

Determinación de las propiedades termofísicas de 06 frutales amazónicos y diseño de modelos matemático para el desarrollo de software predictivo multiplataforma en la región de Madre de Dios.

1. Presentación.

El desarrollo de nuevos productos al igual que el diseño de equipos y procesos en la industria de alimentos está ligado al avance de la ciencia y la tecnología, el poder conservar por mayor tiempo un alimento mediante la aplicación de calor, sea calentando/enfriando o refrigerando/congelando con el objeto de inhibir o acelerar alguna actividad microbiana o bioquímica ha originado el desarrollo de una amplia gama de alimentos funcionales.

Parte de este avance se debe al conocimiento de las propiedades termofísicas como el calor específico "Cp" (kJ/kg·°K), conductividad térmica "K" (J/(m·s·°K)), difusividad térmica (m²/s), entalpía (cal/kg) y el coeficiente de transferencia de calor (W/m².C) entre otros. Dichas propiedades han permitido realizar los cálculos y predicciones de consumo energético, dimensionamiento de equipos y tiempo de procesos, convirtiendo cada vez a la industria más eficiente y eficaz.

Sin embargo, la investigación de estas propiedades relacionadas a frutos de la amazonia es escaso, limitándose muchas veces a determinar solo las propiedades bromatológicas. No obstante, estos resultados nos indican el potencial alimentario que poseen dichas frutas, lo que nos motivó a determinar en una primera etapa el valor del calor específico y conductividad térmica en 06 diferentes pulpas de frutas [Sinami (*Oenocarpus mapora*), Ungurahui (*Oenocarpus bataua*), Huasai (*Euterpe oleracea*), Pijuayo (*Bactris gasipaes*), Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y Ubos (*Spondias mombin*)].

De igual manera, tanto por el elevado costo operativo del experimento como la necesidad de determinar estas propiedades en diferente momento del proceso hace necesario el desarrollo de modelos matemáticos en función de su composición bromatológica, temperatura u otro parámetro, en la literatura encontramos diversos modelos que podrían aplicar para el presente caso. Sin embargo, las características específicas de los distintos frutos amazónicos nos plantea el reto de desarrollar modelos matemáticos ajustados a dichas muestras.

2. Materia prima

Los frutos de *O. bataua*, *E. oleracea*, *B. gasipaes* y *T. grandiflorum* fueron recolectado en la estación experimental "Fitzcarrald" perteneciente al Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana – IIAP, ubicado a 21.5 km de la ciudad de Puerto Maldonado, carretera Puerto Maldonado – Cusco. El fruto *O. mapora* fue recolectado en las cercanías del centro poblado de Alerta, ubicado a 115 km de Puerto Maldonado, carretera Puerto Maldonado – Iberia. En tanto que el fruto de *S. mombin* proviene de centro poblado menor Bajo Tambopata.

Tabla 1. Punto de muestreo.

N°	Muestra	Coordenadas U.T.M. XY
1	Sinami (<i>Oenocarpus mapora</i>)	
2	Ungurahui (<i>Oenocarpus bataua</i>)	0463597 ; 8601239
3	Huasai (<i>Euterpe oleracea</i>)	0464145 ; 8600682
4	Pijuayo (<i>Bactris gasipaes</i>)	0463894 ; 8600223
5	Copoazu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	0463998 ; 8600321
6	Ubos (<i>Spondias mombin</i>)	0481831 ; 8602270

Fuente: Elaboración propia.

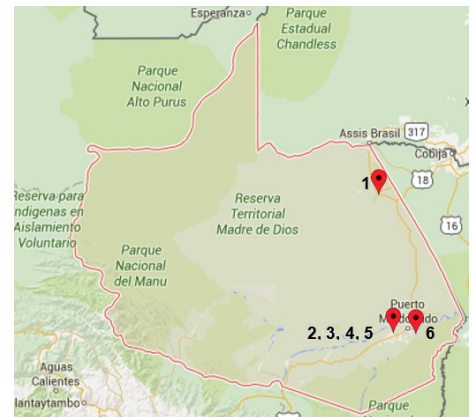


Figura 1. Mapa y punto de muestreo
Fuente: Google Maps.

3. Resultado

Modelos Matemáticos para la determinación del calor específico (Cp).

En la tabla 2 se observan los modelos matemáticos para cada muestra con sus respectivos estadísticos r^2 y r^2 ajustado, los cuales están indicando que los modelos así ajustados explican en promedio 99,9% la variabilidad en Cp (kJ/kg·°K). Cabe mencionar que el estadístico r^2 ajustado es el más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes.

Tabla 2. Modelos matemáticos ajustados.

Modelo matemáticos ajustados	r ²	r ² ajustado
<i>Oenocarpus mapora</i> ND	0.00 %	0.00 %
<i>Oenocarpus bataua</i> Cp= 4,7538 + 0,142063*T - 0,00535663*T ² + 0,000105447*T ³ - 9,70324E ⁻⁷ *T ⁴ + 3,62625E ⁻⁹ *T ⁵	99.9937 %	99.9857 %
<i>Euterpe oleracea</i> Cp= 6.25338 + 0.0362965*T - 0.000725196*T ² + 0.0000137099*T ³ - 2.07236E ⁻⁸ *T ⁴	99.9994 %	99.999 %
<i>Bactris gasipaes</i> Cp= 4.02026 + 0.184538*T - 0.00811983*T ² + 0.000182625*T ³ - 0.00000181008*T ⁴ + 6.9778E ⁻⁹ *T ⁵	99.9805 %	99.9562 %
<i>Theobroma grandiflorum</i> Cp= 5.3321 + 0.301167*T - 0.0148917*T ² + 0.000367516*T ³ - 0.00000411333*T ⁴ + 1.72133E ⁻⁸ *T ⁵	99.9611 %	99.9125 %
<i>Spondias mombin</i> ND	0.00 %	0.00 %

ND: No determinado

Fuente: Elaboración propia.

Modelos Matemáticos para la determinación de la conductividad térmica (K).

En la Tabla 3 se observan los modelos matemáticos para cada muestra con sus respectivos estadísticos r² y r² ajustado, los cuales están indicando que los modelos así ajustados explican en promedio 99,9% la variabilidad en K (J/(m·s·°K)). Cabe mencionar que el estadístico r² ajustado es el más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes.

Tabla 3. Modelos matemáticos desarrollados.

Modelo matemáticos ajustados	r ²	r ² ajustado
<i>Oenocarpus mapora</i> ND	0.00 %	0.00 %
<i>Oenocarpus bataua</i> K= 12.3035 + 0.131462*T - 0.00268257*T ² + 0.0000266595*T ³	99.8055 %	99.7082 %
<i>Euterpe oleracea</i> K= 12.885-0.0873536*T + 0.00210168*T ²	99.8477 %	99.8042 %
<i>Bactris gasipaes</i> K= 12.6046 + 0.119003*T - 0.00239177*T ² + 0.0000313558*T ³	99.8878 %	99.8316 %
<i>Theobroma grandiflorum</i> K= 13.9874-0.328715*T + 0.0259002*T ² - 0.000943947*T ³ + 0.000018287*T ⁴ - 1.74329E ⁻⁷ *T ⁵ + 6.44503E ⁻¹⁰ *T ⁶	99.9847 %	99.9542 %
<i>Spondias mombin</i> ND	0.00 %	0.00 %

ND: No determinado

Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones.

Los valores de calor específico y conductividad térmica estimados mediante los modelos matemáticos presentaron alta correlación en comparación a los valores determinados experimentalmente entre el rango de temperatura de 10 °C a 100 °C; para el caso del calor específico Cp (kJ/kg·°K), el r² (promedio) fue de 99.9837%, en tanto que el r² ajustado (promedio) fue de 99.96335%. En la determinación de la conductividad térmica K (J/(m·s·°K)) se observa que el r² (promedio) es 99.8814% y el r² ajustado (promedio) es 99.8245%.

Las pruebas estadísticas determinaron que los termogramas de las muestras de pulpa de los frutos de *O. bataua*, *E. oleracea*, *B. gasipaes*, *T. grandiflorum* presentaron mínima diferencia significativas, lo cual permitió obtener sus valores experimentales de conductividad térmica y calor específico con mayor exactitud. Sin embargo, los valores experimentales de las muestras de *O. mapora* y *S. mombin* presentaron diferencias estadísticamente significativas.