

OBTENCIÓN DE UN MEDIO ENRIQUECIDO EN PROTEÍNAS A PARTIR DE RESIDUOS DE PAPA (*Solanum tuberosum*) POR FERMENTACIÓN MICROBIANA

Apunte, D*, Fernández, D*, López, O. D.*

*Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador

Resumen

En el presente trabajo de investigación para obtener un medio enriquecido en proteínas por fermentación microbiana, se realizó la caracterización fisicoquímica de los residuos domésticos de papa (*Solanum tuberosum*), para esto se determinó: pH, porcentaje de humedad, porcentaje de almidón y concentración de proteína en las variedades: superchola, chola y única. Mediante un diseño completamente al azar se pudo comprobar que no existió diferencia significativa entre las tres variedades de papa en cuanto al porcentaje de almidón. Se caracterizó macroscópica y microscópicamente al *Aspergillus niger*, microorganismo aislado por estudiantes de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología a partir de sustratos orgánicos de limón, para posteriormente utilizarlo en la fermentación microbiana con los residuos de papa caracterizados. En la investigación se formularon 4 medios, mediante un diseño factorial 2^2 se determinó la influencia de los factores humedad (61% y 93%) y composición del medio (sin sales y con sales) sobre las variables respuestas: concentración de proteínas y concentración de biomasa, obteniendo valores óptimos de 15,91 mg/ml y de 0,79 g/ml respectivamente, en el medio formulado sin sales y con una humedad del 61%.

Palabras claves: residuos domésticos, *Aspergillus niger*, fermentación microbiana, enriquecimiento proteico, biomasa.

Abstract

In the present work of investigation to obtain a half enriched in proteins by microbial fermentation, the physicochemical characterization of the domestic residues of potato was carried out (*Solanum tuberosum*), for this it was determined: pH, percentage of humidity, percentage of starch and concentration of protein in the superchola, chola and única varieties. By means of a completely random design it was possible to verify that there was no significant difference between the three potato varieties in terms of the percentage of starch. It was characterized macroscopically and microscopically to *Aspergillus niger*, microorganism isolated by students of the Faculty of Science and Engineering in Food and Biotechnology from organic substrates of lemon, to later use it in the microbial fermentation with the potato waste characterized. In the research 4 media were formulated, by means of a factorial design 2^2 the influence of the humidity factors (61% and 93%) and composition of the medium (without salts and salts) on the variable responses was determined: concentration of proteins and

concentration of biomass, obtaining optimum values of 15,91 mg/ml and 0,79 g/ml respectively, in the medium formulated without salts and with a humidity of 61%.

Key words: domestic waste, *Aspergillus niger*, microbial fermentation, protein enrichment, biomass.

1. Introducción

En la actualidad se generan miles de toneladas de residuos sólidos vegetales diariamente debido al incremento de la población y al consumo de alimentos, esto hace que dichos residuos requieran un amplio espacio para su biodegradación natural causando grandes problemas al medio ambiente, por lo que es interés convertir estos residuos en bioproductos, desarrollando así tecnologías que disminuyan los grandes volúmenes de estos residuos y su aprovechamiento (Torres, 2013).

Debido a la demanda de alimentos ricos en proteínas, la industria alimentaria y agrícola busca crear nuevos productos tanto para los humanos como para los animales, pero en muchos casos esto resulta algo complejo debido a los altos costos de producción. La biotecnología es un campo que se encuentra en desarrollo y presenta varias aplicaciones, una de ellas es transformar estos residuos en productos de alto valor agregado (Arguero, 2014). Uno de los componentes alimenticios más escasos y costosos son las proteínas, por lo tanto, los problemas de abastecimiento de proteína hacen necesaria la indagación de nuevas alternativas. Una de las alternativas de producción proteica son las proteínas de origen microbiano o también denominadas proteínas unicelulares, estas proteínas son producidas mediante procesos de fermentación controlada ya sea por cepas puras o por mezclas de hongos, bacterias y algas unicelulares (Wang, et al., 2012). Las proteínas unicelulares se pueden obtener a partir de residuos agroindustriales, con el uso de la fermentación en estado sólido (FES) (Oviedo, et al., 2016).

Según el INEC (2018), cada habitante del Ecuador produce en promedio alrededor de 0,58 kilogramos de residuos sólidos y la recolección de toneladas diarias de residuos sólidos en promedio fue de 12.897,98 en el año 2016. El 80% de la producción nacional de papa se comercializa para consumo doméstico, en los restaurantes, el mayor uso que se le da es como papa frita y en sopas. Otra forma de uso en estos locales es en puré, ensaladas y tortillas, de esta forma se desechan grandes cantidades de este tubérculo (Saragocin, 2015).

La gran cantidad de residuos que se generan en Ecuador, el bajo costo y el escaso aprovechamiento industrial, hace posible la utilización de estos residuos como materia prima para la elaboración de proteínas unicelulares, cuidando así al medio ambiente y evitando la contaminación del mismo. La papa es el cuarto cultivo más importante a nivel mundial y el más consumido en la Región Andina del Ecuador, esto es debido a las propiedades nutricionales y a su fácil crecimiento. Este tubérculo contiene un porcentaje de almidón en el rango de 8,67 a 22,72%, aproximadamente 2,1% de proteína, vitamina C, vitaminas del complejo B y varios minerales (Gerena, 2013).

En el presente trabajo de investigación se utilizó como sustrato, las cáscaras de papa, para la producción de proteína unicelular por fermentación microbiana.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Se utilizó material de vidrio (GLASSCO), toallas de papel (Casa del químico), magnetos (Elicrom), residuos domésticos de tres variedades de papa:

superchola, chola y única. *Aspergillus niger*, hongo aislado en el laboratorio de Microbiología a partir de muestras de sustratos orgánicos de limón.

2.2. Equipos

Secadero de bandejas (GANDER MTN)
Balanza de humedad (Citizen MB 200)
Molino de cuchillas (INOX-EQUIP)
pHmetro (Thermo Scientific)
Estufa (MEMMERT NUT-004X)
Autoclave (MLS-3020U-PE)
Cámara de flujo laminar (Thermo Scientific™)
Agitador incubador orbital (Ivymen sistema Shaker)
Espectrofotómetro UV-VIS (HACH DR 5000, Germany)
Centrífuga (PLC SERIES-03)
Pipeta automática (Thermo Scientific, Dinamarca)
Balanza analítica (Adventurer Pro)
Software de análisis de datos estadístico y gráfico, Statgraphics XVI.I 64x.

2.3. Reactivos

Ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) (Elicrom)
Hidróxido de sodio (NaOH) (Elicrom)
Ácido Clorhídrico (HCl) (Elicrom)
Ácido acético (CH₃COOH) (Elicrom)
Acetato de sodio (C₂H₃NaO₂) (Elicrom)
Tartrato de sodio y potasio (KNaC₄H₄O₆·4H₂O) (Elicrom)
Sulfato de cobre (II) (CuSO₄) (Elicrom)
Enzima α-amilasa (Elicrom)
Enzima glucoamilasa (Elicrom)
Fosfato de amonio dihidrogenado (NH₄H₂PO₄) (Elicrom)
Sulfato de magnesio (MgSO₄·7H₂O) (Elicrom)
Sulfato ferroso (FeSO₄·7H₂O) (Elicrom)

Papa-Dextrosa-Agar (PDA) (Sigma-aldrich).

2.4. Metodología

2.4.1. Obtención del sustrato

Se recolectaron las cáscaras de tres variedades de papa: superchola, chola y única, estos residuos domésticos se lavaron y se pesaron en la Balanza analítica (Adventurer Pro), se sometieron a un proceso de secado utilizando el Secadero de bandejas (Garden MNT) a 71.1 °C durante 18 horas. El material seco fue molido utilizando un Molino de cuchillas (INOX-EQUIP), estas harinas fueron utilizadas como sustrato para el crecimiento del microorganismo (Valverde y Lezama, 2017).

2.4.2. Caracterización fisicoquímica del sustrato.

2.4.2.1. Determinación del pH

Se pesaron 5 g de harina y se disolvieron en agua destilada, se filtró y se determinó el pH por triplicado utilizando el pHmetro (Thermo Scientific) previamente calibrado. El potencial de hidrógeno (pH) es una medida que indica el grado de acidez o basicidad de una solución en una escala que varía entre 0 y 14 (Bravo, 2013).

2.4.2.2. Determinación del porcentaje de humedad

Se pesó por triplicado 3 g de las harinas, se colocaron las muestras sobre el plato de la Balanza de humedad (Citizen MB 200) exponiéndolas a los rayos infrarrojos, el secado por infrarrojos supone la irradiación de calor hacia el

interior de la muestra para evaporar el agua, por lo tanto, la diferencia entre el peso inicial y el final corresponde al agua que fue eliminada (UNSTA, 2015).

2.4.2.3. Determinación del porcentaje de almidón

Se pesó por triplicado 50 mg de las harinas y se colocó en tubos de centrifuga, los cuales se sometieron a una hidrólisis enzimática utilizando α -amilasa termoestable y glucoamilasa comercial. Al sobrenadante obtenido después de realizar la centrifugación utilizando la Centrifuga (PLC SERIES-03) se le determinó el contenido de azúcares reductores por el método de DNS. Los azúcares reductores pueden reducir al ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) desarrollándose un cambio de coloración que puede determinarse a partir de la lectura de la absorbancia a una longitud de onda de 540 nm utilizando el Espectrofotómetro UV-VIS (HACH DR 5000, Germany) (Peña, 2009). Se determinó el porcentaje de almidón a partir de una curva patrón de glucosa en el rango de concentraciones de 0,4 a 2 mg/ml.

2.4.2.4. Determinación de la concentración de proteínas

Se determinó la concentración de proteínas mediante el método de Biuret, este método se fundamenta en la formación de un complejo de coordinación entre los iones Cu^{+2} y los pares de electrones no compartidos del nitrógeno que forma parte de los enlaces peptídicos con la obtención de un compuesto de coloración azul violeta.

El color formado responde a la ley de Lambert-Beer, a mayor concentración

de proteínas, más coloreada se torna la solución obteniéndose mayor valor de absorbancia (Puerto, 2013).

En tubos bacteriológicos se colocó 0,1 ml de las muestras y se añadió 0,9 ml del reactivo de Biuret, se mezcló y se dejó a temperatura ambiente durante 20 min. Después de este tiempo fue determinado el valor correspondiente a la intensidad de color mediante la lectura de absorbancia a la longitud de onda de 540 nm en el Espectrofotómetro UV-VIS (HACH DR 5000, Germany) (Galván, 2014). La concentración de proteínas se obtuvo a partir de una curva patrón con Albúmina de Suero Bovino en el rango de concentraciones de 0 hasta 16 mg/ml.

2.4.3. Caracterización macroscópica y microscópica del *Aspergillus niger*

En la caracterización macroscópica de este hongo se analizaron los siguientes aspectos: relleno, borde, textura, brillo, exudado, gotícula, pigmento difusible, color en el reverso y color en el anverso. En la caracterización microscópica fue analizado: micelio, esporulación, presencia o ausencia de esporas, forma de esporas y conidióforo (Gil, 2017).

2.4.4. Obtención del medio enriquecido en proteínas

Para la obtención del medio enriquecido en proteínas se realizaron 4 formulaciones en volúmenes de 60 y 360 ml, cada una con tres réplicas, donde se analizaron como factores de estudio: la humedad (61 y 93%) y la composición del medio (con sales y sin sales). Las sales que se utilizaron al preparar los medios fueron: Fosfato de amonio dihidrogenado ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$),

Sulfato de magnesio ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) y Sulfato ferroso ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), en un porcentaje del 15% (Reyes, et al., 2013).

En cada una de las formulaciones se inoculó el microorganismo previamente caracterizado macroscópicamente y microscópicamente, y mantenido a la temperatura de 30 °C en el Agitador Incubador Orbital (Ivymen sistema Shaker) con una velocidad de agitación de 130 rpm durante 8 días (López, 2017). Se determinó la influencia de los factores de estudio sobre las variables respuestas: concentración de proteínas y concentración de biomasa (peso seco).

2.4.4.1. Determinación de la concentración de biomasa y proteínas

La concentración de biomasa fue estimada mediante peso seco, este es un método gravimétrico, para el cual se pesaron los tubos de centrifuga vacíos, se tomaron las muestras del fermentado y se centrifugaron en la centrifuga (PLC SERIES-03) a 4000 rpm. El pellet obtenido fue lavado y colocado en la estufa (MEMMERT NUT-004X) a la temperatura de 55,5 °C durante 24 horas, al término de este tiempo se pesó el tubo y se calculó la diferencia entre ambos pesos, considerando el volumen de muestra utilizada (Sánchez, 2012).

La concentración de proteínas se realizó utilizando el método de Biuret como se indica en el apartado 2.4.2.4., realizando previamente un proceso de ruptura celular, utilizando arena estéril.

1.0.1. Análisis estadístico

Utilizando el software Statgraphics

Centurion versión XVI.I se realizó un análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de los porcentajes de almidón que se obtuvieron en cada variedad de papa. Se determinó si existieron diferencias significativas entre los factores: humedad y composición del medio, así como sus interacciones en el proceso fermentativo. Las variables respuestas: concentración de proteínas y biomasa fueron optimizadas para conocer donde el microorganismo obtuvo el mayor crecimiento y aporte proteico al medio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización fisicoquímica del sustrato

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica que se le realizó a las tres variedades de papa obteniendo valores de humedad bajos debido al proceso de secado realizado, además de pH ácidos en el rango de 5,77 a 6,04. Sandoval (2012), en la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de papa obtuvo también valores de pH ácidos entre $4,84 \pm 0,12$. Según INTAGRI (2017), el cultivo de *Solanum tuberosum* tiene un adecuado desarrollo en un rango de pH de 5.0 a 7.0. Los suelos salinos, alcalinos o compactados provocan trastornos en el desarrollo y producción de la papa.

Los porcentaje de almidón se encontraron en el rango de 14,95 a 15,74% demostrando similitud con lo reportado por Loyola (2010) en tubérculos de papas producidos en forma convencional y orgánico, obteniendo valores de 14,46% y 13,58% respectivamente.

El almidón es el segundo polisacárido más abundante en la naturaleza, se

encuentra en las semillas de cereales, tubérculos, raíces, semillas de leguminosas, frutas, troncos y hojas. El porcentaje de almidón varía según el estado de madurez de la fuente, el tamaño y forma de estos gránulos son característicos de cada especie botánica (Songor y Tenesaca, 2019).

Con los valores obtenidos de porcentaje de almidón se realizó un diseño completamente al azar en el cual el análisis de varianza presentó un Valor-P mayor a 0,05 (Tabla 2), lo que indicó que no existió una diferencia estadísticamente significativa para un nivel del 95% de confianza, por lo tanto, se pudo haber utilizado cualquiera de las tres variedades de papa, sin embargo, en este trabajo de investigación fue seleccionada la variedad superchola por ser una de las variedades más consumidas y de la cual se desecha una gran cantidad de cáscara en esta ciudad. Torres (2013), cuantificó la concentración de proteína al inicio de la fermentación de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* en residuos de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) obteniendo valores de 4,25 mg/ml, muy similares a los valores obtenidos en la caracterización de estas tres variedades de papa los cuales estuvieron entre 4,72 a 5,47 mg/ml, por lo que las cáscaras de papa son sustratos que presentan alto contenido de almidón y bajas concentraciones de proteínas que pueden ser utilizados para el enriquecimiento proteico.

3.2. Caracterización macroscópica y microscópica del *Aspergillus niger*

Se realizó una caracterización macroscópica y microscópica del *Aspergillus niger* como se muestra en

la Tabla 3 y 4. *Aspergillus niger* es un hongo que se encuentra alrededor del mundo, su crecimiento está asociado a materiales orgánicos y al suelo, este microorganismo es usado para la biodegradación de desechos industriales y para la elaboración de sustancias y enzimas necesarias en la fabricación de productos comestibles y no comestibles. Álvarez (2017), preparó medio PDA para el aislamiento de colonias de *Aspergillus spp*, de las colonias obtenidas seleccionó las que presentaban morfología esperada para *Aspergillus niger*: vista frontal de color negro o marrón, vista posterior de color amarillo, información similar a la registrada en la Tabla 3.

De acuerdo con lo reportado en bibliografía, el *Aspergillus niger* es un hongo micelial formado por hifas tabicadas. Las colonias de este hongo crecen rápidamente y por su aspecto polvoriento son fáciles de reconocer. Presentan conidióforos que son de pared lisa o pigmentada y miden de 1,5 a 3 mm de largo y de 15 a 20 mm de diámetro. Al microscopio se puede observar abundantes conidios con aspecto variable: entre ellos globosas, subglobosas, elípticas, lisas, verrugosas o con estrías longitudinales, todas de color negro o marrón (Tabla 4) (Gil, 2017).

3.3. Obtención del medio enriquecido en proteínas

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza para la concentración de proteínas el Valor-P para el factor humedad y composición del medio fue menor que 0.05 para un nivel de confianza del 95%, de modo que estos factores influyeron significativamente sobre la

concentración de proteína. (Tabla 5). El Diagrama de Pareto muestra que la influencia de ambos factores fue negativa sobre la concentración de proteínas (Figura 1). El Gráfico de Efectos Principales indica que a medida que aumenta la humedad del medio de 61 a 93% existió una disminución de la concentración de proteínas, similar a lo ocurrido en cuanto a la composición del medio obteniéndose que al adicionar suplementos al medio disminuyó, pero en menor proporción. (Figura 2).

En el análisis de varianza para la concentración de biomasa el Valor-P para el factor humedad fue menor que 0.05 para un nivel de confianza del 95%, de modo que este factor influyó significativamente sobre la concentración de biomasa. El factor composición del medio no influyó sobre esta variable respuesta. (Tabla 6). El Diagrama de Pareto muestra que la influencia del factor humedad fue negativa sobre la concentración de biomasa (Figura 3). En el Gráfico de Efectos Principales se observa que a medida que aumenta la humedad del medio de 61 a 93% existió una disminución de la concentración de biomasa, similar al comportamiento obtenido al analizar la variable concentración de proteínas. Esta correspondencia se debe a que la proteína que es aportada al medio es proveniente del crecimiento celular. (Figura 4).

De acuerdo con estudios realizados, el incremento del crecimiento del *Aspergillus niger* se produce con una humedad del 50 al 60%. Teniendo en cuenta, que su fase esporulativa es un estado de resistencia que se desencadena frente a condiciones adversas, es por lo que con humedades bajas aumenta el crecimiento del hongo, la germinación

de las esporas, no requiriéndose de niveles elevados de humedad para la colonización de nuevos sustratos (Pozzo *et al*, 2008).

En el Diagrama de Superficie de Respuesta Estimada para la concentración de proteínas y concentración de biomasa, se observa que con una humedad del 61% y con el medio sin sales (-1) se maximizaron ambas variables respuestas, obteniéndose un valor óptimo de concentración de proteínas de 15,91 mg/ml y una concentración de biomasa de 0,79 g/ml. (Figura 5, Tabla 7).

Torres (2013), afirmó que el sustrato de papa es el mejor sustrato para la producción de proteína celular, al finalizar el proceso fermentativo este sustrato produjo en promedio 9,8 mg/ml de proteína. Al comparar los valores de proteína reportados bibliográficamente con los resultados obtenidos en esta investigación, se observó un aumento significativo en los niveles de proteína a 15,91 mg/ml.

4. CONCLUSIONES

Se realizó la caracterización fisicoquímica de los residuos domésticos de papa (*Solanum tuberosum*), obteniéndose valores de pH que oscilaron en el rango de 5,77 a 6,04; una concentración de proteínas de 4,72 a 5,47 mg/ml; el porcentaje de humedad desde 5,54 a 6,21% y el porcentaje de almidón de 14,95 a 15,74%.

Mediante un diseño completamente al azar se demostró que no existió diferencia significativa entre las variedades: superchola, chola y única en cuanto al porcentaje de humedad.

Se caracterizó macroscópicamente y microscópicamente al *Aspergillus*

niger, hongo aislado a partir de sustratos orgánicos de limón, este hongo presentó vista frontal de color marrón y vista posterior de color amarillo, micelio tabicado, esporas de forma globular, aspecto polvoriento y presencia de conidióforos.

Se obtuvo un medio enriquecido en proteínas a partir de residuos de papa utilizando el *Aspergillus niger*, con valores de concentración de proteínas de 15,91 mg/ml y de concentración de biomasa de 0,79 g/ml, en el medio formulado con una humedad del 61% y sin incluir sales.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez, J. (2017). Evaluación de la funcionalidad de producción de ácido cítrico usando cepas de *Aspergillus niger* identificadas molecularmente. Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6627/1/131134.pdf>
- Arguero, A. (2014). Estudio de la producción de enzima amilasa mediante *Aspergillus niger* por fermentación sólida, con el uso de residuos agroindustriales. Recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7349/1/CD-5494.pdf>
- Bravo, J. (2013). Obtención de harina precocida de camote (*ipomoea batatas* L.) para su uso tecnológico en la industria alimentaria. Recuperado de: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5041/1/53886_1.pdf
- Gerena, F. (2013). Obtención de jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de residuos de cáscaras de naranja (*citrus sinensis* L var valencia) y papa (*Solanum tuberosum*) variedad diacol capiro (r-12) para ser empleados como edulcorantes en la industria de alimentos. Recuperado de: <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/1528/1/46455179pdf.pdf>
- Gil, M. (2017). *Aspergillus niger*: características, taxonomía, morfología y patologías. Recuperado de: <https://www.lifeder.com/aspergillus-niger/>
- Hernández, M; Torruco, G; Guerrero, L y Betancur A. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. Recuperado de: <http://www.scielo.br/pdf/cta/v28n3/a31v28n3.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. [INEC]. (2018). Estadística de información Ambiental. Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/segun-la-ultima-estadistica-de-informacion-ambiental-cada-ecuadoriano-produce-058-kilogramos-de-residuos-solidos-al-dia/>
- Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. [INTAGRI]. (2017). Requerimientos de Clima y Suelo para el Cultivo de la Papa. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-la-papa>
- Loyola, N. (2010). Evaluación del contenido de almidón en papas (*solanum tuberosum*, spa. *tuberosum* cv. *desirée*), producidas en forma orgánica y convencional en la provincia de Curicó. Recuperado de: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v28n2/art05.pdf>
- Oviedo, J; Zapata, D; García, L; y Echeverría D. (2016). Evaluación del enriquecimiento proteico de residuos de papa y yuca con (*Paecilomyces variotti*). *Revista Ingeniería y Región*. Pag 73-84.
- Peña, A. (2009). Hidrólisis de almidón de yuca mediante la utilización de preparaciones solubles e insolubilizadas de alfa-amilasa (*Aspergillus niger*). Recuperado de: <http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/eventos/siquia20130415/siquia2009pos4.pdf>
- Puerto, M. (2013). Determinación de proteínas. Recuperado de: <http://www.fagro.edu.uy/~nutrical/ensenanza/AVI%20WEB/cursoema/detdePC.pdf>
- Reyes, I.; González, M y López, F. (2013). Un análisis del metabolismo de *Aspergillus niger* creciendo sobre un sustrato sólido. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 12, núm. 1, pp. 41-56
- Sánchez, J. (2012). Técnicas Analíticas. Determinación de Biomasa. Recuperado de: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/tvolke/00_Determin-BM.pdf
- Sandoval, E. (2012). Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. *Revista Actualidad y Divulgación científica*, vol. 15, núm. 1.
- Saragocin, C. (2015). “Estudio de factibilidad económica para la instalación de una planta procesadora de papa (*Solanum tuberosum*) mínimamente procesada para el Consorcio de Productores de papa

- CONPAPA – Tungurahua”. Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/9357/1/AL%20555.pdf>
- Songor, M y Tenesca, A. (2019). Extracción y uso de almidón de papa china (*Colocasia Esculenta*) en la elaboración de productos cárnicos emulsionados. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/32116/2/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>
- Torres, G. (2013). Cuantificación del contenido de proteína celular (scp) en la biomasa de la levadura *saccharomyces cerevisiae* producida a partir de residuos de cáscaras de naranja (*citrus sinensis* l var valencia) y papa (*solanum tuberosum*) variedad diacol capiro (r-12) para uso en la alimentación animal. Recuperado de: https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/1070/2/TorresVargasGoldaMeyer_2013.pdf
- UNSTA. (2015). Catedra de bromatología y técnicas alimentarias. Análisis de harinas. Recuperado de: <http://www.unsta.edu.ar/wp-content/uploads/2015/07/Harina-2015.pdf>
- Valverde, I y Lezama, J. (2017). Influencia de la hidrólisis química en las características fisicoquímicas y funcionales de los residuos industriales de papa, camote y yuca. Recuperado de: <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/3053/47038.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wang, C., Li, Y., (2012). Fungal pretreatment of lignocellulosic biomass. *Biotechnology Advances*, 30(6):1447-1457. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.03.003>

Tablas

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica del sustrato

Variedades de papa	pH	Porcentaje de Humedad (%)	Porcentaje de almidón (%)	Concentración de proteína (mg/ml)
Única	5,78 ± 0,125	6,21 ± 0,280	14,95 ± 0,322	4,72 ± 0,325
Chola	5,77 ± 0,125	5,75 ± 0,280	15,35 ± 0,322	5,47 ± 0,325
Superchola	6,04 ± 0,125	5,54 ± 0,280	15,74 ± 0,322	4,86 ± 0,325

Tabla 2. Análisis de varianza del porcentaje de almidón

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,00555	2	0,502775	0,28	0,7681
Intra grupos	9,03587	5	1,80717		
Total	10,0414	7			

Tabla 3. Caracterización macroscópica del *Aspergillus niger*

Caracterización	<i>Aspergillus niger</i>
Relleno	Medio
Borde	Irregular
Textura	Polvorienta
Brillo	Mate
Exudado	Ausencia
Gotícula	Ausencia
Pigmento Difusible	Ausencia
Color en el reverso	Marrón
Color en el anverso	Amarillo

Tabla 4. Caracterización microscópica del *Aspergillus niger*

Caracterización	<i>Aspergillus niger</i>
Micelio	Tabicado
Esporulación	Unicelular
Esporas	Presencia
Forma de spora	Globular
Conidióforo	Presencia

Tabla 5. Análisis de varianza para la concentración de proteínas

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Humedad	56,4089	1	56,4089	807,60	0,0000
B:Composición del medio	0,48513	1	0,48513	6,95	0,0336
bloques	0,0440835	2	0,0220418	0,32	0,7392
Error total	0,488933	7	0,0698475		
Total (corr.)	57,4271	11			

Tabla 6. Análisis de varianza para la concentración de biomasa

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Humedad	0,334334	1	0,334334	190,10	0,0000
bloques	0,00140867	2	0,000704333	0,40	0,6827
Error total	0,0140702	8	0,00175877		
Total (corr.)	0,349813	11			

Tabla 7. Valores óptimos de concentración de proteínas y concentración de biomasa

Respuesta	Óptimo
Concentración de proteína (mg/ml)	15,9099
Concentración de biomasa (g/ml)	0,78766

Figuras

Figura 1. Diagrama de Pareto Estandarizado para la concentración de proteína

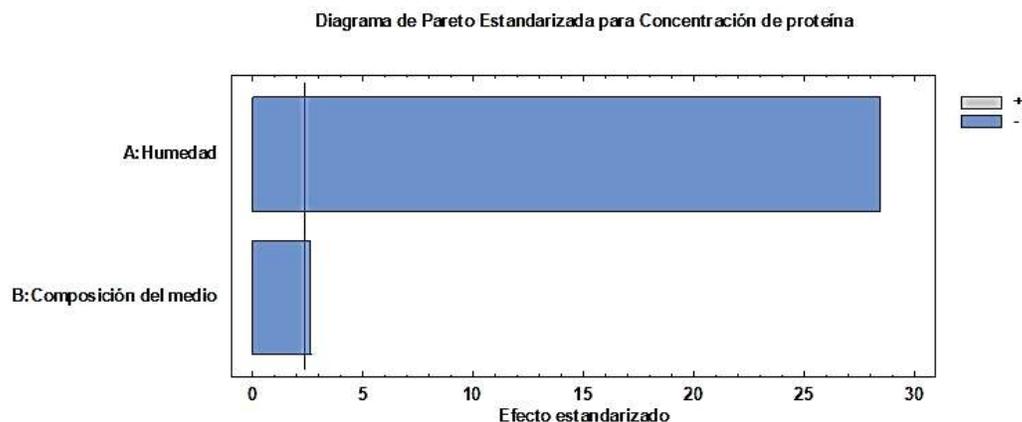


Figura 2. Gráfico de Efectos Principales para la concentración de proteína

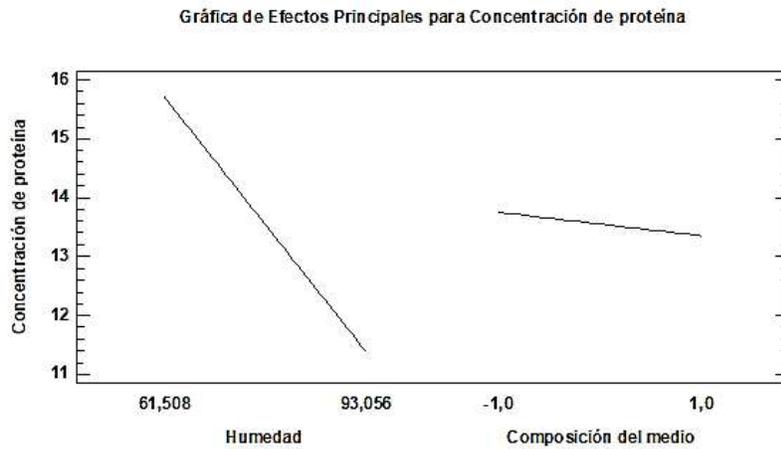


Figura 3. Diagrama de Pareto Estandarizado para la concentración de biomasa

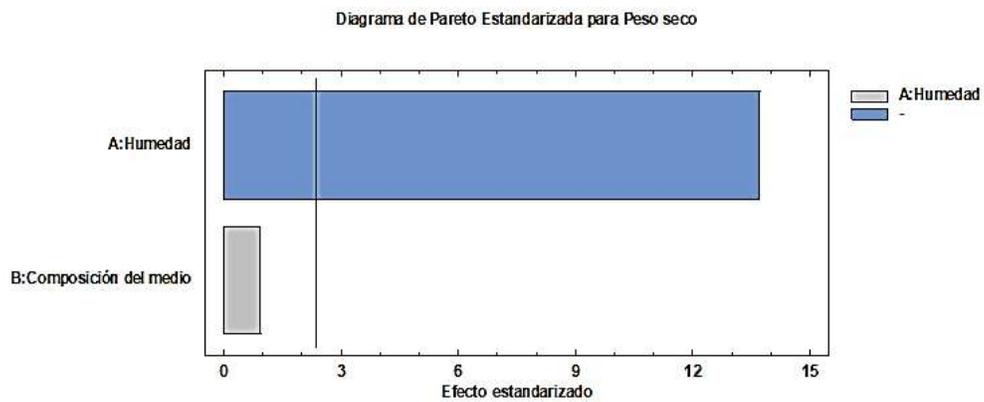


Figura 4. Gráfico de Efectos Principales para la concentración de biomasa

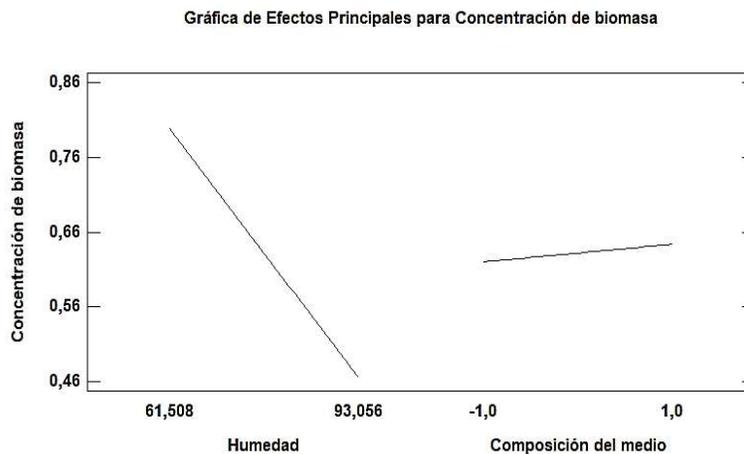


Figura 5. Diagrama de Superficie de Respuesta Estimada

