

VARIEDAD GEOMÉTRICA DEL CACAO (*THEOBROMA CACAO L.*) DE BAGUA Y SU MODELACIÓN MATEMÁTICA EN PYTHON

GEOMETRIC VARIETY OF COCOA (*THEOBROMA CACAO L.*) FROM BAGUA AND ITS MATHEMATICAL MODELING IN PYTHON

Ronald Omar Estela Urbina¹

Elisa Contreras Barsallo²

Alcides Raúl Cuti Gutierrez³

Luis Miguel Villegas Santamaría⁴

Gustavo Adolfo Ulloa Ubillus⁵

José Orlando Namuche Paiva⁶



Fecha de recepción: 11/08/2021

Fecha de aprobación: 25/03/2022

DOI: <https://doi.org/10.26495/re.v6i1.2133>

Resumen

El objetivo de esta investigación es clasificar geoméricamente el cacao que se produce en la provincia de Bagua, midiendo sus parámetros físico-geométricos, así como simular su volumen interno haciendo uso del método de Montecarlo a partir de la elaboración e implementación de dos modelos matemáticos codificados en el lenguaje de programación Python. La metodología empleada consistió en cinco fases que se fundamenta en construir un registro de 113 muestras de cacao producidos en la provincia de Bagua-Amazonas, realizada por estudiantes de la Universidad Nacional Intercultural “Fabiola Salazar Leguía” de Bagua, del curso de Métodos Numéricos de la carrera profesional de Ingeniería Civil. Se revisaron artículos científicos de los años 2019-2021 de temáticas referidas a modelamiento matemático, método Montecarlo y producción de cacao. Los resultados obtenidos nos muestran que el error porcentual del volumen simulado con el modelo elipsoide respecto al calculado experimentalmente es menor al 10.82%, mientras que para el modelo cilíndrico registra valores superiores a este, debiéndose en algunos casos al nivel de maduración del producto. También se evidenció que la elaboración e implementación de un modelo matemático representa una estrategia metodológica apropiada en el entorno virtual actual toda vez que permite observar y reflexionar por medio de una matemática más vivencial y cercana a los productos de su comunidad. Palabras clave: cacao, modelo matemático, Montecarlo, Python, simulación.

Abstract

The objective of this research is to geometrically classify the cocoa produced in the province of Bagua, measuring its physical-geometric parameters, as well as to simulate

¹Magister en ciencias de la Educación, Universidad Nacional Intercultural “Fabiola Salazar Leguía” de Bagua, restela@unibagua.edu.pe; <https://orcid.org/0000-0001-5240-1242>

² Magister en ciencias de la Educación, Institución Educativa Túpac Amaru de Chiriaco-Amazonas, elisacontbar@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0278-7252>

³ Magister en ciencias de la Educación, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, acuti@unprg.edu.pe; <https://orcid.org/0000-0003-3728-058X>

⁴Magister en Ingeniería Ambiental, Universidad Católica “Santo Toribio de Mogrovejo”; villegas@usat.edu.pe; <https://orcid.org/0000-0001-6535-3884>

⁵Magister en Ciencias Matemáticas, Universidad Nacional “Pedro Ruíz Gallo”, gulloa@unprg.edu.pe; <https://orcid.org/0000-0002-0136-5947>

⁶Magister en Ciencias Matemáticas, Institución Educativa María Auxiliadora de Chachapoyas-Amazonas, jorland_06@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8778-0094>

its internal volume using the Monte Carlo method from the elaboration and implementation of two coded mathematical models. in the Python programming language. The methodology used consisted of five phases that is based on building a record of 113 cocoa samples produced in the province of Bagua-Amazonas, conducted by students at the National Intercultural University "Fabiola Salazar Leguía" of Bagua, from the course of Numerical Methods of the professional career of Civil Engineering. Scientific articles from the years 2019-2021 on topics related to mathematical modeling, Monte Carlo method and cocoa production were reviewed. The results obtained show us that the percentage error of the volume simulated with the ellipsoid model with respect to the one calculated experimentally is less than 10.82%, while for the cylindrical model it registers values higher than this, due in some cases to the level of maturation of the product. It was also evidenced that the elaboration and implementation of a mathematical model represents an appropriate methodological strategy in the current virtual environment since it allows observing and reflecting through a more experiential mathematics and closer to the products of its community.

Keywords: cocoa, mathematical model, Monte Carlo, Python, simulation.

1. Introducción

La matemática contextualizada se ha convertido en los últimos tiempos en una actividad de enseñanza aprendizaje muy importante y que va cobrando cierta relevancia en ambientes donde se trabajan propuestas de innovación pedagógica, en Bagua capital, provincia de la región Amazonas está ubicada en la zona nororiental del Perú, cuya actividad económica de mayor predominancia es la agricultura, existiendo en esta zona tropical peruana diversidad de productos. En este contexto en la Universidad Nacional Intercultural “Fabiola Salazar Leguía” de Bagua-UNIFSLB, desarrolló modelos matemáticos que puedan utilizar de insumos algunos recursos agrícolas, donde el rol del estudiante radica en el conocimiento de su región y las actividades económicas.

La modelación matemática permite a los estudiantes aprender de una forma más entretenida y cercana a su realidad, esto genera un estado de mayor apropiación del conocimiento en cuanto al aprendizaje significativo hablamos. La acción de incluir casos prácticos o eventos reales a nuestro espacio de enseñanza aprendizaje cambia la forma de ver “abstracta” a la matemática (que por naturaleza suele ser) y convertir en algo más “útil” (cercano a sus actividades cotidianas) y romper de alguna forma con lo tradicional de la enseñanza matemática (Acebo & Rodríguez, 2021).

Estado del arte

El cacao: importante actividad económica

El Cacao (*Theobroma cacao* L.), es un producto agrícola de importancia en la economía de países donde se cultiva, significando después del café y la caña de azúcar una fuente predominante de ingresos, puesto que no necesita grandes extensiones para su cultivo, en algunos casos con áreas por debajo de las 4 hectáreas y que asociado al cultivo de frutales

y productos madereros, protege de la erosión al suelo (Barrezueta, 2019). El Cacao, constituye un insumo indispensable en la industria chocolatera mundial, entre otros productos derivados siendo estos de componentes nutritivos y muy bien cotizados (López, Cunias, & Carrasco, 2020).



Figura 1. Cultivo de cacao en la provincia de Bagua-Amazonas
Nota: Elaboración propia

La *Theobroma cacao* L., para ser un producto aprovechable en su totalidad, debe pasar por varios procesos, entre los cuales son la deshidratación o el secado, que suele ser una exposición directa a los rayos solares extendiendo las semillas en costales, el otro proceso es la fermentación y en algunos casos el horneado (Teneda, Guamán, & Oyaque, 2019). Su origen se focaliza en el continente sudamericano en las zonas tropicales, que se ubican geográficamente entre las cuencas de los ríos aportantes al Amazonas como son: Caquetá, Putumayo y Napo (López et al., 2020). Indagaciones evidencian que esta especie tropical posee propiedades antioxidantes, inclusive otros investigadores concluyen que la cáscara de cacao posee variados efectos positivos en tratamientos pediátricos en cuadros de estreñimiento (Teneda et al., 2019). El Perú está categorizado como productor y exportador aportando una calidad de cacao fino por encima al 90%, así como el país en segundo lugar en exportar cacao de alta calidad (Vargas, Santa Cruz, & Lizárraga, 2020).

Modelación matemática: matematizando la realidad

Un reto que existe en el nivel universitario y que de alguna manera también se ve reflejado en la educación básica regular (EBR) es la enseñanza creativa de la matemática, dado que la labor del docente es contextualizar los conocimientos para “acercarlos” más al estudiante y sean de fácil apropiación. Utilizar en las sesiones de matemática: las actividades cotidianas, así como el conocimiento ancestral o común, en algunos casos resulta un insumo importante, aprovechable por el docente y que puede ser incorporado en su estrategia de trabajo académico (Fernández & Angulo, 2019).

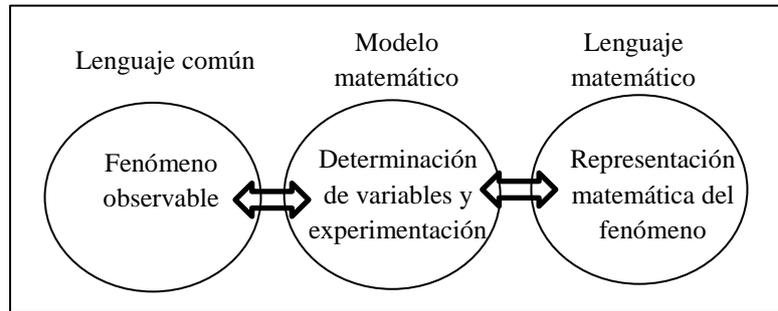


Figura 2. Modelo matemático como actividad académica
 Nota: Elaboración propia

Los modelos matemáticos permiten una representación simbólica del mundo real (Nápoles, Pérez, De la Cruz, 2020). Se debe comprender que el proceso de modelación matemática es una sucesión de fases que en la práctica pedagógica representan una oportunidad de enseñanza-aprendizaje en nuestros escenarios académicos (Berrío, Peña, & Torrenegra, 2019). La modelización es una tarea que requiere de la intervención docente puesto que requiere establecer nexos y relaciones de un fenómeno observable y el simbolismo matemático y esto es un proceso que requiere tiempo y planificación (Moreno, Martín, & Ramírez, 2021).

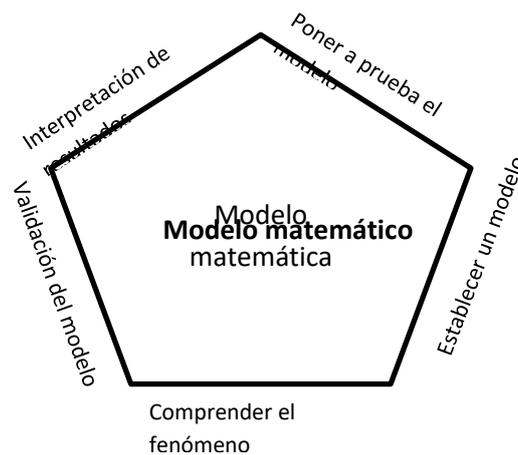


Figura 3. Pasos para el modelo matemático (Acebo & Rodríguez, 2021).

Las fases del proceso de la modelación matemática (Marín et al., 2020) implica no solo tener la capacidad de comprender el fenómeno observable de una determinada realidad (Moreno et al., 2021), pero también establecer una clara idea de las variables intervinientes, así como la puesta a prueba del modelo y lo que implica también la socialización de resultados así como la validación del modelo (Beltrón, Hernández, &

Carrasco, 2019). La experticia del docente es muy importante para establecer la “elegancia” de los términos matemáticos de nuestro modelo (Delgado, 2021). Del mismo modo se debe entender que la simbología matemática, así como el modelo en su conjunto constituye un aporte al conocimiento (Arredondo, García, & Torres, 2020).

Método Monte Carlo: aleatoriedad en el modelo

Se denomina método Monte Carlo (MMC) o procesos aleatorios Monte Carlo. Representa la técnica que consiste en generar eventos al azar con la finalidad de “emular” sucesos que se realizan con cierta probabilidad uniforme (Moreno, Moreno, Alfaro, Domínguez, & Romero, 2020). El MMC es muy utilizado no solo en cálculos matemáticos sofisticados, si no también representa una estrategia bastante pertinente en cuanto a trabajo lúdico en espacios estudiantiles (Estela et al., 2021). El procedimiento de Monte Carlo permite establecer escenarios que muchas veces se requiere de grandes equipamientos pero que con estas técnicas podríamos “recrear” la realidad (Torres, 2020). La generación de números aleatorios permite reemplazar la probabilidad de los eventos simulados. Por ejemplo en fenómenos radiactivos es muy bien utilizada, permitiendo la no exposición del personal a fuentes radiactivas (Apaza, Chahuara, Sellerico, & Vega, 2019), sin antes a ver sido “simulado” su efecto así como la penetración y alcance en determinadas paredes y material de protección (Sáez, Heredia, Yanchapanta, & Jaramillo, 2020).

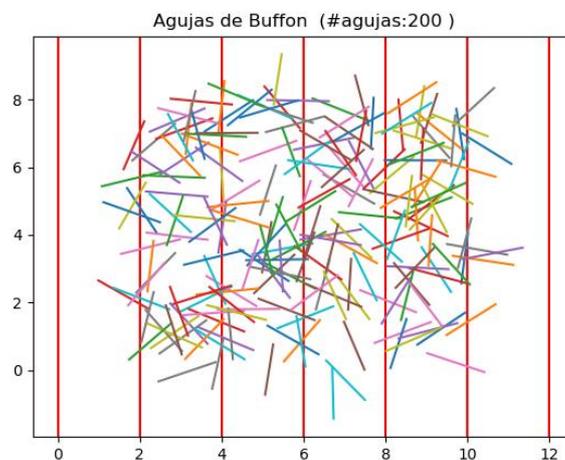


Figura 4. Simulación de Monte Carlo para las Agujas de Buffon
Nota: Elaboración propia

Las aplicaciones de MMC son variadas, desde cálculo de áreas, volúmenes, caudales, variables eléctricas, entre otras nos debe quedar claro que por su naturaleza aleatoria de las variables creadas, las estimaciones que se puedan realizar para determinados cálculos, depende del número de eventos que se lleven a cabo en el computador y cuanto mayor sea ese número, menor será el margen de error (Piñeiro, Molestina, Loor, & Santa Cruz, 2019).

El objetivo de esta investigación es clasificar geoméricamente el cacao que se produce en la provincia de Bagua, midiendo sus parámetros físico-geométricos, así como simular su volumen interno haciendo uso del método de Montecarlo a partir de la elaboración e implementación de dos modelos matemáticos codificados en el lenguaje de programación Python.

2. Material y métodos

La presente investigación tiene como fundamento el registro de 113 muestras de cacao (Parra, Gordillo, & Pinzón, 2019) de la provincia de Bagua-Amazonas realizada por estudiantes de la Universidad Nacional Intercultural “Fabiola Salazar Leguía” de Bagua (UNFSLB) del curso de Métodos Numéricos de la carrera profesional de Ingeniería Civil (Chicaiza, Gómez, Ruíz, & Cevallos, 2019). Se revisaron artículos científicos de los años 2019-2021 de temáticas referidas a modelamiento matemático, método Montecarlo y producción de cacao (Garrido, López, Benítez, & González, 2019)

La investigación se desarrolló en cinco fases (Berrío et al., 2019): primera fase asignación y programación de la tarea en la plataforma del aula virtual UNIFSLB, que consistió en desarrollar e implementar un modelo matemático que permita la estimación del volumen de la pulpa del cacao utilizando el método de Monte Carlo (Di Prinzio, Achával, Stoler, & Varela, 2020), esta asignación se socializa por medio de una videoconferencia Google Meet durante el horario de clases del curso Métodos Numéricos, la segunda fase representó la recolección de cacao (Florez, Vargas, Pérez, & Quintana, 2020), en distintas zonas de la provincia de Bagua donde viven los estudiantes, asimismo la determinación de masa, volumen de forma experimental, la tercera fase es la caracterización geométrica del cacao y su semejanza con sólidos de revolución (Gálvez, De la Colina, & Valdés, 2020), la cuarta fase es la construcción del modelo matemático y su implementación en un lenguaje de programación en este caso Python (García, 2020), esta fase se complementa con la realización de un taller de programación de procesos estocásticos realizado en nuestra universidad en la modalidad virtual. La última fase es la socialización y validación del modelo y esta se realizó en una videoconferencia en cuya evaluación participaron docentes del área de física matemática (Ramos & Espinoza, 2019).

La construcción del modelo matemático se desarrolló con los estudiantes, como tarea de Métodos numéricos, requiriendo de sesiones virtuales para su codificación en el lenguaje de programación. El uso del Método Montecarlo se realizó empleando funciones propias de Python para generación de números aleatorios.

Tabla 1

Modelos para el volumen de la pulpa de cacao

	Modelo – Pulpa cacao cilíndrica	Modelo – Pulpa de cacao elipsoide
Volume n exterior del cacao	$V_{cacao} = \frac{4\pi \frac{H}{2} \left(\frac{L}{2\pi}\right)^2}{3} - k(E_{alto} - E_{bajo})^2$	$V_{cacao} = \frac{4\pi \frac{H}{2} \left(\frac{L}{2\pi}\right)^2}{3} - k(E_{alto} - E_{bajo})^2$
Volumen interior del cacao	$V_{pulpa} = \pi \left(\frac{H}{2} - kl_{espesor}\right) \left(\frac{L}{2\pi} - kl_{espesor}\right)^2$	$V_{pulpa} = \frac{4\pi \left(\frac{H}{2} - kl_{espesor}\right) \left(\frac{L}{2\pi} - kl_{espesor}\right)^2}{3}$

Nota: Elaboración propia

Para la implementación en código Python (software libre), se realizó un algoritmo en base a los modelos planteados, de la misma forma se incorporó dentro de nuestro programa la lectura de todos los registros de cálculo experimental realizado por los estudiantes.

```

1 from openpyxl import load_workbook
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import numpy as np
4 import random
5 wb = load_workbook('consolidado_cacao.xlsx')
6 sheet = wb.active
7 hoja = wb['modelos_0K2']
8 cell_range = hoja['C5':'I31']
9 for i in range(0,27,1):
10     h=cell_range[i][1].value
11     l=cell_range[i][2].value
12     #MODELO VOLUMEN DE PULPA CILINDRICO
13     suma=0
14     for j in range(0,1000,1):
15         f=random.uniform(2,7,3,2)
16         suma=suma+f
17     ESPESOR=suma/1000
18     h=h-2*ESPESOR
19     R=(L/(2*np.pi))-ESPESOR
20     vol_interior_1=np.pi*R*R*h
21     p=vol_interior_1
22     hoja.cell(row = i+9, column = 9, value =p)
23     #MODELO VOLUMEN DE PULPA ELIPSOIDE
24     suma=0
25     for j in range(0,1000,1):
26         f=random.uniform(2,3,2,8)
27         suma=suma+f
28     ESPESOR=suma/1000
29     h=h-2*ESPESOR
30     R=(L/(2*np.pi))-ESPESOR
31     vol_interior_2=(4/3)*(np.pi)*(h/2)*(R)**2
32     p=vol_interior_2
33     hoja.cell(row = i+9, column = 11, value =p)
34 wb.save('consolidado_cacao.xlsx')
35
36
37

```

Figura 5. Programa desarrollado en Python

Nota: Elaboración propia

3. Resultados

Las muestras de cacao utilizadas en esta investigación y que fueron presentadas por los estudiantes son mayoritariamente de las plantaciones localizadas en Bagua capital, sin embargo, existiendo algunos productos del distrito de Imaza, debido a que los estudiantes se encuentran también localizados en sus distintas comunidades originarias ubicadas en las afueras de Bagua.



Figura 5. Diversidad geométrica en productos de cacao en la provincia de Bagua
Nota: Elaboración propia

Una de las características más saltantes que aparecen a simple vista de los productos de cacao, son los relieves en su parte externa, surcos fuertemente marcados que denotan la madurez del producto y que al seleccionarlos de manera transversal presenta escalonadamente una corteza alta y otra baja, influenciando esto en la comprobación numérica del volumen del cacao tanto externo e interno.



Figura 6. Diversidad geométrica del cacao en la provincia de Bagua
 Nota: Elaboración propia

Se emplearon recipientes milimetrados y de modo que “volumen sumergido es igual al volumen desalojado”, mediante el uso de este principio básico de la hidrostática, los estudiantes de ingeniería civil pudieron obtener de forma directa el volumen externo e interno (pulpa) del cacao.

Tabla 2
 Muestras de cacao para el cálculo de volumen bajo dos modelos

<i>CACAO EXTERNO</i>			<i>CACAO INTERNO</i>			<i>MODELO 1</i>	<i>MODELO 2</i>		
						<i>(PULPA</i>	<i>(PULPA</i>		
						<i>CILINDRI</i>	<i>ELIPSOIDE)</i>		
						<i>CA)</i>			
Volu	Altur	Perím	Volu	Espeso	Espeso	Volu	Err	Volum	Erro
men	a	etro	men	r alto	r bajo	men	or	en	r
(ml)	(cm)	Centr	De la	de la	de la	(ml)	%	(ml)	%
		al	pulpa	cáscar	cáscara				
		(cm)	(ml)	a	(cm)				
				(cm)					
900	22.5	32.5	250	2	1.5	258.2	3.2	249.82	0.07
						7	%		%
750	21	31	190	1.7	1	188.1	1.0	188.69	0.70
						5	%		%
630	17	28.5	100	1.9	1	87.40	14.4	97.61	2.44
							%		%

350	16.6	30.2	125	1.8	1.2	116.0	7.7	122.43	2.10
						3	%		%
1120	21.5	32.5	230	1.8	1.3	243.8	5.7	235.94	2.52
						7	%		%
675	15	31	120	1.4	1	112.8	6.3	117.65	2.00
						6	%		%
1125	19.5	32	190	1.5	1	194.4	2.3	195.58	2.85
						0	%		%
1090	23.5	28.7	150	1.5	1.1	145.7	2.9	157.09	4.51
						5	%		%
1100	23.5	30	200	1.6	1	186.8	7.1	191.41	4.49
						2	%		%
600	23	31	225	2.2	1.1	210.7	6.7	211.75	6.26
						9	%		%
320	17.9	27.8	100	1.9	1.2	81.18	23.2	94.57	5.74
							%		%
625	17	30	130	1.6	1.2	116.4	11.6	124.61	4.33
						7	%		%
1100	21	31	200	1.3	0.9	185.3	7.9	189.82	5.36
						0	%		%
1175	24	31.7	260	2.1	1.2	249.8	4.0	246.60	5.43
						8	%		%
930	19	34	220	2	1	248.1	11.3	239.72	8.23
						3	%		%
1000	20.5	32	190	2	1.2	210.4	9.7	209.31	9.22
						5	%		%
725	17	32	175	1.5	1	159.5	9.7	162.41	7.75
						9	%		%
450	16.8	31	150	1.6	1.1	134.2	11.7	139.65	7.41
						9	%		%
1500	32	38	750	2.1	1.4	786.8	4.7	691.48	8.46
						7	%		%
900	25	33	275	2	1.1	319.9	14.0	306.76	10.35
						4	%		%
875	21.3	29.6	175	2.1	1.5	149.0	17.4	159.03	10.04
						1	%		%
1100	17.3	30.2	116	1.5	0.9	123.8	6.3	129.95	10.74
						0	%		%
1200	17.2	30.1	115	1.7	1.2	120.5	4.6	127.69	9.94
						3	%		%
600	17	28	100	1.55	1.1	79.73	25.4	90.25	10.81
							%		%

Nota: Elaboración propia

El espesor de la cáscara de cacao de acuerdo con las muestras obtenidas por los estudiantes tiene un valor mínimo de 0.9 cm al cual se le denomina espesor bajo y un valor máximo de 2.2 cm al cual le hemos denominado espesor alto, registrándose una serie de valores aleatorios obtenidos.

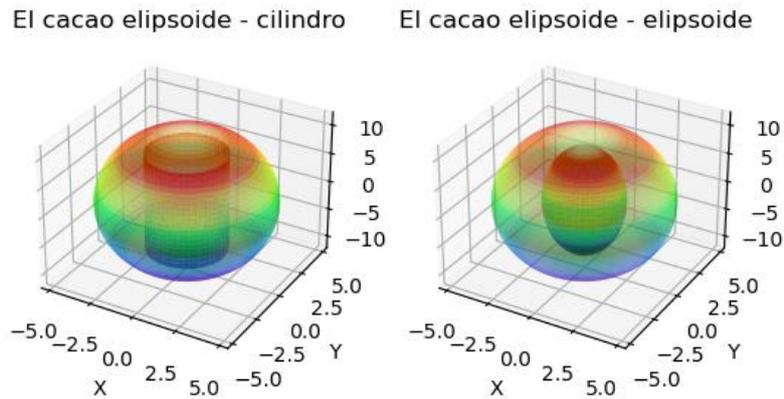


Figura 7. Representación tridimensional de los dos modelos aplicados
 Nota: Elaboración propia

La relación matemática entre los parámetros geométricos de las muestras de cacao, tales como: altura, longitud perimetral, según se muestra en las gráficas no presenta ninguna relación, ni lineal, ni cuadrática y en primera aproximación se podría decir que poseen valores aleatorios.

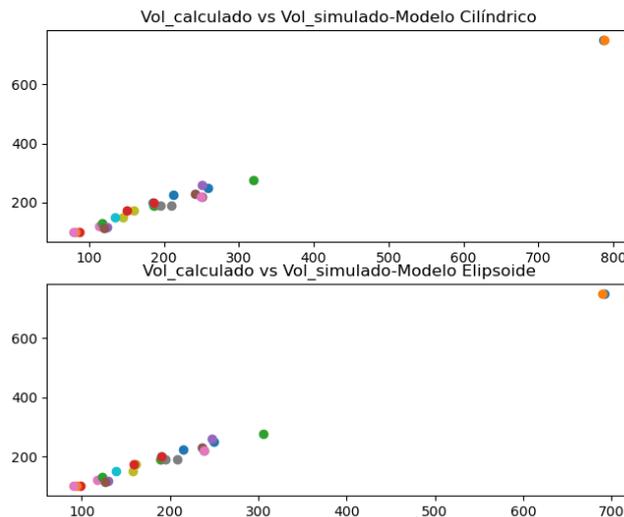


Figura 8. Representación tridimensional de los dos modelos aplicados
 Nota: Elaboración propia

El volumen simulado de acuerdo con los modelos matemáticos planteados tanto más se relaciona con el volumen calculado de forma experimental, esta relación se estrecha tanto más se utilizan un número elevado de números aleatorios. El valor máximo del error porcentual obtenido de los valores de volumen simulado del modelo elipsoide de pulpa de cacao es 10.81%, mientras que para el modelo de volumen interno tipo elipsoide presenta un pico de 25.4% con respecto a su error porcentual.

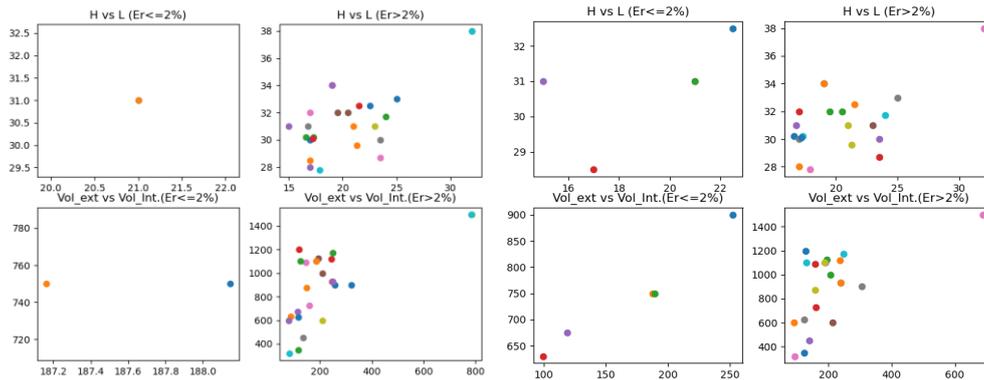


Figura 9. Relación entre parámetros geométricos de las muestras de cacao –Modelo de pulpa CILÍNDRICA-ELIPSOIDE

Nota: Elaboración propia

El valor mínimo del volumen interno del cacao calculado de forma experimental es 100 ml y con un valor máximo de 750 ml y que de acuerdo con lo observado los valores obtenidos para la pulpa de cacao en este intervalo son aleatorios.

4. Discusión

La modelización matemática en el actual contexto de aprendizaje virtual representa también una oportunidad para que el estudiante centre su mirada en su entorno más cercano (Arredondo et al., 2020), de tal forma que sea una extensión de la teoría que se imparte en los cursos de formación profesional, toda vez que por medio de esta actividad el estudiante realiza una algoritmia de la solución de un determinado problema contextualizado y cuyo aprendizaje esté ligado a actividades lúdicas (Zavatti et al., 2020).

Para que se lleve a cabo el proceso de modelización es muy importante acopiar gran cantidad de muestras con la finalidad de detectar algunos factores que determinan el comportamiento de la variable o variables a modelar (Garrido et al., 2019). En este sentido el comportamiento aleatorio de algunas variables resulta un insumo importante para aplicar métodos de modelación de procesos estocástico por lo tanto el uso de un lenguaje de programación resulta de mucha utilidad para la implementación y puesta a prueba de nuestro modelo matemático (Noriega, Salazar, & López, 2021).

La limitación del presente trabajo de investigación es el número de muestras procesadas, las que se usaron son las que cada estudiante han podido obtener de su entorno más cercano y que procedieron a medir sus factores físicos-geométricos (Caballero, Rondon, Baleta, & García, 2020), lo que significa que para poder generalizar los resultados de esta indagación y validar nuestro modelo matemático necesitamos un universo más amplio de muestras, toda vez que de las recolectadas pasaron por un proceso de depuración lo cual se vio menguada en número (Cabrera & De León, 2018).

Parte de los estudiantes que participaron de esta investigación, pertenecen a comunidades amazónicas y una de las dificultades que presentan los jóvenes provenientes de esta zona geográfica para su ingreso al nivel universitario, es el poco dominio de las matemáticas, esto debido a la poca profundidad en sus estudios de educación básica regular y el desarrollar un problema matemático por medio de la modelación para luego socializar a sus compañeros, permite relacionar los cultivos de su zona de los cuales el denota mucho dominio tanto en su cultivo e historia, con la matemática superior orientado a su carrera profesional (Berrío et al., 2019).

La aplicación del método de Montecarlo en las actividades planteadas en clase, es añadir una cuota lúdica a nuestras planificaciones curriculares (Fernández & Angulo, 2019), sobre todo en el momento actual que estamos viviendo, donde los estudiantes están llevando sus asignaturas de forma virtual y que por medio de estos procesos aleatorios podríamos recrear situaciones reales sin la prioridad de laboratorios implementados físicamente para tal fin (Estela et al., 2021).

Se concluye que la variedad geométrica de cacao en la provincia de Bagua permite ensayar modelos matemáticos relacionando sólidos de revolución, como cilindro y elipsoide para su volumen interior por presentar cierta simetría.

De los dos modelos matemáticos elaborados, el que estima con mayor aproximación el volumen de la pulpa de cacao, es el modelo elipsoide.

De acuerdo a las muestras analizadas un factor a considerar es el nivel de maduración del cacao, evitar los productos demasiado maduros, esto permitirá aproximar con el modelo matemático elipsoide con mayor aproximación.

El error porcentual del volumen simulado con el modelo elipsoide respecto al calculado experimentalmente es menor al 10.82% mientras que para el modelo cilíndrico de pulpa de cacao registra valores superiores a 15% en algunos casos, debiéndose en algunos casos al nivel de maduración pues presenta mayor proceso de deshidratación.

La elaboración e implementación de un modelo matemático representa una estrategia metodológica apropiada en el entorno virtual actual toda vez que permite observar y reflexionar por medio de una matemática más vivencial y cercana a los productos de su comunidad.

5. Referencias

- Estela, R., Contreras, E., Cuti, A., Villegas, L., Ulloa, G. y Callejas, J. (2021). Variedad geométrica del cacao (*theobroma cacao* l.) de Bagua y su modelación matemática en Python. *Rev. Epistemia*, Vol. 6(2)
- Acebo, C., & Rodríguez, R. (2021). Diseño y validación de rúbrica para la evaluación de modelación matemática en alumnos de secundaria. *Revista Científica*, 40(1), 13–29. <https://doi.org/10.14483/23448350.160681>
- Apaza, D., Chahuara, R., Sellerico, P., & Vega, J. (2019). Determinación de la distribución de dosis en objeto simulador de pulmón mediante simulación monte carlo usando código Penelope. *Revista de Física Momento*, (59), 1–10. <https://doi.org/10.15446/mo.n59.75714>
- Arredondo, E., García, J., & Torres, M. (2020). La modelación metafórica del movimiento por estudiantes universitarios. *Formación Universitaria*, 13(3), 55–64. <https://doi.org/10.4067/s0718-50062020000300055>
- Barrezueta, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *CienciaUAT*, 14(1), 155–166. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1210>
- Beltrón, J., Hernández, L., & Carrasco, T. (2019). Ingeniería Conceptions of Mathematical Modeling Competence , and a Diagnosis of its Situation in. *Revista Cubana de Educación Superior*, 38(2), 1–12. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0257-43142019000200005&lng=es&nrm=iso
- Berrío, J., Peña, Z., & Torrenegra, M. (2019). Desarrollo del proceso de modelación matemática en licenciados en formación. *Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía*, 14(1), 79–101. <https://doi.org/10.15332/s1657-107X>
- Caballero, R., Rondon, M., Baleta, L., & García, T. (2020). La modelación matemática, una estrategia para la enseñanza de la estadística. *Revista Boletín REDIPE*, 9(3), 153–159. <https://doi.org/10.36260/rbr.v9i3.940>
- Cabrera, G., & De León, A. (2018). Modelación markoviana para identificar la dinámica y pronóstico del índice de producción industrial en México de 1980 a 2018. *EconoQuantum*, 16(2), 23–42. <https://doi.org/10.18381/eq.v16i2.7120>
- Chicaiza, K., Gómez, A., Ruíz, P., & Cevallos, L. (2019). Modelo de simulación para la optimización del inventario de una distribuidora, basado en Simulación Monte Carlo y Algoritmo Metaheurístico Genético. *Ecuadorian Science Journal*, 3(2), 33–38. <https://doi.org/10.46480/esj.3.2.32>
- Delgado, J. A. (2021). Modelo dinámico de la pandemia de COVID19. *Revista Sanidad Militar*, 77(1), 7–16. <https://doi.org/10.4321/S1887-85712021000100002>
- Di Prinzio, C., Achával, P. I., Stoler, D., & Varela, G. A. (2020). Movimiento de un borde de grano en láminas delgadas usando método de monte carlo. *Anales de La Asociacion Fisica Argentina*, 31(1), 7–12. <https://doi.org/10.31527/analesafa.2020.31.1.7>
- Estela, R., Contreras, E., Incio, F., Fernández, R., Namuche, J., & Reyes, E. (2021). Método de Montecarlo como estrategia didáctica intercultural para la enseñanza universitaria de física y matemática en el contexto de la educación no presencial. *Revista Apuntes Universitarios*, 11(4), 250–268. <https://doi.org/au.v11i4.770>
- Fernández, O., & Angulo, M. (2019). El proceso de modelación en clase de matemática. *Scientia et Technica*, 24(1), 96. <https://doi.org/10.22517/23447214.17261>
- Florez, A., Vargas, J., Pérez, H., & Quintana, L. (2020). Análisis de componentes principales utilizando python para identificar clúster asociados a muestras de cacao

Estela, R., Contreras, E., Cuti, A., Villegas, L., Ulloa, G. y Callejas, J. (2021). Variedad geométrica del cacao (*Theobroma cacao* L.) de Bagua y su modelación matemática en Python. *Rev. Epistemia*, Vol. 6(2)

seco sano e infectado con monilia en Norte de Santander. *Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 8(2), 16–22. <https://doi.org/10.15649/2346030x.712>

Gálvez, G., De la Colina, J., & Valdés, J. (2020). Estimación de los efectos de torsión accidental sísmica a partir de la amplificación de la respuesta de un modelo torsionalmente balanceado. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 76(103), 56–76. <https://doi.org/10.18867/ris.103.490>

García, J. (2020). Propuesta de un modelo computacional para el estudio de la selectividad de los inhibidores alostéricos de PTP1B. *Anales de La Real Academia Nacional de Farmacia*, 86(2), 99–112. Retrieved from https://analesranf.com/articulo/8602_01/

Garrido, J., López, J., Benítez, R., & González, C. (2019). Simulación numérica del sistema respiratorio humano. *Revista Ingeniería UC*, 26(3), 248–257. Retrieved from <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/>

López, Y., Cunias, M., & Carrasco, Y. (2020). El cacao peruano y su impacto en la economía nacional. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(3), 344–352. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000300344

Marín, O., Zambrano, A., García, E., Ortiz, J., Vivas, D., & Marín, O. (2020). Modelamiento Matemático Del Comportamiento Epidemiológico De La Pandemia Covid-19 En China. *The Biologist*, 18(1), 83–89. <https://doi.org/10.24039/rtb2020181473>

Moreno, A., Martín, M., & Ramírez, R. (2021). Formación Inicial Al Resolver Una Tarea. *Revista de Investigación En Didáctica de La Matemática*, 15(2), 109–136. <https://doi.org/10.30827/pna.v15i2.20746>

Moreno, B., Moreno, C., Alfaro, J., Domínguez, G., & Romero, R. (2020). Simulación de Monte Carlo para el juego de dominó. *Revista Computacion y Sistemas*, 24(4), 1369–1385. <https://doi.org/10.13053/CYS-24-4-3233>

Nápoles, M., Pérez, M., & De la Cruz, M. (2020). Modelación matemática de la pasteurización de la cerveza utilizando dinámica de fluidos computacional. *Revista Centro Azúcar*, 47(1), 67–76. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2223-48612020000100067&lng=es&nrm=iso

Noriega, J. L., Salazar, R., & López, I. (2021). Revisión: modelos de crecimiento y rendimiento de maíz en escenarios de cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(1), 127–140. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2552>

Parra, E., Gordillo, W., & Pinzón, W. J. (2019). Modelos de Crecimiento Poblacional: Enseñanza-Aprendizaje desde las Ecuaciones Recursivas. *Formación Universitaria*, 12(1), 25–34. <https://doi.org/10.4067/s0718-50062019000100025>

Piñeiro, A., Molestina, C., Loo, B., & Santa Cruz, M. (2019). Aplicación de la simulación Montecarlo en el cálculo de pronósticos de largo alcance, usando Excel. *Latin American Journal of Science Education*, 6(2), 1–14. Retrieved from <http://www.lajse.org/nov19.html>

Ramos, C., & Espinoza, P. (2019). Modelo de optimización con programación no lineal y simulación Monte Carlo de un proyecto industrial pesquero. *Revista Selecciones*

Estela, R., Contreras, E., Cuti, A., Villegas, L., Ulloa, G. y Callejas, J. (2021). Variedad geométrica del cacao (*Theobroma cacao* L.) de Bagua y su modelación matemática en Python. *Rev. Epistemia*, Vol. 6(2)

Matemáticas, 6(2), 248–263. <https://doi.org/10.17268/sel.mat.2019.02.11>

Sáez, M., Heredia, M., Yanchapanta, V., & Jaramillo, D. (2020). Analysis of structural shielding in a computed tomography room using Análise da proteção estrutural numa sala de tomografia computacional usando. *Polo de Conocimiento*, 5(4), 52–69. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i4.1366>

Teneda, W., Guamán, M., & Oyaque, S. (2019). Exploración de la intención de consumo de la Cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) como infusión: caso Tungurahua-Ecuador. *Cuadernos de Contabilidad*, 20(50), 1–12. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cc20-50.eicc>

Torres, C. (2020). Evaluación de riesgo de deslizamientos y propuesta geotécnica de la trocha Ayash-Huaripampa tramo Km3+260 al Km3+300. *Revista Perfiles de Ingeniería*, 16, 13–22. https://doi.org/10.31381/perfiles_ingenieria.v20i15.3542

Vargas, H., Santa Cruz, F., & Lizárraga, A. (2020). Efecto de tamaño de envases y tres tipos de sustratos para la obtención de portainjerto de Cacao (*Theobroma cacao* L.) en vivero. *Manglar*, 17(2), 127–133. <https://doi.org/10.17268/manglar.2020.019>

Zavatti, J., García, S., Antolini, L., Carmona, P., Osuna, N., Malinovsky, V., & Finkelstein, J. (2020). Aplicación de la simulación de Montecarlo a la estimación de riesgo para la salud por exposición infantil a plomo en suelos contaminados de la Cuenca Matanza Riachuelo (Argentina). *Revista Salud Ambiental*, 20(2), 192–197. Retrieved from <https://ojs.diffundit.com/index.php/ras/article/view/1069>