

Desarrollo y Validación de Modelos Matemáticos que Relacionan a la Gravedad Específica con el Contenido de Materia Seca y de Almidón en Tubérculos Cultivados en Ecuador

J. Alvarado, D. Rogel, J. Medina
Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos
Centro de Investigación CENI
Universidad Técnica de Ambato
Ciudadela Huachi. Los Chasquis y Río Payamino. Casilla 18-01-0334
E-mail: fcial@uta.edu.ec
Ambato- Ecuador

Resumen

*Utilizando un criterio de aditividad de los componentes principales de raíces y tubérculos, se desarrollaron modelos matemáticos en forma de ecuaciones lineales que relacionan a la gravedad específica con el contenido de materia seca y de almidón. Para comprobar la validez de las ecuaciones, se trabajó con siete especies de tubérculos de la Región Andina, cosechados por tres ocasiones en trimestres diferentes: achira (*Canna edulis*), arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), miso (*Mirabilis expansa*), mashua (*Tropaeolum tuberosum*), melloco (*Ullucus tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*) y papa (*Solanum tuberosum*); en los cuales se determinó: gravedad específica en forma individual y en lotes, materia seca y almidón. En todas las especies se establecieron correlaciones lineales empíricas entre la gravedad específica y el contenido de materia seca, así como también con el almidón, presentándose las ecuaciones específicas correspondientes. Además se presentan las ecuaciones generales obtenidas con los datos de las siete especies, las cuales son comparadas con los modelos matemáticos y conducen a señalar su validez. La información presentada es nueva para la mayoría de las especies y útil para cuantificar rápidamente el contenido de sólidos y almidón, lo cual es importante para seleccionar materias primas en industrias y para una mejor utilización de estos productos en la alimentación.*

Palabras clave: *modelos matemáticos, gravedad específica, materia seca, almidón, raíces, tubérculos.*

Abstract

*Lineal mathematical models were developed according to the additive criteria of the dry matter and starch content on the specific gravity of roots and tubers. Seven different species of roots and tubers from the Andean Region harvested in three different periods during nine months were considered. They are: achira (*Canna edulis*), arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), mauka (*Mirabilis expansa*), mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), ulluco (*Ullucus tuberosus*) and potato (*Solanum tuberosum*). Specific gravity was determined individually and in lots, as well as dry matter and starch content. In all products lineal correlations between specific gravity and the components were established and each particular equation is presented. A general equation obtained with all data for the three roots and four tubers is presented too; this is comparable with the mathematical model developed according to the additive criteria of the components on the specific gravity. The information is new for most of these products and is suitable for a quick quantification of starch content, which is important for selecting raw materials at industries and optimising its uses in feeding.*

Key words: *mathematical models, specific gravity, dry matter, starch, roots, tubers.*

1. Introducción

Los tubérculos son abultamientos que se presentan en distintas partes de algunas plantas, especialmente en el tallo y en la raíz y en los cuales la planta almacena reservas nutritivas; se llama caulinar cuando procede del tallo y radical cuando se produce en la raíz. En el presente trabajo el nombre de tubérculo se refiere tanto a los caulinares como a los radicales o raíces.

Según Scott, los tubérculos juegan un rol importante en el sistema global de alimentación. Contribuyen a los requerimientos energéticos y de nutrición de más de dos mil millones de personas en los países en desarrollo y continuarán haciéndolo en las próximas dos décadas. Son consumidos y producidos por la mayoría de los más pobres y pequeños agricultores con mayor inseguridad alimentaria y constituyen igualmente una fuente importante de empleo e ingreso en las áreas rurales. Además se adaptan a una amplia gama de usos, entre ellos: son alimentos básicos para consumo fresco y en forma procesada, sirven para alimento animal y como materia prima para fines industriales [13].

No sorprende entonces, que las raíces y tubérculos se hayan convertido en objeto de atención creciente en los últimos años por su potencialidad agrícola y económica [10]. Según el Centro Internacional de la Papa se calcula que el potencial máximo de rendimiento de la papa, en términos de valor alimenticio, prácticamente duplica al de los cereales [3].

Espín y colaboradores indicaron que el contenido de materia seca y de almidón en raíces y tubérculos andinos es extremadamente variable, en un trabajo realizado con numerosas accesiones de siete especies, establecieron valores de materia seca expresados en [g/100 g] que van desde 7.2 en mashua hasta 40.1 en miso; en el caso del almidón principal componente de la materia seca o sólidos totales, desde 20.0 en mashua hasta 86.0 en arracacha y 84.0 en miso [g/100 g seco]. Esta variación es atribuida entre otros factores a la variedad, clima, prácticas de cultivo, duración de la temporada de cultivo, condiciones del suelo, incidencia de plagas y enfermedades [5].

Según Flores y colaboradores, el fascinante grupo de las raíces y tubérculos andinos no son más de nueve familias de plantas, sin embargo la diversidad genética y el potencial son considerables. Señalaron que existen cerca de 8000 accesiones de oca, melloco y mashua las cuales pueden expandir la gama de propiedades nutricionales representadas especialmente por el selectivo consumo actual de las *Solanum sp.* [7].

Alvarado señaló que los valores de gravedad específica, materia seca y almidón en papas y otros tubérculos, son elementos importantes en la

selección de cultivares para distinto tipos de procesamiento industrial. A través del dato experimental de la gravedad específica de los tubérculos se pueden obtener los contenidos de materia seca y de almidón, aplicando las distintas tablas de conversión o ecuaciones establecidas [2]. En consecuencia, la gravedad específica de papas es un determinante importante de la calidad de la cosecha, este atributo de un tubérculo es en la práctica un indicador de la maduración que utiliza la industria [4]. Sin embargo se debe realizar la medida con cuidado, pues según lo indicado por Ordóñez y colaboradores [12], en el valor de la gravedad específica influyen numerosos factores, entre ellos: composición química y tamaño de los gránulos de almidón, composición del líquido intercelular del parénquima y de la masa de gases en este espacio y en el interior del tejido, grado de suberización de la piel, grado de hidratación del parénquima, entre los factores más importantes establecidos en papas.

No todos los tubérculos de una planta tienen la misma gravedad específica, así un extremo de un tubérculo puede tener una gravedad específica diferente del otro [9]. Además el tamaño del tubérculo influye en las determinaciones de la gravedad específica, por esta razón las unidades de la muestra deben contener tubérculos de todos los tamaños [14].

Con excepción de la papa en la que se ha llegado a determinar la textura luego de la cocción con vapor por medida rutinaria de la gravedad específica del producto fresco [11] o interacciones de genotipos con la estacionalidad o la localidad [8], para el resto de tubérculos andinos no se dispone de información que relacione a la gravedad específica con los componentes sólidos.

Por ello se consideró necesario e importante establecer si existen relaciones matemáticas entre propiedades físicas como la gravedad específica y componentes químicos como el almidón; además de seleccionar un tamaño de muestra adecuado para medir la gravedad específica de productos al granel. Se busca disponer de un método rápido, sencillo y barato, como es la medida de la gravedad específica, para calcular el rendimiento en términos de materia seca o de almidón a partir de tubérculos frescos.

2. Materiales y Métodos

Se trabajó con muestras recién cosechadas cada tres meses por 3 veces de tres raíces: achira (*Canna edulis*), arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y miso (*Mirabilis expansa*); cuatro tubérculos caulinares: mashua (*Tropaeolum tuberosum*), melloco (*Ullucus tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*) y papa (*Solanum tuberosum*). Se pudo observar que en general las raíces son más grandes que los tubérculos.

En todos los casos se midió la gravedad específica de 20 unidades en forma individual, mediante el registro del peso en el aire y sumergido en un recipiente con agua destilada, con el uso de una balanza con precisión de 0.01 [g]. Otras medidas se realizaron en lotes de 10 y 20 unidades colocadas en redes de hilo con el uso de una balanza con precisión de 1 [g]. Según el método descrito por Alvarado [1], cuando se registra el peso de la muestra en el aire (w) y el peso de la muestra totalmente sumergida en agua (w_a), su diferencia corresponde a la pérdida de peso aparente en el agua, que es el peso de agua desalojada según el principio de Arquímedes; en consecuencia la gravedad específica se calculó con la ecuación:

$$G = w / (w - w_a)$$

Para determinar la humedad, se dividió al tubérculo en cuatro partes de tamaño similar, con una de las partes se determinó la humedad por secado en estufa a $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ por tres horas. Por diferencia se obtuvo el contenido de materia seca [g/100 g], el cual corresponde al contenido de sólidos totales. Para el caso de los lotes se utilizaron los valores promedios de las muestras analizadas individualmente.

La determinación del contenido de almidón se realizó en forma individual con cada raíz o tubérculo, para ello se pesaron los productos lavados, los cuales fueron cortados y triturados, se agregó agua y la suspensión resultante se tamizó, el almidón recuperado fue decantado, luego lavado y una vez limpio, se secó a 50°C hasta obtener un peso constante, el cual se expresó en [g/100 g]. Para el caso de los lotes se utilizó el valor promedio de las muestras analizadas individualmente.

Los análisis de regresión y correlación se realizaron con la ayuda del programa Microsoft Office Excel. Con el propósito de establecer la influencia de las variables: especie, unidad muestral y tamaño de la muestra sobre los valores determinados de la gravedad específica, se utilizó un diseño experimental factorial $7 \times 2 \times 2$, con tres réplicas realizadas en meses diferentes.

3. Resultados y Discusión

3.1. Desarrollo de modelos matemáticos.

La composición proximal de los tubérculos, indica que están constituidos en un porcentaje muy alto por agua e hidratos de carbono [5, 6, 10], lo cual posibilita el desarrollo de un modelo matemático simple, basado en la suposición que la contribución de los componentes mayores de los tubérculos, tienen un efecto aditivo en la gravedad específica, en cuyo caso:

$$G_{\text{tub}} = H G_H + S G_S$$

Siendo: G_{tub} la gravedad específica del tubérculo, H el contenido de agua o humedad expresado como fracción unitaria, G_H la gravedad específica del agua, S la materia seca expresada como fracción unitaria y G_S la gravedad específica de la materia seca.

Si: $H = 1 - S$, por reemplazo se obtiene:

$$G_{\text{tub}} = (1 - S) G_H + S G_S$$

$$G_{\text{tub}} = G_H - S G_H + S G_S$$

Se conoce que $G_H = 1.0$ y $G_S = 0.7 (1.5) + 0.3 (1.3) = 1.44$. Este valor está basado en datos promedios de composición de productos cultivados en el país [5], en tubérculos el 70% de los sólidos corresponde al almidón con un valor de gravedad específica de 1.5 y el 30% son otros carbohidratos como azúcares, proteína, grasa y minerales, con un valor de gravedad específica calculado de 1.3. Por reemplazo:

$$G_{\text{tub}} = 1.0 - S + 1.44 S$$

$$G_{\text{tub}} = 1.0 + 0.44 S$$

$$S = 2.27 G_{\text{tub}} - 2.27$$

Para expresar S en [g/100 g de producto]:

$$S = 227 G_{\text{tub}} - 227 \quad (1)$$

Con los mismos criterios, se desarrolló un modelo para el caso de almidón en la forma siguiente:

$$G_{\text{tub}} = H G_H + A G_A + R G_R$$

Además de los términos ya definidos: A es el contenido de almidón expresado como fracción unitaria, R corresponde a los sólidos residuales excepto almidón, G_A es la gravedad específica del almidón y G_R es la gravedad específica de los sólidos residuales.

Si: $H = 1 - A - R$ y $R = 0.3 A$, por reemplazo:

$$G_{\text{tub}} = (1 - A - 0.3 A) G_H + A G_A + 0.3 A G_R$$

Se conoce que $(GE)_H = 1.0$, $(GE)_A = 1.5$ y $(GE)_R = 1.3$. Por reemplazo:

$$G_{\text{tub}} = 1 - A - 0.3 A + 1.5 A + 0.3 (1.3 A)$$

$$G_{\text{tub}} = 1.0 + 0.59 A$$

$$A = 1.69 G_{\text{tub}} - 1.69$$

Para expresar (A) en [g/100 g de producto]:

$$A = 169 G_{\text{tub}} - 169 \quad (2)$$

En las dos ecuaciones lineales obtenidas (1) y (2) se destaca que el intercepto y la pendiente son iguales, además la determinación experimental de la gravedad específica la cual es fácil, rápida y barata, posibilita el cálculo de la materia seca o del contenido de almidón que se espera contenga el tipo de tubérculo analizado.

3.2. Ecuaciones empíricas.

Existe una amplia variación en el peso de las raíces y tubérculos analizados, lo cual está relacionado con la

diversidad del tamaño, las diferencias en peso llegan a ser próximas a un orden de magnitud en el caso de las raíces, las cuales presentan los valores más altos, en achira se determinaron pesos de hasta 568.4 [g]; en los tubérculos los pesos son inferiores pues el tamaño también es menor, así el caso de la mashua y del melloco que son los tubérculos más pequeños, con pesos de 26.3 y 27.4 [g]. Esta heterogeneidad entre especies y también en una misma especie, se explica en buena medida por la falta de tecnificación de los cultivos, excepto la papa el resto de productos son subutilizados y varios de ellos apenas son mantenidos por agricultores de las zonas altas para autoconsumo.

La variación registrada en el contenido de materia seca, está asociada principalmente con el grado de maduración de los productos [6, 15]. Según los valores límites registrados en este trabajo, se destaca que en las raíces existe una mayor acumulación de carbohidratos, en miso se registró un contenido de sólidos totales [g/100 g de producto] de 48.5 y en achira 39.0, los tubérculos acumulan una menor cantidad de sólidos, así la oca hasta 33.2 y la papa hasta 29.1 [g/100 g de producto].

En la Tabla 1 se presentan las ecuaciones de regresión lineal que relacionan a la gravedad específica con la materia seca, así como también entre gravedad específica y almidón, que fueron establecidas en las siete especies analizadas y con los datos de gravedad específica obtenidos en forma individual, con lotes de 10 unidades y lotes de 20 unidades. Se incluyen los valores del coeficiente de correlación y de la desviación estándar de la regresión.

En todos los casos se observa que los coeficientes de correlación son altos, próximos a la unidad, es decir que las ecuaciones establecen una muy alta asociación entre las variables y pueden ser utilizadas para calcular el contenido de materia seca o de almidón en todas las especies, cuando se determine su gravedad específica. Los valores bajos de la desviación estándar de la regresión indican que la dispersión de los datos experimentales con relación a la línea de regresión es pequeña, cuando se trabaja con lotes esta dispersión es menor.

Los términos de las ecuaciones son diferentes para el caso de trabajar con las muestras individuales o en lotes; sin embargo el cálculo de la materia seca o del almidón para cada especie conduce a resultados similares. Se destaca que las ecuaciones correspondientes a los datos obtenidos en forma individual son más precisas, sin embargo requieren un mayor tiempo de trabajo, condición que es crítica para control en industrias como en la recepción y clasificación de materia prima, en la que se requiere disponer de un método rápido.

Las ecuaciones empíricas de regresión lineal obtenidas con los datos de la gravedad específica y

del contenido de materia seca para las siete especies analizadas presentaron valores del coeficiente de determinación (r^2) altos, indican que el 73.6% de las observaciones en la caso de la mashua están asociadas con la regresión lineal, en el resto de productos la asociación es mayor, llegando a ser del 95.9% en el caso del melloco. Según lo indicado las ecuaciones lineales son adecuadas para describir la relación entre la materia seca con la gravedad específica de las siete especies analizadas y que conforme se incrementa el contenido de materia seca también aumenta el valor de la gravedad específica. Lo anterior confirma lo establecido previamente para el caso de papas por distintos investigadores [2, 9].

En el caso de las relaciones entre la gravedad específica y el contenido de almidón establecidas en las siete especies analizadas, los valores del coeficiente de determinación (r^2) son altos, próximos a 1; el valor menor se establece para la oca, expresado como porcentaje 85.3%, aumenta en las otras especies hasta 96% en mashua y melloco, es decir que prácticamente la totalidad de las observaciones están asociadas con la regresión. Según lo anterior las ecuaciones lineales son adecuadas para describir la relación entre la materia seca con el contenido de almidón en las siete especies analizadas y que conforme se incrementa el contenido de almidón también aumenta el valor de la gravedad específica, cuya medida puede ser utilizada para determinar mediante cálculo el contenido de almidón.

La variación registrada en el contenido de almidón, está asociada principalmente con el grado de maduración de los productos. Según los valores límites registrados en este trabajo, expresados en [g/100 g de producto], se destaca que en las raíces existe una mayor acumulación de almidón, en achira se registró un contenido de hasta 27.1 y en miso hasta 26.2, es importante el contenido de almidón en papa, 19.2 y en oca, 19.1, el resto de tubérculos acumulan una menor cantidad de almidón, así el melloco hasta 9.2 y la mashua 6.8.

Con relación a los valores determinados de la gravedad específica existe una variación desde 1.016 en un tubérculo de mashua, hasta 1.120 en un tubérculo de oca. Si bien existen conjuntos de datos asociados con las especies, valores mayores en miso y oca, valores menores en mashua, achira, melloco, lo anterior no es definitivo, en especial la presencia de aire en el interior o en la superficie de los productos individuales provoca cambios considerables en los valores que se miden, estos errores deben ser evitados agitando ligeramente la muestra en el momento de ser sumergida en el agua y separando los tubérculos que floten.

La similitud de los términos de las ecuaciones posibilita simplificarlas, expresándolas en términos de $(G - 1)$ contra S y $(G - 1)$ contra A , con lo que se facilita su uso, así para la papa la ecuación para

Tabla 1. Valores de Correlación Establecidos entre Gravedad Específica (G) con el Contenido de Materia Seca (S) [g/100 g] y de Almidón (A) [g/100 g] en Siete Especies de Raíces y Tubérculos Andinos

Nombre (Nombre botánico)	TAMAÑO DE MUESTRA								
	INDIVIDUAL			LOTE DE 10 UNIDADES			LOTE DE 20 UNIDADES		
	Ecuación	r*	S*	Ecuación	r*	S*	Ecuación	r*	S*
Achira (<i>Canna edulis</i>)	S = 225(G) - 224	0,919	3.559	S = 346(G) - 354	0,999	0,001	S = 298(G) - 303	0,848	0,005
	A = 183(G) - 184	0,954	2.133	A = 202(G) - 205	0,996	0,005	A = 159(G) - 157	0,969	0,007
Arracacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>)	S = 189(G) - 180	0,961	1.058	S = 165(G) - 153	0,998	0,001	S = 184(G) - 173	0,997	0,004
	A = 159(G) - 158	0,962	0,875	A = 170(G) - 170	0,993	0,002	A = 165(G) - 165	0,983	0,002
Miso (<i>Mirabilis expansa</i>)	S = 196(G) - 185	0,904	3.096	S = 117(G) - 96	0,919	0,014	S = 175(G) - 162	0,848	0,012
	A = 119(G) - 116	0,946	1.365	A = 156(G) - 156	0,999	0,001	A = 143(G) - 142	0,959	0,007
Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)	S = 220(G) - 215	0,858	1.301	S = 315(G) - 313	0,879	0,005	S = 276(G) - 272	0,758	0,006
	A = 167(G) - 169	0,976	0,369	A = 238(G) - 242	0,999	0,0002	A = 295(G) - 301	0,976	0,002
Melloco (<i>Ullucus tuberosum</i>)	S = 205(G) - 201	0,980	0,499	S = 175(G) - 171	0,998	0,001	S = 157(G) - 152	0,982	0,004
	A = 167(G) - 171	0,980	0,404	A = 180(G) - 185	0,998	0,002	A = 111(G) - 112	0,934	0,008
Oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	S = 317(G) - 320	0,958	1.010	S = 346(G) - 352	0,998	0,0003	S = 337(G) - 341	0,986	0,002
	A = 141(G) - 138	0,925	0,611	A = 109(G) - 104	0,988	0,002	A = 114(G) - 110	0,996	0,001
Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	S = 248(G) - 247	0,933	0,758	S = 161(G) - 152	0,964	0,001	S = 292(G) - 294	0,948	0,002
	A = 183(G) - 183	0,927	0,584	A = 69(G) - 59	0,915	0,002	A = 124(G) - 120	0,924	0,002

* r = coeficiente de correlación. S = desviación estándar de la regresión.

calcular el contenido materia seca [g/100 g de producto] es: $(S) = 248 ((G) - 1)$, y para el caso del almidón es: $(A) = 183 ((G) - 1)$. De acuerdo con estas ecuaciones, cuando (G) es 1, el valor del agua, se cumple el hecho que tanto la materia seca como el almidón serán 0.

3.3. Validación del Modelo Matemático.

Con el propósito de disponer de ecuaciones generales de uso más amplio y compararlas con las ecuaciones modelo, se estableció una ecuación de regresión con los datos individuales de todas las especies.

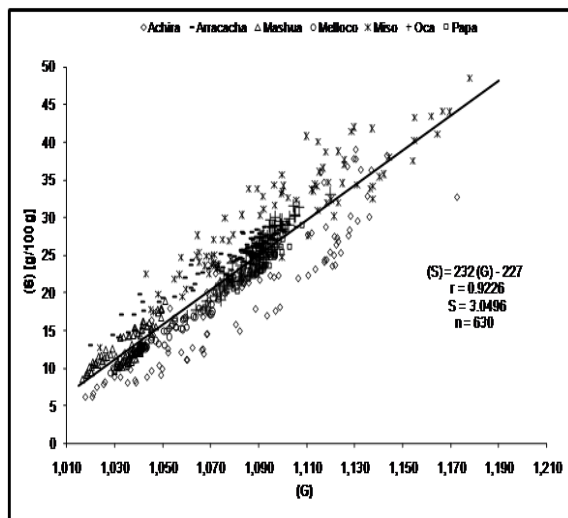


Figura 1. Gravedad específica contra contenido de materia seca en siete especies de raíces y tubérculos andinos cultivados en Ecuador.

En la Figura 1 se observa que se mantiene la relación lineal entre gravedad específica y materia seca con un valor alto del coeficiente de correlación ($r = 0.9226$) para 630 observaciones y que la desviación estándar de la regresión es baja ($S = 3.0496$), si se considera que están incluidos los datos de siete especies distintas. La ecuación obtenida mediante regresión: $(S) = 232 (G)_{\text{tub}} - 227$ es prácticamente igual a la obtenida por el modelo: $(S) = 227 (G)_{\text{tub}} - 227$; en consecuencia el modelo es válido para relacionar a estas dos variables.

Según se observa en la Figura 2, que incluye todas las determinaciones de almidón y de gravedad específica hechas en las siete especies de tubérculos, los resultados son similares a los indicados para materia seca. Nuevamente se establece un coeficiente de correlación muy alto para la regresión lineal ($r = 0.9503$) y una desviación estándar de la regresión baja ($S = 1.9191$). La ecuación obtenida mediante regresión: $(A) = 186 (G)_{\text{tub}} - 188$ es similar a la obtenida por el modelo: $(A) = 169 (G)_{\text{tub}} - 169$; las diferencias pueden ser explicadas por el contenido de almidón que presenta una mayor variabilidad entre especies y con el grado de maduración; sin embargo

el modelo es válido para relacionar a estas dos variables.

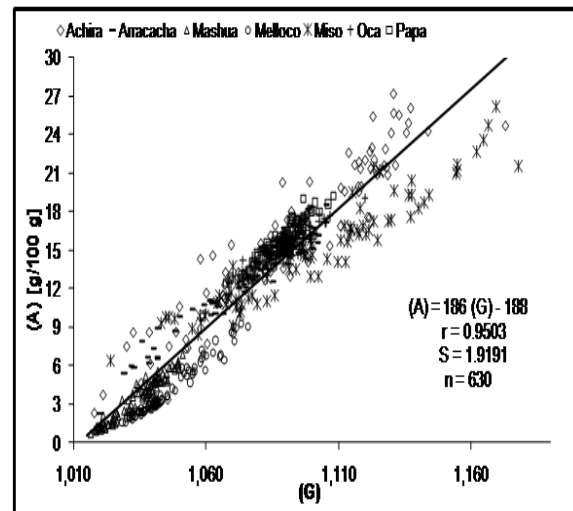


Figura 2. Gravedad específica contra contenido de almidón en siete especies de raíces y tubérculos andinos cultivados en Ecuador.

Los resultados del análisis de varianza realizado con los datos de la gravedad específica determinados en las siete especies de tubérculos, considerando un nivel de significancia de $p:0,05$, indicaron diferencias de significado estadístico entre especies, no así para los factores tamaño de la muestra, ni para las interacciones. Según lo anterior trabajar con lotes de 10 unidades colocadas en una red, es una buena alternativa para de hacer la determinación de la gravedad específica en cada especie o variedad de raíz o tubérculo, en industrias o cuando se requiera disponer de la información del contenido de sólidos y del contenido de almidón en forma rápida.

Es importante señalar que este método también sirve para cuantificar la humedad, la cual corresponde a 100 menos la materia seca.

4. Conclusiones

El modelo lineal que asume que las contribuciones de los componentes mayores son aditivas, es adecuado para explicar los cambios de la gravedad específica con el contenido de materia seca y de almidón en raíces y tubérculos.

Las ecuaciones presentadas son útiles para calcular el contenido de materia seca y de almidón en raíces y tubérculos cultivados en Ecuador. En caso se requiera mayor exactitud se deben utilizar las ecuaciones específicas correspondientes a cada especie, para varias de las cuales la información disponible es muy escasa o no existe.

Para propósitos prácticos de aplicación de esta información, trabajar con lotes de 10 unidades para determinar a la gravedad específica, conduce a obtener mediante el uso de las ecuaciones resultados

satisfactorios del contenido de materia seca y de almidón en forma rápida.

5. Agradecimiento

A la Universidad Técnica de Ambato (UTA), quien a través de proyectos de investigación internos del Centro de Investigaciones (CENI) y de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos (FCIAL), hizo posible la realización del presente trabajo. Al Proyecto CYTED XI.20 por el apoyo y asesoría mediante intercambio de investigadores.

6. Referencias

1. Alvarado, J. de D. Densidad y gravedad específica. En: Alvarado, J. de D. y Aguilera, J. M. editores. *Métodos para Medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos*. Zaragoza. España. Editorial Acribia. p 1–28, 2001.
2. Alvarado J. de D. *Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos*. Quito, Ecuador: Radio Comunicaciones. p 102–107, 1996.
3. C.I.P. Centro Internacional de la Papa. “Raíces y Tubérculos Andinos Menos Conocidos: Alimentos Básicos de la Dieta en las Altas Tierras”. Disponible en: www.cipotato.org; www.condesan.org; www.International Potato Center.htm, 2010.
4. Coraspe, H. “La Calidad del Tubérculo de Papa”, FONAIAP – Estación Experimental Trujillo. Disponible en: www.fonaiap.gov.ve/publica/divulga/fd60/papa.tml, 2009.
5. Espín, S.; Brito, B. Villacrés, E. Rubio, A. Nieto, C. y Grijalva, J. Composición química, valor nutricional y usos potenciales de siete especies de raíces y tubérculos andinos. *Acta Científica Ecuatoriana*: 7(1):49-63, 2001.
6. Estrella, E. *El Pan de América*. Tercera edición. SENACYT-FUNDACYT. Cicetroic Offset., Quito – Ecuador., pp. 80 – 110, 1998.
7. Flores, H., Walker, T., Guimaraes, R. Pal Bais, H. and Vivanco, J. Andean root and tuber crops: Underground rainbows. *HortScience*, 38(2):161-167, 2003.
8. Killick, R.J. and Simmonds, N.W. Specific gravity of potato tubers as a character showing small genotype-environment interactions. *Heredity*, 32(1):109-112, 1974.
9. Murray, H. “La gravedad específica de patatas”. Disponible en: www.agric.wa.gov.au, 2010.
10. National Research Council. *Lost Crops of the Incas; Little-Know Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation*, National Academy Press., Washington, D. C., pp. 27 – 113, 1989.
11. Ochsenbein, Ch.; Hoffmann, T. Escher, F. Kneubuhler, H. and Keiser, A. Methods to routinely predict the texture quality of potatoes by tuber specific gravity. *J. Texture Studies*, 41:1-16 (2010).
12. Ordóñez, C.; Limongelli, J. Chiesa, A. Abarza, C. Martinnuzzi, F. Aguilar, G. Pagano, E. Y Szentivanyi, N. Papas chip. VIII. Tablas de conversión y los parámetros de calidad de los tubérculos de papa (*Solanum tuberosum*) materia prima para la industria. *Revista Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires*, 2(3): 123-131, 1981.
13. Scott, G. “Raíces y tubérculos para el siglo 21; Tendencias, Proyecciones y Opciones Políticas”. Disponible en: www.ifpri.org., 2010.
14. Shetty K. “Procedimiento para la medida de la gravedad específica de los tubérculos”. Disponible en: www.Kimberly.uidaho.edu, 2009.
15. Tapia, M. *Cultivos Andinos Subexplotados y su Aporte a la Alimentación*”, FAO., pp. 88 – 106,1990.