



Perfiles

Vol. 1
Núm. 31
Enero - Junio 2024
ISSN 2477-9105

Líneas de investigación:

- Física
- Química
- Ciencias de la Salud
- Matemáticas
- Ciencias Biológicas
- Energías alternativas

Autoridades

de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Ing. Byron Ernesto Vaca Barahona Ph.D.

Rector

Ing. Jenny Basantes Ph.D

Vicerrectora Académico

Ing. Pablo Vanegas Ph.D

Vicerrector de Investigación y Posgrado

Ing. Landy Ruiz Mgs.

Vicerrectorado Administrativo

Dra. Yolanda Dolores Díaz Heredia MsC.

Decanato de Investigaciones

Revista Internacional Arbitrada

Distribución libre

Correspondencias

Revista Perfiles

Panamericana Sur, km 1½

Riobamba, Ecuador

Telef.: (593) (03) 2998200 ext. 2201

e-mail: revistaperfiles@epoch.edu.ec

PERFILES (ISSN 2477-9105) es una revista científica semestral publicada por la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

ESPOCH

Riobamba – Ecuador

Año XXIV

Número 31

CUERPO EDITORIAL

EDITOR

Celso Guillermo Recalde Moreno
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Email: crecalde672000@yahoo.com
Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

COMITÉ EDITORIAL

Irene Del Carmen Gavilanes Teran
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
irene.gavilanes@epoch.edu.ec
Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

Elio Giroletti
Università di Pavia (Pavia PV, Italia)
Email: elio.giroletti@unipv.it

Laszlo Sajo Bohus
Universidad Simon Bolivar
Email: lsajo@usb.ve
Departamento de Física (Caracas-Venezuela)

Janne Rojas
Universidad de Los Andes
Email: janne.rojas24@gmail.com
Facultad de Farmacia (Mérida-Venezuela)

Manuel Morales Yuste
Universidad de Granada
Email: yuste@ugr.es
Facultad de Farmacia (Granada-España)

Omaira Marquez
Universidad Nacional de Chimborazo
(Riobamba, Ecuador)
Email: cgomarquez@gmail.com

Sabino Menolasina
Universidad de los Andes
Facultad de Farmacia (Mérida-Venezuela)
Email: menolasina1960@gmail.com

Salvador González Carcedo
Universidad de Burgos
Email: salva@ubu.es
Facultad de Ciencias (Burgos, España)

Jorge L. Mírez Tarrillo
Universidad Nacional de Ingeniería (Lima, Perú)
Email: jmirez@uni.edu.pe

CO-EDITOR

Víctor García
Universidad Nacional de Chimborazo
(Riobamba, Ecuador)
Email: vgarcia375@gmail.com

César A. Cisneros Ramírez
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría
Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables (La Habana, Cuba)
Email: cesar@ceter.cujae.edu.cu

David Jaramillo Abril
Servicios de laboratorio analítico mínimo (Western Australia, Australia)
Email: d_jaramillo10@hotmail.com

Jorge L. Mírez Tarrillo
Universidad Nacional de Ingeniería (Lima, Perú)
Email: jmirez@uni.edu.pe

Carlos F. Ávila Vega
Universidad Técnica Equinoccial
Facultad de Ciencias (Quito, Ecuador)
Email: carlos.avila@ute.edu.ec

Cristian Vacacela Gomez
Universidad Yachay TECH (Ibarra, Ecuador)
Email: cristianvg7@gmail.com

Paul Gustavo Palmay Paredes
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,
Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador
Email: paul.palmay@epoch.edu.ec

Carlos Alcibar Medina Serrano
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,
Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador
Email: carlos.medinas@epoch.edu.ec

Alex Vinicio Gavilanes Montoya
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,
Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador
Email: inicio.gavilanes@epoch.edu.ec

COMITÉ CIENTÍFICO

Director

Jorge Efren Silva Yumi

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

jorge.silvay@esPOCH.edu.ec

Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

Miembros

Carlos Francisco Carpio Coba

ccarpio@esPOCH.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Facultad de Recursos Naturales (Riobamba, Ecuador)

John Martin Evans

evansjmartin@gmail.com

Universidad de Buenos Aires

Facultad de Arquitectura (Buenos Aires, Argentina)

Gabriela Viviana Tubón Usca

gabriela.tubon@esPOCH.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

Silvia de Schiller-

sdechiller@gmail.com

Universidad de Buenos Aires

Facultad de Arquitectura (Buenos Aires, Argentina)

Gerardo E. Medina Ramírez

medinag47@gmail.com

Universidad Estatal Amazónica

Escuela de Biología (Puyo, Ecuador)

Natalí Alejandra Chávez Oleas-

natalichavez87@gmail.com

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

Dirección de Aplicaciones Nucleares (Quito, Ecuador)

Adriana C. Rincón Alarcón

rinconadri@yahoo.com

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

Freddy Benalcázar-

f.benalcazar@yahoo.es

Universidad Técnica de Ambato (Ambato, Ecuador)

Morella L. Guillén Ferraro-

morellaguillen@hotmail.com

Universidad Nacional de Chimborazo

Facultad de Ciencias de la Salud (Riobamba, Ecuador)

Jiří Svozilík

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,

Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador

Email: jiri.svozilik@esPOCH.edu.ec

José Mejía López

jmejia@puc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile

Facultad de Física (Santiago, Chile)

Oswaldo Villacrés Cáceres

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,

Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador

Email: oswaldo.villacres@esPOCH.edu.ec

Revisor Texto en Inglés

Jorge Juan Villarroel Santillán-

jjvillarroels@outlook.com

Trabajador Independiente

Diseño, Diagramación, Maquetación

Lcdo. José Luis Heredia Hermida Mgtr.

jose.herediah@esPOCH.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Tabla de contenidos

| | | Página |
|----------|--|----------------|
| 1 | Características socioeconómicas de los productores de cebada maltera en la región de Chimborazo, Ecuador Adriana Gadvay Satán, María Aynaguano Ajo, María Peralta Culcay, Víctor Lindao Córdova, Alfonso Suarez Tapia. | 6 - 15 |
| 2 | Desempeño de un concentrador solar e influencia de la altura hidrodinámica de los tubos en el efecto termosifón Joaquín Bustos. | 16 - 26 |
| 3 | Relación de la concentración de clorofila con el contenido nutricional de seis arbustos forrajeros Carlos Danilo Congo Yépez, Remigio Armando Burbano Cachiguango, Alexandra Ibeth Chanaluisa Choloquina, Edgar Javier Chuquimarca Algaje. | 27 - 39 |
| 4 | Concentrados de theobroma cacao como inhibidor de arcillas e incidencia sobre el fluido de perforación base agua polimérico Andrea Paola Chávez Chamorro, Bolívar Germán Enríquez, Henry Paúl Romero Cortez, David Gerardo Marín Alcívar, Natalia Monserrat Llanganate Caillamara. | 40 - 53 |
| 5 | Comportamiento antioxidante y polifenólico de una conserva de flor de cabuya negra (<i>agave americana</i>) Miguel Ángel Enríquez Estrella, Thalia Janeth Enríquez Ujukam, Gabriela Joseth Serrano Torres, Silvia Hipatia Torres Rodríguez, Dennis Gabriel Cuadrado Ayala. | 54 - 60 |
| 6 | Inventario forestal con enfoque bioético para la protección sostenible de recursos en la Finca Experimental Andil de Jipijapa Blanca Soledad Indacochea Ganchozo, Reynier García Rodríguez. | 61 - 73 |
| 7 | Notas de biología y crianza de <i>Podisus</i> sp. (hemiptera: pentatomidae), depredador de <i>Gonipterus</i> sp., asociado a plantaciones de Eucalyptus Erika Viviana Paredes Guevara, Diego Armando Muñoz Buñay. | 74 - 80 |

Características socioeconómicas de los productores de cebada maltera en la región de Chimborazo, Ecuador

Socioeconomic Characteristics of Malting Barley Producers in the Chimborazo

 Adriana Gadvay Satán*
 María Aynaguano Ajo
 María Peralta Culcay
 Víctor Lindao Córdova
 Alfonso Suarez Tapia.

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Riobamba, Ecuador.

* agadvay46@gmail.com

RESUMEN

Los productores de cebada presentan características socioeconómicas que producen pérdidas en el cultivo, por esta razón se encuestó a 14 productores de cebada maltera en el programa "Siembra por contrato" en la provincia de Chimborazo en el año 2022, donde se recopiló información en diferentes áreas, incluyendo el ámbito social, institucional y empresarial, productivo, ambiental, comercial, transferencia tecnológica y económico. Con la finalidad de analizar e interpretar un conjunto de variables relacionadas con los productores, así como identificar patrones y agrupar a los individuos con características similares, se aplicó el Análisis de Componentes Principales (PCA); además, se emplearon herramientas estadísticas, programación e integración de códigos en R. El resultado del análisis reveló la formación de 4 grupos (clusters) que se explican mediante 6 componentes, los cuales representan el 82.42% de la variabilidad total. Estos grupos permitieron identificar las fuentes socioeconómicas que influyen en las pérdidas de cebada. Entre ellas se encuentran el nivel de educación, ocupación, tenencia de tierras, tipo de suelo, variedad de cebada y porcentaje de maleza. El cluster B, junto con el productor 14, presentaron el mayor porcentaje de rendimiento comercializado siendo superiores a 3 001 kg. Mientras que, los productores de los clusters A y D tuvieron un rendimiento bajo (1 000 a 3 000 kg), independientemente de la variedad de cebada cosechada. El análisis multivariado demostró las características socioeconómicas de los productores y cómo estas afectan las pérdidas de cebada, mediante el Análisis de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) se determinó que el peso de granos influye directamente en las pérdidas de cosecha mecanizada.

Palabras claves: *Análisis multivariado, Estadística aplicada, Hordeum vulgare, Maquinaria Combinada.*

ABSTRACT

Multivariate statistics were used in this study to analyze and interpret a set of variables related to malting barley producers in the "Siembra por contrato" program in the province of Chimborazo during the year 2022. Statistical tools, programming and integration of data were used. codes in R. A survey was carried out that collected information in different areas, including the social, institutional and business, productive, environmental, commercial, technological transfer and economic spheres. To identify patterns and group individuals with similar characteristics, Principal Component Analysis (PCA) was applied. The result of the analysis revealed the formation of 4 groups (clusters) that are explained by 6 components, which represent 82.42% of the total variability. These groups made it possible to

identify the socioeconomic sources that influence barley losses. Among these sources are the level of education, occupation, land tenure, type of soil, variety of barley and percentage of weeds. In particular, cluster B, together with producer 14, presented the highest percentage of commercialized yield, being greater than 3,001 kg. On the other hand, producers in clusters A and D had a low yield (1 000 to 3 000 kg), regardless of the variety of barley harvested. In conclusion, the multivariate analysis proved to be a useful tool to understand the socioeconomic characteristics of producers and how they affect barley losses.

Keywords: *Multivariate Analysis, Applied Statistics, Malting Barley, Combined Machinery.*

I. INTRODUCCIÓN

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) es un cultivo de distribución global y se le atribuye la posición del cuarto cereal más relevante a nivel mundial, tras el maíz (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum durum* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.) representando aproximadamente el 8% de la producción total de cereales (1, 2). El cultivo de cebada, es importante debido a su adaptación ecológica y diversidad de variedades, se cultiva en alrededor de 89 países, desde regiones subtropicales: África, Brasil, hasta zonas frías como Noruega y Alaska (3).

La Unión Europea es el mayor exportador de cebada y malta con 57 250 toneladas (t) registradas en el año 2018: mientras que, Arabia Saudita, China y Japón fueron los mayores importadores de cebada (2). Para el periodo 2010-2017 se registró que Perú fue el principal productor dentro de la región andina, debido a que produjo 214 670 toneladas (t) con un área de 146 610 hectáreas (ha) (4). Para el mismo año Colombia, Chile, Ecuador y Bolivia, en conjunto obtuvieron rendimientos de 164 640 toneladas (t) en un área de 95 339 hectáreas (ha) (5).

En Ecuador, la cebada presenta una superficie sembrada de alrededor de las 43 974 hectáreas (ha) con una producción de 54 048 toneladas (t), donde Chimborazo, Cotopaxi y Pichincha presentan el 56% de la producción total de cebada (6), estos cultivos son considerados minifundios debido a que se cultiva en áreas menores de 1 hectárea (ha) en su mayoría (3).

El principal uso de la cebada en Ecuador es para la elaboración de machica y arroz de cebada, representan 88,3% del consumo de grano de cebada total en el país (7,8). Además, la cebada es utilizada para la elaboración de cerveza, y derivados (9).

A lo largo de la historia, la agricultura en especial el cultivo de cereales ha experimentado constantes cambios en beneficio de la sociedad (10). Estos cambios han implicado la mejora y perfeccionamiento de los instrumentos de trabajo a su vez, ha llevado a la reducción del tiempo de labores y a minimizar las pérdidas en el rendimiento agrícola (11).

La agricultura representa el 8% del Producto Interno Bruto (PIB) del país, y los agricultores contrinuyen con el 95% del PIB (12). Ante esta situación, Cervecería Nacional ha implementa un programa denominado “Siembra por Contrato”, en el que participan 11 provincias, que presentan aproximadamente el 30% de la población en situación de pobreza en el (13).

Durante el año 2016, la provincia de Chimborazo formó parte del programa “Siembra por Contrato”, la cual consiste en la garantía de compra del producto por parte de la cervecería local. Con un área sembrada de 553 ha de cebada iniciando con dos variedades Cañicapa y Metcalfe, en diferentes cantones(13). Para el año 2021, Cervecería Nacional proporcionó maquinaria como sembradoras, tractores y cosechadoras a los centros de acopio en Riobamba y Cayambe, permitiendo mejorar los procesos y costos de recolección de cosecha hasta en un 25%, mejorando así la productividad y reduciendo la pérdida en el cultivo mencionado (14).

Los productores partícipes del programa “Siembra por Contrato” tuvieron acceso a asesoría y acompañamiento durante todo el ciclo de cultivo, posteriormente recibieron insumos para los cultivos de cebada, maíz amarillo y blanco, arrocillo y almidón de papa, mediante convenios con diferentes empresas entre ellas Agropais, Agripac y entidades bancarias.

A nivel mundial los países productores de cebada a pesar de los rendimientos alcanzados han sufrido pérdidas de producción en la última década, llegando a más del 7% en la Unión Europea (UE) y Canadá (15). Para el año 2018 se registraron datos de Australia con -12,36% y en Rusia -13,37%, a su vez en UE, la producción fue menor a un 2,4% (5). Actualmente se tiene registrado pérdidas de hasta 67%. Además, la relación mundial de stock/consumo se ubica en torno al 15%, siendo ésta la más baja.

El presente estudio tuvo como objetivo identificar las características socioeconómicas de los productores en relación con la producción de cebada maltera en el programa “Siembra por contrato” en la provincia de Chimborazo. La información de interés fue recopilada utilizando una encuesta dirigida a productores. Los datos obtenidos fueron procesados mediante Análisis de Componentes Principales (PCA). Para identificar las fuentes que influyen en las pérdidas de cosecha mediante el uso de maquinaria combinada los datos obtenidos de campo se analizaron mediante el método de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS).

Estos métodos permitieron el análisis de datos múltiples es decir PCA es un método estadístico que permite simplificar la complejidad de espacios muestrales, mediante la agrupación de individuos con características similares (16). Por su parte, PLS predice un conjunto de variables dependientes de un gran conjunto de variables independientes y así identificar las fuentes que ocasionan las pérdidas de cebada maltera, creando de esta manera un modelo calibrado (17).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la Provincia de Chimborazo, Ecuador. Para la identificación de la situación actual de los 14 productores asociados al programa “Siembra por contrato” del año 2022, se aplicó una encuesta diseñada sobre información del ámbito social (instrucción académica, acceso a servicios básicos), institucional (asistencia técnica recibida), empresarial (personal, sistemas de cosecha), productivo (rendimiento, variedad cultivada), ambiental (prácticas de conservación de suelos), comercial (destino de la producción), transferencia tecnológica (prácticas agrícolas, adaptación de

tecnologías) y económico (Ingresos, costos de producción).

Además, se obtuvo información en campo, sobre las pérdidas naturales, pérdidas por maquinaria, y otras variables de efecto importantes como la pendiente, velocidad de la combinada, humedad del grano, impurezas y calibre del grano.

La metodología aplicada para cuantificar las pérdidas consistió en representar el lote como una tabla de ajedrez, en la cual se seleccionaron 22 puntos al azar y por cada punto se tomaron 3 submuestras, una en la zona de corte, otra en la zona de desecho y otra de la zona de la oruga. Se observó si dentro del cuadrante, se encontraban granos caídos y espigas, posteriormente se procedió a recogerlos y cuantificar el peso de los mismos. Toda la información obtenida fue analizada auxiliándose del software R para cada uno de los métodos estadísticos utilizados (PCA y PLS).

III. RESULTADOS

A) Análisis de Componentes Principales (PCA)

El análisis de componentes principales (PCA), permite simplificar la complejidad de espacios muestrales con muchas dimensiones conservando su información permitiendo identificar subagrupación de individuos con características similares (18, 19) al condensar la información de múltiples variables en solo unas pocas componentes. Se utiliza en diversas áreas académicas (20). Reduce la dimensionalidad de los datos al encontrar un número reducido de variables que expliquen la mayor cantidad posible de la variabilidad (21, 22).

El análisis PCA se utilizó con la finalidad de establecer la posible variabilidad en los agricultores partícipes en el programa “Siembra por Contrato” en la provincia de Chimborazo, con especial énfasis en la cosecha y poscosecha del cultivo de cebada maltera.

En la tabla 1 se visualiza que con seis componentes principales se pudo explicar un 82.42% de variabilidad total, permitiendo generar la agrupación de características similares de los productores partícipes en la investigación.

Tabla 1. Valores propios y porcentaje de la variabilidad explicada en los seis primeros componentes principales.

| | Variabilidad explicada (%) | Porcentaje de la variabilidad acumulada |
|--------|----------------------------|---|
| Comp 1 | 28.67 | 28.67 |
| Comp 2 | 18.11 | 46.78 |
| Comp 3 | 12.65 | 59.43 |
| Comp 4 | 9.24 | 68.67 |
| Comp 5 | 7.46 | 76.13 |
| Comp 6 | 6.29 | 82.42 |

En la Figura 1a, se observan las fuentes socioeconómicas que pueden generar pérdidas en el rendimiento del cultivo de cebada obtenidas de las 42 preguntas de la encuesta aplicada a productores de cebada a en Chimborazo.

En la Figura 1b, se visualiza la agrupación de los productores de acuerdo a características similares dando como resultado cuatro cluster y un valor atípico (productor 14 que posee características diferentes a los demás). El grupo A esta definido por fuentes como cantón, educación, ocupación, tenencia del lote, asistencia técnica, calificación de la mecanización, calificación de la maquina combinada y la integran los productores 5, 6, 9 y 10. En el cluster B se agrupan los productores 8, 12 y 13 definido por las fuentes variedades, precio de venta en kg, número de horas de trabajo, almacenamiento de la semilla de cebada, la cantidad de cebada cosechada determinando el rendimiento por lote, entre otras.

Mediante el análisis del grupo C se observa que esta integrado por los productores 3,7 y 11 quienes presentan características similares con base en las fuentes como: Tipo de suelo, edad, técnicas de preparación del suelo, etc. Finalmente, el cluster D determinada por fuentes como, técnicas de abonadura y pago del jornal agrupa a los productores 1, 2 y 4 de la provincia de Chimborazo.

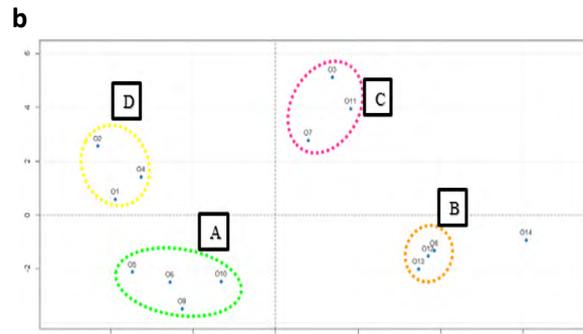
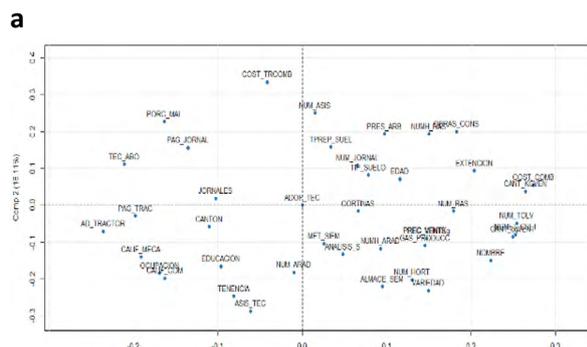


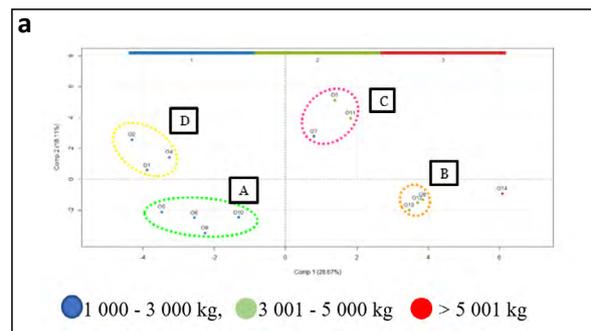
Figura 1. (a) Fuentes Socioeconómicas, (b) Score de Productores.

Cantidad de grano comercializado

Al analizar la Figura 2a, se evidencia que el grupo B junto con el productor 14, presentan un mayor porcentaje de grano comercializado (3 001 - 5 000 y >5 001 kg), en cambio en los grupos A y D los productores presentaron un bajo rendimiento (1 000 - 3 000 kg), independientemente de la variedad cosechada.

El programa “Siembra por contrato” distribuye diferentes tipos de semilla de cebada a los productores, dependiendo de las condiciones edafoclimáticas del lote, en la Figura 2a , se observa que en el grupo A se obtuvo una baja producción en la cosecha de la variedad Cañicapa (Figura 2b), a diferencia del grupo B que junto con el productor 14 mostraron buenos rendimientos al sembrar la variedad ABI Voyager (3 001 - 5 000 y > 5 001 kg comercializado).

En la Figura 2c, se se observa que en el cluster A, todos los productores presentan niveles de estudio superiores, a diferencia del cluster B y productor 14, quienes presentan niveles de estudio basico (8 y 14) y superior (12 y 13). En la Figura 2 d, se puede observar que en los clústers B y C junto con el productor 14, se dedicaron totalmente a las actividades agrícolas y sus rendimientos obtenidos fueron mayores al de los demás clústers quienes dedicaron menor tiempo al manejo del cultivo de cebada.



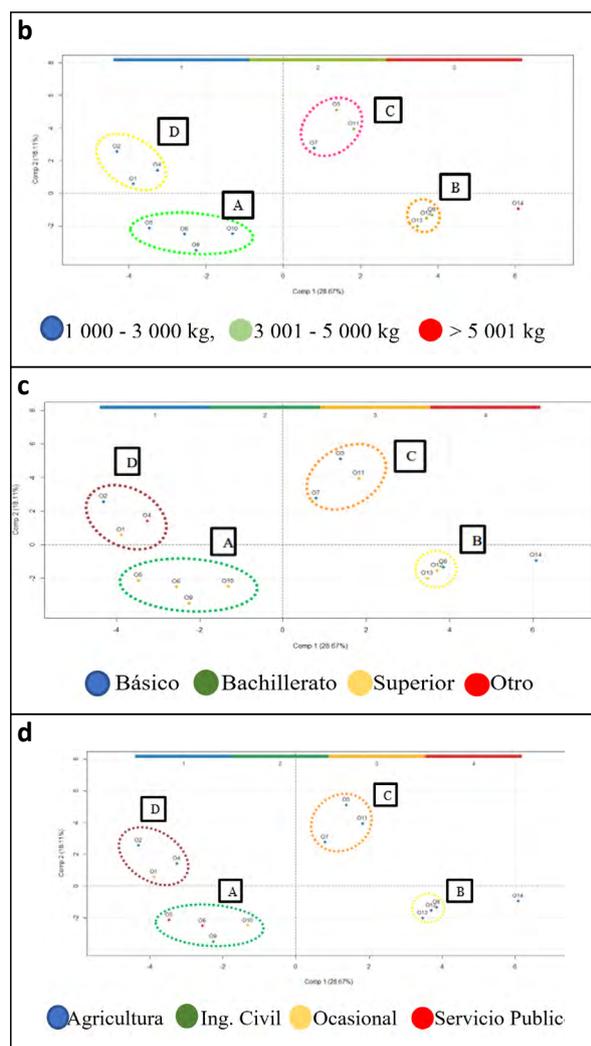


Figura 2. Agrupación de productores: (a) Cantidad de kg comercializada, (b) Variedad, (c) Educación, (d) Ocupación.

B. Análisis de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS)

Correlación de Spearman

Para construir el modelo multivariado, se aplicó el análisis de Spearman utilizando las variables de rendimiento, pérdidas naturales y pérdidas por maquinaria. Los resultados muestran que la correlación entre rendimiento y pérdidas naturales fue del 30%, mientras que, la correlación entre rendimiento y pérdidas por maquinaria fue del 26%. Por otro lado, la correlación entre pérdidas naturales y pérdidas por maquinaria fue del 12% (Tabla 2). Estos resultados indican una débil dependencia lineal positiva entre cada par de variables. Debido a esta relación, se procedió a realizar un modelo individual para cada variable evaluada.

Tabla 2. Correlaciones entre rendimiento, pérdidas naturales y pérdidas por maquinaria.

| | Rendimiento | Pérdidas Naturales | Pérdidas por maquinaria |
|-------------------------|-------------|--------------------|-------------------------|
| Rendimiento | 1 | 0.30 | 0.26 |
| Pérdidas Naturales | 0.30 | 1 | 0.12 |
| Pérdidas por Maquinaria | 0.26 | 0.12 | 1 |

C. Modelo multivariado PLS

Los datos obtenidos en campo y procesados en laboratorio para cada variable se consideraron como fuentes para determinar las pérdidas mediante el uso de maquinaria combinada indicadas a continuación:

Tabla 3. Fuentes para elaborar el diseño multivariado.

| | Fuente | Código |
|--|----------------------------------|------------------|
| Fuentes Alternas | Variedad | VARIEDAD |
| | Altitud | MSNM |
| | Velocidad de la combinada | V_COMBI |
| | Humedad del grano | H_GRANO |
| | Pendiente | PENDIENTE |
| | Impurezas | IMPUREZAS |
| | Calibre | CALIBRE |
| | Número de tallos | NUM_TALM2 |
| | Número de espigas | NUM_ESPIM2 |
| | Peso de granos | W_GRAM2 |
| Fuentes para rendimiento | Peso de espigas | W_ESPIM2 |
| | Altura del tallo | ALT_TALL |
| | Tamaño de la espiga | TAM_ESPIG |
| | Número de granos totales | N_GRANTM2 |
| | Número de granos fértiles | N_GRANFM2 |
| | Número de granos infértiles | N_GRAIFM2 |
| | Peso de granos al 12% de humedad | W_AJUST |
| | Número de granos caídos | (PN) PM_NGSM2 |
| | Número de espigas caídas | (PN) PM_NESM2 |
| | Peso de granos | (PN) PM_WGRAM2 |
| Fuentes para pérdidas naturales y por maquinaria | Peso de espigas | (PN) PM_WESM2 |
| | Número de granos fértiles | (PN) PM_NGRANF |
| | Número de granos infértiles | (PN) PM_NGRA-NIF |
| | Número de granos totales | (PN) PM_GRATM2 |
| | Peso de granos al 12% de humedad | (PN) PM_WAJUS |

D. Rendimiento

Con la elaboración del modelo multivariado (Tabla 4, 5), se observa un coeficiente de determinación de 1, que significa el 100% de la varianza, es decir, que presenta un buen ajuste proporcionando un modelo viable, mismo que fue centralizado y estandarizado, reduciendo las fuentes que estiman el rendimiento como son el peso de granos (m²) con un coeficiente de 9,99.

En la Figura 3 mediante el método de codo y un RMSEP equivalente a 0,03, como funciones del número de componentes, permitiendo la estabilidad del modelo con la fuente peso de granos (m²), misma que presenta un mayor porcentaje en la determinación del rendimiento de cebada.

Tabla 4. Diseño multivariado de Rendimiento VIP>1

| | X cumexpvar | Y cumexpvar | R ² | RMSE |
|-----|-------------|-------------|----------------|------|
| Cal | 100 | 100 | 1 | 0 |

Tabla 5. Resumen de las fuentes con VIP>1 para rendimiento

| | Número de tallos | Número de espigas | Peso del grano |
|----------------|------------------|-------------------|----------------|
| Coefficientes | -3,067036e-05 | 4,464684e-05 | 9,999998e+00 |
| Error estándar | 4,850369e-05 | 2,762529e-05 | 2,519833e-05 |

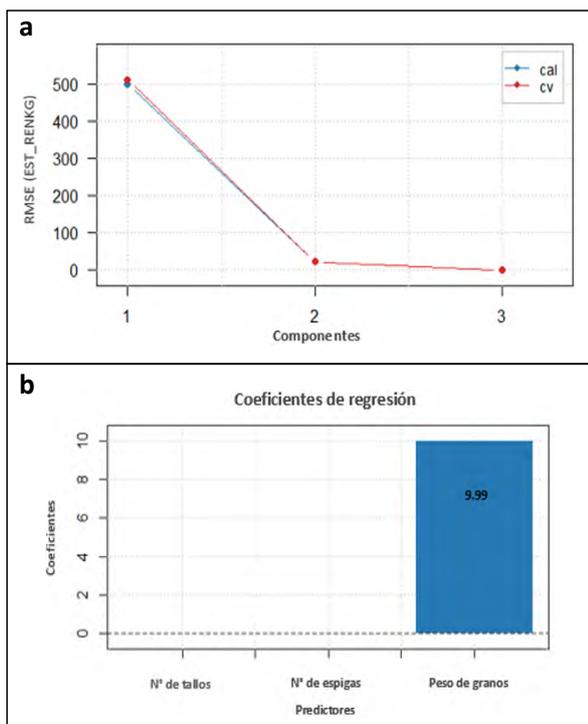


Figura 3. Pls Rendimiento (a) Curvas RMSE con validación cruzada (b) Regresión de coeficientes.

E. Pérdidas Naturales en cebada maltera

Antes de realizar la cosecha, se visualizó la existencia de grano en el suelo, debido a diversos factores como por ejemplo lluvias o la presencia de aves que causaran mermas en la producción. En la Tabla 6 con un coeficiente de determinación de 100%, se obtuvo un modelo fiable con VIP>1, determinado que las fuentes, peso de granos totales (m²) con un valor de 10 de su coeficiente (Tabla 7) mediante una matriz de 308 x 8, mismo que fue centralizado y estandarizado.

En la Figura 4 mediante el método del codo se evidenció una declinación en el punto 2 (número de granos fértiles en m²) hacia el punto 3 (peso de los granos) estabilizando el modelo, a su vez, en el gráfico de predicción los datos utilizados para la elaboración del modelo se encuentran correlacionados, donde los puntos se encuentran junto a la línea de tendencia.

Tabla 6. Diseño multivariado de Pérdidas Naturales con VIP>1

| | X cumexpvar | Y cumexpvar | R ² | RMSE |
|-----|-------------|-------------|----------------|------|
| Cal | 100 | 99,99447 | 1 | 0 |

Tabla 7. Resumen de las fuentes con VIP>1 para Pérdidas Naturales.

| | Número de granos fértiles | Número de granos totales | Peso del grano |
|----------------|---------------------------|--------------------------|----------------|
| Coefficientes | 0,0001752828 | -0,0001752684 | 10,0003456207 |
| Error estándar | 0,0001138895 | 0,0001203935 | 0,0103840365 |

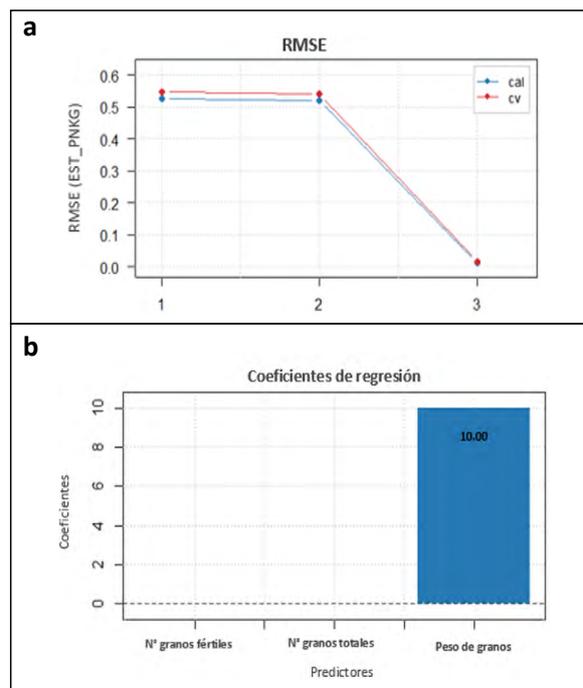


Figura 4. Pls Pérdidas Naturales (A) Curvas RMSE con validación cruzada (C) Regresión de coeficientes

E. Pérdidas por el uso de Maquinaria Combinada

Con el modelo elaborado para determinar pérdidas por el uso de maquinaria combinada, se puede evidenciar que las variables establecidas en X son menores a la variable en estudio Y, la cual representa el total de pérdidas por maquinaria en kg, con un coeficiente de determinación de 0,99 equivalente a un 99% de varianza con un ajuste perfecto, siendo un modelo muy fiable mismo que fue centralizado y estandarizado, para $VIP > 1$ (Tabla 8).

Al igual que en los modelos anteriores, el modelo multivariado logra reducir las fuentes de la Tabla 3, que de un conjunto de fuentes (Tabla 3), se reduzcan permitiendo estimar las pérdidas por maquinaria, donde el peso del grano (m^2) con un coeficiente de 9,99 (Tabla 9) es el de mayor importancia.

En la Figura 5 se constata la estabilidad del modelo, en predicciones se observa que todos los datos están correlacionados en la línea de tendencia central.

Tabla 8. Diseño multivariado de Pérdidas Naturales con $VIP > 1$

| | X cumexpvar | Y cumexpvar | R ² | RMSE |
|-----|-------------|-------------|----------------|-------|
| Cal | 88,53945 | 99,70795 | 0,997 | 4,771 |

Tabla 9. Resumen de las fuentes con $VIP > 1$ para Pérdidas por Maquinaria.

| | Número de granos totales | Peso de granos |
|----------------|--------------------------|----------------|
| Coefficientes | 0,05677043 | 9,99816560 |
| Error estándar | 0,15809779 | 0,06019622 |

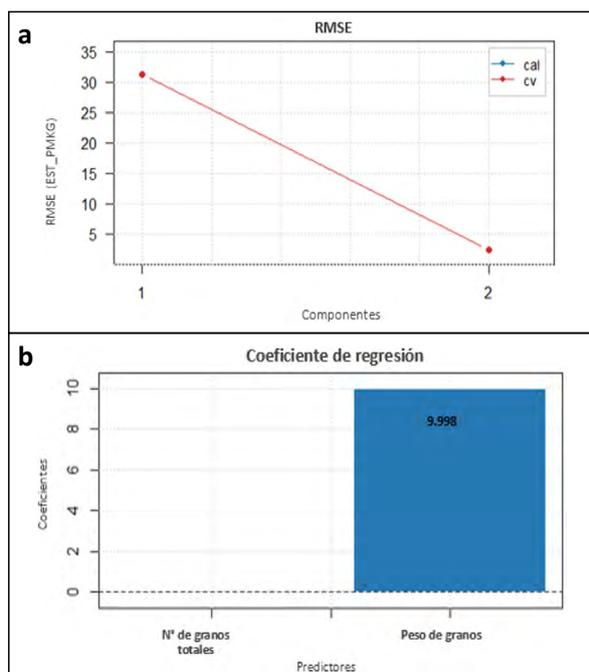


Figura 5. PLS Pérdidas Naturales (A) Curvas RMSE con validación cruzada (C) Regresión de coeficientes.

IV. DISCUSIÓN

Los productores obtuvieron mayores rendimientos en suelos franco arenosos, con la variedad ABI Voyager, en comparación con la variedad Cañicapa. Según Vimos M (23) menciona que, en la provincia de Chimborazo los suelos predominantes son de texturas franco arenoso (11,3 %) y franco limoso (9,8 %), predominando en los tres agroecosistemas la textura franca en un 84,6%, siendo estos suelos adecuados para el cultivo de cebada como se documenta en estudios realizados por Carrillo F y Minga F (12), quienes mencionan que los suelos arenosos y francos arenosos con buen drenaje y un pH de 5,5 a 7,5 son propicios para el cultivo de cebada.

Los resultados obtenidos muestran que, los productores ubicados en las zonas de Guamote y Riobamba obtuvieron menores ingresos, debido a que la cantidad de cebada cosechada, fue inferior a 3 000 kg. Además, estos productores optaron por cultivar la variedad Cañicapa, la cual presenta un porcentaje de almidón de 46,84, según el estudio de Valero C (24).

Otro factor que influyó en los resultados fue la tenencia del lote, ya que los productores poseían parcelas propias con un área de 2 a 3 hectáreas. Debido a ello, durante la etapa de cosecha, se pudo registrar un porcentaje mayor al 50% de malezas presentes en los cultivos, indicando una falta de control oportuno por parte de los productores. Esta situación pudo haber aumentado la probabilidad de infestación de la cebada por enfermedades durante la etapa de postcosecha, como señala el estudio realizado por Castiblanco L et al (25). Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar diversos factores en la producción de cebada. La cantidad cosechada, la elección de la variedad de cebada, el control de malezas y el manejo adecuado durante la etapa de postcosecha son elementos fundamentales que pueden afectar los ingresos de los productores.

Mediante los estudios realizados por Guerrero D et al y Poveda M (26:8), se ha determinado que las pérdidas de rendimiento en el cultivo de cebada son aproximadamente del 20% y están relacionadas con diversos factores, que incluyen el número de semillas por espiga, el peso del grano y el poder germinativo. Además, Carrillo F y Minga F concordando con Franco G (12:27), mencionan que las pérdidas pueden variar

dependiendo de la variedad de cebada utilizada, las condiciones climáticas y la virulencia de los virus que puedan afectar el cultivo.

En este estudio, se obtuvieron resultados respaldados por investigaciones previas que concuerdan con la influencia de estas variables en las pérdidas del rendimiento. Además, el comportamiento observado de las variedades Cañicapa y ABI Voyager, confirma la relevancia de considerar la elección de variedades en el cultivo de este importante cereal.

Las pérdidas naturales pueden ser ocasionados por cambios ambientales y fenológicos entre los que se incluyen sequías, heladas, granizo (28). En todo cultivo es inevitable que parte de los granos caigan al suelo, ya sea por desgrane natural o por circunstancias externas como plantas volcadas o inclemencias climáticas (29).

Los resultados mostrados en la Tabla 7 indican que el peso de granos (m²) es una fuente que afecta en mayor porcentaje a las pérdidas naturales, concordando con lo expuesto por Tapia R y Fries A (30), quien manifiesta que los granos llenos pueden desprenderse fácilmente y caer de la espiga antes de la cosecha, debido al peso que tienen si esta ha alcanzado su madurez fisiológica y ha sido sometida a algún tipo de estrés mecánico (vientos fuertes o lluvias intensas).

Las pérdidas de granos durante la cosecha pueden deberse a varios factores, como: la configuración del cabezal de la cosechadora, la velocidad de cosecha, la calidad del grano y la humedad del grano. Además, durante el transporte de la producción a través de la cosechadora, pueden ocurrir pérdidas debido a la manipulación inadecuada, a la falta de ajuste de la maquinaria y a la presencia de materiales en el cultivo (31).

Con base a la información proporcionada en la Tabla 9, se observa que el peso de los granos constituye una de las principales causas de pérdida en relación con el uso de maquinaria combinada durante la cosecha. Esto se debe a que las cosechadoras pueden ocasionar daños en los granos durante el proceso de recolección, lo que resulta en una disminución en el peso y la calidad de los granos recolectados. Por consiguiente, resulta de vital importancia tomar medidas para minimizar estas pérdidas, tales como ajustar la configuración del cabezal de la cosechadora y llevar a cabo inspecciones regulares del equipo

de cosecha, como se indica en el informe de Jacobs L y Quack L (32).

Según Ruiz-Altisent M (33) establece que, si la velocidad de la máquina es demasiado alta, el grano puede salir despedido y caer al suelo, si el ventilador genera aire muy fuerte el grano puede ser expulsado junto con la paja o la basura, en tanto que si esta es baja se puede acumular en la tolva un mayor porcentaje de impurezas y, si las zarandas están muy cerradas, evitan que pase muy poco grano, mientras que, si están demasiado abiertas, podría pasar demasiado grano ocasionando pérdidas en el proceso.

V. CONCLUSIONES

Mediante la información socioeconómica proporcionada por los productores de la provincia de Chimborazo, se pudo determinar que el nivel de educación, ocupación, la variedad de cebada, entre otras fueron las principales fuentes que influyeron en las pérdidas de rendimiento.

Al realizar el modelo PLS se logró definir pérdidas de 130,58 kg ha⁻¹ con un porcentaje de pérdidas por el uso de maquinaria de 5,96%, donde el rendimiento alcanzado fue de 2 511,68 kg ha⁻¹, y en pérdidas naturales 0,74 kg ha⁻¹.

El rendimiento de grano para las variedades ABI Voyager y Cañicapa está determinadas por el peso de granos y peso de espigas. Las pérdidas naturales, son influidas por el número de granos fértiles, el número de granos totales y el peso de los granos, mientras que con el uso de maquinaria combinada las pérdidas son generadas por el peso del grano y el peso de las espigas.

Se determinó mediante el modelo cuadrados mínimos parciales que la mayor fuente que afecta la disminución del rendimiento en el cultivo de cebada maltera es el peso del grano, independientemente de la variedad sembrada.

VI. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Empresa Cervecería Nacional conjuntamente con el grupo de investigación Agro – Cervecería Nacional, al Ing. Xavier Mera, Ing. Adriana Cuji, Ing. Stalin Cuaces, a los productores participantes en el programa “Siembra por Contrato” y al Sr Raúl Cargua.

V. REFERENCIAS

1. Baloch U. WHEAT Post-harvest Operations-Post-harvest Compendium. FAO. 2017;21. Obtenido de: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2013-es
2. Ponce L, Noroña P, Campaña D, Garófalo J, Coronel J, Jiménez C, et al. La cebada (*Hordeum vulgare* L.): Generalidades y variedades mejoradas para la Sierra ecuatoriana. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 2019. 56 p.
3. González M, Zamora M, Solano S. Evaluación agronómica y física en líneas avanzadas de cebada maltera. *Rev Mex Ciencias Agrícolas*. 2016;7:159–71. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i1.380>
4. Taner A, Muzaffer A, Fazil D. Barley: Post-harvest Operations. Food Agric Organ United Nations [Internet]. 2004;1–64. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P3-9965.pdf>
5. FAOSTAT_data_es_7-3-2023.pdf. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/>
6. INEC. Encuesta de superficie y producción continua. Espac - Inst Nac Estadística y Censos [Internet]. 2022;1–55. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Principales resultados-ESPAC_2021.pdf
7. Buendía SL. Universidad Internacional Del Ecuador. 2014;86. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/275/1/T-UIDE-0254.pdf>
8. Poveda M. Elaboración de cereal de cebada extruido listo para el consumo y estudio de factibilidad de industrialización del producto. 2006;135. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/713/1/82575.pdf>
9. Raigon F. Variables Tecnológicas que afectan a la calidad de la cebada para uso maltero. 2015; Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/31828/files/TAZ-TFG-2015-1142.pdf>
10. Bula A. Importancia de la agricultura en el desarrollo socio económico. Informe [Internet]. 2020;1–29. Disponible en: <https://observatorio.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2020/08/Importancia-de-la-agricultura-en-el-desarrollo-socio-economico.pdf>
11. Macías I, Barrera A, Ramírez L, Arzube M, Macías I, Barrera A, et al. Surgimiento y desarrollo de cosechadoras de cereales. Caso de estudio Cuba. *Rev Científica y Tecnológica UPSE* [Internet]. 2017 Mayo 25 [citado 2023 Abril 5];4(1):47–53. Disponible en: <https://incyt.upse.edu.ec/ciencia/revistas/index.php/rctu/article/view/241>
12. Carrillo F, Minga F. Caracterización agronómica de 16 variedades de cebada maltera realizadas en el centro experimental Tunshi. *Riobamba*. 2021;6(1):637–55.
13. Contrato SP. " Siembra Por Contrato " de Cervecería Nacional reactiva el agro ecuatoriano a través de acuerdos , capacitación , insumos y tecnificación agrícola. :3–7.
14. Amaguaya, F. "EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DE LÍNEAS DE CEBADA. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Riobamba. 2022; Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/17218>
15. Chaparro. JM, Devia . JR, Zea . JA. Evaluación de pérdidas de grano en cosecha de arroz con combinada. *Ing e Investig*. 1984;(8):14–24.
16. Aksic M, Tosti T, Sredojevic M, Jasminka M, Meland M, Natic M. Comparison of Sugar Profile between Leaves and Fruits of Blueberry and Strawberry Cultivars Grown. *Plants*. 2019;8:205.
17. Ruiz C. Modelo de Regresión PLS. *Univ Sevilla*. 2017;95.
18. Abdi H, Williams LJ. Principal component analysis. *wiley interdisciplinary reviews: computational statistics*. *Wiley Interdisciplinary Rev Comput Stat*. 2010;1–47.
19. Steffens F. What is principal components analysis? *Semin Princ components Anal Atmos Earth Sci*

- Pretoria, 1983, (Council Sci Ind Res Pretoria, Natl Program Weather Clim Atmos Res CSIR-S-334). 1983;26(3):3–16.
20. Vidal R and Sastry S. Generalized principal component analysis. *Interdiscip Appl Math.* 2016;40:1–566.
 21. Partridge M, Jabri M. Robust principal component analysis. *Neural Networks Signal Process - Proc IEEE Work.* 2000;1(May):289–98.
 22. Sanguansat P. Two-Dimensional Principal Component Analysis and Its Extensions. *Princ Compon Anal.* 2012;(2005).
 23. Vimos M. Evaluación del estado de degradación y de fertilidad según el uso del suelo en tres agroecosistemas. *Esc Super Politécnica Chimborazo.* 2017;162.
 24. Valero C. Sistemas de trilla y separación en cosechadoras de cereales. 2004;
 25. Castiblanco L, Miranda A, Valbuena L, Contreras R. El cultivo de la cebada en Colombia. 1972;(11):99 p. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19828>
 26. Guerrero D, Bernabé-González T, Cayetano-Catarino M, Adán-Díaz A, Torres-Pastrana MA. Cultivo de. *J Microbiol.* 2007;19(1969):1–3.
 27. Franco G, García M, Antía-Londoño G, Henao-Rojas J. Cosecha y manejo poscosecha. *Tecnologica para el Cultivo la mora (Rubus glaucus Benth)* [Internet]. 2020;297–325.
 28. Iniap. Cosecha y Poscosecha de Cebada. 2021;161–78.
 29. Vazquez J. Efecto de la modificación morfológica de las espigas en el rendimiento y componentes de rendimiento de líneas mutantes de cebada (*Hordeum vulgare* L.) obtenidas con irradiación gamma. Lima – Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 2019. pp.22-25. 30.
 30. Tapia R y Fries A. GUÍA DE CAMPO DE LOS CULTIVOS ANDINOS. Perú. 2007. pp. 69-96. ISBN 978-92-5-305682-8. Disponible en: <https://keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual-Library/Biodiversidad/71.pdf>
 31. Polanco F. Maquinaria y Mecanización Agrícola MAQUINARIA Y MECANIZACIÓN AGRÍCOLA. 2007;1–209.
 32. Jacobs L and Quack L. The end of the diesel subsidy: Distributional effects of a CO2-based energy tax reform. *Wirtschaftsdienst.* 2018;98(8):578–86.
 33. Ruiz-Altisent M. Cosechadoras grano. Su adaptación a las cosechas. *Rev Agric.* 1983;52:497–502.

Desempeño de un concentrador solar e influencia de la altura hidrodinámica de los tubos en el efecto termosifón

Performance of a solar concentrator and influence of the tube's hydrodynamic height on the termosiphon effect

 Joaquín Mateo Bustos Barragán*

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Física, Riobamba, Ecuador.

* joaquin.bustos@epoch.edu.ec

RESUMEN

El objetivo del artículo fue investigar el impacto de las uniones de los tubos de vacío en el efecto termosifón. Se analizó el efecto de las conexiones de los tubos en el calentador solar empleando dos disposiciones de alturas diferentes. Se simuló dichas configuraciones bajo las mismas condiciones con un software que nos permitió introducir datos relativos a la ciudad de Riobamba, la cual posee una latitud baja. El primer diseño se realizó insertando los tubos de vacío en la mitad del tanque mientras que en el segundo se colocó en el fondo del tanque. Para el análisis térmico-óptico, se empleó un reflector solar y se manipuló los datos obtenidos durante la simulación efectuada. Se encontró en el tanque, una mayor distribución de temperaturas para alturas hidrodinámicas mayores. Se determinaron valores aceptables de calor útil y pérdidas de calor. La posición de las uniones influyó directamente en el efecto termosifón ya que esta aumentaba la fuerza con la que el agua circulaba alrededor del tanque debido al mayor volumen de agua en esta configuración. Las pérdidas de calor evidenciaron la necesidad de emplear otro tipo de cobertor. Sin embargo, este modelo generó suficiente energía para ser empleada de manera doméstica.

Palabras claves: *Concentrador solar, Desempeño del colector, Altura Hidrodinámica.*

ABSTRACT

The aim of the article was to investigate the impact of vacuum tube joints on the thermosiphon effect. The effect of the tube connections in the solar heater was analyzed using two different height arrangements. These configurations were simulated under the same conditions through software that allowed us to enter data related to the city of Riobamba, which has a low latitude. The first design was made by inserting the vacuum tubes in the middle of the tank while in the second it was placed at the bottom of the tank. For the thermal-optical analysis, a solar reflector was used and the data obtained during the simulation was manipulated. A greater temperature distribution was found in the tank for higher hydrodynamic heights. Acceptable values of useful heat and heat losses were determined. The position of the joints directly influenced the thermosiphon effect since it increased the force with which the water circulated the tank due to the greater volume of water in this configuration. The heat losses evidenced the need to use another type of cover. However, this model generated enough energy to be used domestically.

Keywords: *Solar concentrator, Colector performance, Hydrodynamic Height.*

I. INTRODUCCIÓN

El calentador solar es un dispositivo cuya función consiste en coleccionar radiación solar directa y difusa para un uso tanto doméstico como industrial (1). Los colectores solares de tubos al vacío son una fila de tubos paralelos generalmente de vidrio transparente. Cada uno de estos tubos contiene dentro un tubo absorbente cuya recubierta tiene una pintura dada. El espacio entre los dos tubos es vaciado de tal forma que no contenga aire (2). Estos tubos presentan un efecto termosifón o empuje de Arquímedes, donde el agua de mayor temperatura que colinda con las paredes del tubo interno calentado sube hasta el reservorio y el agua fría del centro del tubo desciende debido a la diferencia entre sus densidades (3). En los colectores solares de tubos de vacío la convección es el principal modo por el cual el calor es distribuido a través del agua. El calor se transmite por convección cuando este es transportado de un lugar a otro a través de partículas en movimiento en la materia (4). La radiación es la transferencia de calor a través de ondas electromagnéticas (5), cuando los cuerpos absorben esta energía elevan su temperatura. Para analizar el desempeño del concentrador solar se introdujo un reflector solar cilindro parabólico. Un reflector cilindro-parabólico es un cilindro cuya sección transversal tiene la forma de una parábola y se encarga de concentrar la radiación solar en una superficie o receptor (6). La radiación total absorbida por los tubos es calculada mediante el modelo HDKR. En este modelo se considera la radiación del horizonte agregando un factor de corrección a la radiación isotrópica difusa (7). La presión hidrodinámica de un fluido está directamente relacionada con la altura de este. Es decir, mientras más altura exista para un cuerpo en un fluido este experimentará mayor presión. De esta forma, se analizan las diferencias de temperaturas en el tanque obtenidas con tubos de vacío dispuestos en diferentes sectores del concentrador solar. El calor útil es energía térmica que puede ser empleada de manera doméstica (8,9). Valores apropiados de calor útil nos permitirán poder emplear esta fuente de energía limpia en lugar de otros medios contaminantes

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio, la unidad de análisis son los datos de radiación global obtenidos a través de los piranómetros de la ESPOCH para el 5 de

enero, 7 de enero y 14 de noviembre del 2021 de la ciudad de Riobamba. Se eligieron distintas fechas para considerar la variación del ángulo de incidencia de los rayos solares a lo largo del año. El colector solar empleado fue modelado y diseñado en SolidWorks al igual que el reflector. El Software fue elegido debido a su precisión a la hora de realizar simulaciones.

• Cálculo de intensidad solar sobre los tubos inclinados

La intensidad solar fue hallada mediante el modelo HDKR, que nos ofrece factores de corrección exactos para tubos de vacío inclinados a diferentes ángulos β (9). La relación (1) nos da dicha intensidad, donde A_i el índice anisotrópico, f el factor modulante, R_b el factor geométrico, I_b la radiación directa, I_d la radiación difusa, P_g la densidad del suelo.

(1)

$$I_T = (I_b + I_d A_i) R_b + I_d (1 - A_i) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \left(1 + f \operatorname{Sen}^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right) + I_{pg} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$$

La correlación de Erbs (10) nos permitió hallar el valor de la radiación directa en función del valor del índice de claridad horario k_T .

(2)

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.09 k_T, \wedge k_T \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604 k_T + 4.388 k_T^2 \\ - 16.638 k_T^3 + 12.336 k_T^4, \wedge 0.22 < k_T \leq 0.8 \\ 0.165, \wedge k_T > 0.8 \end{cases}$$

El índice de claridad horario k_T se define como la fracción entre la radiación total I y extraterrestre en una superficie horizontal I_o (11). Por su parte la radiación extraterrestre sobre una superficie horizontal queda definido según la fecha y las características geográficas del lugar elegido (12). La radiación directa se halló sustrayendo el valor de la radiación total sobre una superficie horizontal con el valor de la radiación difusa.

(3)

$$I_o = \frac{12 \times 360}{\pi} G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360 n}{365} \right) \times$$

$$\left[\cos \phi \cos \delta (\operatorname{sen} \omega_2 - \operatorname{sen} \omega_1) + \frac{\pi (\omega_2 - \omega_1)}{180} \operatorname{sen} \phi \operatorname{sen} \delta \right]$$

Se eligió un ángulo de inclinación de 10° debido a que las latitudes en Riobamba son bajas, obteniendo los resultados de la tabla 1, 2 y 3.

| Horas | $I_o(J/m^2)$ | k_T | $I_d(J/m^2)$ | $I_b(J/m^2)$ | A_i | f | $I_T(J/m^2)$ |
|-------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| 9 a.m. – 10 a.m. | 3764978,998 | 0,00012597 | 474,270623 | 0,005 | 1,42817E-09 | 0,0033671 | 472,835137 |
| 10 a.m. – 11 a.m. | 4375085,067 | 0,000245045 | 1072,06836 | 0,024 | 5,40423E-09 | 0,00469617 | 1068,83651 |
| 11 a.m. – 12 p.m. | 4690899,208 | 0,000136891 | 642,136089 | 0,008 | 1,68653E-09 | 0,00351002 | 640,194357 |
| 12 p.m. – 1 p.m. | 4690899,208 | 7,96225E-05 | 373,498323 | 0,003 | 5,70576E-10 | 0,00267694 | 372,366793 |
| 1 p.m. – 2 p.m. | 4375085,067 | 6,82343E-05 | 298,529167 | 0,002 | 4,19033E-10 | 0,00247812 | 297,624314 |
| 2 p.m. – 3 p.m. | 3764978,998 | 0,000107325 | 404,073097 | 0,004 | 1,03668E-09 | 0,00310794 | 402,849441 |
| 3 p.m. – 4 p.m. | 2902158,72 | 4,998E-05 | 145,049348 | 0,001 | 2,2482E-10 | 0,0021209 | 144,609284 |
| 4 p.m. – 5 p.m. | 1845424,01 | 0,000307999 | 568,373244 | 0,016 | 8,53771E-09 | 0,00526497 | 566,657411 |
| 5 p.m. – 6 p.m. | 666789,5913 | 0,000101627 | 67,7633802 | 0,001 | 9,29529E-10 | 0,00302431 | 67,5581035 |

Tabla 1. Coeficientes y datos de radiación para un colector inclinado a 10° el 05-01-2021.

| Horas | $I_o(J/m^2)$ | k_T | $I_d(J/m^2)$ | $I_b(J/m^2)$ | A_i | f | $I_T(J/m^2)$ |
|-------------------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| 11:00:09 a.m. - 12:00:09 p.m. | 4697456,092 | 0,000118386 | 556,105075 | 0,006 | 1,26136E-09 | 0,00326415 | 554,422479 |
| 12:00:09 p.m. - 1:00:10 p.m. | 4697456,092 | 0,00024721 | 1161,23116 | 0,026 | 5,50014E-09 | 0,00471687 | 1157,73218 |
| 12:00:09 p.m. - 1:00:10 p.m. | 4381158,132 | 0,000278959 | 1222,13232 | 0,031 | 7,00363E-09 | 0,00501062 | 1218,45186 |

Tabla 2. Coeficientes y datos de radiación para un colector inclinado a 10° el 07-01-2021.

| Horas | $I_o(J/m^2)$ | k_T | $I_d(J/m^2)$ | $I_b(J/m^2)$ | A_i | f | $I_T(J/m^2)$ |
|-------------------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| 11:00:09 a.m. - 12:00:09 p.m. | 4774559,032 | 0,000198082 | 945,73714 | 0,017 | 3,53128E-09 | 0,00422225 | 942,883103 |
| 12:00:09 p.m. - 1:00:10 p.m. | 4774559,032 | 0,000227592 | 1086,62874 | 0,022 | 4,66183E-09 | 0,00452584 | 1083,35264 |
| 1:00:10 p.m. - 2:00:09 p.m. | 4452250,96 | 0,000259402 | 1154,89604 | 0,027 | 6,05605E-09 | 0,00483179 | 1151,41609 |

Tabla 3. Coeficientes y datos de radiación para un colector inclinado a 10° el 14-09-2021.

• Simulación

Con la ayuda de Flowsimulation en Solidworks, se introduce los datos de entrada para simular. La tabla 4 resume los datos ingresados. Se creó un proyecto con la herramienta Wizard en el simulador. Ahí, se eligió como sistema de unidades el SI. Luego, como tipo de análisis, se eligió análisis interno. En cuanto a las características físicas, se marcó conducción de calor en sólidos. Aparte, en el estudio se especificó que es dependiente del tiempo, que incluye efectos gravitacionales y de radiación. El modelo de radiación fue de tipo transferencia discreta. La radiación solar se

definió según la dirección e intensidad de los rayos y también en función del ángulo azimutal y la altitud. El tiempo de simulación fue desde las 11 a.m. hasta las 1 p.m.

| Variable | Valor |
|----------------------------|--------|
| Temperatura del sólido (K) | 293 |
| Presión (hPa) | 122 |
| Velocidad del viento (m/s) | 5 |
| Temperatura del cielo (K) | 276.15 |

Tabla 4. Datos de entrada.

El concentrador solar fue diseñado con 20 tubos de borosilicato y 20 tubos internos de nitrato de

aluminio de 176.38 cm. Estos, se conectaron a un tanque con agua. El reflector se modeló como una chapa metálica. Los puntos que corresponden a la altura de 28 cm de los tubos al techo del tanque son: A', B', D' Y C'. Los otros puntos corresponden a la unión con altura de 18.38 cm. Estos distintos modelos de unión se muestran en la Figura 1.

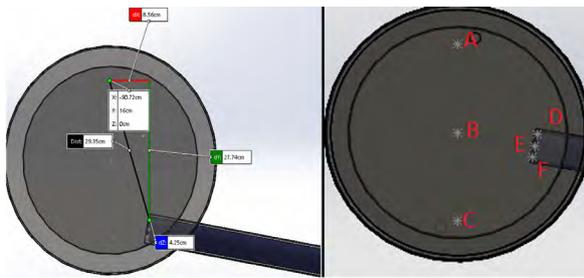


Figura 1. a) Disposiciones de los tubos en el tanque. b) Puntos empleados Para la recolección de datos

En la última simulación, se colocó un reflector encarando al oeste, de tal forma que reflejará los rayos entre las 9:00 a.m. y 10:00 a.m. el 5 de noviembre del 2021. Los resultados de este proceso se emplearon para analizar el desempeño del sistema.

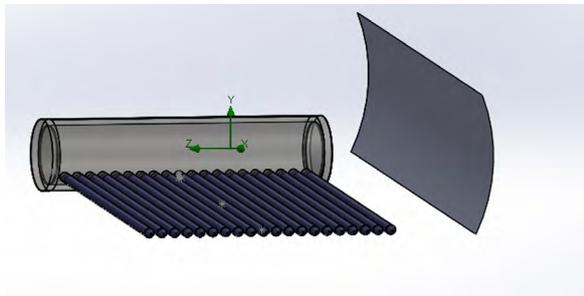


Figura 2. Colector solar con reflector solar.

| Parámetros | Valores |
|-----------------------|---------|
| Ángulo de la parábola | 25° |

Tabla 5. Valor del ángulo de curvatura del reflector.

• Análisis del desempeño del colector

El análisis del desempeño del colector solar se realizó el 5 de enero del 2021 entre las 9:00 a.m. y 10:00 a.m. Las horas elegidas se deben a que a estas horas tenemos un ángulo de incidencia en donde los haces de luz no inciden perpendicularmente a los tubos y por ende el reflector posee un papel clave en el aumento de su rendimiento. Al mediodía resultó inútil colocar el reflector debajo de los tubos ya que la sombra generada sobre el mismo era lo suficientemente grande para que el dispositivo no funcionara

adecuadamente. Los resultados esperados a partir del mediodía se consideraron semejantes a los obtenidos en la mañana, por lo que se decidió omitir estas simulaciones. Se eligió una fecha para analizar el desempeño del colector debido a la complejidad de la simulación, lo cual presentaba problemas grandes en términos de tiempo y rendimiento del ordenador. Las ecuaciones empleadas para analizar el desempeño del colector solar son las siguientes.

$$Re = \frac{v \rho d}{\mu_f} \quad (4)$$

$$Nu = \frac{h_w D_{co}}{k} \quad (5)$$

$$= \pi D_{co} L h_w (T_{co} - T_a) + \epsilon \pi D_{co} L \sigma (T_{co}^4 - T_{sky}^4) \quad (6)$$

$$T_{ci} = Q_{loos} \ln \left(\frac{D_{co}}{D_{ci}} \right) \frac{1}{2\pi k_c L} + T_{co} \quad (7)$$

$$U_L = \frac{Q_{loos}}{A_r (T_r - T_a)} \quad (8)$$

$$A_r = 2\pi r l \quad (9)$$

$$A_a = W * L \quad (10)$$

$$F = \frac{U_o}{U_L} = \frac{\frac{1}{U_L} + \frac{D_o}{h_{fi} D_i} + D_o \ln \left(\frac{D_o}{D_i} \right) \left[2k \right]^{-1}}{U_L} \quad (11)$$

$$F' = \frac{F_R}{F} = \frac{\dot{m} C_p}{A_r U_L F} \left[1 - \exp \left(\frac{-A_r U_L F}{\dot{m} C_p} \right) \right] \quad (12)$$

$$F_R = F' F \quad (13)$$

$$S = I_T \rho \gamma \tau \alpha K_{\gamma \tau \alpha} \quad (14)$$

$$Q_u = F_R A_a \left[S - \frac{A_r}{A_a} U_L (T_r - T_a) \right] \quad (15)$$

Con Re el número de Reynolds (13), Nu el número de Nusselt (14), Q_{loos} la pérdida de calor (15), T_{ci} la temperatura interna del cobertor (16), U_L el coeficiente de pérdida (17), F la eficiencia del colector solar (18), F' factor de flujo del colector solar (19), F_R el factor de eliminación de calor (20), S la radiación absorbida (21), Q_u el calor útil (22).

III. RESULTADOS

Resultados del 14 de noviembre del 2021

Los resultados obtenidos, ilustrados en la Figura 3 y 4, muestran mayores valores de temperatura y velocidad de salida en el tanque para uniones de tubos cercanas al fondo del tanque.

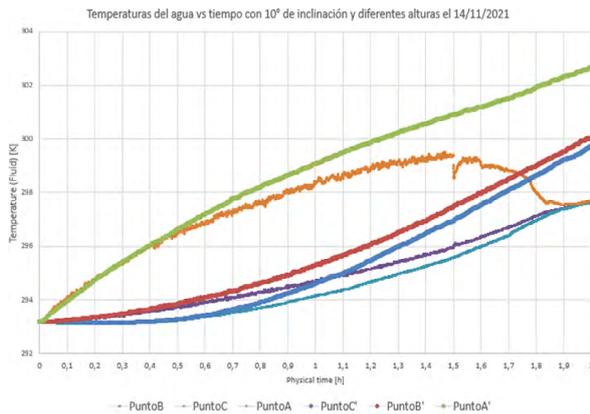


Figura 3. Temperaturas en el tanque para diferentes uniones de tubos el 14/11/2021.



Figura 4. Velocidades de salida del agua para tubos a 10° y mayor altura el 14/11/2021.

La distribución de temperaturas entre estas dos configuraciones se observa a más detalle en la Figura 5.

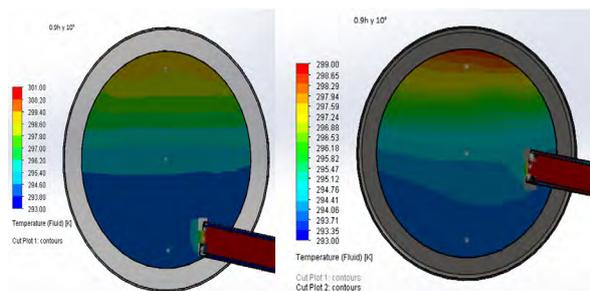


Figura 5. a) Distribuciones de temperaturas con tubos colocados en el fondo del tanque. b) Distribuciones de temperaturas con tubos colocados en medio del tanque.

Resultados del 5 de enero del 2021

Los resultados obtenidos, ilustrados en la Figura 6 y 7, muestran nuevamente mayores valores de temperatura y velocidad de salida en el tanque para uniones de tubos cercanas al fondo del tanque. Sin embargo, la temperatura en el punto A y A', tuvieron valores semejantes.

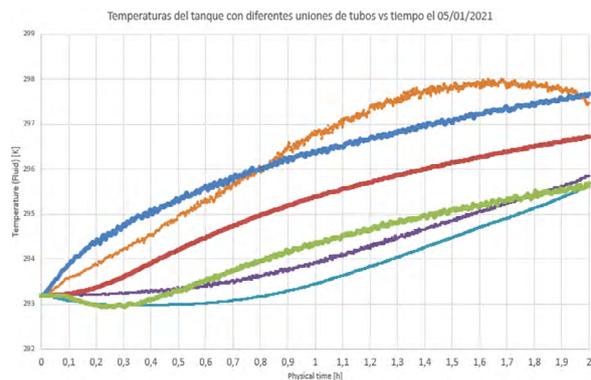


Figura 6. Temperaturas en el tanque para diferentes uniones de tubos el 05/01/2021.

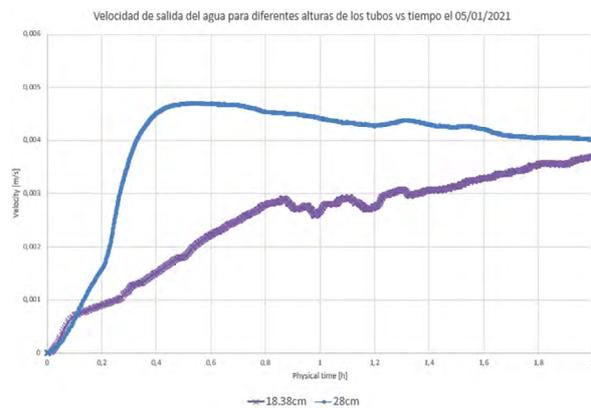


Figura 7. Velocidades de salida del agua para tubos a 10° y mayor altura el 05/01/2021.

La distribución de temperaturas entre estas dos configuraciones se observa a más detalle en la Figura 8.

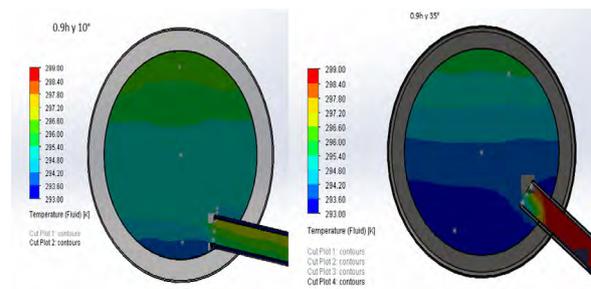


Figura 8. a) Distribuciones de temperaturas con tubos colocados en el fondo del tanque. b) Distribuciones de temperaturas con tubos colocados en medio del tanque.

• **Resultados del 7 de enero del 2021**

Los resultados obtenidos, ilustrados en la Figura 9 y 10, muestran, al igual que en los resultados previos, valores de temperatura y velocidad de salida en el tanque para uniones de tubos cercanas al fondo del tanque.

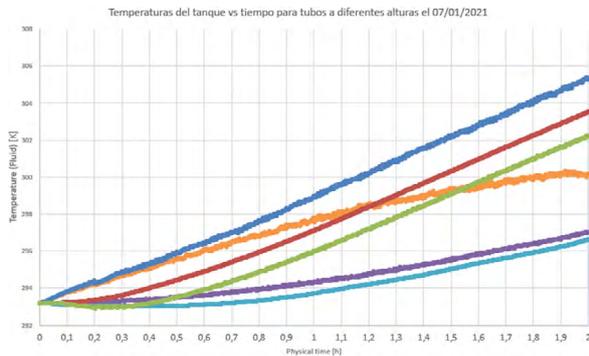


Figura 9. Temperaturas en el tanque para diferentes uniones de tubos el 07/01/2021.

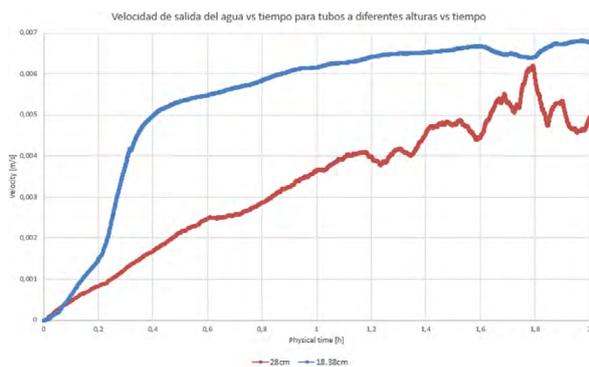


Figura 10. Velocidades de salida del agua para tubos a 10° y mayor altura el 07/01/2021

La distribución de temperaturas entre estas dos configuraciones se observa en la Figura 11.

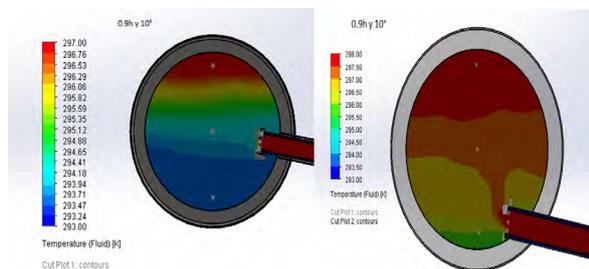


Figura 11. a) Distribuciones de temperaturas con tubos colocados en el medio del tanque. b) Distribuciones de temperaturas con tubos colocados en el fondo del tanque.

• **Análisis del desempeño del colector solar**

Los cálculos de eficiencia se realizaron entre las 9:00 a.m.-10:00 a.m. del colector solar con reflector el día 05/1/2021.

1. Coeficiente de pérdida

Para calcular el coeficiente de pérdida se tomó en cuenta las dimensiones y temperaturas del cobertor y absorbedor. El espesor y radio externo del nitrato de aluminio son de 0.21 cm y 2.4 cm. El tubo de borosilicato, posee un radio de 3 cm con un espesor de 0.2 cm y con las temperaturas registradas posee una emisividad de 0.88.

2. Coeficiente de transferencia del viento

Se obtuvo el número de Reynolds para la temperatura promedio entre el aire y el borosilicato.

$$(16)$$

$$Re = \frac{v \rho d}{\mu_f} = \frac{5 \text{ m/s} * 0.88 \text{ kg/m}^3 * 0.06 \text{ m}}{1.78 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2} = 14831.46$$

Dado que el número de Reynolds es mayor 1000 y menor a 50000, usamos la expresión del número de Nusselt para encontrar el coeficiente de transferencia del viento.

$$Nu = \frac{h_w D_{co}}{k} = 0.30 (14831.46)^{0.6} = 95.46 \quad (17)$$

$$(18)$$

$$h_w = 95.46 = \frac{k}{D_{co}} = 95.46 \frac{0.025 \text{ W/mK}}{0.06 \text{ m}} = 39.77 \text{ W/m}^2\text{K}$$

• **Pérdidas de calor**

Con el coeficiente de transferencia del viento se calculó las pérdidas de calor del colector solar. Donde D_{co} es el diámetro del cobertor, T_{co} la temperatura del cobertor, T_a la temperatura ambiente, T_{sky} la temperatura del cielo, ϵ la emisividad.

$$(19)$$

$$\pi D_{co} L h_w (T_{co} - T_a) + \epsilon \pi D_{co} L \sigma (T_{co}^4 - T_{sky}^4)$$

$$(20)$$

$$Q_{loss} = \pi D_{co} L h_w (T_{co} - T_a) + \epsilon \pi D_{co} L \sigma (T_{co}^4 - T_{sky}^4)$$

$$Q_{loss} = 0.06 \text{ m} * 1.764 \text{ m} * 39.775 \text{ W/m}^2\text{K} * (297.485 \text{ K} - 293.2 \text{ K}) + 0.88 \pi * 0.06 * 1.764 \text{ m} * 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 ((297.485 \text{ K})^4 - (275 \text{ K})^4)$$

$$(21)$$

$$Q_{loss} = 91.72 \text{ W}$$

• **Temperatura dentro del cobertor**

Con las pérdidas de calor, podemos hallar la temperatura en el interior del cobertor mediante la siguiente expresión.

$$T_{ci} = Q_{loss} \ln\left(\frac{D_{co}}{D_{ci}}\right) \frac{1}{2\pi K_c L} + T_{co} \quad (22)$$

$$T_{ci} = 91.72 \text{ W} * \ln\left(\frac{0.06 \text{ m}}{0.056 \text{ m}}\right) \frac{1}{2\pi * 1.2 \text{ W/mK} * 1.764 \text{ m}} + 297.485 \text{ K} \quad (23)$$

$$T_{ci} = 297.961 \text{ K} \quad (24)$$

• **Cálculo coeficiente de pérdida**

$$U_L = \frac{Q_{loss}}{A_r (T_r - T_a)} = \frac{Q_{loss}}{2\pi r l (T_r - T_a)} \quad (25)$$

$$U_L = \frac{91.72 \text{ W}}{2\pi * 0.024 \text{ m} * 1.764 \text{ m} (302.558 \text{ K} - 293.2 \text{ K})} = \frac{36.84 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \quad (26)$$

2. Calor útil y eficiencia del colector

• **Área de apertura**

El área del receptor lo calculamos como el área de un cilindro.

$$A_r = 2\pi r l = 2\pi * 0.024 \text{ m} * 1.764 \text{ m} = 0.266 \text{ m}^2 \quad (27)$$

El área de apertura del reflector la calculamos con la siguiente ecuación. En donde W es el ancho y L es el largo.

$$A_o = W * L = 1.22 \text{ m} * 1.764 \text{ m} = 2.15 \text{ m}^2 \quad (28)$$

• **Factor de eliminación de calor**

Calculamos primero la eficiencia del colector solar.

$$F = \frac{U_o}{U_L} = \frac{\left(\frac{1}{U_L} + \frac{D_o}{h_{fi} D_i} + \frac{D_o}{2K} \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)\right)^{-1}}{U_L} \quad (29)$$

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor del agua dentro del receptor h_{fi} empleamos el número de Nusselt.

$$Re = \frac{v p d}{U_f} = \frac{0.0039 \text{ m/s} * 1000 \text{ kg/m}^3 * 0.048 \text{ m}}{0.00046 \text{ Ns/m}^2} = 406.96 \quad (30)$$

$$Nu = 0.40 + 0.54 (406.96)^{0.52} = 12.68 \quad (31)$$

$$Nu = \frac{h_{fi} D_o}{k} \quad (32)$$

$$h_{fi} = Nu \frac{k}{D_o} = 12.68 \frac{0.598 \text{ W/mK}}{0.048 \text{ m}} = 158.03 \text{ W/m}^2 \text{ K} \quad (33)$$

Con h_{fi} , procedemos a calcular F .

$$F = \frac{\left(\frac{1}{36.84 \text{ W/m}^2 \text{ K}} + \frac{0.048 \text{ m}}{158.03 \text{ W/m}^2 \text{ K} * 0.046 \text{ m}}\right)^{-1}}{36.84 \text{ W/m}^2 \text{ K}} \quad (34)$$

$$F = \frac{0.048 \text{ m} / (2 * 170.0 \text{ W/mK}) * \ln\left(\frac{0.048 \text{ m}}{0.046 \text{ m}}\right)}{36.84 \text{ W/m}^2 \text{ K}} \quad (35)$$

$$F = 0.804 \quad (35)$$

$$F' = \frac{F_R}{F} = \frac{\dot{m} C_p}{A_r U_L F} \left[1 - \exp\left(\frac{-A_r U_L F}{\dot{m} C_p}\right) \right] \quad (36)$$

Para obtener el flujo másico realizamos la derivada de la masa respecto al tiempo. Dado que la densidad se tomó como constante, el volumen varía en función del área A del tubo interno y el promedio de la velocidad del agua v .

$$\dot{m} = \frac{d_m}{d_t} = \frac{d(\rho V)}{d_t} = \frac{\rho d(V)}{d_t} = \rho v A \quad (37)$$

$$= 1000 \text{ Kg/m}^3 * 0.0039 \text{ m/s} * \pi * (0.024 \text{ m})^2$$

$$\dot{m} = 0.00705 \text{ kg/s} \quad (38)$$

$$F' = \frac{0.00705 \text{ kg/s} * 4185.5 \text{ J/kgK}}{0.266 \text{ m}^2 * 36.84 \text{ W/m}^2\text{K} * 0.804} \left[1 - \exp \left(\frac{-0.266 \text{ m}^2 * 36.84 \text{ W/m}^2\text{K} * 0.804}{0.00705 \text{ kg/s} * 4185.5 \text{ J/kg}^\circ\text{C}} \right) \right] \quad (39)$$

$$F' = 0.878 \quad (40)$$

$$F_R = F' F = 0.878 * 0.804 = 0.706 \quad (41)$$

3. Radiación absorbida

La primera parte del cálculo es hallar el producto KL, que es el coeficiente de extinción por el espesor del tubo. El borosilicato tiene un coeficiente de extinción de $K = 16.1 \text{ m}^{-1}$ (23) y el tubo tiene un espesor de 0.2 cm.

$$KL = 16.1 \text{ m}^{-1} * 0.002 \text{ m} = 0.032 \quad (42)$$

Para valores de KL de 0.032 y un ángulo de incidencia de 40° , tenemos una transmitancia de $\tau = 0.87$ (24). Para ángulos de incidencia menores o iguales a 40° , la razón entre la absorbancia y absorbancia normal de la pintura se aproxima a 1 (25).

$$\frac{\alpha}{\alpha_n} = 0.97 \quad (43)$$

Tomando en cuenta que la absorbancia normal equivale a 0.93, podemos hallar la absorbancia de la pintura.

$$\alpha = 0.97 * 0.93 = 0.90 \quad (44)$$

Entonces, tenemos el siguiente producto transmitancia-absorbancia (26).

$$\tau\alpha = 1.01 * 0.87 * 0.90 = 0.79 \quad (45)$$

Se calculó el factor de intercepción γ como la fracción entre el porcentaje de radiación

absorbida por el tubo y la intensidad reflejada por el reflector (27). La fracción de radiación absorbida por el receptor fue de 560.738 W/m^2 y la intensidad reflejada fue de 867.288 W/m^2 , dándonos un factor de intercepción de 0.65.

$$S = I_T \rho \gamma \tau \alpha K_{\gamma\tau\alpha} \quad (46)$$

$$(47)$$

$$S = 472,835 \text{ W/m}^2 * 0.8 * 0.65 * 0.79 * \cos(39.27)$$

En donde el último término representa el área efectiva del reflector, dándonos el siguiente resultado.

$$S = 150.38 \text{ W/m}^2 \quad (48)$$

Con los datos anteriores podemos calcular el calor útil mediante la siguiente ecuación.

$$Q_u = F_R A_\alpha \left[S - \frac{A_r}{A_\alpha} U_L (T_R - T_\alpha) \right] \quad (49)$$

$$(50)$$

$$Q_u = 0.706 * 2.15 \text{ m}^2 \left[150.38 \text{ W/m}^2 - \frac{0.266 \text{ m}^2}{2.15 \text{ m}^2} 36.84 \text{ W/m}^2\text{K} (302.558 \text{ K} - 293.2 \text{ K}) \right]$$

$$Q_u = 163.46 \text{ W} \quad (51)$$

Con los cálculos anteriores se observa que por tubo tenemos una pérdida de 91.72 W y un calor útil de 163.46 W. Tomando en cuenta que nuestro colector posee 20 tubos equivale a 3269.2 W en el periodo de 9:00 a.m. a 10:00 a.m. lo cual es energía que se puede emplear de manera práctica.

IV. DISCUSIÓN

La distribución de temperatura es mayor con uniones cercanas al fondo del tanque ya que la presión del agua es mayor en este punto. El volumen de agua por encima de los tubos es más grande y por ende la velocidad con la que el fluido caliente se distribuye aumenta

considerablemente. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Yedilkhan, A; et al. (28) los cuales publicaron un artículo titulado “Justificación matemática de los principales parámetros del efecto termosifón para sistemas de calentamiento solar”. Este estudio muestra resultados en donde la presión hidrodinámica del calentador aumenta casi linealmente en función de la altura de los tubos conectados al tanque. Wang, Kun; et al. (29) en el artículo titulado “Efectos de flotabilidad en la transferencia de calor por convección de CO₂ supercrítico y tensión térmica en receptores cilindro-parabólicos bajo una distribución de flujo solar no uniforme” demostraron como la transferencia de calor en el fondo del tubo aumentaba y en el techo disminuía, lo cual es nuevamente consistente con los resultados obtenidos por el presente artículo. Por ende, las uniones deben ser instaladas en el fondo del tanque para obtener mejoras en el desempeño del dispositivo. Los resultados de pérdidas de calor fueron significativos comparándolos con los obtenidos por Bellos, E; et al (30) en el artículo llamado “Investigación de la eficiencia óptica y térmica de un colector cilindro-parabólico”. Se observan pérdidas de calor mayores debido a que el modificador angular óptico es más alto y las dimensiones del cobertor son mayores. También se hacen asunciones de temperaturas del cobertor equivalentes a la temperatura ambiente, así como también nulas pérdidas de calor por convección, las cuales si se tomaron en cuenta en el presente estudio. Los resultados del desempeño del colector solar fueron semejantes a los obtenidos por Fiamonzini, L; et al. en el artículo “Banco de trabajo para colector solar cilindro-parabólico con sistema de seguimiento” (31) en donde también se obtienen valores más bajos del desempeño del colector solar principalmente por el espesor del cobertor, que, en nuestro caso, era una capa muy delgada que permitía mayores pérdidas por convección. La elección del borosilicato fue otro factor que afectó al desempeño ya que su alta emisividad permitía que el calor absorbido saliera en forma de radiación. Para la fabricación de colectores solares con reflectores parabólicos se recomienda emplear otro tipo de cobertor y mayor espesor para obtener mejoras en el rendimiento del dispositivo (32,33). Sin embargo, los valores de calor útil fueron significativos debido a que se poseen 20 tubos de vacío, lo cual genera más de 3000 W durante la hora analizada, energía que puede ser empleado para labores domésticas.

V. CONCLUSIONES

La unión de los tubos cerca del fondo del tanque mostró un mejor desempeño en el efecto termosifón que aquella colocada en medio del tanque. La presión hidrodinámica que experimenta el agua que sale de los tubos es mayor cuando la altura elegida está cerca del fondo del tanque. El calor útil de este dispositivo nos proporciona energía térmica suficiente como para emplearla en uso doméstico. La distribución de temperatura en el sistema de calentamiento solar está fuertemente influenciada por la ubicación de las uniones en el tanque. Las uniones cercanas al fondo del tanque resultan en una mayor distribución de temperatura debido a la mayor presión hidrodinámica en ese punto, lo que conlleva a un aumento en la velocidad de distribución del fluido caliente, puesto que la presión y la transferencia de calor varían en función de la ubicación de las conexiones. Además, se observa que las pérdidas de calor en este sistema son significativas, esto se debe en parte a la mayor altura del modificador angular óptico y las dimensiones del cobertor, así como a consideraciones más realistas de las temperaturas del cobertor y las pérdidas de calor por convección en este estudio. Aunque el rendimiento general del colector solar se vio afectado por factores como el espesor del cobertor y la elección del material, los valores de calor útil obtenidos siguen siendo notables debido a la presencia de múltiples tubos de vacío, lo que resulta en una producción significativa de energía aprovechable. El presente estudio respalda la recomendación de instalar las uniones en el fondo del tanque para mejorar el rendimiento del sistema de calentamiento solar. Además, se subraya la importancia de considerar factores como el tipo de cobertor y su espesor en el diseño de colectores solares con reflectores parabólicos para lograr un mejor desempeño. A pesar de las pérdidas de calor significativas, la generación de energía útil sigue siendo un resultado positivo de este dispositivo, lo que sugiere su potencial para aplicaciones domésticas y otras áreas que requieren calentamiento de agua.

VI. CONFLICTO DE INTERÉS

La ESPOCH podría emplear estos dispositivos de forma más recurrente como una alternativa de fuente de energía limpia y renovable para evitar el consumo de otras fuentes de energía que contaminen el medio ambiente.

VII. REFERENCIAS

1. García V, Marquez C, Recalde C. Comportamiento térmico de la materia: Termodinámica. Editorial UNACH. 2020 Dec 22;1–167.
2. Ahmed A, Ge T, Peng J, Yan WC, Tee BT, You S. Assessment of the renewable energy generation towards net-zero energy buildings: A review. *Energy Build.* 2022 Feb;256:111755.
3. Khaleel MM, Alsharif A, Imbayah I, Imbayah K. Renewable Energy Technologies: Recent Advances and Future Predictions. Vol. 1, *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)*. 2022.
4. Lipiński W, Abbasi-Shavazi E, Chen J, Coventry J, Hangi M, Iyer S, et al. Progress in heat transfer research for high-temperature solar thermal applications. *Appl Therm Eng.* 2021 Feb;184:116137.
5. Barrera J, Ramírez León SA, Pérez Trujillo JA, Sánchez Angeles E, Cruz Alvarez A. Mecanismos de transferencia de calor. *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río.* 2021 Jul 5;8(16):38–42.
6. Karathanasis S. *Linear Fresnel Reflector Systems for Solar Radiation Concentration*. Cham: Springer International Publishing; 2019.
7. Liu J, Chen X, Yang H, Shan K. Hybrid renewable energy applications in zero-energy buildings and communities integrating battery and hydrogen vehicle storage. *Appl Energy.* 2021 May;290:116733.
8. Chung-Camargo K, Uche J. Cobertura de la demanda doméstica de energía y agua mediante sistemas de poligeneración térmico-eléctrico. *I+D Tecnológico.* 2023 Feb 25;19(1).
9. Duffie JA, Beckman WA, Blair Nate. *Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind.* 2020. 931 p.
10. Myers D. *Solar Radiation*. CRC Press; 2017.
11. Obando ED, Carvajal SX, Pineda Agudelo J. Solar Radiation Prediction Using Machine Learning Techniques: A Review. *IEEE Latin America Transactions.* 2019 Apr;17(04):684–97.
12. Rabaia MKH, Abdelkareem MA, Sayed ET, Elsaid K, Chae KJ, Wilberforce T, et al. Environmental impacts of solar energy systems: A review. *Science of The Total Environment.* 2021 Feb;754:141989.
13. Wu X, Zhang X, Tian X, Li X, Lu W. A review on fluid dynamics of flapping foils. *Ocean Engineering.* 2020 Jan;195:106712.
14. Lau KT, Ahmad S, Cheng CK, Khan SA, Eze CM, Zhao J. Review on Supercritical Fluids Heat Transfer Correlations, Part I: Variants of Fundamental Dimensionless Variables. *Heat Transfer Engineering.* 2023 Apr 12;1–17.
15. Zamorano C, Palacios J. Secado de PET contrastando hornos de microondas y eléctrico. *Educación Química.* 2023 Apr 11;34(2):212–23.
16. Duffie JA, Beckman WA, Blair Nate. *Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind.* 2020. 931 p.
17. Viera da Rosa A, Ordóñez JC. Fundamentals or Renewable Energy Processes. In: *Fundamentals of Renewable Energy Processes*. Elsevier; 2022. p. 1–912.
18. Faisal Ahmed S, Khalid M, Vaka M, Walvekar R, Numan A, Khaliq Rasheed A, et al. Recent progress in solar water heaters and solar collectors: A comprehensive review. *Thermal Science and Engineering Progress.* 2021 Oct;25:100981.
19. Verma SK, Gupta NK, Rakshit D. A comprehensive analysis on advances in application of solar collectors considering design, process and working fluid parameters for solar to thermal conversion. *Solar Energy.* 2020 Sep;208:1114–50.

20. Carrión-Chamba W, Murillo-Torres W, Montero-Izquierdo A. Una revisión de los últimos avances de los colectores solares térmicos aplicados en la industria. *Ingenius*. 2021 Dec 7;(27).
21. Madhlopa A. *Principles of Solar Gas Turbines for Electricity Generation*. Cham: Springer International Publishing; 2018.
22. Fuentes F. *Evaluación energética para integración de energía solar térmica en procesos de la industria I+D+I*. 2020.
23. Duffie JA, Beckman WA, Blair Nate. *Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind*. 2020. 144 p.
24. Duffie JA, Beckman WA, Blair Nate. *Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind*. 2020. 214 p.
25. Duffie JA, Beckman WA, Blair Nate. *Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind*. 2020. 210 p.
26. Duffie JA, Beckman WA, Blair Nate. *Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind*. 2020. 220 p.
27. Duffie JA, Beckman WA, Blair Nate. *Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind*. 2020. 197 p.
28. Yedilkhan A, Murat K, Beibut A, Aliya K, Ainur K, Tumur M, et al. Mathematical justification of thermosyphon effect main parameters for solar heating system. *Cogent Eng*. 2020 Jan 1;7(1):1851629.
29. Wang K, Zhang ZD, Zhang XY, Min CH. Buoyancy effects on convective heat transfer of supercritical CO₂ and thermal stress in parabolic trough receivers under non-uniform solar flux distribution. *Int J Heat Mass Transf*. 2021 Aug;175:121130.
30. Bellos E, Mathioulakis E, Tzivanidis C, Belessiotis V, Antonopoulos KA. Experimental and numerical investigation of a linear Fresnel solar collector with flat plate receiver. *Energy Convers Manag*. 2016 Dec;130:44–59.
31. Fiamonzini LA, Rivas GAR, Ando Junior OH. Workbench for a Parabolic Trough Solar Collector with a Tracking System. *The Scientific World Journal*. 2022 Jul 5;2022:1–9.
32. Bravo D, Bennia A, Naji H, Fellouah H, Báez A. Revisión general sobre sistemas de acondicionamiento de aire en edificios ecológicos e inteligentes. *Revista ingeniería de construcción*. 2020 Aug;35(2):192–202.
33. Hidalgo DB, Acosta LDCM, Hinojosa NDRF. Mathematical Model to Elaborate the Table of Thermodynamic Properties. *Journal of Applied Mathematics and Physics*. 2022;10(06):1951–67.

Relación de la concentración de clorofila con el contenido nutricional de seis arbustos forrajeros

Relationship of chlorophyll concentration to nutritional content of six forage shrubs

 Carlos Danilo Congo Yépez
 Remigio Armando Burbano Cachiguango
 Alexandra Ibeth Chanaluisa Choloquinga
 Edgar Javier Chuquimarca Algaje *

Estación Experimental Central de la Amazonía (EECA) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Sacha, Orellana - Ecuador.

* edgar.chuquimarca@iniap.gob.ec

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el contenido nutricional e índice de clorofila (ICC) de seis forrajes arbóreos, para ello se analizó el ICC, proteína, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre a 30, 45 y 65 días. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar en parcelas divididas con seis repeticiones. Los resultados se compararon con un test de Tukey al 5 %, se realizaron correlaciones (Pearson) y regresiones lineales para determinar el efecto del ICC con los nutrientes. Los contenidos de ICC, proteína, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre presentaron diferencia estadísticas ($p < 0,05$) para los factores arbustos forrajeros e intervalos de corte, y su interacción. *Leucaena* presentó mayores contenidos de ICC en todos los intervalos. Los resultados de proteína fueron mayores en *Gliricidia* (30 días), *Leucaena* (45 días) y *Moringa* (60 días). Para fósforo los mejores valores se obtuvieron en *Morus* (30 días) y *Moringa* (30, 45 y 60 días). *Tithonia* alcanzó mayor concentración de potasio y calcio en los tres intervalos de corte, así como para magnesio (30 días). El ICC determinado con medidores de lectura directa permitió correlacionarse con el contenido de proteína y los nutrientes del tejido foliar P, K, Ca, Mg, S.

Palabras claves: *Sostenibilidad, pigmentos, fotosíntesis, valor nutritivo, intervalos de corte.*

ABSTRACT

The objective was to evaluate the nutritional content and chlorophyll index (CCI) of six tree forages, for which CCI, protein, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sulfur were analyzed at 30, 45 and 65 days. A completely randomized block design in divided plots with six replications was used. Results were compared with a 5 % Tukey test, correlations (Pearson) and linear regressions were performed to determine the effect of ICC with nutrients. The contents of ICC, protein, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sulfur showed statistical differences ($p < 0.05$) for the factors forage shrubs and cutting intervals, and their intercropping. *Leucaena* presented higher contents of ICC in all intervals. Protein results were higher in *Gliricidia* (30 days), *Leucaena* (45 days) and *Moringa* (60 days). For phosphorus, the best values were obtained in *Morus* (30 days) and *Moringa* (30, 45 and 60 days). *Tithonia* reached higher potassium and calcium concentrations in the three cutting intervals, as well as for magnesium (30 days). The ICC determined with direct reading meters allowed correlation with protein content and leaf tissue nutrients P, K, Ca, Mg, S.

Keywords: *Sustainability, pigments, photosynthesis, nutritive value, cutting intervals.*

I. INTRODUCCIÓN

Los arbustos forrajeros desempeñan un papel fundamental en la alimentación de rumiantes, ya que los sistemas de producción que integran árboles y animales en una misma superficie contribuyen significativamente a mitigar la escasez de forraje de alta calidad (1). Por ejemplo, en Australia, se ha implementado a gran escala el cultivo de *Leucaena* debido a que esta leguminosa no solo contribuye a la sostenibilidad de los pastizales, sino que también aporta significativamente un alto valor alimenticio; esto, a su vez, contribuye en gran medida a la eficiencia de la producción de los rumiantes (2). Sin embargo, el forraje de estos arbustos presenta un desequilibrio en la relación entre energía y proteína, por lo tanto, es crucial utilizarlos como suplemento proteico en dietas con niveles elevados de energía (3). Los arbustos forrajeros tienen múltiples aplicaciones, aunque su importancia resalta principalmente en la alimentación del ganado, dado que contribuyen a mejorar la condición corporal de los animales en un 85% (4). El uso de estos arbustos forrajeros en la nutrición animal, permite alcanzar una mejor relación entre los factores que determinan la digestión de la pared celular y la calidad de los forrajes (5).

La producción de forraje se origina a partir de la conversión de la energía solar en compuestos orgánicos a través del proceso de fotosíntesis, y esta conversión se relaciona directamente con la radiación fotosintéticamente activa y la producción de materia seca (6). Durante la fotosíntesis, el carbono presente en la atmósfera se combina con el agua, transformándose en carbohidratos gracias a la energía solar (7). En este proceso, las clorofilas, pigmentos propios de las plantas superiores y las algas, desempeñan un papel esencial, otorgándoles su característico color verde, que puede variar desde tonalidades amarillas hasta naranjas (8). Castillo y Ligarreto (9) indican que el índice de verdor tiene una buena relación con el nitrógeno foliar en el estado fisiológico de llenado del fruto en el cultivo de *Zea maiz* L. Sánchez et al. (10) encontraron en el cultivo de *Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike, que la concentración de clorofila a y b, y clorofila total tuvieron una correlación positiva y significativa con el estado nutricional del nitrógeno. Otro estudio realizado en el llano colombiano con los pastos *Urochloa brizantha*, *U. decumbens* y *U. humidicola* demostraron una alta relación (>0,76) entre la concentración de clorofila y la proteína cruda foliar

(11). El estudio de las propiedades y características fotosintéticas, pueden incorporarse como criterios para la identificación y selección de especies forrajeras, que tengan una mejor adaptación a las condiciones agroclimáticas adversas (11,12). Las mediciones de clorofila de forma no destructiva, permite generar información de los procesos fotosintéticos y de salud de las plantas en los diferentes estados fenológicos (13,14).

Basándonos en esta información previa, el propósito de la investigación actual es evaluar la relación de la concentración de clorofila, con los nutrientes presentes del tejido foliar, en los arbustos *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Trichanthera gigantea*, *Moringa oleifera*, *Morus alba* y *Tithonia diversifolia*, en las condiciones clima y suelo de la Amazonía centro norte ecuatoriana.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica

El sitio experimental se localiza en el cantón La Joya de los Sachas en los predios de la Estación Experimental Central de la Amazonía, provincia de Orellana, Ecuador, situado en las coordenadas 76°52'35,87" Oeste y 0°21'20,63" Sur a 250 m s.n.m.

Condiciones de suelo y clima

Las condiciones de suelo del sitio experimental se caracterizan por tener un pH de 6,28 con textura franco-arcilloso (33% arena; 36% limo; 31% arcilla). Los contenidos de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio se encuentran en niveles altos y el contenido de materia orgánica se encuentra en niveles medios entre el 3,1% y 5%. La disponibilidad del azufre con el boro se encuentra en niveles bajos. De acuerdo a la clasificación basada en zonas de vida Holdridge (15), la zona pertenece a un bosque húmedo tropical, y las condiciones de clima de acuerdo con los datos de la estación meteorología (M1221) del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (16), la precipitación media anual es de 3.361,4 mm, con un promedio de temperatura mensual de 25,5 °C.

Especies arbustivas, recolección y procesamiento de forraje

Del banco de germoplasma forrajero de la Estación

Experimental Central de la Amazonía del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), se seleccionaron los arbustos forrajeros *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Trichanthera gigantea*, *Moringa oleifera*, *Morus alba* y *Tithonia diversifolia*, debido a sus atributos agronómicos. Estas especies forrajeras se establecieron con un marco de plantación de 1 m × 1 m. Para incentivar rebrotes uniformes en las especies, se realizó el corte a una altura de 100 cm del suelo (17,18). Después de efectuar este corte, se recolectaron alrededor de un kilogramo de fitomasa verde de los arbustos forrajeros a los 30, 45 y 60 días. Posteriormente, se llevó a cabo el proceso de secado en una estufa Thermo Scientific de aire forzado a 65 °C durante 48 horas (19). Esta temperatura se eligió para prevenir la pérdida significativa de carbohidratos solubles y la formación de compuestos indigestibles (20). La fitomasa seca se trituró en un molino con una malla de 2 mm y se almacenó en bolsas plásticas Ziploc.

Ensayo experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar en parcelas divididas con estructura factorial, donde el factor A (arbustos forrajeros) y el factor B (intervalos de corte), los tratamientos resultaron de la combinación de los arbustos forrajeros con los intervalos de corte y se utilizaron seis repeticiones.

Se determinó el índice de contenido de clorofila (ICC) en las secciones inferior, media y superior de cada arbusto forrajero. Las mediciones se realizaron con el medidor Apogee MC-100 y se expresaron en unidades relativas de ICC. Este medidor óptico de clorofila emplea la radiación de un diodo emisor de luz LED de 653 nm, dentro del rango de absorción fotosintéticamente activa (PAR) de la clorofila, y otra radiación de 931 nm en la región de longitud de onda infrarroja cercana (NIR), fuera del rango de absorción de la clorofila (21).

Se efectuaron análisis químicos para determinar el contenido de proteína cruda (PC%) mediante el método Kjeldahl y calcular los niveles de calcio (Ca%), magnesio (Mg%), y potasio (K%) mediante espectrofotometría de absorción (Equipo AAnalyst 700 de PerkinElmer). Asimismo, se empleó el método de colorimetría para evaluar el fósforo (P%) y el método de turbidimetría para medir el azufre (S %) a través de espectrofotometría

UV visible (Equipo Lambda 25 de PerkinElmer). Estos análisis se realizaron de acuerdo a las metodologías internas del laboratorio de Suelos, Aguas y Tejidos de la EECA, las cuales fueron adaptadas de los métodos de análisis oficiales (AOAC, siglas en inglés) (22).

Se empleó un enfoque estadístico que abarcó tanto la estadística descriptiva como la inferencial. Se realizó el análisis de la varianza y de regresión utilizando el programa estadístico InfoStat (23).

Para evaluar los supuestos de normalidad de los residuos, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilks. Además, con el propósito de establecer diferencias estadísticas significativas, se compararon las medias absolutas utilizando la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5%.

Se llevó a cabo un análisis de la relación entre el índice de concentración de clorofila y los contenidos de proteína, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Para ello, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson y se realizaron regresiones lineales simples en los resultados que presentaron un valor de $p < 0,05$. La magnitud del coeficiente de Pearson se evaluó según la clasificación propuesta por Hernández et al. (24).

III. RESULTADOS

Concentración del índice de clorofila (ICC)

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas en el ICC para el factor A ($p < 0,001$), el factor B ($p = 0,0010$) y la interacción A × B ($p = 0,0242$).

L. leucocephala presentó el índice de contenido de clorofila (ICC) más alto a los 30, 45 y 60 días en comparación con los demás arbustos forrajeros evaluados (Figura 1).

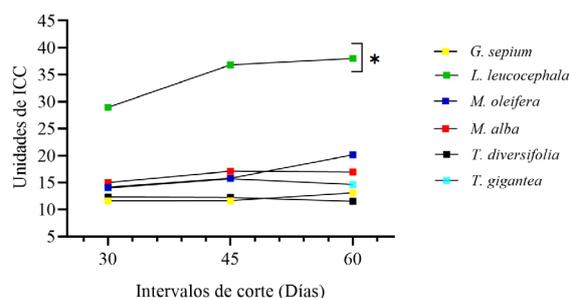


Figura 1. Contenido de clorofila (ICC) en forrajes arbóreos según intervalos de corte. *Significativo ($p < 0,05$). DMS ($A \times B$) = 7,15; CV ($A \times B$) = 19,15%; EEM ($A \times B$) = $\pm 1,39$.

Contenido de PC, P, K, Ca, Mg, S

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los contenidos de PC, P, K, Ca, Mg y S entre los arbustos forrajeros (A), los intervalos de corte (B) y la interacción A \times B. Los valores más destacados de PC variaron según el intervalo de corte.

En el caso de *G. sepium*, se obtuvo el valor más alto a los 30 días (33,57%), mientras que *L. leucocephala* alcanzó su máximo a los 45 días (32,93%) y a los 6 días en *M. oleifera* (32,32%).

En cuanto al fósforo, los arbustos *M. alba* y *M. oleifera* lograron las concentraciones más elevadas a los 30 días (0,49%), siendo este intervalo de corte el más favorable. Además, *M.*

oleifera mantuvo buenos niveles de fósforo a los 45 (0,47%) y 60 días (0,51%).

Respecto al potasio y calcio, *T. diversifolia* se destacó en todos los intervalos de corte, es decir, a los 30, 45 y 60 días.

En cuanto al azufre, *M. oleifera* presentó el contenido más alto a los 30 (0,57%) y 60 días (0,52%), mientras que, a los 45 días *L. leucocephala* mostró el mejor valor (0,38%).

La Tabla 1 proporciona una visión detallada de los valores de los contenidos de los diferentes nutrientes en los arbustos forrajeros a lo largo de los tres intervalos de corte evaluados:

| Tratamientos | PC (%) | P (%) | K (%) | Ca (%) | Mg (%) | S (%) |
|------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| 30 días | | | | | | |
| <i>G. sepium</i> | 33,57 ^a | 0,42 ^{bcd} | 2,80 ^{bc} | 1,56 ^{bcde} | 0,48 ^a | 0,27 ^{cd} |
| <i>L. leucocephala</i> | 31,90 ^{abcde} | 0,30 ^{ghi} | 2,12 ^{de} | 1,83 ^{abcd} | 0,38 ^{abc} | 0,35 ^b |
| <i>M. oleifera</i> | 25,01 ^{ghi} | 0,49 ^{ab} | 2,18 ^{de} | 1,23 ^{defg} | 0,43 ^{ab} | 0,57 ^a |
| <i>M. alba</i> | 29,31 ^{bcdef} | 0,49 ^{ab} | 2,74 ^{bc} | 1,58 ^{bcde} | 0,41 ^{abc} | 0,24 ^{de} |
| <i>T. diversifolia</i> | 29,18 ^{bcdef} | 0,41 ^{cd} | 4,03 ^a | 2,05 ^{ab} | 0,49 ^a | 0,22 ^{defgh} |
| <i>T. gigantea</i> | 21,53 ⁱ | 0,38 ^{def} | 2,00 ^{ef} | 1,13 ^{efg} | 0,36 ^{abcd} | 0,26 ^d |
| 45 días | | | | | | |
| <i>G. sepium</i> | 32,85 ^{abc} | 0,37 ^{defg} | 2,61 ^{bc} | 0,78 ^{fg} | 0,40 ^{abc} | 0,21 ^{defgh} |
| <i>L. leucocephala</i> | 32,93 ^{ab} | 0,29 ^{hi} | 2,03 ^{ef} | 0,62 ^g | 0,21 ^e | 0,38 ^{abc} |
| <i>M. oleifera</i> | 32,06 ^{abcde} | 0,47 ^{abc} | 2,73 ^{bc} | 0,79 ^{fg} | 0,28 ^{cde} | 0,34 ^{bc} |
| <i>M. alba</i> | 28,50 ^{defg} | 0,36 ^{defgh} | 2,53 ^{cd} | 1,73 ^{abcde} | 0,28 ^{cde} | 0,15 ^h |
| <i>T. diversifolia</i> | 28,95 ^{cdef} | 0,43 ^{bcd} | 4,14 ^a | 1,89 ^{abcd} | 0,31 ^{bcde} | 0,16 ^{fgh} |
| <i>T. gigantea</i> | 23,94 ^{hi} | 0,30 ^{ghi} | 1,60 ^{gh} | 0,79 ^{fg} | 0,22 ^{de} | 0,18 ^{efgh} |
| 60 días | | | | | | |
| <i>G. sepium</i> | 31,40 ^{abcde} | 0,33 ^{efgh} | 2,00 ^{ef} | 1,50 ^{bcde} | 0,48 ^a | 0,23 ^{defg} |
| <i>L. leucocephala</i> | 28,19 ^{efg} | 0,23 ⁱ | 1,50 ^{gh} | 1,23 ^{defg} | 0,30 ^{bcde} | 0,23 ^{def} |
| <i>M. oleifera</i> | 32,32 ^{abcd} | 0,51 ^a | 1,81 ^{efg} | 1,59 ^{bcde} | 0,38 ^{abc} | 0,52 ^a |
| <i>M. alba</i> | 26,18 ^{fgh} | 0,33 ^{efgh} | 1,85 ^{efg} | 1,97 ^{abc} | 0,28 ^{cde} | 0,16 ^{fgh} |
| <i>T. diversifolia</i> | 29,90 ^{abcdef} | 0,40 ^{cde} | 2,97 ^b | 2,35 ^a | 0,40 ^{abc} | 0,17 ^{efgh} |
| <i>T. gigantea</i> | 22,76 ^{hi} | 0,30 ^{ghi} | 1,31 ^h | 1,37 ^{def} | 0,24 ^{de} | 0,17 ^{efgh} |
| R ² | 0,87 | 0,90 | 0,96 | 0,81 | 0,80 | 0,95 |
| CV (%) | 6,46 | 9,74 | 8,59 | 22,40 | 18,72 | 13,60 |
| p Valor (A \times B) | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | 0,0004 | 0,02 | <0,0001 |
| DMS (A \times B) | 7,15 | 0,07 | 0,43 | 0,68 | 0,13 | 0,07 |
| EEM (A \times B) | 0,76 | 0,01 | 0,08 | 0,13 | 0,03 | 0,01 |

^{abc} Medias con letras distintas dentro de las columnas, son significativo a la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Tabla 1. Contenido de proteína cruda (PC), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) de seis arbustos forrajeros a los 30, 45 y 60 días.

La Tabla 2 revela correlaciones sólidas y estadísticamente significativas entre el índice de clorofila (ICC) y los contenidos de nutrientes en los intervalos de corte que se evaluaron. En

particular, se observaron correlaciones notables en varios arbustos forrajeros.

En el caso de *T. gigantea*, se encontraron

correlaciones significativas con respecto al contenido de proteína cruda (PC) ($p = 0,0360$). De manera similar, se obtuvieron correlaciones significativas para los arbustos *M. alba* ($p = 0,0179$) y *T. diversifolia* ($p = 0,0047$) en lo que respecta al nutriente potasio (K).

Por otro lado, a los 45 días de corte, el ICC mostró correlaciones significativas con los contenidos de PC ($p = 0,0097$), fósforo (P) ($p = 0,0318$) y magnesio (Mg) ($p = 0,0282$) en el arbusto *M. oleifera*. Asimismo, se observaron correlaciones

en el nutriente azufre (S) ($p = 0,0108$) para el arbusto *L. leucocephala*.

En el intervalo de corte de 60 días, se evidenciaron correlaciones significativas para el contenido de proteína cruda (PC) ($p = 0,0124$) en los arbustos *M. oleifera* y *L. leucocephala* ($p = 0,0450$). Además, el ICC se correlacionó con los nutrientes calcio (Ca) ($p = 0,0101$) y fósforo (P) ($p = 0,0208$) en el arbusto *T. diversifolia*.

| Tratamientos | PC (%) | P (%) | K (%) | Ca (%) | Mg (%) | S (%) |
|------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| 30 días | | | | | | |
| <i>G. sepium</i> | -0,52 | -0,64 | -0,56 | -0,62 | -0,07 | 0,48 |
| <i>L. leucocephala</i> | 0,42 | 0,43 | 0,55 | -0,34 | 0,23 | 0,59 |
| <i>M. oleifera</i> | 0,26 | 0,02 | -0,02 | -0,20 | 0,16 | -0,55 |
| <i>M. alba</i> | -0,37 | -0,28 | 0,89* | -0,11 | -0,04 | -0,57 |
| <i>T. diversifolia</i> | 0,07 | 0,78 | -0,94** | 0,08 | 0,57 | 0,50 |
| <i>T. gigantea</i> | 0,84* | 0,41 | 0,16 | -0,11 | 0,15 | 0,35 |
| 45 días | | | | | | |
| <i>G. sepium</i> | -0,40 | -0,50 | 0,08 | 0,58 | 0,54 | -0,27 |
| <i>L. leucocephala</i> | -0,48 | -0,71 | -0,39 | 0,51 | 0,05 | -0,91* |
| <i>M. oleifera</i> | 0,92** | -0,85* | -0,04 | 0,29 | 0,86* | -0,16 |
| <i>M. alba</i> | -0,15 | 0,60 | 0,28 | 0,25 | 0,11 | -0,31 |
| <i>T. diversifolia</i> | 0,40 | -0,24 | -0,19 | -0,01 | 0,10 | -0,18 |
| <i>T. gigantea</i> | 0,57 | 0,58 | -0,17 | 0,61 | 0,67 | -0,46 |
| 60 días | | | | | | |
| <i>G. sepium</i> | -0,57 | 0,22 | 0,16 | 0,53 | 0,56 | -0,28 |
| <i>L. leucocephala</i> | -0,80* | 0,03 | -0,26 | -0,12 | 0,17 | -0,11 |
| <i>M. oleifera</i> | -0,91* | 0,84* | 0,71 | 0,52 | 0,79 | 0,02 |
| <i>M. alba</i> | -0,60 | -0,11 | 0,11 | -0,61 | 0,12 | 0,63 |
| <i>T. diversifolia</i> | 0,41 | 0,88* | 0,13 | 0,92* | -0,12 | 0,65 |
| <i>T. gigantea</i> | 0,18 | -0,60 | -0,56 | -0,20 | -0,57 | -0,05 |

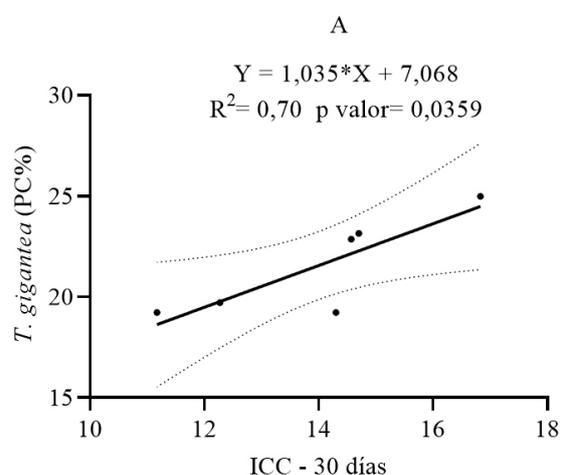
Correlación de Pearson significativo *($p \leq 0,05$); **($p \leq 0,01$).

Tabla 2. Magnitud de la relación entre el ICC y PC, P, Ca, Mg y S.

Estas correlaciones destacan la relación entre el ICC y los contenidos de nutrientes en los diversos arbustos forrajeros en los intervalos de corte evaluados.

Se observó que el ICC se comporta como una variable predictiva del contenido de proteína cruda (PC), como se ilustra en la Figura 2.

Las regresiones lineales en los arbustos forrajeros *T. gigantea* a los 30 días y *M. oleifera* a los 45 días mostraron una tendencia lineal positiva. En contraste, a los 60 días, se observó una relación lineal negativa en los arbustos *L. leucocephala* y *M. oleifera*.



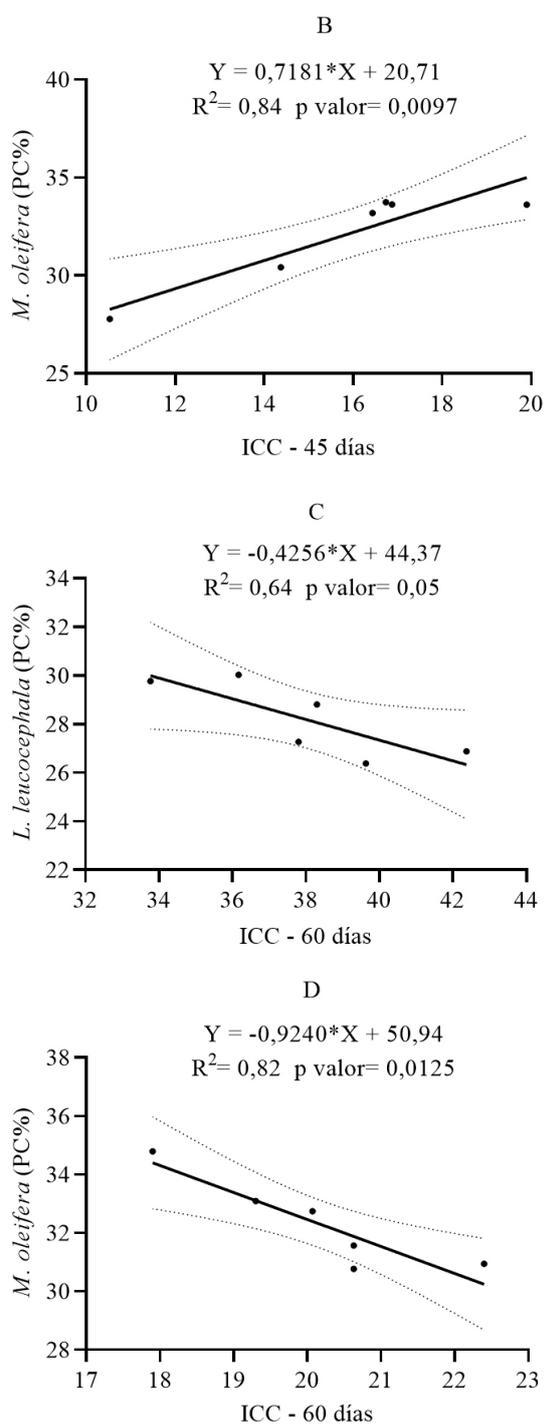


Figura 2. Regresión lineal entre el ICC y el contenido de PC en los arbustos forrajeros *T. gigantea* a los 30 días (A), *L. leucocephala* a los 60 días (C), *M. oleifera* a los 45 días (B) y 60 días (D).

Figura 3. Regresión lineal entre el ICC y el contenido de P en los arbustos forrajeros *M. oleifera* a los 45 días (A) y 60 días (B), *T. diversifolia* a los 60 días (C).

La relación de regresión lineal entre el ICC y el nutriente fósforo (P) mostró una tendencia positiva en los arbustos forrajeros *M. oleifera* y *T. diversifolia* a los 60 días. Sin embargo, se observó una tendencia negativa para *M. oleifera* a los 45 días, como se aprecia en la Figura 3.

La relación de regresión lineal entre el ICC y el nutriente potasio (K) resultó con una tendencia positiva en *M. alba* a los 30 días, mientras que mostró una tendencia negativa en *T. diversifolia* en el mismo intervalo de 30 días, como se puede observar en la Figura 4.

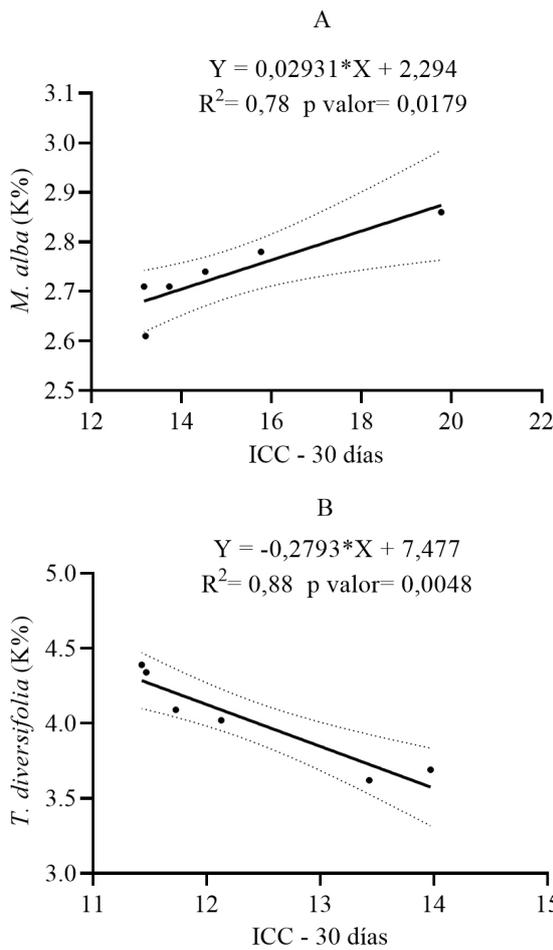


Figura 4. Regresión lineal entre el ICC y el contenido de K en los arbustos forrajeros *M. alba* a los 30 días (A) y *T. diversifolia* a los 30 días (B).

Se evidenció una correlación positiva entre el ICC y los niveles de calcio (Ca) en el arbusto *T. diversifolia* a los 60 días, al igual que en la relación entre el ICC y el magnesio (Mg) en *M. oleifera* a los 45 días. En contraste, se registró una tendencia negativa en la relación entre el ICC y el azufre en el arbusto *L. leucocephala* a los 45 días (Figura 5).

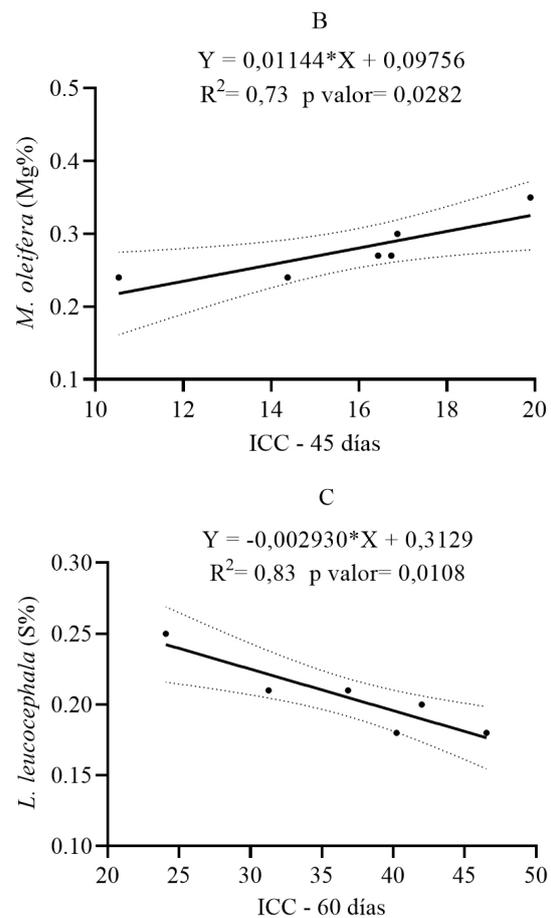
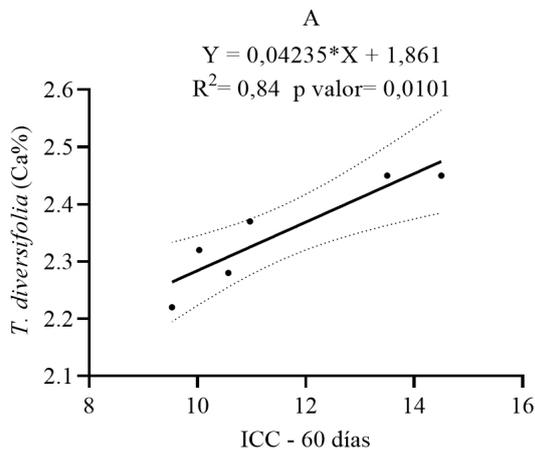


Figura 5. Regresión lineal entre el ICC y el contenido de Ca en *T. diversifolia* a los 60 días (A), con Mg en *M. oleifera* a los 45 días (B) y con S en *L. leucocephala* a los 45 días (C).

IV. DISCUSIÓN

De acuerdo con Benavides-Mendoza et al. (25), las técnicas de fluorescencia de clorofila se han convertido en una herramienta valiosa para evaluar la adaptación de las plantas cultivadas a factores de estrés, que se ven exacerbados por los efectos del cambio climático. La fluorescencia de clorofila se presenta como un método alternativo prometedor para obtener información detallada sobre el estrés que afecta el estado fisiológico del aparato fotosintético de las plantas (26). Esta evaluación cuantitativa se posiciona como una vía precisa, confiable y eficiente para obtener información de naturaleza molecular, con implicaciones significativas en la expresión fisiológica de las plantas. Estas implicaciones abren el camino a múltiples aplicaciones en investigaciones aplicadas (27).

Es este sentido *L. leucocephala*, debido a su alta concentración de clorofila en las células

fotosintéticas, su capacidad de retención de agua y su metabolismo eficiente, podría considerarse como una especie forrajera pionera. Su aptitud para la captura eficiente de la luz solar la posiciona como una candidata ideal en la restauración de ecosistemas degradados, especialmente debido a su destacada tolerancia a las condiciones de estrés (28). Esto sugiere que *L. leucocephala* podría desempeñar un papel crucial en la recuperación de ecosistemas ganaderos degradados, destacando su relevancia en el contexto de la conservación y restauración de la biodiversidad.

La interacción entre las especies forrajeras y los intervalos de corte se hizo evidente al analizar los contenidos de proteína cruda (PC). En particular, se observó que *G. sepium* presentó niveles superiores de PC a los 30 días, lo cual contrasta con los resultados (33,57% vs. 28,32%) obtenidos por Araque et al. (29) en intervalos de corte tempranos. Por otro lado, el valor de PC registrado a los 45 días en *L. leucocephala* fue consistente (31,9 0% vs. 31,74%) con lo reportado por Verdecia et al. (30). Sin embargo, el contenido de PC en *M. oleifera* difirió notablemente (32,32% vs. 14,85±12,8%) de los hallazgos de Ramírez et al. (31).

Estos resultados indican que los arbustos forrajeros, en términos de calidad y palatabilidad estos arbustos forrajeros en términos de calidad y palatabilidad (32), poseen la capacidad de desempeñar un papel importante en la mejora de los sistemas de producción agrícola y ganadera a pequeña escala. Por ejemplo, su forraje se utiliza en la creación de bancos proteicos y en sistemas pecuarios intensivos (33). Esto resalta la relevancia de estas especies forrajeras en la optimización de la producción agropecuaria en sistemas de menor escala.

En el contexto de los sistemas agrícolas, se han documentado informes que resaltan la utilidad de estas especies forrajeras como opciones valiosas para promover sistemas agroforestales en la región amazónica ecuatoriana. En particular, se han explorado sus capacidades como fuentes de nitrógeno en los cultivos de *Solanum quitoense* Lam. (34), *Elaeis guineensis* Jacq. (35) y *Hylocereus megalanthus* Haw. (36).

En lo que respecta al contenido de fósforo (P), los resultados obtenidos para *M. alba* a los 30 días y *M. oleifera* a los 30, 45 y 60 días se situaron

en un rango que osciló entre 0,47% y 0,51%, tal como se muestra en la Tabla 2. Estos hallazgos son coherentes con los informes previos de Milera et al. (37), quienes informaron valores de P (0,417%) para *M. alba*. Además, concuerdan con los resultados obtenidos por Méndez et al. (38) en el caso de *M. oleifera* en diferentes etapas de crecimiento (0,41% a 0,54%). Estos niveles nutricionales destacados hacen que estos arbustos puedan considerarse como una alternativa viable para la suplementación estratégica de este mineral en sistemas ganaderos tropicales (39).

T. diversifolia se destacó al exhibir valores significativos tanto en potasio (K) como en calcio (Ca) a lo largo de todos los intervalos de corte estudiados. En este contexto, Ureña et al. (40) mencionaron que la extracción de nutrientes en *T. diversifolia* mostró una afinidad particular por nitrógeno (N), potasio (K) y calcio (Ca). No obstante, es importante señalar que los valores obtenidos para el contenido de calcio (Ca) en nuestro estudio, aunque notables (rango de 1,89% a 2,35%), resultan inferiores a los niveles informados por Gallegos-Castro et al. (41), quienes registraron valores que oscilaron entre 2,86% y 3,05%.

Los arbustos forrajeros exhibieron notables diferencias en los contenidos de magnesio (Mg) a lo largo de los intervalos de corte evaluados. *T. diversifolia* destacó al lograr los contenidos más elevados de Mg a los 30 días, superando significativamente (0,49% vs. 0,347%) los valores reportados por Santamaría-Lezcano et al. (42). Por otro lado, a los 45 días (0,40%) y 60 días (0,48%), *G. sepium* demostró los niveles más sobresalientes de Mg. Estos resultados superaron notablemente las cifras presentadas por Araque et al. (29) en etapas de crecimiento tempranas, que variaron entre 0,20% y 0,27% en los intervalos de 30 a 60 días. Es relevante notar que estos autores mencionaron que los contenidos de Mg aumentaron con el progreso del estado fenológico de las plantas, una tendencia que se observa de manera consistente en los resultados de esta investigación.

Los niveles de azufre registrados en el arbusto *M. oleifera* a los 30 días (0,57%) y 60 días (0,52%) difieren significativamente de los contenidos de 0,42% reportados por Benalcázar y Pilatasig (43). Del mismo modo, en el intervalo de 45 días, el contenido de azufre encontrado en el arbusto *L.*

leucocephala (0,38%) es notablemente superior en comparación con el valor de 0,12% informado por Donoso et al. (44).

En este contexto es importante resaltar que, para mejorar la nutrición de los rumiantes, los niveles de azufre total en la dieta deben mantenerse en el rango de 0,18% a 0,25%. Estos niveles óptimos son fundamentales para garantizar un comportamiento animal saludable (45). Además, la incorporación de azufre en la dieta de los bovinos, en cantidades que oscilan entre 2 y 8 gramos de azufre por animal al día, podría ofrecer una estrategia efectiva para el control integrado de las garrapatas del ganado en las zonas tropicales del país (46).

Considerando estos factores, tanto *M. oleifera* como *L. leucocephala* se perfilan como fuentes ricas en este elemento, lo que las convierte en candidatas idóneas para la formulación de dietas y la suplementación de minerales en rumiantes. Estos resultados sugieren un potencial significativo para mejorar la salud y el rendimiento del ganado a través de la incorporación de estos arbustos forrajeros en la dieta.

Finalmente es importante recalcar que la determinación del ICC mediante medidores ópticos de forma no destructiva, ha sido objeto de estudio en numerosas investigaciones, y en muchos casos, se ha observado su vínculo con el contenido de nitrógeno presente en los tejidos foliares de diversos cultivos, como pastura/maíz (47), uva (48), y hortalizas (49).

No obstante, en el contexto de este estudio, se han encontrado correlaciones y regresiones lineales significativas ($p < 0,05$) en los arbustos forrajeros *T. gigantea*, *M. oleifera*, *L. leucocephala*, *T. diversifolia* y *M. alba*. Esto indica que la técnica del ICC podría extenderse con éxito para generar

mediciones rápidas y estimar con precisión la concentración de los nutrientes analizados en estos arbustos forrajeros.

V. CONCLUSIONES

L. leucocephala se destacó por su mayor eficiencia en la asimilación de la fotosíntesis, ya que mostró contenidos de clorofila en unidades relativas de ICC superiores en los intervalos de corte estudiados. Además, la determinación de este índice mediante medidores de lectura directa permitió establecer correlaciones significativas con el contenido de proteína, así como con los nutrientes presentes en el tejido foliar, incluyendo fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) en los arbustos forrajeros *T. gigantea*, *M. oleifera*, *L. leucocephala*, *T. diversifolia* y *M. alba*.

Estos hallazgos resaltan el potencial de estas especies de arbustos forrajeros en diferentes intervalos de corte, lo que sugiere su utilidad como valiosas fuentes de proteína y para la suplementación mineral en la alimentación de rumiantes. Estos resultados abren nuevas oportunidades para mejorar la nutrición y el rendimiento de los animales en los sistemas de producción.

VI. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ejecutó gracias al apoyo del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y el Fondo de Investigación de la Agrobiodiversidad, Semillas y Agricultura Sustentable (FIASA), por medio del proyecto "Investigación y difusión de tecnologías para la producción agroecológica y bienestar de las familias de la Circunscripción Territorial Especial Amazónica (CTEA)".

V. REFERENCIAS

1. Cardona-Iglesias JL, Mahecha-Ledesma L, Angulo-Arizala J. Arbustivas forrajeras y ácidos grasos: estrategias para disminuir la producción de metano entérico en bovinos. Agron Mesoam [Internet]. 2017 [citado 26 de junio de 2023];273-88. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/21466>
2. Dalzell SA. Leucaena cultivars – current releases and future opportunities. Trop Grassl-Forrajes Trop [Internet]. 2019 [citado 26 de junio de 2023];7(2):56-64. Disponible en: [//www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/view/526](http://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/view/526)

3. González E, Cáceres O. Valor nutritivo de árboles, arbustos y otras plantas forrajeras para los rumiantes. Pastos Forrajes [Internet]. 2002 [citado 15 de diciembre de 2022];25(1). Disponible en: [https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path\[\]=882](https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path[]=882)
4. Cabrera-Núñez A, Lammoglia-Villagomez M, Alarcón-Pulido S, Martínez-Sánchez C, Rojas-Ronquillo R, Velázquez-Jiménez S, et al. Árboles y arbustos forrajeros utilizados para la alimentación de ganado bovino en el norte de Veracruz, México. Abanico Vet [Internet]. 2019 [citado 14 de noviembre de 2022];9. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2448-61322019000100113&lng=es&nrm=iso&tlng=es
5. Valente TNP, Lima É da S, Henriques LT de, Machado Neto OR, Gomes Dí, Sampaio CB, et al. Anatomia de plantas forrageiras e a disponibilidade de nutrientes para ruminantes: revisão. Veterinária E Zootec [Internet]. 2011 [citado 12 de noviembre de 2022];347-58. Disponible en: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/141104>
6. Silva EA da, Silva WJ da, Barreto AC, Oliveira Junior AB de, Paes JMV, Ruas JRM, et al. Chemical composition and photosynthetically active radiation of forage grasses under irrigation. Rev Bras Zootec [Internet]. 2012 [citado 17 de octubre de 2023];41:583-91. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/v6xs3kFFRBzCGtxzBYDngzR/?lang=en>
7. Carril EPU. Fotosíntesis: Aspectos Básicos. REDUCA Biol [Internet]. 2011 [citado 11 de noviembre de 2022];2(3). Disponible en: <http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/793>
8. García RR, Collazo M. Manual de prácticas de fotosíntesis. UNAM; 2006.
9. Castillo ÁR, Ligarreto GA. Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. Cienc Tecnol Agropecu [Internet]. 2010 [citado 13 de noviembre de 2022];11(2):122-8. Disponible en: <http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/202>
10. Sánchez E, Ruiz JM, Romero L, Preciado-Rangel P, Flores-Córdova MA, Márquez-Quiroz C. ¿Son los pigmentos fotosintéticos buenos indicadores de la relación del nitrógeno, fósforo y potasio en frijol ejotero? Ecosistemas Recur Agropecu [Internet]. 2018 [citado 14 de noviembre de 2022];5(15):387-98. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-90282018000300387&lng=es&nrm=iso&tlng=es
11. Castillo ÁR, De León MÁ, Barbosa OP, Amaya MA, Giraldo RAD. Estimating chlorophyll concentration and its relationship with crude protein concentration in three species of Urochloa in the Piedemonte Llanero, Colombia. Trop Grassl-Forrajes Trop [Internet]. 2019 [citado 15 de enero de 2023];7(5):533-7. Disponible en: [https://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/view/4402019;7\(5\):533-7](https://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/view/4402019;7(5):533-7).
12. Álvarez-Holguín A, Morales-Nieto CR, Corrales-Lerma R, Avendaño-Arrazate CH, Rubio-Arias HO, Villarreal-Guerrero F. Caracterización estomática, concentración de clorofila y su relación con producción de biomasa en Bouteloua curtipendula. Agron Mesoam [Internet]. 2018 [citado 28 de marzo de 2023];251-61. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/29900>
13. González Á. Aplicación del medidor portátil de clorofila en programas de mejora de trigo y cebada. Agroecología [Internet]. 2009 [citado 15 de diciembre de 2022];4:111-6. Disponible en: <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/117241>
14. Castañeda CS, Almanza-Merchán PJ, Pinzón EH, Cely GE, Serrano PA. Estimación de la concentración de clorofila mediante métodos no destructivos en vid (Vitis vinifera L.) cv. Riesling Becker. Rev Colomb Cienc Hortícolas [Internet]. 1 de mayo de 2018 [citado 14 de noviembre de 2022];12(2):329-37. Disponible en: https://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/7566
15. Holdridge LR. Ecología basada en zonas de vida [Internet]. Colección Libros y Materiales Educativos (IICA) No. 83, San José (Costa Rica); 2000 [citado 12 de abril de 2023]. Disponible en: <https://>

repositorio.iica.int/handle/11324/20468

16. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. Anuario meteorológico No53-2013, estación de meteorología M1221 [Internet]. 2017. [citado 15 de abril de 2023]. Disponible en: https://www.inamhi.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf
17. Geraldine A, Simón L. Estudios del nivel de poda en una plantación de *Leucaena leucocephala* CNIA-250. Pastos Forrajes [Internet]. 2001 [citado 4 de noviembre de 2022];24(2). Disponible en: [https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path\[\]=911](https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path[]=911)
18. Pinot DAF, Sorto TJ, Bardales JG, Aguilar DA, Valverde JC, Molina JM. Capacidad de rebrote de *Leucaena macrophylla* Benth con fines dendroenergéticos en Cortes, Honduras. Rev For Mesoam Kurú [Internet]. 2019 [citado 4 de noviembre de 2022];16(38):47-54. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6787132>
19. Toledo JM. Manual para la evaluación agronómica: Red internacional de evaluación de pastos tropicales [Internet]. International Center for Tropical Agriculture; 1982 [citado 13 de abril de 2023]. Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/54148>
20. Roza-Delgado BDL, Fernández AM, Gutiérrez AA. Determinación de materia seca en pastos y forrajes a partir de la temperatura de secado para análisis. Pastos [Internet]. 2011 [citado 21 de febrero de 2022];32(1):91-104. Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/1308>
21. Parry C, Blonquist JM, Bugbee B. In situ measurement of leaf chlorophyll concentration: analysis of the optical/absolute relationship. Plant Cell Environ [Internet]. 2014 [citado 22 de mayo de 2022];37(11):2508-20. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/pce.12324>
22. Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. Official methods of analysis. 19.a ed. Vols. 1-2. Gaithersburg, MD, USA.; 2012.
23. Di Rienzo J, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo C. Infostat: manual del usuario [Internet]. Córdoba: Editorial Brujas. 2008 [citado 13 de abril de 2022]. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
24. Hernández Lalinde JD, Espinosa Castro JF, Peñaloza Tarazona ME, Fernández González JE, Chacón Rangel JG, Toloza Sierra CA, et al. Sobre El Uso Adecuado Del Coeficiente De Correlación De Pearson: Definición, Propiedades Y Suposiciones. Arch Venez Farmacol Ter [Internet]. 2018 [citado 27 de junio de 2023]; Disponible en: <https://bonga.unisimon.edu.co/handle/20.500.12442/2469>
25. Benavides-Mendoza A, Francisco-Francisco N, Benavides-Mendoza A, Francisco-Francisco N. Recientes aplicaciones de la fluorescencia de la clorofila en los cultivos vegetales. Epistem Sonora [Internet]. 2022 [citado 20 de junio de 2023];16(33):106-14. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-81962022000200106&lng=es&nrm=iso&tlng=es
26. Jiménez-Suanca SC, Alvarado S. OH, Balaguera-López HE. Fluorescence as an indicator of stress in *Helianthus annuus* L. A review. Rev Colomb Cienc Hortícolas [Internet]. 2015 [citado 21 de junio de 2023];9(1):149-60. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2011-21732015000100013&lng=en&nrm=iso&tlng=es
27. Moreno SG, Vela HP, Alvarez MOS. La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. Rev Educ Bioquímica [Internet]. 2008 [citado 21 de junio de 2023];27(4):119-29. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenl.cgi?IDREVISTA=278&IDARTICULO=37206&IDPUBLICACION=3953>
28. Yige C, Fangqing C, Lei L, Shunbo Z. Physiological Responses of *Leucaena leucocephala* Seedlings to Drought Stress. Procedia Eng [Internet]. 2012 [citado 17 de marzo de 2023];28:110-6. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705812007011>

29. Araque C, Quijada T, D'Aubeterre R, Páez L, Sánchez A, Espinoza F. Bromatología del mataratón (*Gliricidia sepium*) a diferentes edades de corte en Urachiche, estado Yaracuy, Venezuela. *Zootec Trop* [Internet]. 2006[citado 28 de junio de 2023];24(4):393-9. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692006000400001
30. Verdecia DM, Herrera H, Ramírez JL, Leonard I, Álvarez Y, Bazán Y, et al. Valor nutritivo de *Leucaena leucocephala*, con énfasis en el contenido de metabolitos secundarios. *Revista Electrónica de Veterinaria* [Internet]. 2012 [citado 21 de junio de 2023]; Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/74310>
31. Ramírez JE, Almario NP, Delgado JRM. Rendimiento de biomasa y composición bromatológica de la *Moringa oleífera* (Lam) según frecuencia de corte y altura de poda, en Chaparral Tolima. *Rev Agroforestería Neotropical* [Internet]. 2022 [citado 21 de junio de 2023];1(12). Disponible en: <https://revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/view/3015>
32. Pérez N, Ibrahim M, Villanueva C, Skarpe C, Guerin H. Uso de la diversidad forrajera tropical en combinaciones pareadas de leñosas forrajeras como indicador de preferencia para su inclusión en el diseño de sistemas silvopastoriles en zonas secas. *Cienc Tecnol Agropecu* [Internet]. 2012 [citado 9 de junio de 2023];13(1):79-88. Disponible en: <http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/243>
33. Navas A, Patiño H, Vargas J, Estrada Alvarez J. Producción de *Gliricidia sepium* (Mataratón) en bancos de alta densidad. *Línea Investig Desarro Sist Sosten Aliment Anim Dep Sist Prod Univ Caldas Manizales Colomb* [Internet]. 2000 [citado 21 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x6365s/x6365s.pdf>
34. Vargas Y, Nicolalde J, Díaz A, Caicedo C, Viera W. Evaluación del cultivo de naranjilla bajo sistema agroforestal tipo callejones con *gliricidia* (*Gliricidia sepium*) y *flemingia* (*Flemingia macrophylla*). 2018 [citado 23 de marzo de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5430>
35. Macas JC, Bastidas S, Chiriguay C. Aportes Nutricionales de *Gliricidia sepium*, *Flemingia macrophylla* al cultivo de palma africana, bajo sistema agroforestal en el cantón Joya de los Sachas [Internet]. Sacha, EC: INIAP, Estación Experimental Central de la Amazonía. 2018 [citado 23 de marzo de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5432>
36. Vargas Y, Alcívar W, Nicolalde J, Tinoco L, Díaz A, Viera W. Efecto de Diferentes Sistemas agroforestales con *Pitahaya* (*Hylocereus megalanthus* Haw.) sobre la abundancia y biomasa de lombrices y rendimiento del cultivo, en el cantón Palora. In: 1er Congreso internacional alternativas tecnológicas para la producción agropecuaria sostenible en la Amazonía ecuatoriana. [Internet]. Sacha, EC:INIAP/AGLATAM, 2018 p. 1-7; 2018 [citado 23 de marzo de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5418>
37. Milera M, Martín G, Hernández I, Sánchez T, Fernández E. Resultados preliminares del forraje de *Morus alba* en la alimentación de vacas lecheras. *Av En Investig Agropecu* [Internet]. 2007 [citado 22 de junio de 2023];11(2):3-14. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83711202>
38. Méndez Y, Suárez FO, Verdecia DM, Herrera RS, Labrada JA, Murillo B, et al. Caracterización bromatológica del follaje de *Moringa oleífera* en diferentes estadios de desarrollo. *Cuban J Agric Sci* [Internet]. 2018 [citado 22 de junio de 2023];52(3):337-46. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2079-34802018000300337&lng=es&nrm=iso&tlng=en
39. Panadero AN. Bancos forrajeros de *Moringa oleífera*, en condiciones de bosque húmedo tropical. *Cienc Tecnol Agropecu* [Internet]. 2019 [citado 11 de marzo de 2023];20(2):1-12. Disponible en: <http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1457>
40. Ureña MA, Rojas-Bourrillon A, Campos-Granados CM. Extracción de nutrientes del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) ecotipo INTA-Quepos a tres edades de rebrote con tres niveles de

- fertilización nitrogenada. *Nutr Anim Trop* [Internet]. 2020 [citado 22 de junio de 2023];14(2):113-30. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/44682>
41. Gallego-Castro LA, Mahecha-Ledesma L, Angulo-Arizala J, Gallego-Castro LA, Mahecha-Ledesma L, Angulo-Arizala J. Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agron Mesoam* [Internet]. 2017 [citado 23 de junio de 2023];28(1):213-22. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1659-13212017000100017&lng=en&nrm=iso&tlng=es
 42. Santamaría-Lezcano E, Hertentains-Caballero L, Troetsch-Santamaría O, Melgar-Moreno A. Producción y calidad forrajera de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) a. gray bajo diferentes frecuencias de cortes. *Cienc Agropecu* [Internet]. 2016 [citado 23 de junio de 2023];(25):45-55. Disponible en: <http://200.46.165.126/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/92>
 43. Benalcazar Muriel PM, Pilatasig Molina BR. Aplicación de tres tipos de abonos orgánicos en el cultivo de moringa (*Moringa oleífera*) en el Centro de Investigaciones Sacha Wiwa. [Internet] [BachelorThesis]. Ecuador: La Mana: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC); 2022 [citado 23 de junio de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8971>
 44. Donoso FB, Cedeño JCV, Cedeño AJR. Evaluación de los contenidos de macrominerales de gramíneas y leguminosas en pastoreo en una finca de la región costa en Ecuador. *Rev Ecuat Cienc Anim* [Internet]. 2019 [citado 23 de junio de 2023];3(1):20-3. Disponible en: <http://revistaecuatorianadecienciaanimal.com/index.php/RECA/article/view/105>
 45. Industrias Purace S.A. El azufre en la calidad del forraje y en la nutrición de rumiantes [Internet]. Industrias Purace SA; 1990 [citado 23 de junio de 2023]. Disponible en: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/17143>
 46. Egas Dávila JG, López Vargas SM. Evaluación del efecto de azufre elemental como alternativa de control de garrapatas y su influencia sobre la producción de leche en ganaderías del noroccidente de Pichincha [Internet] [BachelorThesis]. Quito: UCE; 2023 [citado 23 de junio de 2023]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/30279>
 47. Castillo ÁR, Ligarreto GA. Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. *Cienc Tecnol Agropecu* [Internet]. 2010 [citado 23 de junio de 2023];11(2):122-8. Disponible en: <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/202>
 48. Castañeda CS, Almanza-Merchán PJ, Pinzón EH, Cely-Reyes GE, Serrano-Cely PA, Castañeda CS, et al. Estimación de la concentración de clorofila mediante métodos no destructivos en vid (*Vitis vinifera* L.) cv. Riesling Becker. *Rev Colomb Cienc Hortícolas* [Internet]. 2018 [citado 23 de junio de 2023];12(2):329-37. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2011-21732018000200329&lng=en&nrm=iso&tlng=es
 49. Mendoza Tafolla RO, Juárez López P, Ontiveros Capurata RE, AliaTejacal I, Guillén Sánchez D, Villegas Torres ÓG, et al. Estimación de la concentración de clorofila, nitrógeno y biomasa en arúgula (*Eruca sativa* Mill.) mediante mediciones portátiles no destructivas. *Bioagro* [Internet]. 2022 [citado 23 de junio de 2023];34(2):151-62. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8443592>

Concentrados de theobroma cacao como inhibidor de arcillas e incidencia sobre el fluido de perforación base agua polimérico

Theobroma cacao extracts as a clay inhibitor in water-based drilling fluids and impact on polymeric water-based drilling fluid

-  ² Andrea Paola Chávez Chamorro*
-  ² Bolívar Germán Enríquez
-  ^{1, 2} Henry Paúl Romero Cortez
-  ¹ Li Jun
-  ² David Gerardo Marín Alcívar
-  ² Natalia Monserrat Llanganate Caillamara

¹ CNPC Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC), Laboratorio De Fluidos de Perforación y Completaión, Quito, Ecuador.

² Universidad Central del Ecuador, Facultad, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Carrera de Ingeniería en Petróleos, Quito, Ecuador.

* eapchavez@uce.edu.ec

RESUMEN

La estabilidad del pozo depende del control de hidratación de arcillas en las formaciones geológicas, se evaluó las partes cacao como aditivo inhibidor en fluidos de perforación, sustituyendo al glicol.

Se utilizó el método científico experimental; evaluando la propiedad inhibitoria (hinchamiento lineal referencia bentonita en agua dulce) de las diferentes concentraciones del fruto de cacao y glicol, seleccionando los porcentajes más bajos. Se formularon cinco fluidos de perforación a $3 \frac{lbm}{bbf}$ de la pulpa, 3,6 y $9 \frac{lbm}{bbf}$ de cáscara del cacao y un fluido con $3 \frac{lbm}{bbf}$ de glicol correspondiente al fluido estándar, adicionalmente se determinan pruebas químicas en el filtrado del fluido.

La evaluación de formulaciones de fluidos de perforación con inhibidores naturales a $3 \frac{lbm}{bbf}$ se obtiene hinchamiento lineal de la pulpa 41,4 %, cáscara 56,35 % comparándolo con el inhibidor comercial glicol 45,07 %; al filtrado del fluido de perforación que se evalúa a través del contenido de calcio es de $2080 \frac{mg}{l}$ para la pulpa.

La pulpa de cacao tiene mejores propiedades inhibitorias que la cáscara y la semilla, sin embargo, al ser incorporada al fluido de perforación, el alto contenido de calcio interfiere en las propiedades físico químicas requeridas por un fluido de perforación.

Palabras claves: *Inhibidor, fluido de perforación, hidratación de arcillas, Theobroma cacao L, calcio, hinchamiento lineal.*

ABSTRACT

The stability of the well depends on the control of clay hydration in the geological formations; the cocoa parts were evaluated as an inhibitory additive in drilling fluids, replacing glycol. an additive in drilling fluids, replacing glycol (commercial clay inhibitor).

The experimental scientific method was used; evaluating the inhibitory property (linear swelling

reference bentonite in fresh water) of the different concentrations of the cocoa fruit and glycol, selecting the lowest percentages. Five drilling fluids were formulated at 3 $\frac{\text{lbm}}{\text{bbl}}$ of slurry. 3.6 and 9 $\frac{\text{lbm}}{\text{bbl}}$ of cocoa shell and a fluid with 3 lbm/bbl of glycol corresponding to the standard fluid, additionally chemical tests are determined in the fluid filtration.

The evaluation of drilling fluid formulations with natural inhibitors at 3 $\frac{\text{lbm}}{\text{bbl}}$ obtained linear swelling of the pulp 41.4 %, shell 56.35 % compared to the commercial inhibitor glycol 45.07 %; drilling fluid filtrate that is evaluated through calcium content is 2080 $\frac{\text{mg}}{\text{l}}$ for pulp.

Cocoa pulp has better inhibitory properties than the cocoa shell and seed, making it work as a clay inhibitor. However, when incorporated into the drilling fluid, the high calcium content interferes with the physical and chemical properties required by a drilling fluid.

Keywords: *Inhibitor, drilling fluid, clay hydration, Theobroma cacao L, calcium, linear swelling.*

I. INTRODUCCIÓN

La industria petrolera implica varios procesos, todos estos encaminados a la extracción y producción de petróleo, durante estos procesos la perforación es una actividad importante para la vida productiva del pozo, esta actividad se la realiza utilizando fluidos comúnmente conocidos como fluidos de perforación, diseñados en base a las características propias de cada pozo y con el objetivo de cumplir funciones tales como: enfriar la broca, mantener la presión de las paredes del pozo para frenar su colapso o evitar un influjo de fluidos al pozo. (1)

Es importante resaltar que el uso de un fluido de perforación inadecuado puede generar daño a la formación, impactando negativamente el índice de productividad del pozo (2). Los mecanismos de daño a la formación podrían ser generados mediante la migración del fluido de perforación hacia la formación, ya que las partículas finas en los fluidos pueden taponar la garganta de los poros, o el filtrado puede reaccionar químicamente con las arcillas presentes en la formación. Cualquiera de estos procesos puede reducir la permeabilidad de manera dramática ocasionando problemas como invasión de fluidos, revoque en la entrada de la garganta poral, así como formación de precipitados y emulsiones; atribuible a que los pozos han sido perforados con sobre balance (3).

Uno de los problemas generados en la perforación de pozos petroleros es la inestabilidad del pozo (4), causada por la interacción que se da entre las zonas de arcilla altamente reactiva y el fluido de perforación base agua (5), motivo por el cual se hace necesario el uso de aditivos como: inhibidores, controladores de filtrado, viscosificantes y otros

más, que ayuden a conservar las propiedades del fluido diseñado y por ende al óptimo desarrollo de las operaciones de perforación. (6,7)

El uso de aditivos especiales para inhibir la hidratación y dispersión de las arcillas se encuentra estrechamente relacionado con el mecanismo de control de filtrado el cual tienen como objetivo prevenir que el fluido de perforación invada en la formación, controlando la pérdida de fluido a lo largo de las paredes del pozo mediante la formación de un fino y resistente revoque, de esta manera el uso de inhibidores químicos ayuda a mantener o mejorar las características del fluido durante todo el proceso de perforación(8). El fluido de perforación más común está compuesto de agua y una sustancia coloidal, el lodo polimérico o PHPA. Este es uno de los más usados en operaciones de perforación, sin embargo, los aditivos empleados como el glicol o aminas cuaternarias son costosos; en consecuencia, el costo en la formulación de estos lodos resulta ser alto. Por otro lado, los residuos de cáscara de cacao generados en Ecuador no son aprovechados, lo que crea un impacto ambiental y un mayor uso de los rellenos sanitarios.

Investigaciones a plantas encaminadas a minimizar el hinchamiento de arcillas es un área importante y de gran interés tanto para la academia como para la industria, tal es el caso del inhibidor obtenido a partir de semillas de Chía, el cual mediante la ejecución de pruebas de laboratorio han podido demostrar la veracidad de sus propiedades y cuyo desarrollo se ha realizado con el objetivo de generar una solución menos contaminante que iguale o supere al producto comercial. (9)

La industria de los hidrocarburos está en constante investigación e incorporación de nuevas tecnologías, por tanto, es importante implementar productos naturales para sustituir los existentes manteniendo y optimizando las propiedades reológicas del lodo, que sean asequibles, amigables con el medio ambiente y que disminuyan los costos, lo que es rentable para las empresas que invierten en perforación de pozos. (10)

Es clara la existencia de plantas cultivadas y de gran importancia en el Ecuador poseedoras de varios compuestos químicos cuyos componentes son aprovechados por las diferentes industrias, tal es el caso del cacao cuyo fruto es de gran importancia económica para la industria cacaotera (11), pero su producción implica un gran volumen de residuos, que de una u otra manera causa serios problemas ambientales. (12)

Los aditivos son sustancias que se agregan al fluido de perforación para ayudar a mantener o modificar las propiedades con las que fue diseñado, existe gran variedad de aditivos creados para satisfacer las condiciones operacionales cada vez más rigurosas. La preparación de un fluido de perforación involucra añadir aditivos de origen orgánico o inorgánico que controlen o sean capaces de disminuir la reactividad de las arcillas, para mantener de cierta manera un proceso de perforación eficiente. (13)

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó el método científico experimental; se realiza la prueba de hinchamiento lineal con bentonita (arcilla de referencia), a los concentrados de las partes del fruto del cacao (semilla, cáscara y pulpa) con relación al agua dulce de referencia, se selecciona los mejores resultados.

Se prepara concentraciones de 1, 2, 3 y 4 $\frac{lbm}{bbl}$ para la cáscara; 1, 2, 3 $\frac{lbm}{bbl}$ para la pulpa y glicol y de 3 $\frac{lbm}{bbl}$ para la semilla, comparando con el agua dulce como referencia en la prueba de hinchamiento lineal, se selecciona las concentraciones que tengan los porcentajes de hinchamiento lineal más bajos en referencia al agua.

En la segunda parte se formula un fluido de perforación polimérico estándar con el aditivo glicol y fluidos con aditivos que contienen las

partes de los frutos del cacao seleccionados, estableciendo las mismas concentraciones de todos los aditivos empleadas en la industria de fluidos de perforación. “los productos obtenidos del Theobroma cacao L fueron empleados en diferentes concentraciones utilizando las siguientes unidades de campo, lb de producto por cada bbl de mezcla que en unidades de laboratorio es equivalente a gramos de producto por cada 350 ml de mezcla” (14).

Se formulan cinco fluidos de perforación poliméricos, comparando el fluido patrón o base con 3lb/bbl de glicol (inhibidor comercial) con fluidos a los cuales reemplazamos con inhibidores naturales como son: pulpa a 3 $\frac{lbm}{bbl}$, cáscara a 3,6 y 9 $\frac{lbm}{bbl}$ tomando en consideración que se evalúa a la cáscara con 2 concentraciones superiores a las establecidas en la industria por ser residuo del fruto económicamente más rentable.

Se evalúan la reología y filtración antes y después de rolar (simular condiciones de pozo temperatura a 120°F y tiempo 16 horas). En los filtrados de los fluidos se realizan pruebas químicas de alcalinidad, cloruros y contenido de calcio, estos ensayos de laboratorio se ejecutaron según los procedimientos detallados en la norma API RP 13B-1, para el manejo de equipos se utilizaron los métodos estándar descritos en el manual del fabricante (15,16).

Pruebas de hinchamiento lineal

El equipo usado en el trabajo mide la variación longitudinal del espesor de la pastilla preparada con la muestra de lutita en el tiempo, este valor lo transforma automáticamente en porcentaje de hinchamiento, tomando como valor inicial el espesor original de la muestra de lutita (para $t=0$). (17)

Se evaluaron las propiedades inhibitorias de cada formulación, utilizando el equipo de hinchamiento lineal, como se indica a continuación: (18)

- Preparar las pastillas de bentonita en el compactador OFITE.
 - Pesar 15 g de bentonita.
 - Hidratar al 5% con agua dulce.
 - Tamizar en malla 200.
 - Colocar la bentonita hidratada en el compactador.
 - Someter a 6000 PSI de presión durante 30 minutos.

- Armar la celda del DSM (Dynamic Swell meter).
- Registrar el valor cero en el software con la celda en la termocupla.
- Retirar la celda de la termocupla.
- Colocar la pastilla de bentonita entre las mallas e insertar en la celda.
- Agregar 150 ml de fluido a evaluar, a la celda a través del orificio de la tapa.
- Colocar la celda en la termocupla.
- Agregar la información solicitada por el software e iniciar la prueba.
- Realizar la prueba durante 70 horas.
- Los resultados se interpretan con respecto al volumen que se incrementa en la muestra de arcilla al incorporar en agua.



Figura 1. Equipo de hinchamiento lineal.

Reología

La viscosidad plástica (PV) al ser la fricción mecánica, depende de la concentración, tamaño y forma de los sólidos presentes en el fluido siendo su control indispensable para mejorar el comportamiento reológico y para obtener altas tasas de penetración (ROP). Punto Cedente (Yp) es la fuerza de atracción electroquímicas o de atracción del lodo. Se relaciona con la capacidad de limpieza del fluido en condiciones dinámicas, sufre un incremento por la acción de contaminantes solubles.

Resistencia de gel ($\frac{lb}{100 pie^2}$) es la medida de atracción bajo condiciones estáticas o de no flujo. Está relacionada con la capacidad de suspensión del fluido. (19)

Con la ayuda de un reómetro se registró las velocidades con las que el rotor se mueve sumergido en el fluido de prueba como se indica

en los siguientes pasos:

- Encender el equipo.
- Colocar el fluido a evaluar en el vaso térmico hasta el nivel de referencia.
- Introducir el vaso térmico dentro de la termocupla.
- Sumergir el cilindro rotatorio (hasta el nivel marcado) dentro del fluido a evaluar con ayuda de la plataforma regulable.
- Agitar y calentar el fluido hasta una temperatura de equilibrio de 120 °F.
- Registrar la lectura constante a velocidades de 600, 300, 200, 100, 6 y 3 rpm.
- Calcular la viscosidad plástica y el punto cedente.

Para el cálculo de la viscosidad plástica (PV) y punto cedente (Yp) se emplearon las siguientes formulas:

$$PV [cP] = \theta_{600} - \theta_{300} (1)$$

$$YP \left[\frac{lb}{100 pie^2} \right] = \theta_{300} (1) - PV (2)$$

Donde:

PV= Viscosidad Plástica (Cp)

YP= Yeild point $\frac{lb}{100 pie^2}$

θ_{600} = Lectura a 600 RPM

θ_{300} = Lectura a 300 RPM

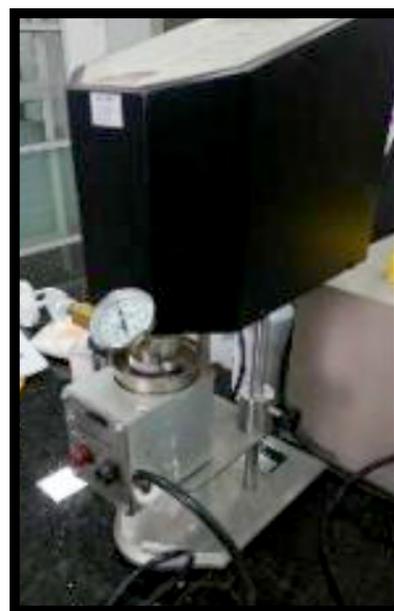


Figura 2. Reómetro

Filtrado.

Esta medida indica la cantidad relativa de líquido que se filtra a través del revoque hacia formaciones permeables, cuando el fluido está sometido a una presión diferencial.

La costra de lodo o revoque son los sólidos que se depositarán sobre las paredes del pozo, en un espesor que, idealmente, es de $\frac{1}{32}$ de pulgada aproximadamente.

Existen varios métodos para la obtención de filtrado, de acuerdo con las normas API:

- Filtrado API @100 psi y temperatura ambiente
- Alta presión y temperatura (HPHT)
- Permeability Plug Tester (PPT)

El volumen de filtrado se lo determino empleando El filtrado API @ 100 psi y temperatura ambiente, con ayuda de una unidad filtro prensa, utilizando el siguiente procedimiento: (20)

- Armar las celdas de prueba.
- Colocar los fluidos a evaluar dentro de las celdas hasta $\frac{1}{2}$ pulgada por debajo del borde superior.
- Ubicar las celdas en el marco, tapar y asegurar con el tonillo.
- Colocar una probeta graduada debajo de cada tubo de drenaje.
- Asegurarse que las válvulas sobre las celdas y las válvulas de alivio estén cerradas.
- Colocar una fuente de presión constante a 100 PSI durante 30 minutos.
- Medir el volumen de filtrado recolectado en la probeta.
- Desmontar el equipo.



Figura 3. Equipo de filtración

Pruebas Químicas.

Calcio

Cuando se agrega EDTA al agua o al filtrado de fluido de perforación que contiene calcio y magnesio, se combina primero con el calcio. El calcio se puede determinar con EDTA cuando el pH de la muestra es suficientemente alto. de modo que el magnesio precipita como hidróxido y se utiliza un indicador específico para el calcio en este caso el Calver II 6 o azul de hidroxinaftol.

Los indicadores dan cambios de color cuando todo el calcio ha sido complejado por EDTA a un pH de 12 a 13; el punto final oscurecido por componentes orgánicos se puede remediar oxidando con un reactivo como el hipoclorito de sodio. (15,16)

Se determina con la ecuación 3 descrita a continuación:

$$Ca = \frac{400 * V_{EDTA}}{V_f} \quad (3)$$

Donde:

Ca = Concentración de calcio expresada en mg por litro

V_{EDTA} = Volumen de la solución EDTA expresada en mililitros (1ml = 400mg Ca²⁺)

V_f = Volumen del filtrado de la muestra

Dureza Total

La dureza del agua o del filtrado de lodo se debe, básicamente, a la presencia de iones de calcio y magnesio. Cuando se agrega EDTA (ácido etilendiaminotetracético o su sal) al agua, éste se combina con el calcio y el magnesio y el punto final se determina utilizando un indicador apropiado. La dureza total del agua se expresa como miligramos de calcio por litro de agua. Si el punto final no se ve claramente debido a la presencia de componentes de color oscuro, esto se puede solucionar oxidando con un reactivo como el hipoclorito de sodio, se determina mediante la ecuación 4. (15,16)

$$Ca + Mg = \frac{400 * V_{EDTA}}{V_s} \quad (4)$$

Donde:

V_{EDTA} = Volumen de la solución de EDTA expresado en mililitros.

V_s = Volumen de la muestra expresada en mililitros.

Ion Cloruro

Se determina la concentración del ion cloruro en el filtrado de los fluidos de perforación, con el empleo de nitrato de plata y con fenolftaleína. (15,16)

Se determina el ion cloruro mediante la ecuación 5.

$$Cl = \frac{1000 * V_{sn}}{V_f} \quad (5)$$

Donde:

V_{sn} = Volumen de la solución de nitrato de plata, expresada en mililitros.

V_f = Volumen del filtrado del fluido de perforación, expresado en mililitros.

| Nº | Prueba Químicas | Método |
|----|-----------------------|--------------|
| 1 | Calcio | API RP 13B-1 |
| 2 | Dureza total | API RP 13B-1 |
| 3 | Contenido de cloruros | API RP 13B-1 |

Tabla 1. Pruebas químicas.

En la Tabla 1, se muestra las pruebas químicas y el método empleado, que se realizan en el volumen del filtrado.



Figura 4. Pruebas químicas

Formulación de fluido de perforación

Se formuló cinco fluidos de perforación con fluido polimérico, utilizando los aditivos descritos en la Tabla 2.

| Aditivos | unidades | Concentración | | | | | Función |
|---------------------------------|----------|---------------|-----|-----|-----|-----|-------------------------|
| | | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | |
| Alcalinizante | lbm/bbl | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | Controlador de pH |
| PAC LV | lbm/bbl | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | Controlador de Filtrado |
| Goma Xántica | lbm/bbl | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | Viscosificante |
| CaCO3 325 | lbm/bbl | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | Densificante |
| Bactericida | lbm/bbl | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | Bactericida |
| Glicol | lbm/bbl | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | Inhibidor comercial |
| Concentrado pulpa de Cacao | lbm/bbl | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | Inhibidor Natural |
| Concentrado de cáscara de cacao | lbm/bbl | 0 | 0 | 3 | 6 | 9 | Inhibidor Natural |

Tabla 2. Formulaciones de fluidos de perforación

Los inhibidores de arcillas utilizados fueron el inhibidor comercial (glicol) F2 y los seleccionados con mejores características inhibitorias de los concentrados (cáscara y pulpa de *Theobroma cacao* L) F1,F3,F4,F5.

III. RESULTADOS

Hinchamiento Lineal Concentrados

Los productos evaluados fueron: concentrados de semilla (CS), concentrado de cáscara (CC) y concentrado de pulpa (CP); con bactericida para evitar su degradación, y agua probados en pastillas de bentonita.

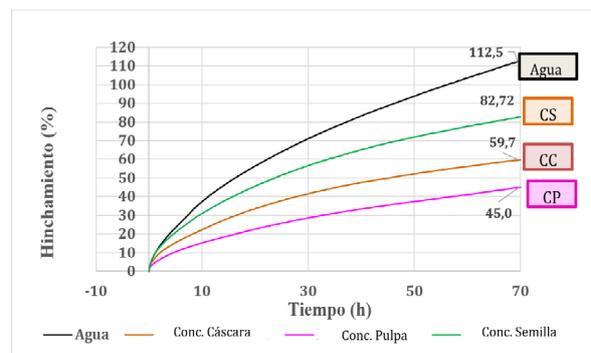


Figura 5. Curvas de hinchamiento lineal de los concentrados de semilla, pulpa y cáscara del cacao.

En la figura 5, se observa el hinchamiento de las pastillas de bentonita en función del tiempo, el porcentaje de hinchamiento máximo es para la pastilla de bentonita sumergida en agua dulce, de 112,5 %, el cual sirve como referencia del máximo hinchamiento posible, que indica que la bentonita sufrió su máxima hidratación.

Para los concentrados: CC, CP y CS, se obtuvieron valores de 59,7%, 45,0% y 82,7% respectivamente, todos por debajo del resultado con agua, siendo los mejores resultados el concentrado de cascara y pulpa, que representan aproximadamente el 50 % menos al valor referencial máximo obtenido con el agua, un indicador que nos permite la posibilidad de reducir los problemas en la operación.

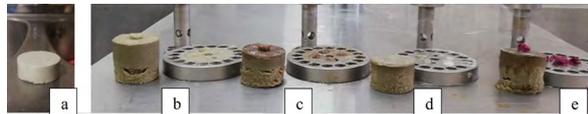


Figura 6. Hinchamiento de las pastillas de bentonita después de la prueba con concentrados del cacao. a) Pastilla Inicial, b) Pastilla Final con Agua, c) Pastilla Final con CC, d) Pastilla Final con CP, e) Pastilla Final con CS.

En la figura 6, se compararon el estado inicial de las pastillas de bentonita, su cambio después de la exposición al agua y a los concentrados del cacao por 70 horas, se evidencia el aumento del volumen que experimentan las pastillas por la hidratación.

La exposición de las pastillas de bentonita con el concentrado de pulpa (CP) presenta el menor hinchamiento lineal expresado en un 45 % de hinchamiento lineal o hidratación evidenciado visualmente por el menor volumen de la pastilla.

Hinchamiento Lineal cascara Las siguientes pruebas fueron realizadas a la cascara sólida (CS1, CS2, CS3 y CS4) en diferentes concentraciones.

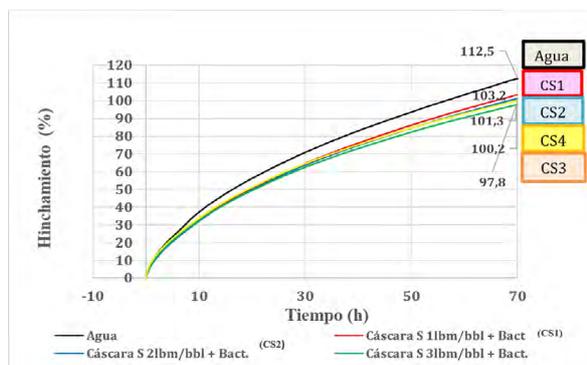


Figura 7. Curvas de hinchamiento lineal de la cascara sólida.

Se observa en la figura 7, el hinchamiento de la pastilla de bentonita en función del tiempo. Los valores de hinchamiento son: 103,2 %, 101,3 %, 97,8 % y 100,2 % para CS1 ($1\frac{lbm}{bbl}$) CS2 ($2\frac{lbm}{bbl}$) y CS3 ($3\frac{lbm}{bbl}$), CS4 ($4\frac{lbm}{bbl}$) respectivamente, todos por debajo del resultado con agua, siendo el CS3 el menor porcentaje de aproximadamente un 13 % bajo el agua.

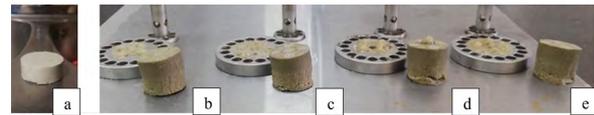


Figura 8. Hinchamiento de las pastillas de bentonita después de la prueba con la cascara sólida. a) Pastilla Inicial, b) Pastilla Final con CS1, c) Pastilla Final con CS2, d) Pastilla Final con CS3, y e) Pastilla Final con CS4.

En la figura 8, se compara el estado inicial de las pastillas de bentonita con agua y su cambio después de la exposición a las formulaciones con cascara sólida a cuatro concentraciones CS1 ($1\frac{lbm}{bbl}$) CS2 ($2\frac{lbm}{bbl}$) y CS3 ($3\frac{lbm}{bbl}$), CS4 ($4\frac{lbm}{bbl}$) observándose el aumento del volumen que experimenta la pastilla por la hidratación que para este caso fue casi imperceptible la diferencia entre cada concentración.

Hinchamiento Lineal pulpa sólida Las siguientes pruebas fueron realizadas a la pulpa sólida (PS1, PS2, PS3) en diferentes concentraciones.

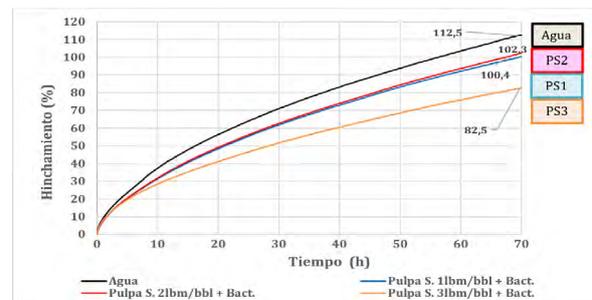


Figura 9. Curvas de hinchamiento lineal de la pulpa sólida.

En la Figura 9, se observa el hinchamiento de las pastillas de bentonita en función del tiempo, los valores obtenidos fueron: 100.4 %, 102.3 % y 82.5 % para PS1 ($1\frac{lbm}{bbl}$), PS2 ($2\frac{lbm}{bbl}$) Y PS3 ($3\frac{lbm}{bbl}$) respectivamente, todos por debajo del valor del agua.



Figura 10. Hinchamiento de las pastillas de bentonita después de la prueba con la cascara sólida. a) Pastilla Inicial, b) Pastilla Final con PS1, c) Pastilla Final con PS2, d) Pastilla Final con PS3.

En la figura 10, se compara el estado inicial de las pastillas de bentonita con agua y su cambio después de la exposición a las formulaciones con pulpa sólida por 70 horas a tres concentraciones PS1 PS1 ($1 \frac{lbm}{bbf}$), PS2 ($2 \frac{lbm}{bbf}$) y PS3 ($3 \frac{lbm}{bbf}$), observándose el aumento del volumen que experimenta la pastilla por la hidratación que para este caso fue casi imperceptible la diferencia entre cada concentración.

Hinchamiento Lineal semilla solida

Para finalizar con las partes del cacao se realizó la prueba de hinchamiento lineal a la semilla sólida (SS) y se comparó con agua.

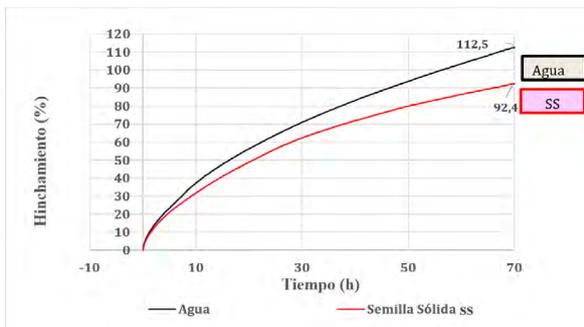


Figura 11. Curva de hinchamiento lineal de la semilla sólida.

En la Figura 11, se observa el hinchamiento de la pastilla de bentonita en función del tiempo (70 horas), obteniendo para semilla sólida 92.4%, valor por debajo al del agua indicando la presencia de propiedades inhibitorias, sin embargo, la obtención de este producto implicaría un alto costo debido a la gran importancia económica que tiene la semilla, además de la complejidad del proceso de separación de las semillas del fruto, por estos motivos deja de ser un objetivo de estudio en esta investigación.

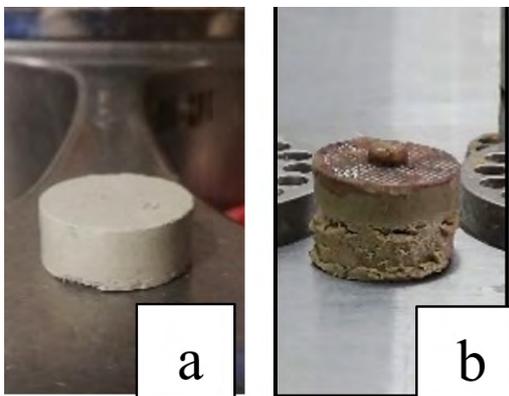


Figura 12. Hinchamiento de las pastillas de bentonita después de la prueba con la semilla sólida. a) Pastilla Inicial y b) Pastilla Final con SS.

Se compara el estado inicial de las pastillas de bentonita con agua y su cambio después de la exposición de agua con $3 \frac{lbm}{bbf}$ de semilla sólida, en la Figura 12, se puede reconocer visualmente el aumento del volumen que experimenta la pastilla por la hidratación.

Hinchamiento líneas con Inhibidor comercial

Ya finalizadas las pruebas a las partes del cacao (Theobroma cacao L) se realizó las pruebas de hinchamiento lineal al inhibidor comercial Glicol IG1 ($1 \frac{lbm}{bbf}$), IG2 ($2 \frac{lbm}{bbf}$) y IG3 ($3 \frac{lbm}{bbf}$) en diferentes concentraciones.

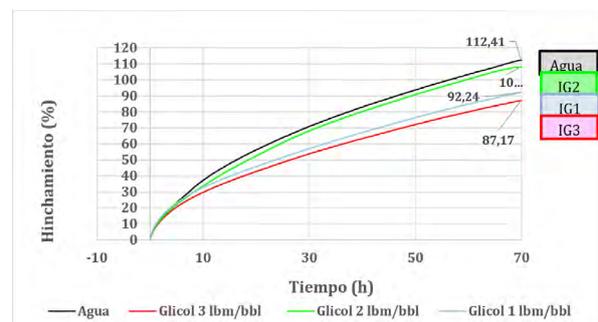


Figura 13. Curvas de hinchamiento lineal del inhibidor comercial – Glicol

Los valores obtenidos por IG1, IG2 e IG3 fueron de 92,24%, 107,96% y 87,17% respectivamente, como se observa en la Figura 13, con este resultado se obtuvo que la concentración IG3 de $3 \frac{lbm}{bbf}$ tiene la mayor capacidad de inhibición, por lo que es seleccionada para las pruebas posteriores.

Fluidos de perforación formulados.

Esta prueba se realizó en base a los productos escogidos con mejores propiedades inhibitorias, en las pruebas de hinchamiento lineal realizadas con agua y bentonita.

Las formulaciones evaluadas fueron F1, F2, F3, F4 y F5, descritas en la Tabla 3.

| Tiempo | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|----------|------------------------------|-------------------|-------------------------|-------|-------|
| | Fluido con Extracto de Pulpa | Fluido con Glicol | Fluido con Cáscara Seca | | |
| Horas | % Hinchamiento | | | | |
| 0:00:00 | 0,00 | 0,00 | 00,00 | 00,00 | 00,00 |
| 10:00:00 | 15,58 | 18,83 | 21,55 | 16,76 | 18,25 |
| 20:00:00 | 22,94 | 26,26 | 31,53 | 24,01 | 26,36 |
| 30:00:00 | 28,62 | 31,69 | 38,37 | 29,32 | 31,81 |
| 40:00:00 | 32,98 | 35,67 | 43,86 | 33,51 | 36,48 |
| 50:00:00 | 36,44 | 39,27 | 48,46 | 36,99 | 40,52 |
| 60:00:00 | 39,09 | 42,33 | 52,76 | 40,01 | 43,94 |
| 70:00:00 | 41,37 | 45,14 | 56,36 | 42,74 | 47,47 |

Tabla 3. Porcentaje de hinchamiento de los fluidos formulados

En la tabla 3, se describe el hinchamiento lineal de los 4 fluidos en función del tiempo determinando valores cada 10 horas, y al finalizar la prueba a las 70 horas.

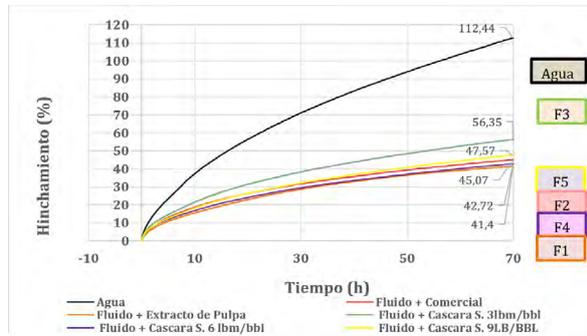


Figura 14. Curvas de hinchamiento lineal de fluidos de perforación formulados

Figura 14, se presentan los resultados del hinchamiento lineal realizado a los fluidos formulados: (F1, F3, F4 y F5) con inhibidor natural a base cacao (*Theobroma cacao* L), y F2 con inhibidor comercial (Glicol). Los valores de hinchamiento lineal obtenidos fueron: 41,4%, 45,1%, 56,3%, 42,7% y 47,4% para F1 (pulpa $3 \frac{lbm}{bbf}$

), F2 (glicol $3 \frac{lbm}{bbf}$), F3(cáscara $3 \frac{lbm}{bbf}$), F4(cáscara $6 \frac{lbm}{bbf}$) y F5 (cáscara $9 \frac{lbm}{bbf}$) respectivamente.

Comparando los resultados de hinchamiento lineal de la pulpa y cáscara con el inhibidor comercial a las mismas concentraciones de ($3 \frac{lbm}{bbf}$) se tiene la pulpa con 41,4% , la cáscara 56,35% y el inhibidor comercial Glicol de 45,07%, observando que los efectos inhibitorios tanto de la cáscara como de la pulpa se asemejan al inhibidor comercial, destacando que a mayores concentraciones de cáscara el efecto inhibitorio es mejor incluso superior al inhibidor comercial, con una diferencia porcentual del 11,29% entre el inhibidor comercial y la cáscara del cacao a ($3 \frac{lbm}{bbf}$).

Reología

Los fluidos de perforación formulados (F1, F2, F3, F4 y F5) fueron evaluados mediante reología y filtrado. Antes el Rolar (A. R) y Después de Rolar (D. R). considerándose como rolar a la simulación en un horno a las condiciones del pozo de temperatura a 120°F y presión en un tiempo de 16 horas.

| | Unidad | Inhibidor natural pulpa de cacao | | Inhibidor comercial Glicol | | Inhibidor natural cáscara de cacao | | | | | |
|----------|------------|----------------------------------|------|----------------------------|------|------------------------------------|------|------|------|------|------|
| | | F1 | | F2 | | F3 | | F4 | | F5 | |
| | | A.R | D.R | A.R | D.R | A.R | D.R | A.R | D.R | A.R | D.R |
| L600 | RPM | 109 | 111 | 45 | 41 | 50 | 58 | 54 | 63 | 58 | 72 |
| L300 | RPM | 78 | 85 | 29 | 29 | 31 | 36 | 35 | 40 | 37 | 45 |
| L200 | RPM | 62 | 69 | 22 | 22 | 23 | 28 | 26 | 31 | 29 | 34 |
| L100 | RPM | 43 | 47 | 14 | 13 | 14 | 17 | 16 | 19 | 18 | 21 |
| L6 | RPM | 10 | 12 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| L3 | RPM | 7 | 9 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| PV | cP | 31 | 26 | 16 | 12 | 18 | 22 | 19 | 23 | 20 | 26 |
| YP | lb/100 ft2 | 47 | 59 | 12 | 17 | 13 | 14 | 16 | 16 | 17 | 19 |
| Filtrado | ml/30 min | 4,9 | 27,0 | 28,0 | 40,0 | 23,0 | 38,1 | 15,4 | 35,3 | 16,5 | 46,1 |

Tabla 4. Pruebas físicas de fluidos de perforación

En la tabla 4, se puede observar que la viscosidad con la lectura de 600 rpm con la pulpa arroja valores que se duplican aproximadamente con respecto a todos los fluidos, siendo esto desfavorable para la operación ya que causa caídas de presión por la energía que se necesitaría para mover el fluido

A medida que aumenta la viscosidad del fluido en el medio, aumentan las fuerzas de arrastre sobre las partículas, por lo que será más fácil desprender las partículas si el fluido es más viscoso, esto es, su velocidad crítica será menor.

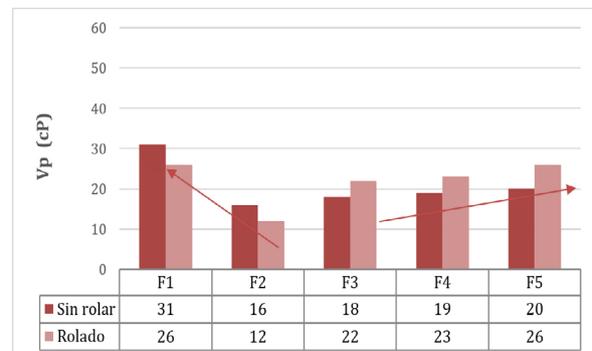


Figura 15. Viscosidad plástica de los fluidos de perforación formulados

En la Figura 15, se muestra los valores de viscosidad plástica antes y después del rolado, esta propiedad nos indica la cantidad, forma, tamaño de sólidos presente en el fluido de perforación.

Para F1 y F5 se obtiene el mismo valor de viscosidad plástica más alto (26 cP) y para F2 se obtiene el menor valor de viscosidad (12 cP) siendo del fluido referente con el inhibidor comercial glicol, si se compara F3, F4 y F5 se observa que el incremento de la viscosidad plástica no es significativa.

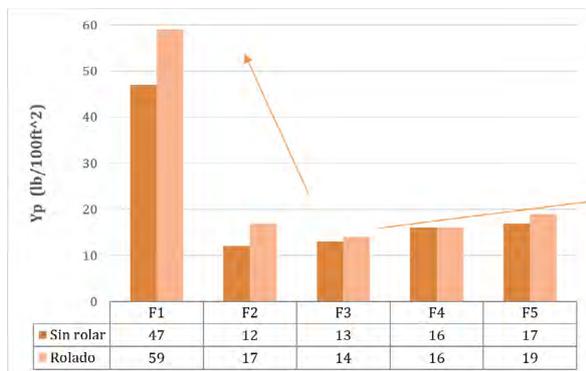


Figura 16. Punto cedente fluido de perforación formulado

Los valores de punto cedente antes y después del rolado, se observan en la Figura 16. El Yp (yeld point) es un valor que indica la capacidad del fluido en la limpieza del pozo, sin embargo, valores demasiado altos no permiten al fluido cumplir con esta función, como es el caso de F1 con $59 \frac{\text{lbm}}{100\text{pies}^2}$

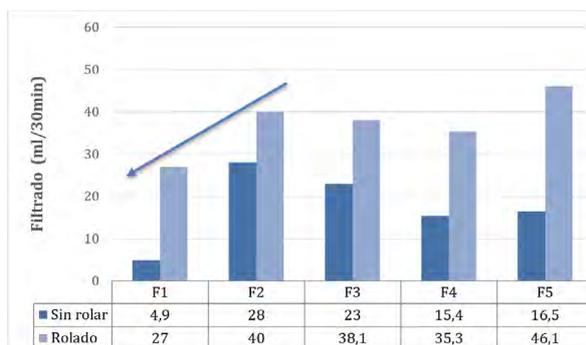


Figura 17. Filtrado fluido de perforación formulado

En la figura 17, se muestran el volumen de filtrado. F1 (con concentrado de pulpa) comparado con F2 (con inhibidor comercial glicol) tiene el menor valor de volumen de filtrado (27 ml) y para los

fluidos; F3, F4 y F5, (con cáscara sólida) se tiene valores con una tendencia no significativa por debajo de los 50 ml.

Los productos que tienen propiedades inhibitorias no suelen afectar al filtrado, en los resultados podemos observar un efecto positivo con la pulpa de cacao ya que sus valores son bajos siendo posiblemente favorables sin tomar en cuenta otros parámetros.

Pruebas Químicas

Se realizaron pruebas químicas a los fluidos de perforación formulados (F1, F2, F3, F4 y F5).

| | | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|----------|--------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|------|------|
| | Unidad | Inhibidor natural Pulpa de cacao | Inhibidor Comercial Glicol | Inhibidor natural Cáscara de cacao | | |
| Cloruros | mg / l | 1400 | 1600 | 1640 | 2000 | 1860 |
| Calcio | mg / l | 2080 | 72 | 60 | 184 | 440 |
| Dureza | mg / l | 2120 | 96 | 96 | 188 | 480 |

Tabla 5. Resultados de pruebas químicas

En la Tabla 5, se puede observar los resultados de las pruebas químicas realizadas a los fluidos formulados.

Para el fluido de perforación con extracto de pulpa (F1) se obtiene el mayor valor de contenido de calcio, en cuanto a los fluidos de perforación con cáscara sólida (F3, F4 y F5) se tiene una tendencia a incrementar conforme la concentración aumenta.

Los fluidos que superen los 400 ppm (Ca^{2+}) Calcio provocaran una destrucción de los polímeros, observando en la pulpa de cacao valores de 2080 ppm de calcio, por lo cual se descarta el uso de la pulpa en este tipo de fluidos.

IV. DISCUSIÓN

- El fruto del cacao contiene cáscara, mucílago y cascarilla. La industria del cacao genera grandes cantidades de estos materiales diferenciados, los cuales contienen compuestos de interés para diferentes industrias (21). Así como, la biomasa residual que representan un riesgo ambiental llegando a afectar la salud humana

y animal (22).

En la industria petrolera específicamente en la etapa de perforación los aditivos empleados en los fluidos de perforación son un factor crítico en la contaminación ambiental, lo que ha despertado el interés en buscar alternativas y metodologías ambientalmente sostenibles como es el empleo de residuos orgánicos, en esta investigación se encontró que los desechos de cacao como la cáscara y la pulpa tienen propiedades inhibitorias que se compararon con productos empleados en la industria como son los glicoles.

- En estudios realizados al cacao en cuanto a su contenido de Calcio ($\frac{mg}{100g}$), "se obtuvieron los valores de concentración más altos CVH6 ($108,80 \frac{mg}{100g}$), CVH15 ($108,63 \frac{mg}{100g}$) y CVH12 ($108,57 \frac{mg}{100g}$). Las muestras no cumplen con las concentraciones obtenidas por Moreiras et al. (2019) de $106 \frac{mg}{100g}$. Dichas muestras se aproximan a lo referenciado por Perea et al. (2011) quienes en su investigación con muestras de cacao en Colombia observaron un rango entre 100, 20 y $113,43 \frac{mg}{100g}$. La muestra con la menor concentración de calcio dentro de esta investigación es la CVH3 con $85,67 \frac{mg}{100g}$ la cual está por debajo de lo recomendado por los autores mencionados". (23)

El contenido de calcio depende del tipo de cacao, región donde se ubica y de la parte del cacao analizado. Como se evidencia en esta investigación el cacao analizado contiene $208 \frac{mg}{100g}$ de calcio soluble en catión Ca+2.

- El grado del aumento de volumen depende de la arcilla que se hidrata y el tipo de catión y concentración en el agua que lo rodea. Las arcillas sódicas dan la más grande hidratación. Debido a la disociación de los cationes sodio, las fuerzas atractivas las cuales enlazan las plaquetas juntas son debilitadas para extender las hojas individuales literalmente flotan a través una de otra y se dispersan en el ambiente acuoso. Esta dispersión es aún más grande con agitación y un alto pH. Por otro lado, las arcillas cálcicas exhiben considerablemente menos hidratación debido al ion calcio (24). Como se muestra en la (Tabla 6) los diámetros de los iones con hidratación y sin hidratación. Los iones calcio calzaran en los huecos hexagonales de la capa de Silicio y muy efectivamente neutraliza la deficiencia

de carga en esa capa. De esta manera, las capas sucesivas están unidas fuertemente y una estructura no-expandible es producida minimizando el hinchamiento de las arcillas (25).

| Átomo | Ion deshidratado Diámetro en Angstroms | Ion hidratado diámetro en Angstroms |
|--------------|--|---|
| Na- Sodio | 1,90 | 5,5 - 11,2 |
| K- Potasio | 2,66 | 4,64 7,6 |
| Cs- Cesio | 3,34 | 4,6 7,6 |
| Mg- Magnesio | 1,3 | 21,6 |
| Ca- Calcio | 1,90 | 19 |

Tabla 6. Radio iónico antes y después de la hidratación

La cantidad elevada de calcio limita la aplicación en fluidos poliméricos ya que este interactúa con los polímeros y los degrada, al interactuar con la arcilla las flocula, incrementando los valores reológicos que se evidencia en la viscosidad plástica de 26 cP y modificando las propiedades de filtrado a 27 ml, comparados con el fluido que contiene glicol que es 12 cP de reología y 40 ml de filtrado; sin embargo su aplicación a fluidos de perforación calados o del tipo nitrato de calcio es idóneo, ya que funciona como inhibidor en un ambiente con alto contenido de calcio por su propiedad de Intercambio Catiónico; la cual consiste en intercambiar un catión de mayor radio iónico por un catión de menor radio iónico. Cuando ocurra este intercambio en la estructura de las arcillas, se logrará minimizar el hinchamiento. El catión de intercambio que se analizó en este estudio es el Calcio.

- Los problemas generados en la perforación de pozos petroleros como consecuencia de la interacción entre el fluido de perforación y las formaciones arcillosas, hace evidente la necesidad de plantear posibles soluciones que permitan disminuir los problemas asociados con pegas de tubería, embolamiento de la broca y pérdidas de circulación, los cuales se traducen en aumento de tiempo no productivo, costos y la inestabilidad del pozo. Las formaciones arcillosas presentan gran complejidad en su estructura química y su entendimiento hace posible la selección de fluidos de perforación con inhibidores (26)

La búsqueda de inhibidores que mejoren las propiedades de los fluidos de perforación ha llevado a la ciencia a ensayar con desechos de productos naturales, como es el cacao que

al ser analizado en el fluido de perforación como inhibidor de arcillas se determinan propiedades que evitan los problemas en los pozos mencionadas con antelación, en el hinchamiento lineal presenta mejor rendimiento la pulpa del cacao comparada con la cáscara, sin embargo al existir una sinergia entre las propiedades como la viscosidad plástica, geles, filtrado, propiedades químicas, la cáscara cumple con todas las propiedades requeridas para su efectivo funcionamiento en el pozo.

V. CONCLUSIONES

- En la evaluación de las partes del cacao incorporados a $3 \frac{lbm}{bbf}$ en las formulaciones de los fluidos poliméricos de perforación se encontró el mejor resultado con la pulpa a un 41,4 % de hinchamiento lineal, la cascara con un 56,35 % y comparado con el glicol con un 45,07 %, siendo esta prueba un indicativo que la pulpa y la cáscara de cacao pueden ser sometidos a pruebas de campo a condiciones de pozo (P,T°).
- La viscosidad plástica para la pulpa es de 26 cP, para la cascara de 22 cP en comparación con el obtenido con el inhibidor comercial glicol que es de 12 cP, esta propiedad representa la capacidad que tiene el fluido para arrastrar los sólidos del hoyo, operacionalmente se trabaja con viscosidades plásticas para las sección $12 \frac{1}{4}$ en rangos de (10 a 23 cP) que ira variando en función de la profundidad (4500-12000 ft), cuando se pasa este rango se provoca la disminución del ROP, incrementa el punto cedente lo que ocasiona un mayor esfuerzo para romper los geles pudiendo provocar sobrecarga para los motores.
- Los valores de filtrado obtenidos específicamente después de rolar (simulación de las condiciones del pozo); el fluido polimérico con pulpa tiene un filtrado de 27 ml, la cáscara con un valor de 38,1 ml comparado con el glicol inhibidor comercial de 40 ml como se puede
- apreciar las diferencias no son significativas siendo el fluido con la cáscara el más cercano al comercial abriéndose las posibilidades de ser tomado en consideración para pruebas piloto en campo, ya que al tener valores muy cercanos al de referencia se podría estimar que va a cumplir con ciertas propiedades como impermeabilización del pozo.
- En las pruebas químicas el valor alto de calcio determinados en el filtrado del fluido de perforación incorporando la pulpa de cacao es de $2080 \frac{mg}{lt}$ comparado con el filtrado del fluido de perforación incorporado el inhibidor comercial glicol que tiene $72 \frac{mg}{lt}$, esta cantidad de iones calcio incorporados en los fluidos poliméricos provocan floculación del fluido perdiendo propiedades como la viscosidad, propiedades tixotrópicas que afectarían en el rendimiento de un fluido polimérico en la perforación de un pozo, sin embargo la cantidad de iones calcio en la cáscara es de $60 \frac{mg}{lt}$ incluso menor al referencial, siendo una opción de prueba piloto en el campo a condiciones reales de perforación.
- Los resultados de hinchamiento lineal, viscosidad plástica, calcio, cloruros y filtrado realizado al fluido de perforación que contiene el aditivo a $3 \frac{lbm}{bbf}$ de cáscara de cacao como inhibidor de arcillas, se encuentran dentro del rango que está estimado por el inhibidor arcillas comercial, siendo posible pasar a la evaluación del fluido en campo, en pozos a condiciones reales.
- Para el fluido de perforación que contiene el aditivo pulpa del cacao a $3 \frac{lbm}{bbf}$ los resultados de hinchamiento lineal y cloruros de encuentran dentro del rango que está determinado por el inhibidor comercial, sin embargo, la viscosidad plástica, filtrado y calcio no cumplen con rangos establecidos operacionalmente y por el referente inhibidor comercial, por lo que va a dificultar corregir con otros aditivos y poder ser probado en pozo.

V. REFERENCIAS

1. Guarachi F, Guía de Fluidos de Perforación y Laboratorio; [Internet]. 2021, Sep. [citado el 13 de febrero 2024]. Disponible desde: <https://www.geologiaviva.info/wp-content/uploads/2021/09/97491115-GUIA-DE-FLUIDOS-DE-PERFORACION.pdf>
2. Condit, G. Análisis de los fluidos de Completación y reacondicionamiento de pozos para determinar

- si previene el daño de formación en los campos Fanny y Dorine. [Tesis de pregrado]. Ecuador. Escuela Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Guayaquil, Ecuador.2008. Recuperado partir de: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6172/2/Presentacion%20de%20Tesis%20%282%29.pdf>
3. Herrera, G. Estudio técnico-económico post-fractura en el campo Conanaco. [Tesis de pregrado]. Ecuador. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos, Quito, Ecuador, 2009. Recuperado a partir de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1182/1/CD-2031.pdf>.
 4. Flórez Ardila DC, Villamizar Serrano M, Loza JA, Calderón ZH. Determinación Del Hinchamiento Lineal En Cortes De Perforación Utilizando Strain Gages. Revue [Internet]. 20 de diciembre de 2011 [citado 15 de febrero de 2024];9(2). Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/2610>
 5. Muhammed NS, Olayiwola T, Elkattatny S. A review on clay chemistry, characterization and shale inhibitors for water-based drilling fluids. J Pet Sci Eng [Internet]. 2021;206(109043):109043. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109043>
 6. Anderson, R., Ratcliffe, I., Greenwell, H., Williams, P., & Cliffe, S. Clay swelling. A challenge in the oilfield. Earth-Science Reviews [Internet]. 2010. [citado 15 de febrero de 2024] 98(3-4): pp. 201–216. Disponible a partir de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825209001780?via%3Dihub>
 7. Heikal A, Banna ME, Manescu G, Mulaifi MA, Mohammed I. High-Performance Water-Base Fluid Performs As An Environmentally Friendly Alternative To Oil-Base for Drilling Challenging Intervals In North Kuwait. Documento presentado en la Conferencia y Exposición de Petróleo y Gas de la SPE Asia Pacífico. [Internet]. 2013 [citado 15 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.2118/163502-MS>
 8. Romai, Y. Fluidos de Perforación. Manual de fluidos de perforación. [Internet]. 2008. [citado 16 de febrero 2024]. Disponible a partir de: <https://www.studocu.com/ec/document/instituto-politecnico-nacional/construccion-de-instalaciones-petroleras/manual-de-fluidos-de-perforacion/8129803>
 9. Bedoya, G. Obtención de un inhibidor de arcillas PHPA (Poliacrilamida Parcialmente Hidrolizada) para fluidos de perforación base agua a partir de la semilla de chíá (Salvia hispanica L.) tamizada con malla 200 y estudio de su comportamiento mediante pruebas de labor. [Internet]. Quito : UTE; 2018 [citado: 2024, febrero] 51 páginas. Disponible en: <http://repositorio.ute.edu.ec/>
 10. MI SWACO Schlumberger Company. Drilling Fluids engineering Manual. [Internet]. USA; 2006. [citado: 2024, febrero]; Disponible a partir de: <https://www.slb.com/-/media/files/mi/catalog/drilling-fluids-catalog.ashx>
 11. García A, Pico B, Jaimez R. La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. Novasinergia [Internet]. 1 de diciembre de 2021 [citado 15 de febrero de 2024];4(2):152-7. Disponible en: <https://novasinergia.unach.edu.ec/index.php/novasinergia/article/view/261>
 12. Ortiz Valbuena KL, Álvarez León R. Efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao (Theobroma cacao L.) sobre algunas propiedades químicas y biológicas en los suelos de una finca cacaotera, municipio de Yaguará (Huila, Colombia). Bol. cient. mus. hist. nat. univ. caldas [Internet]. 1 de enero de 2015 [citado 14 de febrero de 2024];19(1):65-84. Disponible en: <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/boletincientifico/article/view/3934>
 13. Marín D., Llanganate N. Obtención de un inhibidor de arcillas para fluidos de perforación base agua a partir de cacao (Theobroma Cacao L.). [Tesis de pregrado]. Ecuador. Universidad Central del Ecuador; 2022. Recuperado a partir de: <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/5629b4b8-bafb-4ab0-a017-f484e4f740af/content>.

14. Baker Hughes. Drilling Fluids reference manual. Vol 1. Baker Hughes - Drilling Fluids; 2006.
15. Instituto Americano del Petróleo. API Recomendado 13 B-1. Recommended Practice for Field Testing Water-based Drilling Fluids. [Internet]. Texas: API Publishing Services. 2009 [citado: 2024, febrero]. Disponible en: https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?&input_doc_number=&input_doc_title=&document_name=API%20RP%2013B%2D1&item_s_key=00116814&item_key_date=761130&origin=DSSC.
16. Instituto Americano del Petróleo. Manual de Fluidos de Perforación. Procedimiento Estándar para las Pruebas de Fluidos de Perforación. Texas: API; 2001.
17. Br. Rausseo U, Carlos M. Pruebas de hinchamiento lineal utilizando el aditivo Z – trol 100 como inhibidor de arcillas en fluidos de Perforación. [Tesis de pregrado]. Venezuela. Universidad Central de Venezuela; 2002. Recuperado a partir de: <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/217/1/trabajo%20final.pdf>.
18. OFITE. Instruction Manual Dynamic Linear Swell Meter with Compactor. Texas: OFITE; 2015. Obtenido de https://www.ofite.com/doc/150-80_instructions.pdf
19. Mendez V., Análisis de la selección de los fluidos de perforación utilizados en pozos petroleros de un campo de la Cuenca Oriente. [Tesis de pregrado]. Ecuador: Universidad Estatal “Península de Santa Elena”; 2020. Recuperado a partir de: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6507/1/UPSE-TIP-2021-0026.pdf>
20. Agila C. Optimización de un fluido “Drill-In” para perforar zonas hidrocarburíferas. [Tesis de pregrado]. Ecuador. Escuela superior politécnica del Litoral; 2008. Recuperada a partir de: <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/6237/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
21. Mendoza C, Meneses J, Feregrino A, Pérez A, Gutiérrez C. Potential Use of Industrial Cocoa Waste in Biofuel Production. Journal of Chemistry. [Internet]. 2021. [citado el 16 de febrero 2024]. Disponible a partir de: <https://doi.org/10.1155/2021/3388067>
22. Rosas D, Ortiz H, Herrera J, Leyva O. Revalorización de algunos residuos agroindustriales y su potencial de aplicación a suelos agrícolas. Agroproductividad, [Internet]. 2016. [citado el 16 de febrero 2024]; 9(8), 18–23. Disponible en: <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/796>
23. Luis C, Daniel T. Estudio de los problemas de inhibición y dispersión de arcillas para mejorar un lodo de perforación aplicado en muestras de las formaciones orteguaza, tiyuyacu y tena del bloque. [Internet]. 2003. [citado el 16 de febrero 2024]; Recuperado a partir de: <https://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/110/1/101.pdf>
24. Elizabeth S, Cesar V. Estudio para optimizar las operaciones de Perforación de pozos de largo alcance utilizando un Sistema de fluido de perforación de alto rendimiento base agua. [Tesis de pregrado]. Ecuador. Escuela Politécnica Nacional; 2014. Recuperada a partir de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8942/1/CD-5990.pdf>
25. Morales Rodríguez WJ, Carlosama Martínez JM, Sinchi Rivas CA, Alderete Rendón AJ, Vallejo Torres CA, Morales Cedeño WJ. Calidad química del cacao (Theobroma Cacao L.) tipo nacional de la parroquia Valle Hermoso – Ecuador. Cienc y Tecnol. 2024;17(1):38–49.
26. Flórez Ardila DC, Villamizar Serrano M, Loza JA, Calderón ZH. Determinación del hinchamiento lineal en cortes de perforación utilizando strain gages. revfue [Internet]. 20 de diciembre de 2011 [citado 25 de marzo de 2024];9(2). Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/2610>

Comportamiento antioxidante y polifenólico de una conserva de flor de cabuya negra (*agave americana*)

Antioxidant and polyphenolic behavior of a Black Cabuya (*Agave americana*) flower preserve

-  ¹ Miguel Ángel Enríquez Estrella*
-  ¹ Thalia Janeth Enríquez Ujukam
-  ² Gabriela Joseth Serrano Torres
-  ² Silvia Hipatia Torres Rodriguez
-  ³ Dennis Gabriel Cuadrado Ayala

¹Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Puyo, Ecuador.

²Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Riobamba, Ecuador.

³Consultor Independiente

* menriquez@uea.edu.ec

RESUMEN

Las flores del *Agave americana*, caracterizadas por su color amarillo a verdoso, son altamente atractivas para diversos polinizadores, incluyendo murciélagos, insectos y aves. Estos polinizadores consumen gran parte de la energía que la planta ha acumulado a lo largo de su vida, lo que hace que estas flores se presenten como una alternativa alimentaria viable. Este estudio tiene como objetivo determinar el comportamiento antioxidante y polifenólico de la conserva de flor de cabuya negra (*Agave americana*), una opción alimentaria aún poco conocida en la gastronomía ecuatoriana. Las muestras fueron sometidas a un riguroso proceso que incluyó secado, trituración y extracción asistida por ultrasonido, seguido de análisis mediante los métodos FRAP y Folin-Ciocalteu. Los resultados indicaron un contenido significativo de polifenoles, con 868,5 mg/kg, y una notable capacidad antioxidante, alcanzando 65000 mg/kg. Estos hallazgos sugieren que la conserva de flor de *Agave americana* podría ser una opción alimentaria saludable. Además, destacan la importancia de realizar futuras investigaciones sobre fitoquímicos presentes en alimentos no convencionales, con el fin de expandir el conocimiento científico y diversificar la gastronomía ecuatoriana y mundial.

Palabras claves: *Metabolitos secundarios, Bioactivos, Alimentos no tradicionales, nutrientes.*

ABSTRACT

The flowers of *Agave americana*, characterized by their yellow to greenish color, are highly attractive to various pollinators, including bats, insects, and birds. These pollinators consume a large portion of the energy that the plant has accumulated throughout its life, making these flowers a viable food alternative. This study aims to determine the antioxidant and polyphenolic behavior of the preserved flower of black cabuya (*Agave americana*), a still little-known food option in Ecuadorian cuisine. The samples were subjected to a rigorous process that included drying, grinding, and ultrasound-assisted extraction, followed by analysis using the FRAP and Folin-Ciocalteu methods. The results indicated a significant polyphenol content, with 868.5 mg/kg, and a remarkable antioxidant capacity, reaching 65,000 mg/kg. These findings suggest that the preserved flower of *Agave americana* could be a healthy food option. Additionally, they highlight the importance of conducting future research

on phytochemicals present in unconventional foods to expand scientific knowledge and diversify Ecuadorian and global cuisine.

Keywords: *Secondary metabolites, Bioactives, Non-traditional foods, nutrients.*

I. INTRODUCCIÓN

El *Agave americana*, una especie de cabuya originaria de las zonas áridas y semiáridas de América Central, principalmente en México y el suroeste de Estados Unidos, se distingue por su imponente apariencia, con hojas grandes y gruesas que pueden alcanzar hasta 2 metros de longitud, caracterizadas por bordes espinosos y una punta afilada (1). Utilizado desde la época prehispánica con diversos propósitos, como forraje, medicamento y material de construcción, este agave desempeña un papel significativo en el legado histórico y cultural, así como en la generación de recursos económicos para algunas comunidades campesinas e indígenas (2, 3).

A lo largo de los siglos, este producto ha sido empleado en la producción de licores, como el tequila y el mezcal, bebidas alcohólicas tradicionales de México (4). Estas bebidas se obtienen mediante procesos, en su mayoría artesanales, que incluyen la selección y corte de la materia prima, la cocción del agave, la molienda del mosto, la fermentación del jugo fructosado, la destilación, la rectificación y la maduración del destilado (5). La propagación del *Agave americana* se realiza a través de sus hijuelos, brotes laterales que crecen desde la base de la planta madre, los cuales pueden separarse y replantarse para generar nuevas plantas (6).

(7), las conservas de alimentos son productos envasados herméticamente que han sido sometidos a procesos de esterilización, ya sea mediante maquinaria industrial o de forma casera (8). Estos productos, valorados por su alto contenido nutricional, varían según la materia prima a conservar.

Con más de 200 tipos de agave, cada uno con características únicas y adaptado a diferentes entornos, algunos de los más conocidos incluyen el *Agave tequilana* (utilizado en la producción de tequila), el *Agave americana* (utilizado como planta ornamental y en la producción de mezcal) y el *Agave sisalana* (utilizado en la fabricación

de cuerdas y tejidos) (9). Puede ser utilizada para la elaboración de diversos productos alimenticios y no alimenticios, dependiendo de su tipo. Desde la extracción de dulce hasta la producción de conservas, se busca preservar sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas (10). Dentro de la industria alimentaria, las conservas se consideran de alto valor, como lo respalda García (11), quien, mediante una investigación experimental, concluye que la conserva de flor de cabuya (*Agave americana*) alcanza una concentración del 30 % de ácido acético al finalizar su proceso, obteniendo un parámetro de aceptabilidad óptimo para su distribución en el mercado.

En la actualidad, la demanda del consumidor se centra en alimentos saludables, lo que ha impulsado el desarrollo de nuevas alternativas de producción y consumo de alimentos (12). Una de estas alternativas consiste en optimizar los subproductos y aprovechar bioactivos como antioxidantes, polifenoles y carotenoides, elementos que contribuyen al desarrollo metabólico humano (13), es por ese antecedente que se plantea como objetivo identificar la capacidad antioxidante y poli fenólica de una conservade flor de cabuya (*Agave americana*).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización:

La presente investigación fue realizada en el laboratorio de Bromatología de la Universidad Estatal Amazónica, localizado en el Km 2½ de la vía Puyo a Tena, paso lateral.

Tipo de investigación:

Se implementó una metodología cuantitativa, fundamentada en la experimentación, con un enfoque específico en la caracterización de componentes bioactivos, tales como antioxidantes y polifenoles, presentes en una conserva elaborada a partir de la flor de cabuya negra.

Materiales:

La materia prima objeto de análisis consistió en una conserva de flor de cabuya sumergida en un líquido de gobierno durante un período de 6 meses, con una concentración del 30% de ácido acético en su solución de cobertura. Este enfoque señala la ruta o estrategia seguir para abordar la problemática planteada. Para su especificación, se requiere tener en cuenta el tipo de investigación a llevar a cabo, la línea de investigación a la que se adscribe, la estructura metodológica propuesta y, de manera complementaria, se proponen las herramientas que se emplearán en la recopilación, análisis y organización de la información.

Material e instrumentación:

- Espectrofotómetro UV-Visible
- Balanza analítica
- Centrífuga
- Agita tubos (vortex)
- Matraces aforados de 25 mL y 10 ML
- Vasos de precipitación de 50 mL
- Pipetas de 1,5 y 10 mL
- Tubos de ensayo con tapón
- Tubos de centrifuga
- Cubetas de plástico de 3 mL para espectrofotómetro visible
- Ácido gálico
- Metanol
- Agua destilada
- Reactivo de Folin-Ciocalteu
- Carbonato sódico 7,5%
- Fluoruro de sodio

Métodos:

Preparación de la muestra

1. Se deshumedeció la muestra con la ayuda de papel absorbente con la finalidad de quitar el exceso de humedad.
2. Se procedió a pesar la muestra, en una balanza analítica obteniendo como peso inicial 233 g.
3. Se colocó la muestra de flor de cabuya a una temperatura de 45 °C / 12 horas en una estufa.
4. Se sacó la muestra de la estufa y se pesó, dando un peso final de 51 g.

5. De lo 51 g de muestra seca se tomaron 10 g para realizar la caracterización.
6. A los 10 g de muestra tomada se le redujo su tamaño mediante un troceado con la finalidad de extraer de manera óptima sus principios activos.
7. Los 10 g de la muestra seca troceada se colocaron en un balón de 250 mL aforado con 100 mL de agua destilada.
8. Se colocó el balón sujetado mediante un soporte universal, dentro del equipo baño maría se lo sometió al ultrasonido a una temperatura de 50 °C por 30 minutos.
9. Culminada la extracción por ultrasonido, se realizó la filtración del líquido a un balón de 100 mL, mediante un embudo y papel filtro.
10. El extracto acuoso obtenido mediante filtración, se cubrió completamente con papel aluminio para evitar el contacto con la luz.

Determinación espectrofotométrica de polifenoles totales:

1. Del extracto acuoso obtenido, se tomó 1 mL en un matraz aforado de 10 mL.
2. Se agregó 0,5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu diluido a la mitad con agua destilada.
3. Se dejó en reposo por 10 minutos, posteriormente se agregó 0,5 mL de carbonato de sodio al 20% y se enrasó con agua destilada.
4. Se agitó y protegió de la luz con papel aluminio por 2 horas a temperatura ambiente.
5. Finalmente, la absorbancia se midió a 765 nm en un espectrofotómetro uv-vis.

El contenido total de polifenoles se determinó utilizando una curva de calibración de ácido gálico y la concentración de polifenoles totales se expresó en mg equivalente de ácido gálico por 100 g de hojas de Agave americana en base a materia seca (mg equivalentes de ácido gálico/100 g ms), para ellos se empleó la siguiente ecuación, obtenida a partir del modelo matemático de la recta de calibrado de la ecuación.

$$A = 0,0734C - 0,0028 \text{ Ec.1}$$

Donde:

A: Absorbancia de la muestra

C: Concentración de la muestra (mg/L)

Procedimiento experimental:

Folin Ciocalteu

Preparación de disoluciones patrón de ácido gálico. Se hará una disolución de ácido gálico de 100 mg/L (disolución concentrada o madre).

Preparación del extracto de polifenoles de la muestra

Para la extracción de los compuestos fenólicos de la muestra se seguirá la metodología propuesta por Tomás-Barberán et al. (2001).

1. En un tubo tomar la cantidad adecuada de muestra y añadir etanol en relación 1:2.
2. Adicionar NaF 2 Mm para inactivar la enzima polifenol oxidasa y prevenir la degradación de los polifenoles durante el ensayo.
3. Homogeneizar el contenido de los tubos en el vortex y centrifugar a 10000 rpm durante 15 minutos a 10 °C.
4. Recuperar el sobrenadante.

Determinación de polifenoles en la muestra y en los patrones de ácido gálico:

1. Tomar 250 µL de cada disolución patrón de ácido gálico o del sobrenadante procedente de la extracción de los compuestos polifenólicos en la muestra y colocarlos en matraces aforados de 25 mL.
2. Añadir 15 mL de agua destilada y 1,25 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu.
3. Homogeneizar el contenido de los matraces y dejar reposar 8 minutos en oscuridad.
4. Transcurrido este tiempo, adicionar a cada matraz 3,75 mL de la disolución de
5. carbonato sódico al 7,5 % y llevar a un volumen de 25 mL con agua destilada.
6. Homogeneizar los matraces y mantener en oscuridad a temperatura ambiente durante 2 horas.
7. Medir la absorbancia a 765 nm

Determinación de antioxidantes

Método FRAP (Ferricion reducing antioxidant Power): En este método se mide la reducción de 2, 4, 6 Tripiridiltriazina Férrica (TPTZ) a un producto coloreado por la actividad de compuestos antioxidantes por Benzi y Strain en el año de 1996

1. Se tomaron 80 µl de la muestra en un matraz aforado de 10 mL y se añadieron 5 mL de disolución de FRAP.
2. Se aforó con agua destilada.
3. Se dejó reposar, en una estufa a 37 °C, por 30 minutos y se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 593 nm contra blanco.
4. Para esta determinación se añadieron en un matraz de 10 mL, 80 µl de muestra y 5 mL de disolución de FRAP.
5. Se dejó reposar en una cámara oscura a 37 °C, por 30 minutos.
6. Finalmente se midió la absorbancia a una longitud de onda de 593 nm contra blanco.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Balance de masa de la conserva de flor de cabuya

El balance de masa constituye un análisis cuantitativo empleado para calcular la cantidad de materia que entra y sale de un sistema o proceso industrial. Su aplicación tiene como objetivo principal garantizar la conservación total de los materiales en el sistema, evitando pérdidas significativas o acumulaciones no deseadas (14). Este enfoque se fundamenta en el principio de conservación de masa en un sistema cerrado durante un proceso o transformación, lo que implica que la masa total dentro del sistema se mantiene constante, es decir, la masa que ingresa al sistema es igual a la masa que sale más la masa acumulada internamente (15).

En el contexto del proceso de secado de la conserva de flor de cabuya (*Agave americana*), el balance de masa adquiere una importancia crucial para asegurar la eficiencia y el control del proceso de secado. Se aplica específicamente para determinar la cantidad de humedad eliminada durante el proceso de secado y garantizar la conservación total de la masa del producto. Para lograr esto, se lleva a cabo la medición y control preciso de la cantidad de agua que se evapora o elimina de la flor de cabuya durante el proceso de secado, como se ilustra en la Figura 1.

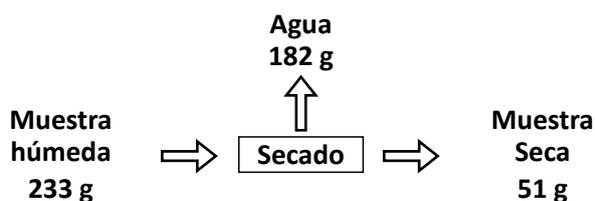


Figura 1. Esquema de balance de masa

$$\begin{aligned} \text{Masa de agua} &= \text{Masa inicial} - \text{Masa seca} & \text{Ec. 2} \\ \text{Masa de agua} &= 233\text{g} - 51\text{g} \\ \text{Masa de agua} &= 182\text{g} \end{aligned}$$

$$\% \text{ Humedad perdida} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa inicial}} * 100 \quad \text{Ec. 3}$$

$$\% \text{ Humedad perdida} = \frac{182\text{g}}{233\text{g}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad perdida} = 78,11$$

$$\text{Masa de muestra seca} = \frac{\% \text{ Humedad perdida}}{\text{muestra seca}} \quad \text{Ec. 4}$$

$$\text{Masa de muestra seca} = \frac{78,11}{100}$$

La Tabla 1 presenta los resultados de la actividad polifenólica obtenida a través del método *Folin-Ciocalteu* y la actividad antioxidante evaluada mediante el método FRAP. Se evidencia que la actividad antioxidante de la muestra seca de la conserva de Flor de cabuya (*Agave americana*) supera al contenido polifenólico de la misma. No obstante, las determinaciones de la cantidad de ambos compuestos fueron consideradas aceptables, posiblemente debido al troceado realizado a la muestra seca con el propósito de facilitar la extracción de la mayor cantidad del principio activo mediante el uso de un baño ultrasónico.

El análisis revela un contenido notablemente elevado de antioxidantes en la Flor de cabuya (*Agave americana*) en conserva, lo que posiciona este alimento no tradicional como una opción óptima para el consumo. Este resultado se respalda visualmente en la Figura 2, que detalla el método de conservación mediante la regulación de la acidez.



Figura 2. Conserva de Flor de Cabuya

Tabla 1. Actividad Polifenólica y actividad antioxidante de la conserva de flor de cabuya (*Agave americana*) en una muestra seca.

| Conserva | Técnicas de análisis | |
|---------------------------|---|----------------------------|
| | Folin-Ciocalteu (Ácido gálico) 765 nm | FRAP (Trólox) 593 nm |
| Muestra seca mg/kg | 868,5 | 65000 |

En el estudio de Gutierrez (16) sobre la actividad antioxidante y polifenólica en una conserva de arándanos, se observó una retención del 67,68% en la capacidad antioxidante, equivalente a 47,66 $\mu\text{mol Trolox eq/g}$ de muestra. Esta cifra contrasta significativamente con el 6,5% obtenido en la flor de cabuya. La notable disparidad en el porcentaje de antioxidantes podría atribuirse a las diferencias en los líquidos de gobierno presentes en cada conserva; específicamente, la conserva de arándanos contenía líquido de gobierno con sacarosa, mientras que la conserva de cabuya contenía líquido de gobierno con vinagre.

Delgado (17), en su estudio de caracterización de antioxidantes en conservas de pimentón, determinó que los antioxidantes en las variedades rojas y amarillas de tipo morrón mantienen niveles elevados tanto en su análisis en fresco como procesado. Esto sugiere que, a pesar del medio en el que se encuentran, la concentración fitoquímica no varía sustancialmente.

En otra investigación llevada a cabo por (18) en conservas de Nopal con el 3% de salmuera y 5% de vinagre en la muestra A, y 3% de salmuera más concentración de limón en la muestra B, se señaló una elevada capacidad antioxidante frente a los radicales libres según el método DPPH (A:

75,74 ± 2,00; B: 67,98 ± 4,35). Fajardo (19) añade que estos resultados son atribuibles a diversos factores como la composición del extracto de la especie vegetal que se utiliza en la conservación. Bravo (20) manifiesta que los encurtidos debido a su proceso fermentativo en un medio ácido disminuye paulativamente el nivel de pH por ende la variación de antioxidantes y fenoles. Dewanto (21) menciona que la aplicación de altas temperaturas a los vegetales en procesos de encurtidos mejoran significativamente la actividad antioxidante. Esto podría explicarse debido a una posible ruptura de enlaces covalentes presente en la pared celular de la planta, lo que dejaría en libertad a varios compuestos de la parte insoluble, de esta manera, el número de compuestos antioxidantes bioaccesibles para el organismo se ven incrementados notablemente (22). Clifford (23) atribuye la variación de antioxidantes en las conservas por ciertos minerales presentes en la especie vegetal como el cobre, zinc y selenio. A lo que Zhao (24) lo relaciona a la formación de nuevos compuestos de carácter anti-radical durante el proceso térmico. Bresa (25) determina que la utilización de un tratamiento térmico en

verduras antes de su procesamiento contribuye a la estabilidad oxidativa y mejora ciertos componentes bioactivos.

IV. CONCLUSIONES

Después de llevar a cabo el análisis para identificar los componentes presentes en la conserva de flor de cabuya (*Agave americana*), se ha observado una alteración en su composición, destacando una predominancia de capacidad antioxidante sobre la presencia de compuestos polifenólicos. Este hallazgo sugiere que los consumidores podrían incorporar fuentes bioactivas provenientes de materias primas no tradicionales en la cocina nacional.

En conjunto, estos hallazgos respaldan la relevancia de continuar investigando y explorando el potencial de ingredientes no convencionales en la industria alimentaria, tanto por su impacto en la calidad de los productos como por sus posibles beneficios nutricionales para los consumidores.

V. REFERENCIAS

1. Payno M. Memoria sobre el maguey mexicano y sus diversos productos. In: Payno M, editor. Memoria sobre el maguey mexicano y sus diversos productos. Mexico City: ESIC; 2011. p. 4.
2. Loachamín C. Elaboración de biocombustibles a partir de dos variedades de Agave; Agave negro y Agave blanco con dos tipos de fermento en los zumos, a dos tiempos diferentes. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi; 2015.
3. Meza V. Obtención de una bebida isotónica nutritiva carbonatada a partir del extracto del penco de cabuya negra. Ambato: Universidad Técnica de Ambato; 2011.
4. Enríquez-Estrella MÁ, Poveda-Díaz SE, Alvarado-Huatatoca GI. Bioactivos de la hierba luisa utilizados en la industria. Rev Mex Cienc Agric. 2023;14(1):1-11.
5. Chavez-Parga MDC, Pérez Hernández E, González Hernández JC. Revisión del agave y el mezcal. Rev Colomb Biotecnol. 2016;18(1). <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.49552>
6. Vasco Sarango KA. Elaboración de conservas de champiñón (*Agaricus bisporus*) utilizando cuatro diferentes líquidos de cobertura [Bachelor's thesis]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2013.
7. Figueroa M, Sosa E. Caracterización microbiológica y química de la savia de Agave americana L. (Cabuya Negra) de ecotipos de las provincias de Pichincha y Cotopaxi [Bachelor's thesis]. Quito: Universidad San Francisco de Quito; 2015.
8. Sarango KAV. Elaboración de conservas de champiñón (*Agaricus bisporus*) utilizando cuatro diferentes líquidos de cobertura [Bachelor's thesis]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2013.
9. García Mendoza A. Los agaves de México. Ciencias. 2007;87:14-23. Available from: <https://www>.

redalyc.org/pdf/644/64408704.pdf

10. Enríquez MÁ, Villafuerte-Mera F, Figueroa A, Mariño J. Efectos de los componentes bioactivos de frutas, vegetales, lácteos y plantas medicinales en la nutrición humana. *Rev Cienc Agropecuarias ALLPA*. 2023;6(11):2-24. ISSN: 2600-5883.
11. Enríquez EMA. Evaluación fisicoquímica y microbiológica de una conserva de flor de cabuya negra (*Agave americana*) con diferentes niveles de ácido acético en el líquido de cobertura. *Rev Tecnológica - ESPOL*. 2021;33(1):8. <https://doi.org/10.37815/rte.v33n1.779>
12. Urcola MA, Nogueira ME. Producción, abastecimiento y consumo de alimentos en pandemia. El rol esencial de la agricultura familiar en la territorialidad urbano-rural en Argentina. *Eutopía: Rev Desarrollo Econ Territ*. 2020;(18):29-48.
13. Ponce Rosas FC. Características fisicoquímicas, sensoriales y bioactivas del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.). 2018.
14. Cortés Martínez F, Treviño Cansino A, Sáenz López A, Ávila Garza CM. Balance de masa de procesos industriales para aguas de desecho. *Rev Arq Ing*. 2015;9(1):1-13. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19394844300>
15. Abadia MB, Bartosik RE. Manual de buenas prácticas en poscosecha de granos: Hacia el agregado de valor en origen de la producción primaria. Ediciones INTA; 2013.
16. Gutiérrez Rodas M. Efecto de la actividad antioxidante en una conserva de arándanos. *Polo del Conocimiento*. 2022;7(11):1243-1263. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i11.4920>
17. Delgado CMC. Elaboración de conserva de pimiento morrón en aceite de girasol y determinación de sus características físico-químicas y antioxidantes por el método de DPPH. Universidad de Guayaquil; 2014.
18. Monar GMQ. Las conservas vegetales y su capacidad antioxidante. CIDEPRO; 2018.
19. Fajardo FJU, de Ustáriz MEL, Briceño KM, Carrero VS, Rojas-Fermín LB, de Rojas YEC, et al. Composición y actividad antibacteriana del aceite esencial de *Ageratina neriifolia* (Asteraceae) de Mérida-Venezuela. *Rev Cub Farm*. 2020;54(1):1-16.
20. Enríquez M, Serrano G. Efecto de los aceites esenciales de plantas aromáticas en la conservación de embutidos. *Rev Soc Cient Parag*. 2024;29(1):1996-225.
21. Dewanto V, Wu X, Adom KK, Liu RH. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J Agric Food Chem*. 2002;50:3010-3014.
22. Pulido R, Bravo L, Saura-Calixto F. Antioxidant capacity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. *J Agric Food Chem*. 2000;48:3396-3402.
23. Clifford M. Diet-derived phenols in plasma and tissues and their implications for health. *Planta Med*. 2004;70(12):1103-1114. doi:10.1055/s-2004-835835.
24. Zhao H, Chen W, Lu J, Zhao M. Phenolic profiles and antioxidant activities of commercial beers. *Food Chem*. 2010;119:1150-1158.
25. Bressa F, Tesson N, Rosa M, Sensidoni A, Tubaro F. Antioxidant effect of Maillard reaction products: application to a butter cookie of a competition kinetics analysis. *J Agric Food Chem*. 1996;44(3):692-695. doi:10.1021/jf950436b.

Inventario forestal con enfoque bioético para la protección sostenible de recursos en la Finca Experimental Andil de Jipijapa

Forest inventory with a bioethical approach for the sustainable protection of resources in the Andil Experimental Farm of Jipijapa

 Blanca Soledad Indacochea Ganchozo
 Reynier García Rodríguez *

Universidad Estatal del Sur de Manabí, Instituto de Posgrado, Programa de Maestría en Manejo Forestal Sostenible, Jipijapa, Ecuador.

* reynier.garcia@unesum.edu.ec

RESUMEN

Los principios bioéticos: beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia, se han analizado detalladamente en las ciencias médicas, sin embargo, se ha descubierto la posibilidad de contextualización en otras ciencias. El estudio propende al abordaje de acciones de protección de los recursos forestales en la finca experimental Andil. Justamente, se parte de la problemática existente entre las acciones antrópicas y las afectaciones a los ecosistemas naturales, donde se provoca anualmente pérdidas cuantiosas de especies y otras en vía en extinción. La bioética como ciencia de la supervivencia se entrelaza con la naturaleza, sin embargo, no hay estudios en Ecuador que revelen esta relación. Se plantea como supuesto hipotético que la aprehensión de los principios bioéticos garantiza la protección de los ecosistemas. El objetivo es analizar la relación entre la bioética y la protección de los recursos forestales de la finca experimental Andil. En la metodología se consideraron, métodos del nivel teórico y empírico, con fundamentos del estadístico – matemático. El principal resultado revela que, en la zona de estudio, sur de Manabí, hay un descenso numérico de especies florísticas y faunísticas, con énfasis en los recursos forestales, que ha provocado mortalidad de otras especies y migración.

Palabras claves: *bioética, ciencias forestales, protección, especies, diversidad, ecosistema.*

ABSTRACT

The bioethical principles: beneficence, non-maleficence, autonomy and justice, have been analyzed in detail in the medical sciences, however, the possibility of contextualization in other sciences has been discovered. The study aims to address actions to protect forest resources in the Andil experimental farm. Precisely, it starts from the existing problem between anthropogenic actions and the effects on natural ecosystems, where large losses of species are caused annually and others are on the verge of extinction. Bioethics as a science of survival is intertwined with nature, however, there are no studies in Ecuador that reveal this relationship. It is proposed as a hypothetical assumption that the apprehension of bioethical principles guarantees the protection of ecosystems. The objective is to analyze the relationship between bioethics and the protection of forest resources of the Andil experimental farm. In the methodology, methods at the theoretical and empirical level were considered, with statistical-mathematical foundations. The main result reveals that, in the study area, south of Manabí, there is a numerical decrease in floristic and faunal species, with emphasis on forest resources, which has caused mortality of other species and migration.

Keywords: *bioethics, forest sciences, protection, species, diversity, ecosystem.*

I. INTRODUCCIÓN

Los principios bioéticos: beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia, se han analizado detalladamente en las ciencias médicas, sin embargo, se ha descubierto la posibilidad de apreciarlos en otras ciencias. Tal es el caso, que esta propuesta investigativa alude a la contextualización en la protección de los recursos forestales de la finca experimental Andil y por consiguiente a los diversos ecosistemas. En la actualidad se requiere de la visión imperiosa que provoque el análisis en el paradigma disyuntivo entre el ser humano y la naturaleza. Es necesario saber que los bosques son tratados como fuente de productos forestales susceptibles de ser explotados en beneficio del interés humano (1), sin consideración alguna al impacto sobre la fauna.

Uno de los problemas ambientales preponderantes es la deforestación, que sin duda provoca que se manifiesten otros como: la erosión del suelo, la contaminación del aire, la formación de cárcavas, la pérdida de la diversidad biológica y la desaparición de ecosistemas terrestres, de aquí que se evidencia la necesidad de contribución al mejoramiento de la calidad de vida, la salud y bienestar de las personas, a la formación de los nuevos profesionales que aspiran a su título de cuarto nivel y al desarrollo del resto de los investigadores.

De este modo, se vislumbra la urgencia en la búsqueda de soluciones al problema identificado como respuesta a la dificultad en concreto, pues las acciones antrópicas en ocasiones son por acción, pero otras por omisión e inadecuada planificación, lo que requiere de un sistema de acciones, con enfoque tecnológico, que incluya consultorías virtuales que solventen las dudas o carencias de conocimientos para el manejo forestal sostenible. del ámbito tecnológico que den respuesta a un problema concreto. También se contextualizan los principios bioéticos, los que solo han sido abordados con rigor en el ámbito de la salud.

En Ecuador, no existen investigaciones al respecto, donde la concepción de la beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia, se interconecten con las ciencias forestales. Hoy día es un imperativo que la sociedad a nivel internacional y nacional, conozca y domine las esencias de la bioética, puesto que no solo es imputable al ser humano, sino a todos los seres vivos.

La situación ambiental obliga a reconsiderar

la forma de interacción con el mundo, con el propósito de reducir los impactos de las acciones en los ecosistemas. La educación se presenta como el medio más efectivo para replantear la conducta humana. En este contexto, la ecopedagogía, en el marco de la bioética, emerge como una novedosa perspectiva en la educación ambiental, cuyo enfoque radica en mejorar la relación entre los seres humanos y la naturaleza, fomentando una comprensión más profunda de enfoques alternativos para la enseñanza y el aprendizaje. El análisis realizado por los autores reveló las principales teorías y resultados de investigaciones relacionadas con este tema, lo que permitió un examen reflexivo y crítico. Se identificaron, a pesar de la clara importancia de unir ambas disciplinas, algunas lagunas en la integración de la ecopedagogía y la bioética, especialmente en su aplicación a la conservación de la fauna silvestre (2).

La influencia de la bioética en la explotación comercial de los bosques tropicales naturales y su impacto en la fauna. Logró una profunda reflexión a la luz de los principios de la bioética y el biodesarrollo (3). En este sentido, las operaciones de explotación forestal certificadas, que se llevan a cabo de manera sostenible, los efectos negativos sobre la fauna son mínimos. Enfatizó en que existen limitaciones en cuanto a la base científica y la coherencia metodológica de las evaluaciones, por lo que se requieren investigaciones más rigurosas y a largo plazo. Según su experiencia, hasta 2020, el manejo forestal se basaba en un enfoque ontológico que separa a los seres humanos de la naturaleza, considerando el bosque principalmente como una fuente de recursos madereros y oportunidades económicas, a pesar de que se han incorporado conceptos de conservación en el ámbito legal y técnico, lo que se traduce en diversos grados de compromiso con la fauna. Sentenció que la valoración de la fauna por sus méritos intrínsecos es escasa.

La investigación en bioética aplicada a la protección de los recursos forestales se reviste de una importancia fundamental en el contexto científico y académico debido a su potencial para el abordaje de dilemas éticos y morales de relevancia global. La temática no solo implica aspectos biológicos, sino que también suscitan interrogantes éticas de gran envergadura (4).

El estudio de los principios bioéticos en este

ámbito se justifica por su capacidad para arrojar luz sobre cuestiones cruciales relacionadas con la responsabilidad de la humanidad hacia la fauna y la flora silvestres, los derechos de las especies no humanas y la toma de decisiones en la explotación y conservación de la diversidad biológica (5).

La conservación de la biodiversidad es un imperativo ineludible para mantener la estabilidad de los ecosistemas y garantizar el bienestar del planeta. En este contexto, la bioética proporciona un marco ético que coadyuva al equilibrio entre la explotación de recursos naturales con la necesidad de preservar la riqueza biológica de la Tierra. Además, promueve la reflexión sobre cómo satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras, un aspecto central del desarrollo sostenible.

La investigación en bioética aplicada a la biodiversidad también es crucial en términos de bienestar animal, ya que plantea preguntas éticas sobre el sufrimiento innecesario de las especies silvestres y cómo prevenirlo (6). Además, contribuye a la educación ambiental, sensibiliza al público sobre la importancia de la conservación de la vida silvestre y orienta a los responsables de la toma de decisiones en la formulación de políticas que fomenten prácticas sostenibles y éticas.

La experiencia en el área dirige la atención al reconocimiento de que el valor de la vida silvestre es garante de la creación de motivación para el manejo y la conservación eficientes. En tal sentido, la bioética puede contribuir a una mejor relación entre los involucrados humanos al manejo forestal y los animales no humanos habitantes de los bosques tropicales. Específicamente, la bioética aplicada al manejo forestal implica un análisis devenido de las reflexiones y propuestas del posdesarrollo entre las que se encuentran el biodesarrollo, la biopolítica, la bioeconomía que ponen como eje del pensar y actuar humanos en torno a los valores intrínsecos de la vida.

La ponencia articula a las funciones sustantivas de la educación superior ecuatoriana: docencia, investigación y vinculación con la sociedad y responde al proyecto de investigación de título: "Contextualización de los principios bioéticos a las ciencias forestales: experiencias en la finca experimental Andil", del programa de maestría en Manejo Forestal Sostenible, que es una

interesante propuesta de alto valor científico pues abarca el área forestal. En este sentido, se alude a la protección de los bosques y a las especies arbóreas, por el alcance que tiene a nivel de país y de Manabí, con una especial atención al pueblo montubio de la provincia.

En este orden, el objetivo del trabajo es analizar la relación entre la bioética y la protección de los recursos forestales de la finca experimental Andil.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En el inventario forestal, se utilizó el sistema de posicionamiento global (GPS) para recopilar datos precisos sobre la ubicación, tipo y descripción de los recursos forestales. Para esto, se emplearon dispositivos GPS de alta precisión, como los receptores GNSS (Sistema de Navegación Global por Satélite) de marcas reconocidas de Suiza como: Leica y Magellan. Estos receptores capturaron coordenadas precisas de parcelas forestales, límites, árboles individuales y rutas de acceso, y se asociaron con observaciones detalladas de especies, altura, diámetro y salud de los árboles. Los datos de GPS se integran con software de mapeo y sistemas de información geográfica (SIG) para la obtención de un mapa detallado, que conllevó a análisis geoespaciales que respaldan la gestión y conservación de los bosques.

Se empleó el hipsómetro para medir la altura de los árboles con precisión, se empleó de la marca Nikon con paquete de hipsómetro láser Forestry Pro II con 3 baterías CR2, de origen japonés, dada las variadas funcionalidades y características. Este dispositivo permitió el registro la altura de árboles individuales de forma rápida y precisa, lo que es crucial en los estudios de inventario forestal. Al combinar la información del hipsómetro con las coordenadas capturadas por dispositivos GPS de alta precisión, se obtuvo un inventario detallado que incluye la ubicación y descripción de los árboles, como su especie, diámetro y salud (7).

En el contexto de estudios de inventario forestal, QGIS 3.22.16 desempeñó un papel fundamental al facilitar la importación y gestión de datos recopilados en campo, como las coordenadas GPS de árboles y parcelas, así como mediciones de altura realizadas con hipsómetros. Este software permitió la creación de capas de datos personalizadas para representar la ubicación

y características de los recursos forestales, incluyendo información detallada sobre especies, dimensiones y salud de los árboles. Además, QGIS posibilitó la realización de análisis geoespaciales para identificar patrones y tendencias en los datos, lo que fue crucial para la toma de decisiones en la gestión y conservación de los bosques. La visualización detallada y la generación de mapas contribuyeron a presentar resultados de manera efectiva, así como la planificación y el monitoreo de recursos forestales.

El uso de GPS de alta precisión y hipsómetros asegura datos exactos sobre la ubicación, especies, dimensiones y salud de los árboles, fundamentales para investigar la biodiversidad forestal y los efectos de la gestión. QGIS posibilita análisis geoespaciales detallados para identificar patrones de distribución y áreas críticas que requieren conservación. Se consideran principios éticos en la gestión forestal, explorando cómo estas tecnologías promueven una gestión más ética y sostenible. Los datos permiten evaluar estrategias de conservación, prácticas silviculturales y su impacto ambiental, respaldando decisiones basadas en evidencia. La visualización de resultados con QGIS facilita la comunicación efectiva para respaldar políticas forestales informadas en la finca experimental Andil de Jipijapa.

La investigación es mixta y fue realizada en la finca experimental Andil propiedad de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, del cantón Jipijapa. Se ubica en el Km 3 de la vía Jipijapa-Noboa en la comunidad Andil, perteneciente al cantón Jipijapa de la Provincia de Manabí. Los métodos aplicados fueron: del nivel teórico y empírico, así como estadístico – matemáticos.

- El histórico-lógico: para el estudio de los antecedentes relacionados con los principios bioéticos y la protección de la vida silvestre.
- El enfoque sistémico: para la determinación de las interrelaciones existentes entre las partes que integran las partes de la investigación, así como las acciones que se proponen.
- El análisis-síntesis: para el estudio de la bibliografía especializada relacionada con los principios bioéticos y la protección de la vida silvestre, posteriormente precisar los aspectos fundamentales para el análisis de los resultados arrojados y la propuesta de solución.

Se emplearon métodos del nivel empírico: observación, mediciones relacionadas con las especies arbóreas y entrevista.

La recolección de información estará basada en el consentimiento informado de las autoridades a diferentes niveles y de la comunidad participante. Es importante destacar que los resultados obtenidos se devolvieron éticamente a los participantes.

También se emplea el método estadístico-matemáticos, donde se procesó la información recolectada.

Área de Estudio

El presente trabajo se realizó en la finca experimental Andil, propiedad de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, se ubica en el Km. 3 de la vía Jipijapa-Noboa en la comunidad Andil, perteneciente al cantón Jipijapa de la Provincia de Manabí. El área de estudio cuenta con una superficie de 42,28 hectáreas, a una altura máxima de 365 msnm, y se localiza entre las coordenadas: X:551580 Y:9850690, tal como se ilustra en la figura 1.

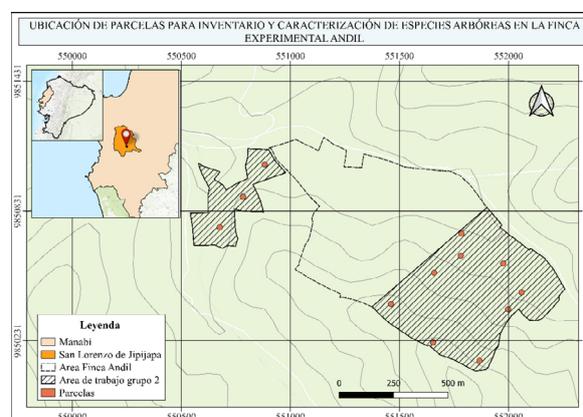


Figura 1. Ubicación de las parcelas para inventario y caracterización de las especies arbóreas en la Finca Experimental Andil.

Fuente: QGIS versión para Windows 3,22.16

Para efectuar la caracterización de las especies arbóreas dentro del área de estudio de la finca experimental Andil; fue establecido el empleo de 12 unidades de muestreo (UM), las mismas que se distribuyeron dentro del sitio en mención (42,28 ha) en base a un muestreo aleatorio simple, utilizando además la metodología de inventario rápido propuesta por Gentry (1988).

Fue necesario indicar que las UM establecidas

dentro del bosque semihúmedo de la finca experimental Andil fueron de forma circular, cuyo radio fue de 12,61 m, empleando así parcelas con dimensiones de 500 m². La distribución de estas unidades muestrales se realizó bajo el empleo del software de sistema de información geográfica de código abierto QGIS versión para Windows 3,22.16.

La determinación de la vegetación se describe al estudio de la cobertura, conformación y concepción florística del ecosistema, la cual es beneficioso para puntos de vistas como: determinar elementos técnicos para la preparación de estudios de impacto ambiental, apoyo para elaborar planes de manejo de los ecosistemas y en estudios de ecología del paisaje, manejo y conservación de especies amenazadas.

Los parámetros estructurales de la composición florística se determinan con variables ecológicas, también se puede entender como la estructura de la vegetación, para lo cual es necesario e indispensable conocer ciertos parámetros básicos como: índice de valor importancia, Shannon – Weaver, dominancia de Simpson.

La variedad biológica personaliza un tema concentrado en la conjetura ecológica y ha existido como objeto de extensos debates, los estudios sobre medición de biodiversidad se han centrado en la búsqueda de parámetros para caracterizarla como una propiedad procedente de las generalidades ecológicas, sin embargo, las asociaciones vegetales no están separadas dentro del enfoque en un entorno neutro, en cada unidad geográfica, en cada paisaje, se encuentra un número variable de comunidades.

El índice de Shannon Weaver es una medida del grado de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo de un conjunto de especies. Esta incertidumbre aumenta con el número de especies y con la distribución irregular de los individuos entre las especies. Se considera, una buena medida de la diversidad, podemos pensar que todas las comunidades que presentan el mismo valor del índice (siempre que se haya calculado con la misma base de los logaritmos) son equivalentes respecto a su diversidad; es decir, se crean clases de equivalencia entre comunidades que comparten un mismo índice de Shannon.

Estos números de diversidad, cuyas unidades

son cuantificación de especies, miden lo que se denomina el número efectivo de especies presentes en una muestra, y son una medida del grado de distribución de las abundancias relativas entre las especies. N_0 es el 'número de total de especies' de la muestra; N_1 es el 'número de las especies abundantes' y N_2 es el 'número de las especies muy abundantes' en la muestra. Es decir que el número efectivo de especies es una medida del número de especies en la muestra donde cada especie es ponderada por su abundancia ($N_0 > N_1 > N_2$). Hill también propuso la razón entre N_2 y N_1 como un índice de equitatividad.

La riqueza específica es simple de determinar e interpretar, y la forma más sencilla de medir la biodiversidad ya que proporciona datos de riqueza de especies de la vegetación, la cual está se relaciona con el número de especies forestales presentes dentro de una comunidad. Es decir, es un índice apropiado para caracterizar la riqueza de especies de la comunidad, para medir la riqueza de las especies independientemente del tamaño de la muestra, se basan en la relación del número total de especies y el número total de individuos observados, los valores inferiores a dos son zonas de baja diversidad y los valores superiores a cinco son indicativos de alta biodiversidad.

La delimitación de cada UM, se realizó mediante el uso de estacas de longitudes promedio de 1 m, aerosoles de coloración roja, y su georreferenciación con la ayuda de un GPS "Garmin extrex 10". Cabe acotar que dentro de cada unidad de muestreo se registraron las valoraciones dasométricas (altura-diámetro) de los individuos arbóreos y arbustivos con D_n (1,30 m) superior a 10 cm, para lo que fueron empleadas cintas métricas e hipsómetro físico y digital.

Para establecer el correcto análisis de los datos tomados en campo, es necesario indicar que estos, se ordenaron de forma sistemática y digitalizaron en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, luego se procedió a buscar los nombres técnicos o científicos de las especies vegetales registradas, empleando la ayuda del Catálogo de la Vida así como también del registro oficial del Jardín Botánico de Missouri "Trópicos"; posterior a esto se calcularon índices biodiversidad ecológica dentro de los que estuvieron el Índice de Valor de Importancia Ecológica (IVIE) (ecuación 1), Índice de diversidad Shannon- Weaver (ecuación 2), Índice de Margalef (ecuación 3) y el

Índice dominancia de Simpson (ecuación 4), con la finalidad de comprender el estado ecológico de la vegetación arbórea y arbustiva de la finca experimental Andil.

$$IVIE = AB.R \% + F.R \% + DR \% (1)$$

Donde:

AB.R% = Abundancia relativa porcentual

F.R % = Frecuencia relativa porcentual

D.R % = Dominancia relativa porcentual

$$H' = PI * LNPI^{-1} (2)$$

Donde:

PI= n/N (n: individuos de una especie / N: número total de individuos)

LN= logaritmo natural

$$D (Mg) = (S-1) / Ln(N) (3)$$

Donde:

S= número total de especies

N= número total de individuos

$$D = 1 - \sum PI^2 (4)$$

Donde:

PI= Abundancia relativa de las especies

El área total del bosque seco tropical de la Finca Andil es de 84,69 hectáreas; conformadas por plantaciones forestales, agronómicas y bosque secundario. La muestra tomada en el estudio es de 1 000 m², dividida en los cinco transectos establecidos de (10+10 de radio x 50 m de longitud), llegando a un total de 5 000 m² (equivale a media hectárea).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el área de 6 000 m², correspondientes al 1,41 % de intensidad de muestreo efectuado dentro de la superficie de 42,28 ha de la finca experimental Andil, se pudo registrar un total de 178 individuos, los cuales estuvieron distribuidos dentro de 30 especies entre arbóreas y arbustivas y 27 géneros botánicos en un total de 15 familias.

En este sentido, se ha estimado el nivel de biodiversidad de las especies arbóreas de la finca experimental Andil mediante los índices ecológicos de Shannon- Weaver, Margalef Simpson y tal como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Inventario de especies mediante índices ecológicos

| Especie N. Científico | I.V.I.E | Índice de Shannon | | Índice Margalef | Índice de Simpson |
|---|------------|-------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | PI | PI*LNPI ⁻¹ | | |
| <i>Centrolobium ochroxylum</i> Rudd | 16,64 | 0,039 | 0,127 | 5,597 | 0,002 |
| <i>Cupania americana</i> L. | 2,15 | 0,006 | 0,029 | | 0,00003 |
| <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav.) Urban | 2,77 | 0,011 | 0,050 | | 0,0001 |
| <i>Pseudobombax millei</i> (Standl.) A. Robyns | 2,77 | 0,006 | 0,029 | | 0,00003 |
| <i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng. | 18,76 | 0,039 | 0,127 | | 0,002 |
| <i>Phytelephas aequatorialis</i> Spruce | 6,62 | 0,039 | 0,127 | | 0,002 |
| <i>Coffea arabica</i> L. | 2,22 | 0,006 | 0,029 | | 0,00003 |
| <i>Machaerium millei</i> Standl. | 3,31 | 0,006 | 0,029 | | 0,00003 |
| <i>Swietenia macrophylla</i> G King | 42,59 | 0,202 | 0,323 | | 0,041 |
| <i>Ceiba trischistandra</i> (A. Gray) Bakhuizen | 2,62 | 0,006 | 0,029 | | 0,00003 |
| <i>Cedrela odorata</i> L. | 13,99 | 0,045 | 0,139 | | 0,002 |
| <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn. | 11,62 | 0,006 | 0,029 | | 0,00003 |
| <i>Acnistus arborescens</i> (L.) Schltdl | 4,20 | 0,022 | 0,085 | | 0,001 |
| <i>Piper aduncum</i> L. | 6,74 | 0,017 | 0,069 | | 0,0003 |
| <i>Astrocaryum vulgare</i> Mart. | 9,65 | 0,039 | 0,127 | | 0,002 |
| <i>Vachellia astringens</i> (Gillies) Speg. | 5,90 | 0,017 | 0,069 | | 0,0003 |
| <i>Pentaclethra macroloba</i> (Willd.) Kuntze | 6,34 | 0,022 | 0,085 | | 0,001 |
| <i>Triplaris cumingiana</i> Fisch. & Mey. ex C. A. Mey. | 21,06 | 0,079 | 0,200 | | 0,006 |
| <i>Cecropia</i> spp | 5,57 | 0,017 | 0,069 | | 0,0003 |
| <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | 42,24 | 0,140 | 0,276 | | 0,020 |
| <i>Inga edulis</i> Mart. | 6,12 | 0,034 | 0,114 | | 0,001 |
| <i>Albizia guachapele</i> (Kunth) Dugand | 6,48 | 0,022 | 0,085 | | 0,001 |
| <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken | 8,88 | 0,017 | 0,069 | | 0,0003 |
| <i>Gmelina arborea</i> Roxb. ex Sm. | 4,08 | 0,011 | 0,050 | | 0,0001 |
| <i>Leucaena trichodes</i> (Jacq.) Benth. | 3,79 | 0,006 | 0,029 | | 0,00003 |
| <i>Cordia lutea</i> Lam. | 2,88 | 0,011 | 0,050 | | 0,0001 |
| <i>Albizia saman</i> (Jacq.) Merr. | 2,82 | 0,011 | 0,050 | | 0,0001 |
| <i>Spondias purpurea</i> L. | 11,74 | 0,028 | 0,100 | | 0,001 |
| <i>Gliricidia Sepium</i> (Jacq.) Walp. | 18,92 | 0,073 | 0,191 | | 0,005 |
| <i>Zanthoxylum sprucei</i> Engl. | 6,54 | 0,022 | 0,085 | | 0,001 |
| Total | 300 | 1 | 2,88 | 5,597 | 0,133 0,87 |

Fuente: Trabajo de campo

Por otra parte, y en correspondencia a la diversidad de individuos arbóreos y arbustivos registrados dentro del inventario; se identificaron 12 unidades de muestreo establecidas las especies que presentan un mayor valor de importancia ecológica fueron: *Swietenia macrophylla* G. King (42,59 %), *Guazuma ulmifolia* Lam (42,24 %) y *Triplaris cumingiana* Fisch. & Mey. ex C. A. Mey (21,06 %); mientras que las especies que ostentaron un menor valor de importancia ecológica fueron: *Ceiba trischistandra* (A. Gray) *Bakhuizen* (2,62 %), *Coffea arábica* L (2,22 %) y *Cupania americana* L. (2,15 %) (8).

Es necesario indicar que, dentro de la tabla antes mencionada, el índice de biodiversidad específica de Shannon ostentó una valorización de $H' = 2,88$ lo que indicó una comunidad de especies vegetales distribuidas de forma heterogénea con un nivel medio de biodiversidad; mientras que en lo referente a la diversidad de especies encontradas, se tiene que, el área muestreada tiene una diversidad alta de especies en base al índice de diversidad de Simpson el mismo que tuvo una valoración de 0,87; por su parte el índice de Margalef arrojó un valor de 5,59 lo que denotó una alta riqueza de especies dentro del área objeto de estudio en la finca experimental Andil. Se logró identificación de 30 especies mediante los transectos que se realizaron en el bosque seco tropical de la finca experimental Andil, en el transecto cuatro se observa mayor cantidad de individuos (41) mientras que en el transecto 2 se hallan el menor número de individuos (17).

En la finca las especies con Índice de Valor de Importancia Ecológica halladas en el bosque seco tropical, con mayor IVIE se encuentran a las especies *Swietenia macrophylla* y *Guazuma ulmifolia* Lam; mientras que *Cupania americana* L y *Coffea arábica* L. se mantienen con menor IVIE todas con 3,36.

La presencia de especies forestales, ha descendido de 45 a 30, prevaleciendo el 66.6%, por lo que como parte del diagnóstico se indagó a través de una entrevista a los diez responsables de la finca, sobre el conocimiento sobre la ética aplicada a los recursos naturales, donde hubo respuestas generales que evidenciaron las carencias en torno a las interrogantes, relacionadas con el equilibrio del uso de los recursos naturales con la conservación en la finca, de qué forma siguen los principios bioéticos al tomar decisiones

que afectan la vida silvestre y el ecosistema, la forma de promoción de la biodiversidad y la protección de especies en peligro en la finca, así como se han enfrentado a dilemas éticos sobre la relación entre humanos y la naturaleza en la finca. Y las consideras importante la educación ambiental y la conciencia sobre bioética en el entorno laboral, las cuales fueron respondidas con ambigüedades.

Hubo consenso en torno, a las consideraciones relacionadas con estrategias locales de conservación que pudieran evitar la degradación ecológica de los bosques secos provocada por las actividades humanas. En este sentido, la gestión del ecosistema del bosque seco de la finca Andil es de carácter vulnerable, requiere medidas sociales y técnicas apropiadas para el logro de una gestión sostenible entre la protección y el uso de los recursos naturales existentes, así como la contextualización de los principios bioéticos.

La Bioética es una ciencia transdisciplinaria que implica la variedad de conocimientos en la identificación de un ecosistema, la combinación de elementos que lo forman y su importancia para sostener la vida en general, con especial atención a la vida humana individual, social, orgánica y anímicamente sana (9), se relaciona con la biodiversidad además de encontrarse intrínsecamente ligada al bienestar social, brinda una gama amplia de servicios ecosistémicos lo cual otorga salud ecosistémica que marca no solo la estabilidad económica, ambiental y social de un pueblo, sino la subsistencia de la vida en el planeta tierra; sin embargo, la pérdida de biodiversidad es uno de los pilares de la crisis ambiental que se atraviesa, y esta crisis, se ha convertido en el principal reto que enfrenta la humanidad en el siglo XXI.

Además, la bioética también influye en la sostenibilidad de la producción de bienes y servicios, donde se busca satisfacer las necesidades humanas sin dañar la naturaleza. En este sentido, implica utilizar tecnologías limpias y promover la participación comunitaria en la toma de decisiones, fortaleciendo las condiciones ambientales y aprovechando los recursos naturales dentro de límites que permitan la regeneración y el crecimiento natural. Para abordar estas dinámicas en sistemas socioecológicos complejos y promover la sostenibilidad, es necesario adoptar una nueva forma de concebir y practicar la ciencia,

integrando conceptos que reflejen esta visión más amplia (10).

En este contexto, los principios bioéticos son: beneficencia, no-maleficencia, autonomía y justicia. El principio bioético más elemental y sobre el que se basan los enumerados anteriormente es el "respeto a la dignidad de la persona" basado en un enfoque integral y humanista, enfocado en la contextualización de los principios bioéticos en las ciencias forestales. Estos principios ofrecen una perspectiva innovadora que abarca las actividades de conservación, la explotación de los bosques y su restauración, teniendo en cuenta la importancia de la vida en todas sus formas. Esto implica superar la concepción antropocéntrica que separa al ser humano de la naturaleza, como se deriva de una ontología disyuntiva (11).

En la resolución de conflictos en el ámbito biomédico, ha surgido una orientación bioética principalista basada en "Los Cuatro Principios" formulados por Beauchamp y Childress, que incluyen la beneficencia, la no maleficencia, la autonomía y la justicia. Estos principios tienen como base el "respeto a la dignidad de la persona". Sin embargo, varios investigadores se centran en la contextualización de estos principios bioéticos en las ciencias forestales. Por ejemplo, el principio de beneficencia implica hacer el bien, evitando acciones dañinas que afecten a la naturaleza y a la sociedad en su conjunto. El principio de no maleficencia se basa en la premisa de "no hacer daño", y se refiere a utilizar competencias en favor de la naturaleza y los seres vivos, equilibrando beneficios y riesgos. El principio de autonomía se relaciona con la regulación de la elección humana, libre de interferencias externas, y se refiere a actuar de manera consciente e independiente. El principio de justicia implica otorgar dignidad a la naturaleza y a los recursos forestales, asegurando un ambiente saludable para todas las especies, lo que abarca el respeto por los derechos de la naturaleza y la superación de los especismos.

La aplicación de principios bioéticos en la gestión forestal y su impacto en la fauna es un área poco explorada, pues a menudo se ha centrado en la explotación de recursos forestales en beneficio humano, separando al ser humano de la naturaleza. Sin embargo, se argumenta que es esencial considerar la ética en estas interacciones y promover una perspectiva más inclusiva que

valore y proteja todas las formas de vida y el entorno en su conjunto (12).

En sentido general, Ecuador destaca por su rica biodiversidad, la cual desempeña un papel fundamental en la prosperidad económica, social y cultural, así como en la preservación de la vida. Los conceptos de Bioética, Sustentabilidad y Biodiversidad están estrechamente relacionados. Sin embargo, la actividad humana, como se ha expresado, está causando la pérdida de biodiversidad, lo que conlleva problemas en la educación ambiental y la sociedad. Marcado énfasis se evidencia en la deforestación ha aumentado debido a la explotación, incendios forestales y tala ilegal.

En el contexto donde se encuentra la Finca Experimental Andil, se aprecian problemas ambientales, asociados a la deforestación, que se evidencia en el uso no sostenible de los bosques con fines de energía y beneficio económico. Esto conlleva a la escasez de semillas de calidad y cantidad, la pérdida de diversidad forestal y el uso ineficiente de la biomasa proveniente de los bosques. Además, no se aprovecha la intercalación de los cultivos, lo que afecta el suelo y los recursos hídricos. Se asocian otros como:

- Degradación del suelo: incluye problemas como erosión, acidez, salinidad elevada, compactación y dificultades en el drenaje, que son más evidentes en las áreas agrícolas, perjudicando principalmente la actividad económica.
- Deterioro del saneamiento y del entorno en asentamientos humanos: se refleja en la escasez de agua potable, el aumento de microvertederos, la mala calidad del aire debido a la presencia de industrias y el tratamiento insuficiente de desechos tóxicos. Esto afecta negativamente la calidad de vida y la salud de la población.
- Contaminación de las aguas terrestres: la falta de tratamiento adecuado de los residuos líquidos tiene un impacto en la pesca, la agricultura, el turismo y, en general, en la calidad de vida.
- Pérdida de biodiversidad: ocurre debido al manejo inadecuado de los ecosistemas, la destrucción de hábitats naturales, la aplicación de prácticas agrícolas intensivas y la falta de control sobre la captura ilegal de especies valiosas. Esto tiene un impacto negativo en los recursos

naturales, tanto bióticos como abióticos, y afecta a las generaciones futuras (13).

La investigación no solo trata de enunciar los problemas, sino compartir ideas como contribución a la solución de los mismos. En este sentido, ¿qué se puede hacer?

- Planificar adecuadamente el uso del suelo, manteniendo el resto del territorio lo más inalterado posible para no acelerar su degradación. Prevenir el avance de la erosión y el deterioro de la vegetación (14).
- Realizar actividades agrícolas respetuosas con el medio ambiente y conservar el suelo potencialmente agrícola.
- Apoyar a organizaciones que trabajen para la conservación y reforestación de los bosques y selvas, a través de políticas y acciones encaminadas a la preservación de espacios naturales, rechazando aquellas que pretendan lo contrario.
- Propender al consumo responsable de agua, fomento de la cultura del reciclaje, usar racionalmente de la energía y desarrollar la agricultura urbana.
- Reducir el vertido de aguas residuales sin tratamiento, control de la contaminación química e industrial, mejoramiento del financiamiento para la prevención y el control de la contaminación marina, fortaleciendo las leyes sobre residuos marinos, desarrollo de capacidades técnicas y conocimientos a nivel local.
- Aplicar economía circular, basada en: Reducir, Reutilizar y Reciclar.
- Invertir en las comunidades indígenas, concienciar a la comunidad sobre las causas de la deforestación en eventos de esta naturaleza y otros, donde la participación sea activa y transite del paradigma a la práctica, demostrando que la conservación de los bosques y el desarrollo económico.
- Transformar selvas, bosques, matorrales, pastizales, manglares, lagunas, y arrecifes en campos agrícolas, ganaderos, granjas camaroneras, presas, carreteras y zonas urbanas destruimos el hábitat de miles de especies; puesto que en muchas ocasiones la

transformación no es completa, pero existe deterioro de la composición, estructura o función de los ecosistemas que impacta a las especies y a los bienes y servicios que se obtienen de la naturaleza.

La universidad como centro de docencia, investigación y vinculación con la sociedad, con visión de transformación social, ha de tributar a la educación ambiental y al desarrollo sostenible, desde la integración de su accionar (15). Para ello se ha de consolidar la formación de los estudiantes de pregrado y posgrado, que se inquieten de manera consciente y preocupada con el medio ambiente y con los problemas asociados, y que tengan conocimientos, aptitudes, actitudes, motivaciones y compromisos para el trabajo individual y colectivo en la búsqueda de soluciones para los problemas existentes y para prevenir otros (16). Implica comprender la necesidad de un planeta y de un entorno diferente, de vida y plenitud. La universidad nueva requiere del fomento de la cultura ciudadana con conciencia ambientalista (17).

En este sentido, es importante la consolidación permanente del desarrollo sostenible en virtud de la satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias. Con este concepto se busca comprender y analizar las vías que debe adoptar el desarrollo económico para causar la menor afectación ambiental posible.

En torno a esta idea surge la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) que habilita para la toma de decisiones a favor de la integridad del medio ambiente, la viabilidad económica, y de lograr la justicia social para las generaciones actuales y venideras, respetando al mismo tiempo la diversidad cultural (18).

Se reconoce el potencial transformador que tiene la educación para lograr un cambio en la forma de vida y en las prácticas de consumo de las personas con miras a reducir el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida de la población.

Un elemento importante es la relevancia que adquiere la bioética, entendida como la enseñanza sobre las relaciones morales del hombre y la naturaleza basada en la percepción de la naturaleza como un prójimo moral, con equivalencia e igualdad de derechos de todos,

orientada a la solución del problema ambiental (20).

¿Qué se puede hacer desde la gestión de la universidad?

- Garantizar la intencionalidad ambiental desde las asignaturas.
- Desarrollar eventos, talleres y capacitaciones, según las fechas de la UNESCO.
- Consolidar el componente ambiental desde la concreción de los proyectos de vinculación con la sociedad.
- Crear líneas de investigación y proyectos afines.
- Dialogar con expertos.
- Enfocarnos en certificaciones ambientales, que conviertan a las instituciones de educación superior en referente nacional e internacional.

Desde otra visión, se ha de concretar en la práctica que:

- El uso sostenible de los recursos naturales y la protección de la diversidad biológica no son procesos antagónicos. Las comunidades locales sobre las que recae en gran parte el peso de la gestión de la diversidad biológica por lo que deben participar de los beneficios económicos derivados de la explotación de los recursos a través de su reparto equitativo y transparente (21).
- La responsabilidad compartida en la protección y el uso sostenible de la diversidad biológica, incumbe a las administraciones pública, a la sociedad, incluyendo a los sectores productivos, propietarios de tierras, asociaciones, comunidad científica y educativa, medios de comunicación.
- La gestión proactiva frente a la gestión tradicional reactiva, en la que se actúa una vez, aparece el problema, se promueve una gestión proactiva y adaptativa que permita anticiparse a la aparición de los problemas.
- La conservación dentro y fuera de los Espacios Naturales Protegidos: el enfoque y orientación de la conservación de la diversidad biológica (estrategias de gestión) debe tener un carácter de promoción de la conectividad de los espacios

naturales (22).

- El enfoque ecosistémico de la política de conservación y uso sostenible de la diversidad biológica, con adopción de una visión del territorio y de los procesos que inciden sobre la diversidad biológica que integre los elementos bióticos, abióticos y humanos desde una perspectiva ecosistémica, a través del conocimiento de las funciones y procesos de los ecosistemas.
- El acceso a la información y transferencia del conocimiento, con énfasis en la investigación científica sobre los distintos componentes de la diversidad biológica, así como la adecuada transmisión de dichos conocimientos derivados de la investigación (23).
- El principio de prevención y precaución en la intervención sobre las causas de deterioro de la diversidad biológica en su origen, frente al planteamiento de medidas correctoras de sus efectos o de recuperación de las pérdidas sufridas. A su vez, hay que intentar evitar la ocurrencia del daño antes de que se produzca, anticipando los posibles conflictos que puedan surgir; la regulación normativa preventiva, la evaluación ambiental y el seguimiento del estado de la diversidad biológica (24).

Finalmente, la metodología y los resultados responden al objetivo, a partir del análisis que contempla la relación entre la bioética y la protección de los recursos forestales de la finca experimental Andil:

En el contexto de la Finca Experimental Andil, se observa una rica diversidad de especies arbóreas y arbustivas, destacando la presencia de 30 especies diferentes distribuidas en 15 familias botánicas. Los índices ecológicos de biodiversidad indican niveles medios a altos de diversidad en el área estudiada.

Se identifican especies clave como *Swietenia macrophylla* y *Guazuma ulmifolia* con alto valor de importancia ecológica, mientras que otras como *Ceiba trischistandra* y *Coffea arábica* presentan menor relevancia. Esto resalta la importancia de priorizar la conservación de especies fundamentales para el ecosistema.

A pesar de la diversidad biológica, se evidencia una falta de conciencia bioética entre los responsables de la finca, lo que sugiere la

necesidad urgente de promover la educación ambiental y ética en la gestión de recursos naturales.

Los desafíos ambientales, como la deforestación y el uso no sostenible de los bosques, requieren la aplicación de principios bioéticos como la beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia para lograr una gestión más equilibrada y sostenible de los recursos.

Se proponen acciones como la planificación del uso del suelo, la promoción de prácticas agrícolas sostenibles, y la participación comunitaria en la conservación de la biodiversidad como medidas clave para abordar estos desafíos y promover un desarrollo más armonioso entre humanos y naturaleza.

La integración de la bioética en la gestión forestal es esencial para proteger y conservar la biodiversidad, asegurando así un uso responsable y sostenible de los recursos naturales en la Finca Experimental Andil.

La bioética proporciona un marco ético para abordar los siguientes aspectos en próximas investigaciones: conservación de la biodiversidad reconociendo el valor intrínseco de las especies y su importancia para el equilibrio ecológico. Uso sostenible de los recursos, asegurando que las actividades humanas no comprometan la capacidad de regeneración de los bosques ni afecten negativamente a las comunidades locales y la fauna. Equidad y justicia ambiental, garantizando la justicia ambiental y el respeto por los derechos de las generaciones futuras.

En este orden, la educación y conciencia ambiental, fomentando una cultura de respeto hacia la naturaleza y sus recursos. También la gobernanza participativa, donde las decisiones relacionadas con la gestión forestal involucren a diversos actores y se basen en valores éticos compartidos (25).

IV. CONCLUSIONES

- En Manabí y en Ecuador, se investiga por primera vez, en torno a la contextualización de los principios bioéticos a las ciencias forestales, lo que amplía la visión de transferencia a diversos escenarios investigativos. La finca experimental Andil, en correspondencia a los

ecosistemas boscosos y a la distribución vegetal arbórea de la zona sur de Manabí, presenta una alta variabilidad de especies, encontrándose así dentro de 0,6 ha un total de 178 individuos, distribuidos en 30 especies, pertenecientes a 27 géneros y 15 familias.

- La biodiversidad específica del área objeto de estudio de la finca experimental Andil se encuentra entre media y alta, esto debido a la heterogeneidad de especies encontradas con el índice de Shannon ($H' = 2,88$); la variabilidad de abundancia de las especies reflejada mediante el índice de Simpson ($D = 0,87$); lo cual es corroborado con la alta riqueza de especies encontradas mediante el índice de Margalef ($DMG = 5,59$); identificándose un descenso de las especies arbóreas, induciéndose a evidencias de las acciones antrópicas que inciden en la deforestación de la finca experimental Andil.
- El análisis de la relación entre la bioética y la protección de los recursos forestales en la Finca Experimental Andil, destaca la importancia de integrar principios éticos en la gestión forestal. La diversidad biológica identificada subraya la necesidad de conservación, mientras que la falta de conciencia bioética resalta la urgencia de promover la educación ambiental y ética. La aplicación de principios como la beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia es fundamental para el abordaje de los desafíos ambientales y el logro una gestión sostenible y equilibrada de los recursos naturales en este entorno.

V. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí

A los estudiantes de las Cohortes I y II del Programa de Maestría en Manejo Forestal Sostenible

A la Empresa Pública de Servicios de la Universidad Estatal del Sur de Manabí

A los trabajadores y administrativos de la Finca Experimental Andil

A la comunidad Andil

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por la iniciativa.

V. REFERENCIAS

1. Arias-Rodríguez FQ. Bioética ambiental y vida cotidiana: Reflexiones sobre la visión de sustentabilidad y el cambio climático durante el 2020 en el departamento del Meta (Colombia). *Rev Latinoam Bioética*. 2022;22(2):11-38.
2. Parra-González CM. Ecopedagogía bioética para la conservación de la fauna silvestre. *Conocimiento global*. 2019;4(2):1-19.
3. Rojas-Rendón AJ. Bioética en el aprovechamiento forestal maderero y sus impactos sobre la fauna. *PLURIVERSIDAD*. 2020;(5):173-189.
4. Arce-Rojas RS. El enfoque del desarrollo forestal en el Perú. *Siembra*. 2022;9(2).
5. Arce-Rojas RS. Pandemias, bosques y ciencias forestales. *Rev For Peru*. 2021;36(1):4-21.
6. Delgado-Farías JL. Los árboles que esconden al bosque: Miguel Ángel de Quevedo y los orígenes de la ciencia forestal en México. 2019.
7. González-Benito A. Revisión teórica de los modelos de orientación educativa. *RECIE Rev Caribb Investig Educ*. 2018;2(2):43-60.
8. Montoya-Jiménez AE. Principios de la bioética principalista de Beauchamp y Childress implícitos en la ley 23 de 1981, de ética médica, a la luz de 3 estudios de casos analizados y fallados por el tribunal de ética médica de Cundinamarca. 2019.
9. Paoli-Bolio FJ. Multi, inter y transdisciplinariedad. *Problema Anu Filos Teor Derecho*. 2019;(13):347-357.
10. Restrepo-Martínez RE. Las ciencias forestales y la gestión de la biodiversidad: apuntes históricos para una reivindicación. *Biodivers Pract*. 2019;4(1):189-211.
11. Severo-Arce RR. Aproximações para o desenvolvimento de uma bioética florestal a partir do caso peruano. *Rev Latinoam Bioética*. 2020;20(1):107-122.
12. Vasco-Morales AM. Implementación de viveros forestales en campo: Guía para generar modelos ganaderos basados en árboles. Fondo Editorial Biogénesis. 2022.
13. Velásquez-García GV. Siete décadas de Ecología y Ciencias Forestales en la FCA. *Rev Fac Nac Agron Medellín*. 2022;75(1).
14. Calvache-Pejendino JC. Estrategias para el mejoramiento de la calidad ambiental en la comuna tres, San Juan de Pasto. *RIAA*. 2021;12(1):3.
15. Ávila-Rabaza ME. La superación del maestro primario: vía para el mejoramiento de su desempeño profesional pedagógico ambiental. *Univ Soc*. 2019;11(5):89-98.
16. Luján-Álvarez CU. Sistema de gestión estratégica forestal participativa para el desarrollo forestal sustentable. *Madera y bosques*. 2021;27(1).
17. Domínguez-Hernández GG. El enfrentamiento al cambio climático en la especialidad forestal de la educación técnica profesional. *Rev Cient Amaz*. 2019;2(3):5-16.
18. Méndez-Espinoza C. Mecanismos de respuesta al estrés abiótico: hacia una perspectiva de las especies forestales. *Rev Mex Cienc For*. 2019;10(56):33-64.
19. Cué-García JL. Producción y conservación de semillas forestales: situación actual y perspectivas en Ecuador. *Rev Cubana Cienc For*. 2019;7(3):365-376.
20. Altamirano-Giler S. La contabilidad verde en el Ecuador: avances y desafíos para alcanzar su institucionalización. *Prospectivas UTC Rev Cienc Adm Econ*. 2020;3(2):186-202.

21. García-Molano DC, Tobón-Mejía DA. Ética y gestión forestal: un análisis desde la perspectiva del desarrollo sostenible. *Rev Investig Desarro Innov.* 2019;9(1):45-56.
22. Smith J, Brown R, Johnson P. Applying Ethical Principles to Forest Management: A Case Study in Sustainable Logging. *J Environ Ethics.* 2020;45(3):289-302. doi:10.1007/s10806-020-09837-4.
23. López-Morales R, Martínez-Gutiérrez E, Pérez-Ríos F. Bioética y conservación de recursos naturales: un enfoque desde las ciencias forestales. *Rev Ética Ambient Sostenibilidad.* 2021;7(2):78-91.
24. Fernández-González A, Ruiz-Gutiérrez E, Sánchez-Castro M. Aplicación de principios bioéticos en la gestión forestal comunitaria: lecciones aprendidas de experiencias locales en América Latina. *Bosques Sostenibles.* 2022;4(1):20-33.
25. Johnson K, Thompson S, Williams D. Ethical Dimensions of Forest Conservation and Restoration: Perspectives from Indigenous Communities. *Conserv Ethics Q.* 2023;17(2):145-160.

Notas de biología y crianza de *Podisus* sp. (hemiptera: pentatomidae), depredador de *Gonipterus* sp., asociado a plantaciones de Eucalyptus

Notes on biology and breeding of *Podisus* sp. (hemiptera: pentatomidae), predator of *Gonipterus* sp., associated with Eucalyptus plantations

 Erika Viviana Paredes Guevara*
 Diego Armando Muñoz Buñay

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Carrera de Ingeniería Forestal / Carrera de agronomía, Riobamba, Ecuador.

* erika.paredes@epoch.edu.ec

RESUMEN

Actualmente en las plantaciones de Eucalyptus en Ecuador, la plaga más importante es *Gonipterus* sp., el control químico es la práctica más común, pero su alto costo e ineficacia ha llevado a la industria maderera a buscar alternativas, como el control biológico. El objetivo de esta investigación fue conocer aspectos relacionados a la biología y ecología de *Podisus* sp., depredador natural de *Gonipterus* sp. La recolección de estas especies se realizó en las plantaciones de la empresa NOVOPAN, ubicada en la provincia de Imbabura, para luego ser trasladados al laboratorio GDETERRA-ESPOCH, donde *Podisus* sp. fue criado en frascos herméticos de 100 ml, a una temperatura de 22°C y una humedad relativa del 43%. Inicialmente se alimentó con larvas de *Gonipterus* sp. y como alternativa larvas de *Spodoptera frugiperda*. Los resultados revelaron un ciclo biológico de huevo a adulto de 40-45 días, longevidad adulta 75 días y una producción de huevos de 30-35 por hembra. Al no obtener suficientes larvas de esta especie, se optó por larvas de *Spodoptera frugiperda* como alimento. El estudio concluye que es factible criar *Podisus* sp. en condiciones controladas utilizando larvas de *Gonipterus* sp. y *Spodoptera frugiperda*, siendo esta última más eficiente debido a su disponibilidad.

Palabras claves: Hemiptera, depredador, ciclo biológico, estadios ninfales, plaga, crianza.

ABSTRACT

Currently in Eucalyptus plantations in Ecuador, the most important pest is *Gonipterus* sp., chemical control is the most common practice, but its high cost and inefficiency have led the timber industry to seek alternatives such as biological control. The objective of this research was to understand aspects related to the biology and ecology of *Podisus* sp., a natural predator of *Gonipterus* sp. These species were collected in NOVOPAN plantations located in Imbabura province, and then transferred to the GDETERRA-ESPOCH laboratory. *Podisus* sp. was reared in 100 ml airtight containers at a temperature of 22°C and relative humidity of 43%. Initially, they were fed *Gonipterus* sp. larvae and alternatively larvae of *Spodoptera frugiperda*. Results revealed a biological cycle from egg to adult of 40-45 days, adult longevity of 75 days, and egg production of 30-35 per female. Due to insufficient larvae of *Gonipterus* sp., larvae of *Spodoptera frugiperda* were used as an alternative food source. The study concludes that it is feasible to rear *Podisus* sp. under controlled conditions using larvae of both *Gonipterus* sp. and *Spodoptera frugiperda*, with the latter being more efficient due to its availability.

Keywords: Hemiptera, predator, biological cycle, nymphal stages, plague, rearing.

I. INTRODUCCIÓN

Una de las plagas de mayor relevancia a nivel global en las plantaciones de Eucalyptus es el gorgojo del eucalipto (Coleoptera: Curculionidae) (1), cuya acción ocasiona daños significativos al deteriorar las hojas de los árboles, tal como se ha documentado en estudios anteriores (2).

En Ecuador, la presencia de *Gonipterus* sp. fue documentada por primera vez en el año 2019, en la provincia de Pichincha, específicamente en el Parque Metropolitano, gracias a la labor de investigadores afiliados a la (PUCE) (3). Desde entonces, se ha observado su dispersión hacia otras provincias del país. Esta situación ha generado una creciente preocupación en el sector forestal, dado que esta especie ejerce un impacto de gran magnitud en la industria maderera. El control químico es el más común, es aplicado mediante dispersión aérea o manual, lo cual implica altos costos en maquinaria y mano de obra, de la misma forma deben ser químicos que no dañen la biodiversidad del ecosistema (4). Por lo tanto, se ha iniciado una búsqueda activa de alternativas viables para su manejo, y una de las estrategias más prometedoras consiste en la implementación adecuada de agentes de control biológico, tal como ha sido señalado en investigaciones previas (5).

El éxito de un enemigo natural ya sea un parasitoide o un depredador, radica en su capacidad para localizar a sus presas incluso cuando la densidad poblacional de estas es baja (6). Hasta la fecha, se han registrado enemigos naturales de *Gonipterus* sp. en Ecuador. Uno de ellos es el parasitoide *Anaphes nitens*, cuya presencia fue documentada por primera vez en el país (7), especie que fue utilizada para el control biológico de *Gonipterus scutellatus* (8). Además, se ha informado de la existencia de un depredador perteneciente al orden Hemiptera, familia Pentatomidae en plantaciones de eucalipto en la provincia de Imbabura (9).

En un estudio realizado por (10), se llevaron a cabo investigaciones en condiciones de laboratorio para analizar el ciclo biológico y la capacidad depredadora tanto de ninfas como de adultos de *Podisus nigrispinus*, un predador, utilizando larvas de diferentes especies de Lepidoptera, como *Spodoptera frugiperda*, *Spodoptera eridania* y *Galleria* sp. Los resultados de este estudio demostraron que *Podisus nigrispinus*

se posiciona como un importante controlador biológico, las especies del género *Podisus* son depredadores generalistas por ello es fácil hacer crías con presas alternativas (11,12).

Por su parte, (13) presentaron el primer registro a nivel mundial de *Podisus nigrispinus* como un depredador eficaz de larvas y adultos de *Gonipterus platensis*. Además, proporcionaron pruebas sólidas de que es posible criar a este depredador en condiciones de laboratorio. Se logró demostrar que la crianza controlada de *Podisus nigrispinus* puede llevarse a cabo utilizando larvas de *Spodoptera frugiperda* y *Tenebrio molitor* (14).

Por tanto, se resalta la importancia de conocer la biología y ecología para el desarrollo de un protocolo de crianza específico, para *Podisus* sp. Esto adquiere una relevancia significativa en la búsqueda de alternativas adicionales para el control de este insecto fitófago. Es aún más crucial considerando la presencia de enemigos naturales in situ que podrían ser más propicios para la propagación y aplicación efectiva en el manejo de la plaga.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de muestras de *Podisus* sp. y *Gonipterus* sp., se llevó a cabo en plantaciones de la empresa NOVOPAN S.A., situada en la provincia de Imbabura. Posteriormente, estas muestras fueron trasladadas al laboratorio (GDETERRA), ubicado en la (ESPOCH), donde se implementó la crianza a una temperatura media de 22°C y una humedad relativa media del 43%.

En la recolección de *Podisus* sp., se emplearon frascos herméticos de 100 ml, colocando algodón humedecido. Durante la recolección, se capturaron tanto hembras como machos. Posteriormente, se procedió a emparejar a los individuos, distinguiéndolos en función de su tamaño, siendo los machos notablemente más pequeños que las hembras. Para una adecuada ventilación, se perforó la tapa con un diámetro de 4 cm, cubierta con una malla fina transparente con dimensiones de 13 x 10 cm.

Las cámaras de crianza empleadas para *Gonipterus* sp. en condiciones de laboratorio fueron cubos de madera con dimensiones de 50 cm de altura, 43 cm de longitud y 40 cm de ancho.

La parte superior estaba cubierta con vidrio para la entrada de luz y monitoreo, en tanto que en la parte trasera se colocó una tela delgada con orificios para una adecuada ventilación. En la zona frontal de las cámaras se dispuso una puerta equipada con una manga de tela que permitía la manipulación controlada del entorno interno (Fig. 1a). Dentro de estas cámaras de crianza se ubicaron ramificaciones jóvenes procedentes de los árboles de eucalipto, las cuales se colocaron en recipientes con agua (Fig. 1b). Introduciendo a *Gonipterus* sp. en el interior de las cámaras de crianza con 20 individuos por cámara, utilizando estas ramificaciones como fuente de alimento, logrando mantener las hojas frescas por varios días.

Para la crianza de *Podisus* sp., se utilizaron frascos herméticos de 100 ml de capacidad (Fig. 1c), donde se colocó una pareja por frasco. Los huevos ovipositados por las hembras, se dispusieron en algodón humedecido para propiciar su eclosión. Cada frasco albergó una colonia con el propósito de realizar un seguimiento detallado desde la fase de eclosión, tomando en consideración la duración de cada estadio ninfal. Durante los estadios ninfales, se efectuaron registros que abarcaron todo el ciclo biológico, desde la oviposición hasta la culminación en el estadio adulto. Una vez que los individuos alcanzaron la fase adulta, se procedió con su descripción y se aislaron en frascos individuales para iniciar la fase de reproducción. En cuanto a la alimentación para estadios ninfales y adultos, inicialmente se suministró larvas de *Gonipterus* sp., Sin embargo, al no obtener una cantidad suficiente de alimento, se optó como alternativa alimentaria larvas de *Spodoptera frugiperda*.

III. RESULTADOS

Biología

Los estudios de biología se llevaron a cabo en las instalaciones del laboratorio GDETERRA, bajo condiciones controladas de una temperatura media de 22°C y una humedad relativa media del 43% (Tabla 1).

Los huevos presentan una forma cilíndrica, con dimensiones que oscilan entre 0,5 - 1 mm de diámetro. Distinguiendo varios colores, blanquecinos al momento de la postura, plateados, naranjas, dorados, experimentando una progresiva

oscuridad a medida que se aproxima la eclosión. En cada oviposición, la hembra deposita entre 30 - 35 huevos. Cabe destacar que para su incubación se requiere un nivel moderado de humedad.

Durante los estadios ninfales, presentan un color negro en el tórax, franjas de color rojo, naranja, amarillo en el abdomen dependiendo del estadio ninfal en que se encuentren cuya manifestación está ligada al entorno ambiental en el que se desenvuelven. Experimentan incrementos en su tamaño a medida que avanzan de un estadio ninfal a otro, destacando que la cantidad de alimento que consuman hasta alcanzar la fase adulta constituye un factor de importancia en este proceso (Fig. 2).

Los adultos de la especie presentan una diferencia de tamaño entre los machos y las hembras, esta variación en tamaño influye en su capacidad de depredación, ya que de ello depende la cantidad de huevos que las hembras serán capaces de ovipositar. La duración de copulación varía entre 12 - 72 horas. Los machos tienden a alcanzar la madurez sexual algunos días más tarde que las hembras.

Una vez que completan su ciclo de vida, los individuos pueden experimentar ciertos aspectos negativos, como el desprendimiento de las alas, una reducción en la cantidad de huevos que pueden poner, así como una disminución en su actividad alimenticia. En general, tienden a permanecer en un sitio fijo.

Crianza

El alimento de *Podisus* sp., inicialmente fue con larvas de *Gonipterus* sp., las cuales se obtenían de la crianza establecida en el laboratorio (Fig. 3c), lo óptimo era asegurar un abastecimiento constante, destacando que no todas las larvas lograban sobrevivir, lo que resultaba un número limitado de individuos disponibles, situación que no permitía satisfacer las demandas alimenticias de *Podisus* sp., por ello se optó por la provisión de larvas de *Spodoptera frugiperda* (Fig. 3d), comúnmente conocida como "cogollero del maíz," es un lepidóptero perteneciente a la familia Noctuidae. Para ello, se recolectaron en el cultivo de maíz.

Los adultos de *Podisus* sp. cuando se encuentran en el campo desempeñan la función de depredadores, muestran una clara preferencia por el estadio larval de *Gonipterus* sp. (Fig. 3a), por ello se encontró larvas con una coloración

negra, resultado del ataque de *Podisus* sp. En raras ocasiones se observa que atacan al estadio adulto de *Gonipterus* sp (Fig. 3b).

En condiciones de laboratorio, se considera que, desde el segundo estadio ninfal, los ejemplares de *Podisus* sp. adquieren el rol de depredadores encontrando en una presa varias ninfas (Fig. 3d), y en una presa un adulto (Fig. 3c). A partir de este estadio, comienza a buscar activamente sus presas, empleando su probóscide para realizar ataques efectivos. Este mecanismo proporciona una ventaja considerable, ya que les permite perforar a sus presas, provocando su muerte inmediata, para luego succionar su alimento de manera eficiente. Es importante destacar que, durante todos los estadios infantiles, estos insectos muestran una inclinación hacia la humedad.

En el caso de *Podisus* sp., fue común observar comportamientos de canibalismo (Fig. 3e). Este fenómeno suele ser especialmente evidente cuando los individuos han abandonado su exuvia durante el proceso de cambio de los estadios ninfales (Fig. 3f), encontrándose en un estado frágil y vulnerable.

El aumento de peso en los individuos de *Podisus* sp., así como la calidad y cantidad del alimento que consumen, pueden ejercer un impacto significativo en el número de huevos depositados en cada puesta. Además, estos factores también influyen en la duración del ciclo biológico de la especie.

Tabla 1. Ciclo biológico de *Podisus* sp., con una temperatura promedio de 22°C.

| Estadios | Duración (días) |
|----------------------|-----------------|
| Huevos | 6 – 10 días |
| Ninfa I | 3 días |
| Ninfa II | 7 – 9 días |
| Ninfa III | 6 – 8 días |
| Ninfa IV | 10 días |
| Ninfa V | 10 días |
| Adultos (longevidad) | 75 días |



Fig 1. Crianza de *Gonipterus* sp., y *Podisus* sp. a) Cámara de crianza para *Gonipterus* sp. b) Alimento de *Gonipterus* sp. c) Cámaras de crianza de *Podisus* sp.

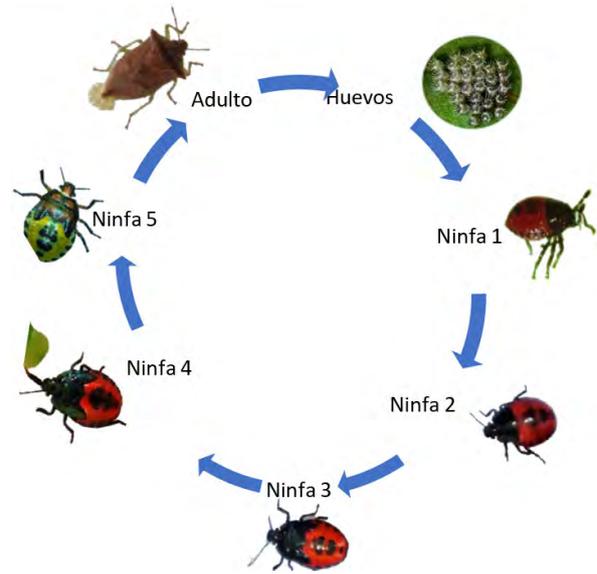


Fig 2. Ciclo biológico de *Podisus* sp.

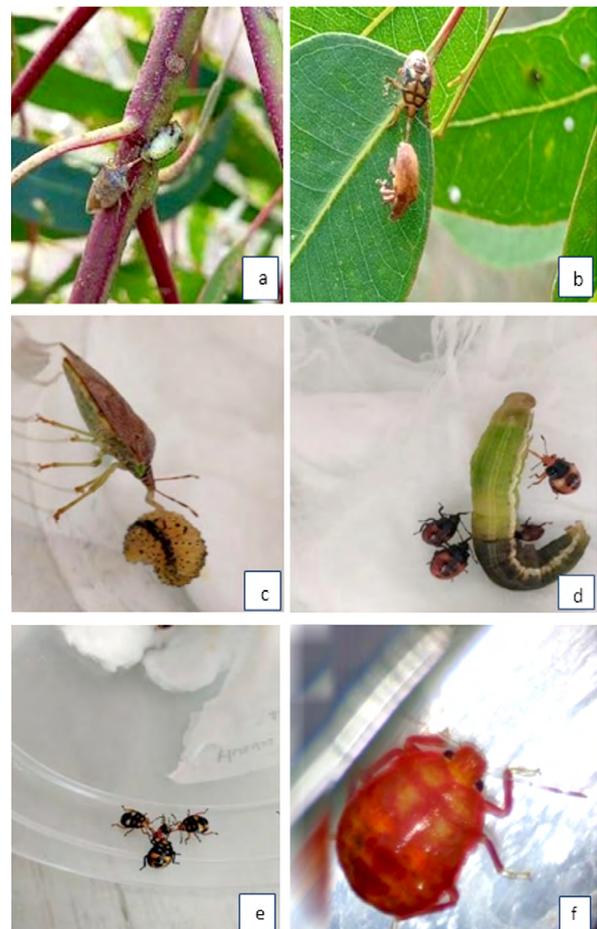


Fig 3. *Podisus* sp. depredador de *Gonipterus* sp., *Spodoptera frugiperda*. a) Adulto alimentándose de larva de *Gonipterus* sp. en campo. b) Ninfa alimentándose de adulto de *Gonipterus* sp. c) Adulto alimentándose de larva de *Gonipterus* sp. en laboratorio. d) Ninfas alimentándose de larva de *Spodoptera frugiperda* en laboratorio. e) Canibalismo en ninfas de *Podisus* sp. f) Ninfa teneral

IV. DISCUSIÓN

Durante la crianza de *Podisus* sp. alimentadas con larvas de *Spodoptera frugiperda* bajo condiciones controladas a una temperatura media de 22°C y una humedad relativa media de 43%, se pudo observar que en los estadios ninfales presentaban una coloración negra en la cabeza y el tórax, en el abdomen manchas de color rojo, amarillo, naranjas brillantes, también se determinó que la hembra ovíparita alrededor de 30 – 35 huevos. La coloración de las ninfas es similar a la manifestada por (10) en un estudio realizado sobre ciclo biológico y capacidad depredadora de *Podisus nigrispinus* alimentada con larvas de *Spodoptera frugiperda*, a condiciones de laboratorio, a una temperatura de (23 °C ± 5 °C) y humedad relativa (72% ± 6%), pero existe diferencias en oviposición que va de 10 – 50 huevos.

En esta investigación, el ciclo biológico de *Podisus*, tuvo una duración total desde huevo - adulto de 40 a 45 días, y los adultos vivieron un promedio de 75 días, dato que es superior a lo que manifiesta (15) en su estudio realizado, sobre la crianza de *Podisus* sp. a una temperatura de 26°C y una humedad relativa de 80%, determinan que el tiempo desde la oviposición hasta el último estadio ninfa fue de 23,1 días y los adultos vivieron 33,75 días. Esta diferencia puede deberse a la alimentación y condiciones a las cuales fueron criados, estos insectos, (16) manifiesta en su estudio de desarrollo y supervivencia de *Podisus nigrispinus* a diferentes temperaturas, demuestra que entre mayor sea la temperatura el ciclo biológico dura menos y a menor temperatura dura más, así también, (17) comenta que la temperatura y alimentación influye en la tasa de postura diaria, producción de huevos, así con el porcentaje de supervivencia de *Podisus*.

Para la crianza de *Podisus* sp. en este estudio, se realizaron recolecciones en las plantaciones de la empresa NOVOPAN S.A donde se evidenció que la principal fuente de alimentación de este insecto de manera preferencial, son larvas y en algunas ocasiones adultos de *Gonipterus* sp., por esta razón inicialmente se utilizó esta especie como alimento, para la crianza de *Podisus* sp. en el laboratorio, Según (13,18), mencionan en sus estudios sobre la especie de *Podisus* que son depredadores nativos eficientes de larvas y adultos de *Gonipterus platensis*, y demuestran evidencias de crianza bajo condiciones controladas. Luego por la complejidad de la crianza de larvas de

Gonipterus sp. se optó como alimento alternativo larvas de *Spodoptera frugiperda*, por su facilidad de adquisición y crianza, especie utilizada en el estudio de (15) que demuestran que es posible la crianza de *Podisus* sp. en condiciones de laboratorio con larvas de *Spodoptera frugiperda*, así mismo (19) mencionan que las larvas de *Spodoptera frugiperda* proporcionaron mejores características reproductivas al depredador *Podisus nigrispinus*, y puede ser utilizada cuando se necesita incrementar la crianza de este depredador en el laboratorio, en un periodo de tiempo reducido. También (20) mencionan que la crianza masiva de *Podisus* puede ser rentable como controlador biológico, por lo que es factible criar con presas alternativas o dietas artificiales, al ser un depredador generalista.

En la crianza de los estadios ninfales es de suma importancia asegurar un suministro adecuado de alimento con el fin de evitar el canibalismo, siendo los estadios ninfales más propensos a esta conducta. Según lo manifestado por el autor (21), mantener un número bajo de depredadores en las cámaras de crianza puede reducir las tasas de canibalismo y aumentar la eficiencia de la reproducción masiva, especialmente entre las ninfas, que muestran un comportamiento caníbal más pronunciado.

En este estudio, la capacidad depredadora de *Podisus* sp. en sus estadios ninfales y adultos fue evidentemente aceptable, encontrando que los adultos mostraron una capacidad depredadora superior sobre las larvas de *Spodoptera frugiperda*, similar a los resultados reportados según (22).

Durante la investigación hubo menos supervivencia de las hembras en el estudio de (23), explica que puede ser por lesiones, enfermedades y depredación además del mayor uso de energía en el apareamiento múltiple, la producción de huevos y oviposición, y los efectos tóxicos de las heces seminales producidos por los machos.

Se determina que *Podisus* sp. al ser una especie generalista resulta ser un controlador biológico eficiente, y al criarlo en fase de laboratorio existe resultados positivos como lo manifiesta (24).

El Control Biológico (25), resulta ser un método muy eficaz ya que puede cumplir con las funciones de controlar y regular dichos organismos dañinos

con el uso de otros organismos vivos: predadores, parasitoides y patógenos, con el firme propósito de mantener activo un control amigable con el ambiente que no genere efectos nocivos tanto para los animales como para las personas.

ovipositó de 30 – 35 huevos. Se ha demostrado que es posible criar *Podisus* sp. bajo condiciones controladas utilizando como alimento larvas de *Gonipterus* sp. y *Spodoptera frugiperda*, resultando más eficiente las larvas de *Spodoptera frugiperda* por su fácil adquisición y crianza.

V. CONCLUSIONES

En la crianza de *Podisus* sp. a una temperatura media de 22°C y a una humedad relativa media de 43%, presenta un ciclo biológico de 40 – 45 días distribuidos en cinco estadios ninfales, el adulto tuvo una longevidad de 75 días, la hembra

VI. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa NOVOPAN por haber permitido el ingreso a las plantaciones para la recolección de los especímenes para su respectivo estudio.

V. REFERENCIAS

1. Bouvet JP. Manual de insectos asociados al cultivo de eucalipto. INTANACIONAL; 2011 [cited 2024 May 26]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/332735348_Manual_de_Insectos_asociados_al_cultivo_de_eucalipto
2. Marelli C. La plaga de los gorgojos de los eucaliptos. Rev Soc Entomol Argent. 1926;6(1):14-22.
3. Avilés AB. Posible amenaza del complejo *Gonipterus scutellatus* Gylenhall (1833) sobre las especies de *Eucalyptus* L'Hér (1789), debido a su introducción a Ecuador. Quito: PUCE; 2020.
4. De Frutos E, Kimber J, Martínez B, Tiara P. *Gonipterus platensis*: Biología, daños, control, efecto sobre *Eucalyptus globulus*, y su impacto económico sobre la Industria Forestal. 2020 May 20;20-22.
5. Salas D, Salazar E. Importancia del uso adecuado de agentes de control biológico. Redalyc. 2003;13(1):2-8.
6. Sánchez M, Fontal F, Sánchez A, López J. El uso de insectos depredadores en el control biológico aplicado. 1997.
7. Salazar J, Mariño A, Espinosa J, Dominguez M, Pruna W. Primer registro de *Anaphes nitens* (Hymenoptera: Mymaridae) parasitoide de *Gonipterus* spp. (Coleoptera: Curculionidae). Ecuador es calidad. 2023;10(1):6.
8. González A, Savornin P, Amaral L. Control biológico del *Gonipterus scutellatus* por *Anaphes nitens* en Uruguay. 2005.
9. Paredes E. Desarrollo de un protocolo preliminar para la crianza de un Hemiptera Pentatomidae, depredador. 2023.
10. Romero D, Calderón C, Georget K, Colchado P. Ciclo biológico y capacidad predadora de *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) en larvas de *Spodoptera frugiperda* (Walker, 1857), *S. eridania* (Cramer, 1782) y *Galleria* sp. (Linnaeus, 1756) en condiciones de laboratorio. Ecol Appl. 2020;19(2):1-8.
11. Zaniccio J, Saavedra J, Zaniccio T, Santos G. Incremento en el peso de ninfas y adultos de *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) alimentados con dos tipos de larvas. Rev Biol Trop. 1996;44(3)/45(1):241-5.
12. Escajadillo C, Díaz W. *Ceratitis capitata* presa alternante para crianza del pentatómido *Podisus connexivus* en laboratorio. Rev Peru Entomol. 1993;35:1-3.
13. Nascimento LI, Soliman EP, Valverde EÂ, Stape JL, Wilcken CF. First global record of *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) as predator of *Gonipterus platensis* (Coleoptera:

- Curculionidae) larvae and adults. *BioOne*. 2017;100(3):675-7.
14. Nonato de Oliveira H, Pratissoli D, Pin E, Curitiba M. Desenvolvimento do predador *Podisus nigrispinus* alimentado com *Spodoptera frugiperda* e *Tenebrio molitor*. *Pesq Agropec Bras*. 2004;39(10):947-51.
 15. Navarrete B, Intriago L, Peñaherrera S, Terrero P, Vera D, Herrera M. Cría de depredadores del género *Podisus* usando *Spodoptera frugiperda* como alimento, bajo condiciones controladas. *La Técnica*. 2016;16:26-31.
 16. Didonet J, Zanuncio J, Sediyaama C, Picanço M. Desenvolvimento e sobrevivência ninfal de *Podisus nigrispinus* (Dallas) e *Supputius cincticeps* (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae) em diferentes temperaturas. *Rev Bras Zool*. 1995;12(3):513-8.
 17. Molina A, Zanuncio J, Torres J, Zanuncio T. Longevidad y fecundidad de *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) alimentado con *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) y frijol. *Rev Biol Trop*. 1997;45(3):1125-30.
 18. Pulgarin J, Quiroz J, Espinel C. Predators of *Gonipterus platensis* (Marelli, 1926) (Coleoptera: Curculionidae) larvae in Antioquia, Colombia. *AGROSAVIA*. 2019;100(3):1 página.
 19. Nonato de Oliveira H, Pratissoli D, Pin E, Espindula M. Development of the predator *Podisus nigrispinus* fed on *Spodoptera frugiperda* and *Tenebrio molitor*. *Pesqui Agropecu Bras*. 2004;39(10):947-51.
 20. Torres J, Zanuncio J, Moura M. The predatory stinkbug *Podisus nigrispinus*: biology, ecology and augmentative releases for lepidopteran larval control in *Eucalyptus* forests in Brazil. *Cabi Rev*. 2006;(2006):18-pp.
 21. Mendes de Sá V. Canibalismo no predador *Podisus distinctus* (Heteroptera: Pentatomidae): aspectos populacionais e comportamentais [Internet]. 2011 [cited 2023 Sep 19]. Available from: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/914/1/texto%20completo.pdf>
 22. Alva Romero D, Calderón Arias C, Pisfil Colchado K. Ciclo biológico y capacidad predatora de *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) en larvas de *Spodoptera frugiperda* (Walker, 1857), *S. eridania* (Cramer, 1782) y *Galleria* sp. (Linnaeus, 1756) en condiciones de laboratorio. *Sci Perú*. 2020 Oct 21;19(2):1-8.
 23. Alvarenga M, Darc J, Cola J, Serrão J. Ovary development, egg production and oviposition for mated and virgin females of the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Sci Braz*. 2011 Dec 11;33(4):1-6.
 24. De Clercq P, Mohaghegh J, Tirry L. Effect of host plant on the functional response of the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *SciDirect*. 2000 May;18(1):65-70.
 25. Docentes del IESTP Huando. Crianza del controlador biológico *Podisus nigrispinus* para el control de la plaga *Spodoptera frugiperda* y reducir el uso de agroquímicos en el valle de Huaral. 2013.



esPOCH

Facultad
de Ciencias




Perfiles

