

EFFECTO DEL LOMBRICOMPOST EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ACEITE CRUDO Y TORTA DE *Helianthus annuus* L, HIBRIDO SHAKIRA EN MONTERÍA, CÓRDOBA.



ANDERS RAUL FRANCO NARANJO

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA
MONTERÍA
2021**

**EFEECTO DEL LOMBRICOMPOST EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL
ACEITE CRUDO Y TORTA DE *Helianthus annuus* L, HIBRIDO SHAKIRA EN
MONTERÍA, CÓRDOBA.**

Trabajo como requisito para optar al título de magister en biotecnología.



ANDERS RAUL FRANCO NARANJO

DIRECTOR: LUIS E. OVIEDO ZUMAQUE. MSc.

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA
MONTERÍA
2021**

Nota de aceptación

Director del trabajo de grado.
M.Sc Luis Oviedo Zumaque

Jurado
M.Sc

Jurado
M.Sc

I. DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi padre, Julio Franco, una persona correcta en todos los sentidos posibles, y gracias a su ejemplo de vida me convertí en gran parte en la persona que soy en día, agradezco a él, todas sus enseñanzas, tanto de manera explícita y tacita, y le agradezco haberme criado con tanta dedicación, tanta paciencia y tanto amor, un excelente padre, un gran esposo, un gran amigo, un gran profesional. Siempre te recordaremos y te querremos.

II. AGRADECIMIENTOS

A mi hija, Alaia por ser el impulso, el motor, por la cual siempre me siento obligado a mejorar y a cumplir mis metas y objetivos.

A mis padres, Julio y Juani por haberme apoyado por todo este camino, por sus consejos, sus enseñanzas.

A mi familia, mis hermanas Ana, Asley, mis tías Yaneth, Rosmmy, Sandra, mi abuela Carmen, mi esposa Yaira, por siempre apoyarme.

Al profesor Luis Oviedo Zumaque, por ayudarme en este camino, este trabajo de investigación me ha ayudado a mejorar mis habilidades de búsqueda de información, habilidades investigativas, de producción de textos, de solución de problemas.

También al laboratorio del departamento de química, GRUBIODEQ, donde se realizaron gran parte de las pruebas de laboratorio en las cuales se sustenta esta tesis.

A la Universidad de Córdoba por ser mi alma mater y haberme otorgado mi título de pregrado

III. RESUMEN.

Durante los años 2020 a 2021 se realizó un cultivo de girasol *Helianthus annuus L* variedad Shakira, bajo cuatro diferentes tratamientos: T1: sin fertilizante, 100% T2: fertilización química, T3: 100% humus, y T4: 50% fertilización química + 50% humus, en Montería, Córdoba, con el objetivo de comprobar el efecto del humus en las propiedades fisicoquímicas del aceite, la torta y la composición de ácidos grasos del aceite a través de cromatografía de gases. A los aceites extraídos se les determinó propiedades fisicoquímicas como: densidad, humedad, acidez, índice de peróxidos y saponificación, en el caso del análisis proximal se determinó: humedad, proteínas, fibra, extracto etéreo y cenizas, se presentaron diferencias en los cuatro tratamientos en: rendimiento, propiedades fisicoquímicas y análisis proximal. Los resultados obtenidos demostraron que el humus de lombriz tuvo un efecto positivo sobre los indicadores del crecimiento y productividad evaluados para el cultivo *Helianthus annuus L* variedad Shakira, así como en el rendimiento agrícola, en comparación con el testigo sin aplicación del bioproducto. Se obtuvieron cantidades relativamente altas de ácidos grasos insaturados extraídos del aceite crudo, (>75% hasta 85%), donde el T2 (fertilizante químico) tuvo mejores resultados. El análisis proximal a la torta residual mostró mayores contenidos de proteínas y grasas y bajos contenidos de humedad, cenizas y fibra.

Palabras clave: Girasol, extracción de aceites, aceite de semillas, ácidos grasos, análisis bromatológico, análisis proximal, torta residual de girasol.

IV. ABSTRACT

During the years 2020 to 2021, a sunflower crop *Helianthus annuus* L. hybrid Shakira was grown, under four different treatments: T1: without fertilizer, 100% T2: chemical fertilization, T3: 100% humus, and T4: 50% chemical fertilization + 50 % humus, in Monteria, Córdoba, with the aim of verifying the effect of humus on the physicochemical properties of the oil, the cake and the fatty acid composition of the oil through gas chromatography. At the extracted oils were determined physicochemical properties such as: density, humidity, acidity, peroxide index and saponification, in the case of the proximal analysis it was determined: moisture, proteins, fiber, ethereal extract and ashes, differences were presented in the four treatments in: performance, physicochemical properties and proximal analysis. The results obtained showed that the worm humus had a positive effect on the growth and productivity indicators evaluated for the *Helianthus annuus* L. variety Shakira crop, as well as on the agricultural yield, compared to the control without application of the bioproduct. Relatively high amounts of unsaturated fatty acids were obtained from crude oil (> 75% to 85%), where T2 (chemical fertilizer) had better results. The analysis proximal to the residual cake showed higher protein and fat contents and low moisture, ash and fiber contents.

Keywords: Sunflower, oil extraction, seed oil, fatty acids, cake, bromatological analysis, proximal analysis, residual sunflower cake.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 15 |
| 2 | MARCO TEÓRICO..... | 17 |
| 2.1 | LA LOMBRICOMPOSTA..... | 17 |
| 2.1.1 | Microorganismos..... | 17 |
| 2.1.2 | Humedad. | 17 |
| 2.1.3 | Aireación. | 18 |
| 2.1.4 | Temperatura. | 18 |
| 2.1.5 | Relación carbono/nitrógeno C/N..... | 18 |
| 2.1.6 | Tamaño de las partículas | 18 |
| 2.1.7 | El pH | 18 |
| 2.1.8 | El suelo y características del lombricompuesto | 19 |
| 2.1.9 | Características del lombricompuesto | 19 |
| 2.2 | EL GIRASOL..... | 20 |
| 2.2.1 | Morfología y fisiología..... | 21 |
| 2.2.2 | Descripción taxonómica..... | 22 |
| 2.2.3 | Importancia económica | 22 |
| 2.2.4 | Producción y consumo | 23 |
| 2.3 | LÍPIDOS..... | 23 |
| 2.3.1 | Ácidos grasos (AG)..... | 25 |
| 2.4 | TORTAS PROTEICAS..... | 27 |
| 2.5 | ANTECEDENTES..... | 28 |
| 3 | OBJETIVOS..... | 29 |
| 3.1 | OBJETIVO GENERAL. | 29 |
| 3.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 29 |
| 4 | METODOLOGÍA..... | 30 |
| 4.1 | LOCALIZACIÓN..... | 30 |
| 4.2 | EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ACEITE CRUDO OBTENIDO POR PRENSADO DE SEMILLA PERTENECIENTE A LA VARIEDAD SHAKIRA DE GIRASOL <i>Helianthus annuus</i> L..... | 31 |
| 4.2.1 | MATERIAL BIOLÓGICO | 31 |
| 4.2.2 | PORCENTAJE EN PESO DE SEMILLA DESCASCARADA, CASCARA, ACEITE EXTRAÍDO Y TORTA RESIDUAL | 32 |
| 4.2.3 | EXTRACCIÓN DEL ACEITE POR PRENSADO..... | 32 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3 | DETERMINACIÓN DEL PERFIL LIPÍDICO DEL ACEITE CRUDO OBTENIDO POR Prensado de semilla variedad Shakira de <i>Helianthus annuus</i> L., MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE GASES. | 33 |
| 4.3.1 | CONDICIONES CROMATOGRÁFICAS: | 34 |
| 4.4 | CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE CRUDO OBTENIDO POR Prensado de semilla variedad Shakira de <i>Helianthus annuus</i> l. | 34 |
| 4.4.1 | Humedad. | 34 |
| 4.4.2 | Densidad. | 35 |
| 4.4.3 | Índice de Peróxidos. | 36 |
| 4.4.4 | Índice de Acidez. | 37 |
| 4.4.5 | Índice de Yodo. | 38 |
| 4.4.6 | Índice de Saponificación. | 39 |
| 4.5 | ANÁLISIS PROXIMAL DE LA TORTA RESIDUAL OBTENIDA A PARTIR DEL Prensado de semilla variedad Shakira de <i>Helianthus annuus</i> l. | 40 |
| 4.5.1 | Ceniza Cruda. | 40 |
| 4.5.2 | Humedad. | 42 |
| 4.5.3 | Extracto Etéreo. | 42 |
| 4.5.4 | Proteínas. | 43 |
| 4.5.5 | Fibra. | 45 |
| 4.6 | EVALUACIÓN ESTADÍSTICA | 46 |
| 4.6.1 | Hipótesis estadísticas. | 47 |
| 5 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN. | 48 |
| 5.1 | EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ACEITE CRUDO OBTENIDO POR Prensado de semilla perteneciente a la variedad Shakira de GIRASOL <i>Helianthus annuus</i> L. | 48 |
| 5.1.1 | Evaluación de rendimiento de aceite crudo. | 48 |
| 5.1.2 | Rendimiento de torta residual. | 50 |
| 5.1.3 | Análisis estadístico. | 51 |
| 5.2 | DETERMINACIÓN DEL PERFIL LIPÍDICO DEL ACEITE CRUDO OBTENIDO POR Prensado de semilla variedad Shakira (<i>Helianthus annuus</i> L). | 51 |
| 5.2.1 | Determinación de ácidos grasos presentes en el aceite de girasol. | 51 |
| 5.3 | CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE CRUDO OBTENIDO POR Prensado de semilla variedad Shakira (<i>Helianthus annuus</i> L). | 54 |
| 5.3.1 | Índice de humedad. | 54 |
| 5.3.2 | Índice de acidez. | 55 |
| 5.3.3 | Densidad. | 56 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.3.4 | Índice de peróxidos. | 58 |
| 5.3.5 | Índice de Saponificación | 59 |
| 5.4 | ANÁLISIS PROXIMAL DE LA TORTA RESIDUAL OBTENIDA A PARTIR DEL PRENSADO DE SEMILLA VARIEDAD SHAKIRA (<i>Helianthus annuus</i> L). | 61 |
| 5.4.1 | Humedad | 61 |
| 5.4.2 | Cenizas. | 62 |
| 5.4.3 | Extracto etéreo..... | 63 |
| 5.4.4 | Proteínas..... | 64 |
| 5.4.5 | Fibra. | 65 |
| 5.4.6 | Estudio estadístico del análisis proximal de la torta residual..... | 66 |
| 6 | CONCLUSIONES | 68 |
| 7 | RECOMENDACIONES | 69 |
| 8 | BIBLIOGRAFÍA..... | 70 |
| 9 | ANEXOS..... | 75 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Materia orgánica vs fertilidad en relación al relieve del terreno..... | 19 |
| Tabla 2. Tratamientos y tipos de fertilización usadas en el cultivo. | 31 |
| Tabla 3. Peso promedio de semillas descascarada, cascaras, aceite extraído y torta residual. | 48 |
| Tabla 4. Porcentaje en peso de semillas descascarada, cascaras, aceite extraído y torta residual. | 49 |
| Tabla 5: Rendimiento de semilla sin cascara y torta residual. | 50 |
| Tabla 6. Análisis estadístico de los Porcentaje en peso de semillas descascarada, cascaras, aceite extraído y torta residual. | 51 |
| Tabla 7: Porcentaje en peso de ácidos grasos saturados e insaturados del aceite de girasol..... | 52 |
| Tabla 8: Análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos. | 60 |
| Tabla 9. Estudio estadístico del análisis proximal de la torta residual..... | 67 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Laboratorio de biotecnología..... | 30 |
| Figura 2: Máquina de extracción de aceite Goldenwall..... | 33 |
| Figura 3: Determinación de humedad | 35 |
| Figura 4: Determinación de índice de peróxidos | 37 |
| Figura 5: Calculo de acidez por titulación | 38 |
| Figura 6: Determinación de índice de saponificación..... | 40 |
| Figura 7: Cálculo de cenizas. | 41 |
| Figura 8: Proceso de obtención de extracto etéreo. | 43 |
| Figura 9: Determinación de proteínas | 45 |
| Figura 10: Proceso de determinación de fibra. | 46 |
| Figura 11. Porcentaje de los pesos de semilla descascarada, peso cascara, peso de aceite extraído y peso de torta residual del aceite de girasol, con los diferentes tratamientos..... | 50 |
| Figura 12: Concentración de ácido oleico vs tratamientos. | 53 |
| Figura 13: Concentración de ácido linoleico vs tratamientos. | 54 |
| Figura 14. Porcentaje de humedad del aceite extraído de los diferentes tratamientos..... | 55 |
| Figura 15. Índice de acidez del aceite extraído de los diferentes tratamientos. | 56 |
| Figura 16. Densidad del aceite extraído de los diferentes tratamientos. | 57 |
| Figura 17. Índice de peróxidos del aceite extraído de los diferentes tratamientos. | 58 |
| Figura 18. Índice de saponificación del aceite extraído de los diferentes tratamientos. | 60 |
| Figura 21. Humedad de la torta residual expresada en % de humedad..... | 62 |
| Figura 22: Cenizas de la torta residual. | 63 |
| Figura 23: Extracto etéreo de la torta residual. | 64 |
| Figura 24. Proteínas de la torta residual..... | 65 |
| Figura 25. Fibra de la torta residual. | 66 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| Ecuación 1: Cálculo de humedad..... | 32 |
| Ecuación 2: Cálculo de humedad..... | 35 |
| Ecuación 3: Cálculo de densidad | 35 |
| Ecuación 4: Cálculo de índice de peróxidos | 36 |
| Ecuación 5: Cálculo de acidez | 37 |
| Ecuación 6: Cálculo de índice de yodo | 39 |
| Ecuación 7: cálculo de índice de saponificación..... | 39 |
| Ecuación 8: Cálculo de índice de ceniza cruda..... | 41 |
| Ecuación 9: Cálculo de humedad..... | 42 |
| Ecuación 10: Cálculo de extracto etéreo | 43 |
| Ecuación 11: Cálculo de proteínas..... | 44 |
| Ecuación 12: Cálculo de nitrógeno | 44 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1: Pesos de semillas descascaradas, cascaras, aceite y torta | 75 |
| Anexo 2: Cromatograma 1 | 76 |
| Anexo 3: Cromatograma 2 | 77 |
| Anexo 4: Estadísticas descriptivas de análisis fisicoquímicos..... | 78 |
| Anexo 5: análisis estadístico descriptivo de la torta proximal | 79 |
| Anexo 6: Humedad del aceite de girasol extraído. | 80 |
| Anexo 7: Índice de acidez del aceite de girasol extraído. | 80 |
| Anexo 8: Densidad del aceite de girasol extraído..... | 81 |
| Anexo 9: Índice de peróxidos del aceite de girasol extraído. | 81 |
| Anexo 10: Índice de saponificación del aceite de girasol extraído..... | 81 |
| Anexo 11: Humedad de la torta de girasol..... | 82 |
| Anexo 12: Cenizas de la torta de girasol..... | 82 |
| Anexo 13: Extracto etéreo de la torta de girasol..... | 82 |
| Anexo 14: Proteínas de la torta de girasol. | 83 |
| Anexo 15: Contenidos de fibra de la torta de girasol. | 83 |
| Anexo 16: ácidos grasos extraídos en los cuatro tratamientos | 83 |

1 INTRODUCCIÓN

El cultivo de girasol, *Helianthus annuus* L; tiene una alta demanda a nivel mundial y es usado ampliamente en la industria alimentaria, debido a la gran cantidad de aceite que contiene su semilla (50% o más) y este aceite consumible puede ser extraído en grandes cantidades comparados con otras fuentes, como la soya o la colza, por lo cual es de mucha utilidad encontrar técnicas experimentales para aumentar la producción de estos cultivos y evitar el uso de fertilizantes químicos que puedan causar efectos adversos tanto en el medio ambiente como en los consumidores potenciales. (Rodríguez, 2017).

En el mercado, existe una creciente necesidad de aceites con grandes contenidos de grasas insaturadas; los consumidores demandan cada vez más, alimentos “fitness” es decir que tengan un impacto benéfico en la salud personal, tal es el caso de los ácidos grasos insaturados como el ácido oleico o el ácido linoleico, que han demostrado tener una relación con la disminución en los niveles de colesterol LDL (low density lipoprotein) o VLDL (very low density lipoprotein) o triglicéridos evitando accidentes cardiovasculares y cerebrovasculares (Orsavova J. , 2015).

Para los cultivos de girasol, es conveniente que se aumente la productividad para la generación de mayores cantidades de aceite, complaciendo la demanda de este; por eso es importante comprobar los efectos de fertilizantes orgánicos y naturales como el humus sobre los cultivos de girasol podría ocasionar un aumento en la productividad que para la industria de aceites se traduciría en más utilidades. Además del posible efecto positivo en la productividad estaríamos hablando de un abono natural; sin efectos adversos para el consumidor, y para el medio ambiente.

Para efectos de mayor producción, el humus derivado de las acciones de las lombrices es uno de los abonos más conocidos a nivel mundial, resulta de la unión del edafón más sustancias orgánicas. El humus está constituido por sustancias húmicas específicas, intermedias y complejos heterogéneos, El humus contiene todos los sustentos necesarios para que la flora, se desarrolle y crezca de manera satisfactoria. Dicho humus es un buen sustrato para el desarrollo de hongos y bacterias que son beneficiosos y evitan que se desarrollen enfermedades en las plantas. (Díaz, 2002)

(Somarriba y Guzman, 2004), todo lo anterior lo convierte en un abono orgánico ideal para cultivos de interés.

Por otro lado, desprendiéndose de este proceso como desecho tras la obtención del aceite, tenemos la torta residual de semilla de girasol, que se genera luego que esta es sometida a prensado, y se obtiene el aceite crudo, la torta residual es considerada desecho, pero puede tener aplicaciones, y el primer paso para el aprovechamiento de los subproductos agrícolas es determinar la composición fisicoquímica como por ejemplo: humedad, carbohidratos, grasas, fibra, contenido proteico, cenizas entre otros, por lo anterior es importante determinar las propiedades fisicoquímicas de la torta de semillas de girasol esto se denomina análisis proximal, para poder determinar potenciales usos de este subproducto, lo que aumentaría la rentabilidad de los cultivos de girasol, además se reciclaría un residuo o desecho disminuyendo la contaminación.

La intención con este trabajo de investigación, fue determinar la incidencia del lombri-compost, en el Sinú medio, en el rendimiento y calidad de aceite, evaluar las características fisicoquímicas de la torta residual. Se contribuye con la industria de la producción de aceites de origen vegetal, generando así productos de interés general como aceite y torta con altos contenidos nutricionales, aprovechando el campo Cordobés. Además, se obtuvo información importante acerca de las condiciones del cultivo (fertilizantes) que producen aceites con grandes cantidades de ácidos grasos insaturados y también generando desechos aprovechables con gran valor nutricional como es el caso de la torta de semilla de girasol.

2 MARCO TEÓRICO.

2.1 LA LOMBRICOMPOSTA.

La lumbricultura data de california en los Estados Unidos, se extendió a Europa y finalmente hacia el resto del mundo; luego de esto se aplicaron técnicas a la especie *Eisenia Foetida*, conocida como lombriz roja californiana. En la lumbricultura se utilizan estas especies de lombrices para degradar la materia orgánica. Lo obtenido es el lombricompost, que funciona muy bien como abono orgánico, potenciador de suelos, y actúa como sustrato para los cultivos. (Díaz, 2002)

El proceso de compostaje es la degradación de distintos compuestos orgánicos, llevando a una transformación biológica de estos residuos, debido a este proceso se liberan elementos como N, C, K, P y S, y también se obtienen como producto sustancias más complejas como la celulosa. Los principales factores que intervienen en el proceso de compostaje son: microorganismos, humedad, aireación, temperatura, relación carbono/nitrógeno, tamaño de partículas, pH. (Castro, 2014)

2.1.1 *Microorganismos.*

En el proceso de conversión de materia orgánica en materia orgánica humificada, intervienen microorganismos, tales como: bacterias, hongos, y actinomicetos. Al principio en la fase mesófila aerobia del proceso, intervienen bacterias y hongos productores de ácidos. Posteriormente al pasar a la fase termófila median microorganismos como bacterias, hongos, actinomicetos termófilos y termo tolerantes. Luego de esta etapa termófila el compost va retornando a una etapa mesófila, ahora se observan organismos saprofitos como: hormigas, cien pies, entre otros. Indicando la terminación del proceso. (Díaz, 2002)

2.1.2 *Humedad.*

El agua es fundamental para suplir las necesidades fisiológicas de los microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje, cuando la humedad está por debajo del 12% cesan todas las actividades microbiológicas, la materia final del compostaje tiene una humedad optima cercana al 60 %, (Navia, 2017)

2.1.3 Aireación.

Debido a que intervienen microorganismos aerobios en el proceso de compostaje, es requerida la aireación correcta, en caso que proliferen microorganismos anaerobios en el proceso de compostaje, se tendrán productos no deseados como metano, ácido sulfhídrico y amoníaco, lo cual causaría malos olores y atraerían animales como moscas y larvas. (Castro, 2014)

2.1.4 Temperatura.

Los microorganismos involucrados en el proceso de compostaje tienen un rango de temperatura óptima para desarrollarse de entre 60 a 70°C, por ende, la temperatura también se convierte en un factor determinante para un buen producto de compostaje. En el proceso se puede llegar a temperaturas de hasta 80 °C, lo cual es deseable debido a que a esta temperatura se destruyen larvas, semillas de maleza, mosquitos y patógenos, aunque si se mantiene esta temperatura por muchos días puede ocurrir una pérdida de nitrógeno, en estos casos donde la temperatura es demasiado alta, se agregan sustancias ricas en carbono como material leñoso que disminuyen la altura de la pila, disipando el calor. Cuando en caso contrario se desea aumentar la temperatura debido a que es muy baja, se agrega material rico en nitrógeno como los estiércoles, y la cobertura ayuda a mantener el calor elevado. (Díaz, 2002)

2.1.5 Relación carbono/nitrógeno C/N

Los microorganismos requieren treinta (30) partes de carbono por una parte (1) de nitrógeno, De las 30 partes de carbono, 20 son desechadas como dióxidos de carbono, las 10 partes utilizadas ingresan al protoplasma celular. esta razón 10:1 es la misma que presenta el humus.

2.1.6 Tamaño de las partículas

El proceso se acelera si los materiales se muelen debido a que los microorganismos tienen mayor superficie de contacto.

2.1.7 El pH

El pH inicial en el proceso de compost es ácido, cercano a 6, pero conforme avanza el proceso, el pH aumenta y se estabiliza en valores de 7.5 y 8.5.

2.1.8 El suelo y características del lombricompuesto

En consenso los investigadores aceptan la valoración del grado de fertilidad potencial establecido por la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (F.A.O) basándose en el contenido de materia orgánica.

Tabla 1. Materia orgánica vs fertilidad en relación al relieve del terreno

| Fertilidad potencial | | |
|-------------------------------------|------------------|---------------------|
| Terrenos con bajo contenido | Materia orgánica | Fertilidad |
| Terrenos con medio contenido | Inferior al 2% | Muy poco fértil. |
| Terrenos con alto contenido | 2% a 6% | Fertilidad adecuada |
| Terrenos con alto contenido | 7% a 30% | Muy fértil |

(Díaz, 2002)

El suelo orgánico se puede dividir en fracción orgánica, fracción inorgánica y edafón (conjunto de organismos vivos).

2.1.9 Características del lombricompuesto

El excremento de las lombrices es un fertilizante orgánico, blando, liviano, desmenuzado, limpio, con olor a tierra fértil mojada, estable por un periodo alto de tiempo, y no se pudre.

El humus de lombriz es conocido por diversos nombres como: lombricompost, lombricompuesto, worm casting. Se encuentra formado principalmente por carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, conteniendo gran cantidad de microorganismo benéficos, hormonas, muchos nutrientes, todo esto varía desentendiéndose del alimento o sustrato de las lombrices. El humus mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos donde es añadido.

2.2 EL GIRASOL

El girasol, *Helianthus annuus*, es una planta conocida ampliamente a nivel mundial, es de carácter herbáceo, se introdujo a Europa en el siglo XV dándole un uso netamente ornamental, no se consideró como oleaginoso hasta finales del siglo 18. Rusia era considerado el primer productor mundial de esta planta.

Dentro de la producción global de semillas oleaginosas (431 millones de toneladas en 2017/18), la semilla de girasol representa un 9%, ocupando la tercera posición en la producción mundial después de la soja y la colza. (FAOSTAT, 2018)

Helianthus annuus es una planta anual, dicotiledónea, pertenece al orden synandrales, de la familia Asteridae, en nombre en latín *Helianthus* se refiere a la forma en que florece, y también por su capacidad de orientarse hacia la luz.

El género *Helianthus* procede de la hibridación de dos géneros ancestrales, el *Viguiera*. La especie *H. annuus* se comporta como diploide, es decir, ($2n=34$) puede presentar cromosomas homólogos, por su origen tetrahaploide. De los diferentes géneros *H. annuus*, es el que acapara la mayor parte de extensión geográfica y es el más variable en su género. Dentro de la especie existen diversas subespecies que son utilizadas como plantas ornamentales, oleaginosas y forrajeras. (García, 2019)

Según data, el girasol silvestre proviene de América del norte, las evidencias ancestrales muestran que el girasol fue domesticado inicialmente en México, cerca de los 2600 años A.C. en diversas culturas indígenas molían las semillas para hacer tortas, es posible que hasta utilizaran el aceite para la elaboración de pan, incluso llegó a ser utilizado como tinte para telas y para el cuerpo. A comienzos del siglo 15, el girasol fue llevado por los españoles hacia Europa, donde preponderantemente se utilizaba como planta ornamental. Gracias a que es una planta muy adaptable se fueron conociendo nuevos usos y se diseminó por toda Europa, alcanzando gran resonancia en países del oriente europeo, donde se desarrollaron nuevas variedades productoras de aceites. Mas adelante hacia finales del siglo 19, las semillas de girasol de origen ruso, regresaron a su lugar de origen, donde se siguió mejorando como especie domesticada en sus cultivos. Alrededor

de los años 60 se comenzaron a obtener los primeros híbridos de girasol, aumentando la producción, la calidad del aceite obtenido y confiriéndole mayor resistencia a enfermedades. A día de hoy el girasol se encuentra presente en los cinco continentes y su cultivo es principalmente para satisfacer la demanda de aceite. (García, 2019)

2.2.1 Morfología y fisiología

La raíz es pivotante, tiene un sistema de raíces secundarias del cual nacen las terciarias, que explotan en el suelo en sentido horizontal y vertical, comúnmente la longitud de la raíz principal sobrepasa la altura del tallo. Aunque su escasa habilidad de penetración en los suelos hace que sea muy sensible a suelos compactos los cuales se hacen complicados para la planta, esto perjudica el desarrollo del cultivo y por ende el resultado de la cosecha. (García, 2019)

El tallo es de forma cilíndrica y semileñoso, macizo en su interior, con un diámetro entre los 2 a 6 cm, y una altura hasta el capítulo entre los 40 cm y los 200 cm. En la madurez el tallo se inclina en la parte terminal debido al peso del capítulo.

Las hojas son alternas, pecioladas, trinervadas, acuminadas, dentadas, ásperas, con vello. El número de hojas varía entre 12 a 40, según el tipo de cultivo y planta, el color también puede variar desde verde oscuro a verde amarillo.

La inflorescencia es sencilla de 10 a 40 cm de diámetro. El número de flores varía entre 700-3000 o 6000, según la variedad ya sea para aceite o para uso directo, Las flores son tubulosas, se encuentran en el interior del capítulo y forman espirales en el centro. Estas flores están formadas por un ovario inferior, dos sépalos, una corola en forma de tubo compuesta por cinco pétalos, y cinco anteras unidas a la base del tubo de la corola.

El fruto del girasol es un aquenio, la envuelta exterior o pericarpio es duro y fibroso, y está unido a la semilla. Los cotiledones constituyen la reserva energética de la semilla, y entre estos se encuentra la yema germinal. La duración del ciclo del girasol varía según su variedad y las condiciones de la siembra,

2.2.2 Descripción taxonómica



herbarivirtual.uib.es

La clasificación taxonómica del girasol es la siguiente: (Garcia, 2010):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Género: *Helianthus*

Especie: *annuus*

Nombre Científico: *Helianthus annuus*

L Nombre Común: Girasol, Flor del sol, Copa de Júpiter, Hierba del sol

2.2.3 Importancia económica

A día de hoy el girasol es una de las plantas oleaginosas para consumo humano más cultivadas en todo el mundo. Existen claves que explican el éxito de esta planta: primero el girasol es una planta veranea, su cultivo es fácil y tiene mucha adaptación a condiciones adversas, también posee un alto porcentaje de aceite en semilla, 38-52 %, dicho aceite es muy apetecido por los consumidores, dietistas esto por su aporte dietético, por sus condiciones fisicoquímicas. la manera como se extrae el aceite a través de prensado constituye una técnica sencilla para su obtención esto le da bajo coste frente a otros aceites, además la conservación del mismo también es sencilla, además de lo anterior la producción de aceite de girasol puede alcanzar altos rendimientos, lo que ayuda en su comercialización y proceso industrial. (Alba & Llanos, 1990)

Además de su rol en la alimentación humana, también tiene usos ornamentales y en el alimento para animales, o forrajeros. La torta de que se obtiene como subproducto del extracto de girasol, también se usa en la producción de harinas, ya que contiene un alto contenido proteico, 56-66 %, ya sea para el consumo forrajero o humano,

En los últimos años el aceite de girasol se usa también como biolubricante, lo que aumenta más la rentabilidad del cultivo. Por último, el aceite de girasol también es usado en la industria cosmética y de pinturas debido a la necesidad de ácidos grasos en estos productos.

2.2.4 Producción y consumo.

En el último siglo, la producción y cultivo de girasol ha ido en aumento, esto se evidencia con la triplicación de la superficie mundial dedicada al cultivo de este desde 1960 hasta 2012, pasando de 6.6 a 20 millones de hectáreas, la producción también ha aumentado pasando de 6.8 a 20 millones de toneladas, hasta 2012, existen fluctuaciones de estas producciones relacionadas con el mercado. (FAOSTAT, 2018).

Tal como es conocido, el uso principal de la semilla de girasol es para la obtención de aceite, en el año 2018 el aceite de girasol representó más del 9% de la producción mundial de aceites, lo que lo convierte en el cuarto con más importancia solo antecedido por el aceite de soja, palma y colza. En 2018 la producción mundial de aceite de girasol llegó a los 18,4 millones de toneladas, (FAOSTAT, 2018)

Ahora se tomará el tema relacionado con uno de los componentes fundamentales del aceite de girasol, lípidos o grasas, sus características fundamentales, biosíntesis por parte de las plantas

2.3 LÍPIDOS.

Químicamente los lípidos, son compuestos que son bastante insolubles en agua, esto debido a su no polaridad, en cambio son solubles en disolventes orgánicos no polares (Badui Dergal, 2006).

Los lípidos son variados entre sí, pero presente un común denominador, una molécula hidrocarbonada que es apolar.

La clasificación de los lípidos es compleja; esto debido a la gran variedad que existen y lo diferente que son entre sí, esto ha llevado a que su clasificación y organización este en constante revisión, por tanto, hay que examinar continuamente los criterios de clasificación.

Históricamente los lípidos, se clasificaban en dos grandes categorías: los lípidos saponificables, que contienen ácidos grasos unidos a otro componente a través de un enlace tipo éster (por ejemplo, acilglicéridos, ceras, fosfoglicéridos, glucolípidos y esfingolípidos) y los lípidos no saponificables, los cuales no contienen ácidos grasos. Así los lípidos saponificables se pueden subdividir en lípidos simples de estructura exclusivamente hidrocarbonada (acilglicéridos y ceras) y los lípidos complejos que contienen además grupos funcionales con otros elementos como nitrógeno, fósforo e incluso glúcidos.

En la actualidad los lípidos se clasifican según el sistema del comité internacional “The Lipid Metabolites and Pathways Strategy” (LIPID MAPS) en conjunto con el con el Comité Internacional para la Clasificación y Nomenclatura de Lípidos (ICCNL), todo esto basado la química y la bioquímica de estos,

En referencia a sus funciones biológicas, los lípidos en las plantas están relacionados con muchos procesos biológicos, algunas de estas funciones son las siguientes: tienen un papel estructural, ya que son los principales componentes de la membrana celular, que delimita la célula en compartimentos conocidos como organelos celulares, son fundamentales en la reserva energética de las plantas, ya que las especies vegetales oleaginosas acumulan energía en forma de triacilglicéridos (TAG); también están implicados en procesos biológicos como la traducción de señal, actuando como precursores de hormonas. Asimismo, están implicados en la foto protección, la modificación post traduccional de proteínas, el reconocimiento celular, la especificidad de especie, la inmunidad de los tejidos, la adaptación al frio y actúan como cubierta protectora de muchas plantas, por ejemplo, en el caso de las ceras.

Ahora se abordarán algunos lípidos implicados en la síntesis del aceite de semillas de girasol

2.3.1 Ácidos grasos (AG).

Los ácidos grasos (AG) son los componentes principales de los lípidos no saponificables. En términos generales están formados por una cadena hidrocarbonada lineal y al final contiene un grupo carboxilo, su síntesis se debe a la adición sucesiva de dos átomos de carbono, (Harwood, 1997).

La estructura de los AG puede variar según el número de átomos de carbono y la presencia o ausencia de dobles enlaces en su cadena hidrocarbonada y la posición de estos enlaces. De acuerdo al número de carbonos se distinguen AG de cadena corta, (C6- 10), cadena media (C12-14), cadena larga (C16-18) y cadena muy larga ($C \geq 20$, Very Long Chain Fatty Acid, VLCFA).

En función a la presencia de dobles enlaces, se diferencian AG saturados, (sin dobles enlaces) AG insaturados (con dobles enlaces) estos se subdividen en AG monoinsaturados, AG poliinsaturados. Los AG insaturadas también se clasificación según su configuración espacio geométrica, presentando dos tipos de isomería: isomería geométrica, donde se diferencia isomería *cis*-, acá los átomos de hidrogeno están situados en el mismo plano del doble enlace, y *trans*-, donde loa átomos de hidrogeno están a ambos lados del plano del doble enlace; el otro tipo de isomería es la posicional, relativa al lugar donde se encuentra el doble enlace en la cadena hidrocarbonada.

2.3.1.1 Propiedades fisicoquímicas.

Las propiedades que caracterizan a los AG derivan de la presencia de un grupo carboxilo (COOH) hidrofílico y la presencia de una cadena hidrocarbonada hidrofóbica. La coexistencia de ambos componentes en la misma molécula convierte a los AG en molécula débilmente anfifílica; este carácter es mayor cuanto más pequeña es la longitud de la cadena hidrocarbonada.

En términos de propiedades físicas cuanto mayor es la longitud de la cadena hidrocarbonada, mayor es el punto de fusión del AG, pero si existe la presencia de dobles enlaces el punto de fusión disminuye, la isomería que se mencionó anteriormente también influye en el punto de fusión.

Cuando los dobles enlaces presentes en los AG insaturados presentan isomería *cis*-, disminuye la unión entre cadenas hidrófobas y por consiguiente el punto de fusión también disminuye, en el caso de los Ag de isomería *trans*- no ocurre lo mismo no generan este efecto, y sus propiedades fisicoquímicas son similares a los AG saturados.

Los lípidos que son ricos en AG de cadena larga saturados, son sólidos a temperatura ambiente, ejemplo de esto son las grasas, mientras que los lípidos ricos en AG de cadena corta, insaturados, son líquidos a temperatura ambiente, un ejemplo son los aceites.

2.3.1.2 Nomenclatura.

Los ácidos grasos poseen un nombre común pero también pueden ser nombrados según las normas de la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, IUPAC) y la abreviada.

Nombre común: se da el nombre al AG según criterios sin ninguna norma aparente, como el nombre una ciudad, persona o característica, por ejemplo, en el caso del ácido $\Delta 9,12$ -*cis*-octadecadienoico se conoce en nomenclatura común como ácido linoleico.

Nombre sistemático, (IUPAC): los ácidos grasos se nombran a partir del grupo carboxilo terminal, la estructura de la cadena de HC, número, configuración de los dobles enlaces, o triples enlace y su carácter ácido o no; por ejemplo, el ácido $\Delta 9,12$ -*cis*-octadecadienoico, es un ácido (terminación -oico) de 18 átomos de carbono (octadeca) con 2 (di) dobles enlaces (eno) en los carbonos 9 y 12, a contar a partir del grupo carboxilo (ácido) y de configuración geométrica *cis*-.

Nombre abreviado: diferencia los ácidos grasos por su número de carbonos, también por sus dobles enlaces, y la posición en referencia al grupo carboxilo y la geometría de éstos (Browse, *et al* 1998). De esta manera, el ácido $\Delta 9,12$ -*cis*-octadecadienoico se denomina 18:2 9c,12c o, más a menudo, 18:2 $\Delta 9,12c$. Hay una variación de esta nomenclatura en la cual se numeran los dobles enlaces a partir del metilo terminal en lugar del carboxilo (Knutzon y Knauf, 1998). De esta forma el ácido linoleico se transforma en 18:2 n-6 n-9. Algunas veces se da uso a la nomenclatura antigua, en esta se da prioridad a la pertenencia a las familias o series de ácidos grasos omega-3 ($\omega 3$),

omega-6 ($\omega 6$) y omega-9 ($\omega 9$), ácidos α -linolénico, linoleico y oleico, respectivamente. Así, el ácido linoleico se representaría como 18:2 $\omega 6c,9c$. (Horrobin, 1990)

2.3.1.3 Ácidos grasos frecuentes en la naturaleza

Las semillas de girasol pueden contener entre 44 y 47% de grasas ya sea insaturadas o saturadas, por lo que su cultivo es de gran interés no sólo desde el punto de vista de la producción de aceite a gran escala obtenido con disolvente, sino también de aceites vírgenes mediante prensas en plantas industriales de pequeño o mediano tamaño. El porcentaje de aceite obtenido en prensa es de un 70-85% y éste se caracteriza por ser un aceite virgen de alta calidad (Rass *et al*, 2008).

La mejora genética de las semillas de girasol ha hecho posible que existan en el mercado aceites de girasol modificados en sus ácidos grasos, como, por ejemplo, con alto contenido en oleico, llegando a alcanzar valores del 90% del contenido total de ácidos grasos, o en el ácido esteárico (Anushree *et al*, 2017), lo que le confiere mejor estabilidad oxidativa y un efecto hipocolesterolémico (Zambelli *et al*, 2015).

El contenido de los componentes minoritarios en el aceite de girasol va a influir en las propiedades de éste. Otras modificaciones genéticas afectan a este tipo de componentes, como el aumento de γ -tocoferol (>95%) (Velasco, 2004). Así, los tocoferoles y fitoesteroles tendrán un impacto positivo en sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales, mientras que los fosfolípidos, ácidos grasos y ceras tendrán un impacto negativo en la calidad y estabilidad del mismo (Velasco, 2015). Por tanto, los procedimientos de extracción del aceite deberían estar enfocados en extraer el máximo contenido posible de estos componentes beneficiosos, y los de refinación, donde se pierden en un alto porcentaje, en mantenerlos.

2.4 TORTAS PROTEICAS.

El aceite de semillas oleaginosas que se extrae por compresión, con ayuda del uso de disolventes, o incluso usando ambos, genera como subproducto de este proceso la torta proteica, dicho elemento

no se está aprovechando tal como se debe, tal es el caso que este producto se puede incluir en la dieta convencional o incluso se puede utilizar como forraje (Rios, 2012)

La torta es un subproducto del triturado de semillas, utilizado para la obtención de aceite de girasol, es considerada una buena fuente de proteínas, todo esto por las características nutricionales y que les aporta a los alimentos. Las tortas de la semilla generalmente poseen un 8-10% de aceite residual. (Aceites de Semillas, S.A, 2009)

2.5 ANTECEDENTES.

Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de la torta de la semilla de girasol, encontrando altos niveles de proteína cruda, y carbohidratos, considerándose un buen complemento dietario. (Vasudha & Lakhawat, 2021),

Extrajeron el aceite de girasol de siete híbridos bajo las condiciones de Egipto, encontrando altos niveles de producción de ácidos grasos como ácido linoleico, y esta composición corresponde a la variedad del girasol y su relación con el ambiente. (Awatif & Arafat, 2014).

Hallaron que la composición química de 100g de harina semilla de girasol fueron las siguientes: humedad 3,1g, proteínas 19,69g, 4,48g de cenizas, 53g de grasas, 18.72g de carbohidratos y 630.64 kcal de energía. (Srivastava & Verma, 2014).

En su investigación encontraron que la torta de semillas de girasol contenía lo siguiente: 5.80 % de humedad, 23.60 % de proteínas, 11.01 % de grasas, 30.18% de fibra, 5.66% de cenizas and 23.75% de carbohidratos (Srilatha & Krishnakumari, 2003).

Encontraron que la composición química de las semillas de girasol con cascara entera fue: humedad 3,32g, proteína 21,23g, grasa 45,71g cenizas 2,6g, fibra, 13,4g y carbohidratos 13,74 por 100 Kg. (Rodriguez *et al* 1998).

3 OBJETIVOS.

3.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la incidencia del lombricompost en las propiedades fisicoquímicas del aceite crudo y torta de *Helianthus annuus* L. variedad Shakira en Montería, Córdoba.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Evaluar el rendimiento de aceite crudo obtenido por prensado de semilla perteneciente a la variedad Shakira de *Helianthus annuus* L. (Girasol).
- ✓ Caracterizar a través de pruebas fisicoquímicas el aceite crudo obtenido por prensado de semilla variedad Shakira de *Helianthus annuus* L.
- ✓ Determinar el perfil lipídico del aceite crudo obtenido por prensado de semilla variedad Shakira de *Helianthus annuus* L. mediante cromatografía de gases.
- ✓ Evaluar el análisis proximal de la torta residual obtenida a partir del prensado de semilla variedad Shakira de *Helianthus annuus* L.

4 METODOLOGÍA.

4.1 LOCALIZACIÓN.

El estudio se realizó en la Universidad de Córdoba, Cra. 6 #No. 77-305, Montería, Córdoba, Laboratorio de Biotecnología. Ubicación 8°47'33.0"N 75°51'45.3"W (8.792496, -75.862591).



Figura 1: Laboratorio de biotecnología

(Google maps, 2021)

El proceso de recolección de semillas de *Helianthus annuus* L Híbrido Shakira se realizó en la Universidad de Córdoba, el resto de procesos como, limpieza, separación, descascarado, extracción de aceite, determinación de propiedades fisicoquímicas, se procedió en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad de Córdoba auspiciados por GRUBIODEQ. El proceso de análisis de ácidos grasos en el Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental de la Universidad de Córdoba y por último el análisis bromatológico de la torta residual de semillas

de girasol en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

La dosis del fertilizante químico fue establecida según el análisis de suelo, realizado por el Laboratorio de suelos de la Universidad de Córdoba. Las muestras se almacenaron en neveras portátiles (Icopor), para ser trasladadas al Laboratorio de Biotecnología del Departamento de Química (GRUBIODEQ) de la Universidad de Córdoba.

4.2 EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ACEITE CRUDO OBTENIDO POR PRENSADO DE SEMILLA PERTENECIENTE A LA VARIEDAD SHAKIRA DE GIRASOL *Helianthus annuus L.*

4.2.1 MATERIAL BIOLÓGICO

Se realizó un cultivo de girasol (*H. annuus L.*), híbrido Shakira, para la obtención de las semillas utilizadas en este estudio, dicho cultivo fue realizado en el campus de la Universidad de Córdoba; se utilizaron metodologías tradicionales de siembra, periódicamente se evaluó la salubridad del cultivo en búsqueda patógenos fúngicos, maleza, insectos, entre otros. Se utilizaron semillas de *Helianthus annuus L.* (girasol), híbrido denominado Shakira. La recolección fue manual a partir de muestras de inflorescencia de cultivos. (A cada lote del cultivo, se le aplicaron cuatro diferentes tratamientos de fertilización, T1, T2, T3 y T4) Tabla 2.

Tabla 2. Tratamientos y tipos de fertilización usadas en el cultivo.

| TRATAMIENTO | TIPO DE FERTILIZACIÓN |
|--------------------|---|
| T1 | Testigo o control, sin fertilización |
| T2 | Fertilización química* |
| T3 | Lombriz humus (100 %) |
| T4 | Fertilización química (50 %) + Lombriz humus (50 %) |

4.2.2 PORCENTAJE EN PESO DE SEMILLA DESCASCARADA, CASCARA, ACEITE EXTRAÍDO Y TORTA RESIDUAL

- Se hizo limpieza manual de las semillas a partir de cada tratamiento (*Helianthus annuus L.*).
- De cada lote se separó el deshecho (tallo, lígulas, raíces, piedras y tierra) y se retiraron las semillas con cáscara estrellada o abierta.
- Se pesaron 100 g de semillas, procediéndose a descascarar. Realizado el descascare se procedió a pesar la semilla descascarada y la cascara individualmente, para hallar el porcentaje en peso de cada una.
- La semilla descascarada, se utilizó para extraer el aceite y calcular su porcentaje en peso con relación a los 100 gramos de semilla.
- Después de extraído el aceite, la torta residual fue pesada, para hallar su porcentaje en peso.

El porcentaje en peso de semilla descascarada, cascara, aceite extraído y torta residual, fue hallado utilizando la fórmula:

$$\text{Rendimiento (\% p/p)} = \frac{mA}{mS} * 100\%$$

Ecuación 1: Cálculo de humedad

Dónde:

- mA = peso de la variable (semilla descascarada, cascara, aceite extraído y torta residual) (g).
- mS = Peso total de semilla utilizada para cada tratamiento (g).

4.2.3 EXTRACCIÓN DEL ACEITE POR PRENSADO.

- La extracción de aceite se realizó por prensado mecánico (prensa tipo Expeller).
- Se utilizó una máquina de extracción de aceite en acero inoxidable de la marca CGOLDENWALL modelo CZR109, con capacidad de 450 W de potencia a través de una ronda giratoria. Tiene un sistema de calentamiento automático mediante una resistencia eléctrica, que ayuda a mantener la temperatura del prensado (máximo 80 °C).



Figura 2: Máquina de extracción de aceite Goldenwall

(Franco, 2021)

- Inicialmente, se enciende la máquina a una temperatura de 80°C por 20 minutos, para facilitar la extracción del aceite.
- Se pesaron 80 g de semillas pre-tratadas y se colocaron en la prensa para extraer el aceite crudo y la torta residual.
- Se dejó el aceite crudo extraído durante 24 horas en un proceso de filtración simple para eliminar impurezas o sólidos indeseables generados por el prensado
- El aceite crudo se almacenó en tubos de ensayos con tapas y se guardó en refrigeración.
- La torta residual se empacó en bolsas herméticas tipo Ziploc, para análisis posteriores.
- Cada ensayo se realizó por triplicado para cada tratamiento.

4.3 DETERMINACIÓN DEL PERFIL LIPÍDICO DEL ACEITE CRUDO OBTENIDO POR PENSADO DE SEMILLA VARIEDAD SHAKIRA DE *Helianthus annuus* L., MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE GASES.

El porcentaje de ácidos grasos de las muestras de aceite crudo, fue medido utilizando técnicas cromatográficas. Para ello, se requirieron los servicios del Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental de la Universidad de Córdoba.

Se pesaron 0,5 g del aceite en un vial de vidrio de 12 mL, seguido a esto se le agregan 3 mL de una solución de KOH/MeOH al 0,5 M, el vial se tapó y se colocó por 35 minutos en baño de María a

60 °C. Seguido a esto, se dejó reposar por 10 min aproximadamente para luego extraer con 3 mL Hexano y se agitó vigorosamente por 5 - 8 minutos. Para separar bien las capas, se agregó agua destilada en el caso de que sea requerido. Se tomó una alícuota de la capa orgánica y se inyectó en el Cromatógrafo de gases (Wang *et al.*, 2015).

4.3.1 CONDICIONES CROMATOGRÁFICAS:

Se utilizó un Cromatógrafo de gases Trace 1310 equipado con una columna Capilar AB5 - MS AbelBonded (30 m de longitud nominal x 0,25 mm de diámetro interno y con 0,25 µm de espesor de la película) y acoplado con un detector de espectrometría de masas ISQ - Thermo Scientific. La técnica de inyección será de flujo completo (Splittles) y el volumen de inyección de 1 uL.

La temperatura del horno se programó de la siguiente manera: 100 °C por 1 minuto, incrementando hasta 250 °C por 5 minutos a razón de 4 °C/min, posteriormente se incrementa a 280 °C a razón de 4 °C/min y se mantiene durante 2 minutos. Se uso Helio como gas de arrastre o como fase móvil con un flujo de 1,0 mL/min.

El equipo fue operado en modo de impacto electrónico (70 ev), utilizando el modo de monitoreo de iones (SIM) y la temperatura de la fuente de iones de 230 °C. Se empleo el método cuantitativo del patrón o curva externa de calibrado (metanol) y los datos serán procesados usando Xcalibur®

4.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE CRUDO OBTENIDO POR PRENSADO DE SEMILLA VARIEDAD SHAKIRA DE *Helianthus annuus* L.

4.4.1 Humedad.

El contenido de humedad (Okonkwo y Okafor, 2016) será determinado tomando una caja de Petri previamente esterilizada y pesada (W1). Se pesan 3 g de muestra de aceite (W) en la caja Petri y se introduce en un horno durante 4 horas a la temperatura de 105 °C. Luego se retira y posteriormente se coloca en un desecador y se pesa hasta un valor constante (W2). El contenido de materia seca se calcula mediante la ecuación 2:

$$\% H = \frac{W - (W2 - W1)}{W} \times 100 \%$$

Ecuación 2: Cálculo de humedad

Dónde:

% H = % de Humedad.

W = peso de la muestra de aceite (g).

W1 = peso de la caja de Petri vacía (g).

W2 = peso de la caja de Petri con la muestra seca (g).



Figura 3: Determinación de humedad

(Franco, 2021)

4.4.2 Densidad.

Las mediciones de densidad de los aceites crudos se realizaron por el método picnométrico, pesando este inicialmente vacío y para conocer su peso; seguido se calibró con sustancias de densidad conocidas, con el fin de conocer el error real de este. Por último, se calculará la densidad de los aceites obtenido con la siguiente ecuación

$$\rho = \frac{(W_a + W_p) - W_p}{V_p}$$

Ecuación 3: Cálculo de densidad

Dónde:

ρ = Densidad

$W_a + W_p$ = peso de la muestra de aceite más peso del picnómetro (g).

W_p = peso del picnómetro vacío (g).

V_p = volumen del picnómetro (mL).

4.4.3 Índice de Peróxidos.

Para la determinación del valor de peróxidos (AOCS Cd 8 - 53; 2003), se agregaron en un Erlenmeyer 2 g de muestra aceite y 10 mL de solución de ácido acético - cloroformo (3:2) y se agita hasta disolver la muestra. Luego se añaden 0,5 mL de solución saturada de yoduro de potasio (KI). Se deja en reposo durante un minuto (bajo protección de la luz) y agitando de manera discontinua se agregan 30 mL de agua destilada de manera inmediata.

Esta solución se titula con tiosulfato de sodio 0,1 N ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), utilizando solución de almidón al 1% como indicador y con agitación constante hasta la desaparición de color amarillo. Para realizar los cálculos de índice de peróxido se utilizará la siguiente ecuación:

$$I.P = \frac{V \times N \times 1000}{W}$$

Ecuación 4: Cálculo de índice de peróxidos

Dónde:

IA = Índice de peróxidos.

W = peso de la muestra de aceite (g).

V = volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gastado (mL).

N = normalidad del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$;



Figura 4: Determinación de índice de peróxidos

(Franco, 2021)

4.4.4 Índice de Acidez.

Para la determinación del valor de acidez (AOCS Cd 3d - 63; 2009), se pesaron 2 g de muestra de aceite en un Erlenmeyer y se le añadieron 50 mL de alcohol etílico (neutralizado con KOH 0,1 N) y 2 mL de fenolftaleína como indicador ácido-base (se agita). Se preparó un blanco y se realiza el análisis simultáneo con la muestra.

Posteriormente, se tituló con una solución de hidróxido de potasio (KOH) 0,1 N hasta que la mezcla se tornó de un ligero color rosa persistente. El cálculo del índice de acidez se realizó con la siguiente ecuación:

$$I. A = \frac{(V_m - V_b) \times N \times 56,1}{W}$$

Ecuación 5: Cálculo de acidez

Dónde:

V_m = volumen de KOH gastado en la muestra (mL).

V_b = volumen de KOH gastado en el blanco (mL).

N = normalidad del KOH;

W = peso de la muestra de aceite (g).

IA = Índice de acidez, expresa los miligramos de KOH requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres (ácido oleico) de la muestra (mg KOH/g).



Figura 5: Calculo de acidez por titulación

(Franco, 2021)

4.4.5 Índice de Yodo.

La determinación del índice de Iodo (AOCS Cd 1 - 25; 2009), se realizó por el método de Wijs. Se pesarán 0,5 g de muestra de aceite, el cual se mezcló en un Erlenmeyer con 15 mL de tetracloruro de carbono (CCl_4) y 25 mL de reactivo de Wijs. El reactivo de Wijs se prepara con CCl_4 al cual se le añade un exceso de monoclóruo de yodo (ICl) y ácido acético glacial.

Se tapa el Erlenmeyer, se agita y se deja reposar la mezcla en la oscuridad por 2 horas. Luego se añaden 20 mL de solución de Ioduro de Potasio al 10% (KI) y 100 mL de agua destilada. Por

último, se titula con una solución de Tiosulfato de Sodio 0,1 N, ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) hasta la desaparición de un color amarillo y después agregamos de 1 – 2 mL de solución de almidón (1 %) y se continúa con la valoración hasta la desaparición del color azul. Simultáneamente se repetirá el mismo procedimiento para un blanco de reactivos y calculamos el índice de yodo con la siguiente ecuación:

$$I. I = \frac{(V_m - V_b) \times N \times 12,69}{W}$$

Ecuación 6: Cálculo de índice de yodo

Dónde:

IA = Índice de Iodo, expresa los gramos de Iodo que reaccionan con la muestra de aceite (g I_2 /g).

V_m = volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gastado en la muestra (mL).

V_b = volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gastado en el blanco (mL).

N = normalidad del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$;

W = peso de la muestra de aceite (g).

4.4.6 Índice de Saponificación.

Para la determinación del índice de saponificación (AOCS Cd 3-25; 2009), se pesó en un Erlenmeyer 2 g de muestra de aceite y se le agregaron 20 mL de solución etanólica de hidróxido de potasio 0,5 N. Se preparó un blanco y se realizó el análisis simultáneo con la muestra. Se llevó la muestra y el blanco a reflujos con calentamiento suave hasta que la saponificación sea completa o por aproximadamente 60 minutos, evitando que haya pérdidas.

Luego se titularon los balones con ácido clorhídrico 0,5 N (HCl) usando solución de fenolftaleína como indicador. Calculamos la índice saponificación con la siguiente ecuación:

$$SAP = \frac{(V_b - V_m) \times N \times 56,1}{W}$$

Ecuación 7: cálculo de índice de saponificación

Dónde:

SAP = Índice de saponificación;

Vb = volumen de HCL gastado en la muestra (mL).

Vm = volumen de HCL gastado en el blanco (mL).

N = normalidad del HCL;

W = peso de la muestra de aceite (g).



Figura 6: Determinación de índice de saponificación

(Franco, 2021)

4.5 ANÁLISIS PROXIMAL DE LA TORTA RESIDUAL OBTENIDA A PARTIR DEL PRENSADO DE SEMILLA VARIEDAD SHAKIRA DE *Helianthus annuus* L.

En el análisis proximal comprende la determinación de los porcentajes de humedad, grasa, fibra, cenizas, carbohidratos solubles y proteína en el residuo después de extraer el aceite de girasol, denominado comúnmente torta.

4.5.1 Ceniza Cruda.

Se tomaron crisoles colocándose a secar en el horno a 105 °C durante 15 minutos, se determina su peso seco; una vez obtenido el peso seco del crisol se pesaron 2 gramos de muestra (torta de girasol) llevándose a la Mufla y sometándose a 550 °C durante 24 horas. Ya pasado el tiempo de

calcinación en la mufla, se dispusieron los crisoles en el desecador durante 15 minutos para enfriarse. Una vez fríos, se registró el peso del crisol con la muestra ya calcinada. El contenido de cenizas se calcula mediante la ecuación 8:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{W2 - W0}{W1} \times 100 \%$$

Ecuación 8: Cálculo de índice de ceniza cruda

Dónde:

W1 = Peso muestra no calcinada (g).

W2 = Peso cenizas + crisol (g).

W0 = Peso de crisol vacío (g).

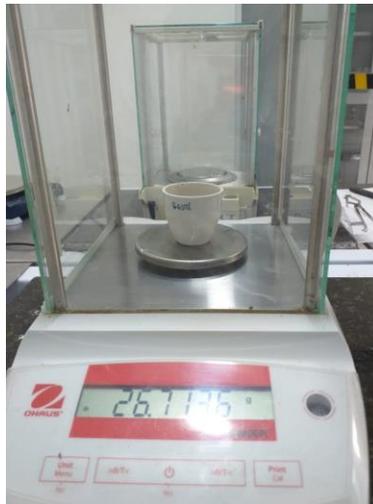


Figura 7: Cálculo de cenizas.

(Franco, 2021)

4.5.2 *Humedad.*

Se tomaron capsulas de porcelanas y se colocaron al horno durante 15 minutos a 105 °C, pasado el tiempo se enfrían en el desecador durante 15 minutos, registrando su peso. Luego se adicionan 2 gramos de muestra, llevandose al horno a 60 °C durante 24 horas. Pasado el tiempo se colocó a enfriar en el desecador 15 minutos, registrandose el peso con la muestra seca. El contenido de humedad se calcula mediante la ecuación 9:

$$\% H = \frac{W1 - (W2 - W0)}{W1} \times 100 \%$$

Ecuación 9: Cálculo de humedad

Dónde:

W1 = Peso muestra húmeda (g).

W2 = Peso cápsula + muestra seca (g).

W0 = Peso capsula vacía (g).

4.5.3 *Extracto Etéreo.*

Se pesaron 2 gramos de muestra previamente secados en el horno desecador, se envolvió la muestra en papel filtro, se tomó el peso del papel, se registró el peso total de la muestra más papel. Se preparó un montaje Soxhlet, registrando el peso del balón recipiente perteneciente al sistema, anteriormente secado en el horno a 105 °C durante 15 minutos. Una vez tenida la muestra, esta es llevada al sistema Soxhlet durante un periodo de dos horas, empleando como solvente 100 mL de éter de petróleo.

Una vez pasado el tiempo recuperó el solvente y el residuo obtenido en el balón será llevado a secado al horno durante 15 minutos a 105 °C, dejando enfriar en desecador, para posteriormente tomar el peso del recipiente con el residuo de grasas obtenidas durante la extracción.

El contenido de grasas se calcula mediante la ecuación 10:

$$\% \text{ Grasas} = \frac{m6 - m5}{m4} \times 100 \%$$

Ecuación 10: Cálculo de extracto etéreo

Dónde:

m4 = Peso muestra seca (g).

m5 = Peso vacío (g).

m6 = Peso recipiente + Grasas (g).



Figura 8: Proceso de obtención de extracto etéreo.

(Franco, 2021)

4.5.4 Proteínas.

Se toman 0.5 gramos de muestra, anteriormente secadas en horno a 60 °C durante 24 horas. Se envuelven en papel, llevándose al equipo digestor de proteínas, en donde se le adicionara 25 mL de ácido sulfúrico concentrado, más una pastilla de Kjeldahl (catalizador). Se colocan los tubos en el digestor durante un tiempo de dos horas a 330 °C, hasta que torne una coloración verde claro, que indica que el proceso de digestión ha terminado.

Posterior a este proceso dejar enfriar por 30 minutos, para realizar la destilación en el equipo analizador de proteínas Buchi. Para el proceso de destilación se preparan 100 mL de ácido Bórico

al 2% en un Erlenmeyer, al cual se le adicionarán 4 gotas de indicador mixto. Se sumerge la punta del condensador en el líquido de colección.

Posterior se conecta el tubo de digestión al equipo de destilación, en donde se inyecta al tubo de digestión vapor de agua para realizar el calentamiento, vertiéndose 120 mL de solución de hidróxido de sodio al 33%. Al terminar el proceso de destilación del amoníaco, el ácido contenido en el Erlenmeyer se torna de color verde esmeralda. Se titula el amoníaco con ácido sulfúrico al 0.1 normal, hasta que el medidor de pH indique el punto final o hasta que el color cambie.

NOTA: se realizó un ensayo en blanco utilizando 25 mL de ácido sulfúrico concentrado adicionando una pastilla de Kjeldahl más un gramo de papel sin contenido de proteína. El contenido de nitrógeno y proteínas se calculan mediante la ecuación 11 y 12, respectivamente:

$$\% \text{ Nitrogeno} = \frac{\left(\frac{V_m - V_b}{1000}\right) \times N \times 14}{W} \times 100 \%$$

Ecuación 11: Cálculo de proteínas

Dónde:

V_b = volumen de H₂SO₄ gastado en la muestra (mL).

V_m = volumen de H₂SO₄ gastado en el blanco (mL).

N = normalidad del H₂SO₄;

W = peso de la muestra (g).

$$\% \text{ Proteinas} = \% \text{ Nitrogeno} \times 6,25$$

Ecuación 12: Cálculo de nitrógeno

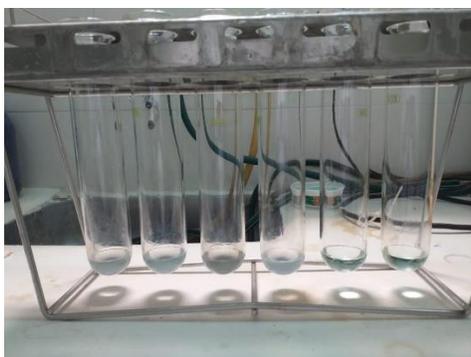


Figura 9: Determinación de proteínas

(Franco, 2021)

4.5.5 Fibra.

Se pesó 1g de la muestra, previamente seca y desengrasada. Se realizó digestión ácida con ácido sulfúrico al 1,25%, dejar hervir junto con la muestra durante 30 minutos, adicionar dos gotas de octanol como agente antiespumante en caso de producirse espuma. Tomar un disco de papel filtro cuantitativo grado 50 previamente secado en el horno a 105 °C, registrar su peso, procediendo a realizar la filtración a través de un sistema de vacío, en donde durante el proceso de filtración se realizará un lavado de la muestra con agua caliente destilada con aproximadamente 300 mL, hasta que se llegue a un pH neutro, el cual se medirá con cinta indicadora de pH.

Una vez terminado el proceso de lavado y medición de pH, se raspa la muestra con ayuda de una espátula hasta dejar limpio el papel filtro, para posteriormente realizar la digestión básica con hidróxido de sodio al 1.25%, repitiendo los pasos anteriores, finalizado el lavado y filtrado lavar la muestra con alcohol etílico absoluto. Finalizado el proceso se llevará el papel filtro más la muestra al horno desecador a 60 °C durante 24horas. Pasado el tiempo tomar el peso de un crisol más la muestra seca y calcinar a 550 °C en mufla durante 4 horas. Registrando peso del crisol con las cenizas. En la figura 3 se detalla el proceso para la determinación de fibra.



Figura 10: Proceso de determinación de fibra.

(Franco, 2021)

4.6 EVALUACIÓN ESTADÍSTICA

Para el estudio estadístico se utilizó el programa IBM SPSS Statistics 21 y se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con igual número de repeticiones (3 por cada evaluación) y un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

Para realizó validación de supuestos (normalidad y homocedasticidad).

Para la normalidad se realizó la prueba de Shapiro – Wilk. Si el P-valor es superior a 0,05 entonces no se rechaza la hipótesis nula por lo tanto se dice que los datos se comportan de manera normal. La prueba de homocedasticidad se realizó a partir del test de Levene. Si el P-valor es superior a 0.05 se dice que los datos son homocedasticos.

Una vez probados los dos anteriores supuestos, se procedió a hacer análisis de varianza a un factor (ANOVA). También se tuvo en cuenta el p-valor de 0.05.

En algunos casos como se encontró diferencia significativa entre tratamientos, con la prueba de Tukey, se indicó cuáles eran los tratamientos diferentes. El análisis de varianza se realizó para verificar diferencias significativas entre las medias, con un nivel de significancia con $\alpha = 0,05$. La prueba de Tukey fue usada para realizar las comparaciones múltiples entre las medias.

4.6.1 Hipótesis estadísticas.

La hipótesis a probar es si el uso del tratamiento 3 (T3) presenta resultados diferentes sobre las variables analizadas, en contraste con los otros tratamientos: tratamiento 1, tratamiento 2 y tratamiento 3.

H₀: $T1 = T2 = T3 = T4$ Todos los tratamientos tienen la misma incidencia sobre el rendimiento, las propiedades del aceite crudo y torta residual de *Helianthus annuus* L. var. Shakira.

H₁: El tratamiento 3 tiene una incidencia diferente sobre el rendimiento, las propiedades fisicoquímicas del aceite crudo y torta residual de *Helianthus annuus* L. var. Shakira.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1 EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ACEITE CRUDO OBTENIDO POR PRENSADO DE SEMILLA DE GIRASOL *Helianthus annuus* L. HIBRIDO SHAKIRA.

Se evaluó el rendimiento del aceite de semilla de girasol (*Helianthus annuus*) híbrido Shakira, bajo cuatro tratamientos: T1; Testigo o control, sin fertilización, T2: Aplicación fertilización química, T3; Aplicación lombriz humus (100 %) y T4: Aplicación combinada fertilización química (50 %) + Lombriz humus (50 %).

5.1.1 Evaluación de rendimiento de aceite crudo.

Para hallar el rendimiento de aceite crudo, se hizo necesario determinar peso de semilla descascarada, peso cascara, volumen de aceite extraído y peso torta residual, teniendo como base el peso de 100 g de semilla del capítulo (flor). Estos pesos son presentados en la Tabla 3 y Anexo 1.

Tabla 3. Peso promedio de semillas descascarada, cascara, aceite extraído y torta residual.

| Datos | T1 | T2 | T3 | T4 |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Peso de semillas descascarada (g) | 60.00 | 58.13 | 59.47 | 57.87 |
| Peso de cascara (g) | 20.00 | 21.87 | 20.53 | 22.13 |
| Volumen de aceite extraído (mL) | 20.73 | 19.00 | 20.43 | 20.33 |
| Peso de aceite extraído (g) | 16.7759 | 18.2675 | 17.9195 | 18.1742 |
| Peso de torta residual (g) | 26.67 | 26.67 | 28.33 | 26.67 |

*En el estudio se utilizaron tres replicas y de estas se calculó el promedio.

Teniendo en cuenta los valores de la Tabla 3 y la fórmula: $\text{Rendimiento (\% p/p)} = \frac{\text{mA}}{\text{mS}} * 100\%$, se calcula el porcentaje en peso de semillas descascaradas, peso cascara, volumen aceite extraído y peso de torta residual. Estos valores son presentados en la Tabla 4.

La Tabla 4, muestra que el tratamiento con fertilizante (T2) presenta los mayores valores de porcentaje en semilla descascarada y aceite extraído. En cuanto a la torta residual se presentaron valores similares en todos los tratamientos.

Tabla 4. Porcentaje en peso de semillas descascarada, cascara, aceite extraído y torta residual.

| Datos | T1 Testigo | T2 Fertilizante | T3 Lombrihumus | T4 Combinado |
|---|-----------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| % en Peso de Semillas descascarada | 72.67 | 75.00 | 74.33 | 72.33 |
| % en Peso de cascara | 25.00 | 27.33 | 25.67 | 27.67 |
| % en Peso de aceite extraído | 33.55 | 36.53 | 35.83 | 36.34 |
| % en Peso Torta residual | 53.33 | 56.67 | 53.33 | 53.33 |

*En el estudio se utilizaron tres replicas y de estas se calculó el promedio.

La Figura 11, presenta el porcentaje en peso de semilla descascarada, peso cascara, peso de aceite extraído y peso de torta residual del aceite de girasol para los cuatro tratamientos utilizados (T1-T2, T3 y T4). Las semillas sin cascara representaron en promedio 73,6 % p/p de la semilla completa, y la cascara representó en promedio un 26.41 % p/p, semilla completa en este estudio.

En la Figura 11, se observa que el rendimiento de aceite crudo presenta entre 33,5 % y 36,5 %; dichos rendimientos fueron menores a los encontrados por (Carrillo & Cañazaca, 2020), las cuales lograron una extracción cercana al 44,0 %. La explicación a las diferencias en el rendimiento se puede por: el tipo de semilla de girasol utilizada y sus características, la adaptabilidad de la misma al suelo, (debido a que son semillas orientadas a suelos de América del norte o Europa), otros

factores que pueden dar explicación a las diferencias de rendimiento son: condiciones geográficas y climatológicas, los aditivos usados en la cosecha de girasol, la temporada de siembra, el lugar de crecimiento y almacenamiento.

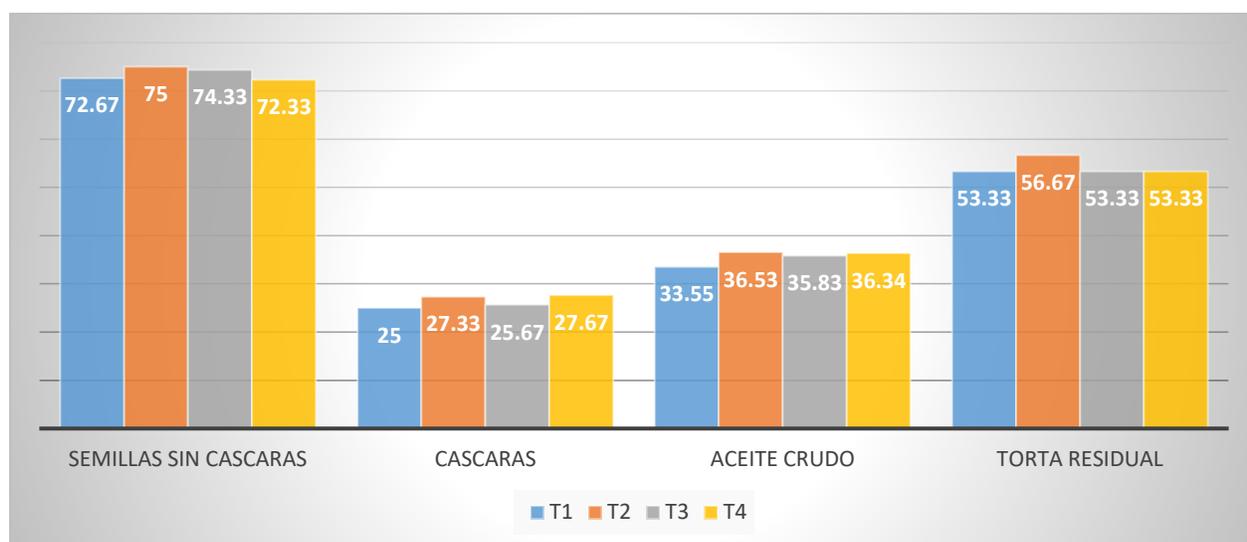


Figura 11. Porcentaje de los pesos de semilla descascarada, peso cascara, peso de aceite extraído y peso de torta residual del aceite de girasol, con los diferentes tratamientos.

5.1.2 Rendimiento de torta residual.

La Tabla 6, presenta el rendimiento de semilla sin cascara y rendimiento de la torta residual. El porcentaje de torta residual de la semilla de girasol, arroja valores de 53.3% a 56.67%, el tratamiento con mayor porcentaje de torta residual de semilla fue el tratamiento 4,

Tabla 5: Rendimiento de semilla sin cascara y torta residual.

| Tratamiento | Semillas sin cascara (%) | Torta Residual (%) |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------|
| T1 (Testigo) | 75,00 | 53,33 |
| T2 (F. química) | 72,67 | 53,33 |
| T3 (Lombri-compost) | 74,33 | 53,33 |
| T4 (F. química + Lombri-compost) | 72,33 | 56,67 |

5.1.3 Análisis estadístico.

La Tabla 6, muestran que no existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, en los parámetros porcentaje en peso de semillas descascarada, peso cascaras, peso aceite extraído y peso torta residual. Aunque, el tratamiento 2 (fertilización química) presentó mayores valores numéricos.

Tabla 6. Análisis estadístico de los Porcentaje en peso de semillas descascarada, cascaras, aceite extraído y torta residual.

| Tratamiento | Semillas sin cascaras | Cascaras | Aceite Crudo | Torta Residual |
|-------------|-----------------------|------------|--------------|----------------|
| T1 | 75±1 | 25±1 | 35,2±4,08 | 53,33±5,77 |
| T2 | 72,33±0,58 | 27,67±0,58 | 33,55±1,77 | 53,33±5,77 |
| T3 | 74,33±1,53 | 25,67±1,53 | 36,35±3,63 | 53,33±5,77 |
| T4 | 72,33±1,53 | 27,67±1,53 | 35,84±1,23 | 56,67±5,77 |

* Las letras diferentes implican que existen diferencias significativas en los datos.

5.2 DETERMINACIÓN DEL PERFIL LIPÍDICO DEL ACEITE CRUDO OBTENIDO POR PENSADO DE SEMILLA VARIEDAD SHAKIRA (*Helianthus annuus* L).

Se evaluaron los ácidos grasos presentes en el aceite de semilla de girasol (*Helianthus annuus*. L) variedad Shakira utilizando la técnica de cromatografía de gases.

5.2.1 Determinación de ácidos grasos presentes en el aceite de girasol.

En el Anexo 15, se listan los ácidos grasos obtenidos del aceite de girasol, *Helianthus annuus* variedad Shakira, existe ácidos grasos que no están presentes en los aceites, (nd). En la Tabla 7, se observa la suma de los ácidos grasos saturados e insaturados extraídos del aceite de girasol; existe una diferencia significativa entre la producción de ácidos grasos saturados e insaturados,

esto porque se presentaron mayores cantidades de extracción de ácidos grasos insaturados. Se observan similitudes en los porcentajes de extracción en relación con los tratamientos, no existió un tratamiento con mejor rendimiento que otro tanto para ácidos grasos saturados como insaturados.

En un estudio realizado por (Orsavova *et al*, 2015) en un análisis realizado a 40 muestras de materiales vegetales, dentro de ellos semillas de girasol, se encontró que los ácidos grasos monoinsaturados (MUFAs) estuvieron presentes en un 28.3 % en muestras de girasol, los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) 62.4 %.

En la Tabla 7, se evidencia que la mayor proporción de ácidos grasos son insaturados, se encuentran entre 74,5 % y 85,9%, esto se relaciona con la buena calidad del aceite.

Tabla 7: Porcentaje en peso de ácidos grasos saturados e insaturados del aceite de girasol.

| %p/p | Insaturados | Saturados | Total | % Insaturados | % Saturados |
|-------------|--------------------|------------------|--------------|----------------------|--------------------|
| T1 | 43.099 | 7.241 | 50.340 | 85.6% | 14.4% |
| T2 | 43.130 | 7.438 | 57.854 | 74.5% | 12.9% |
| T3 | 44.230 | 7.251 | 51.482 | 85.9% | 14.1% |
| T4 | 42.817 | 7.410 | 50.227 | 85.2% | 14.8% |

En una investigación elaborada por Ramírez, 2014, sobre ácidos grasos en aceites comercializados, encontró que los aceites poseían un promedio de 35.2 g/100 g de ácidos grasos monoinsaturados y un 54,4 g/100 g de ácidos grasos poliinsaturados, total insaturados: 89,7 g/100g comparados con nuestro estudio; total insaturados: 85.9 g/100g se observan similitudes en la extracción, considerando que las pruebas fueron realizadas en aceites refinados, y este estudio en aceite crudo.

Los principales ácidos grasos insaturados obtenidos fueron: el ácido oleico (promedio 28,84 % p/p) y el ácido linoleico (14.32 % p/p), en la Figura 12, se muestran los porcentajes obtenidos de ácido oleico, dicho ácido graso insaturado es de gran importancia económica; el tratamiento con mejores resultados fue el T3, donde se usó el lombricompost.

En la Figura 12, se presentan los porcentajes extraídos de ácido oleico para los diferentes tratamientos, el mejor resultado de extracción fue el tratamiento T3, los otros tres tratamientos presentaron valores similares. En la investigación realizada por (Orsawa J, 2015) determinó el ácido oleico en semillas de girasol en un 28.0 %, valor por debajo al encontrado en nuestra investigación (T3: 29,4 % p/p).



Figura 12: Concentración de ácido oleico vs tratamientos.

En la Figura 13, se muestran los porcentajes extraídos de ácido linoleico en los cuatro tratamientos, el mejor resultado de extracción se obtuvo en el T3, con fertilizante orgánico. En el estudio antes mencionado por (Orsavova *et al*, 2015), este ácido graso en semillas de girasol fue extraído en un 62.2 %, en nuestro estudio la mejor extracción (T3) fue de 14.665% p/p, de un total extraído de 51.482 %p/p lo que corresponde a 28,48 %, esta diferencia de resultados tanto para el ácido linoleico o el ácido oleico, pueden deberse al tipo de girasol (variación genética), el tipo de suelo, fertilizante usado, condiciones geográficas entre otros factores.

Comparando las extracciones de ácido linoleico en semillas de girasol obtenidas en nuestra investigación 14,202 % a 14,665 %, Figura 13, con el estudio realizado por (E. Ebrahimian, *et al*, 2019) este obtuvo valores de ácido linoleico (con irrigación de 15%) más altos (65 %), las diferencias entre los dos estudios pueden estar dadas por las características genéticas y el tipo o variedades de girasol utilizado, ya que dicho girasol es orientado a la producción de ácido linoleico mientras que el híbrido Shakira es orientado a la producción de ácido oleico.

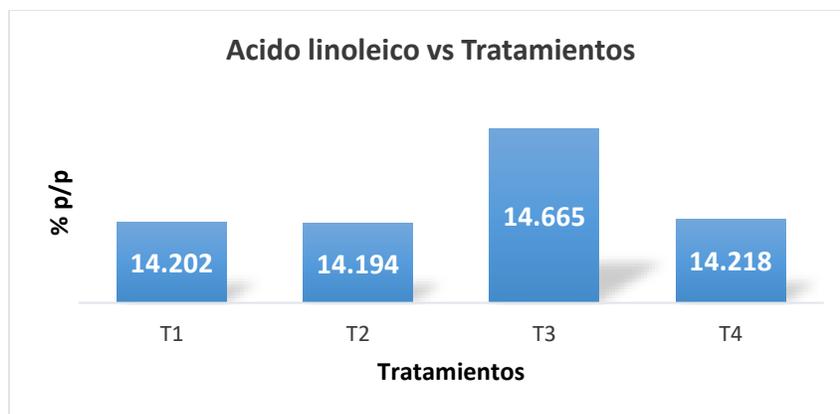


Figura 13: Concentración de ácido linoleico vs tratamientos.

En relación a los ácidos grasos saturados, Anexo 15, el ácido que presentó mayor proporción de extracción fue el ácido hexadecanoico, con un promedio en los cuatro tratamientos de 3.13 % p/p seguido del ácido octadecanoico con un promedio de 2.39 % p/p.

5.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE CRUDO OBTENIDO POR PRENSADO DE SEMILLA VARIEDAD SHAKIRA (*Helianthus annuus* L).

En la caracterización fisicoquímica se evaluaron los siguientes parámetros: humedad, índice de acidez, densidad, índice de peróxidos e índice de saponificación.

5.3.1 Índice de humedad.

Es el contenido de agua en el aceite o grasa y produce la hidrólisis de los triglicéridos el cual consiste en la reacción (rompimiento) de las uniones entre los ácidos grasos y el glicerol generando ácidos grasos libres, mono glicéridos, di glicéridos y/o glicerol (Ramirez N, 2018)

Los resultados obtenidos observados en la Figura 14, Anexo 4, muestran el porcentaje de humedad en los cuatro tratamientos: el T1 testigo, presenta el porcentaje de humedad más alto, 0,043%, posteriormente el T4; 0,0333%, T2 y T3 presentan los siguientes resultados; 0,021% y 0,036%, esto podría indicar que los tratamientos disminuyen el porcentaje de humedad del aceite.

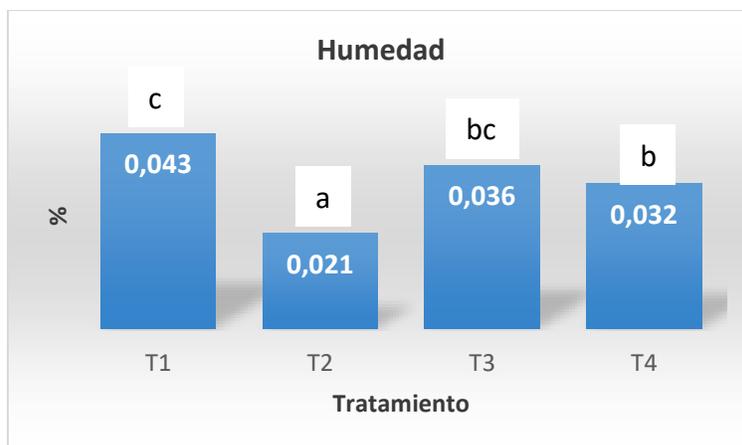


Figura 14. Porcentaje de humedad del aceite extraído de los diferentes tratamientos.

*Letras diferentes indican que existen diferencias significativas en los datos.

El análisis estadístico muestra que existen diferencias significativas del tratamiento testigo con respecto a los demás tratamientos, siendo mayor la humedad valorada en él. El bajo contenido de humedad es una característica importante para la preservación del aceite en el sentido que impide la proliferación de microorganismos y aumenta la calidad del aceite. El aceite con menor humedad fue el T3. Según la Asociación Americana de Aceites y Grasas y el Instituto Nacional de Productos y Semillas Oleaginosas de Estados Unidos, NIOP, (2014). especifican que el valor de humedad debe tener un máximo de 0.1 % AFOA, (2014); en nuestra investigación el porcentaje de humedad presentado en todos los tratamientos cumplen con la calidad establecida por la AFOA.

5.3.2 Índice de acidez.

Es la presencia natural de la acidez libre en las grasas, es decir la suma de los ácidos grasos no combinados, resultado de la hidrólisis o descomposición lipolítica de algunos triglicéridos en glicerina, por acción de las enzimas lipasas, el grado de acidez indica la cantidad de ácidos grasos libres, a mayor acidez menor calidad, por tanto, se podría pensar que los tratamientos aumentan la calidad del aceite de girasol. (Acosta 2010).

En la Figura 15, se observa que el índice de acidez más alto se presenta en el T1, el tratamiento 2 T2 tuvo el índice de acidez más bajo, el valor para el tratamiento (T3 y T4) fueron similares. El uso de fertilizante químico y humus mejora la calidad del aceite disminuyendo el índice de acidez,

esto tiene importancia para aceites comestibles, porque no pueden contener ácidos grasos libres más allá de un límite dado, ya que se considera como impureza en las grasas.

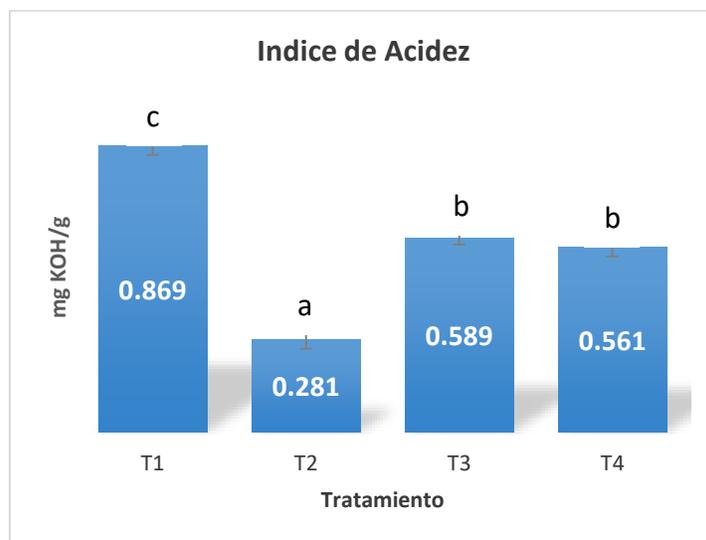


Figura 15. Índice de acidez del aceite extraído de los diferentes tratamientos.

* Letras diferentes indican que existen diferencias significativas en los datos.

Respecto al análisis estadístico, se observan diferencias significativas en los tratamientos, siendo el T2, de mejor calidad respecto a los demás tratamientos. En un estudio realizado por (Naranjo, 2015) donde se evaluaron los parámetros fisicoquímicos del aceite de girasol y otros, se encontró que la acidez, tenía valores de 0,195% a 0,294% en 5 análisis realizados, los resultados de este estudio fueron más altos, esto puede deberse a un almacenamiento prologado del aceite, o la exposición a la humedad o incluso el contenido de humedad del propio aceite puede influir en la estabilidad del mismo, haciendo que aumente el índice de acidez. (Casal, 2010)

5.3.3 Densidad.

La densidad de una sustancia, simbolizada habitualmente por la letra griega ρ , es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen. (Shanchez & Figueroa, 2013). Según la resolución 2154 de 2012, elaborada por el ministerio de salud, sobre requisitos de

aceites y grasas de origen vegetal en Colombia y el CODEX STAN 210, el valor aceptable de densidad del aceite de girasol de comprenderse entre 0.918-0.923 g/mL (MINSALUD, 2012).

En la Figura 16, se indica la densidad de los cuatro tratamientos para el aceite de girasol extraído de cada uno de estos; solo los tratamientos 2 y 3, cumplen con este criterio. CODEX STAN 210, (1999)

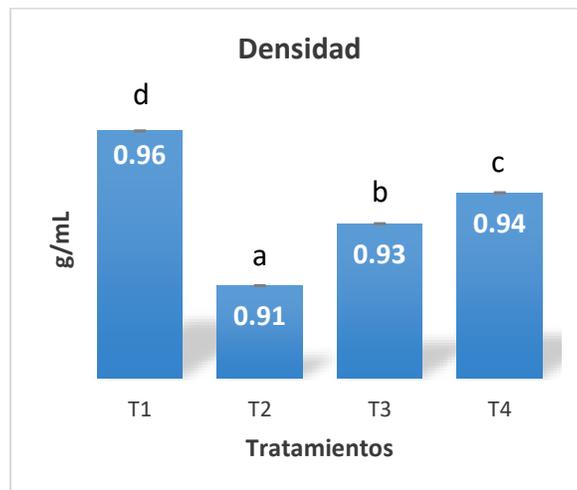


Figura 16. Densidad del aceite extraído de los diferentes tratamientos.

*Letras diferentes indican que existen diferencias significativas en los datos.

Los análisis estadísticos aplicados a la densidad muestran que existen diferencias significativas entre los cuatro tratamientos, en donde el T2, presentar una mejor calidad en cuanto a densidad.

La densidad puede verse afectada por el tipo de ácidos grasos presentes en el aceite, pues si el aceite presenta mayor cantidad de ácidos grasos con insaturaciones presentará una densidad menor, esto se evidencia Tabla 6, porcentaje de ácidos saturados e insaturados, donde la mayor cantidad de aceite extraído fueron ácidos insaturados.

En un estudio realizado por (Carrillo & Cañazaca, 2020) a aceites crudos y comerciales, se obtuvieron densidades entre 0,9184 y 0,9204, valores similares a los obtenidos en este estudio considerando que en el nuestro se manejó aceite crudo y el estudio antes mencionado también se utilizaron aceites comerciales son sometidos a un proceso de refinamiento.

5.3.4 Índice de peróxidos.

La causa más común de deterioro de un aceite es la rancidez, causada por la oxidación de las grasas. generalmente se acepta que el primer producto formado por la oxidación de un aceite es hidroperóxido, por lo que el método más usado para evaluar el grado de oxidación es determinar el valor peróxido. Según el Codex Alimentarius CXS 210, se sugiere que los valores de índice de peróxidos para aceites refinados tengan un valor máximo de 10 miliequivalentes de oxígeno activo por kilogramo de aceite, (meq O₂/Kg).

En la Figura 17, se denota el índice de peróxidos obtenido en este estudio para los cuatro tratamientos, en este caso los únicos tratamientos que cumplen con este valor máximo, son el tratamiento 1 (0.9850 meq O₂/Kg) y el tratamiento 4 (0,991 meq O₂/Kg), (Dobarganes, et al 2009). El análisis estadístico realizado a los datos de índice de peróxidos, muestra que no existe diferencias significativas entre T1 y T4 y entre T2 y T3, pero entre T1 y T4 existen diferencias significativas con respecto a los T2 y T3.

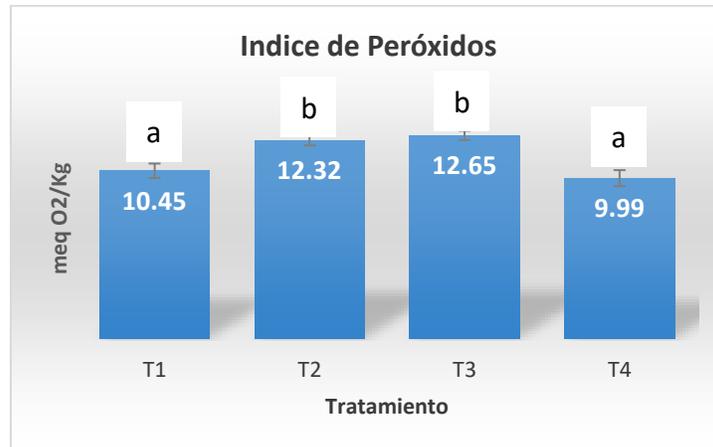


Figura 17. Índice de peróxidos del aceite extraído de los diferentes tratamientos.

*Letras diferentes indican que existen diferencias significativas en los datos.

Los tratamientos T3 y T4 presentan valores altos, por encima de los recomendados para el índice de peróxidos, esto está relacionado con la oxidación de las grasas presentes en los aceites, la oxidación se puede disminuir utilizando antioxidantes sintéticos. (Naranjo, 2015) determinó el índice de peróxidos del aceite de girasol, en 10,14 meq O₂ /g, al someter el aceite a calentamiento

por 12 minutos el índice de peróxidos disminuyó a 6,26 meq O₂ /g, este proceso puede ser usado para disminuir dicho valor, aunque la disminución se atribuye a la formación de compuestos secundarios a la oxidación como aldehídos, cetonas, dímeros, trímeros, polímeros y compuestos cíclicos. (Laguerre, 2007)

5.3.5 *Índice de Saponificación*

El índice de saponificación tiene relación con el peso molecular o tamaño de las cadenas de ácidos grasos que están presentes en un aceite o grasa, teniendo en cuenta que este parámetro es inversamente proporcional a la longitud promedio de la cadena de ácidos grasos, es decir, cuanto menor es el valor de saponificación, mayor es la longitud promedio de la cadena (Bauer *et al*, 2020). Este parámetro se cuantifica con el número de miligramos de hidróxido de potasio necesario para llevar a cabo la cuantificación de un gramo de sustancia grasa. Los aceites o grasas que tienen en su composición ácidos grasos de cadena larga por lo general tienden a valores bajos de índice de saponificación, debido a que tienen un número menos de grupos carboxílicos por unidad de masa de grasa o aceite lo que quiere decir que su peso molecular sería alto (Wu *et al.*, 2020). Es muy importante cuantificar la cantidad de ácidos grasos libres que está presente en una muestra, sobre todo a nivel industrial ya que se puede tener certeza en gran medida sobre las pérdidas que se pueden dar durante la refinación del aceite. (Begambre V, 2020)

La Figura 18, muestra los valores para el índice de saponificación de los cuatro tratamientos aplicados en el aceite de girasol. Considerando el índice de saponificación requerido según la resolución 2154 de 2012, el rango se encuentra entre; 188 y 194 mg KOH/g, la mayoría de los resultados cumplen con los requisitos mínimos del ministerio de salud. (MINSALUD, 2012).

Referente al análisis estadístico del índice de saponificación se encuentran diferencias significativas, principalmente entre los tratamientos T1, T2 y T3. En el estudio realizado por (Naranjo, 2015) los valores obtenidos en el índice de saponificación fueron más altos que este estudio, (>387 mg KOH/g),

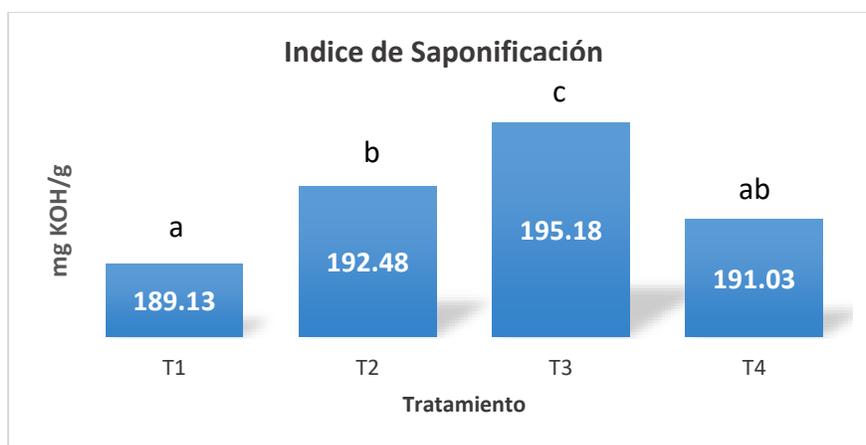


Figura 18. Índice de saponificación del aceite extraído de los diferentes tratamientos.

*Letras diferentes indican que existen diferencias significativas en los datos.

Para el T3 de este estudio los valores de índice de saponificación fueron más altos que los demás tratamientos, esto se podría explicar ya que son muestras sin conservantes o antioxidantes, y existe algún grado de degradación de los triglicéridos en la muestra, lo que aumentaría el índice de saponificación,

Tabla 8: Análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos.

| Parámetro | Unidades | T1 | T2 | T3 | T4 |
|---------------------------------|------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Humedad | % | 0,043±0,003c | 0,021±0,002a | 0,036±0,005bc | 0,032±0,002b |
| Índice de Acidez | mg KOH/g | 0,869±0,028c | 0,281±0,028a | 0,589±0,028b | 0,561±0,028b |
| Densidad | g/mL | 0,96±0,0002d | 0,91±0,0001a | 0,93±0,0002b | 0,94±0,0002c |
| Índice de Peróxidos | meq O ₂ /Kg | 10,45± 0,45a | 12,32±0,29b | 12,65±0,29b | 9,99 ± 0,50a |
| Índice de Saponificación | mg KOH/g | 189,13±1,07a | 192,48±0,70b | 195,18±0,71c | 191,03±0,69ab |

* Los valores se presentan como la media de 3 réplicas. Los valores medios seguidos de diferentes letras en la misma fila difieren significativamente ($P < 0,05$).

En estudios donde se evalúan los parámetros fisicoquímicos del aceite de girasol, por ejemplo, el realizado por (Vasudha & Lakhawat, 2021), se observan valores más altos en los diferentes parámetros, esto puede deberse a las condiciones de suelo, el tipo de semilla utilizada, y el uso de diferentes fertilizantes, así como las condiciones climatológicas.

5.4 ANÁLISIS PROXIMAL DE LA TORTA RESIDUAL OBTENIDA A PARTIR DEL PRENSADO DE SEMILLA VARIEDAD SHAKIRA (*Helianthus annuus* L).

Se realizó el análisis proximal de la torta residual, subproducto de la extracción del aceite de la semilla de girasol, donde se evaluaron los siguientes parámetros: humedad, cenizas, extracto etéreo, proteínas y fibra. Comparando los resultados del estudio con los obtenidos por (Vasudha & Lakhawat, 2021), representados en la figura 18, se observan diferencias en los parámetros fisicoquímicos como: humedad, proteína cruda, cenizas y fibra cruda,

5.4.1 Humedad

La humedad es un componente clave de los alimentos, es importante que los valores de humedad en los alimentos estén bajos, esto debido a que se evita la proliferación de hongos, bacterias y microorganismos que pueden cambiar las propiedades organolépticas del alimento, o incluso generar enfermedades en los consumidores debido a toxinas,

Los valores de humedad se observan en la Figura 21, comparando estos resultados con los encontrados por (Rodríguez *et al*, 2010) que determinó la composición de semillas de girasol con cáscara entera, la humedad fue de 3.32 g. (Srilatha & Krishnakumari, 2003), en su investigación la humedad de torta de semilla de girasol obtuvo un porcentaje de humedad de 5.80 %. (Srivastava & Verma, 2014), en un estudio sobre la composición de 100 g harina de semilla de girasol encontraron que la humedad fue de 3.1 g. comparando los resultados con estudios anteriores se encuentra cierta similitud en los valores de la torta residual de semilla de girasol. En la Figura 21, se observa el análisis estadístico de la humedad; no existen diferencias significativas entre los valores de humedad, pero el T1 y T2 fueron numéricamente más altos.

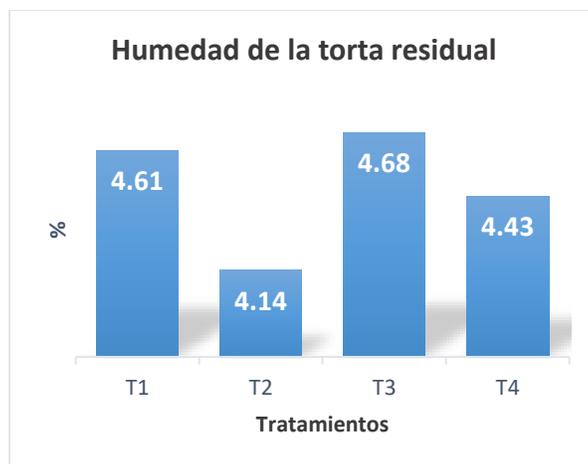


Figura 19. Humedad de la torta residual expresada en % de humedad.

*Letras diferentes indican que existen diferencias significativas en los datos.

Estos valores bajos de humedad garantizan la inocuidad de la torta residual, previniendo la proliferación de microorganismos que puedan ocasionar efectos adversos en el alimento y en los consumidores.

5.4.2 Cenizas.

La ceniza es el residuo obtenido después de la incineración de la materia orgánica hasta que queda libre de carbón y representa el contenido de material mineral presente en esa materia. Se lleva a cabo a temperaturas entre 500 a 600 °C. La naturaleza y cantidad de las diferentes combinaciones minerales que pueden encontrarse en el producto alimenticio, es difícil de determinar. Al incinerar el producto para eliminar toda la materia orgánica, cambia la naturaleza de muchas de las combinaciones (Pettersson, 1999)

En la Figura 22, se muestran los valores obtenidos de cenizas para los cuatro tratamientos de la torta residual, Se sugiere que los valores de cenizas para las semillas de girasol deberían estar en un rango entre el 3.5 a 48 % (Juan & Villamide, 2000) En el estudio hecho por (Srilatha & Krishnakumari, 2003) los valores de cenizas fueron de la torta residual fueron de 5.66 %. En otra investigación llevada a cabo por (Srilatha and Krishnankumari, 2003), el resultado de cenizas para la torta residual de semillas de girasol fue de 4.48 %. Los valores de cenizas en el estudio actual son un más altos que en los anteriores, pero se mantienen dentro del rango recomendado.

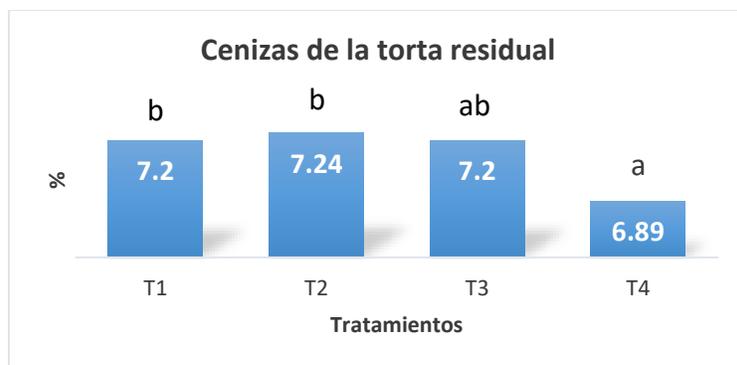


Figura 20: Cenizas de la torta residual.

*Letras diferentes indican que existen diferencias significativas en los datos.

El análisis estadístico de la Figura 22, arroja que existen diferencias significativas entre el T4 y el T1 y T2, siendo el T4 el que presentan mayor contenido de material inorgánico. La ceniza es el residuo inorgánico que queda después de la quema de cualquier material orgánico, es decir que las tortas de semilla de girasol evaluadas en este estudio tienen niveles de compuestos inorgánicos más elevados que los estudios con los cuales se contrastan.

5.4.3 Extracto etéreo.

Para el parámetro fisicoquímico extracto etéreo, las grasas de los alimentos consisten en sustancias lípidas variadas, y pueden ser extraídos por solventes como éter, petróleo, y éter dietílico, las extracciones hechas con éter etílico, este además de grasas puede extraer otros componentes como pigmentos vegetales, ceras entre otros. (Toso, 2017).

La figura 23, presenta los porcentajes obtenidos para los tratamientos. El análisis estadístico muestra que no presenta diferencias significativas en los resultados. Aunque el tratamiento 3 presenta un mayor valor numérico, esto puede indicar que presenta la mayor cantidad de grasas libres y otros componentes.

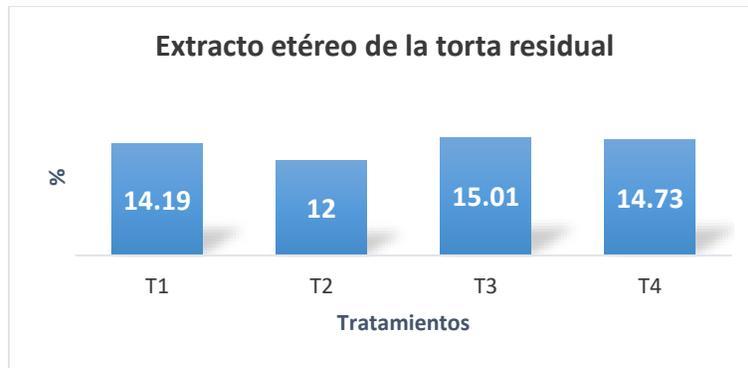


Figura 21: Extracto etéreo de la torta residual.

*Letras diferentes indican que existen diferencias significativas en los datos.

En el estudio presentado por (Vasudha & Lakhawat, 2021) realizado a la torta residual de semillas de girasol, encontró que los valores de grasas eran de 0,69 g/100g, un valor mucho más bajo que en el estudio actual. Talha, 2008 encontró en la torta residual de semillas de girasol utilizada como sustituto alimenticio para pollos un valor de grasa de 16,8 %. Otro estudio hecho por (Dayal, 2011), utilizando la torta residual como sustituto alimenticio para peces encontró que presentaba valores de extracto etéreo, de 8,06 %, Esto nos muestra que los valores de grasa en nuestra torta residual son más elevados que en otros estudios y puede ser útil como suplemento alimenticio para diferentes tipos de animales, posibilitando la comercialización de dicho residuo.

5.4.4 Proteínas.

Las proteínas son compuestos orgánicos complejos, cuya presencia en la dieta es indispensable, constituyen la fracción más importante de la alimentación animal. Son componentes fundamentales en los tejidos animales y requeridas para el mantenimiento de las funciones vitales como renovación de tejidos, reproducción, crecimiento y lactación. En los vegetales se encuentran en cantidades discretas salvo en algunos casos como en las semillas de leguminosas que tiene una riqueza aproximada del 20%. Los granos de cereal contienen aproximadamente un 10% de proteína (Universidad de Cordoba, España, 2021).

En la Figura 24, se indican los valores de proteínas para los 4 tratamientos. En otros estudios hechos a la torta residual (Vasudha & Lakhawat, 2021) encontró valores de proteína cruda de 37g/100g (Talha, 2008) halló valores de 41 % de proteína cruda y (Dayal, 2011) 40,18 % de proteína cruda,

esto muestra que en el estudio actual se encontraron valores más altos de proteínas. En el análisis estadístico de las proteínas en la torta residual en la Figura 24, no se encontraron diferencias significativas en los datos.

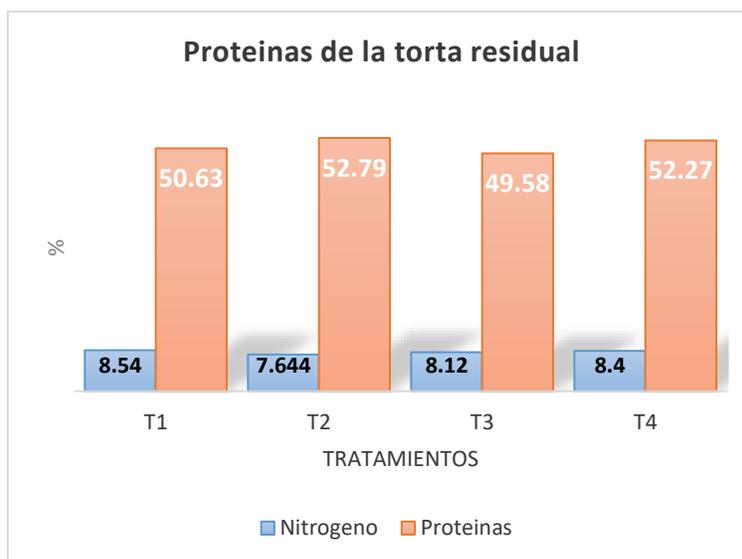


Figura 22. Proteínas de la torta residual.

*Letras diferentes indican que existen diferencias significativas en los datos.

Según un estudio realizado por (Juan & Villamide, 2000) los valores comúnmente encontrados de proteínas se encuentran entre 15 y 45 %, es decir que los valores obtenidos, son más altos de convencional, este aspecto es positivo para los tratamientos, ya que la torta al ser muy rica en proteínas muestra tener un valor nutricional bastante alto, y se justifica el uso de la torta de girasol para alimentos enfocados en el alto contenido proteico.

5.4.5 Fibra.

La fibra es una sustancia de origen vegetal que no puede ser digerida las enzimas del tracto gastrointestinal humano, son polisacáridos estructurales de las plantas, como la celulosa, hemicelulosa, betaglucanos, pectinas, mucilagos, goma y lignina, dicho consumo se relaciona con una disminución de variadas enfermedades. (Cabrera & Cardenas , 2006)

En la Figura 25, se muestran los valores obtenidos de fibra bruta para los diferentes tratamientos. En otros estudios realizados a la torta residual por (Vasudha & Lakhawat, 2021) obtuvieron valores de fibra cruda de 21.5 %, (Dayal, 2011) encontró valores de fibra cruda de 4,72 % y (Talha, 2008) halló valores de fibra cruda de 10 %. En el estudio actual se encontraron valores más bajos de fibra comparado a otras investigaciones. En la Figura 25, los datos muestran diferencias significativas en el T2 con respecto a los otros tratamientos.

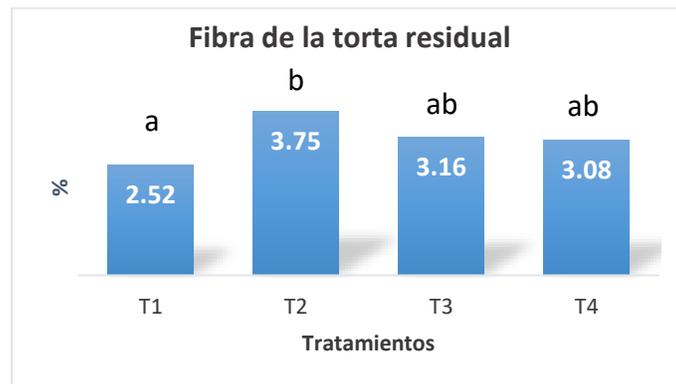


Figura 23. Fibra de la torta residual.

*Letras diferentes indican que existen diferencias significativas en los datos.

Ya que la fibra es constituida por una gran variedad de sustancias es difícil determinar si esta variedad de girasol contiene menos contenido de algún material, los valores encontrados en este estudio se pueden deber a las características genéticas de la semilla o al tipo de extracción usada para la torta residual de girasol.

5.4.6 Estudio estadístico del análisis proximal de la torta residual.

En la Tabla 9, se muestran los estadísticos del análisis proximal hecho a la torta de semilla de girasol, existiendo variaciones entre los diferentes parámetros.

Tabla 9. Estudio estadístico del análisis proximal de la torta residual

| Tratamientos | T1 | T2 | T3 | T4 |
|------------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Humedad | 4,61±0,24 | 4,14±0,57 | 4,68±0,24 | 4,43±0,11 |
| Cenizas | 7,2±0,15b | 7,24±0,26b | 7,2±0,62ab | 6,89±0,76a |
| Extracto Etéreo | 14,19±2,09 | 12±2,09 | 15,01±0,87 | 14,73±0,87 |
| Proteínas | 50,63±2,8 | 52,79±1 | 49,58±0,79 | 52,27±1,29 |
| Fibra | 2,52±2,36a | 3,75±0,48b | 3,16±0,15ab | 3,08±0,30ab |

6 CONCLUSIONES

- Los mejores resultados de rendimiento de aceite son del T2 (fertilización química), los resultados de rendimiento de aceite crudo del T3 (lombrí-humus) estuvieron ligeramente por debajo del T2, pero sigue siendo una buena opción considerando que es un abono orgánico, sin aditivos químicos, que pueden afectar el producto o contaminar el medio ambiente, siendo 100% orgánico es más atractivo para los consumidores.
- Los parámetros fisicoquímicos del aceite de semilla de girasol, con aplicación de lombricompost al 100% también presentaron valores similares o superiores en: densidad, acidez, humedad, índice de peróxidos y saponificación al tratamiento con fertilización química 100% y al tratamiento 50% humus + 50% f. química y testigo.
- El uso del lombricompost al 100% en el cultivo de girasol, (*H. annuus L.*), en términos de perfil de ácidos grasos, se demuestra que, para los cuatro tratamientos, las concentraciones de la mayoría de ácidos grasos del aceite analizado fueron iguales o superiores a los otros tres tratamientos (testigo sin fertilizante, fertilización química y 50% humus + 50% f. química), convirtiéndose en una buena opción de fertilización natural frente al uso de fertilización química.
- En las condiciones del Sinú medio, el cultivo de girasol (*Helianthus annuus. L.*) híbrido Shaqira presenta características fisicoquímicas de calidad en cuanto a su aceite y torta residual acordes a los estándares de estudios certificados, y que, además, la calidad en referencia a la cantidad de ácidos grasos insaturados, y porcentaje de proteína en la torta; valida la iniciativa de implementar y desarrollar este cultivo como una alternativa potencial de agroindustria en la región.

7 RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio posterior donde se evalúen las distintas opciones para uso de la torta residual de semilla de girasol (*Helianthus annuus var L.*).
- En un estudio subsecuente se debería comparar la viabilidad económica de los tratamientos, calculando el mejor tratamiento económicamente para determinar el mejor en términos costo beneficio.
- Realizar un estudio con la aplicación de la torta residual de aceite de girasol, su uso como agar para microorganismos de interés clínico.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Aceites de Semillas, S.A. (2009). *Aceite de semillas*. Obtenido de <https://aceitesdesemillas.com/es/tortas-harinas.php>
- Acosta, A. P. (2010). *Determinación del grado de acidez por volumetría de neutralización en muestras comerciales de aceite de oliva, girasol y soya*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Alba, A., & Llanos, M. (1990). *El cultivo de girasol*. Mundi-Prensa. Recuperado el 2021
- Aly, A., & Zaky, E. (2021). Effect of thyme addition on some chemical and biological properties of sunflower oil. *Arabien journal of chemistry*, 1-8.
- America Oil Chemists Society. (2009). *Official Methods and recommended Practices of the AOCS* (6 ed.). Washington.
- American Oil Chemists Society. (2003). *Methods and Recommended Practices of the AOCS* (5 ed.). Washington.
- Anushree, S., André, M., & Guillaume, D. (2017). Stearic sunflower oil as a sustainable and healthy alternative to palm oil. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(3), 18.
- Awatif, I. I., & Arafat, S. M. (2014). Quality Characteristics of High-Oleic Sunflower Oil Extracted from Some Hybrids Cultivated under Egyptian Conditions. *Helia*, 37, 137-160. Obtenido de <https://doi.org/10.1515/helia-2014-0010>
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos*. México: Pearson educación.
- Begambre V, L. (2020). *Estudio monográfico sobre el uso y aplicaciones del aceite y la semilla de sandía (Citrullus lanatus)*. Montería: TESIS.
- Browse, J., Spsychalla, J., Okuley, J., & Lightner, J. (1998). Altering the Fatty Acid Composition of Vegetable Oils. *Cambridge University Press*.
- C. Alberio, Izquierdo, N., & Aguirrezába, L. (2014). *Sunflower Crop Physiology and Agronomy*. Argentina: Comisión Nacional Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
- Cabrera , J., & Cardenas , M. (2006). Importancia de la fibra dietética para la nutrición humana. *Rev Cubana Salud Pública*, 3, 24. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662006000400015
- Carrillo, J., & Cañazaca, N. (2020). *Extracción y evaluación de las características fisicoquímicas de aceite de semillas de girasol (Helianthus annuus) y comparación con marcas comerciales*. Lima: Escuela profesional de Ingeniera de Industrias.

- Casal, S. (2010). Olive oil stability unde deep frying conditions. *Food Chem toxicol*, 48.
- Castro, A. (2014). *Evaluación de la producción de lombricompuestos a partir de tres sustratos y uso de lombriz como fuente de alimento para peces en cautiverio, Chocó Colombia*. CEDUM, Manizales.
- Dayal, J. (2011). Sunflower oil cake as a replacement for fish meal in feeds of Tiger Shrimps, *Peanus monodon* reared in tanks and in net cages. *Indian journal of geomarine sciences*, 40, 460-470.
- Díaz, E. (2002). *Guía de Lombricultura: una alternativa de producción para emprendedores y productores del agro*. Argentina, La rioja: Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior. Recuperado el 2021, de <http://www.manualdelombricultura.com/index.html>
- Dobarganes, M. C.-M. (2009). Relationship between changes in peroxide value and conjugated dienes during oxidation of sunflower oils with different degree of unsaturation. . *Grasas y Aceites*, 60(2), 155–160. Obtenido de <https://doi.org/10.3989/gya.096908>
- Ebrahimian, E., & Mohammad, S. (2019). Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. *Agricultural Water Management*, 149-157.
- Fadairo, A., & Ogunkunle, T. (2018). Dataset on investigating the effect of sunflower based biodiesel on the rheology of Nigeria waxy crude oil. *Data in Brief*, 1-6.
- FAO. (1999). *CODEX ALIMENTARIUS CXS 210, Norma para Aceites Vegetales*.
- FAOSTAT. (2018). *Produccion de aceites vegetales*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/cb4477en/online/cb4477en.html#tab19>
- García, A. (2019). *Obtención de aceites comestibles a partir de nuevas semillas de girasol enriquecidas en fitoesteros*. Pablo Olavide. Sevilla: Instituto de la grasa.
- Garcia, H., Moreno, L., Londoño , C., & Sofrony, C. (2010). *Estrategia Nacional para la*. Bogota: Instituto Humboldt y Red Nacional de Jardines Botánicos.
- Horrobin, D. F. (1990). Fatty Acids, Phospholipids, and Schizophrenia. *Handbook of Essential Fatty Acid Biology*. Obtenido de https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2582-7_11
- Juan, L., & Villamide, M. J. (2000). Nutritional evaluation of sunflower seed and products derived from them. Effect of oil extraction. . *British Poultry Science*, 41., 182 - 192.

- KHODAEI-JOGHAN, A., & GHOLAMHOSEINI, M. (2018). Response of sunflower to organic and chemical fertilizers in different drought stress conditions. *Original research article*, 1-14.
- Lafont , J., Espitia , A., & Paéz, M. (2019). Estudio Físicoquímico del Aceite y Análisis Proximal de la Torta de Semillas Oleaginosas nativas de Córdoba-Colombia. *Información tecnológica*, 30(4), 85-92.
- Laguerre, M. (2007). Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges. *Progress Lipid Res*, 244-282.
- Ministerio de salud. (Agosto de 2012). *Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios de los aceites de origen vegetal y animal para el consumo humano en Colombia*. Recuperado el 2021, de RESOLUCIÓN 2154 DE 2012. :
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/R>
- MINSALUD. (2012). *Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los aceites y grasas de origen vegetal o animal*. Bogotá: MEN.
- Mohammadi, K., & Heidari, G. (2012). Fertilization affects the agronomic traits of high oleic sunflower hybrid in Fertilization affects the agronomic traits of high oleic sunflower hybrid in. *Industrial Crops and Products*, 446-451.
- Naranjo, J. (2015). Evaluación de propiedades físicoquímicas de aceite de girasol (*Helianthus annuus*) adicionado con extracto de achiote (*Bixa orellana*) durante calentamiento en horno microondas . *Perspectivas En Nutrición Humana*, 17(2), 115-124.
- Nata Llundo, D. (2017). *Índices de extracción de NPK con dos frecuencias de fertilización edáfica en el cultivo de Girasol Helianthus annuus, en la parroquia de Cunchibamba*. Ecuador: Universidad técnica de ambato.
- Navia, M. (2017). *FÓRMULA OPTIMIZADA DE LOMBRICOMPOST PARA LA PRODUCCIÓN*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Okonkwo, S. y. (2016). Determination of the proximate composition, physicochemical analysis and characterization of fatty acid on the seed and oil of *Gossypium hirsutum*. *International Journal of Chemistry*, 8(3), 57-61.
- Orsavova, J. M. (2015). Fatty Acids Composition of Vegetable Oils and Its Contribution to Dietary Energy Intake and Dependence of Cardiovascular Mortality on Dietary Intake of

- Fatty Acids. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(12). Obtenido de <https://doi.org/10.3390/ijms160612871>
- Orsavova, J., & et al. (2015). Fatty Acids Composition of Vegetable Oils and Its Contribution to Dietary Energy Intake and Dependence of Cardiovascular Mortality on Dietary Intake of Fatty Acids. *International Journal of Molecular Sciences*.
- Ramirez N, T. (2018). *EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ACEITES Y GRASAS RESIDUALES POTENCIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES*. México: Centro de investigaciones en electroquímica.
- Ramirez, C. (2014). Perfil de ácidos grasos en aceites de cocina de mayor venta en Medellín, Colombia. *PERSPECTIVAS EN NUTRICIÓN HUMANA*, 175-185.
- Rass, M., Schein, C., & Matthäus, B. (2008). Virgin sunflower oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110(7), 618-624.
- Rios, R. (2012). *Torta de sacha Inchi (Plukenetia volubilis Linneo) cruda y extraída en reemplazo de la torta de soya en dietas de alevines de tilapia gris (Oreochromis niloticus)*. Tesis, UNALM, Perú. Recuperado el 2021
- Rodriguez Fernandez, P. A. (2017). impacto del lixiviado de humus de lombriz sobre el crecimiento y productividad del cultivo de habichuela (*vigna unguiculata walp*). *Ciencia en su PC*, 16.
- Rodriguez, D., Goudrilaan, J., & Keltjens, W. (1998). Understanding Leaf Area Expansion In Sunflower and Wheat Grown under Low-Phosphorus Conditions. *Plant Physiologists*, 354-356.
- Saleem A, M., & Riaz, M. (2016). Associative interplay of plant growth promoting rhizobacteria Associative interplay of plant growth promoting rhizobacteria sunflower (*Helianthus annuus L.*) productivity and fertility of aridisol. *Applied Soil Ecology*, 238-247.
- San JLD, V. M. (2000). Nutritional Evaluation of Sunflower Seeds and Products Derived from them. *British Poultry Science Journal*, 41:182-92.
- Shanchez , I., & Figueroa, M. (2013). *Extracción y caracterización fisicoquímica de aceite fijo obtenido por Expresión de 5 especies nativas y cultivadas en Guatemala: Crescentia cujete (Morro), Mammea americana (Mamey), Pachira aquatica (Zapotón) Cucumis melo (Melón) y Acrocomia mexicana (Coy. Guatemala: Tesis.*

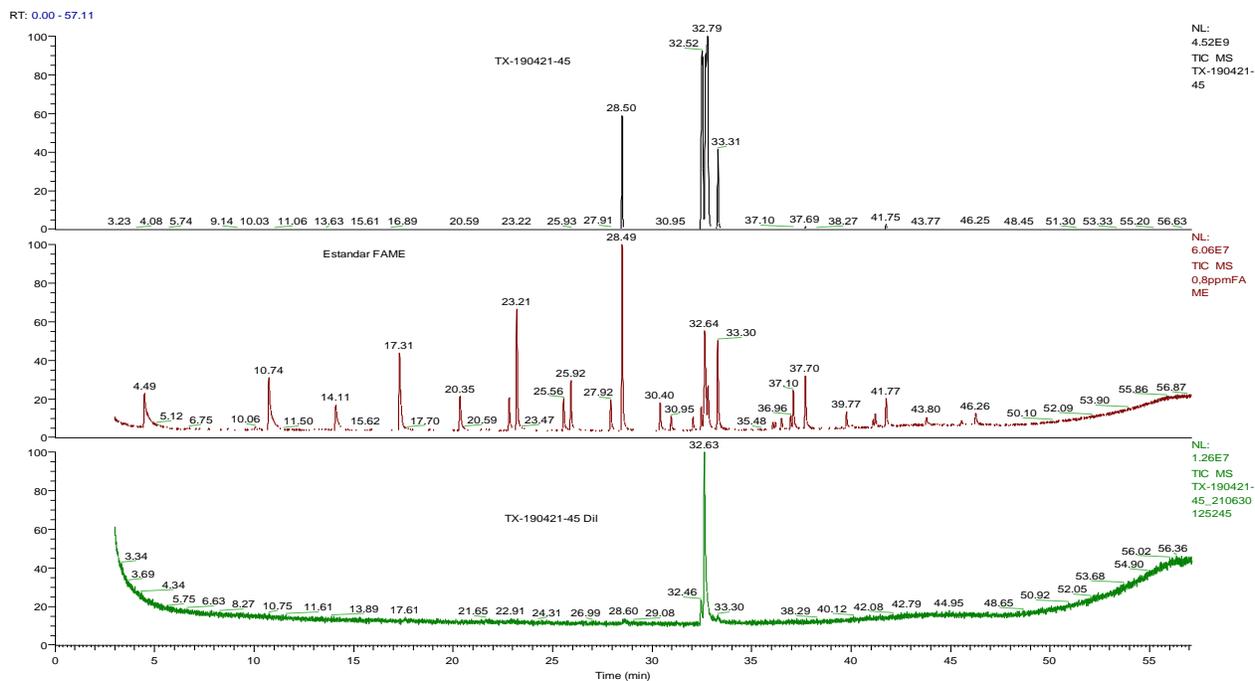
- Somarriba R, R., & Guzmán G, G. (2004). *nálisis de la influencia de la cachaza de caña y estiercol bovino como sustrato de la lombriz roja californiana para producción de humus*. Universidad Nacional Agraria. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/775>
- Srilatha, K., & Krishnakumari, K. (2003). Proximate composition and protein quality evaluation of recipes containing sunflower cake. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58(3), 1-11.
- Srivastava, A., & Verma, A. (2014). Nutritional Composition of Sunflower Seeds Flour and Nutritive Value of Products Prepared by Incorporating Sunflower Seeds Flour. *International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences*, 3(3), 45-49.
- Talha, E. (2008). Sunflower Cake as a Substitute for Groundnut Cake in Commercial Broiler Chicks Diets. *Pakistan Journal of Nutrition*, 782-784.
- Toso, F. (2017). Control de los niveles de garantía de extracto etéreo, proteína bruta y fósforo declarados en alimentos comerciales para perros y gatos. 7-13.
- Universidad de Cordoba, España. (5 de 12 de 2021). *Lección 6. Digestión, absorción y metabolismo de las materias nitrogenadas en monogástricos y rumiantes*. Obtenido de <https://www.uco.es/zootecniaygestion/menu.php?tema=148>
- Vasudha, C., & Lakhawat, S. (2021). Nutritional quality analysis of sunflower seed cake. *The Pharma Innovation*, 7-9.
- Velasco, L., & Ruiz-Méndez, M. V. (2015). Sunflower Oil Minor Constituents. (A. O. Press., Ed.) *Sunflower*, 297-329.
- Velasco, L., Pérez-Vich, B., & Fernández, J. M. (2004). Novel variation for the tocopherol profile in a sunflower created by mutagenesis and recombination. *Plant Breeding*, 123(5), 490-492.
- Wang, J. W. (2015). An effective GC method for the determination of the fatty acid composition in silkworm pupae oil using a two-step methylation process. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 80(1), 9-20.
- Zambelli, A., León, A., & Garcés, R. (2015). Mutagenesis in sunflower. *American Oil Chemists' Society Press*, 27-52.

9 ANEXOS.

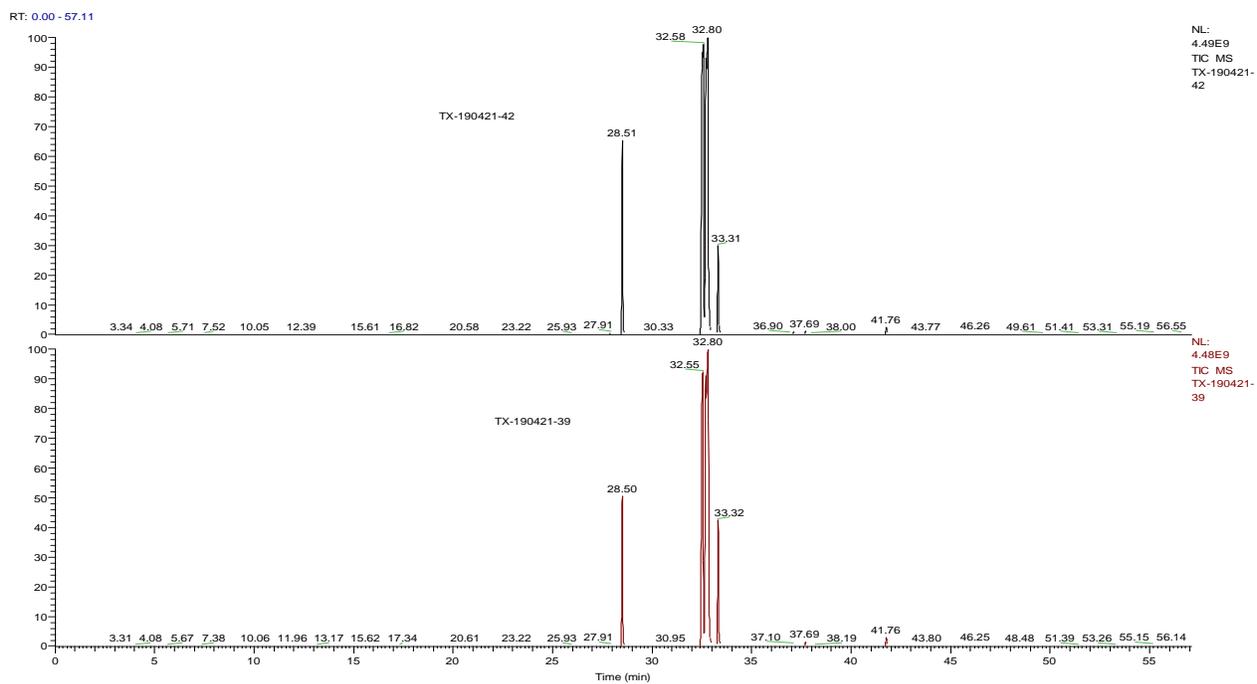
Anexo 1: Pesos de semillas descascaradas, cascaras, aceite y torta

| Datos | Replicas | T1 | T2 | T3 | T4 |
|--|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Peso de Semillas sin cascaras (g) | #1 | 60,0 | 58.4 | 60.8 | 57.6 |
| | #2 | 59.2 | 57.6 | 58.4 | 56.8 |
| | #3 | 60.8 | 58.4 | 59.2 | 59.2 |
| | Promedio | 60.00 | 58.13 | 59.47 | 57.87 |
| Peso de cascaras (g) | #1 | 20,0 | 21.6 | 19.2 | 22.4 |
| | #2 | 20.8 | 22.4 | 21.6 | 23.2 |
| | #3 | 19.2 | 21.6 | 20.8 | 20.8 |
| | Promedio | 20.00 | 21.87 | 20.53 | 22.13 |
| Volumen de aceite recuperado (mL) | #1 | 19.7 | 19.0 | 18.3 | 19.5 |
| | #2 | 21.0 | 20.0 | 21.0 | 21.0 |
| | #3 | 21.5 | 18.0 | 22.0 | 20.5 |
| | Promedio | 20.73 | 19.00 | 20.43 | 20.33 |
| Peso de aceite recuperado (g) | #1 | 16.7624 | 17.2531 | 17.2214 | 16.1174 |
| | #2 | 17.6680 | 18.6283 | 18.3862 | 18.8548 |
| | #3 | 15.8973 | 18.9210 | 18.1510 | 19.5505 |
| | Promedio | 16.7759 | 18.2675 | 17.9195 | 18.1742 |
| Peso de torta recuperada (g) | #1 | 30 | 25 | 30 | 30 |
| | #2 | 25 | 30 | 25 | 25 |
| | #3 | 25 | 25 | 30 | 25 |
| | Promedio | 26.67 | 26.67 | 28.33 | 26.67 |

Anexo 2: Cromatograma 1



Anexo 3: Cromatograma 2



Anexo 4: Estadísticas descriptivas de análisis fisicoquímicos

| | | N | Media | Desviación típica | Error típico | I.C para la media al 95% | | Mín. | Máx. |
|----------------------------|--------------|-----------|-----------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|---------------|----------------|
| | | | | | | L. inferior | L. superior | | |
| Humedad | T1 | 3 | .043333 | .0033501 | .0019342 | .035011 | .051656 | .0400 | .0467 |
| | T2 | 3 | .021100 | .0019053 | .0011000 | .016367 | .025833 | .0200 | .0233 |
| | T3 | 3 | .035567 | .0050954 | .0029418 | .022909 | .048224 | .0300 | .0400 |
| | T4 | 3 | .032200 | .0019053 | .0011000 | .027467 | .036933 | .0300 | .0333 |
| | Total | 12 | .033050 | .0088200 | .0025461 | .027446 | .038654 | .0200 | .0467 |
| Índice de acidez | T1 | 3 | .869300 | .0280000 | .0161658 | .799744 | .938856 | .8413 | .8973 |
| | T2 | 3 | .280500 | .0280000 | .0161658 | .210944 | .350056 | .2525 | .3085 |
| | T3 | 3 | .588800 | .0280000 | .0161658 | .519244 | .658356 | .5608 | .6168 |
| | T4 | 3 | .561000 | .0280000 | .0161658 | .491444 | .630556 | .5330 | .5890 |
| | Total | 12 | .574900 | .2189768 | .0632132 | .435769 | .714031 | .2525 | .8973 |
| Densidad | T1 | 3 | .958267 | .0001528 | .0000882 | .957887 | .958646 | .9581 | .9584 |
| | T2 | 3 | .908800 | .0001000 | .0000577 | .908552 | .909048 | .9087 | .9089 |
| | T3 | 3 | .928433 | .0001528 | .0000882 | .928054 | .928813 | .9283 | .9286 |
| | T4 | 3 | .936667 | .0001528 | .0000882 | .936287 | .937046 | .9365 | .9368 |
| | Total | 12 | .933042 | .0185256 | .0053479 | .921271 | .944812 | .9087 | .9584 |
| Índice de peróxidos | T1 | 3 | 10.45336 7 | .4541855 | .2622241 | 9.325107 | 11.58162 6 | 9.9850 | 10.8919 |
| | T2 | 3 | 12.31853 3 | .2878093 | .1661668 | 11.60357 5 | 13.03349 1 | 11.9862 | 12.4850 |
| | T3 | 3 | 12.65190 0 | .2874340 | .1659501 | 11.93787 4 | 13.36592 6 | 12.4856 | 12.9838 |
| | T4 | 3 | 9.990967 | .4990500 | .2881267 | 8.751258 | 11.23067 6 | 9.4919 | 10.4900 |
| | Total | 12 | 11.35369 2 | 1.2465655 | .3598525 | 10.56166 2 | 12.14572 2 | 9.4919 | 12.9838 |
| | T1 | 3 | 189.1322 33 | 1.0748886 | .6205872 | 186.4620 62 | 191.8024 05 | 188.1994 | 190.3077 |

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|-----------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| Índice de saponificación | T2 | 3 | 192.483500 | .6951497 | .4013449 | 190.756652 | 194.210348 | 191.7836 | 193.1738 |
| | T3 | 3 | 195.179467 | .7142056 | .4123468 | 193.405282 | 196.953652 | 194.4669 | 195.8953 |
| | T4 | 3 | 191.032767 | .6854557 | .3957480 | 189.330000 | 192.735533 | 190.3457 | 191.7166 |
| | Total | 12 | 191.956992 | 2.4068489 | .6947974 | 190.427753 | 193.486231 | 188.1994 | 195.8953 |

Anexo 5: análisis estadístico descriptivo de la torta proximal

| | | N | Media | Desviación típica | Error típico | Intervalo de confianza para la media al 95% | | Mín. | Máx. |
|-----------------|-------|----|-----------|-------------------|--------------|---|-----------------|---------|---------|
| | | | | | | Límite inferior | Límite superior | | |
| Humedad | T1 | 3 | 4.610000 | .2384848 | .1376893 | 4.017571 | 5.202429 | 4.3350 | 4.7600 |
| | T2 | 3 | 4.141667 | .5692612 | .3286631 | 2.727543 | 5.555790 | 3.6000 | 4.7350 |
| | T3 | 3 | 4.678333 | .2429163 | .1402478 | 4.074896 | 5.281771 | 4.4600 | 4.9400 |
| | T4 | 3 | 4.425000 | .1113553 | .0642910 | 4.148378 | 4.701622 | 4.3250 | 4.5450 |
| | Total | 12 | 4.463750 | .3596344 | .1038175 | 4.235249 | 4.692251 | 3.6000 | 4.9400 |
| Cenizas | T1 | 3 | 7.196667 | .1457166 | .0841295 | 6.834687 | 7.558647 | 7.0600 | 7.3500 |
| | T2 | 3 | 7.238333 | .2571154 | .1484457 | 6.599623 | 7.877043 | 7.0800 | 7.5350 |
| | T3 | 3 | 7.200000 | .6161777 | .3557504 | 5.669330 | 8.730670 | 6.8050 | 7.9100 |
| | T4 | 3 | 6.890000 | .7554469 | .4361575 | 5.013366 | 8.766634 | 6.4000 | 7.7600 |
| | Total | 12 | 7.131250 | .4584020 | .1323293 | 6.839995 | 7.422505 | 6.4000 | 7.9100 |
| Extracto etéreo | T1 | 3 | 14.188733 | 2.0918133 | 1.2077090 | 8.992381 | 19.385086 | 11.8722 | 15.9394 |
| | T2 | 3 | 11.997900 | 2.0920326 | 1.2078356 | 6.801003 | 17.194797 | 9.9196 | 14.1034 |
| | T3 | 3 | 15.007367 | .8737945 | .5044855 | 12.836741 | 17.177993 | 14.0004 | 15.5659 |
| | T4 | 3 | 14.727933 | .8678352 | .5010449 | 12.572111 | 16.883756 | 14.1966 | 15.7294 |
| | Total | 12 | 13.980483 | 1.8414274 | .5315743 | 12.810496 | 15.150470 | 9.9196 | 15.9394 |

| | | | | | | | | | |
|-----------|-------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| Proteínas | T1 | 3 | 50.633333 | 2.8018223 | 1.6176329 | 43.673221 | 57.593446 | 47.7750 | 53.3750 |
| | T2 | 3 | 52.791667 | .9950921 | .5745167 | 50.319721 | 55.263613 | 51.9750 | 53.9000 |
| | T3 | 3 | 49.583333 | .7891187 | .4555979 | 47.623054 | 51.543613 | 48.8250 | 50.4000 |
| | T4 | 3 | 52.266667 | 1.2899451 | .7447501 | 49.062265 | 55.471068 | 51.2750 | 53.7250 |
| | Total | 12 | 51.318750 | 1.9517511 | .5634220 | 50.078667 | 52.558833 | 47.7750 | 53.9000 |
| Fibra | T1 | 3 | 2.519033 | 2.3595539 | 1.3622891 | -3.342424 | 8.380490 | 1.0371 | 5.2400 |
| | T2 | 3 | 3.746300 | .4779484 | .2759436 | 2.559010 | 4.933590 | 3.2354 | 4.1825 |
| | T3 | 3 | 3.157933 | .1488845 | .0859585 | 2.788084 | 3.527783 | 2.9863 | 3.2523 |
| | T4 | 3 | 3.078133 | .3044687 | .1757851 | 2.321791 | 3.834476 | 2.8121 | 3.4102 |
| | Total | 12 | 3.125350 | 1.1318153 | .3267269 | 2.406229 | 3.844471 | 1.0371 | 5.2400 |

Anexo 6: Humedad del aceite de girasol extraído.

| Datos | Unidades | Tratamientos | | | |
|------------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 |
| W | G | 3.0007 | 3.0003 | 3.0008 | 3.0007 |
| W1 | G | 19.6779 | 20.4450 | 21.0983 | 20.1340 |
| W2 | G | 22.6773 | 23.4447 | 24.0982 | 23.1337 |
| % H | % | 0.0433 | 0.0200 | 0.0300 | 0.0333 |

Anexo 7. Índice de acidez del aceite de girasol extraído.

| Datos | Unidades | Tratamientos | | | |
|-------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 |
| W | G | 2.0008 | 2.0005 | 2.0010 | 2.0004 |
| VB | mL | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| VM | mL | 0.7 | 0.5 | 0.6 | 0.6 |
| I.A. | mg KOH/g | 0.8413 | 0.2805 | 0.5608 | 0.5610 |

Anexo 8: Densidad del aceite de girasol extraído.

| Datos | Unidades | Tratamientos (26 °c) | | | |
|----------------|----------|----------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 |
| Wa + Wp | G | 23.9841 | 19.8187 | 20.1509 | 21.2533 |
| Wp | G | 14.4016 | 10.7312 | 10.8654 | 11.8850 |
| Vp | mL | 10 | 10 | 10 | 10 |
| ρ | g/mL | 0.9583 | 0.9088 | 0.9286 | 0.9368 |

Anexo 9: Índice de peróxidos del aceite de girasol extraído.

| Datos | Unidades | Tratamientos | | | |
|-------------|------------------------|--------------|---------|---------|--------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 |
| W | g | 2.0030 | 2.0025 | 2.0023 | 2.0018 |
| V | mL | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.2 |
| I.P. | meq O ₂ /Kg | 9.9850 | 12.4844 | 12.4856 | 9.9910 |

Anexo 10: Índice de saponificación del aceite de girasol extraído.

| Datos | Unidades | Tratamientos | | | |
|-----------|----------|--------------|-------|-------|--------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 |
| W | g | 2.005 | 2.004 | 2.005 | 2.0046 |
| VB | mL | 19.95 | 19.95 | 19.95 | 19.95 |
| VM | mL | 6.500 | 6.200 | 6.000 | 6.300 |

| | | | | | |
|------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| SAP | mg KOH/g | 188.1994 | 192.4931 | 195.1762 | 191.0360 |
|------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|

Anexo 11: Humedad de la torta de girasol.

| Datos | Unidades | Tratamientos | | | |
|--------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 |
| W1 | G | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 |
| W0 | G | 53.1358 | 54.477 | 52.618 | 59.1231 |
| W2 | G | 55.0411 | 56.3818 | 54.5313 | 61.0413 |
| % H | % | 4.7350 | 4.7600 | 4.3350 | 4.0900 |

Anexo 12: Cenizas de la torta de girasol.

| Datos | Unidades | Tratamientos | | | |
|----------------|-----------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 |
| W1 | G | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 |
| W0 | G | 31.8691 | 30.2114 | 32.2410 | 30.3223 |
| W2 | G | 32.0161 | 30.3550 | 32.3822 | 30.4730 |
| cenizas | % | 7.3500 | 7.1800 | 7.0600 | 7.5350 |

Anexo 13: Extracto etéreo de la torta de girasol.

| Datos | Unidades | Tratamientos | | | |
|---------------|----------|--------------|----------|----------|----------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 |
| m5 | G | 163.9356 | 133.2308 | 133.2481 | 153.2011 |
| m4 | G | 2.8175 | 2.8703 | 2.8232 | 2.8237 |
| m6 | G | 164.2701 | 133.6543 | 133.6981 | 153.4812 |
| Grasas | % | 11.8722 | 14.7546 | 15.9394 | 9.9196 |

Anexo 14: Proteínas de la torta de girasol.

| Datos | Unidades | Tratamientos | | | |
|-----------|----------|--------------|-------|-------|-------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 |
| W | G | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| VB | mL | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| VM | mL | 31.0 | 27.8 | 29.5 | 30.5 |
| Nitrógeno | % | 8.540 | 7.644 | 8.120 | 8.400 |
| Proteínas | % | 53.38 | 47.78 | 50.75 | 52.50 |

Anexo 15: Contenidos de fibra de la torta de girasol.

| Trat. | W. Muestra | W. Filtro | W. M+ PF +CAP (seco) | W. CAP + M | W. CAP + ceniza | DIF x 100 | % fibra bruta |
|-----------|------------|-----------|----------------------|------------|-----------------|-----------|---------------|
| T1 | 1 | 1.0439 | 31.1003 | 30.0564 | 29.0193 | 1.0371 | 1.04 |
| T2 | 1 | 1.0101 | 33.6806 | 32.6705 | 32.6181 | 5.24 | 5.24 |
| T3 | 1 | 1.0068 | 32.9107 | 31.9039 | 31.8911 | 1.28 | 1.28 |
| T4 | 1 | 1.0038 | 28.516 | 27.5122 | 27.4841 | 2.81 | 2.81 |

Anexo 16: ácidos grasos extraídos en los cuatro tratamientos

| Ácidos grasos | Tipo | Formula | Tratamientos | | | |
|---------------------------|------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | T1 | T2 | T3 | T4 |
| Ácido octanoico | S | C ₈ H ₁₆ O ₂ | nd | nd | nd | nd |
| Ácido decanoico | S | C ₁₀ H ₂₀ O ₂ | nd | nd | nd | nd |
| Ácido dodecanoico | S | C ₁₂ H ₂₄ O ₂ | nd | nd | nd | nd |
| Ácido tetradecanoico | S | C ₁₄ H ₂₈ O ₂ | 0.023 | 0.024 | 0.024 | 0.023 |
| Ácido undecanoico | S | C ₁₁ H ₂₂ O ₂ | nd | nd | nd | nd |
| Ácido miristoleico | I | C ₁₄ H ₂₆ O ₂ - 14:1:Δ9 | 0.017 | 0.017 | 0.018 | 0.017 |
| Ácido tridecanoico | S | C ₁₃ H ₂₆ O ₂ | nd | nd | nd | nd |
| Ácido pentadecanoico | S | C ₁₅ H ₃₀ O ₂ | 0.012 | 0.013 | 0.013 | 0.012 |
| Ácido palmitoleico | I | C ₁₆ H ₃₀ O ₂ 16:1:Δ9 | 0.088 | 0.094 | 0.099 | 0.089 |
| ácido heptadecenoico | S | C ₁₇ H ₃₂ O ₂ - 17:1: Δ10 | 0.079 | 0.082 | 0.073 | 0.087 |
| ácido hexadecanoico | S | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 3.101 | 3.177 | 3.169 | 3.076 |
| ácido heptadecanoico | S | C ₁₇ H ₃₄ O ₂ | 0.233 | 0.258 | 0.242 | 0.269 |
| ácido oleico | I | C ₁₈ H ₃₄ O ₂ 18:1:Δ9 | 28.745 | 28.778 | 29.401 | 28.445 |
| ácido octadecanoico | S | C ₁₈ H ₃₆ O ₂ | 2.388 | 2.397 | 2.458 | 2.323 |
| ácido gamma linolénico | I | C ₁₈ H ₃₀ O ₂ 16:3:Δ6,9,12 | nd | nd | nd | Nd |
| ácido linoleico | I | C ₁₈ H ₃₂ O ₂ - 18:2:Δ9,12 | 14.202 | 14.194 | 14.665 | 14.218 |
| ácido eicosanoico | S | C ₂₀ H ₄₀ O ₂ | nd | nd | nd | Nd |
| ácido docosanoico | S | C ₂₂ H ₄₄ O ₂ | 0.621 | 0.683 | 0.564 | 0.568 |
| ácido lignocérico | S | C ₂₄ H ₄₈ O ₂ | 0.440 | 0.450 | 0.419 | 0.397 |
| ácido araquidónico | I | C ₂₀ H ₃₂ O ₂ - 20:4: Δ5,8,11,14 | 0.047 | 0.047 | 0.048 | 0.048 |
| ácido eicosadienoico | I | C ₂₀ H ₃₆ O ₂ - 20:2: Δ11,14 | nd | nd | nd | Nd |
| ácido eicosenónico | S | C ₂₀ H ₃₈ O ₂ - 20:1: Δ11 | 0.339 | 0.388 | 0.282 | 2.973 |
| ácido heneicosanoico | S | C ₂₁ H ₄₂ O ₂ | 0.005 | 0.011 | 0.007 | 0.005 |
| ácido carbónico | | H ₂ CO ₃ | nd | nd | nd | Nd |