

Variantes en la neutralización del aceite.

**Experimentación de
propuestas ecológicas**

José Antonio Legua Cárdenas

Yasmin Jesús Vélez Chang

Dante Daniel Cruz Nieto

CIDE
EDITORIAL



VARIANTES EN LA NEUTRALIZACIÓN DEL ACEITE

Experimentación de propuestas ecológicas

VARIANTES EN LA NEUTRALIZACIÓN DEL ACEITE

Experimentación de propuestas ecológicas

Autores

José Antonio Legua Cárdenas

Yasmin Jesús Vélez Chang

Dante Daniel Cruz Nieto

Variantes en la neutralización del aceite. Experimentación de propuestas ecológicas

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquiera otro, sin la autorización previa por escrito al Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador (CIDE).

DERECHOS RESERVADOS

Copyright © 2022
Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador
Guayaquil, Ecuador
Tel.: + (593) 04 2037524
<http://www.cidecuador.com>

ISBN: 978-9942-616-12-8

Impreso y hecho en Ecuador

Dirección editorial: Lic. Pedro Misacc Naranjo, M.Sc.,
Coordinación técnica: Lic. María J. Delgado
Diseño gráfico: Lic. Danissa Colmenares
Diagramación: Lic. Alba Gil
Fecha de publicación: diciembre, 2022



CIDE
EDITORIAL

Ecuador - Guayaquil

**La presente obra fue evaluada por pares académicos
experimentados en el área**

Catalogación en la fuente

Variantes en la neutralización del aceite. Experimentación de propuestas ecológicas / José Antonio Legua Cárdenas, Yasmin Jesús Vélez Chang y Dante Daniel Cruz Nieto. -- Ecuador: Editorial CIDE, 2022

90 p.: incluye tablas; 21 x 29, 7 cm.

ISBN: 978-9942-616-12-8

1. Agronomía 2. Ingeniería Industrial

JOSÉ ANTONIO LEGUA CÁRDENAS

Ingeniero Químico, Docente nombrado de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica (FIQyM) de la Universidad “José Faustino Sánchez Carrión” (UNJFSC) de Huacho. Calificado como Investigador RENACYT por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC). Con Doctorado en Ingeniería, Maestría en Gestión Ambiental en la Universidad Nacional Federico Villarreal, Ex-Vicerrector de Investigación de la UNJFSC y Ex-Decano de la FIQyM de la UNJFSC.

YASMIN JESÚS VÉLEZ CHANG

Ingeniero Químico, Docente nombrado de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica (FIQyM) de la “Universidad José Faustino Sánchez Carrión” (UNJFSC) de Huacho. Con Maestría en Ecología y Gestión Ambiental, estudios culminados de Doctorado en Ciencias Ambientales en la UNJFSC.

DANTE DANIEL CRUZ NIETO

Ingeniero Agrónomo, Docente contratado de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica (FIQyM) de la Universidad “José Faustino Sánchez Carrión” (UNJFSC) de Huacho. Con MAESTRÍA en Ecología y Gestión Ambiental, estudios culminados de Doctorado en Ciencias Ambientales en la UNJFSC.



DEDICATORIA

A nuestras familias por su tolerancia, participación y valioso apoyo.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión por brindarnos la oportunidad de desarrollarnos profesionalmente y por su contribución a la presente edición.

A las valiosas y desinteresadas opiniones de nuestros compañeros docentes y por el aliento e inquietud de obtener más conocimientos de nuestros estudiantes.

Semblanza de los autores	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Prólogo	10

Capítulo 1

**Variante de agente neutralizante en la refinación del aceite de soya (*Glycine max* L.)
para mitigar la contaminación ambiental**

Resumen	16
Introducción	17
Materiales y métodos.....	19
Resultados y Discusión	20
Conclusiones	29
Referencias	30

Capítulo 2

**Biodegradación de residuos de filtro prensa de la industria aceitera para la fertilización
del cultivo Rabanito (*Raphanus sativus* L.)**

Resumen	33
Introducción	34
Materiales y Métodos	36
Resultados y Discusión.....	38
Conclusiones	42
Referencias	43

Capítulo 3

**Neutralización con KOH del aceite de pescado para la obtención de un efluente
fertilizante**

Resumen	46
Introducción	47
Materiales y Métodos	49
Resultados y Discusión	51
Conclusiones	59
Referencias	59

Capítulo 4
Densidad estomática de arveja (*Pisum sativum* L.) por microscopía electrónica de barrido en relación al rendimiento

Resumen	62
Introducción	63
Materiales y Métodos	65
Resultados y Discusión.....	69
Conclusiones	77
Referencias	77

Capítulo 5
Propuesta de variantes para la refinación del aceite de pescado para obtener un efluente con propiedades fertilizantes

Resumen	81
Introducción	82
Materiales y Métodos	84
Resultados y Discusión.....	85
Conclusiones	88
Referencias	89

Impulsados por muchas inquietudes al elaborar el presente trabajo, con el objetivo de aportar en la medida de lo posible un tema que requiere al margen de la evidencia científica el consenso del empresariado de la industria aceitera con la autoridad política a nivel regional y/o local para tomar acuerdos que procuren beneficios al medio ambiente y también para la empresa.

Capítulo 1

De la experiencia adquirida en la empresa industria aceitera Industrial Alpamayo S.A, de Lima-Perú, se obtuvo la información necesaria para poder elaborar este primer trabajo de investigación, donde se propone la variante de agente neutralizante para la refinación del aceite de soya, que presenta una acidez libre no apta para poder continuar el proceso de purificación que se desarrolla y completar todas la etapas de procesamiento del aceite para obtener un aceite de calidad para consumo humano.

En este capítulo se hace saber el problema de la escasez del agua, así también su pérdida como aguas residuales que acontece en la actividad de la industria aceitera en la etapa de refinación del aceite. Por otro lado se observa en este capítulo, que a nivel industrial se tiene por objetivo principal la obtención de mayor rentabilidad en sus actividades productivas sin tener en cuenta en muchos casos, las consecuencias ambientales de su producción por lo que no se diseñan cambios tecnológicos o variación de insumos químicos para obtener efluentes de menor impacto ambiental por el criterio de adquirir insumos de menor costo; al respecto se tiene la alternativa de adquirir un agente neutralizante de mayor costo respecto al que se usa en la actualidad, pero a cambio se obtiene una agua residual con propiedades fertilizantes mejorables, en lugar de producir una agua residual contaminante.

En la discusión de resultados se observa otras ventajas que se logran al cambiar de agente neutralizante; en este sentido, las pruebas realizadas a nivel de laboratorio se verificó una ventaja porcentual de presencia de jabón libre para el aceite refinado con KOH con respecto al aceite desacidificado con NaOH para una misma cantidad de agua de lavado utilizada. En el caso de pérdida de aceite neutro, se encontró un exceso porcentual en el caso del aceite donde se utilizó hidróxido de sodio con respecto a la pérdida de aceite neutro presentada en la neutralización del aceite con KOH; para ambas pruebas se verificó mayor eficiencia en la utilización del KOH que se refleja en la obtención de un aceite de mayor calidad que facilitará la siguiente etapa de purificación del aceite que es el blanqueado del mismo.

Capítulo 2

Se revisa la siguiente operación del tratamiento de refinación del aceite que es la operación del blanqueado o decoloración del aceite, donde las fábricas de aceites comestibles de aceite de soya y de pescado utilizan en el procesamiento del aceite crudo. En el blanqueado del aceite se separa los componentes que dan color, olor no deseables al aceite, se utiliza la tierra de blanqueo, la misma es una arcilla ácido activada con propiedades adsorbentes, y se le combina según los criterios tecnológicos de las empresas aceiteras, con ayuda filtrante, carbón activado entre otros, para complementar las propiedades adsorbentes de la arcilla; estos productos son los que van a formar la torta que queda retenida en el filtro prensa de marcos y placas, para producir el aceite blanqueado.

El residuo sólido que se produce en el filtro prensa, generalmente es desechado al medio ambiente; se están ensayando diversas investigaciones para dar uso a este material, uno de ellos es el motivo de la presente investigación, donde se le somete a compostaje previo tratamiento de reducción de tamaño de la torta en trozos que resulta de su remoción del filtro prensa.

En este trabajo se observa que los residuos de tierras de blanqueo son sometidos a degradación por periodos de tiempo superiores a los tiempos promedio de compostaje por la presencia de aceites en las tierras de blanqueo. Se concluye que a mayor dosis que se aplica a un cultivo tipo hortaliza se obtiene mayor rendimiento y mejores características físicas de la planta. Para completar el aporte de macronutrientes y micronutrientes de la planta, en este estudio, se le mezcló al compost obtenido con guanos de cuy y rastrojos.

Capítulo 3

En este tercer capítulo se trata nuevamente el tema de la refinación del aceite, pero esta vez es la neutralización de acidez libre del aceite de pescado con hidróxido de potasio y realizar los lavados del aceite y neutralizar la acidez de estas aguas con hidróxido de amonio, para obtener una solución con propiedades fertilizantes.

En este trabajo se hace un estudio estadístico más riguroso en la evaluación de la respuesta de la planta ante la aplicación del fertilizante obtenido para mostrar las propiedades fertilizantes de esta solución conseguida que se aplicó vía foliar al cultivo rabanito, para ello se realizó la experimentación en campo se hizo la instalación utilizando el Diseño de Bloques Completamente Aleatorio, con cinco tratamientos.

Se concluye que al realizar el cambio de agente neutralizante en la refinación de una muestra de aceite de pescado no se apreciaron dificultades en el lavado del aceite para su remoción de restos de KOH de la masa de aceite, por otro lado, en el lavado del aceite neutralizado con KOH se aplica químicos al efluente resultante para mejorar las propiedades como fertilizante de la solución resultante. Así también se verificó una mayor concentración de macronutrientes y micronutrientes en las aguas mezcla final o efluentes, cuando se utiliza el agente neutralizante KOH al contrastarlo con los obtenidos al utilizar el NaOH. Finalmente, las características físicas del cultivo rabanito correspondientes al tratamiento con mayor dosis fertilizante, son mejores en calidad y rendimiento por hectárea, con respecto al tratamiento testigo.

Capítulo 4

En el capítulo 1, casi no se toma en cuenta el desarrollar un trabajo de campo experimental bajo los criterios estándares agronómicos, para luego aplicar un análisis estadístico de rigor, pero si profundiza sobre las características físico químicas del aceite neutralizado y de las aguas de lavado resultantes al utilizar el agente neutralizante KOH en lugar del NaOH que se utiliza actualmente. En el Capítulo 2, si se aplica las técnicas estándares de diseño experimentales y su posterior análisis de varianza (ANOVA), que determinará si existen diferencias estadísticas entre los tratamientos y finalmente para la comparación de medias y así definir el mejor tratamiento.

También se tiene en consideración el análisis de suelo, agua y el análisis químico foliar para desarrollar un balance de los macronutrientes y micronutrientes para poder explicar y dar sustento a los resultados acontecidos en las plantas que se les aplicó vía foliar, tratamientos con diferentes dosis de fertilizante recuperado de la industria aceitera. Se realiza la investigación para determinar que distanciamiento de siembra y que dosis de nitrógeno es adecuado para obtener mayor rendimiento y calidad de grano en un cultivo.

Se concluye que a una mayor dosis de nitrógeno y mayor distanciamiento entre planta son favorable para incrementar el rendimiento del cultivo de arveja, asimismo que, mediante análisis de microscopía, se determinó que el tratamiento de mayor dosis obtuvo mayor número de estomas por mm^2 .

Capítulo 5

En este apartado se actualiza la información que se presenta en el capítulo 1, donde se detalla más las características del aceite neutralizado, en lo referente al efluente obtenido, sus resultados y aplicación no se tratan conforme a los requerimientos y técnicas agronómicas, que se muestran en las pruebas de respuesta de los cultivos aplicados con dosis de tratamiento, no tiene referencia bibliográfica y tampoco se utiliza la experiencia de los agricultores que aplican dosis estandarizadas durante muchos años.

En este trabajo de investigación se experimenta a partir del aceite soya sin refinar y tampoco desgomado.

Asi mismo, en este capítulo se hace un trabajo previo al desarrollado en el capítulo 3, donde se realiza la investigación con mayor rigor científico, enfocándose más al efluente tratado con KOH, se hacen nuevos análisis de las soluciones obtenidas al neutralizar con NaOH y KOH, por otro lado al desarrollar las pruebas de desarrollo vegetativo en este caso solamente se utilizó el cultivo rabanito, se utiliza el modelo estadístico de Diseño de Bloque Completamente al Azar con 5 tratamientos y 3 bloques y se procesó los datos con Análisis de Varianza y la Prueba de Duncan.

Capítulo 1

Variante de agente neutralizante en la refinación del aceite de soya (*Glycine max L. Merrill*) para mitigar la contaminación ambiental

Capítulo 1

Variante de agente neutralizante en la refinación del aceite de soya (*Glycine max* L. Merrill) para mitigar la contaminación ambiental

Resumen

La actividad fabril de aceites comestibles en una de sus etapas de procesamiento, que es la refinación del aceite, se genera aproximadamente el 20% del volumen de aceite tratado como aguas residuales que se vierten al sistema de alcantarillado que producen impactos ambientales negativos a los cuerpos de agua. La presente investigación tiene por finalidad reducir la contaminación ambiental antes descrita con la propuesta de variantes en la neutralización del aceite de soya (*Glycine max* L. Merrill); para tal propósito se realizó a escala laboratorio, la neutralización con hidróxido de potasio en lugar del hidróxido de sodio, que se utiliza en la actualidad. Con esta variante en el proceso de purificación del aceite de soya se elimina el efluente contaminante que se vierte a la red pública, esta realidad adversa para el ambiente se revertió en algo favorable al cambiar el agente neutralizante por el hidróxido de potasio, y complementar con un tratamiento fisicoquímico al efluente, obteniéndose un fertilizante líquido que se puede aprovechar por su aporte con macro y micronutrientes para cultivos, mejorando su desarrollo fisiológico; otras ventajas que se obtienen son el tener un aceite de soya para uso comestible de mejor calidad al salir de esta etapa de refinación y el uso de menor cantidad de agua tratada y de arcilla ácido-activada para la decoloración del aceite. Este último resultado da lugar a que se tendría menos cantidad de residuo sólido, que la empresa tiene que gestionar servicios por terceros para su disposición final.

Palabras clave: contaminación ambiental, neutralización de aceite, fertilizante líquido

Introducción

En la actualidad existe una gran preocupación en el cuidado del uso óptimo del agua, pues este recurso tiende a ser escaso y su costo a incrementarse por otro lado; el vertimiento indiscriminado de aguas residuales al sistema de alcantarilla y posterior recepción y contaminación de los cuerpos de agua es parte de las políticas públicas, evitar esta contaminación por los diversos impactos que ocasiona al medio ambiente.

Existe, además, una amplia gama de usos del agua, cada uno de los cuales tiene requisitos específicos que cumplir, por lo que en el país existen legislaciones y normas que regulan el vertimiento de residuales. Varios de estos documentos abordan el tema y su incidencia en la calidad de las aguas; tal es el caso de la Ley 81 que en su Artículo 95 establece la necesidad del tratamiento de las aguas residuales antes de ser vertidas al medio (Gaceta oficial de la República de Cuba, 1997; citado por Sánchez y Arias 2018, p. 3).

Ahora bien, las empresas aceiteras que refinan el aceite de pescado y soya principalmente, en su etapa de procesamiento de purificación del aceite, específicamente en la refinación, deberían de realizar los cambios necesarios para reducir la carga contaminante de sus efluentes y generación de residuos sólidos.

En este sentido, la Empresa Refinadora de Aceite (ERASOL) se ubica en zona industrial, en la Carretera de Mar Verde km 4 ½, al oeste de la ciudad de Santiago de Cuba y según Decreto Ley 212, se considera dentro de la zona costera. La misma genera por su proceso productivo, una carga contaminante biológica sumamente elevada. Con la descarga de estos residuales líquidos al medio por la refinadora, se viola la norma de vertimiento de aguas residuales vigente (Gaceta oficial de la República de Cuba, 1997; citado por Sánchez y Arias 2018, p. 3).

A nivel industrial se tiene por objetivo principal la obtención de mayor rentabilidad en sus actividades productivas, sin tener en cuenta en muchos casos las consecuencias ambientales de su producción, por lo que no se diseñan cambios tecnológicos o variación de insumos químicos para obtener efluentes de menor impacto ambiental por el criterio de adquirir insumos de menor costo.

Reyes et al. (2006) sostuvieron:

Es generalmente aceptado que la actividad industrial es la principal responsable de las emisiones atmosféricas, la producción de los desechos peligrosos, la generación de efluentes líquidos, así como de producir contaminación térmica y sónica. Siendo el hombre el principal modificador de su entorno, es necesario generar en él una actitud responsable respecto al tema de la contaminación. (p.1)

En la presente investigación se hace una variación de un insumo químico a fin obtener un efluente menos contaminante para el medio ambiente con propósito de reutilizarlo como fertilizante. Álvarez et al. (2006) indicaron: “La reutilización de las aguas residuales en la agricultura es una forma de reciclar el agua y de purificar los nutrientes” (p.15).

En esa línea de investigación, Passarini et al. (2012) afirmaron: “También, este reúso permite reducir los impactos ambientales a los componentes del agua y al suelo en todo el mundo. Se ha estimado que, el 18% de las tierras aptas para la agricultura son irrigadas con aguas residuales” (p. 58). Actualmente, la inadecuada disposición de los efluentes de la industria es uno de los mayores problemas que las autoridades estatales deben afrontar, pues ocasionan efectos negativos en la salud, suelo, subsuelo y red alcantarillado, debido principalmente a los insumos utilizados en los procesos.

Materiales y métodos

La metodología de trabajo consistió en la evaluación c o m p a r a t i v a de las dos alternativas de refinación de aceite utilizando el agente hidróxido de sodio y el hidróxido de potasio; al aceite refinado resultante de esta etapa, pasa luego por la prueba posterior de blanqueado del aceite. Del aceite refinado, se toma muestras de aceite para el análisis físico-químico comparativo de los aceites refinados con ambas opciones de refinación. Por otro lado, también se realizó el análisis químico de efluentes líquidos de la refinación del aceite, para comparar sus contenidos químicos.

La evaluación de las alternativas de refinación con sus respectivos análisis físico-químico comparativos del aceite de soya consistieron en realizar las pruebas de laboratorio con el propósito de evaluar el parámetro de interés en forma paralela para ambas alternativas, se han utilizado las mismas condiciones de trabajo en cada prueba.

Estas pruebas de laboratorio consistieron en la preparación de las muestras para el ensayo de refinación, pruebas de análisis y pruebas de blanqueado del aceite, pruebas de análisis por instrumentación y pruebas de respuesta de la planta (con tres repeticiones) con el fertilizante líquido obtenido, realizadas en las siguientes instituciones:

Unidad de Servicio de Análisis Químicos (USAQ) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM); Centro de investigación y Capacitación Hortícola "Kiyotada Miyagawa"-Huaral; Laboratorio de la Empresa Aceitera donde se realiza parte del trabajo de investigación y, en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional "José Faustino Sánchez Carrión" de Huacho. También se realizaron consultas y se solicitó asesoría en las instituciones mencionadas y en otras tales como: Servicio

Nacional de Sanidad Agraria (SENASA); Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA); Sociedad Peruana de Derecho Ambiental y de la Dirección General de Protección Ambiental de la Municipalidad Provincial del Callao.

Del aceite refinado (con NaOH y KOH) y blanqueado, se tomaron muestras y se realizaron los siguientes análisis químicos: Fósforo como P_2O_5 magnesio y calcio. Se realizaron pruebas de respuesta de la planta con los cultivos de rabanito, lechuga y acelga utilizando el fertilizante obtenido donde se llevó a contrastación los sustratos fertilizados con soluciones nutrientes a diferente relación dilución incluyendo el sustrato con el cultivo testigo (sin fertilización); en todos lo sustratos se siembra las semillas de los cultivos a experimentar su germinación y desarrollo vegetativo. La respuesta de las plantas rabanito, lechuga y acelga es evidentemente favorable en los medios de cultivo que fueron fertilizados mas no así en el medio de cultivo testigo.

Resultados y discusión

Los resultados del análisis químico y balance de materia de los aceites refinados y blanqueados realizados en el Laboratorio de la Fábrica de Aceite se presentan en las tablas 1, 2 y 7.

Se tuvieron los siguientes resultados:

1) análisis químico de los aceites refinados y blanqueados y del agua de lavado del aceite tratada realizados en el Laboratorio de Análisis Químico de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, se presentan en las Tablas 3 y 4; 2) análisis físico químico del agua de lavado de aceite tratado y del agua de lavado sin tratar o efluente realizados en el Centro Experimental de Investigación y Capacitación Hortícola del Instituto

Nacional de Investigación Agraria (INIA) Huaral, se muestran en las Tablas 5 y 6; 3) estudio experimental de Evaluación de la Respuesta de la Planta con el fertilizante obtenido con diferentes tratamientos se presentan en las Tablas 8, 9 y 10.

En la Tabla 1 se observa un mayor contenido porcentual en 7,14% de presencia de jabón libre al refinar con NaOH con respecto cuando se utilizó KOH para el mismo fin, con una misma cantidad de agua de lavado utilizada correspondiente a 1750 mL, la cual resulta mucho mayor a la que se opera industrialmente a nivel de planta en procesos discontinuos, en este caso se utiliza agua en un 50% del peso de aceite a refinar pudiendo ser menos, si se utiliza para la depuración, agua de lavado con la tierra adsorbadora y sílica gel, dependiendo esta decisión de la empresa. En cualquiera de los casos se va obtener un ahorro de agua tratada para el lavado, o también disminuir los consumos de insumos químicos.

Tabla 1
Aceite refinado con hidróxido de sodio y potasio

Aceite refinado con solución de:	Jabón libre en el aceite refinado (ppm)	Pérdida de aceite neutro (%)
NaOH	17,06	11,25
KOH	9,92	9,0

Nota. Laboratorio de Empresa aceitera

Tabla 2
Aceite refinado y blanqueado

	Color Rojo Lovibond	Color Amarillo Lovibond
Aceite refinado con solución de NaOH	3,5	30
Aceite refinado con solución de KOH	3,1	30

Nota. Laboratorio de Empresa aceitera

Tabla 3

Resultado de análisis químico de aceite refinado y blanqueado

	Mg (ppm)	Ca (ppm)	P ₂ O ₅ (ppm)
Aceite neutralizado con KOH y blanqueado	0,15	1,16	0
Aceite neutralizado con NaOH y blanqueado	0,17	0,66	0

Nota. Laboratorio de USAQ de UNMSM

Tabla 4

Agua de lavado de aceite y ácido y graso (Procedente de neutralización con KOH y NaOH)

Propiedades	Agua "A" (%)	Agua "B" (%)
Fósforo como P ₂ O ₅	0,03	1,32
Potasio como K ₂ O	0,065	0,04
Nitrógeno como N ₂	0,89	0,14

Nota. Laboratorio de USAQ de UNMSM

Tabla 5

Análisis de agua tratada procedente de la neutralización de aceite de soya con KOH

Determinaciones	Agua de lavado de aceite de soya
C.E. mS/cm a 25° c	132,00
pH	8,80
Ca ⁺⁺ mEq/L	0,61
Mg ⁺⁺ mEq/L	2,31
Na ⁺ mEq/L	68,26
K ⁺ mEq/L	323,49
CO ₃ mEq/L	11,20
HCO ₃ mEq/L	60,00
Cl mEq/L	18,00
SO ₄ = mEq/L	305,47

Determinaciones	Agua de lavado de aceite de soya
N-NH ₄ %	2,28
N-NH ₃ %	0,04
B ppm	1,85
Fe ppm	2,82
Zn ppm	0,97
Cu ppm	0,15

Nota. Laboratorio de INIA. Huaral

Tabla 6

Análisis de agua tratada procedente de la neutralización del aceite con KOH

Determinaciones	Agua de lavado de aceite de soya
C.E. mS/ cm a 25°C	132,00
Na ⁺ (ppm)	4,20
K ⁺ (ppm)	215,44

Nota. Laboratorio de INIA. Huaral

Tabla 7

Análisis de efluentes acuoso resultante del tratamiento de refinación con NaOH

Determinaciones	Efluente acuoso
Sólidos suspendidos sedimentables	30-35 mg/L
Grasas	200-300 mg/L
Demanda Bioquímica de oxígeno(5 días a 20°C)	3000-3500 ppm
Temperatura	50 - 60° C
pH	9,0 - 11,0
Na ⁺ mEq/L	642,16
K ⁺ mEq/L	5,62

Nota. Laboratorio de empresa aceitera

Tabla 8

Evaluación de crecimiento y desarrollo del rabanito (Raphanus sativus L.)

Muestra de rabanito	Relación de dilución	Altura de la planta (cm)	Peso fresco de hojas y tallos (g)	Peso fresco de raíces (g)
M1	1:22	6,90	1,90	0,15
M2	1:22	9,80	6,60	3,90
M13	1:44	7,50	4,70	2,50
M14	1:44	6,60	3,80	3,00
M25	1:88	9,50	4,90	2,10
M26	1:88	12,0	5,0	2,50
M37	1:176	9,60	2,10	0,80
M38	1:176	7,50	1,85	0,13
M49 (Testigo)	sin fertilizante	7,80	0,50	0,50
M50 (Testigo)	sin fertilizante	6,90	1,50	2,10

Nota: Los resultados correspondientes de las muestras M son promedio de tres repeticiones y su notación es diferente por tener diferente relación de dilución. **Fuente:** Laboratorio de Ing. Química de Universidad Nac. de Huacho

Tabla 9

Evaluación de crecimiento y desarrollo de la lechuga (Lactuca sativa L.)

Número muestra de lechuga	Relación de dilución	Altura de la planta (cm)	Peso fresco de hojas y tallos (g)	Peso fresco de raíces (g)
M9	1:22	10,10	6,20	0,25
M10	1:22	13,40	6,80	3,90
M21	1:44	10,0	4,70	2,50
M22	1:44	11,50	5,50	3,0
M33	1:88	12,0	8,90	2,10
M34	1:88	11,0	3,70	2,50
M35	1:176	9,0	3,70	0,80
M45	1:176	9,0	2,60	0,13
M46	1:176	11,50	3,50	8,60
M57 (testigo)	Sin fertilizante	-	-	-
M58 (testigo)	Sin fertilizante	8,0	2,30	0,90

Nota. Laboratorio de Ing. Química de Universidad Nacional de Huacho

Tabla 10

Evaluación de crecimiento y desarrollo de la acelga (Beta vulgaris var. cicla)

Muestra de acelga	Relación de dilución	Altura de la planta(cm)	Peso fresco de hojas y tallos(g)	Peso fresco de raíces(g)
M5	1:22	13,0	4,5	2,50
M6	1:22	18,0	13,0	7,50
M17	1:44	14,0	4,70	7,0
M18	1:44	16,0	5,50	3,10
M29	1:88	13,0	3,80	1,80
M30	1:88	18,0	5,30	2,0
M41	1:176	11,0	3,70	1,10
M42	1:176	13,0	5,50	1,20
M53 (testigo)	Sin fertilizante	11,0	5,80	1,50
M54 (testigo)	Sin fertilizante	14,0	8,90	2,0

Nota. Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión-Huacho

Tabla 11

Análisis de la conductividad eléctrica de las soluciones fertilizantes diluidas

Relación de dilución (Volumen de solución fertilizante/volumen de agua)	Conductividad eléctrica mS/cm a °25 C
1:22	13,80
1:44	8,10
1:88	5,20
1:176	3,80

Nota. Laboratorio de INIA- Huaral

En el caso de pérdida de aceite neutro se encontró un exceso porcentual de 2,25% cuando se refinó con hidróxido de sodio con respecto a la merma si se utiliza como agente neutralizante al hidróxido de potasio; para ambas pruebas se verificó mayor eficiencia en la utilización del KOH que se refleja en la obtención de un aceite de mayor calidad y con menor pérdida de aceite. Esta última ventaja de la neutralización del aceite de soya con KOH se podría explicar por la menor oclusión (atrapamiento de aceite neutro entre los flóculos de jabón) de aceite

neutro que sucede por la formación de flóculos más grandes y más pesados que se justifica por la diferencia de peso molecular; en esta refinación y no así en la misma operación con NaOH donde los flóculos de borra (jabón de soya) son más pequeños dando lugar a una mayor área superficial de estos y por tanto, mayor arrastre y oclusión de aceite neutro, aparte de la mayor reactividad del NaOH respecto al KOH, lo que ocasiona también que el NaOH reaccione con aceite neutro siendo este efecto minimizado o grave según como se conduzca la neutralización.

Por otro lado, en el lavado de los aceites refinados con agua desionizada caliente, que si bien se utilizó cantidades iguales de agua caliente para realizar la operación de lavado, se observó para el caso de la refinación del aceite de soya con KOH, una rápida formación de flóculos de jabón que precipitaban fácilmente y otros flóculos de jabón se mantenían flotantes en la masa del aceite ; en el caso de la refinación del aceite con NaOH, este problema se desarrolló con más tiempo respecto a la refinación anterior, y las formaciones coloidales de jabón fueron más pequeños y los que se mantuvieron flotantes constituían un porcentaje mayor al observado en la refinación con la que se está contrastando. De esta observación se deduce fácilmente que, para la eliminación de flóculos de jabón flotantes en el aceite y los restos de jabón dispersos en toda la masa de aceite refinado, la operación de lavado para el caso de la neutralización del aceite con KOH va a ser más eficaz y se va a requerir menos agua caliente respecto a la desacidificación con NaOH. Esta deducción se sostiene en la diferencia significativa de presencia de restos jabón libre presentes en los aceites refinados con los agentes neutralizantes que se está comparando, y se muestra en la Tabla 1, también por el hecho de que se utilizó más agua de la requerida en el lavado del aceite refinado con KOH, pues ya en el quinto lavado se había eliminado todo el jabón visible en el aceite.

No se encontró presencia de fósforo en el aceite, debido al eficiente desgomado, refinado y blanqueado realizados y por la naturaleza particular y ocasional del aceite crudo del aceite de soya utilizado.

Respecto al color final, tal como se ilustra en la Tabla 2, se consiguió un mejor resultado en el color rojo Lovibond con el aceite neutralizado con hidróxido de potasio respecto a la alternativa actual de neutralización, lo cual nos da indicación que se ahorraría tierra arcillo activada para el blanqueo del aceite y por consiguiente también se produciría menos residuo sólido en los filtros prensa que se arroja al medio ambiente. Respecto al color amarillo Lovibond, los niveles de este color son poco relevantes en razón a que esta fuente de color amarillo es eliminada totalmente por la corriente de vapor directo en la etapa de deodorización en el procesamiento del aceite de soya.

En la Tabla 3, cuando se refinan con los agentes neutralizantes se aprecian contenidos comparables en el elemento químico magnesio y un mayor contenido del elemento químico calcio para el aceite refinado con KOH ya que es una desventaja desde el punto de vista de calidad del aceite, específicamente en el sabor insípido que debe tener el aceite final el cual se vería afectado por presencia del elemento químico Ca y/o Mg en el aceite, aunque desde el punto de vista nutricional, puede ser ventajoso.

Es importante señalar que los resultados obtenidos a nivel laboratorio para las pruebas de refinación con ambos agentes neutralizantes y su posterior operación de decoloración con tierra arcilla ácido activada, se ha conseguido mermas y rendimientos que van a diferir obviamente de los que resultan a nivel de una planta industrial en procesos discontinuos o continuos: sin embargo, la tendencia favorable en los resultados se va a mantener con la propuesta de refinación con hidróxido de potasio. Esta diferencia es obvia en los resultados obtenidos a nivel laboratorio, los logra a escala de Planta Industrial y se

explica por la mayor eficacia en los procesos de transferencia de calor y de masa de las sustancias reactantes, donde por ejemplo, se utilizan agitadores controlados por motor-reductores con diseños apropiados para hacer una eficiente operación de mezclado.

De acuerdo a la Tabla 7, el análisis del efluente acuoso resultante del tratamiento de refinación con NaOH se aprecia que este vertimiento líquido contaminante sobrepasa los niveles permisibles que se indican en el Reglamento de Desagües Industriales, y la situación es más grave en el caso de los límites fijados por la Ley General de Aguas al momento de proteger a los cuerpos de agua; esta realidad se revierte favorablemente para el ambiente al utilizar este efluente propuesto como fertilizante líquido para nutrir diferentes plantas, faltando al respecto, la norma legal adecuada de incentivo que canalice estas propuestas como otras en beneficio del medio ambiente.

En la Tabla 4 donde se ilustra el análisis del agua de lavado de aceite y ácidos grasos procedente de la neutralización con NaOH y KOH, se aprecia la concentración importante desde el punto de vista nutricional por los macronutrientes N_2 , P_2O_5 y K_2O , siendo los porcentajes más elevados de N_2 y K_2O en el agua resultante de la refinación con KOH respecto al agua de refinación de NaOH; una situación inversa se presenta en el contenido P_2O_5 , sin embargo, se presentó el problema de la presencia de un alto contenido en la concentración de sodio según se muestra en la Tabla 5, situación que es superada al no utilizar salmuera para la remoción de la borra flotante y jabón disperso de la masa de aceite con fines de acelerar esta operación de separación. La concentración mejorada de sodio se muestra en la Tabla 6, donde también se comprueba la favorable concentración de iones potasio.

Los resultados anteriores dan lugar a hacer un análisis más completo que se muestra en la Tabla 5, donde se advierte la favorable composición en minerales

del efluente obtenido por su contenido importante en los macronutriente y micronutrientes requeridos por una planta para su óptimo desarrollo vegetativo. Las plantas toman elementos minerales del suelo, nunca productos orgánicos, es decir que cuando se incorpora al suelo materia orgánica, las raíces sólo tomarán los elementos de ellas cuando están mineralizados.

Los resultados de la evaluación de crecimiento y desarrollo del rabanito, lechuga y acelga se ilustran en las Tablas 8, 9 y 10, donde se llevó a contrastación los sustratos fertilizados con soluciones nutrientes a diferente relación dilución, según la Tabla 11 y al sustrato con el cultivo testigo (sin fertilización). La respuesta de las plantas rabanito, lechuga y acelga es evidentemente favorable en los medios de cultivo que fueron fertilizados mas no así en el medio de cultivo testigo, los resultados favorables son más marcados en el caso del rabanito y lechuga.

Por otro lado, se observa también un mejor resultado en el tamaño de la planta y en el peso fresco de tallos, hojas y raíces. Para la relación de dilución 1:22, al menos esto es evidente en el caso del rabanito y lechuga. Jara y Suni (1999) sostienen: “Que las plantas responden de una manera más diferencial en la etapa de floración y fructificación que respecto a la etapa vegetativa” (p. 61).

Conclusiones

- Se determinó que la propuesta de cambiar el agente neutralizante en la refinación del aceite de soya produce varios efectos positivos que conducen a la reducción de impactos negativos al medio ambiente.
- Se experimentó a nivel laboratorio, el cambio de agente neutralizante con el control de todos sus parámetros de operación logrando una reacción de saponificación óptima, con ventajas en rendimiento y mermas al utilizar el KOH.

- Las mermas, eficiencias y niveles de concentración de elementos químicos positivos y/o negativos en los aceites finales obtenidos en la refinación, en casi todos los casos, dieron mejores resultados utilizando el agente neutralizante de hidróxido de potasio en lo respecta a la calidad del aceite refinado obtenido.
- Luego de analizar químicamente el agua de lavado de refinación mezclada con el efluente de la separación de los ácidos grasos recuperados de la reacción de saponificación, se encontró una importante concentración de macronutrientes y micronutrientes, observándose la viabilidad de su utilización como solución fertilizante.
- Se evaluó la respuesta de las plantas como el rabanito, lechuga y acelga en medio de cultivo arenoso, obteniéndose un resultado positivo (sin significancia estadística) tanto en el rendimiento como en las características físicas cuando se utilizó la solución fertilizante obtenida con respecto a la muestra testigo.

Referencias

- Álvarez, C., Cuesta, J., Cancela. J. y Marey, M. (2006), Gestión de aguas residuales en el ámbito rural en Galicia, España, *Información Tecnológica*, 17(3), 15-21.
<https://dx.doi.org/10.4067/S071807642006000300004>
- Jara, E. y Suni, M. (1999). Evaluación de soluciones nutritivas para el cultivo hidropónico de "Fresa" *Fragaria x ananassa*. *Revista Peruana de Biología*, 6(1), 61-67. <https://doi.org/10.15381/rpb.v6i1.8300>.
- Passarini, K., Gamarra, F., Vanalle, R. y Santana, J. (2012). Reutilización de las aguas residuales en la irrigación de plantas y en la recuperación de los suelos. *Información, Tecnológica*, 23 (1): 57-64.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000100007>.
- Reyes, G., De Souza, A. y Petersen, J. (2006). La prevención de la contaminación industrial como asignatura para la formación ambiental universitaria. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 10 (40), 198-204.

Sánchez, W. y Arias, T. (2018). Propuesta de mejoras en sistemas de tratamiento de residuales en la Empresa Refinadora de Aceite de Santiago de Cuba. *Tecnología Química*, 38(1). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445558421007>.

Capítulo 2

Biodegradación de residuos de filtro prensa de la industria aceitera para la fertilización del cultivo Rabanito (*Raphanus sativus* L.)

Capítulo 2

Biodegradación de residuos de filtro prensa de la industria aceitera para la fertilización del cultivo Rabanito (*Raphanus sativus* L.)

Resumen

La finalidad de la investigación fue utilizar los residuos de la torta resultante del filtro prensa de la industria aceitera para evitar la contaminación por su disposición final en el ambiente. A pequeña escala en el campo de cultivo los residuos de filtración compuestos por: tierra de blanqueo, carbón activado y aceite de anchoveta, se sometieron a compostaje controlando los parámetros de su biodegradación, luego el producto resultante con propiedades fertilizantes se aplicó a los cultivos seleccionados para evaluar sus características físicas y rendimiento agrícola. La metodología que se utilizó en esta investigación aplicada y experimental fue el diseño de bloques completamente al azar que constó de 3 bloques o repeticiones y 5 tratamientos (T₁, T₂, T₃, T₄ y T₅, siendo T₁ el tratamiento testigo) para determinar el efecto positivo del producto fertilizante y cuál es la dosis que determinó mejores características físicas y químicas en el cultivo rabanito (*Raphanus sativus* L.) que se seleccionó entre otros cultivos por su corto periodo de cosecha. Se aplicaron las dosis del producto fertilizante a los 10 días después de la siembra y se evaluaron desde la siembra hasta la cosecha, obtenidos los datos experimentales, se procesaron mediante análisis de varianza y Duncan. Los resultados determinaron que el tratamiento T₅ sobresalió en sus características físicas y químicas tales como: longitud de planta, peso total de planta, diámetro ecuatorial, diámetro polar, rendimiento agrícola de producto.

Palabras clave: reciclaje, residuos de tierra de blanqueo, compostaje

Introducción

Las fábricas de aceites comestible, principalmente de aceite de soya (*Glycine max* L.) y de pescado, en una de sus etapas de procesamiento del aceite crudo, que es el blanqueo del aceite para separar los componentes que dan color, olor no deseables al aceite, se utiliza la tierra de blanqueo, que es una arcilla ácido activada con propiedades adsorbentes, se le combina según los criterios tecnológicos de las empresas aceiteras con ayuda filtrante, carbón activado entre otros, para complementar las propiedades adsorbentes de la arcilla. Salazar (2019) indicó: “Las tierras de blanqueo también llamadas arcillas, tierras adsorbentes, suelo de decoloración, arcillas o tierras blanqueadoras pueden ser usadas en su estado natural o activadas con ácido para blanquear y reducir el color intenso del aceite crudo” (p. 26).

En este sentido, el aceite mezclado con la tierra de blanqueo y otros aditivos, requiere separarse de este material sólido por lo que se utiliza convencionalmente un filtro prensa de marcos y placas que produce un filtrado decolorado y una torta retenida entre los marcos y placas, constituida por tierra de blanqueo aceitosa y carbón activado. Asimismo, es necesario mencionar que la torta retenida en el filtro prensa, son los residuos de tierra de blanqueo que desechan las fábricas aceiteras.

Volcán (2018) afirmó: “La tendencia mundial en producción de tierras de blanqueo para la refinación de aceite vegetal es a partir de arcillas de origen natural del grupo de las palygorskitas: bentonita cálcica, atapulgita, hormita y de las esmectitas: montmorillonita y hectorita” (p.74). Por su parte, Montaña et al. (2019) señalaron: “El uso de las arcillas activadas mediante modificación química para la adsorción y remoción de analitos en diferentes matrices ha abierto una gran ventana en la investigación de las potencialidades que tienen estas en campos diferentes” (p. 21).

Se observa por las propiedades físicas y químicas de la tierra de blanqueo se le utiliza en la refinación de aceite, para la reducción de impurezas, blanquear y desodorizar. Baldini (2019) indicó: “La tierra se usa por su mayor eficiencia (más superficie por gramo) en la absorción por lo que puede reducir la dosis de tierra y minimizar las pérdidas de aceite” (p. 69). Además, Lusas y Kent (2003) expresan: “Este residuo de tierra de blanqueo se genera en gran cantidad en la refinación del aceite y es de difícil disposición final. Las tierras decolorantes usadas en su mayoría son depositadas como residuos. Anualmente en el mundo, cerca de 100 mil toneladas de grasas y aceites se desechan junto con las tierras de blanqueo” (p. 290).

Hace buen tiempo que los residuos de tierra de blanqueo no tienen una adecuada disposición final; puesto que estos residuos se depositan en la intemperie, ríos, lugares donde existe población dispersa, entre otros. Ocasionando focos infecciosos en la propagación de plagas que afectan a cultivos del entorno y a la salud pública. Existen algunas alternativas de recuperación de las tierras de blanqueo.

Es por ello que Haro et al. (2014) señalaron:

A la arcilla prensada y lavada con vapor de agua saturado a 1.5 bares de presión durante 4 horas reutilizada para el blanqueo de aceite, ofreció una eficiencia de decoloración del 80%, esto debido a que la arcilla recuperada por este método contiene 8% de aceite remanente, sin embargo, al realizar una re-extracción se aumentó el porcentaje de blanqueo hasta un 87% y se redujo el contenido de aceite a un 6%. más de ser un contaminante ambiental, este residuo es peligroso ya que el aceite contenido presenta riesgo de explosión o autocombustionarse. (p.7)

Debido a esta situación en que los residuos de la tierra de blanqueo tienen una disposición final contaminante y riesgosa para la salud, es necesario darles alguna aplicación luego de algún tratamiento que implique reciclaje o reúso. Para que tengan un valor agregado con la finalidad de aprovechar los residuos de tierra de blanqueo como alternativa ecológica, se tiene la elaboración de compost entre otras opciones y de esta manera reducir o eliminar los efectos de impacto ambiental.

Dentro de este marco, Natera et al. (2021) consideraron:

Algunas alternativas de reciclaje y/o reúso de los residuos de tierras de blanqueo es para la producción de riboflavina (Vitamina B2), sustituto de aceite de pescado en la formulación alimenticia para especies acuáticas, fabricación de prebióticos, síntesis de biodiesel y fertilizantes. (p.152)

También la tierra de blanqueo usada aumenta la retención de agua en los suelos y es también usada con éxito para la producción de compost. En otros casos, los residuos de tierra de blanqueo se recupera la arcilla y en otros se recupera el aceite retenido; en general, reutilizar el aceite con fines comestibles resulta complejo y antieconómico por los contaminantes que tiene en su composición.

Materiales y métodos

Método de investigación

El experimento que se realizó es una investigación aplicada experimental que comprende dos actividades: la preparación del compost para su biodegradación y la aplicación del fertilizante obtenido al cultivo de rabanito de acuerdo a un diseño de bloques completamente al azar que constó de 3 bloques o repeticiones y 5

tratamientos con dosis de 0, 10, 15, 20 y 25 g/planta que corresponden a los tratamientos T₁, T₂, T₃, T₄ y T₅ respectivamente, siendo T₁ el tratamiento testigo. Se experimentó estos 5 tratamientos para encontrar la dosificación óptima para el cultivo rabanito. La data experimental obtenida se procesó mediante análisis de Varianza y la Prueba de Duncan al 5%, obteniéndose de esta manera la dosis adecuada de residuos de tierra de blanqueo (RTB) correspondiente al mejor rendimiento (t/ha) de producto rabanito.

Se utilizó como abono fertilizante los RTB compostados que tuvieron un tiempo de compostaje de 4 meses, a fin de biodegradar el aceite de anchoveta (*Engraulis ringens*) componentes colorantes y odoríficos y otros de naturaleza orgánica que se encuentran mezclados con la tierra de blanqueo.

Dada la naturaleza orgánica de los RTB, a fin de viabilizar su biodegradación aeróbica, se requirió desagregar los RTB en material particulado en rango de tamaño por debajo de la malla 10 de la escala Tyler; para facilitar y acortar el tiempo de su transformación en compost, se le mezcló con rastrojos para evitar que se apelmace y retarde la biodegradación del componente aceitoso y de las otras materias orgánicas presentes, así también para airear el material en transformación y controlar la temperatura, se formaba el volteo o mezclado en las pozas con la ayuda de una pala, cada 10 días.

La investigación se desarrolló en el Centro Poblado de Medio Mundo, distrito de Vegueta, Huaura presentando las condiciones de temperatura de 20–24 °C y humedad relativa de 89 %. Los RTB en calidad de subproducto o residuos desechables fueron facilitados por la empresa Biopex SAC, en una cantidad de 200 kg distribuidos en 5 bolsas de 40 kg cada una, transportándolas al campo de cultivo para su tratamiento por compostaje. Este material presentaba una apariencia pastosa de color negro y de fuerte olor a pescado.

Procedimiento

Se prepararon tres muestras a compostar, cada una en su respectiva poza de biodegradación donde se depositaron 15 kg en total por cada poza, con diferente formulación en cuanto a la proporción en peso de RTB, guano de cuy (*Cavia porcellus*) y rastrojos fue la muestra seleccionada que mejor evolucionó en sus parámetros de control de compostaje, que registró mejores señales externas tales como: menor olor, textura aparente, registros de elevación de temperatura durante el compostaje; se seleccionaron de las 3 pozas luego de transcurridos 4 meses fue seleccionada como RTB compostado, que correspondió a la muestra que se formuló con porcentajes iguales en el contenido RTB, guano de cuy y rastrojos.

Se establecieron las dosis de compost teniendo en cuenta los resultados del análisis de suelo y cantidad que emplean los agricultores de la zona que en promedio es de 6 a 10 t/ha para cultivos de hortalizas de ciclo corto como rabanito. Hirzel y Salazar (2016) sostienen que con otras investigaciones que destacan la aplicación de una dosis referencial de enmiendas orgánicas es de 4 a 8 t/ha de semicompostado y de 6 a 12 t/ha para compost.

Luego se instaló el área experimental empleando el modelo estadístico del Diseño de bloques completamente al azar que constó de 3 bloques y 5 tratamientos. Se aplicaron las dosis una sola vez a los 10 días de haber sembrado el rabanito; se evaluó el cultivo desde la siembra hasta la cosecha y los datos obtenidos se trataron mediante análisis de Varianza y prueba de Duncan al 5%.

Resultados y discusión

Respecto al análisis químico del RTB compostado seleccionado, se le estudió en INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria) que se aprecia en la Tabla 1, y de acuerdo a Román et al. (2013) especificaron:

Que de acuerdo a la FAO, el pH con 7,06 se encuentra dentro de lo adecuado 6,5 – 8,5, materia orgánica con 43,98 % está en valores altos >20%, nitrógeno con 3 % valor alto ~1%, fósforo con 0,53 % está en valores altos 0,1% – 1,0%, potasio con 0,92 % en valores altos 0,3% – 1,0% relación C/N con 8,5:1 tiene nutrientes suficientes para los microorganismos.

El resultado del análisis químico del producto RTB compostado que se muestra en la Tabla 1 y por sus características físico-químicas, presenta valores adecuados y altos de concentración de nutrientes que al incorporarse al suelo favorece la disponibilidad de macronutrientes para la absorción de la planta influenciando para un óptimo desarrollo vegetativo de la planta. En este sentido, Román et al. (2013) afirmaron:

Para la toma de decisiones a la hora de aplicar compost como fertilizante orgánico, así como para aplicarlo en nutrición integrada con fertilizantes minerales, se debe tener en cuenta:

- Necesidades del cultivo en cuanto a fertilización (análisis de suelo y foliares).
- Acceso y disponibilidad de ambos fertilizantes localmente.
- Costes de ambos fertilizantes.
- Necesidad de materia orgánica del suelo.

Los contenidos de los macronutrientes, respecto al nitrógeno, fósforo y potasio sus composiciones deben fluctuar en los rangos de: 0,3-1,0%; 0,1-1,0% y 0,3-1,0% respectivamente. (p. 31)

Tabla 1
Análisis de macronutrientes de abono orgánico

N° Lab.	ID Muestra	pH	C.E. uS/cm	Humedad (%)	M.O. (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	C/N
AO-0012	Abono	7,06	340,00	13,64	43,98	3,00	0,53	0,92	1,89	0,05	8,50

Nota. INIA (Instituto Nacional de Investigación e Innovación)

Con relación al análisis de micronutrientes que se indica en la Tabla 2, se detalla según el Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos, que compara valores de micronutrientes de lodo sanitario, estiércol de vacuno (*Bos taurus*) y estiércol de gallina (*Gallus gallus domesticus*). Con los resultados de fierro con 5666,5 ppm encontrándose en valores normales (514 - 6322 ppm –), zinc con 51,85 ppm dentro del margen (84 - 984 ppm), cobre con 3,89 ppm valor bajo (19 - 131 ppm) y manganeso con valor bajo 138,05 ppm (166 - 336 ppm). MGA y Pravia (s.f). Presentaron los valores de rango promedio que fueron extraídos de la Tabla de Datos de análisis de materiales compostados puros (p. 61).

Por lo tanto, debido a la mayoría de los valores que se encuentran dentro de los márgenes, se interpreta que este compost tiene concentración de micronutrientes adecuado que favorece la disponibilidad de estos al momento de incorporarlos al suelo.

Tabla 2
Análisis de micronutrientes de abono orgánico

N° Lab.	ID Muestra	Fe ppm	Zn ppm	Cu ppm	Mn ppm
AO-0012	Abono	5666,5	51,85	3,89	138,05

Nota. INIA (Instituto Nacional de Investigación e Innovación)

La dosificación de las dosis de compost de acuerdo a los criterios detallados en Materiales y Métodos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3
Dosificación de RTB compostados al suelo

Tratamiento	g/planta	t/ha
T ₁	0	0
T ₂	10	4
T ₃	15	6

Tratamiento	g/planta	t/ha
T ₄	20	8
T ₅	25	10

Concerniente a la evaluación de las características físicas del cultivo rabanito que se observa en la Tabla 4, se aprecia que no hubo significancia; es decir las dosis de compost no influyeron en las características; sin embargo, el tratamiento T₅ con 10 t/ha destacó en relación a las demás dosis. Por lo que, este resultado se interpreta que, a mayor dosis de compost, que es el caso del tratamiento T₅ se aumentó la disponibilidad de nutrientes, que determinó una óptima absorción. Obteniéndose de esta manera buena presentación de su arquitectura de la planta, calidad de fruto y mayor rendimiento.

Tabla 4

Características físicas del cultivo de rabanito por tratamiento

Tratamiento	Compost t/ha	Longitud de planta (cm)	Peso total de planta (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Diámetr o polar (cm)	Rendimiento comercial t/ha
T ₅	10	24,23 a	31,96 a	3,55 a	4,22 a	5,112 a
T ₄	8	22,41 a	28,52 a	3,39 a	3,90 a	4,742 ab
T ₃	6	21,93 a	26,31 a	3,21 a	3,74 ab	4,209 ab
T ₂	4	20,78 a	23,26 a	3,03 a	3,47 ab	3,757 ab
T ₁	0	19,34 a	21,74 a	2,95 a	3,12 b	3,097 b
Coeficiente de variación %		13,68	25,42	10,96	10,51	23,09

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Obtenidos los datos desde la siembra hasta la cosecha, se procesaron mediante análisis de varianza y estos se compararon con los datos de la Tabla de Fisher lo que va a determinar es el nivel de significación. Por lo que esta operación estadística determinó si hubo efecto de dosis o no; es decir si influyeron las aplicaciones de compost o no. Después de efectuar el análisis de varianza, se

procesó los datos con la prueba de Duncan al 5 % de error. Esta operación determinó que el tratamiento T5 destaca con relación a los demás y si tienen relación homogénea o se diferencian estadísticamente.

Características físicas del cultivo rabanito después de los 5 tratamientos aplicados

De acuerdo a la evaluación de las características físicas del cultivo de rabanito que se detalla en la Tabla 4, se indica que no hubo significancia; es decir las dosis de compost no influyeron; sin embargo, el tratamiento T₅ con 10 t/ha destacó en todos los tratamientos evaluados.

Por lo que, se analiza que estas dosis de compost se incorporaron macronutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes en el suelo, que influyeron en el incremento de la disponibilidad nutricional, lo cual favoreció en el desarrollo vegetativo de la planta obteniéndose de esta manera buena arquitectura de la planta, rendimiento y calidad de fruto. Servicio Agrícola y Ganadero Región de Atacama (2017) indicó: “Por lo tanto, para cultivos de hortalizas como betarraga, zanahoria, rabanito, leguminosas y otros se requiere de 3 a 6 t de compost/ha” (p.4). Asimismo, es importante hacer notar que depende de otros factores en la aplicación de esta proporción de compost/t, como son el tipo de suelo y cultivo.

Conclusiones

Se logró un producto ecológico y al mismo tiempo favorece en reducir la contaminación ambiental. Asimismo, se promueve el aprovechamiento de residuos orgánicos tomando conciencia ambiental en reciclar o rehusar algunos residuos en especial los de naturaleza predominantemente orgánica.

Se determinó que la mayor dosis se relacionó con el mayor rendimiento, que es el tratamiento T₅, resultó un rendimiento de 5,11 t/ha, por lo que se infiere que al aplicar esta dosis de compost obtenido de la biodegradación de los RTB, guanos de cuy y rastrojos, al suelo se incorporó una concentración de nutrientes que proporcionó las condiciones para una mayor disponibilidad de componentes químicos en estado inorgánico para la absorción del cultivo rabanito, favoreciendo su desarrollo, en su arquitectura y rendimiento.

Se confirma que el reciclaje de los RTB por compostaje, son útiles para la elaboración de productos fertilizantes; y su aplicación da lugar a un mayor rendimiento y la obtención de productos ecológicos y más saludables al evitar el uso de fertilizantes comerciales, los que tienen mayor carga química; por lo que la evaluación presentada es sostenible ambientalmente.

El presente trabajo de investigación propone desarrollar actividades de fertilización en áreas verdes de instituciones públicas y/o privadas, utilizando los RTB compostados para reducir la contaminación ambiental, reciclando por compostaje los residuos de tierras de blanqueo que desechan las fábricas aceiteras.

Referencias

- Baldini, R. (2019). Mitigación de 3-MCPDE y GE mediante diversas tecnologías de proceso. *Revista Palmas*, 40(Especial Tomo II), 69-5. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13088>.
- Haro, C., Aragón, C., De la Torre, E., Guevara, A. (2014). Regeneración de arcillas de blanqueo empleadas en la decoloración de aceites vegetales comestibles. *Revista Politécnica*. https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/317.

- Hirzel, J. y Salazar, F. (2016) Guía de manejo y buenas prácticas de aplicación de enmiendas orgánicas en agricultura. *Boletín INIA*, 325, <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6506>.
- Lusas, E. y Kent, J. (2003). *Animal and vegetable fats, oils and waxes* y “*Riegel’s Handbook of Industrial Chemistry*”, (10ma ed), Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- MGA, D. S. y Pravia, M. A. (s.f.). *Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos*. Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud. OPS/HEP/HES/URU/02.99. <http://www.ingenieroambiental.com/newinformes/compost.pdf>.
- Montaño, D. F., Rosero, M. y Torres P., R. (2019). Arcillas activadas para el blanqueamiento del aceite de palma y remoción del colorante azul índigo carmín del agua. *Producción + Limpia*, 14(2), 21-29. <https://doi.org/10.22507/pml.v14n2a2>.
- Natera, A., Hernández, J., Villanueva, S. y Henríquez, M. (2021). *Preliminary overview: agro-industrial uses of spent bleaching earth*. *Ciencia en Revolución*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4625946>.
- Román, P., Martínez, M. y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. FAO. <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>.
- Salazar, A. (2019). *Evaluación de la reutilización de tierras provenientes de la etapa de blanqueo en la refinación del aceite de palma*. [Trabajo de Pregrado, Fundación Universidad de América]. https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7403/1/61321_20-2019-1-IG.pdf.
- Servicio Agrícola y Ganadero Región de Atacama. (2017). *Pauta técnica para la aplicación de compost*. Programa SIRSD-S. http://www.sag.cl/sites/default/files/pauta-tecnica-aplicacion-de-compost-conc.1-2-3_region_atacama.pdf.
- Volcán de Bego, T. (2018). Estado del arte sobre producción de tierras de blanqueo: inteligencia tecnológica aplicada. *Calidad, Tecnología y Desarrollo Agroindustrial* 2, 63–76. <https://revistas.uclave.org/index.php/catedea/article/view/2001>.

Capítulo 3

Neutralización con KOH del aceite de pescado para la obtención de un efluente fertilizante

Capítulo 3

Neutralización con KOH del aceite de pescado para la obtención de un efluente fertilizante

Resumen

La presente propuesta es convertir un efluente en un recurso económico y favorable al medio ambiente, para tal propósito se realizó pruebas experimentales a nivel laboratorio donde se ensayó la neutralización en la refinación del aceite de pescado, al hidróxido de potasio como agente neutralizante que se propone sustituir al hidróxido de sodio que actualmente la industria aceitera utiliza para neutralizar la acidez libre del aceite. Al terminar la neutralización se hacen lavados del aceite para purificar al aceite generándose un efluente que luego se mezcla con otro efluente derivado de la recuperación de los ácidos grasos del jabón formado, resultando una mezcla final con pH ácido por lo que se le neutraliza con hidróxido de amonio obteniéndose una solución acuosa final con propiedades fertilizantes. Para mostrar las propiedades fertilizantes de esta mezcla obtenida, se le utilizó como fertilizante foliar aplicado al cultivo rabanito; para ello se realizó la experimentación en campo de cultivo, se hizo la instalación utilizando el Diseño de Bloques Completamente Aleatorio, con cinco tratamientos que fueron T₁, T₂, T₃, T₄ y T₅ con dosis de fertilizante 0, 2, 3, 4, 5 L/ha respectivamente aplicados al cultivo experimentado.

Palabras clave: neutralización, aceite de pescado, fertilización

Introducción

Se ocasiona un daño ambiental por la actividad industrial aceitera en el caso de la etapa de refinación del aceite de pescado, se generan efluentes que contaminan los recursos hídricos. Doria (2009) indica: “Es preferible evitar la producción de un residuo que reciclarlo, tratarlo o disponer de él una vez que se haya formado” (p. 412). Los efluentes que se producen son mezclas de aguas neutralizadas y de lavado del aceite y son inevitables cuando se refina con hidróxido de sodio al aceite de pescado. Por su parte, Ling et al. (2007) afirmaron: “El efluente es un residuo líquido compuesto aproximadamente de 94% de agua y 6% de sólidos con alta demanda bioquímica de oxígeno y muy contaminante cuando se descarga en las aguas” (p.180).

De este modo, las fábricas aceiteras producen efluentes que se vierten al sistema de alcantarilla ocasionando impacto ambiental negativo a los cuerpos de agua, contraviniendo al desarrollo local sostenible.

Una decisión importante y muestra de responsabilidad ambiental de parte de las empresas aceiteras como por ejemplo, la empresa Biopex SAC, es la adquisición de un insumo químico de mayor costo que es el hidróxido de potasio (KOH) frente al hidróxido de sodio (NaOH) que normalmente hoy en día se utiliza por su menor costo. La ventaja del KOH es reducir la contaminación que por las características físico químicas y volúmenes de los efluentes producidos, estos cumplen características físico-químicas para ser reutilizados como fertilizantes líquidos para los cultivos. Es una decisión de parte del empresariado que tendría que evaluar la viabilidad técnica y económica para aplicar esta variante en la refinación del aceite crudo desgomado.

En este sentido, el análisis de decisiones es un grupo de herramientas que permiten apoyar y manejar un proceso de evaluación estructurado. Sánchez-Pedraza et al. (2008) señalaron: “Esta metodología se usa ampliamente en la evaluación económica para planeación o programas de salud” (p.178).

Ahora bien, un criterio importante en un proceso físico químico es incorporar el concepto de responsabilidad y eficiencia ambiental, es decir, en tratar de recuperar nutrientes y/o recuperación energética al diseñar el proceso, en este caso, de la refinación del aceite de pescado. Senior et al. (2007) afirmaron: “Se concluye que las empresas a través de sus esfuerzos socioambientales pueden obtener beneficios a la vez que mejoran su capital reputacional” (p. 484).

Es por ello, que en la recuperación y generación de nutrientes mediante la adición de sustancias químicas en el procedimiento de cambiar un efluente contaminante en un efluente con propiedades fertilizantes a partir de las aguas de lavado del aceite neutralizado y posterior neutralización de estas aguas con hidróxido de amonio, estas aguas van adquiriendo una composición de interés para su reutilización. Althausin (2016) indicó: “Las aguas residuales de plantas de beneficio de aceite de palma o Palm Oil Mill Effluent (POME, por su sigla en inglés), requieren tratamiento antes de su uso en riego o su descarga en aguas superficiales” (p. 31).

En este sentido, las propuestas de recuperación y/o tratamiento de los efluentes en la industria alimentaria son viables por la composición de los efluentes que incluyen materia orgánica predominantemente, que pueden tener macro y micronutrientes, que transformados naturalmente o químicamente a

estado inorgánico, son aprovechados para el desarrollo vegetativo de un cultivo si se le utiliza como fertilizante. Garcés y Cuellar (1997) afirmaron: “Además se mencionan algunos usos de los subproductos del proceso de extracción de aceite de palma, como el uso de la torta de palmiste para alimentación animal, de los racimos vacíos y efluentes como fertilizantes” (p. 33).

Por tanto, la utilización del KOH en la refinación del aceite de pescado se experimenta para observar su viabilidad técnica haciendo los cambios necesarios, para obtener una solución que tiene macro y micronutrientes, que se aplica a un conjunto de plantas de rabanito, dispuestas en 3 bloques, con cinco tratamientos por bloque, para observar su respuesta a esta fertilización comparando con el tratamiento control o testigo.

Materiales y métodos

Las pruebas experimentales físico-químicas se realizaron en el Laboratorio de la empresa líneas arriba mencionada, en el distrito de Supe y las pruebas agronómicas se desarrollaron en el campo de cultivo de Medio Mundo del distrito de Vegueta ubicado en el departamento de Lima.

Neutralización en la refinación del aceite con KOH

En laboratorio se neutralizó el aceite crudo de pescado (8 L) previamente desgomado a una temperatura de 40°C con agitación constante, utilizando 0,1% p/v de ácido fosfórico. La acidez libre se determinó por titulación del aceite

desgomado en medio alcohólico con una solución valorada de KOH y presencia de indicador fenolftaleína, registró un valor de 2% como ácido graso oleico libre.

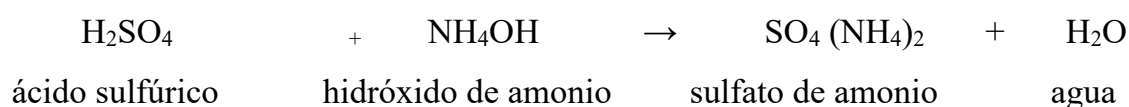
El aceite de pescado desgomado se vertió a un vaso erlenmeyer de 2 L de volumen, se sometió a calentamiento hasta alcanzar la temperatura de 60°C, luego se procedió a neutralizarlo con KOH (20°Be-grados Baumé-de concentración) consumiéndose 210 mL., para poder neutralizar la acidez libre de 2% (este procedimiento experimental de neutralización en laboratorio se repitió 4 veces para tratar todo el aceite de pescado desgomado disponible).

Desdoblamiento del oleato de potasio con ácido sulfúrico y lavado del aceite neutralizado en laboratorio

Decantar el aceite neutralizado por 10 minutos, utilizando una pera de decantación para separar las sales formadas (jabón) a partir de los ácidos grasos libres y el agente neutralizante, las cuales se separaron utilizando la pera de decantación, obteniéndose aproximadamente 444,4 mL de jabón con 5,2% de merma. Luego se desdobla el jabón utilizando 40 mL al 9% v/v de H₂SO₄ al 98% de concentración, produciéndose 84 mL de agua ácida.

El aceite neutralizado y decantado de la pera de decantación, pero aun con restos de KOH en su masa, se sometió a lavados; para ello se le calentó en un vaso Erlenmeyer a una temperatura aproximada de 60°C para verterlo inmediatamente a una pera de decantación de volumen de 2 L, y allí realizar 03 lavados sucesivos, utilizándose 1300 mL por lavado para separar los restos de KOH presentes en la masa del aceite. El agua de lavado con pH neutro y a una temperatura aproximada a 60°C, registró un consumo total de agua de 3900 mL.

El agua de lavado resultante se mezcló con el agua acida producida en el desdoblamiento del jabón, por efecto de la adición del H₂SO₄, según se ilustra en la segunda reacción química. Se obtuvo un agua mezcla final de pH ácido, por lo se necesitó adicionar un hidróxido para neutralizar esta acidez, se seleccionó al hidróxido de amonio, NH₄OH (teniéndose en cuenta su aporte de nitrógeno al agua) para tener un pH final entre 7-8,5, esta última reacción de neutralización se muestra a continuación:



Las dosis de tratamiento utilizadas son cinco tratamientos, que fueron T₁, T₂, T₃, T₄ y T₅ con dosis de fertilizante 0, 2, 3, 4, 5 L/ha respectivamente aplicados al cultivo rabanito (*Raphanus sativus* L.).

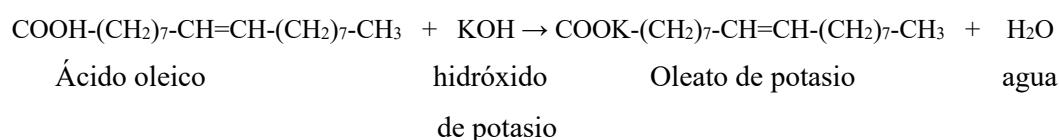
En la reacción química de neutralización mostrada, la solución ácida representada por el H₂SO₄ presente en el efluente acuoso, se le adiciona NH₄OH, hasta alcanzar un pH neutro, se obtiene finalmente una solución acuosa fertilizante (SAF) según se muestra sus características físico-químicas en la Tabla 1.

Resultados y discusión

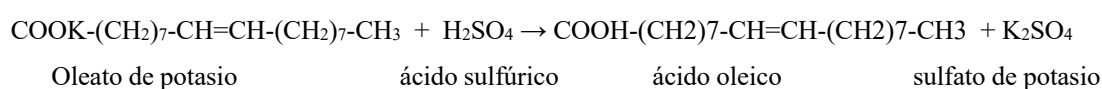
La acidez de los aceites es el resultado de la descomposición de pequeña cantidad de los triglicéridos que componen los aceites en glicerina y ácidos grasos; este rompimiento de las moléculas del triglicérido es catalizado por acción hidrolítica, tiempo de almacenamiento y trasvases del aceite. Acosta et al. (s.f) explican: “El grado de acidez indica la cantidad de ácidos grasos libres en el aceite, a mayor grado de acidez menor calidad” (p.2).

Existe viabilidad técnica a nivel de laboratorio al refinar el aceite de pescado con una solución de KOH, reemplazando al NaOH que actualmente se utiliza en las industrias de aceites comestible de origen animal o vegetal. En la etapa de neutralización del aceite se utiliza el NaOH por su menor costo respecto al KOH.

La reacción estequiométrica de la neutralización entre el aceite de pescado, representado como ácido oleico y el KOH es la siguiente:



La siguiente reacción estequiométrica muestra el desdoblamiento del jabón, para separar los ácidos grasos,



Los análisis fisicoquímicos que se muestran en la Tabla 1 y 2, indican una mayor concentración de macro y micronutrientes, cuando se utilizó el KOH respecto al NaOH, por lo que estas aguas resultantes de interés para la fertilización de cultivos.

Asimismo, las Tablas 1 y 2 que muestran los análisis físico-químico del efluente resultante de la refinación con KOH y NaOH respectivamente, indican que las concentraciones de los principales macronutrientes, necesarios para el desarrollo vegetativo de un cultivo, en este caso son el nitrógeno, fósforo y potasio, tienen más ventajas cuando se ha neutralizado con hidróxido de potasio en lugar de utilizar hidróxido de sodio, a su vez se hicieron otros cambios para mejorar las propiedades fertilizantes del efluente a obtener en la neutralización de las aguas acidas, al utilizar hidróxido de amonio para incorporar el elemento

nitrógeno al efluente en forma de sulfato de amonio según se indica en la tercera reacción química presentada líneas arriba.

Tabla 1

Análisis físico-químico del efluente resultante de la refinación con KOH

Parámetro físico-químico	Resultado
pH	8,24
C.E (mS/cm)	4,71
Sólidos totales (g/L)	3,59
M.O. (mg/L)	722,00
N (mg/L)	25760,00
P (mg/L)	88,86
K (mg/L)	1707,51
Ca (mg/L)	17,19
Mg (mg/L)	1,85
C/N	0,03
Fe ppm	0,06
Zn ppm	0,58
Cu ppm	0,01
Mn ppm	0,11

Nota. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

Tabla 2

Análisis físico-químico del efluente resultante de la refinación con NaOH

Parámetro físico-químico	Resultado
pH	9,29
C.E (mS/cm)	323,00
Sólidos totales (g/L)	1,70
M.O. (mg/L)	1215,00
N (mg/L)	560,00
P (mg/L)	82,58
K (mg/L)	201,20
Ca (mg/L)	14,08
Mg (mg/L)	14,03
C/N	1,26
Fe ppm	0,010
Zn ppm	0,39

Parámetro físico-químico	Resultado
Cu ppm	0,001
Mn ppm	0,09

Nota. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

Otro aporte del presente trabajo de investigación es evitar el vertimiento de efluentes al sistema de alcantarillado que ocasiona impactos ambientales negativos a los cuerpos de agua, como acontece en las actuales actividades de las fábricas aceiteras que refinan sus aceites con NaOH y no utilizan el KOH, por su mayor costo y no existe un compromiso o responsabilidad de estas empresas para evitar la contaminación de los cuerpos de agua.

Prueba de fertilización en campo de cultivo

La solución acuosa fertilizante obtenida cuando se neutraliza el aceite con una solución de hidróxido de potasio (KOH), fue analizada fisicoquímicamente, y presentó resultados que se muestran en la Tabla 1. Al comparar con los resultados obtenidos de las aguas de lavado, cuando se utilizó como agente neutralizante el hidróxido de sodio (NaOH) que se muestran en la Tabla 2; se evidencia un mayor porcentaje de concentración en macronutrientes de nitrógeno y potasio en las aguas de lavado cuando se neutraliza el aceite con una solución de KOH, y se trata la borra de pescado con ácido sulfúrico y luego con hidróxido de amonio.

Prueba de fertilización

Para evaluar la eficiencia de la SAF obtenida utilizando la solución de KOH como agente neutralizante en la refinación del aceite de pescado y para la prueba experimental, se desarrollaron cinco tratamientos aplicados al cultivo rabanito

vía foliar, teniendo en cuenta las recomendaciones de aplicaciones de fertilizantes similares y de la evaluación del análisis físico-químico de la SAF obtenida, que se muestra en la Tabla 1 y del suelo, que se muestra en la Tabla 3. Las dosis utilizadas se muestran en la Tabla 4.

El modelo estadístico que se empleó fue el Diseño de Bloque Completamente al Azar con 5 tratamientos y 3 bloques y se procesaron los datos con Análisis de Varianza y Prueba de Duncan.

Tabla 3

Análisis de fertilidad del suelo en el cultivo de rabanito

C.E. 1:2:5 mS/cm	pH 1:2:5	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes intercambiables (mEq/100 g suelo)				CEC
							Ca	Mg	Na	K	
0,73	8,00	0,51	0,03	17,05	115,00	5,72	5,95	1,76	0,09	0,28	8,08

Nota. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

CIC: Capacidad de intercambio catiónico

MO: Materia Orgánica

CE: Conductividad Eléctrica.

Análisis estadístico

Para el tratamiento estadístico se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) que determinó el F calculado y esto se comparó con los valores de la prueba de F homogeneidad al 5% lo que precisó si hay significancia en los tratamientos o no.

Prueba de Duncan

Condo (2015) indica: “Se utilizó la prueba comparativa de Duncan con el objetivo de determinar la homogeneidad de los resultados de los tratamientos,

una prueba más rigurosa que la DMS (Diferencia Mínima Significativa). De esta forma, permite comparar todas las medias” (p. 91).

Tratamientos

Se experimentaron las dosis de aplicación foliar, utilizando la SAF a los 10 días después de la siembra, las dosis de aplicación se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4

Dosis de solución fertilizante obtenido por tratamiento

Tratamiento	L/ha
T ₁	0
T ₂	2
T ₃	3
T ₄	4
T ₅	5

Evaluaciones de las características físicas

Las características físicas del cultivo rabanito fertilizado con SAF, que muestra en la Tabla 5, indica que el tratamiento T₅, fue el que recibió una mayor dosis de la solución fertilizante foliar SAF, presentando un rendimiento superior respecto a los demás tratamientos, con una proyección de producción de 6,65 t/ha.

Tabla 5

Características físicas del cultivo de rabanito

Tratamiento	Efluente L/ha	Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)	Longitud de planta (cm)	Peso de planta (g)	Remanente comercial t/ha
T ₅	5	4,16 a	3,42 a	22,26 a	29,52 a	6,649 a
T ₄	4	3,77 ab	3,21 ab	19,58 ab	26,95 ab	5,954 ab

Tratamiento	Efluente L/ha	Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)	Longitud de planta (cm)	Peso de planta (g)	Remamamiento comercial t/ha
T ₃	3	3,60 ab	3,11 ab	17,37 ab	24,85 ab	5,145 ab
T ₂	2	3,31 ab	2,75 b	16,20 b	22,65 ab	4,855 ab
T ₁	0	3,15 b	2,62 b	15,78 b	20,75 b	3,979 b
Coefficiente de variación %		12,06	10,81	14,98	16,10	19,43

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Análisis foliar

Los resultados del análisis foliar para los cinco tratamientos realizados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6
Análisis foliar de rabanito por tratamiento

Macro nutrientes (%)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Potasio	4,01	1,83	3,05	2,01	3,53
Nitrógeno	2,13	2,79	2,45	2,33	2,76
Fósforo	0,55	0,43	0,47	0,39	0,40
Calcio	2,02	4,87	3,63	4,91	2,47
Magnesio	0,36	0,42	0,41	0,46	0,37
Azufre	1,04	1,07	1,07	1,35	1,02
Micro nutrientes (mg/kg)					
Molibdeno	1,97	1,99	2,87	3,38	1,90
Hierro	> 1 000	> 1 000	> 1 000	> 1 000	822
Manganeso	67,9	131,00	101,00	128,00	72,20
Cobre	5,72	8,65	7,63	8,24	5,79
Zinc	42,90	48,40	42,40	50,60	35,50
Boro	42,70	61,20	53,20	65,80	46,30
Elementos Fitotóxicos (mg/kg)					
Cloruros	20081,00	19272,00	22 678,00	22269,00	20530,00
Sodios	2 930,00	2 768,00	3732,00	4322,00	6 968,00

Nota. AGQ PERU SAC (2021) "Informe de ensayo- material vegetal"

Un detalle importante a observar en la neutralización con KOH es la incorporación a la solución efluente del elemento químico potasio; en la primera reacción química mostrada se observa la generación del sulfato de potasio, en el caso que se neutralice con NaOH se generaría el elemento químico sodio que en un equivalente a la reacción referida en este párrafo se formaría el sulfato de sodio, siendo esta última sustancia de efecto perjudicial para un cultivo un efecto contrario y beneficioso tiene el sulfato de potasio.

En relación a la Tabla 5, muestra las características físicas del cultivo de rabanito por efecto de la aplicación del SAF de acuerdo a dosis indicadas; en la Tabla 4 se aprecia que el tratamiento T₅, presenta unas características físicas de mayor calidad con relación a los demás tratamientos que recibieron menos dosis SAF incluyendo también el tratamiento testigo.

Con respecto a la Tabla 6, se muestra los contenidos químicos de los nutrientes a nivel foliar, se aprecia que el tratamiento T₅, presenta una concentración de potasio y fósforo ligeramente menor o comparable a los demás tratamientos, esto se explicaría por la mayor masa vegetativa del cultivo rabanito desarrollada por este tratamiento T₅.

Los resultados mostrados en el párrafo anterior son por efecto de los contenidos de macronutrientes y micronutrientes del SAF y efluentes obtenidos según se muestra en las Tablas 1 y 2, cuando se utilizó KOH y NaOH respectivamente.

De allí pues que Legua (2001) señala: “Luego de analizar el agua de lavado de refinación y agua de la separación de los ácidos grasos, se encontró un potencial de macronutrientes y micronutrientes, observándose la viabilidad de utilización como solución fertilizante” (p. 29). En esta experiencia presentada se experimentó la utilización del KOH en lugar del NaOH para refinar el aceite de soya.

Conclusiones

Al realizar el cambio de agente neutralizante en la refinación de una muestra de aceite de pescado no se apreciaron dificultades en el lavado del aceite para su remoción de restos de KOH de la masa de aceite, por lo que la neutralización es óptima, como si se hubiera utilizado el NaOH.

En el lavado del aceite neutralizado con KOH se aplica químicos al efluente resultante para dar propiedades de interés fertilizante a la mezcla final resultante, en ese caso se utilizó el ácido sulfúrico y el hidróxido de amonio.

Se encontró una mayor concentración de macronutrientes y micronutrientes en las aguas mezcla final o efluentes, cuando se utiliza el agente neutralizante KOH al compararlo con los obtenidos al utilizar el NaOH.

Las características físicas del cultivo rabanito correspondientes al tratamiento T₅, son mejores en calidad y rendimiento por hectárea con respecto al tratamiento testigo, y también a los demás tratamientos que recibieron menos dosis de la solución acuosa fertilizante, SAF.

Referencias

Acosta P., D., Baños F., J. y Bustamante S., K. (s.f.). *Determinación del grado de acidez por volumetría de neutralización en muestras comerciales de aceite de oliva, girasol y soya*. Laboratorio de Química Analítica II, Facultad de Ciencias Químicas (CCQQ), Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Althausen, M. (2016). Tratamiento de Efluentes de la Planta de Beneficio-Convertir un residuo en un recurso. *Revista Palmas*, 37 (Especial Tomo II), 31-37.

- Condo, L. (2015). “*Diseño experimental en el desarrollo del conocimiento científico de las ciencias agropecuarias*”. Tomo N° 1. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo e Instituto de Investigaciones. Ecuador.
- Doria, S., M. (2009). Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. *Educación química*, 20(4): 412-420. <https://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v20n4/v20n4a4.pdf>
- Garcés P., I. C. y Cuéllar S., M. C. (1997). Productos derivados de la industria de la palma de aceite: usos. *Revista Palmas*, 18 (1), 33-48. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/571>.
- Legua, J. (2001). Reducción de la contaminación en la refinación del aceite. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*. 4(8), 23–29. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v4i8.3070>.
- Ling-Hoak, O., Keong-Hoe, L. y Khoon-San, C. (2007). Conversión de efluentes y tusas en fertilizante orgánico con cero desperdicios. *Revista Palmas*, 28 (Especial Tomo 2),180-190. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1306/1306.pdf>
- Sánchez-Pedraza, R., Gamboa, O. y Díaz, J. A. (2008). Modelos empleados para la toma de decisiones en el cuidado de la salud. *Revista de Salud Pública* 10 (1): 178-188. <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v10n1/v10n1a17.pdf>.
- Senior, A., Narváez, M., Fernández, G. y Revilla, J. (2007). Responsabilidad ambiental: factor creador de valor agregado en las organizaciones. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, 13 (3): 484-494 <https://www.redalyc.org/pdf/280/28011681009.pdf>

Capítulo 4

Densidad estomática de arveja (*Pisum sativum*)
por microscopía electrónica de barrido en relación
al rendimiento

Capítulo 4

Densidad estomática de arveja (*Pisum sativum* L.) por microscopía electrónica de barrido en relación al rendimiento

Resumen

El objetivo fue determinar la densidad estomática, por microscopía electrónica, de hojas de arveja cultivada a diferentes dosis de nitrógeno y distanciamientos entre plantas, para obtener mayor rendimiento. Por lo que se instaló el área experimental empleando el Diseño de Bloques Completamente al Azar, con seis tratamientos que constaron de F1= 00 - 70 - 70, F2= 80 - 70 - 70 y F3 120 - 70 - 70 kg/ha y D1 =1.5m * 0.25 m y D2 =1.5 m * 0.35m, obteniéndose los tratamientos: T1 = F1 * D1, T2 = F1 * D2, T3 = F2 * D1, T4 = F2 * D2, T5 = F3 * D1 y T6= F3 * D2, estas dosis se aplicaron a los 17 y 62 días después de la siembra. Se observaron las variaciones de las características físicas del cultivo de arveja desde la siembra hasta la cosecha y los datos se procesaron mediante análisis de varianza y Pruebas de medias de Duncan, también se analizó la concentración de nitrógeno y la densidad estomática por tratamiento. Los resultados determinaron que el T5 sobresalió en longitud de planta con 129,3 cm, rendimiento comercial con 13,25 tn/ha y T4 en peso de vainas por planta con 633,4 g y número de vainas por planta con 51. En análisis foliar el T6 con 6,69 % de nitrógeno y densidad estomática el T5 con 98 estomas/mm². Se concluye que a mayor dosis de nitrógeno y menor distanciamiento, que es T5 con 98 estomas/mm² y concentración de 5,83 g de nitrógeno/100 g de materia seca influyeron en el rendimiento.

Palabras clave: nitrógeno; densidad de siembra, rendimiento

Introducción

Durante muchos años, los agricultores han aplicado diversos fertilizantes sintéticos a base de nitrógeno (N) de cantidad variada sin tener medidas de dosificación referenciales; esto se debe por el desconocimiento de la concentración de este nutriente en el suelo y el distanciamiento de siembra, los cuales han influido en el desarrollo de la planta y por ende en el rendimiento y calidad de grano del cultivo de arveja. Puesto que mencionar que el aumento de la utilización de N se debe esencialmente al aumento de la capacidad de absorción de N y de la capacidad de transferencia de N, Xu et al. (2017) afirmaron:

La eficiencia relativamente baja del nitrógeno (N) y los elevados costes medioambientales causados por la aplicación excesiva de fertilizantes de N con técnicas de fertilización anticuadas son los problemas actuales de producción del cultivo de maíz entre los pequeños agricultores de la llanura del norte de China. (p.1)

Para lo cual, se requiere un mayor uso de fertilizantes inorgánicos para hacer frente a la creciente demanda de alimentos. Asimismo, es importante mencionar que el nitrógeno del suelo utilizado es limitado; ya sea por sus procesos químicos como mineralización, nitrificación, desnitrificación, lixiviación y volatilización, hace que se pierda, lo que reduce la disponibilidad de nutrición para el cultivo de arveja. Illarze et al. (2018) sostuvieron: “Los procesos microbianos como la mineralización, la nitrificación y la desnitrificación regulan la dinámica del nitrógeno en el suelo. Estos 2 últimos son los principales responsables de la emisión de óxido nitroso (N₂O)” (p.98).

Cerón y Aristizábal (2012) sostuvieron:

Los ciclos biogeoquímicos del fósforo (P) y del nitrógeno (N) son sistemas dinámicos que suceden a través de la biosfera, de cuyos mecanismos de transformación depende la disponibilidad de estos elementos para diferentes formas de vida. Se acepta que la diversidad y actividad de las poblaciones microbianas posee un papel crucial en la dinámica de los nutrientes y por tanto el desafío está en comprender, como responden a las condiciones ambientales. También, para las plantas la disponibilidad de nitrógeno (N) es la principal limitante en la productividad de los cultivos, que junto con el fósforo (P) determinan el crecimiento vegetal. (p. 285)

Debido a la deficiencia del nitrógeno en el suelo, es importante aplicar este nutriente como fertilizante sintético en el cultivo de arveja; puesto que influye de manera favorable para incrementar el rendimiento. Ríos et al. (2019) señalan “Sin embargo, la productividad parcial del factor es baja, en comparación a la referencia internacional y, una eficiencia agronómica adecuada en productividad, por el uso del nitrógeno proveniente de los fertilizantes sintéticos” (p.46).

También es necesario mencionar que el uso continuo de estos fertilizantes ha influido en la contaminación ambiental en el suelo y agua. García-Velásquez y Gallardo (2017) indicaron:

El reservorio atmosférico es la principal fuente de la alteración del ciclo del N, y es la facilidad que tiene el N de retornar a este compartimento lo que lo diferencia de otros ciclos como el del carbono (C) o el fósforo (P). En segundo lugar, las bajas concentraciones de N en las rocas y minerales que forman el suelo condicionan que, a largo plazo, la limitación por N esté principalmente regulada por la tasa de fijación biológica. Esta fijación depende, a su vez, del grado de desarrollo del suelo y la presencia de rocas sedimentarias de origen orgánico. (p. 4)

Por lo que también, se puede utilizar como alternativas fertilizantes sólidos o líquidos derivados de la industria alimentaria como por ejemplo efluentes tratados después de la refinación de aceite y con variantes en el procesamiento para promover nutrientes en concentración importante, entre ellos el Nitrógeno, resultando una alternativa orgánica y sostenible.

Es necesario resaltar, que a menor distanciamiento de siembra, se incrementa la competencia nutricional entre plantas y disminuye la disponibilidad del nitrógeno en el suelo, resultando deficiente; sin embargo, se incrementa el rendimiento, pero se reduce la calidad de grano de arveja. Garcés-Fiallos y Vera-Alcívar (2014) afirmaron:

Este análisis se puede relacionar con el incremento de la densidad de plantas que promovió reducción significativa en el número de legumbres, granos y granos por legumbre por planta, contrario al aumento observado en el peso de campo por parcela (g) y rendimiento (kg/ha). (p.177)

Por este motivo, se realizó la investigación para determinar que distanciamiento de siembra y que dosis de nitrógeno es adecuado para obtener mayor rendimiento y calidad de grano en el cultivo de arveja y a la vez estas diferencias de rendimiento como se reflejan en la densidad estomática para cada tratamiento experimentado.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el distrito de Barrio Tres Piedras, Supe Puerto, provincia de Barranca ubicado en el departamento de Lima con las coordenadas de Latitud Sur 10° 48' 16.468" y Longitud Oeste 77° 44' 34.496" altitud de 20 m.s.n.m. la temperatura promedio es de 19.3 °C.

Factor de estudio

El fertilizante de nitrógeno (Urea) se aplicó a los 17 y 62 días después de la siembra al cultivo de arveja, para lo cual se tuvo en cuenta las dosis y distanciamiento que emplean los agricultores de la zona y el análisis de fertilización de suelo, lo cual permitió establecer los tratamientos. Peoples et al. (1995) afirmaron: “Es necesario mencionar que el rango de estimaciones experimentales de la proporción y cantidad de N₂ fijado por importantes leguminosas como arveja es de 17 a 244 kg/h”. Además de tener en cuenta la competencia nutricional entre planta; para lo cual es importante el distanciamiento adecuado para el mayor rendimiento. Casanova et al. (2012) sostuvieron:

Estos componentes de rendimiento correspondientes a número de vainas por planta, número de granos por vaina, rendimiento en vaina verde, rendimiento en grano seco y peso de 100 semillas, que afectan negativamente por la mayor densidad de siembra de arveja (666666 plantas por hectárea). (p.131)

Fertilización

Para establecer la fertilización de nitrógeno se tuvo en cuenta las dosis que emplean los agricultores de la zona y el análisis de suelo, obteniéndose de esta manera la formulación de macro nutrientes que se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1

Dosis de fertilización de nitrógeno

Fertilización	Dosis de nitrógeno (kg/ha)		
	N	P	K
F ₁	00	80	80
F ₂	80	80	80
F ₃	120	80	80

Distanciamientos

En las medidas de entre planta y entre surco que se detalla en la Tabla 2, se tomaron en cuenta en base a las mediciones que usualmente emplean los agricultores de la zona.

Tabla 2

Distanciamientos de siembra entre planta y surco del cultivo de arveja

Densidad	Medidas de siembra		Plantas por hectárea
	Distanciamiento entre surco planta (m)	Distanciamiento entr (m)	
D ₁	1,60	0,25	50000,00
D ₂	1,60	0,30	41666,00

Tratamiento

Para establecer los tratamientos se tuvo en cuenta las combinaciones ordenadas de fertilización y distanciamiento. Obteniéndose de esta manera las interacciones que se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3

Fertilización y densidad de siembra de arveja

Tratamientos	Interacción
T ₁	F ₁ x D ₁
T ₂	F ₁ x D ₂
T ₃	F ₂ x D ₁
T ₄	F ₂ x D ₂
T ₅	F ₃ x D ₁
T ₆	F ₃ x D ₂

Nota. F y D son la fertilización y distanciamiento que determinan la densidad de siembra.

Procedimientos

- Se llevó muestra de suelo al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) – Huaral, para determinar la concentración de nitrógeno del suelo (Tabla 6).
- Para la instalación se empleó el Diseño de Bloques Completamente al Azar, que constó de 6 tratamientos y 3 bloques.
- Seguido se aplicaron los siguientes fertilizantes industriales: como fuente de nitrógeno N_2O , como fuente de fósforo P_2O_5 y como fuente de potasio K_2O .
- Luego se fertilizó a los 17 y 62 días después de la siembra al cultivo de arveja, como consta en la Tabla 3.
- Continuamente las evaluaciones se realizaron desde la siembra hasta la cosecha y los datos obtenidos se procesaron con análisis de varianza.
- Luego se tomaron muestras representativas de hojas de cada tratamiento y se llevaron INIA – Huaral, para determinar la concentración de nitrógeno en cada distanciamiento, por último, se hizo el mismo procedimiento con el análisis biológico, para determinar la densidad estomática.

Análisis estadístico

Obtenidos los datos de las evaluaciones, se procesaron con el análisis de varianza con arreglo factorial $2*3$ (Tres dosis de fertilización de nitrógeno y dos distanciamientos), lo cual se comparó los datos con la distribución de Fisher al 5 % de error. Estos procedimientos se realizaron en las características físicas de evaluación; lo que permitió determinar si hubo efecto en alguno de los tratamientos. Seguido se aplicó la prueba múltiple de Duncan que permitió conocer que tratamiento destaca con relación a los demás. En la Tabla 4 se detalla los componentes del análisis de varianza de dos factores.

Tabla 4*Análisis de varianza para el diseño factorial $a \times b$*

FV	SC	GL	CM	F ₀	Valor-p
Efecto A	SC _A	a - 1	CM _A	CM _A /CM _E	P(F > F ₀ ^A)
Efecto B	SC _B	b - 1	CM _B	CM _B /CM _E	P(F > F ₀ ^B)
Efecto AB	SC _{AB}	(a - 1)(b - 1)	CM _{AB}	CM _{AB} /CM _E	P(F > F ₀ ^{AB})
Error	SC _E	ab(n - 1)	CM _E		
Total	SC _T	abn - 1			

Nota. “Análisis y diseño de experimentos” (Gutiérrez, Román de La Vara)

Resultados y discusión

De acuerdo al análisis de suelo realizado en el INIA – Huaral se aprecia en la Tabla 5, que las concentraciones de macronutrientes son bajas de nitrógeno (0.1% -0.2%), potasio (125 ppm-250 ppm) y fósforo (12 ppm-36 ppm). También presenta baja concentración de materia orgánica (2% - 4%), no presenta peligro de sales, su pH es neutro (6.5 -7.5); sin embargo, es recomendable aplicar compuestos como compost u otros fertilizantes que tengan macro y micronutrientes. Cabe mencionar que el tipo de suelo es franco arenoso.

Tabla 5*Análisis de suelo con fines de fertilidad*

Sector	C.E. mS/cm	pH	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes intercambiables mEq / 100 g suelo				CICI-E
								Ca	Mg	Na	K	
Tres Piedras	1.50	7.13	1.31	0.075	8	98	0.88	14.06	0.87	0.19	0.24	15.36

Nota. “Análisis Básico de Fertilidad” Número de Laboratorio 211. Instituto Nacional Agraria, INIA.

Respecto a la de fertilización para el cultivo de arveja, INIA –Huaral determinó las medidas de macro nutrientes recomendable de N, P y K, lo cual permitió establecer las dosis de los tratamientos (Ver Tabla 6).

Tabla 6*Recomendación de fertilización para el cultivo de arveja*

Cultivo	Dosis (kg/ha)		
	N	P	K
Arveja	80	80	80

Nota. “Análisis Básico de Fertilidad” Número de Laboratorio 211. Instituto Nacional Agraria, INIA

Evaluaciones de las características físicas

En cuanto a los resultados de las características física que se muestra en la tabla 7, se determinó que el T₅ obtuvo mayor rendimiento con 13.252 t/ha, lo cual se interpreta que a menor distanciamiento y mayor dosis de nitrógeno se obtuvo mayor rendimiento.

Tabla 7
Características físicas de acuerdo a los tratamientos

Tratamientos	Longitud de planta (cm)	Tratamientos	Peso de vainas por planta (g)	Tratamientos	Número de vainas por planta	Tratamientos	Rendimiento comercial (t/ha)
T ₅	129.303 a	T ₄	633.4 a	T ₄	50,911 a	T ₅	13,252 a
T ₄	124.103 ab	T ₅	545.6 a	T ₆	47,222 a	T ₆	12,156 ab
T ₆	123.503 ab	T ₂	450.9 a	T ₂	46,978 a	T ₄	11,752 ab
T ₂	121.263 b	T ₃	426.6 a	T ₅	43.955 a	T ₂	11,231ab
T ₃	119.525 b	T ₆	403.3 a	T ₃	40.978 a	T ₃	9,623 b
T ₁	118.587 b	T ₁	348.6 a	T ₁	37.733 a	T ₁	8,963 b
C. variación	2.80 %		33.68		15.360		14,990

Nota. Letras iguales son estadísticamente homogéneos

Análisis foliar de nitrógeno

Concerniente al análisis foliar analizado en INIA – Huaral que se detalla en la Tabla 8, se determinó que, a mayor distanciamiento y mayor dosis de nitrógeno, que es T₆ obtuvo 6,69 g de nitrógeno/100 g de materia seca; sin embargo que a menor distanciamiento con mayor dosis de nitrógeno que es T₅ con 5.83 g de nitrógeno/ 100 g de materia seca sobresalió en rendimiento y se encuentra dentro de la calificación normal. Lo cual se interpreta que a una adecuada concentración de nitrógeno influyó en el rendimiento

Tabla 8.

Análisis foliar de nitrógeno en hojas de arveja por tratamiento

Tratamientos	Interacción	Resultados (%)	Calificación	Valores normales	Rendimiento (t/ha)
T ₁	F ₁ *D ₁	3,48	Bajo	4,50 - 6.00	8.963
T ₂	F ₁ *D ₂	3,02	Bajo	4.50 - 6.00	11,231
T ₃	F ₂ *D ₁	5,36	Normal	4.50 - 6.00	9,623
T ₄	F ₂ *D ₂	5,62	Normal	4.50 - 6.00	11,752
T ₅	F ₃ *D ₁	5,83	Normal	4.50 - 6.00	13,252
T ₆	F ₃ *D ₂	6,69	Alto	4.50 - 6.00	12,156

Nota. Análisis de porcentaje de nitrógeno en hojas. Número de Laboratorio 12-17 del INIA

Nitrógeno utilizado por tratamiento

Respecto al del consumo de nitrógeno total por tratamiento que se muestra en la Tabla 9, que mediante métodos de peso de hectárea de suelo, factor de Van Bemmelen, Factor de conversión de nitrógeno total a disponible a ppm en relación a Carbono a nitrógeno (C/N) y conversiones, se determinó el mayor consumo de nitrógeno en el T₅ y T₆; sin embargo el T₅ con 1565,75 kg/ha de consumo total de nitrógeno destacó en rendimiento comercial con 13,25 t/ha.

Tabla 9*Total de nitrógeno utilizado (kg), de acuerdo a las dosis de aplicación*

Tratamientos	Interacción	Dosis de nitrógeno (kg/ha)	Nitrógeno en el suelo (kg/ha)	Total de nitrógeno utilizado (kg/ha)	Rendimiento (t/ha)
T ₁	F ₁ *D ₁	0	36,75	36,75	8,963
T ₂	F ₁ *D ₂	0	36,75	36,75	11,231
T ₃	F ₂ *D ₁	80	36,75	116,75	9,623
T ₄	F ₂ *D ₂	80	36,75	116,75	11,752
T ₅	F ₃ *D ₁	120	36,75	156,75	13,252
T ₆	F ₃ *D ₂	120	36,75	156,75	12,156

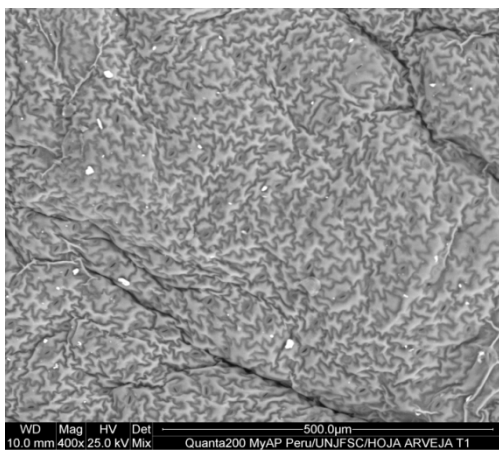
Densidad estomática por tratamiento

Con el uso del microscopio electrónico de Barrido para el grado de aumento de 800 X, se obtuvo la micrografía por tratamiento (Figura 1), lo cual permitió determinar que la mayor densidad de estomas se obtuvo el T₆ con 241,93 estomas/mm², Por lo que se analiza que a medida que se incrementa la concentración de nitrógeno y se aumenta en distanciamiento incrementó la densidad de estomas; sin embargo el T₅ con 98,79 estomas/mm² sobresalió en rendimiento, por lo que a medida que se incrementó el nitrógeno y disminuyó en distanciamiento obtuvo mayor rendimiento (ver Tabla 10).

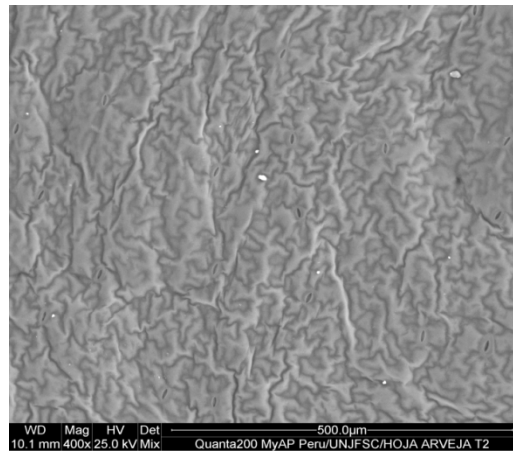
Tabla 10*Número de estomas por mm² por tratamiento*

Tratamientos	Interacción	Densidad estomática (Estomas/mm ²)
T1(00/70/70) 1,5x0,25	F ₁ D ₁	221,77
T2(00/70/70) 1,5x0,35	F ₁ D ₂	40,32
T3(80/70/70) 1,5x0,25	F ₂ D ₁	207,66
T4(80/70/70) 1,5x0,35	F ₂ D ₂	193,55
T5(120/70/70) 1,5x0,25	F ₃ D ₁	98,79
T6(120/70/70) 1,5x0,35	F ₃ D ₂	241,93

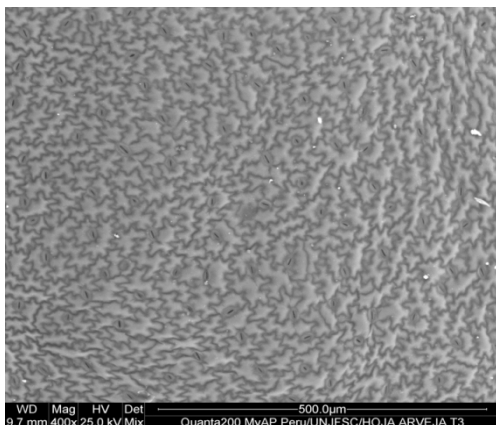
Figura 1
Micrografía de estomas de cada tratamiento



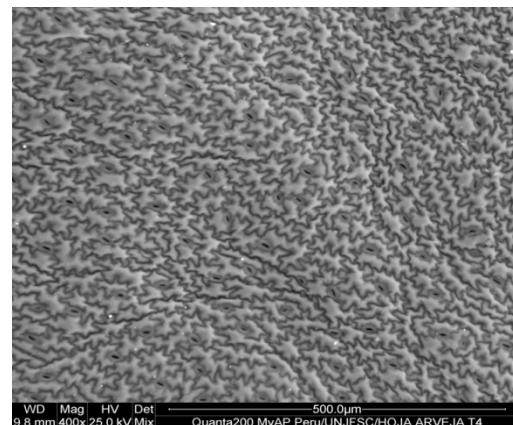
T₁



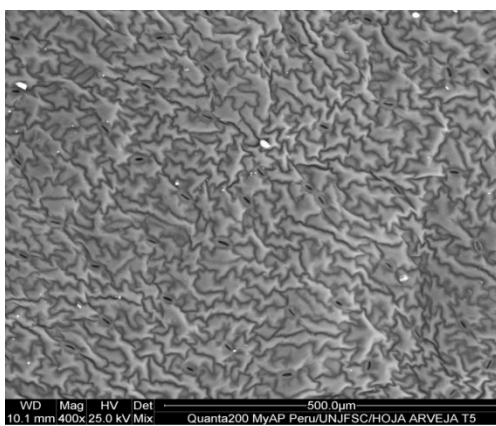
T₂



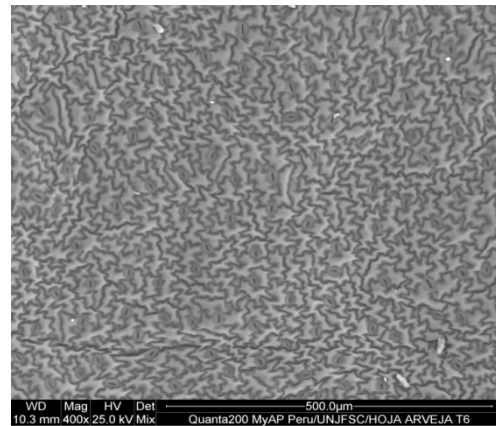
T₃



T₄



T₅



T₆

Evaluaciones de las características físicas

De acuerdo a los resultados de las características físicas del cultivo de arveja que se detalla en la Tabla 7, se indica las variables de componentes de rendimiento: peso de vainas y número de vainas, no fueron detectadas diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados; lo que si fueron detectadas para la variable altura de planta. Sin embargo, con diferencias estadísticas para la variable rendimiento comercial, donde el mejor fue el T₅, seguido en segundo lugar por T₆, T₄ y T₂, y finalmente en tercer lugar por T₃ y T₁. Los T₆, T₄ y T₂ son iguales estadísticamente, al igual que el T₃ con T₁, respectivamente. Este resultado es por lo que la utilización de N se debe esencialmente al aumento de la capacidad de absorción de N y de la capacidad de transferencia de N. De acuerdo a Xu et al. (2017) afirmaron que, por lo tanto, deben considerarse densidades de siembra más altas y tasas de aplicación de N reducidas para promover una mejor utilización de N y rendimiento de grano.

Análisis foliar de nitrógeno

Obtenidos los resultados de la concentración de nitrógeno en hojas por tratamiento que se indica en la Tabla 8, se destaca que el T₅ con 5,83 g de nitrógeno/ 100 g de materia seca obtuvo mayor rendimiento. Por lo tanto, a esta concentración de nitrógeno fue óptima para muchas reacciones bioquímicas en la formación de aminoácidos, proteínas y otros compuestos. Pues este elemento es esencial para el crecimiento vegetal, es el elemento más frecuentemente limitante en los suelos agrícolas.

Barrera-Cobos y Sáenz-Vélez (2016) indicaron: “El nitrógeno se requiere en cantidades más altas que cualquier otro elemento (además del carbono, hidrógeno y oxígeno), ya que es un elemento importante de muchos componentes bioquímicos incluyendo proteínas, aminoácidos y ácidos nucleicos” (p.85).

Nitrógeno utilizado por tratamiento

El consumo de nitrógeno total utilizado por tratamiento que se muestra en la Tabla 9, se obtuvo mediante métodos de peso de hectárea de suelo, factor de Van Bemmelen, Factor de conversión de nitrógeno total a disponible a ppm en relación a Carbono a nitrógeno (C/N) y conversiones. Se determinó que el tratamiento T₅ con 156,75 kg de nitrógeno total kg/ha obtuvo el mayor rendimiento con 13,25 t/ha. Por lo tanto, a esta cantidad de total de nitrógeno utilizado por hectárea, la disponibilidad de este nutriente fue favorable para el aprovechamiento en muchas reacciones bioquímicas de aminoácidos, proteínas, formación de carbohidratos y otras reacciones. Rennie y Dubetz (1986) afirmaron: “Cuando se inocula, N₂ fijo promedió 176,84, 216 y 185 kg N ha⁻¹ para el garbanzo (*Cicer arietinum* L.), lentejas, fababean y guisantes, respectivamente.” (p.654).

Prieto (sf) explicó:

La capacidad de fijación de nitrógeno por parte de la arveja suele ser muy alta. Se han medido aportes de hasta 185 kg/ha por esta vía (Rennie y Dubetz, 1986). De aquí que es la fuente de nitrógeno más económica para el productor. (p. 3)

Densidad estomática por tratamiento

En cuanto a la densidad estomática, que mediante evaluaciones de microscopía electrónica de barrido en hojas representativa por tratamiento que se indica en la Tabla 10, se obtuvo que el T₆ con 241,93 estomas/mm², que es a mayor dosis de nitrógeno y distanciamiento, sobresalió con relación a los demás; sin embargo, el T₅ con 98 estomas/mm², que es a mayor dosis de nitrógeno y menor distanciamiento destacó en rendimiento. Por lo tanto, el T₅ con 98 estomas/mm² es el indicador de densidad de estomas que obtuvo mayor rendimiento. Álvarez-

Holguín (2018) afirma: “Es importante resaltar que estas características de las estomas y su concentración pueden ser factores determinantes en las diferencias en producción de biomasa entre genotipos” (p.251).

Conclusiones

- Se determinó que a una mayor dosis de nitrógeno y menor distanciamiento entre plantas que corresponde al tratamiento T₅ destacó con 13,25 t/ha de vainas de arveja; por lo tanto, a esta dosis de nitrógeno y distanciamientos son los más óptimos para incrementar el rendimiento del cultivo de arveja.
- Que, mediante análisis de microscopio electrónico de Barrido a 800 X, se precisó que el T₅ obtuvo 98 estomas/mm²; por lo esta cantidad de estomas, es un indicador favorable, para el mayor rendimiento del cultivo de arveja.
- Respecto al análisis foliar, se concluye que a mayor distanciamiento y mayor dosis de nitrógeno que es el T₆ obtuvo 6,69 g de nitrógeno/100 g de materia seca; sin embargo, esta concentración no influyó en el rendimiento; siendo el T₅ con 5,83 g de nitrógeno/ 100 g de materia que obtuvo el mayor rendimiento comercial.

Referencias

Álvarez-Holguín, A., Morales-Nieto, C., Corrales-Lerma, R., Avendaño-Arrazate, C., H., Rubio-Arias, H. y Villarreal-Guerrero, F. (2018) Caracterización estomática, concentración de clorofila y su relación con producción de biomasa en *Bouteloua curtipendula*. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 251-261. DOI: <https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.29900>.

Barrera-Cobos, O. y Sáenz-Velez, M. (2016). El aprovechamiento del nitrógeno por la planta con tecnología N-HIB®. *Revista Ingenio*, 12(1), 85-99. <https://doi.org/10.22463/2011642X.2127>.

- Casanova, L., Solarte, J. y Checa, O. (2012). Evaluación de cuatro densidades de siembra en siete líneas promisorias de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas* 29(2), 129-140.
- Cerón, L. y Aristizábal, F. (2019). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(1), 285-295. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77624081026>.
- Garcés-Fiallos, F. R. y Vera-Alcívar, A. M. (2014) Enfermedades y componentes de rendimiento en líneas de fréjol bajo tres densidades de siembra. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 25(1),169-180. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v25n01_169.pdf.
- García-Velázquez, L. y Gallardo, A. (2017). El ciclo global del nitrógeno. Una visión para el ecólogo terrestre. *Ecosistemas* 26(1), 4-6. Doi.: 10.7818/ECOS.2017.26-1.02
- Gutiérrez, P. H. y De La Vara S., R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. (2da ed.) Editorial Mc Graw-Hill. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf
- Illarze, G., Del Pino, A., Riccetto, S. y Irisarri, P. (2018). Emisión de óxido nitroso, nitrificación, desnitrificación y mineralización de nitrógeno durante el cultivo del arroz en 2 suelos de Uruguay. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(1),97-54 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.05.004>.
- Peoples, M.B., Herridge, D.F. y Ladha, J.K. (1995). Fijación biológica de nitrógeno: ¿una fuente eficiente de nitrógeno para la producción agrícola sostenible? *Plant and Soil* 174:3–28. <https://doi.org/10.1007/BF00032239>.
- Ríos, M. J., Gómez-Martínez, J., Bolaños A., R. E., y Gutiérrez M., C. J. (2019). Fertilización sintética y orgánica y su efecto en la producción de maíz, variedad Nutrinta Amarillo. *Revista La Calera*, 19 (32), 41–47. <https://doi.org/10.5377/calera.v19i32.8439>.
- Rennie, R. J. & Dubetz, S. (1986). Nitrogen-15-determined nitrogen fixation in field-grown chickpea, lentil, fababean, and field pea. *Agronomy Journal*, 78 (4), 654-660. <https://doi.org/10.2134/agronj1986.00021962007800040020x>

Prieto, G. M. (s.f.). Pautas para el manejo del cultivo de Arveja. AER INTA Arroyo Seco. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-pautas-para-el-manejo-del-cultivo-de-arveja-final.pdf>.

Xu, C., Huang, S., Tian, B., Ren, J., Meng, Q. y Wang, P. (2017). Manipulación de la densidad de siembra y la aplicación de fertilizantes nitrogenados para mejorar el rendimiento y reducir el impacto ambiental en la producción de maíz chino. *Revista Frontiers in Plant Science* 8,1-11. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01234>.

Capítulo 5

Propuesta de variantes para la refinación del aceite de pescado para obtener un efluente con propiedades fertilizantes

Resumen

El presente trabajo de investigación es una propuesta para proponer variantes en la refinación del aceite de pescado, donde normalmente se utiliza el hidróxido de sodio como agente neutralizante a fin de hacer precipitar los ácidos grasos libres en forma de jabones o sales formados a partir de la reacción de neutralización entre el agente alcalino y los ácidos grasos presentes en la composición del aceite crudo de pescado. Los ácidos grasos libres se van formando espontáneamente en el almacenamiento del aceite crudo de pescado que se acelera cuando el aceite hace contacto con la humedad del ambiente u otro contacto acuoso. El propósito del presente trabajo es también presentar iniciativas favorables para el medio ambiente, en este caso en lugar de obtener un agua residual que se va a destinar su vertimiento a la red pública y finalmente impacta a un cuerpo de agua, se propone la obtención de un efluente con propiedades fertilizantes, cuya actuación favorable con aplicación foliar para el desarrollo vegetativo de algún cultivo. Se recomendaría un análisis completo de micronutrientes y macronutrientes del efluente obtenido, siendo relevante su contenido en nitrógeno, fosforo y potasio. Con esta variante en la etapa del proceso de purificación del aceite crudo de pescado que es la neutralización del aceite se estaría reduciendo los impactos directos e indirectos ambientales que se ocasionan en la refinación industrial del aceite de pescado.

Palabras clave: neutralización, aceite de pescado, efluente

Introducción

Existe una evidente tendencia holística en el manejo y disposición final de los recursos, a fin de proteger y conservar el medio ambiente al respecto Vargas et al. (2014) presentaron:

Una metodología para el ordenamiento territorial que integra, desde una perspectiva holística, las técnicas derivadas de la teoría de la decisión y los modelos de conocimientos sustentados en el criterio de los actores sociales de la comunidad. Ello constituye un nuevo enfoque que puede ser aplicado en cualquier parte del país para favorecer el proceso de toma de decisiones a nivel local, lograr el manejo racional de los recursos socioeconómicos y ambientales acorde a las políticas actuales de Cuba para garantizar la producción sostenible de alimentos con la cantidad y la calidad requeridas, que conlleve a la autosuficiencia alimentaria y a la reducción de importaciones.

Una opción más aplicable en los recursos, productos, efluentes, residuos sólidos derivados de la industria alimenticia, en la cual se pueden proponer cambios en los procesos y técnicas para propiciar resultados favorables al medio ambiente en este propósito señaló Acosta (1999) que:

La evolución de las técnicas ha permitido ampliar la variedad de recursos que se puede extraer de la naturaleza, cambios genéticos, nuevos usos, entre otros.

La aplicación de las tecnologías que transforman los recursos naturales, puede generar impactos positivos o negativos al ambiente, por lo cual deben manejarse cuidadosamente.

Estas propuestas de cambios en las tecnologías y técnicas requieren la integración con las políticas de gobierno, a fin de que se incentiven o favorezcan

el uso de algunos insumos o equipos cuyo uso genere menor impacto al medio ambiente, los productos y/ o subproductos obtenidos de la aplicación de estas modificaciones tengan el auspicio de los gobiernos locales y/o regionales para su aceptación, en relación a estas apreciaciones Enkerlin et al. (1997) sostuvieron:

Que la transición hacia el desarrollo sostenible exigirá cambios importantes y tal vez sacrificios en el corto plazo. Estos cambios y esfuerzos se podrán justificar por el sólo hecho de revertir tendencias que preocupan a los líderes del mundo, y que en realidad deberían preocuparnos a todos, sobre todo a los jóvenes, los futuros líderes quienes deben delegar que se actúe con responsabilidad hacia las generaciones que recibirán este compromiso con el ambiente. Hoy en día el desarrollo sostenible se ha caracterizado por la tendencia hacia la máxima rentabilidad en cuanto al uso de los recursos naturales.

Las aplicaciones de propuestas en la industria alimentaria son más viables por la composición propia que presenta los efluentes que con algunas propuestas de cambios en un propósito ambientalista se puede lograr mezclas acuosas con algunas ventajas ambientales, en este objetivo Lee (2019) afirmó:

Que, al enorme crecimiento de la población, inevitablemente se generan toneladas de aguas residuales a lo largo de las actividades agrícolas. La eliminación inadecuada de aguas servidas induce una contaminación perpetua de las fuentes de agua del mar y del río, lo que posteriormente ha planteado la preocupación ambiental pública. Por esa razón, el protocolo de manejo de efluentes agrícolas fue señalado como un área de interés para la investigación. A pesar de los peligros ambientales, las aguas de uso agrícola tienen el potencial de transformarse en aguas con posibilidades de convertirse en soluciones de interés para la agricultura a través de procesos biológicos, fisicoquímicos, termoquímicos o una combinación de procesos.

Las mismas características de los efluentes de las almazaras de aceite de palma (POME) y de las aguas residuales de las almazaras (OMW) hacen posible el tratamiento de estos residuos utilizando el método de tratamiento similar. En general, el tratamiento biológico requiere un tiempo de proceso más largo en comparación con las tecnologías fisicoquímicas y termoquímicas a pesar de su operación fácil y de bajo costo. Comparativamente, los métodos y tecnologías antes referidas, amplían su potencialidad para convertir las aguas residuales agrícolas en productos de mayor valor de manera más eficiente. Este documento revisa la fuente y las características tanto de POME como de OMW. Posteriormente, se realizó una comparación de los tratamientos actuales y alternativos para ambos efluentes antes de que se pavimenten las perspectivas futuras del tratamiento de ambas soluciones acuosas residuales en función del bienestar humano, ambiental y económico.

Con respecto a este orden de ideas, sobre la recuperación o reciclaje de las aguas residuales procedentes de la industria aceitera, Althausen (2016) explicó que las aguas residuales de plantas de beneficio de aceite de palma o Palm Oil Mill Effluent (POME, por su sigla en inglés), requieren tratamiento antes de su uso en riego o su descarga en aguas superficiales. Al mismo tiempo, un tratamiento moderno de POME puede convertir la alta carga orgánica en biogás, una mezcla de gases con un valor energético de 6 kWh/m³.

Materiales y métodos

Población

Está compuesto por las aguas de lavado vertidos de la unidad de refinación de la planta industria que utiliza aceite de pescado (anchoveta) como materia prima. Este efluente se forma por el agua de lavado del aceite neutralizado y también por el agua ácida de recuperación de los ácidos grasos de las sales formadas en la refinación del aceite.

Muestra

Para la toma de muestras se realizaron los siguientes procedimientos se separó volúmenes de agua de lavado, cuando se utiliza el agente neutralizante hidróxido de sodio y también se emplea el hidróxido de potasio. El volumen de las mismas para cada caso 2 litros de efluentes.

Procedimientos

Los procedimientos se desarrollaron de la siguiente manera:

- Recolección de muestras de efluentes obtenidos en la refinación del aceite a nivel laboratorio.
- Evaluación de las dos alternativas de refinación de aceite, haciendo los experimentos en laboratorio utilizando el hidróxido de sodio y el hidróxido de potasio.
- Análisis físico-químico comparativo de las muestras del agua de lavado y el agua de recuperación de los ácidos grasos a partir de los jabones formados en la neutralización del aceite de pescado de anchoveta (*Engraulis ringens*).
- Tratamiento y análisis de los efluentes acuosos obtenidos de la refinación del aceite, utilizando los dos tipos de agentes neutralizantes.

Resultados y discusión

Los resultados de Análisis Físico-Químico de la mezcla de agua de lavado del aceite refinado con el agua acida resultante del tratamiento de las sales formadas para formar ácidos grasos y la glicerina.

A esta mezcla de resultantes acuosos se le realizó el análisis en el propósito de investigar sus propiedades fertilizantes, para el caso que se utilizó como agente

neutralizante el hidróxido de sodio (NaOH) y para la otra prueba experimental donde se propone la utilización del hidróxido de potasio (KOH). Generándose la Tabla 1 y la Tabla 2, respectivamente.

Tabla 1

Análisis físico-químico del efluente resultante de la refinación con KOH

Elemento Físico-Químico	Resultado
pH	8,24
C.E. (mS/cm)	4,71
Sólidos totales (g/L)	3,59
M.O. (mg/L)	722,00
N (mg/L)	25760,00
P (mg/L)	88,86
K (mg/L)	1707,51
Ca (mg/L)	17,19
Mg (mg/L)	1,85
C/N	0,03
Fe ppm	0,06
Zn ppm	0,58
Cu ppm	0,01
Mn ppm	0,11

Nota. INIA

Tabla 2

Análisis físico-químico del efluente resultante de la refinación con NaOH

Elementos Físico-Químicas	Resultado
pH	9,29
C.E. (mS/cm)	323,00
Sólidos totales (g/L)	1,70
M.O. (mg/L)	1215,00
N (mg/L)	560,00
P (mg/L)	82,58
K (mg/L)	201,20
Ca (mg/L)	14,08
Mg (mg/L)	14,03
C/N	1,26
Fe ppm	0,01

Elementos Físico-Químicas	Resultado
Zn ppm	0,39
Cu ppm	0,01
Mn ppm	0,09

Nota. INIA

En la Tabla 1 con respecto a la Tabla 2 se observa una ventaja porcentual en los contenidos de los principales macronutrientes para el desarrollo vegetativo de las plantas; en este caso son el nitrógeno, fósforo y potasio, se evidencia el efecto favorable de haber utilizado el hidróxido de potasio en lugar del hidróxido de sodio, a su vez ocasionó un efecto positivo el haber utilizado el hidróxido de amonio para neutralizar la acidez generada por ácido sulfúrico para desdoblar las sales de jabón formadas en ácidos grasos y glicerina.

En relación a los porcentajes en los contenidos de micronutrientes se aprecia valores superiores en la mayoría de los elementos químicos cuando se utilizó como agente neutralizante el hidróxido de potasio.

Por lo que se aprecia los contenidos de macronutrientes y micronutrientes del efluente obtenido según se muestra en las Tablas 1 y 2, producto obtenido al hacer un cambio en la etapa de refinación del aceite de pescado donde normalmente se utiliza el hidróxido de sodio y se propone la utilización del hidróxido de potasio, se hace evidente la proyección de utilizarse esta agua como soluciones fertilizantes para cultivos, en esta proyección se tiene el aporte de Legua (2001) explica que en sus resultados de la evaluación de crecimiento y desarrollo del rabanito, lechuga y acelga, donde se llevó la contrastación con los medios de cultivos fertilizados con soluciones nutrientes a diferente relación dilución, y un medio de cultivo testigo, en todos los medios de cultivo se depositó semillas para observar su germinación y crecimiento.

La respuesta de las plantas rabanito, lechuga y acelga es evidentemente favorable en los medios de cultivo que fueron fertilizados mas no así en el medio de cultivo testigo, los resultados favorables son más marcados en el caso del rabanito y lechuga. Por otro lado, se observa también un mejor resultado en el tamaño de la planta y peso fresco de tallos, hojas y raíces. Para la relación de dilución 1:22, al menos esto es evidente en el caso del rabanito y lechuga.

Conclusiones

Al realizar el cambio de agente neutralizante a nivel laboratorio en la refinación de una muestra de aceite de pescado no se observó ningún inconveniente en el lavado del aceite para su remoción de restos de hidróxido de potasio de la masa de aceite, al igual que resulta cuando se neutraliza con hidróxido de sodio.

La propuesta de aplicación de neutralizar con hidróxido de potasio es viable técnicamente pero económicamente no por el mayor costo que tiene el hidróxido de potasio con respecto al hidróxido de sodio.

Se evidencia el mayor contenido de macronutrientes y micronutrientes en el agua de mezcla resultante de aguas de lavado del aceite y el agua resultante en la recuperación de los ácidos grasos de las sales de jabón formadas en la refinación del aceite.

Un macronutriente muy importante para el desarrollo vegetativo de un cultivo que en ese caso es el nitrógeno, su contenido en el agua resultante utilizando el hidróxido de potasio es de 25760 mg/L, mientras que cuando se neutraliza con hidróxido de sodio registra un contenido en el agua de lavado de 560 mg/L. Esta gran diferencia en el contenido de nitrógeno proyecta resultados favorables al utilizarse este producto como fertilizante foliar.

Referencias

- Acosta, A. (1999). *Propuestas de la tecnología limpia en la industrialización de los recursos naturales*. En: Primer Simposium Internacional de Industrialización de los Recursos Naturales para el Desarrollo Nacional. Ed. Colegio de Ingenieros del Perú, Capítulo de Ingeniería Química. Lima.
- Althausen, M. (2016). *Tratamiento de efluentes de la planta de beneficio-convertir un residuo en un recurso*. Palmas 37 (Especial Tomo II): 31-37. https://web.fedepalma.org/conferenciainternacional/wp-content/uploads/2022/09/M_2_3_-Tratamiento-de-Efluentes.pdf.
- Enkerlin, E., Rodríguez, S. y Cano, G. (1997). El desarrollo sostenible ¿un nuevo paradigma? En: *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible*. Ed. International Thomson Editores, México.
- Vargas, H., Ponce de León, D., Ojeda, R y Torres, F. (2014). *Metodología para el uso y manejo social del recurso tierra como contribución al desarrollo local sostenible*. 1(1): 34-38.
- Lee, Z. (2019) Tecnologías de tratamiento de efluentes de molinos de aceite de palma (POME) y aguas residuales de molinos de olivo (OMW). *Tecnología e Innovación Ambiental*, 15.

ISBN: 978-9942-616-12-8



9789942616128