultura con el fin de conocer si existe diferencia significativa entre ellas, se

ejecutó una comparación de medias para la TI y TE respectivamente. De forma similar se procedió para la HR, pH, y CE. Obteniendo la ecuación de regresión, análisis predictivo para la modificación de los valores de las variables, en todos los cálculos se consideró un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. (González Huerta et al., 2019; Martínez-Aguilar et al., 2020)

Estudio Químico Computacional Del Ácido Húmico

Mediante una revisión del estado del arte se referenció los compuestos orgánicos más comunes del suelo, de estos, los que presentan mayor contribución fueron graficados para mostrar su estructura, y de ser el caso cuando muestren un fragmento en común, se lo graficó con un color diferente. Se hizo un análisis de la estructura del ácido húmico, molécula insigne del *humus*, por su importancia en la lombricultura, detallando así su modelamiento tridimensional, y consecuentemente su disposición espacial. (Santana-Romo et al., 2023)

III. Resultados y Discusión

Pre Compost

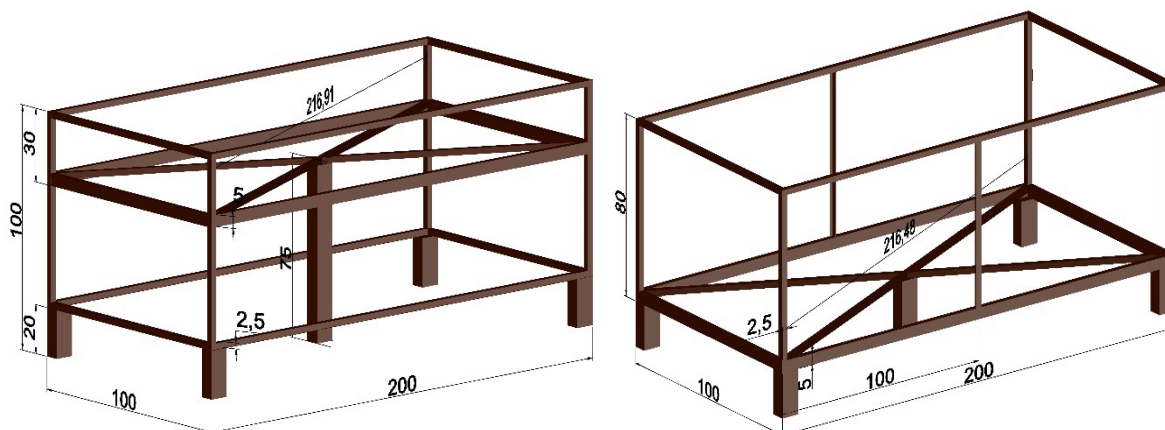
Las camas de lombricultura empleadas en la presente investigación, fueron material diseñado a través del proyecto de vinculación COD: CE-GP-0021-2021, generado por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, y que al ser un proyecto de carácter social

tuvo como beneficiarios a la Asociación de productores de hortalizas y legumbres “Narcisa de Jesús” del cantón Salcedo (barrio San Marcos) – Provincia de Cotopaxi. En la Figura 1 se pone en evidencia el diseño de las camas, uno de ellos con menor volumen interno de material con respecto al otro, el más grande fue requerido por parte de los

beneficiarios, que con sus conocimientos ancestrales querían manejar una mayor cantidad de humus por tratamientos. De los dos tipos de camas se construyeron dos unidades, por lo que en total se trabajó con el reporte de variables fisicoquímicas de cuatro camas para lombricultura.

Figura 1

Diseño de camas para lombricultura a través de Computer-Aided Design (CAD). Izquierda: diseño propuesto por los investigadores. Derecha: diseño requerido por los beneficiarios.



Muestreo

Se implementaron procedimientos estandarizados para garantizar la consistencia y precisión de los datos recopilados, disponibles en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2176:2013, asegurando así una base confiable para análisis posteriores y toma de decisiones informada en el manejo de las camas de lombricultura.

Con el método de trampeo (mallas) se pudo obtener las lombrices rojas y posteriormente se obtuvo el Humus para su utilización en los

cultivos de la zona y venta, produciendo un beneficio tanto para la universidad como para los dueños de los predios utilizados.

A través de la identificación las variables a medir: TI y TE, HR, CE, y pH; con un muestreo periódico, esta toma de mediciones se realizó dos veces por semana y posteriormente tres veces por semana durante tres meses.

Análisis Estadístico

Para la variable TI, en la Tabla 1 se muestra

un intervalo de confianza que involucra nueve unidades en cada cama de lombricultura, lo que indica que no hubo un manejo muy prolijo de esta variable por parte de los beneficiarios. La desviación estándar agrupada para esta variable es de 18,1601 lo que condice la primera aseveración.

Tabla 1

Cálculo del intervalo de confianza de la temperatura interna

Cama	N	Media	Desv. estándar	IC de 95%
1	60	26,220	3,050	(21,601; 30,839)
2	60	24,115	2,674	(19,496; 28,734)
3	60	27,212	4,233	(22,593; 31,830)
4	60	32,16	35,84	(27,650; 36,880)

En la Tabla 2, dado que el valor de p (0,092) es mayor al nivel de significancia $\alpha = 0,05$, muestra que existe suficiente evidencia estadística para concluir que todas las medias de la TI son iguales en las cuatro camas.

Tabla 2

Análisis de varianza para la variable temperatura interna

Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
Cama	3	2153	717,5	2,18	0,092
Error	236	77830	329,8		
Total	239	79983			

Por otra parte, la TE, en la Tabla 3 se muestra un intervalo de confianza que involucra siete unidades en cada cama de lombricultura,

lo que evidencia que las condiciones ambientales influyen de forma marcada en las dos variables de temperatura. La desviación estándar agrupada para esta variable es de 13,5910 lo que indica la predictibilidad más confiable con contraste con la TI.

Tabla 3

Cálculo del intervalo de confianza de la temperatura externa

Cama	N	Media	Desv. estándar	IC de 95%
1	60	16,288	1,368	(12,832; 19,745)
2	60	21,150	26,780	(17,690; 24,600)
3	60	19,773	4,007	(16,317; 23,230)
4	60	17,565	1,999	(14,108; 21,022)

En el análisis de varianza, el valor de p (0,204) es mayor al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ lo que indica que existe suficiente evidencia estadística para aceptar la premisa de que todas las medias de la TE son iguales en las cuatro camas (Tabla 4).

Tabla 4

Análisis De Varianza Para La Variable Temperatura Externa

Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
Cama	3	854,9	285,0	1,54	0,204
Error	236	43592,7	184,7		
Total	239	44447,5			

En cuanto al porcentaje HR, mediante la tabulación de resultados para el cálculo del intervalo de confianza, la Tabla 5 muestra que

existen cuatro y cinco unidades que separan los resultados, siendo un valor aceptable, demostrando la baja variabilidad en los resultados numéricos.

Tabla 5

Cálculo del intervalo de confianza del porcentaje de humedad relativa

Cama	N	Media	Desv. estándar	IC de 95%
1	60	44,585	6,191	(42,264; 46,906)
2	60	50,830	11,990	(48,510; 53,150)
3	60	47,820	9,860	(45,500; 50,140)
4	60	46,800	7,343	(44,479; 49,121)

El valor de p (0,003) es menor que el nivel de significancia $\alpha = 0,05$ (Tabla 6) evidenciando de forma estadística que la HR en alguna cama es distinta. Y visualizando los valores de la segunda cama en la Tabla 5, condice la información, ya que sus valores son mucho mayores que las otras tres camas de lombricultura.

Tabla 6

Análisis de varianza para la variable porcentaje de humedad relativa

Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor P
Cama	3	1212	403,97	4,85	0,003
Error	236	19655	83,28		
Total	239	20867			

Para el pH, los intervalos de confianza están aproximadamente a una unidad, lo que

demuestra que el equipo de medición fue más sensible y confiable. La Tabla 7 indica también que la dispersión de resultados es baja, por lo que las mediciones están más cercanas a lo esperado.

Tabla 7

Cálculo del intervalo de confianza del potencial de hidrógeno

Cama	N	Media	Desv. estándar	IC de 95%
1	60	6,0833	0,4219	(5,9866; 6,1800)
2	60	5,9500	0,3505	(5,8533; 6,0467)
3	60	5,9450	0,4010	(5,8483; 6,0417)
4	60	5,9000	0,3415	(5,8033; 5,9967)

La Tabla 8 muestra que valor de p (0,053) es mayor que el nivel de significancia $\alpha = 0,05$, esto indica que hay evidencia estadística para concluir que las medias del pH en las cuatro camas son iguales.

Tabla 8

Análisis de varianza para la variable porcentaje de humedad relativa

Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor P
Cama	3	1,126	0,3754	2,60	0,053
Error	236	34,122	0,1446		
Total	239	35,248			

Para CE, con un intervalo de confianza del 95% se tiene que varían aproximadamente en 0,3 unidades, las que junto a sus desviaciones estándar que se muestran en la Tabla 9, nos

indica que el equipo de medición es confiable para el reporte de datos, y que los iones dispersos en el suelo fueron correctamente censados, dando a entender que son suelos menos salinos y más fértiles.

Tabla 9

Cálculo del intervalo de confianza de la conductividad eléctrica

Cama	N	Media	Desv. estándar	IC de 95%
1	60	0,5947	0,2927	(0,4873; 0,7021)
2	60	0,4555	0,1722	(0,3481; 0,5629)
3	60	0,7860	0,7294	(0,6786; 0,8934)
4	60	0,6023	0,2571	(0,4949; 0,7097)

El análisis de varianza para la variable CE (Tabla 10) muestra un valor de p (0,000) es menor que el nivel de significancia $\alpha = 0,05$ se puede concluir que CE en alguna cama es distinta. Y basándonos en la Tabla 9, la tercera cama tiene una desviación estándar hasta tres veces mayor, lo que indica que tiene un comportamiento atípico.

Tabla 10

Análisis de varianza para la variable conductividad eléctrica

Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor P
Cama	3	3,308	1,1028	6,18	0,000
Error	236	42,087	0,1783		
Total	239	45,396			

Análisis de regresión:

Se ejecutó un análisis de regresión lineal tomando como variable dependiente el pH y las variables independientes TI, TE, HR y CE, obteniendo la siguiente de regresión lineal, (Ecuación 1).

$$pH = 6,462 - 0,00215 TI + 0,00062 TE - 0,00732 HR - 0,1603 CE \text{ (1)}$$

En el análisis de variables, las que influyen significativamente en el pH, se planteó el análisis de varianza del modelo, teniendo los siguientes resultados (Tabla 11).

Tabla 11

Análisis de varianza para todas las variables

Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor P
Regresión	4	2,5841	0,64602	4,65	0,001
TI	1	0,3644	0,36441	2,62	0,107
TE	1	0,0158	0,01583	0,11	0,736
HR	1	1,0218	1,02184	7,35	0,007
CE	1	1,1582	1,15820	8,33	0,004
Error	235	32,6639	0,13900		
Total	239	35,2480			

De las cuatro variables TI, TE, HR, y CE, solo dos variables influyen en la variable pH. La primera variable que influye de manera significativa es CE, seguido de HR. Mientras, que no influye TI y mínimamente TE.

Estudio Computacional

Dentro de la revisión bibliográfica se pudo evidenciar que existen múltiples sustancias orgánicas que generan una cooperación del tipo mutualismo en los abonos sólidos, en especial dentro de los abonos sólidos como el *compost*, *bocashi*, *humus*. Como se puede observar en la Figura 2, se detalla los compuestos del tipo flavonoide más comúnmente encontrados en el suelo. En ellos se destaca el núcleo de la estructura, en color magenta, el que provee las propiedades bioactivas para su acción, sus modificaciones generarán un efecto potenciado.

Asimismo, se tiene evidencia de que los polifenoles (Figura 3) son compuestos orgánicos presentes en concentraciones considerables en abonos sólidos. La literatura detalla que son considerados agentes coadyuvantes al ser sustancias de carácter hidrosoluble complejas, siendo muy útiles en los procesos fisiológicos en la producción de metabolitos primarios y secundarios en las plantas.

Como compuestos insignia en el *humus*, se tiene dos compuestos orgánicos bastante voluminosos en comparación con los flavonoides y polifenoles. En la Figura 4-A, se muestra el ácido fúlvico, en color azul, como una estructura con una nube electrónica extendida, unida a un carbohidrato terminal. Complementando lo antes expuesto, la Figura 4-B, pone en evidencia una de las propuestas del ácido húmico, la que claramente tiene en su estructura al ácido fúlvico, y fragmentos

símiles a los flavonoides y polifenoles, también tiene asociado un péptido que se podrá seguir concatenando a través de enlaces peptídicos.

Una vez que se identificó al ácido húmico, se procedió a modelarlo de forma bidimensional a través de graficadores químicos, posteriormente se ejecutó una optimización espacial mediante el *software* Avogadro versión 1.2.0, para generar la estructura tridimensional estabilizada (Snyder & Kucukkal, 2021), se usó un campo de fuerza MMFF94 vía optimización de 4 pasos. Reflejando una energía de minimización de 11553 kJ/mol, demostrando que termodinámicamente la estructura del ácido húmico es energético dependiente, y que deberá acoplarse a sistemas de óxido-reducción para llegar a la conformación espacial representada en la Figura 5.

Figura 2

Gama de compuestos del tipo flavonoide.

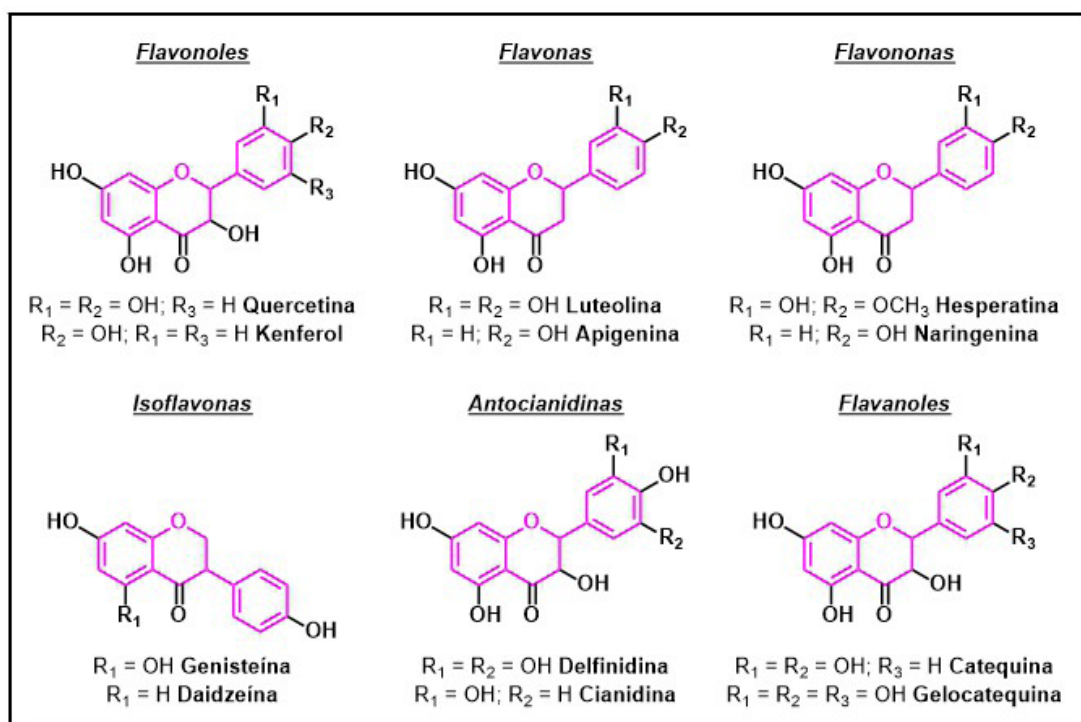


Figura 3

Gama de compuestos del tipo polifenol.

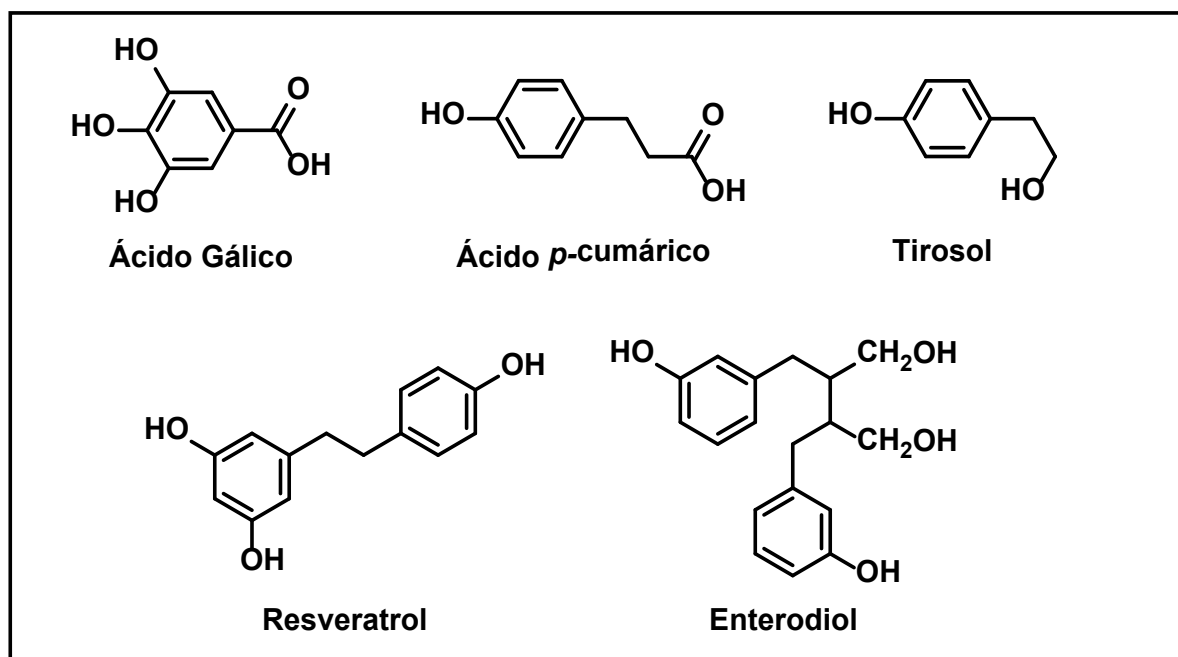


Figura 4

Compuestos principales del humus. A) ácido fúlvico, B) ácido húmico.

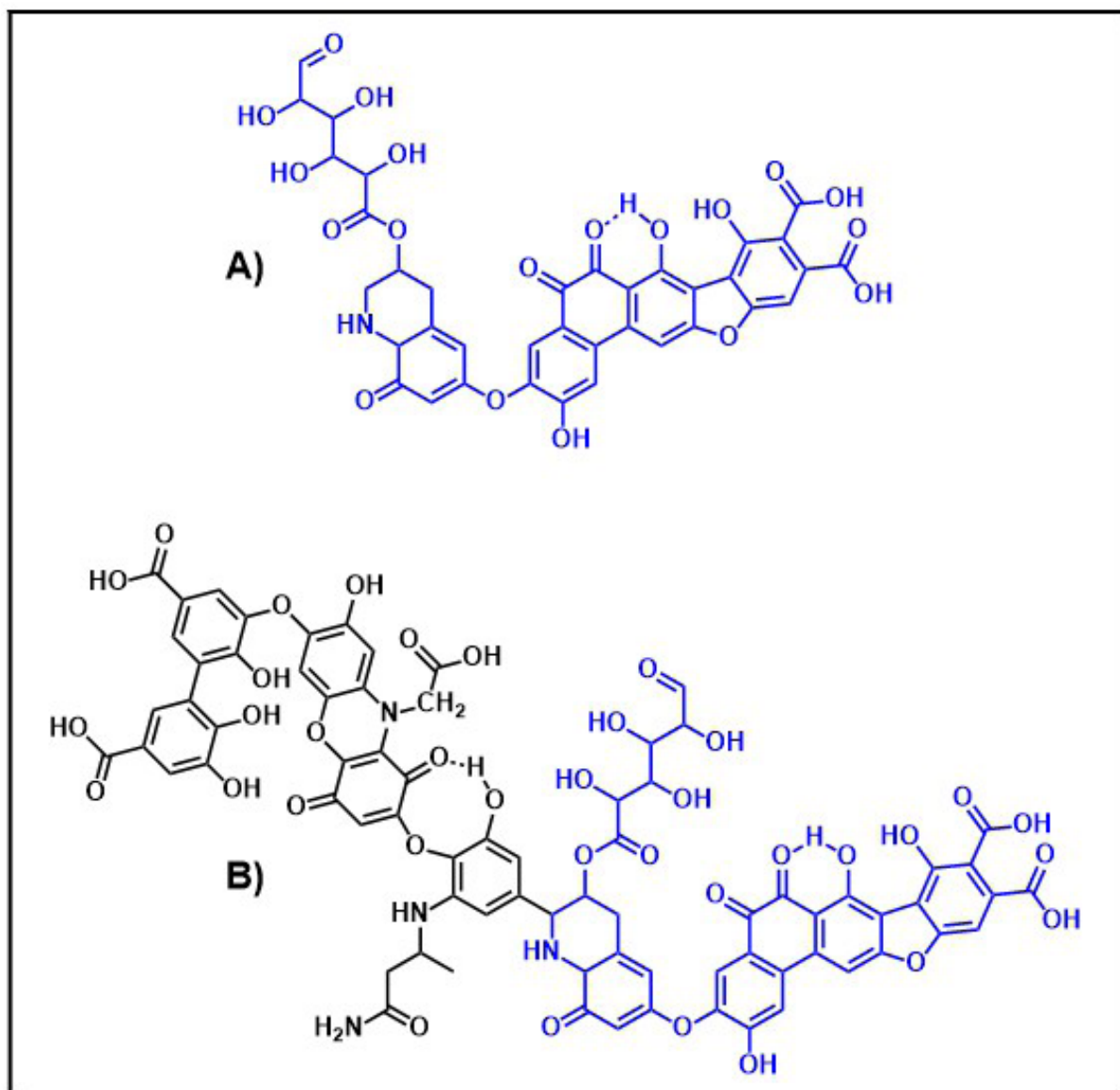
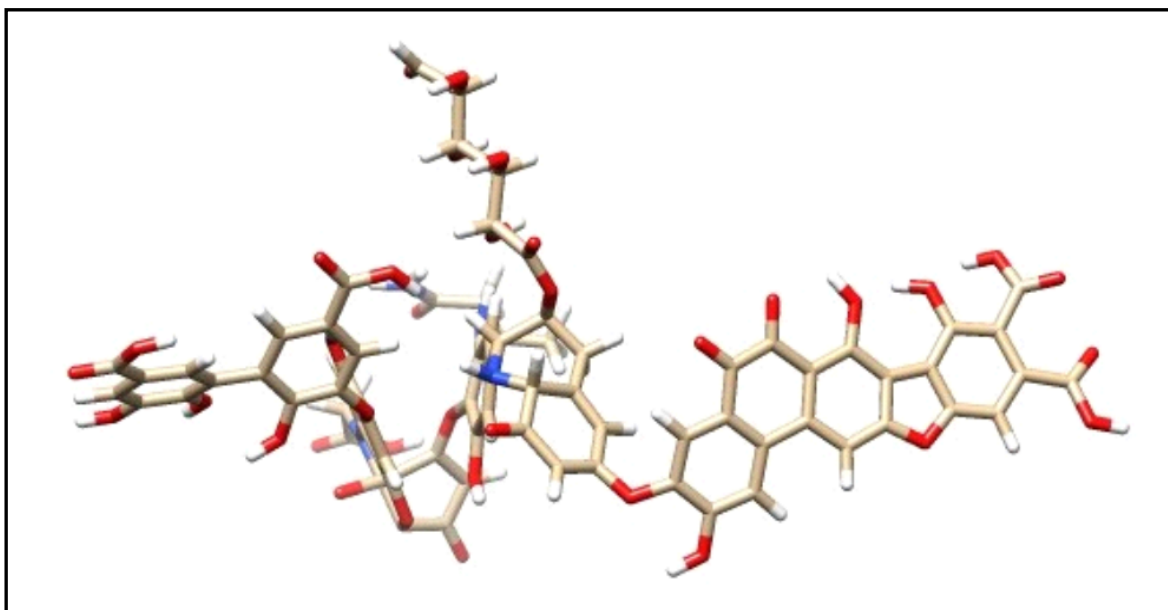


Figura 5

Estructura tridimensional del ácido húmico.



IV. Conclusiones

En el análisis estadístico se ejecutó intervalos de confianza, pruebas de comparación de medias entre camas de lombricultura para las variables TI, TE, HR, CE, y pH. Los resultados mostraron que en las cuatro camas las medias de TI y TE fueron iguales, pero la HR varió significativamente una de ellas. Se encontró que la variable pH fue igual en todas las camas, pero la CE difería significativamente en una, siendo un valor mucho mayor a las otras tres. La primera cama tuvo una mayor HR y menor pH, siendo que la CE difería entre tercera y cuarta cama. Hubo correlaciones débiles entre las variables, y el análisis de regresión mostró que la CE y la HR influyeron significativamente en el pH, mientras que la TI y TE tuvieron poco impacto y contribución.

El estudio computacional dio como resultado el entendimiento de la molécula más representativa del *humus*, al visualizar la configuración espacial del ácido húmico, y a través de ejecutar su minimización energética se puso en evidencia que por su nube electrónica extendida, cantidad y tipos de grupos funcionales, heteroátomos, la molécula es termodinámicamente endoenergética, por lo que a menos que se provea la cantidad de energía necesaria de forma externa, el ácido húmico no tendrá un comportamiento predecible ya que podrá adoptar cualquier conformación espacial, mientras lo permita su hibridación y geometría molecular.

V. Agradecimientos

Se agradece la colaboración de la Asociación de productores de hortalizas y legumbres

“Narcisa de Jesús” del cantón Salcedo (barrio San Marcos), quienes, con su predisposición y conocimientos previos, facilitaron el trabajo de investigación, en la implementación de camas de lombricultura y su posterior seguimiento y medición de parámetros fisicoquímicos.

Se reconoce a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y al proyecto de vinculación COD: CE-GP-0021-2021, titulado “Aprovechamiento de biomasa para la obtención de bioproductos y su aplicación en el cultivo de hortalizas y legumbres en el barrio San Marcos del cantón Salcedo” por permitir la ejecución y desarrollo del presente proyecto.

Se agradece el aporte desinteresado del ingeniero Luis Fredy Basantes Moreano, Mgtr., quien colaboró con el análisis estadístico y participó también como colaborador en las actividades de recopilación de datos en campo para el proyecto de vinculación. De igual forma al ingeniero Rolando Xavier Salazar Paredes Mgtr., por el modelo CAD propuesto en la investigación.

VI. Referencias Bibliográficas

Aminulloh, L., Sesulihatien, W. T., & Pramadihanto, D. (2019). Feature extraction of tomato growth model using greenhouse monitoring system. *2019 International Electronics Symposium (IES)*, 370–375.

Banco Central del Ecuador (BCE). (2024). *Banco Central del Ecuador*.

Caicedo, C. (2020). Agroforestería: Una alternativa de agricultura sostenible en la amazonía ecuatoriana. *Ecuador Es Calidad*, 7(1). <https://revistaecuadorestalidat.agrocalidat.gob.ec/revistaecuadorestalidat/index.php/revista/article/view/81/239>

Cárdenas, M. (2015). *Evaluación de la calidad de los suelos de páramo intervenidos y no intervenidos en la comuna Monjas Bajo, parroquia Juan Montalvo, cantón Cayambe*.

González Huerta, A., Pérez López, D. de J., RubíArriaga, M., GutiérrezRodríguez, F., Franco Martínez, J. R. P., & Padilla Lara, A. (2019). InfoStat, InfoGen y SAS para contrastes mutuamente ortogonales en experimentos en bloques completos al azar en parcelas subdivididas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), 1417–1431. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1767>

Ilie, V., & Mihalache, M. (2019). Vermicompost production and its importance for soil and agricultural production. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 62(1).

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2024). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*.

Kostecka, J., Garczyńska, M., Podolak, A., Pączka, G., & Kaniuczak, J. (2018). Kitchen organic waste as material for vermiculture and source of nutrients for plants. *Journal of Ecological*

Engineering, 19(6).

- Martínez-Aguilar, F. B., Guevara-Hernández, F., Aguilar-Jiménez, C. E., Rodríguez-Larramendi, L. A., Reyes-Sosa, M. B., & La O-Arias, M. A. (2020). Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 38(4), 871–881. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.793>
- Peña-Venegas, C. P., Cardona, G. I., Arguelles, J. H., & Arcos, A. L. (2007). Micorrizas arbusculares del sur de la Amazonia colombiana y su relación con algunos factores fisicoquímicos y biológicos del suelo. *Acta Amazonica*, 37(3), 327–336. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000300003>
- Ramírez Ríos, A., & Polack Peña, A. M. (2020). Estadística inferencial. Elección de una prueba estadística no paramétrica en investigación científica. *Horizonte de La Ciencia*, 10(19). <https://doi.org/10.26490/uncp.horizonteciencia.2020.19.597>
- Santana-Romo, F., Lagos, C. F., Duarte, Y., Castillo, F., Moglie, Y., Maestro, M. A., Charbe, N., & Zacconi, F. C. (2020). Innovative Three-Step Microwave-Promoted Synthesis of N-Propargyltetrahydroquinoline and 1,2,3-Triazole Derivatives as a Potential Factor Xa (FXa) Inhibitors: Drug Design, Synthesis, and Biological Evaluation. *Molecules*, 25(3), 491. <https://doi.org/10.3390/molecules25030491>
- Santana-Romo, F., Peñaherrera, J. L., Sanchez, J. S., & Carreño-Otero, A. L. (2023). Chemical-computational comparison of organometallic complexes in oxygen carriers and their incidence on blood color. *Investigación y Desarrollo*, 18(1). <https://doi.org/10.31243/id.v18.2023.2176>
- Santana-Romo, F., Sánchez, I., & Sampedro, A. (2021). *Estudio de Factibilidad Técnica y Financiera. Elaboración de Shampoo de Plantas: Ortiga (Urtica), Romero (Rosmarinus officinalis) y Limonero (Citrus aurantifolia)* (O. Guritanu, Ed.; Primera). Editorial Académica Española - OmniScriptum Publishing Group. <https://www.worldcat.org/isbn/9786203035742>
- Snyder, H. D., & Kucukkal, T. G. (2021). Computational Chemistry Activities with Avogadro and ORCA. *Journal of Chemical Education*, 98(4), 1335–1341. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00959>
- Sonko, S. P., Vasilenko, O. V., Sukhanova, I. P., Shchetyna, M. A., & Hurskiy, I. M. (2018). Vermiculture as an important component of ecologically tolerant agricultural ecosystems. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(4), 236–242.
- Vilà Baños, R., Torrado-Fonseca, M., & Reguant Alvarez, M. (2019). Análisis

de regresión lineal múltiple con SPSS:
un ejemplo práctico. *REIRE Revista
d'Innovació i Recerca En Educació*,
12 (2). [https://doi.org/10.1344/
reire2019.12.222704](https://doi.org/10.1344/reire2019.12.222704)

Recibido: 1 de marzo, 2024
Revisado: 22 de marzo, 2024
Aceptado: 10 de abril, 2024