



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**Efecto de los pisos ecológicos en las propiedades físicas, químicas y reológicas
de mieles (*Apis mellifera* L.), en la región San Martín**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

AUTOR:

Gianmarco André Inga Julca

ASESOR:

Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada

Tarapoto – Perú

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

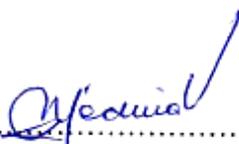


**Efecto de los pisos ecológicos en las propiedades físicas, químicas y reológicas
de mieles (*Apis mellifera* L.), en la región San Martín**

AUTOR:

Gianmarco André Inga Julca

Sustentada y aprobada el 06 de enero del 2022, ante el honorable jurado:


.....
Ing. Dra. Mari Luz Medina Vivanco
Presidente


.....
Ing. M.Sc Enrique Terleira García
Secretario


.....
Ing. M.Sc. Epifanio Efraín Martínez Mena
Miembro


.....
Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada
Asesor

Declaratoria de autenticidad

Gianmarco André Inga Julca, con DNI N° 70467997, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, autor de la tesis titulada: **Efecto de los pisos ecológicos en las propiedades físicas, químicas y reológicas de mieles (*Apis mellifera* L.), en la región San Martín.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 06 de enero del 2022.



Bach. Gianmarco André Inga Julca

DNI N° 70467997

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Inga Pulca Gianmarco André		
Código de alumno :	092164	Teléfono:	
Correo electrónico :	gianmarcoandringa@gmail.com		DNI: 70467997

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ingeniería Agroindustrial
Escuela Profesional de:	Ingeniería Agroindustrial

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título :	Efecto de los picos ecológicos en las propiedades físicas, químicas y reológicas de mieles (<i>Apis Mellifera L.</i>) en la región San Martín
Año de publicación:	2022

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".


Firma del Autor



8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

26 / 05 / 2022


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología
e Innovación de Acceso Abierto - UNSM.
Ing. Grecia Vanessa Fachin Ruíz
Responsable

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A Dios:

Por brindarme la vida, salud, sabiduría, ser mi guía y proteger mis pasos en mi vida cotidiana.

A mis Padres:

Juana Iris y Hayler, por el apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica, ejemplo de trabajo, dedicación, constancia, humildad e integridad moral.

A mis Hermanas:

Cindy Xilena y Thalía Gianella, por su apoyo fraternal, moral.

Agradecimiento

A Dios quien me dio la vida y la ha llenado de bendiciones en todo este tiempo, a él que con su infinito amor me dio la sabiduría suficiente para culminar mi carrera universitaria.

A la Universidad Nacional de San Martín (UNSM-T) a través de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial (FIAI), sus docentes y administrativos que me formaron como profesional idóneo y competitivo.

De manera especial a mi asesor al Dr. Oscar Mendieta Taboada; gracias por todo el tiempo que dedicó en la investigación, por orientarme, compartir sus conocimientos y formar parte de mi desarrollo profesional.

Así mismo, agradecer al Ing. Richer Garay Montes por su co-asesoramiento y colaboración en el laboratorio de investigación y por brindarme su amistad.

Finalmente, un agradecimiento especial a todas aquellas personas que me acompañaron a lo largo de esta hermosa vida universitaria, haciendo que el camino a seguir a pesar de todas sus dificultades, sea más fácil y llevadero, amigos míos, gracias por todo, los llevaré presente siempre.

Gianmarco André

Índice general

Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1. La Miel	3
1.1.1. Origen.....	3
1.1.2. Descripción de la miel.....	4
1.1.3. Factores que determinan la calidad de la miel	4
1.1.4. Características fisiológicas.....	4
1.1.5. Características sensoriales y propiedades físicas	4
1.1.6. Norma Oficial Mexicana (NMX-F-382-S, 2008)	5
1.2. Reología	6
1.2.1. Reología en los alimentos	6
1.2.2. Modelos Reológicos.....	7
1.3. Investigaciones desarrolladas	8
CAPÍTULO II.....	12
MATERIAL Y MÉTODOS	12
2.1. Lugar de Ejecución.....	12
2.2. Materia Prima	12
2.3. Diseño Experimental	12
2.4. Materiales y Equipos	13
2.4.1. Materiales	13
2.4.2. Equipos.....	13
2.4.3. Metodología experimental.	14
CAPÍTULO III.....	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
3.1. Determinar las características fisicoquímicas de mieles procedentes de tres pisos altitudinales.....	22
3.2. Determinación de las propiedades reológicas de mieles procedentes de tres zonas ecológicas.....	25

3.2.1. Efecto de la localidad y de la temperatura en las propiedades reológicas de la miel.....	33
3.2.2. Efecto de la temperatura de la miel en la Viscosidad (Pa. s) $\times 10^{-3}$	37
3.2.3. Efecto de la combinación de zonas ecológicas vs la temperatura frente al esfuerzo umbral (τ_0), índice de consistencia (k) y índice de flujo (η).....	40
CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	54

Índice de tablas

Tabla 1. Determinación de la calidad proporcionada por Codex Alimentarius.	5
Tabla 2. Determinación de la calidad proporcionada por la Norma Oficial Mexicana.	6
Tabla 3. Media y desviación estándar del análisis de pH, acidez total, Aw, humedad, sólidos totales, densidad de miel en diferentes localidades.	22
Tabla 4. Media y desviación estándar del análisis de conductividad eléctrica, cenizas, fructuosa, glucosa, sacarosa de miel en diferentes localidades.	23
Tabla 5. Medias de las propiedades reológicas obtenidas de los tratamientos experimentales, ajustados con el modelo Newton.	28
Tabla 6. Medias de las propiedades reológicas obtenidas de los tratamientos experimentales, ajustados con el modelo Herschel Bulkley.	29
Tabla 7. Medias de las propiedades reológicas obtenidas de los tratamientos experimentales, ajustados con el modelo Ley de la Potencia.	30
Tabla 8. Medias de las propiedades reológicas obtenidas de los tratamientos experimentales, ajustados con el modelo Casson.	31
Tabla 9. Medias de las propiedades reológicas en función a la zona ecológica y temperatura obtenidas por el modelo de Herschel Bulkley.	35
Tabla 10. Medias de las propiedades reológicas en función a la zona ecológica y temperatura obtenidas por el modelo Ley de Potencia.	36
Tabla 11. Medias de las propiedades reológicas en función a la zona ecológica y temperatura obtenidas por el modelo Casson.	36
Tabla 12. Medias de las propiedades reológicas en función a la zona ecológica y temperatura obtenidas por el modelo Newton.	37

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo para la determinación de la calidad de miel y sus propiedades reológicas.....	14
Figura 2. Esfuerzo de corte vs Velocidad de deformación de mieles procedentes del Bajo Huallaga.....	26
Figura 3. Esfuerzo de corte vs Velocidad de deformación de mieles procedentes del Alto Mayo.	26
Figura 4. Esfuerzo de corte vs Velocidad deformación de mieles procedentes del Bajo Mayo.....	27
Figura 5. Media del Esfuerzo de corte vs Velocidad de deformación de mieles procedentes de las zonas ecológicas (Alto Mayo, Bajo Huallaga y Bajo Mayo) a temperaturas de 10, 20 y 30°C.....	28
Figura 6. Comportamiento del esfuerzo de corte vs la velocidad de deformación en función a la temperatura de 10°C, en las zonas ecológicas Alto Mayo, Bajo Huallaga y Bajo Mayo.	33
Figura 7. Comportamiento del esfuerzo de corte vs la velocidad de deformación en función a la temperatura de 20°C, en las zonas ecológicas Alto Mayo, Bajo Huallaga y Bajo Mayo.	34
Figura 8. Comportamiento del esfuerzo de corte vs la velocidad de deformación en función a la temperatura de 30°C, en las zonas ecológicas Alto Mayo, Bajo Huallaga y Bajo Mayo.	34
Figura 9. La viscosidad (Pa. s) x 10 ⁻³ vs la velocidad de deformación (S ⁻¹) a 10°C en tres zonas ecológicas.	38
Figura 10. La viscosidad (Pa. s) x 10 ⁻³ vs la velocidad de deformación (S ⁻¹) a 20°C en tres zonas ecológicas.	39
Figura 11. La viscosidad (Pa. s) x 10 ⁻³ vs la velocidad de deformación (S ⁻¹) a 30°C en tres zonas ecológicas.	40
Figura 12. Comportamiento del Esfuerzo Umbral de muestras de mieles de abeja utilizando el modelo Herschel Bulkley.....	41
Figura 13. Comportamiento del Índice de Consistencia en muestras de mieles de abeja utilizando el modelo Herschel Bulkley.	41

Figura 14. Comportamiento del Índice de Flujo en muestras de mieles de abeja utilizando el modelo Herschel Bulkley.....	42
Figura 15. Comportamiento del Índice de Consistencia en muestras de mieles de abeja utilizando el modelo Ley de la Potencia.....	42
Figura 16. Comportamiento del Índice de Flujo en muestras de mieles de abeja utilizando el modelo Ley de la Potencia.	43
Figura 17. Comportamiento del Esfuerzo Umbral en muestras de mieles de abeja utilizando el modelo Ley de Casson.	43
Figura 18. Comportamiento de la viscosidad Plástica en muestras de mieles de abeja utilizando el modelo Ley de Casson.	44

Listado de siglas o abreviaturas

NMX	Norma Técnica Mexicana
CV	Coefficiente Variación
ANVA	Análisis de la varianza
DBCA	Diseño de Bloque Completo al Azar
DCA	Diseño Completamente Aleatorizado
UHPLC	Ultra High Performance Liquid Chromatography

Resumen

La investigación tuvo como objetivo, determinar las características físicas, químicas y el comportamiento reológico de la miel de *Apis mellifera* L., de tres zonas ecológicas Alto Mayo (Pajonal, San José, Palmeras de Oromina), Bajo Mayo (Cacatachi, Tabalosos, Pamashto) y Bajo Huallaga (Chunchuyacu, Piñal, Planicie). Para el análisis físico y químico se realizó un DBCA, teniendo como bloques las zonas ecológicas Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga, los ensayos fueron por triplicado con un nivel de significancia de ($\alpha= 0.05$). Para el análisis reológico el diseño experimental se utilizó un DCA con arreglo factorial (3x3) de dos factores (zonas ecológicas y temperatura). Los valores experimentales se ajustaron a cuatro modelos matemáticos Herschel-Bulkley, Ley de la Potencia, Casson y Newton, los cuales fueron modelados usando el software Rheocalc y estadísticos como Origin Pro 9.1, Statistica V10 y SAS System V10. Las muestras evaluadas presentaron un pH (3.22 a 3.50), A_w (0.76 a 0.79), humedad % (25.19 a 26.62), densidad (1.39 a 1.44 Kg/L), sólidos solubles (68.08 a 72.70 °Brix), fructuosa (25.04 a 30.39%), glucosa (23.34 a 27.63%) y sacarosa (0.66 a 3.18%). Los modelos Newton, Herschel Bulkley y Ley de la Potencia son los que mejor se ajustan presentando valores cercanos a $R^2 = 0.9999$. En el modelo Newton, la temperatura influyó en la Viscosidad Newtoniana (Pa.s), presentando mayor valor la zona Alto Mayo, que presentó diferencia significativa ($P<0.05$). En el modelo Herschel Bulkley, la temperatura y zonas ecológicas no influenciaron en el Esfuerzo Umbral (τ_0) ni en el Índice de Consistencia (Pa.sn), la temperatura influyó en el Índice de Flujo (n), siendo la temperatura de 10°C la que presentó diferencia significativa ($P<0.05$). En el modelo Ley de la Potencia, la temperatura (10, 20 y 30°C), presentaron diferencia significativa ($P<0.05$) en el Índice de Flujo (n), la zona ecológica Alto Mayo presentó diferencia significativa ($P<0.05$) en el Índice de Consistencia (Pa.sn). En el modelo Casson, la temperatura y las zonas ecológicas no influenciaron en el Esfuerzo Umbral τ_0 (Pa), la zona del Alto Mayo la que presentó diferencia significativa ($P<0.05$) en la Viscosidad Plástica. La viscosidad a temperatura de 10°C en todas las localidades presentaron diferencia significativa ($P<0.05$). La viscosidad a temperatura de 20°C en las localidades Tabalosos, San José y Pajonal presentaron diferencia significativa ($P<0.05$), todas las localidades presentaron comportamiento newtoniano. La viscosidad a temperatura de 30°C las localidades Tabalosos y Palmeras de Oromina presentaron diferencia significativa ($P<0.05$), todas las localidades presentaron comportamiento newtoniano.

Palabras clave: Miel, modelos reológicos, viscosidad, análisis físico y químico.

Abstract

The objective of the research was to determine the physical and chemical characteristics and the rheological behavior of *Apis mellifera* L. honey from three ecological zones: Alto Mayo (Pajonal, San José, Palmeras de Oromina), Bajo Mayo (Cacatachi, Tabalosos, Pamashto) and Bajo Huallaga (Chunchuyacu, Piñal, Planicie). For the physical and chemical analysis, a DBCA was carried out, using the Alto Mayo, Bajo Mayo and Bajo Huallaga ecological zones as blocks; the assays were done in triplicate with a significance level of ($\alpha= 0.05$). For the rheological analysis, the experimental design was a DCA with a factorial arrangement (3x3) of two factors (ecological zones and temperature). The experimental values were adjusted to four mathematical models, Herschel-Bulkley, Power Law, Casson and Newton, which were modeled using Rheocalc software and statistics such as Origin Pro 9.1, Statistica V10 and SAS System V10. The samples evaluated showed pH (3.22 to 3.50), Aw (0.76 to 0.79), moisture % (25.19 to 26.62), density (1.39 to 1.44 kg/L), soluble solids (68.08 to 72.70 °Brix), fructose (25.04 to 30.39%), glucose (23.34 to 27.63%) and sucrose (0.66 to 3.18%). The Newton, Herschel Bulkley and Power Law models are the best fit models, with values close to $R^2 = 0.9999$. In the Newton model, temperature influenced Newtonian Viscosity (Pa.s), with the highest value in the Alto Mayo zone, which presented a significant difference ($P<0.05$). In the Herschel Bulkley model, temperature and ecological zones did not influence the Threshold Stress (τ_0) or the Consistency Index (Pa.sn), temperature influenced the Flow Index (n), being the temperature of 10°C the one that presented a significant difference ($P<0.05$). In the Power Law model, the temperature (10, 20 and 30°C), presented significant difference ($P<0.05$) in the Flow Index (n), the Alto Mayo ecological zone presented significant difference ($P<0.05$) in the Consistency Index (Pa.sn). In the Casson model, temperature and ecological zones did not influence the Threshold Stress τ_0 (Pa), the Alto Mayo zone presented a significant difference ($P<0.05$) in Plastic Viscosity. The viscosity at a temperature of 10°C in all localities showed a significant difference ($P<0.05$). The viscosity at a temperature of 20°C in the localities of Tabalosos, San José and Pajonal showed a significant difference ($P<0.05$), all the localities presented Newtonian behavior. The viscosity at a temperature of 30°C in Tabalosos and Palmeras de Oromina showed a significant difference ($P<0.05$), all the localities showed Newtonian behavior.

Key words: Honey, rheological models, viscosity, physical and chemical analysis



Introducción

La miel de abejas es el producto principal de la apicultura. Este es generado por la abeja conocida como *Apis mellifera* a partir del néctar floral, de la secreción de partes vivas de plantas o de excreciones de insectos chupadores de partes vivas de plantas, los cuales las abejas colectan, transforman, combinan con sustancias específicas propias, almacenan y permiten que en el panal maduren. Este alimento no es completamente uniforme en cuanto a su composición, ya que varía según las abejas que se utilice, la forma de alimentarlas y el procedimiento de producción que se lleve a cabo (Norma Oficial para Miel de Abejas, 1982; Barker y Lehner 1978).

Los azúcares son los principales responsables de las características físicas y del comportamiento químico de la miel. La sacarosa puede encontrarse originalmente hasta en un 1.5 %, teniendo en cuenta que este azúcar no debe superar el 5 % de acuerdo con la normativa del Codex Alimentarius en mieles comerciales, aunque su cantidad puede disminuir con el tiempo (Arias, 2003).

La miel es el más antiguo dulzor. Se consume comúnmente en su estado natural, tal como líquido, cristalizado, sin la adición de cualquier sustancia en su elaboración. En estas formas se toma como la medicina, se come como alimento o incorporados como ingrediente en varias recetas (Azeredo, 2003; Bagci, 2007).

La miel es la sustancia natural dulce producida por las abejas a partir del néctar de plantas o de secreciones de partes vivas de las plantas o de excreciones de insectos chupadores de plantas que viven en las partes vivas de las plantas, que las abejas recolectan, transforman, combinación con sustancias específicas propias, depositan, deshidratan, almacenan y dejan en el panal para que madure (Codex Alimentarius, 2001).

El conocimiento de la conducta reológica de las mieles es fundamental en la ingeniería de procesos y equipos. La definición de los modelos apropiados para la descripción de flujo, es necesario para el diseño de tuberías, bombas, tanques de agitación y mezcla. El efecto de la temperatura en el comportamiento reológico es necesario conocer para entender las operaciones unitarias, como el tratamiento térmico y la concentración.

Este trabajo tuvo por objetivo general:

- Determinar la influencia de la procedencia de la miel en las propiedades físicas, químicas y el comportamiento reológico de la miel de *Apis mellifera* L., de tres zonas ecológicas Alto Mayo (Pajonal, San José, Palmeras de Oromina), Bajo Mayo (Cacatachi, Tabalosos, Pamashto) y Bajo Huallaga (Chunchuyacu, Piñal, Planicie),

Para lograrlo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Determinar las características físicas (pH, acidez, conductividad eléctrica, densidad) y químicas (actividad de agua, humedad, azúcares reductores, cenizas y sólidos solubles) de mieles procedentes de tres zonas ecológicas Alto Mayo (Pajonal, San José, Palmeras de Oromina), Bajo Mayo (Cacatachi, Tabalosos, Pamashto) y Bajo Huallaga (Chunchuyacu, Piñal, Planicie),
- Determinar las propiedades reológicas de mieles procedentes de tres zonas ecológicas Alto Mayo (Pajonal, San José, Palmeras de Oromina), Bajo Mayo (Cacatachi, Tabalosos, Pamashto) y Bajo Huallaga (Chunchuyacu, Piñal, Planicie),

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. La Miel

1.1.1. Origen

La miel es generada por la abeja conocida como *Apis mellifera* a partir del néctar floral, de la secreción de partes vivas de plantas o de excreciones de insectos chupadores de partes vivas de plantas, los cuales las abejas colectan, transforman, combinan con sustancias específicas propias, almacenan y permiten que en el panal maduren. Este alimento no es completamente uniforme en cuanto a su composición, ya que varía según las abejas que se utilice, la forma de alimentarlas y el procedimiento de producción que se lleve a cabo (Norma Oficial para Miel de Abejas, 1982; Barker y Lehner, 1978).

La miel es la sustancia dulce natural producida por las abejas obreras a partir del néctar o exudaciones de otras partes vivas de las flores o presentes en ella, que dichas abejas recogen, transforman y combinan con sustancias específicas propias, almacenan y dejan en los panales para que sazone (Norma Técnica Peruana [NTP], 1999).

La transformación desde el néctar a la miel es un proceso de concentración en el que se reduce el contenido de agua desde un 70-92 % hasta un 17 % aproximadamente. Se trata de un proceso físico, además de un proceso químico en el que se reduce la sacarosa, transformándose en fructosa y glucosa, mediante la enzima invertasa que contiene la saliva de las abejas. La abeja pecoreadora, con su buche completo de néctar y mezclado con invertasa, al llegar a la colonia lo traspasa a una obrera almacenista, que también lo almacena en el buche aumentando la concentración de invertasa hasta 20 veces. Como en el interior de la colonia la temperatura es elevada entonces se produce una deshidratación natural del néctar. Este traspaso del néctar, con su sucesiva concentración, entre las distintas obreras de la colonia finaliza cuando la última obrera almacenista lo deposita en una celdilla, a un tercio de su capacidad. En su interior continúa el proceso enzimático y el néctar pierde agua hasta que madura. Una vez madurada, la obrera añade el segundo tercio y continúa el proceso hasta su total capacidad. Cuando la miel está elaborada, la celdilla es operculada (Bernard Michaud S.A. 2008).

1.1.2. Descripción de la miel

La miel se compone esencialmente de diferentes azúcares, predominantemente glucosa y fructosa. Además de estos azúcares la miel contiene proteínas, aminoácidos, enzimas, ácidos orgánicos, sustancias minerales, polen y otras sustancias en menor cantidad; y puede contener sacarosa, maltosa, melicitosa y otros oligosacáridos (incluidas las dextrinas), así como vestigios de hongos, algas, levaduras y otras partículas sólidas resultantes del proceso de obtención de la miel (Ruiz, 2014).

El color varía de casi incoloro a pardo oscuro. Su consistencia puede ser fluida, viscosa y cristalizada total o parcialmente. El sabor y el aroma varían, pero generalmente posee los de la planta de la cual procede (Pérez y Chamorro, 2015).

1.1.3. Factores que determinan la calidad de la miel

A medida que se han aplicado nuevas técnicas a los productos alimenticios, se han desarrollado diversos métodos de análisis con el fin de preservar la calidad del producto manufacturado ya que las propiedades de algunos productos azucarados como el caso de la miel de abeja, son muy sensibles al calor y pueden deteriorarse durante el almacenamiento, viéndose afectadas sus características organolépticas, propiedades terapéuticas, antisépticas, y contenido de enzimas y vitaminas (Manresa, 2005).

1.1.4. Características fisiológicas

El análisis fisicoquímico de la miel es muy importante ya que con el resultado se puede dictaminar si una miel cumple satisfactoriamente con la calidad requerida, para esto, existen factores principales descritos en la Norma Técnica Peruana, la cual tiene concordancia con lo que señalan las normas internacionales (Follegati, 2014).

1.1.5. Características sensoriales y propiedades físicas

Los tipos de calidades de miel dependen de sus varias características y propiedades, cada tipo tiene las propiedades que le confiere el ambiente del territorio en el que el colmenar está instalado, en especial la flora apícola y el clima, por lo que no existe prácticamente miel que provenga de una sola flor; sin embargo, cuando hay especies dominantes suele hablarse de tipo de mieles específicas, por ejemplo, miel de alfalfa, de girasol, miel de los bosques de coníferas y, hasta miel de frutos como el dátil. Estas

diferencias entre las distintas mieles ayudan a los comerciantes a distinguir el sabor más apreciable para la venta (Salamanca, 2001). La miel de abeja debe cumplir con las características físicas y químicas establecidas en la tabla 01 de acuerdo al Codex Alimentarius.

Tabla 1

Determinación de la calidad proporcionada por Codex Alimentarius.

Características	Codex Alimentarius
Humedad máxima (%)	20
Azúcares reductores (%)	65
Sacarosa (g/100g máximo)	5
Glucosa (g/100g máximo)	38
Sólidos Insolubles (g/100g máximo)	0.1
Acidez (meq. de ácido/k, máximo)	40
Hidroxiacetilfurfural (HMF) (mg/k)	No especificada
En miel envasada hasta 6 meses (máximo)	60
Índice de diastasa (*escala Gothe)	mínimo 8
Prolina (mg/k)	mínimo 180
Conductividad eléctrica (mS/cm)	0.8

Fuente: Codex Alimentarius (2008).

1.1.6. Norma Oficial Mexicana (NMX-F-382-S, 2008)

Esta norma mexicana define al producto denominado Miel y establece las especificaciones que este debe cumplir, así como los métodos de prueba para verificar dichos parámetros, la norma es de carácter voluntario y es aplicable al producto en cualquiera de sus presentaciones comerciales.

La miel de abeja no debe tener sabor o aroma desagradables, absorbidos de materias extrañas durante su extracción, sedimentación, filtración y/o almacenamiento, ni síntomas de fermentación.

La miel madura en forma natural, está constituida en un 99 % de azúcares y agua. El 1 % restante lo conforman sustancias en cantidades mínimas como son minerales, ácidos, proteínas, enzimas, vitaminas, constituyentes del aroma, pigmentos, cera y granos de polen (NMX-F-382-S, 2008). La miel de abeja debe cumplir con las especificaciones físicas y químicas establecidas en la tabla 02 de acuerdo a la Norma Mexicana.

Tabla 2

Determinación de la calidad proporcionada por la Norma Oficial Mexicana.

Especificaciones	Límites
Contenido aparente de azúcar reductor: expresado en % (g/100 g de azúcar invertido).	70.0 mín.
Contenido de sacarosa: expresado en % (g/100g).	5.0 máx.
Contenido de glucosa: expresado en % (g/100g).	38.0 máx.
Humedad: expresado en % (g/100g).	20.0 máx.
Sólidos insolubles en agua: expresado en % (g/100g).	0.30 máx.
Cenizas: expresado en % (g/100g).	0.60 máx.
Acidez: expresada como mili equivalentes de ácido por kilogramo	40.0 máx.
Hidroximetilfurfural (HMF): expresado en mg/kg en miel envasada	80.0 máx.
Índice de Diastasa*	8.0 mín.

Fuente: NMX-F-382-S (2008).

1.2. Reología

La reología es el estudio de los principios físicos que regulan el movimiento y la deformación de la materia cuando es sometida a esfuerzos externos, es decir estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en materiales que son capaces de fluir, definiendo como flujo la deformación continua generada por la aplicación de una fuerza tangencial. Las propiedades que dependen de esta relación se denominan parámetros reológicos y la forma como se relacionan se llama modelo reológico. La reología ha desempeñado un papel clave en el desarrollo, fabricación y elaboración de alimentos, permitiendo una caracterización completa del material y la optimización de los procesos con menores costos y mayor eficiencia (Jiménez, 2006).

1.2.1. Reología en los alimentos

Los datos reológicos en la industria alimentaria son importantes para determinar la funcionalidad de los ingredientes en el desarrollo de productos, control de calidad de productos final o intermedio, para determinar la vida útil, la evaluación de la textura por correlación con los datos sensoriales, el cálculo de los procesos de ingeniería que abarca una gran cantidad de equipos tales como mezcladoras, extrusoras, bombas, intercambiadores de calor, tuberías u homogeneizadores (Lannes, 2002).

1.2.2. Modelos Reológicos

Según Steffe (1996), los modelos reológicos son una relación matemática que nos permite caracterizar la naturaleza reológica de un fluido, estudiando la deformación dada a una tasa de corte específica.

Muchas formas de ecuaciones son posibles, sin embargo, un modelo general que se aplica a todas las situaciones no existe. Hay varias ecuaciones que describen el comportamiento no newtoniano y newtoniano del material entre algunos de los más utilizados son: Ostwald de Waelle (ley de potencia), Herschel Bulkley, Casson y Newton

1.2.2.1. Modelo de Ostwald de Waelle (Ley de potencia)

Es un modelo de dos parámetros para el cual la viscosidad absoluta disminuye a medida que la tasa de corte aumenta. La relación entre la tasa de corte y el esfuerzo de corte está dada por la siguiente ecuación:

$$\tau = k \gamma^n$$

donde:

τ = Esfuerzo cortante (Pa)

γ = Velocidad de deformación (s^{-1})

k = Índice de consistencia (Pa.sn)

n = Índice de comportamiento de flujo (adimensional)

No existe un término para el punto de cedencia por tanto bajo este modelo los fluidos comienzan a fluir a una tasa de corte cero. Si en la ecuación, el índice de comportamiento reológico n es >1 , el fluido se considera dilatante, porque la viscosidad del fluido aumenta a medida que aumenta la velocidad de cizallamiento. Si $n < 1$ se considera que el fluido es pseudoplástico. Cuando $n=1$, el modelo se reduce a la ley de Newton de la viscosidad con $u=k$.

1.2.2.2. Modelo de Herschel–Bulkley

Es el resultado de la combinación de aspectos teóricos y prácticos de los modelos plástico de Bingham y ley de potencia. La siguiente ecuación describe el comportamiento de un fluido regido por este modelo:

$$\tau = \tau_0 + k \gamma^n$$

donde:

τ = Esfuerzo cortante (Pa)

τ_0 = esfuerzo umbral Pa

K = Índice de consistencia (Pa.sn)

n = Índice de comportamiento de flujo (adimensional)

γ = Velocidad de deformación (s^{-1})

En este modelo los parámetros “ n ” y “ k ” se definen igual que en Ley de Potencia. Como casos especiales se tienen que el modelo se convierte en Plástico de Bingham cuando $n=1$ y en Ley de Potencia cuando $\gamma=0$

1.2.2.3. Modelo de Casson

Es otro modelo matemático que permite caracterizar el flujo de productos viscoplásticos. La siguiente ecuación que caracteriza este modelo son el esfuerzo umbral (τ_0) y el índice de consistencia (K):

$$\tau_{0.5} = \tau_0^{0.5} + k^{0.5} \gamma^{0.5}$$

donde:

τ = Esfuerzo cortante (Pa)

τ_0 = esfuerzo umbral Pa

K = Índice de consistencia (Pa.sn)

γ = Velocidad de deformación (s^{-1})

1.3. Investigaciones desarrolladas

Ramírez (2016) en su investigación denominada: la caracterización de las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de mieles producidas en el ecosistema del Bajo Mayo de los sectores (Zapatero, Shanao y Apangura), él recolectó cinco muestras de cada sector para realizar los análisis fisicoquímicos: pH, humedad, cenizas, actividad de agua, conductividad eléctrica, densidad y sólidos solubles, donde el pH de los productos se encuentra entre 3.78 y 4.47. El contenido de sólidos solubles de las 5 muestras tienen un promedio de 82.43 °Brix. La actividad de agua se tuvieron un valor por debajo de 0.6, el contenido de minerales (cenizas) no excede el 1%. La humedad en el rango de 15.00 y 19.4 %, las muestras tuvieron una conductividad eléctrica de 0.10 y 0.69 [mS/cm] y una densidad de 1.409 y 1.440 [g/mL]. En los análisis microbiológicos:

bacterias recuento total, coliformes totales y fecales, mohos y levadura no existió presencia de microorganismos en las muestras. En los análisis sensoriales: análisis sabor, aroma, color, consistencia y aceptación. Las mieles provenientes de los tres lugares; la miel de Shanao tuvo menor aceptación, mientras que muestra de miel de Zapatero y Apangura tuvieron una aceptación moderada y mejor que la de Shanao.

Fonte (2013) en su investigación denominada: la caracterización fisicoquímica y organoléptica de miel de *Melipona beecheii* obtenida en sistemas agroforestales, determinó las características organolépticas y físico-químicas de la miel producida por *Melipona beecheii*. Para la extracción y el envasado de la miel se utilizaron jeringuillas estériles y frascos secos esterilizados, debidamente etiquetados. Él detectó en la muestra la presencia de granos de polen pertenecientes a *Gliricidia sepium*, y se realizó un análisis sensorial y físico-químico basado en los siguientes indicadores: aspecto, color, olor, sabor, textura, humedad (g/100 g), acidez libre (meq/100 g), pH y sólidos solubles (g/100 g = %). Además, se realizaron determinaciones cromatografías de los azúcares presentes. Los valores de pH estuvieron alrededor de 3.6; la acidez libre fue de 35.0 meq/100 g, y la humedad, de 24 %. Por su parte, el análisis sensorial estuvo acorde con las especificaciones de calidad recomendadas en la norma de calidad cubana, ya que la miel no presentó ningún sabor, aroma o color desagradables. El autor concluyó que la miel de *M. beecheii* presentó una excelente calidad, al no sufrir ningún proceso de degradación aparente; por ello se puede considerar como una miel fresca, lo que constituye un requisito clave para cualquier alimento destinado al consumo humano.

Principal (2013) el objetivo de su trabajo fue determinar las características físico-químicas y sensoriales de la miel de *Apis mellifera* producida en los estados Lara y Yaracuy (Venezuela). En 30 mieles, el autor obtuvo los siguientes análisis: acidez total, % de humedad, conductividad eléctrica, cloruros, cenizas, densidad, grados Brix, pH, glucosa, glucosa/agua, caracterización cromática. Los parámetros: Densidad, Grados Brix, el porcentaje de Humedad, los valores de fracción molar azúcar (Xs) y fracción molar agua (Xw) actividad del agua (A_w) y acidez total (AT), estudiados para las mieles de Lara y Yaracuy fueron estadísticamente similares ($P>0.05$), mientras que los parámetros: conductividad eléctrica, cloruros y Cenizas tuvieron diferencias significativas ($P<0.05$) siendo ésta última mayor en las mieles del estado Lara comparada con las mieles del estado Yaracuy. El análisis sensorial demostró que el 100% de los jueces estuvo de acuerdo para

el atributo cristalización mientras que los atributos: Fluidez, Aroma, Sabor y Aceptabilidad fueron evaluados por el 60% de los jueces con valores de calificación alto, presentando diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$). Los resultados que obtuvo el autor indicaron que todas las mieles analizadas fueron genuinas y los parámetros estudiados estuvieron dentro de los rangos establecidos por la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) en ambos estados.

Vit (2009) en su investigación denominada: la caracterización fisicoquímica de mieles de abejas sin aguijón (*Meliponini*) de Venezuela, tienen una composición diferente a las mieles de *Apis mellifera*; sin embargo, no se han incorporado sus estándares en las normas de calidad para este producto de la colmena. El autor estudio las mieles producidas en Venezuela por seis especies de abejas sin aguijón: *Frieseomelitta paupera* (Provancher, 1888), *Scaura aff. latitarsis* (Friese, 1900), *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811), *Plebeia sp.*, *Scaptotrigona sp.* y una especie no identificada. Obtuvo las siguientes variaciones en los valores de la composición fisicoquímica de las mieles de abejas sin aguijón: 1. pH (3.24 – 4.94). 2. Acidez libre (16.92 – 248.52 meq/kg miel). 3. Cenizas (0.21 – 1.49 g/100 g miel). 4. Conductividad eléctrica (0.24 – 2.14 mS/cm). 5. Humedad (19.3 – 27.3 g agua/100 g miel). 6. Nitrógeno (41.91 – 335.31 mg N/100 g miel). 7. Azúcares reductores (48.18 – 71.19 g/100 g miel). 8. Sacarosa aparente (1.09 – 12.30 g/100g miel). 9. Actividad de la diastasa (positiva en todas las mieles). Hidroximetilfurfural (negativo en todas las mieles).

Lazaridou (2004) en su investigación denominada: la composición, comportamiento térmico y reológico de 33 mieles griegas, determinó varias propiedades químicas y fisicoquímicas (composición de azúcar, contenido de agua, actividad del agua, color, viscosidad, propiedades térmicas) para diferentes orígenes botánicos y geográficos. El contenido de agua y los valores de la actividad del agua variaron entre 13.0-18.9 g / 100 gy 0.528-0.663, respectivamente. Las pruebas hechas por el autor de cizallamiento constante y reológicas revelaron el comportamiento de newton para todas las muestras examinadas en el rango de temperatura de 20-60 °C, la viscosidad de corte constante (η) y el módulo de pérdida (G'') estaban inversamente relacionados con el contenido de agua de la miel. La dependencia de la temperatura de la viscosidad siguió los modelos de Arrhenius y Williams-Landel-Ferry; para el último modelo, los datos de viscosidad de diferentes muestras encajaban muy bien en una curva maestra común.

Escriche (2017) en su investigación denominada: la caracterización fisicoquímica y reológico de la miel de Mozambique, menciona que obtener información sobre la miel de Mozambique es el primer paso hacia la explotación económica y nutricional de este recurso natural. El objetivo del autor fue evaluar propiedades fisicoquímicas (humedad, hidroximetilfurfural "HMF", conductividad eléctrica, color Pfund, CIE L * a * b * color y azúcares) y parámetros reológicos módulo elástico G', módulo de pérdida G" y viscosidad compleja η^*) obtenido a diferentes temperaturas (de 10 a 40 ° C). Todos los parámetros fisicoquímicos estaban de acuerdo con las regulaciones internacionales. La mayoría de las muestras de miel se clasificaron como mielada porque eran oscuras y tenían valores de conductividad superiores a 0.800 mS / cm. Los módulos G', G" y η^* disminuyeron al aumentar la temperatura. G' y G" fueron fuertemente influenciados por la frecuencia aplicada, mientras que η^* no dependió de este parámetro, lo que demuestra el comportamiento newtoniano. El autor aplicó una red neuronal artificial (ANN) para predecir los parámetros reológicos en función de la temperatura, la frecuencia y la composición química. El autor encontró que un perceptrón multicapa (MLP) era el mejor modelo para G" y η^* ($R^2 > 0.950$), mientras que la red neuronal probabilística (PNN) era la mejor para G' ($R^2 = 0.758$). Las pruebas de sensibilidad mostraron que en el caso de G" y G' la frecuencia y la humedad eran los factores más importantes, mientras que para η^* eran humedad y temperatura.

Costa et al. (2012) comparó sus resultados de su investigación con muestras extranjeras, todas las muestras presentaron comportamiento newtoniano a 25°C, coincidiendo con varias investigaciones; la viscosidad de la miel varió de 6.65 a 0.19 Pa.s, La ausencia de fenómenos tixotrópicos ni dilatantes, podría explicarse por la ausencia de macromoléculas y / o partículas en suspensión. Los valores de viscosidad de las mieles estudiadas en este trabajo fueron similares a los de las mieles chinas (0.3 – 6.3 Pa.s), analizadas a 20°C, pero inferiores a los de la miel jordana (12.18 - 30 Pa.s), mieles polacas (9 – 21.5 Pa.s) y mieles indias (2.68 – 11.35 Pa.s), todas determinadas a 25°C. Aunque fuertemente influenciada por el contenido de agua, la viscosidad de la miel depende también de su origen, por lo que su composición química, además, los resultados también pueden variar debido a la variación natural que caracteriza la producción de miel (época del año, región geográfica, etc).

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Lugar de Ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, Ciudad Universitaria, Morales, Provincia y región San Martín.

2.2. Materia Prima

Las muestras de miel procedieron de tres zonas ecológicas Alto Mayo (Pajonal, San José y Palmeras de Oromina), Bajo Mayo (Cacatachi, Tabalosos y Pamashto) y Bajo Huallaga (Chunchuyacu, Piñal y Planicie).

2.3. Diseño Experimental

El diseño estadístico con respecto al análisis fisicoquímico durante la investigación fue un DBCA (Diseño de Bloques Completo al Azar) con tres bloques, de las muestras de mieles procedentes de las zonas ecológicas Alto Mayo (Pajonal, San José, Palmeras de Oromina), Bajo Mayo (Cacatachi, Tabalosos, Pamashto) y Bajo Huallaga (Chunchuyacu, Piñal, Planicie), con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, la confiabilidad de los datos fue evaluada mediante el coeficiente de variación (CV) y el coeficiente de determinación (R^2). Así mismo se realizó pruebas comparativas de Tukey. Las variables respuesta que generó la presente investigación fueron pH, A_w , Humedad, densidad, sólidos solubles, acidez, conductividad eléctrica, cenizas y azúcares reductores. Para esto se utilizó el paquete estadístico SAS (System for Windows V9.2) y Statistica V10.

Para el análisis reológico el diseño experimental utilizado fue un DCA (Diseño Completamente Aleatorio) con arreglo factorial (3x3) de dos factores (Zonas Ecológicas y Temperatura), 3 niveles para el factor Zonas Ecológicas Alto Mayo (Pajonal, San José y Palmeras de Oromina), Bajo Mayo (Cacatachi, Tabalosos y Pamashto) y Bajo Huallaga (Chunchuyacu, Piñal y Planicie), 3 niveles para el factor temperatura (10°C, 20°C y 30°C); las pruebas fueron realizadas por triplicado. Las variables respuestas que generó la presente investigación fueron la viscosidad, velocidad de deformación, esfuerzo cortante.

El ajuste de los modelos reológicos a los datos experimentales se realizó mediante el software estadístico Origin V 9.1. El grado de ajuste fue controlado a través del coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de variabilidad y chi-cuadrado (χ^2).

2.4. Materiales y Equipos

2.4.1. Materiales

a) De campo

Entre los materiales de campo que se utilizó fueron envases de vidrio y de plástico.

b) De laboratorio

Botella de vidrio, cabeza del filtro de vidrio, embudos de vidrio, espátula cuchara de laboratorio, filtros de 0.22 μm , filtros de membranas, fioles de 10, 25, 100 y 250 ml, guantes de goma, jeringas de 10 ml, micropipetas automáticas (10 – 100 μl y 100 – 1000 μl), papel aluminio, papel filtro, pastillas magnéticas, pipetas de 1, 2, 5 y 10 ml, pinzas de laboratorio, taza de filtro de vidrio, tubos de ensayo de 10 ml, vasos de precipitación de 80 y 100 ml, viales 9mm de 1.5 ml THD, tapa de agujero abierto forrada de PTFE / silicona acanalada de 9 mm verde R.A.M., columna C18.

c) Reactivos

Acetonitrilo grado HPLC, Agua Ultra Pura HPLC, ácido fórmico grado analítico, estándares de azúcares (Glucosa, Sacarosa y Fructuosa).

2.4.2. Equipos

Agitador vórtex vibrador p/ tubos (J.P SELECTA), agitador magnético con placa máscara (BOECO GERMANY- modelo MSH420), balanza analítica (A&D Weighing-Resolution- modelo GH-200), baño ultrasónico (BRANSON- modelo 3510 DTH), bomba de vacío (VALUE- modelo VE125N), centrifuga (BOECO GERMANY- modelo C-28A), desecador de vacío (SIMAX, modelo CSN), esterilizador de calor seco digital. (MEMMERT- modelo ED080), estufa (MEMMERT- modelo UN55), estufa (POL-EKO-APARATURA SP.J. - modelo SLW115 STD), refrigeradora (SAMSUNG- modelo Twin Cooling), refrigeradora (J. P. SELECTA- modelo TEMPLOW S), Sistema de Cromatografía Líquida de Ultra Alta Resolución (THERMOSCIENTIFIC - modelo Ultimate 3000), Sistema de agua ultra pura (THERMO SCIENTIFIC - modelo Gen Pure), reómetro rotacional modelo (BROOKFIELD modelo RVDV-III ultra) spindle SC-18.

2.4.3. Metodología experimental.

a) Diagrama de flujo para la determinación de la calidad miel y sus propiedades reológicas.

Para el desarrollo del presente proyecto se siguió en el siguiente diagrama de flujo.

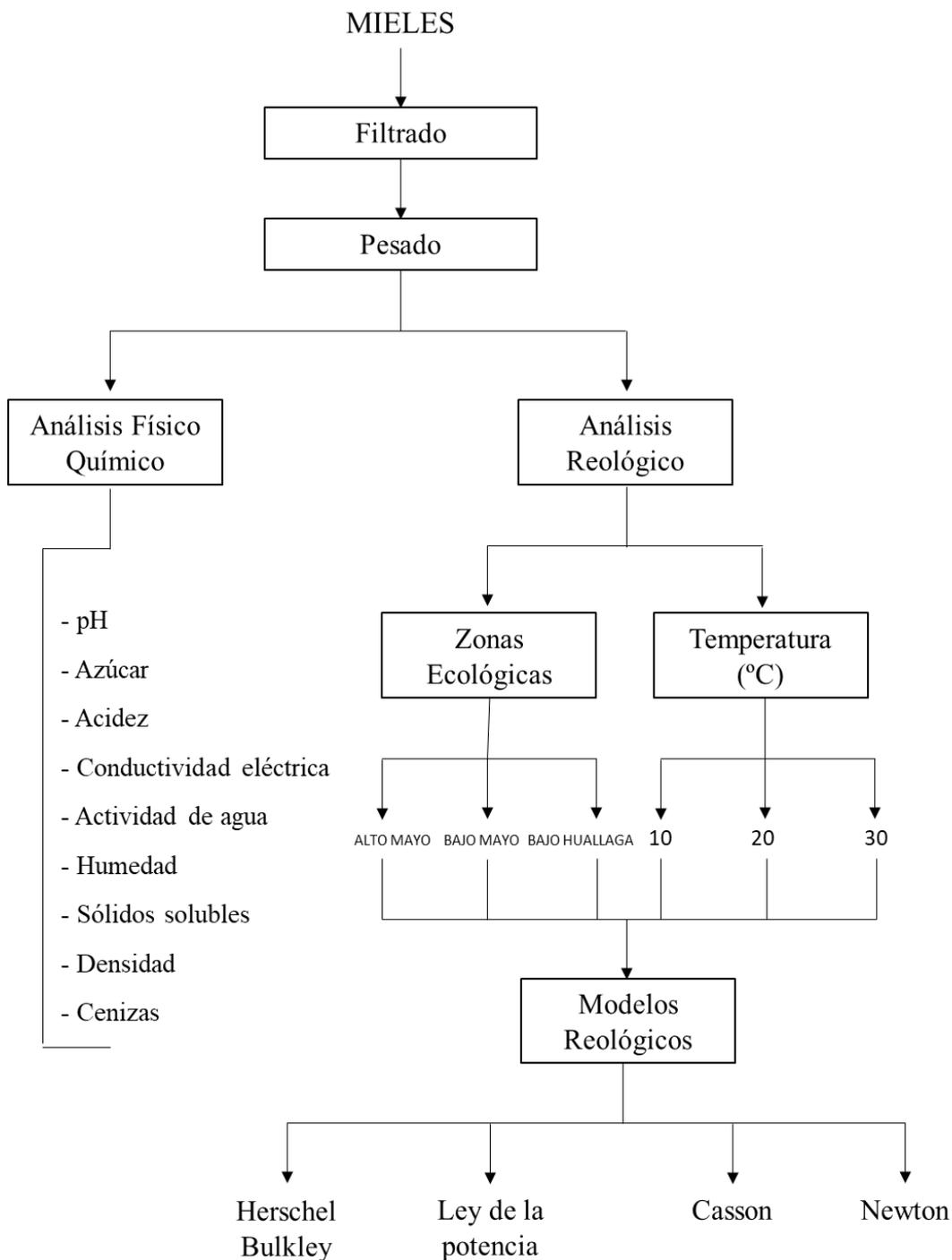


Figura 1. Diagrama de flujo para la determinación de la calidad de miel y sus propiedades reológicas.

b) Proceso experimental.

- **Materia prima (miel).** Se recolectaron teniendo en cuenta las tres zonas ecológicas (Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga) de la región San Martín.
- **Filtrado.** Se realizó con la finalidad de eliminar algunas impurezas expuestas durante la cosecha de la miel.
- **Pesado.** Se efectuó el pesado alcanzando aproximadamente alrededor de 15 g de miel para los análisis reológicos y para los análisis físicos y químicos de acuerdo a cada metodología a emplear.
- **Análisis reológicos.** Se determinó teniendo en cuenta las zonas ecológicas y la temperatura de 10, 20 y 30 °C.
- **Modelos reológicos.** Después de ejecutar el diseño experimental se procedió a tabular de acuerdo a los modelos matemáticos planteados.
- **Análisis Físico químico.** Se procedió a su implementación de acuerdo a lo establecido en la parte experimental, lo cual se muestra a continuación:

pH

El valor de pH se determinó de acuerdo a la Norma Técnica Peruana (NTP-209.174, 1999) y (A.O.A.C., 2003), mediante lectura directa utilizando un pH-metro marca HANNA INSTRUMENTS Modelo HI2215 Rumania. Para ello se diluyo primero en un matraz 18g de miel con 30 ml de agua destilada y luego se añadirá agua para enrasar hasta 75 ml.

Contenido de azúcares por Cromatografía Líquida

Se realizó de acuerdo al manual de ensayos del Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, utilizando el Cromatógrafo líquido de alta resolución marca Thermo Scientific ultimate 3000. El valor de azúcares reductores se determinó teniendo en cuenta las condiciones que indica el método descrito por la Norma Técnica Peruana (NTP-209.172, 1999) y (A.O.A.C., 2003), se efectuaron determinaciones mediante el método UHPLC.

Procedimiento:**Preparación de la fase móvil.**

Preparar una mezcla de agua y acetonitrilo grado HPLC en la proporción 17:83 respectivamente. Filtrar a través de una membrana de nylon de 0.45 μ m y desgasificar por ultrasonido.

Preparación de las soluciones de trabajo.

Preparación del Estándar: Pesar exactamente 50 mg de cada Estándar de Referencia de fructosa, glucosa y sacarosa y llevar a una fiola de 25ml, añadir 5 ml de agua ultrapura, sonicar por 10 minutos, llevar a volumen con agua ultrapura y mezclar (obteniendo una solución madre de una concentración de 400 ug/ml).

Posteriormente se lleva a volumen con fase móvil. Filtrar a través de una membrana de 0.22 μ m y analizar en UHPLC.

Preparación de la muestra.

Pesar exactamente 2.0 g de la muestra en un tubo falcon de 15 ml, añadir 4 ml de agua ultrapura, llevar a un vórtex por 1 minuto hasta completar la disolución, luego sonicar a 60°C por 45 minutos, posteriormente centrifugar a 4000 rpm por 15 minutos. Tomar una alícuota de 1mL y llevar a un fiola de 25mL y enrasar con agua ultrapura y agitar.

De esta nueva solución tomar una alícuota de 1 ml y llevar a una fiola de 10mL mezclar y enrasar con fase móvil. Filtrar a través de una membrana de 0.22 μ m en una membrana de nylon.

Injectar por separado en el cromatógrafo a volúmenes iguales de 20 μ L de la preparación estándar y de la preparación de la muestra. Registrar los cromatogramas y medir las respuestas de los picos de interés.

Acidez

Se determinó teniendo en cuenta la Norma Técnica Peruana (NTP-209.174,1999) y (A.O.A.C., 2003), fue titulada disolviendo la miel con agua destilada e hidróxido de sodio (NaOH) 0.05 N y se midió con el potenciómetro hasta obtener un pH 8.5; inmediatamente se agregó 10 ml de NaOH 0.05 N y se tituló por retroceso con HCl 0.05

N a un pH de 8.3. Se empleó un testigo preparado con 75 ml de agua destilada libre de dióxido de carbono siguiendo los pasos anteriores.

Para calcular la acidez se emplea las siguientes fórmulas:

$$\text{Acidez Libre } \left(\frac{\text{meq}}{\text{kg}}\right) = \frac{(V_b - V_o) \times N_b \times 1000}{P}$$

$$\text{Acidez Lactónica } \left(\frac{\text{meq}}{\text{kg}}\right) = \frac{(10N_b - V_a N_a) \times 1000}{P}$$

$$\text{Acidez Total} = \text{Acidez Libre} + \text{Acidez lactónica}$$

siendo:

V_b : Volumen en ml de base consumidos hasta alcanzar pH de 8.50.

V_o : Volumen en ml de base consumidos por 75 ml de agua destilada hasta alcanzar pH de 8.50.

V_a : Volumen en ml de ácido gastados en la valoración por retroceso hasta alcanzar pH 8.30.

N_b : Normalidad de la base

N_a : Normalidad del ácido

P: Peso, en gramos, de la muestra.

Los resultados son expresados en meq/kg.

Conductividad eléctrica

Se determinó teniendo en cuenta las condiciones que indica la Norma Técnica Peruana (NTP-209.175, 1999) y (A.O.A.C., 2003), para ello se utilizó un conductímetro de marca Ohaus, modelo Starter3100c, para la determinación de los valores de acuerdo con el método para la conductividad eléctrica en miel de abeja (*Apis mellifera*). Para ello se diluyó en un matraz 18 ml de miel en 30 ml de agua destilada. A esta solución se añadió agua hasta enrasarla a 75 ml. Seguidamente se colocó los electrodos del conductímetro en la disolución y dio lectura de los valores, los resultados serán expresados $10^{-4} \text{ Sxcm}^{-1}$.

Actividad de agua (A_w)

La medición de los valores de actividad de agua se realizó siguiendo las condiciones de la Norma Técnica Peruana (NTP-209.171, 1999) y (A.O.A.C., 2003), a temperatura constante de 25°C, mediante un analizador automático Rotronic, marca Hygrolab, mediante una termocupla que indica el valor de A_w y la temperatura a la cual está midiendo. Se introduce una muestra de aproximadamente 5 g en una cápsula y se van

realizando medidas a lo largo del tiempo, hasta llegar a un valor constante. El valor constante que marca el equipo es el valor de la actividad de agua.

Humedad %

Este método se realizó siguiendo las condiciones de la Norma Técnica Peruana (NTP-209.171, 1999), donde se determinó el índice de refracción de la muestra, utilizando el refractómetro de mano marca ABBE. A una temperatura de 20 °C y obtener el porcentaje correspondiente de la humedad. De acuerdo a los sólidos solubles (°Brix) obtenidos se hace una transformación empleando una tabla de conversión a índice de refracción, obtenido en índice de refracción se determinó en una tabla el porcentaje de humedad correspondiente que se presenta en el anexo I.

Si la temperatura es diferente de 20 °C se harán las siguientes correcciones:

- Para temperaturas superiores de 20 °C sumar 0.00023 por cada (°C) (NTP 209.168, 1999).
- Para temperaturas inferiores de 20 °C restar 0.0023 por cada (°C) (NTP 209.168, 1999).

Sólidos solubles

Este método se realizó siguiendo las condiciones de la Norma Técnica Peruana (NTP-209.178, 1999). Los sólidos solubles fueron medidos usando un refractómetro marca ABBE, expresando el resultado en °Brix.

Densidad

El valor de densidad se determinó teniendo en cuenta las condiciones que indica la Norma Técnica Peruana (NTP-209.168, 1999) donde establece el método de ensayo para determinar la densidad a 27 °C mediante el método de picnometría.

Para calcular la densidad se emplea la siguiente fórmula:

$$D = \frac{m_2 - m}{m_1 - m}$$

siendo:

D : Densidad relativa 27°C/ 27°C

m : Masa del picnómetro vacío, en gramos

m₁ : Masa del picnómetro con agua destilada, en gramos

m₂ : Masa del picnómetro con las muestras de miel de abeja, en gramos

Cenizas %

La medición de los valores del contenido de cenizas se efectuó según las condiciones de la Norma Técnica Peruana (NTP-209.175-1999) y A.O.A.C (2003), mediante mineralización por vía seca, o calcinación, la cual consiste en la incineración de la miel para obtener un residuo no combustible que corresponde a la ceniza, para la cual se emplea una mufla a una temperatura de 600 °C para incinerar la muestra de miel de abeja (*Apis mellifera*).

Para calcular las cenizas totales se emplea la ecuación.

$$\% \text{Sólidos de Cenizas} = \left(\frac{\text{peso de cenizas}}{\text{peso de muestra}} \right) \times 100$$

c) Modelos reológicos.

Según Steffe (1996), utilizar modelos reológicos como Ley de Potencia, Herschel-Bulkley y Casson, nos permite comprender la naturaleza reológica de un fluido. Según los resultados se utilizó el modelo de fluido Newtoniano para comparar los diferentes modelos planteados. Esto significa que la tensión tangencial es igual a la velocidad de deformación (intensidad de cortadura) multiplicada por una constante: el coeficiente de viscosidad. La representación de $\tau - \gamma$ es una línea recta que pasa por el origen. La pendiente de esta línea viene dada por η . Como η es una constante, basta con una determinación para caracterizar completamente el comportamiento en flujo del líquido; se mide en $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$. La unidad clásica es el Poise y la más comúnmente usada es el centipoise (cP).

$$\tau = \eta \cdot \gamma$$

donde:

τ = Esfuerzo cortante (Pa)

γ = Velocidad de deformación (s^{-1})

η = Viscosidad (Pa.s)

Modelo de Ostwald de Waelle (Ley de potencia)

Es un modelo de dos parámetros para el cual la viscosidad absoluta disminuye a medida que la tasa de corte aumenta. La relación entre la tasa de corte y el esfuerzo de corte está dada por la siguiente ecuación:

$$\tau = k \gamma^n$$

donde:

τ = Esfuerzo cortante (Pa)

γ = Velocidad de deformación (s^{-1})

k = Índice de consistencia (Pa.sn)

n = Índice de comportamiento de flujo (adimensional)

No existe un término para el punto de cedencia por tanto bajo este modelo los fluidos comienzan a fluir a una tasa de corte cero. Si en la ecuación, el índice de comportamiento reológico n es >1 , el fluido se considera dilatante, porque la viscosidad del fluido aumenta a medida que aumenta la velocidad de cizallamiento. Si $n < 1$ se considera que el fluido es pseudoplástico. Cuando $n=1$, el modelo se reduce a la ley de Newton de la viscosidad con $u=k$.

Modelo de Herschel–Bulkley

Es el resultado de la combinación de aspectos teóricos y prácticos de los modelos plástico de Bingham y ley de potencia. La siguiente ecuación describe el comportamiento de un fluido regido por este modelo:

$$\tau = \tau_0 + k \gamma^n$$

donde:

τ = Esfuerzo cortante (Pa)

τ_0 = esfuerzo umbral Pa

K = Índice de consistencia (Pa.sn)

n = Índice de comportamiento de flujo (adimensional)

γ = Velocidad de deformación (s^{-1})

En este modelo los parámetros “ n ” y “ k ” se definen igual que en Ley de Potencia. Como casos especiales se tienen que el modelo se convierte en Plástico de Bingham cuando $n=1$ y en Ley de Potencia cuando $\gamma=0$

Modelo de Casson

Es otro modelo matemático que permite caracterizar el flujo de productos viscoplásticos. La siguiente ecuación que caracterizan este modelo son el esfuerzo umbral (τ_0) y el índice de consistencia (K):

$$\tau_{0.5} = \tau_0^{0.5} + k^{0.5} \gamma^{0.5}$$

donde:

τ = Esfuerzo cortante (Pa)

τ_0 = esfuerzo umbral Pa

K = Índice de consistencia (Pa.sn)

γ = Velocidad de deformación (s^{-1})

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Determinar las características fisicoquímicas de mieles procedentes de tres zonas ecológicas.

A continuación, se presentan las características físicas y químicas de las mieles evaluadas de diferentes localidades.

Tabla 3

Media y desviación estándar del análisis de pH, acidez total, A_w, humedad, sólidos totales, densidad de miel en diferentes localidades.

Zona Ecológica	Localidad	pH	Acidez total (meq/kg)	A _w	Humedad (%)	Sólidos Totales (Brix)	Densidad (Kg/L)
Alto Mayo	Pajonal	3.22±0.08 ^b	29.24±0.39 ^e	0.79±0.003 ^a	26.62±0.28 ^a	70.15±0.06 ^{cd}	1.44±0.003 ^a
	San José	3.3±0.10 ^{ab}	28.12±0.11 ^{fg}	0.78±0.003 ^{cd}	25.72±0.12 ^{cd}	72.70±0.11 ^a	1.39±0.003 ^f
	Palmeras de Oromina	3.5±0.13 ^a	27.81±0.34 ^g	0.76±0.004 ^{fg}	25.42±0.03 ^{de}	69.23±0.08 ^f	1.42±0.006 ^c
Bajo Huallaga	Chunchuyacu	3.28±0.07 ^{ab}	30.20±0.14 ^d	0.77±0.003 ^{de}	25.51±0.02 ^{de}	68.08±0.10 ^g	1.41±0.003 ^{de}
	Piñal	3.40±0.05 ^{ab}	31.00±0.75 ^{cd}	0.78±0.003 ^{bc}	25.86±0.04 ^{bc}	70.03±0.07 ^{de}	1.42±0.002 ^{cd}
	Planicie	3.38±0.08 ^{ab}	31.89±0.22 ^{bc}	0.79±0.003 ^{ab}	26.16±0.07 ^b	70.35±0.10 ^{bc}	1.40±0.005 ^e
Bajo Mayo	Cacatachi	3.45±0.05 ^a	34.75±0.15 ^a	0.76±0.003 ^g	25.19±0.04 ^e	68.11±0.06 ^g	1.43±0.003 ^{bc}
	Tabalosos	3.22±0.08 ^b	32.32±0.14 ^b	0.77±0.003 ^{ef}	25.33±0.15 ^e	69.90±0.06 ^e	1.43±0.003 ^{bc}
	Pamashto	3.30±0.08 ^{ab}	29.04±0.08 ^{ef}	0.76±0.003 ^{fg}	25.24±0.03 ^e	70.51±0.06 ^b	1.44±0.004 ^{ab}

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Tabla 4

Media y desviación estándar del análisis de conductividad eléctrica, cenizas, fructuosa, glucosa, sacarosa de miel en diferentes localidades.

Zona Ecológica	Localidad	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cenizas (%)	Fructuosa (%)	Glucosa (%)	Sacarosa (%)
Alto Mayo	Pajonal	248.94 \pm 0.15 ^h	0.61 \pm 0.02 ^e	35.04 \pm 0.06 ^g	33.34 \pm 0.21 ^h	0.85 \pm 0.02 ^e
	San José	314.85 \pm 0.27 ^e	0.66 \pm 0.01 ^{cde}	39.16 \pm 0.05 ^b	36.19 \pm 0.04 ^c	1.23 \pm 0.15 ^d
	Palmeras de Oromina	318.70 \pm 0.14 ^{de}	0.74 \pm 0.04 ^a	38.14 \pm 0.07 ^d	36.01 \pm 0.08 ^{cd}	1.75 \pm 0.05 ^c
Bajo Huallaga	Chunchuyacu	285.04 \pm 0.07 ^g	0.71 \pm 0.02 ^{abc}	40.39 \pm 0.14 ^a	37.63 \pm 0.03 ^a	1.34 \pm 0.05 ^d
	Piñal	308.01 \pm 2.13 ^f	0.75 \pm 0.02 ^a	36.27 \pm 0.10 ^f	33.81 \pm 0.03 ^g	0.66 \pm 0.06 ^e
	Planicie	328.26 \pm 0.29 ^b	0.64 \pm 0.02 ^{de}	39.07 \pm 0.07 ^b	35.62 \pm 0.02 ^e	0.87 \pm 0.03 ^e
Bajo Mayo	Cacatachi	321.95 \pm 1.22 ^{cd}	0.66 \pm 0.02 ^{cd}	38.61 \pm 0.34 ^c	36.81 \pm 0.06 ^b	2.50 \pm 0.30 ^b
	Tabalosos	333.26 \pm 2.75 ^a	0.68 \pm 0.01 ^{bcd}	39.31 \pm 0.15 ^b	34.36 \pm 0.08 ^f	3.18 \pm 0.10 ^a
	Pamashto	324.48 \pm 0.55 ^c	0.72 \pm 0.03 ^{ab}	37.20 \pm 0.05 ^e	35.79 \pm 0.03 ^{de}	1.54 \pm 0.04 ^{cd}

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

En la tabla 3 y 4, se observa el comportamiento físico químico de mieles procedentes de las zonas ecológicas Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga, la localidad del Pajonal (Alto Mayo) es la de menor valor en pH (3.22), conductividad eléctrica (248.94 $\mu\text{S}/\text{cm}$), cenizas (0.61%), fructuosa (25.04%) y glucosa (23.34%), en comparación con las demás localidades y mayor en humedad (26.62%), A_w (0.79) y densidad (1.44 kg/L).

De acuerdo al Codex Alimentarios (2008) y la Norma Oficial Mexicana (2008) los valores de acidez total, sacarosa, glucosa y conductividad eléctrica, se encuentran por debajo a lo mencionado por las referencias; sin embargo, los valores de la humedad y cenizas se encuentran por encima.

Las muestras evaluadas presentaron un pH (3.22 a 3.50), las localidades Palmeras de Oromina, Pajonal (Alto Mayo), Cacatachi, Tabalosos (Bajo Mayo) presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$), el pH de la miel oscila entre 3.4 a 6.1 con una media de 3.9 (Louveaux, 1985; Simal y Huidobro, 1984; Belitz y Grosch, 1997). Esta variación depende de la procedencia botánica, siendo generalmente ≤ 4 para mieles de tipo floral y superior a este valor para las mieles de mielada (Frias y Hardisson, 1992).

La A_w de todas las muestras de miel variaron de (0.76 a 0.79), las localidades Pajonal, San José (Alto Mayo), Cacatachi, Tabalosos (Bajo Mayo), Piñal, Chunchuyacu y Planicie (Bajo Huallaga), presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$); Estrada y otros (2005, p.3) indican que los valores de A_w de la miel de abeja se encuentran entre 0.56 y 0.62, valor que impide el crecimiento de la mayoría de los microorganismos con excepción de algunas levaduras y bacterias osmofílicas. SENASICA (2008, p. 9) indica que mayo a esto, el almacenamiento puede ayudar a absorber agua incrementando la humedad que favorece el desarrollo de mohos y levaduras.

El porcentaje de humedad de las muestras evaluadas se encontraron entre (25.19 a 26.62%), las localidades Pajonal, San José (Alto Mayo), Piñal y Planicie (Bajo Huallaga) presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$), en comparación con la zona ecológica Bajo Mayo; el Codex Alimentarius (2008) menciona que debe tener un humedad $< 20\%$, según Chirife et al. (2006) indica que el contenido de humedad se ve afectado por el clima, la estación y el contenido de humedad del néctar de la planta original, se considera una miel sin madurar con un contenido de humedad superior al 20%.

La densidad obtenida se encontró entre (1.39 a 1.44 Kg/L), las localidades Pajonal, San José, Palmeras de Oromina (Alto Mayo), Pamashto (Bajo Mayo), Chunchuyacu, Piñal y Planicie (Bajo Huallaga) presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$), según la NTP-209.168, (1999) la densidad de la miel esta entre 1.4 y 1.6 kg/L, esto depende del contenido de agua de la muestra y de la temperatura a la cual se lleva a cabo la medición (White, 1960).

Los sólidos solubles variaron entre (68.08 a 72.70 °Brix), las localidades Pajonal, San José, Palmeras de Oromina, Piñal, Planicie, Tabalosos y Pamashto (Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga), presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$) a excepción de la localidad de Cacatachi y Chunchuyacu, según la A.O.A.C., (2003) la miel de abeja debe tener un límite de 75 °Brix, menor a esto se debe a las condiciones climáticas al momento de su recolección, a menor porcentaje de humedad, más madura es la miel.

Los azúcares reductores, en el caso de la fructuosa varió de (25.04 a 30.39%), las localidades Pajonal, Palmeras de Oromina (Alto Mayo), Cacatachi, Pamashto (Bajo Mayo), Chunchuyacu y Piñal (Bajo Huallaga) presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$), la glucosa vario de (23.34 a 27.63%), las localidades Pajonal, San José, Palmeras de Oromina, Cacatachi, Tabalosos, Pamashto, Chunchuyacu, Piñal y Planicie (Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga) presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$) y la sacarosa de (0.66 a 3.18%), las localidades Palmeras de Oromina (Alto Mayo), Cacatachi, Tabalosos y Pamashto (Bajo Mayo) presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$), según White, (1975) la glucosa de la miel de abeja debe estar en el límite de 38% y la fructosa en 5%, estos son los principales azúcares constituyentes de la miel y se producen por hidrólisis de sacarosa y representan el 85-95% del total de azúcares.

3.2. Determinación de las propiedades reológicas de mieles procedentes de tres zonas ecológicas.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos correspondiente a las propiedades reológicas.

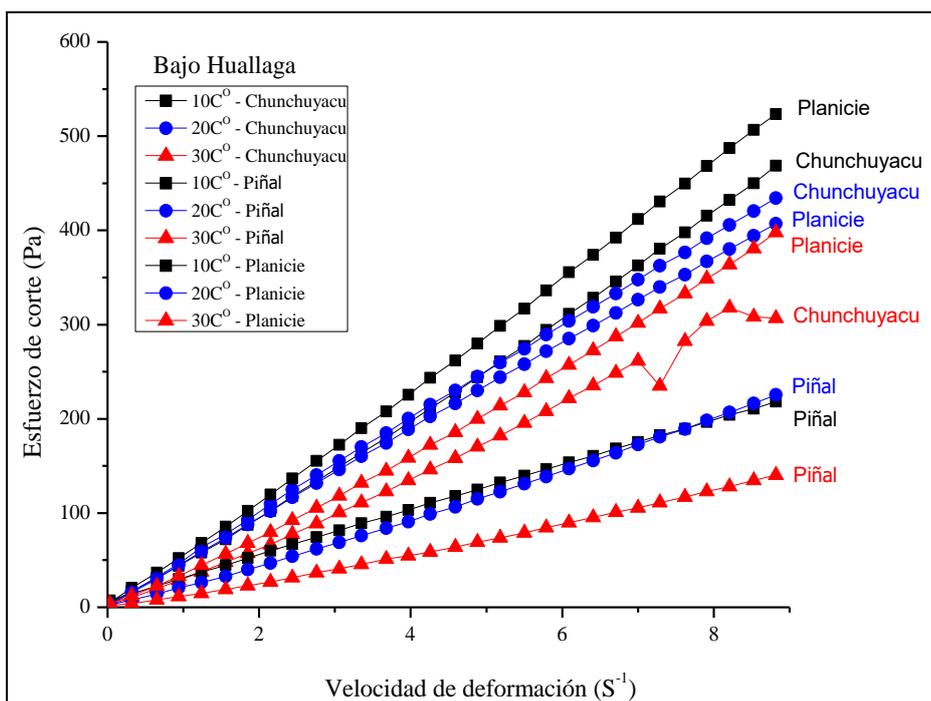


Figura 2. Esfuerzo de corte vs Velocidad de deformación de mieles procedentes del Bajo Huallaga.

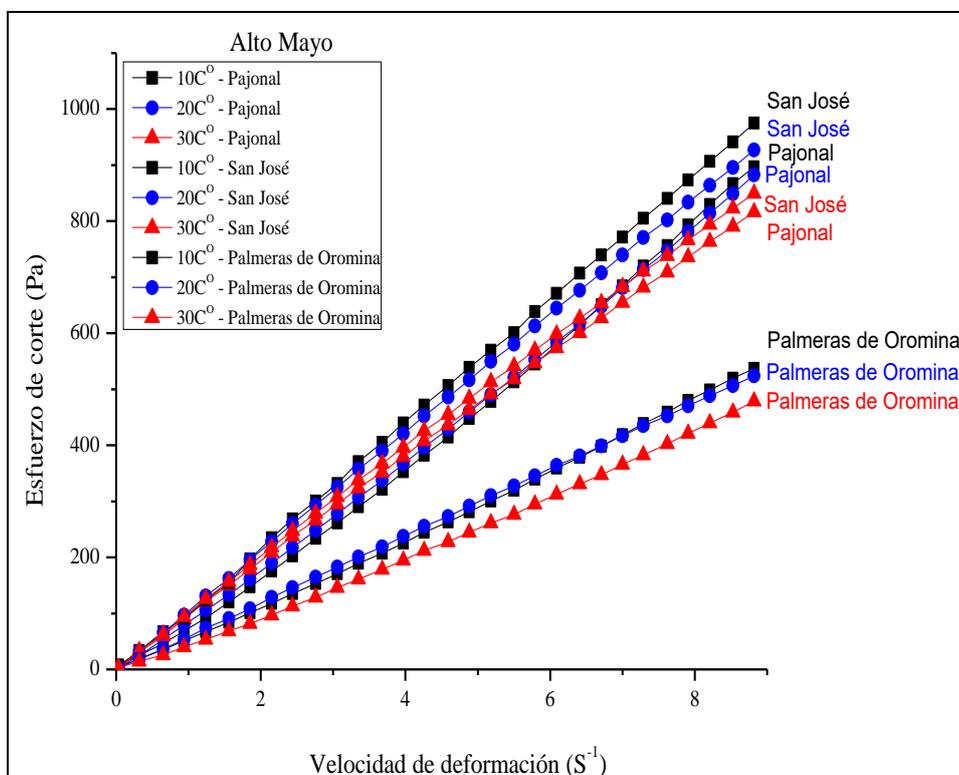


Figura 3. Esfuerzo de corte vs Velocidad de deformación de mieles procedentes del Alto Mayo.

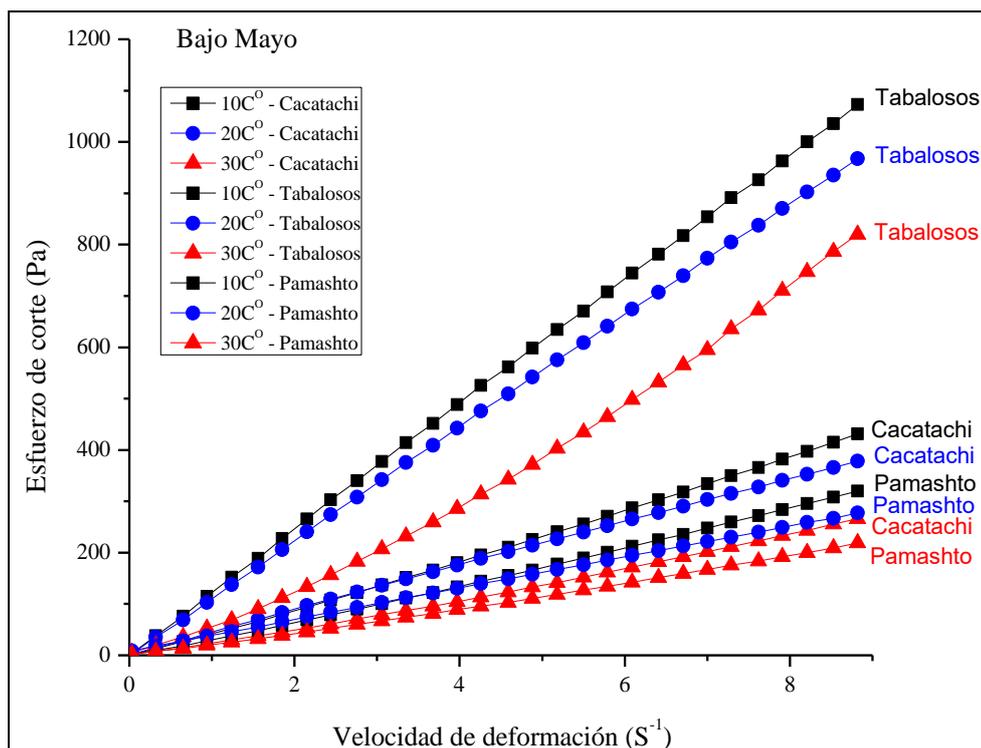


Figura 4. Esfuerzo de corte vs Velocidad de deformación de mieles procedentes del Bajo Mayo.

En las figuras 2, 3 y 4 se presentó el esfuerzo de corte vs la velocidad de deformación para tres temperaturas (10, 20 y 30°C.) y tres diferentes zonas ecológicas (Alto Mayo, Bajo Huallaga y Bajo Mayo). Las tres figuras mencionadas presentaron las mismas características, es decir que el esfuerzo de corte se va incrementando a medida que la velocidad de deformación crece en forma lineal, característica propia de los fluidos newtoniano (Müller, 1973), además el comportamiento newtoniano en diferentes mieles ha sido observado por varios autores Oroian et al. (2014), Gomez-Diaz et al. (2009), Saxena et al. (2014).

La ausencia de fenómenos tixotrópicos ni dilatantes, podría explicarse por la ausencia de macromoléculas y / o partículas en suspensión Ferguson y Kembloski, (1991).

En concordancia a los datos experimentales mostrados en las figuras, se observaron que a medida que el gradiente de velocidad tiende a cero, el esfuerzo generado también tiende a adoptar un valor nulo. Esto implica que, en este caso la miel, no muestra la existencia de un esfuerzo umbral necesario para comenzar a fluir. De esta manera se descarta que esta miel tenga un comportamiento del tipo de plástico de Bingham (Riveiro, 2009).

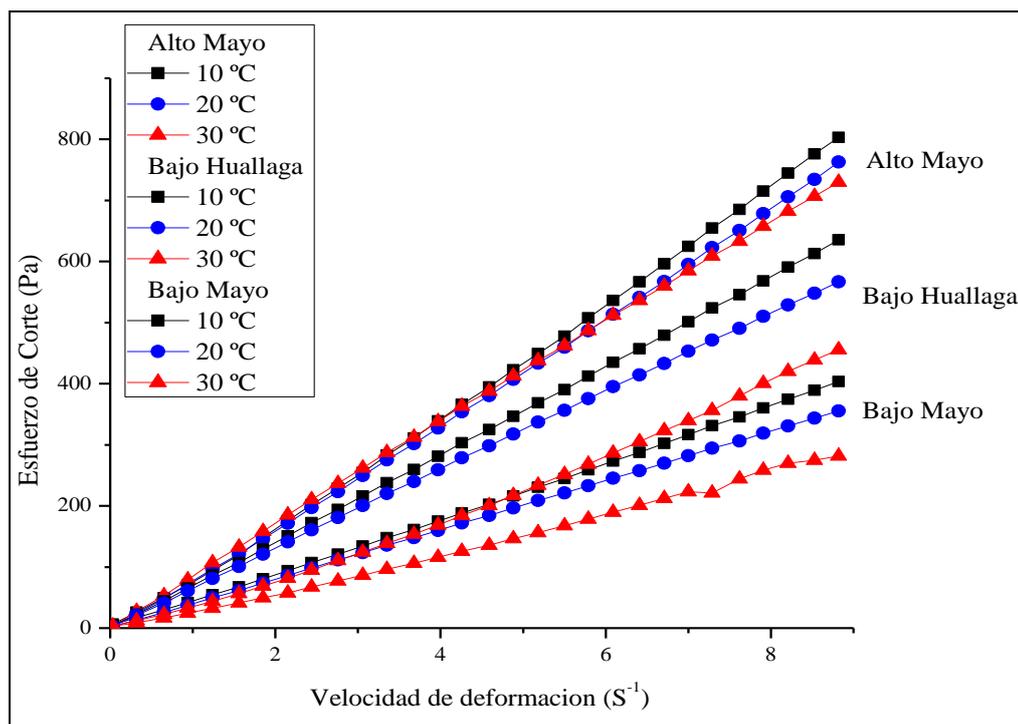


Figura 5. Media del Esfuerzo de corte vs Velocidad de deformación de mieles procedentes de las zonas ecológicas (Alto Mayo, Bajo Huallaga y Bajo Mayo) a temperaturas de 10, 20 y 30°C.

En la Figura 5, los resultados siguen presentando la característica lineal propio de los fluidos newtonianos, la zona ecológica del Alto Mayo alcanza mayor esfuerzo cortante a medida que la velocidad crece y el comportamiento es similar en las demás localidades.

Tabla 5

Medias de las propiedades reológicas obtenidas de los tratamientos experimentales, ajustados con el modelo Newton.

Modelo	Zona Ecológica	Temperatura C°	Viscosidad Newtoniana Pa.s		R ²	Chi Cuadrado X ²
			Promedio	DS		
Newton	Alto Mayo	10	253.560	89.737	0.995	293.043
		20	256.670	71.838	0.999	2.668
		30	245.990	62.074	0.999	50.930
	Bajo Huallaga	10	31.213	14.482	0.991	73.721
		20	44.805	17.980	0.997	34.801
		30	40.531	13.346	0.998	9.085
	Bajo Mayo	10	45.512	33.647	0.987	46.545
		20	68.185	47.039	0.998	28.786
		30	61.890	42.375	0.999	13.250

Tabla 6

Medias de las propiedades reológicas obtenidas de los tratamientos experimentales, ajustados con el modelo Herschel Bulkley.

Modelo	Zona Ecológica	Temperatura C°	Esfuerzo umbral τ_0 (Pa)		Índice de consistencia K (Pa.sn)		Índice de flujo η (adimensional)		R ²	Chi Cuadrado X ²
			Promedio	DS	Promedio	DS	Promedio	DS	Promedio	Promedio
Herschel Bulkley	Alto Mayo	10	6.364	1.095	342.107	6.062	1.360	0.412	0.99987	3.377
		20	4.502	0.919	254.959	6.228	1.065	0.057	0.99996	1.356
		30	5.461	0.277	289.249	9.959	0.965	0.019	0.99996	2.345
	Bajo Huallaga	10	2.845	1.181	100.152	4.302	1.157	0.045	0.99936	0.548
		20	5.523	1.088	161.929	1.300	1.112	0.033	0.99996	0.553
		30	4.638	2.259	74.905	1.151	0.971	0.004	0.99995	1.028
Bajo Mayo	10	3.389	0.148	74.415	5.205	1.231	0.089	0.99983	0.592	
	20	2.830	0.655	119.395	6.262	1.055	0.066	0.99997	0.498	
	30	5.577	1.234	222.176	8.381	0.973	0.009	0.99997	0.391	

Tabla 7

Medias de las propiedades reológicas obtenidas de los tratamientos experimentales, ajustados con el modelo Ley de la Potencia.

Modelo	Zona Ecológica	Temperatura C°	Índice de flujo η (adimensional)		Índice de consistencia K (Pa.sn)		R ²	Chi Cuadrado X ²
			Promedio	DS	Promedio	DS		
Ley de la Potencia	Alto Mayo	10	1.1030	0.065	238.968	7.472	0.9998	7.1889
		20	1.049	0.041	263.527	1.105	0.9999	3.8463
		30	0.976	0.016	284.829	8.480	0.9999	4.5088
	Bajo Huallaga	10	1.134	0.028	103.077	6.953	0.9974	2.7875
		20	1.082	0.027	164.356	1.611	0.9998	2.8444
		30	0.956	0.028	145.987	4.227	0.9997	1.3680
	Bajo Mayo	10	1.190	0.083	67.527	5.183	0.9996	7.7712
		20	1.0563	0.047	126.043	3.588	1.0000	3.7187
		30	0.960	0.025	127.853	2.660	0.9998	3.8816

Tabla 8

Medias de las propiedades reológicas obtenidas de los tratamientos experimentales, ajustados con el modelo Casson.

Modelo	Zona Ecológica	Temperatura C°	Esfuerzo umbral τ_0 (Pa)		Viscosidad plástica de Casson Kc		R ²	Chi Cuadrado X ²
			Promedio	DS	Promedio	DS	Promedio	Promedio
Casson	Alto Mayo	10	1.35E-12	1.40E-12	375.67	9.75	0.797	14914.178
		20	8.46E-13	3.98E-13	342.65	9.63	0.815	14813.564
		30	1.03E-12	5.73E-13	337.05	4.18	0.837	4860.433
	Bajo Huallaga	10	1.37E-13	1.75E-13	157.90	7.33	0.785	2537.067
		20	8.17E-13	4.42E-13	221.93	7.80	0.805	1600.788
		30	1.53E-13	9.93E-14	186.87	7.81	0.852	2533.792
	Bajo Mayo	10	3.47E-13	1.60E-13	109.97	7.71	0.769	1427.149
		20	6.01E-13	1.75E-13	178.67	8.76	0.814	3438.762
		30	1.84E-12	2.26E-12	135.74	5.97	0.851	909.682

En las tablas 5, 6, 7 y 8, se presentaron las medias de las propiedades reológicas para los modelos matemáticos considerados Newton, Herschel Bulkley, Ley de la Potencia y Casson (Riveiro, 2009), pudiendo notarse que los modelos Newton, Herschel Bulkley y Ley de la Potencia son los que mejor se ajustan presentando valores cercanos a $R^2 = 0.9999$, mientras que el modelo Casson presentó un ajuste promedio de $R^2 = 0.814$.

En el modelo Newton, tabla 5, la temperatura influyó en la Viscosidad Newtoniana (Pa.s), presentando mayor valor la zona Alto Mayo (Pajonal, San José y Palmeras de Oromina), que estadísticamente presentó diferencia significativa ($P < 0.05$), en comparación a las zonas ecológicas Bajo Mayo (Cacatachi, Tabalosos, Pamashto) y Bajo Huallaga (Chunchuyacu, Piñal, Planicie), que estadísticamente no presentaron diferencia significativa ($P > 0.05$), reológicamente muchos autores afirman que la miel presenta un comportamiento newtoniano; sin embargo, en algunos casos se ha reportado un comportamiento no newtoniano del tipo pseudoplástico, revelando que las mieles con el transcurrir del tiempo exhibieron cristalización (Yue-Wenet al, 2009).

En el modelo Herschel Bulkley, tabla 6, la temperatura y zonas ecológicas no influenciaron en el Esfuerzo Umbral (τ_0) ni en el Índice de Consistencia (Pa.sn), en cambio la temperatura influyó en el Índice de Flujo (n), la temperatura influyó en el Índice de Flujo (n), siendo la temperatura de 10°C para las zonas ecológicas Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga la que presentó diferencia significativa ($P < 0.05$), en comparación a las temperaturas de 20 y 30°C que estadísticamente no presentaron diferencia significativa ($P > 0.05$). El Índice de Flujo η , es > 1 , es decir que presenta comportamiento dilatante, a medida que el esfuerzo de corte aumenta cuando la velocidad de deformación incrementa (Pardo et al, 2007).

En el modelo Ley de la Potencia, tabla 7, la temperatura (10, 20 y 30°C) para las tres zonas ecológicas (Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga), presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$) en el Índice de Flujo (n), la zona ecológica Alto Mayo (Pajonal, San José, Palmeras de Oromina) estadísticamente presentó diferencia significativa ($P < 0.05$) en el Índice de Consistencia (Pa.sn) en comparación a las zonas ecológicas Bajo Mayo y Bajo Huallaga. El Índice de Flujo η , es > 1 , es decir que presenta comportamiento dilatante (Steffe, 1996).

En el modelo Casson, tabla 8, la temperatura y las zonas ecológicas no influenciaron en el Esfuerzo Umbral τ_0 (Pa), la zona ecológica del Alto Mayo (Pajonal,

San José y Palmeras de Oromina) la que estadísticamente presento diferencia significativa ($P < 0.05$) en la Viscosidad Plástica.

3.2.1. Efecto de la localidad y de la temperatura en las propiedades reológicas de la miel.

En la figura 6 a temperatura de 10°C la localidad de Tabalosos (Bajo Mayo), San José y Pajonal (Alto Mayo), presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$) en comparación con las demás localidades, ya que el esfuerzo de corte es mayor a medida que la velocidad de deformación aumenta.

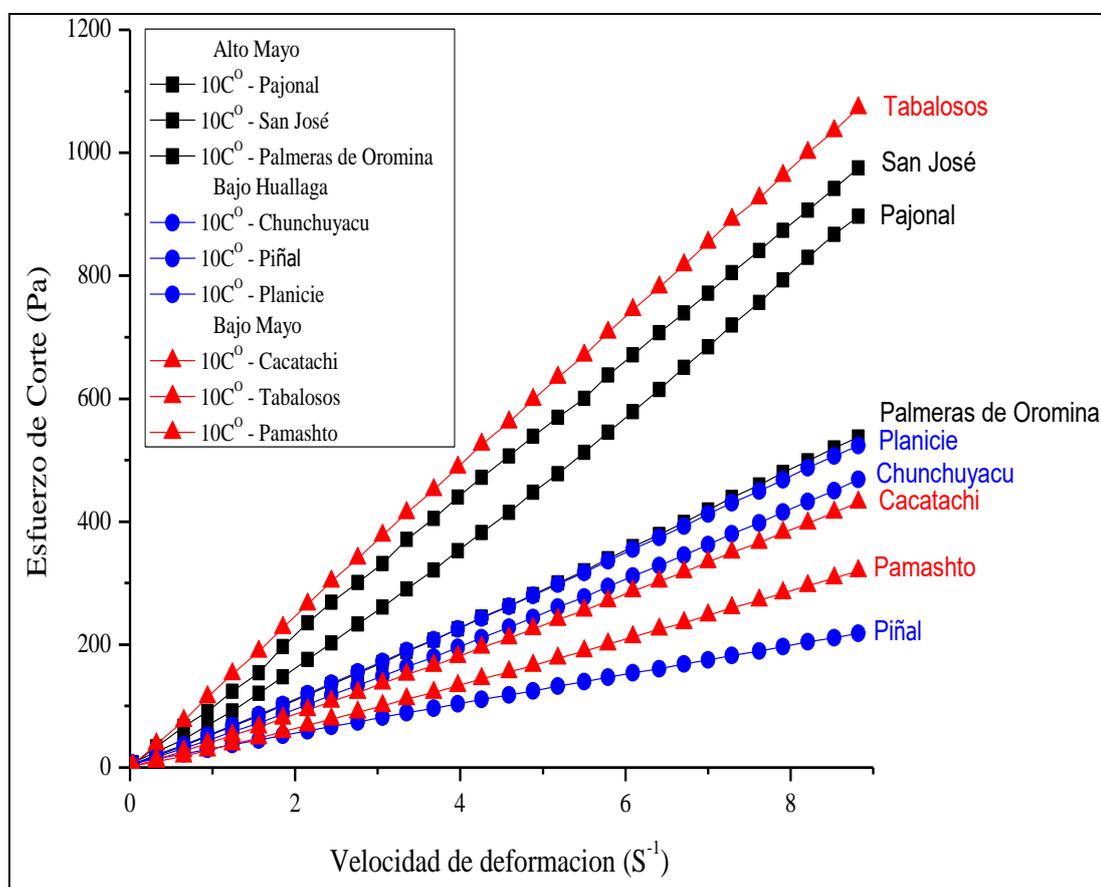


Figura 6. Comportamiento del esfuerzo de corte vs la velocidad de deformación en función a la temperatura de 10°C, en las zonas ecológicas Alto Mayo, Bajo Huallaga y Bajo Mayo.

En la figura 7 a temperatura de 20°C la localidad de Tabalosos (Bajo Mayo), San José y Pajonal (Alto Mayo), presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$) en comparación con las demás localidades, ya que el esfuerzo de corte es mayor a medida que la velocidad de deformación aumenta.

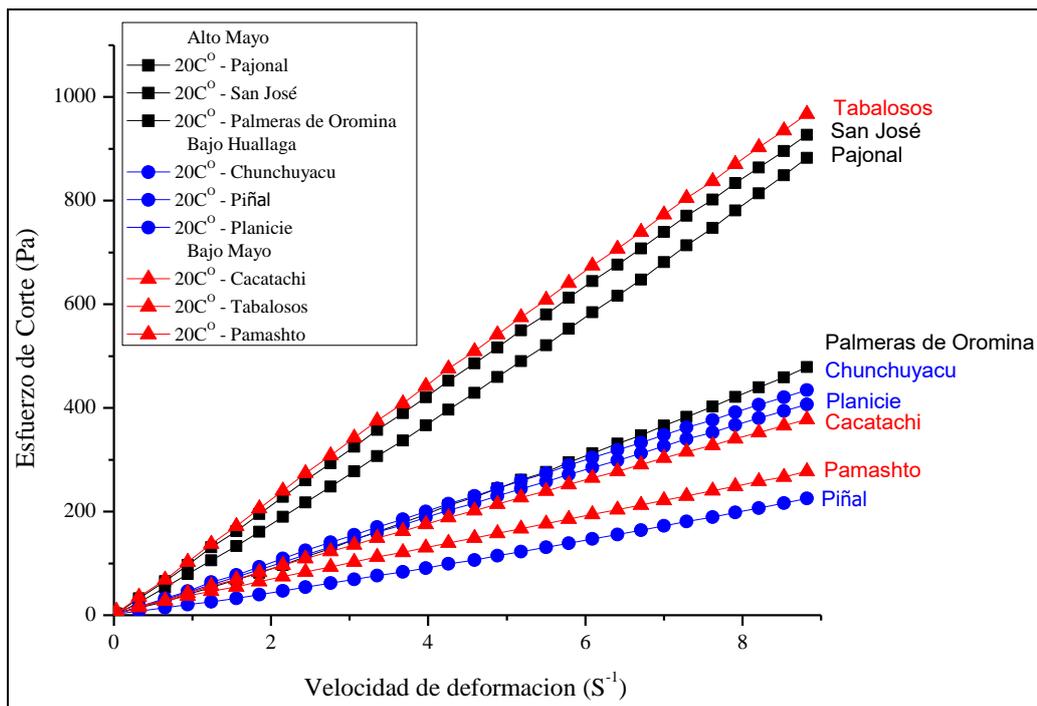


Figura 7. Comportamiento del esfuerzo de corte vs la velocidad de deformación en función a la temperatura de 20°C, en las zonas ecológicas Alto Mayo, Bajo Huallaga y Bajo Mayo.

A temperatura de 30 °C figura 8, las localidades de San José, Pajonal, Palmeras de Oromina (Alto Mayo) y Tabalosos (Bajo Mayo) presentaron estadísticamente diferencia significativa (P<0.05) en comparación con las demás localidades.

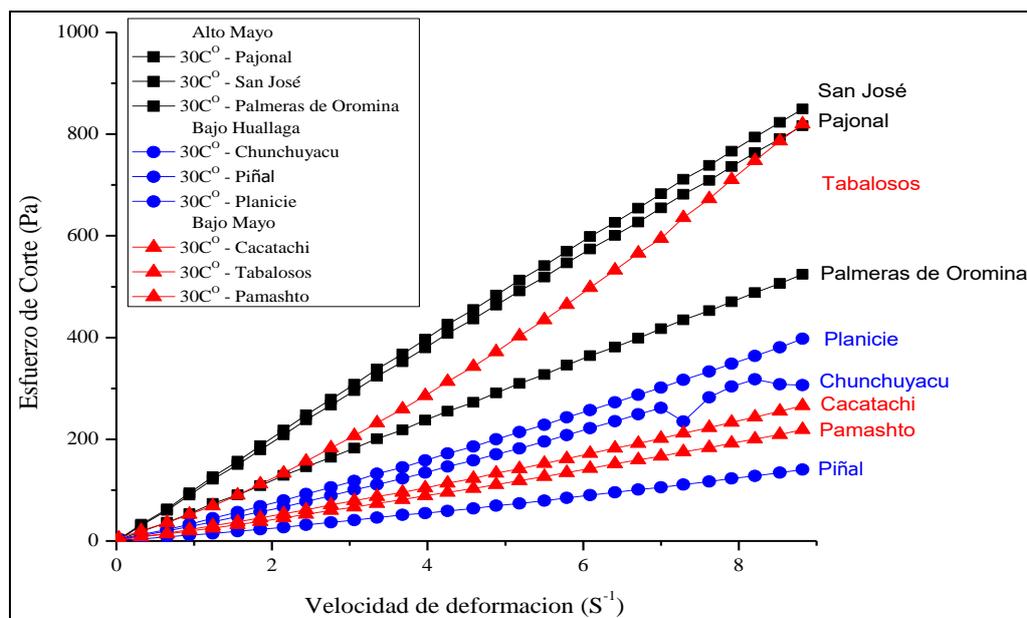


Figura 8. Comportamiento del esfuerzo de corte vs la velocidad de deformación en función a la temperatura de 30°C, en las zonas ecológicas Alto Mayo, Bajo Huallaga y Bajo Mayo.

A continuación, presentamos la media de los factores de cada propiedad reológica y sus diferencias obtenidas en la investigación.

Tabla 9

Medias de las propiedades reológicas en función a la zona ecológica y temperatura obtenidas por el modelo de Herschel Bulkley.

Modelo	Esfuerzo umbral τ_0 (Pa)			
	Zona Ecológica	Media	Temperatura	Media
Herschel Bulkley	Alto Mayo	5.44	10	4.20
	Bajo Huallaga	4.27	20	3.94
	Bajo Mayo	3.93a	30	5.50
	Índice de consistencia K (Pa.sn)			
	Zona Ecológica	Media	Temperatura	Media
Herschel Bulkley	Alto Mayo	295.44	10	172.22
	Bajo Huallaga	112.33	20	178.76
	Bajo Mayo	138.66	30	195.44
	Índice de flujo η (adimensional)			
	Zona Ecológica	Media	Temperatura	Media
Herschel Bulkley	Alto Mayo	1.13	10	1.25
	Bajo Huallaga	1.08	20	1.08
	Bajo Mayo	1.09	30	0.97

Tabla 10

Medias de las propiedades reológicas en función a la zona ecológica y temperatura obtenidas por el modelo Ley de Potencia.

Modelo	Índice de consistencia K (Pa.sn)			
Ley de la Potencia	Zona Ecológica	Media	Temperatura	Media
	Alto Mayo	261.06	10	136.52
	Bajo Huallaga	137.81	20	181.79
	Bajo Mayo	107.14	30	187.70
	Índice de flujo η (adimensional)			
	Zona Ecológica	Media	Temperatura	Media
	Alto Mayo	1.04	10	1.14
	Bajo Huallaga	1.06	20	1.06
Bajo Mayo	1.07	30	0.96	

Tabla 11

Medias de las propiedades reológicas en función a la zona ecológica y temperatura obtenidas por el modelo Casson.

Modelo	Esfuerzo umbral τ_0 (Pa)			
Casson	Zona Ecológica	Media	Temperatura	Media
	Alto Mayo	1.07E-12	10	6.11E-13
	Bajo Huallaga	3.69E-13	20	7.55E-13
	Bajo Mayo	9.29E-13	30	1.01E-12
	Viscosidad plástica de Casson Kc			
	Zona Ecológica	Media	Temperatura	Media
	Alto Mayo	351.79	10	214.52
	Bajo Huallaga	188.90	20	247.75
Bajo Mayo	141.46	30	219.89	

Tabla 12

Medias de las propiedades reológicas en función a la zona ecológica y temperatura obtenidas por el modelo Newton.

Modelo	Viscosidad Newtoniana Pa.s			
	Zona Ecológica	Media	Temperatura	Media
Newton	Alto Mayo	252.07	10	253.56
			20	256.67
			30	245.99
	Bajo Huallaga	38.85	10	31.21
			20	44.81
			30	40.53
	Bajo Mayo	58.53	10	45.51
			20	68.19
			30	61.89

3.2.2. Efecto de la temperatura de la miel en la Viscosidad (Pa. s) x 10⁻³.

Los valores de viscosidad de las mieles obtenidas en esta investigación se encontraron dentro del rango de (0.5 – 35 Pa.s) que muestran ser superiores a lo mostrado por Costa et al; (2012) en mieles de Brasil (0.19 – 6.65 Pa.s), en mieles chinas (0.3 – 6.3 Pa.s) (Junzheng & Changying 1998) analizadas a 20°C, pero similares a los de la miel jordana (12.18 - 30 Pa.s) (Abu-Jdayil et al., 2002), dentro del rango de las mieles polacas (9 – 21.5 Pa.s) (Juszczak & Fortuna, 2006) y mieles indias (2.68 – 11.35 Pa.s) (Kumar & Mandal 2009), todas determinadas a 25°C. Esta tendencia en los resultados podría deberse a que la viscosidad de la miel está fuertemente influenciada por el contenido de agua, además de su origen, composición química, variación natural que caracteriza la producción de miel (época del año, región geográfica, etc.) (Juszczak & Fortuna, 2006, Zaitoun 2001).

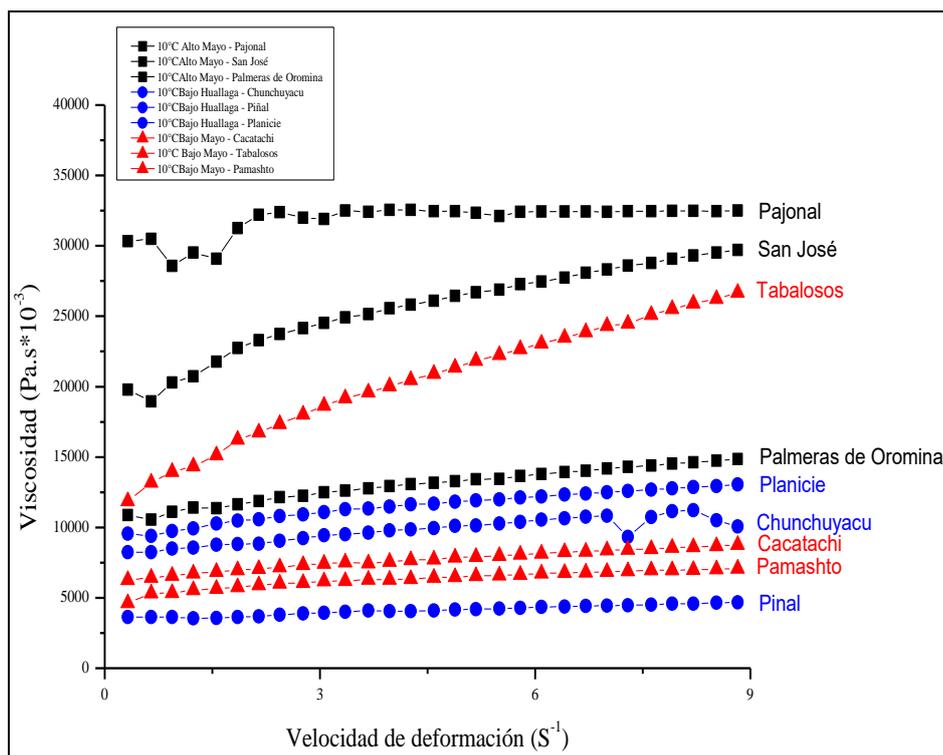


Figura 9. La viscosidad (Pa. s) $\times 10^{-3}$ vs la velocidad de deformación (S^{-1}) a $10^{\circ}C$ en tres zonas ecológicas.

En la figura 9, la viscosidad a temperatura de $10^{\circ}C$ las localidades Pajonal, San José, Palmeras de Oromina (Alto Mayo), Cacatachi, Tabalosos, Pamashto (Bajo Mayo), Chunchuyacu, Piñal y Planicie (Bajo Huallaga) presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$); la localidad Pajonal, San José y Tabalosos, mostraron comportamiento de fluido dilatante, caso contrario las localidades Palmeras de Oromina, Cacatachi, Pamashto, Chunchuyacu, Piñal y Planicie que mostraron comportamiento newtoniano, estos presentan un reograma opuesto al de los pseudoplásticos. La viscosidad aumenta al crecer el gradiente de velocidad de deformación. El fluido en reposo agrupa paquetes de moléculas, quedando entre ellas pequeños volúmenes libres llenos de líquido que, en la fase inicial del movimiento, actúan como lubricante. Al aumentar el gradiente de velocidades los aglomerados de moléculas se disgregan dando un incremento de volumen de los vacíos y de la superficie de la fase dispersa que no puede ser llenado por el fluido existente, impidiéndose así la lubricación de las moléculas y apareciendo, por esto, un rozamiento "sólido" entre ellas, con el consiguiente aumento de esfuerzo cortante y viscosidad aparente (Brummer, 2006). Este tipo de flujo sólo se encuentra en líquidos que contienen una alta proporción de partículas rígidas insolubles en suspensión (Bourne, 1982).

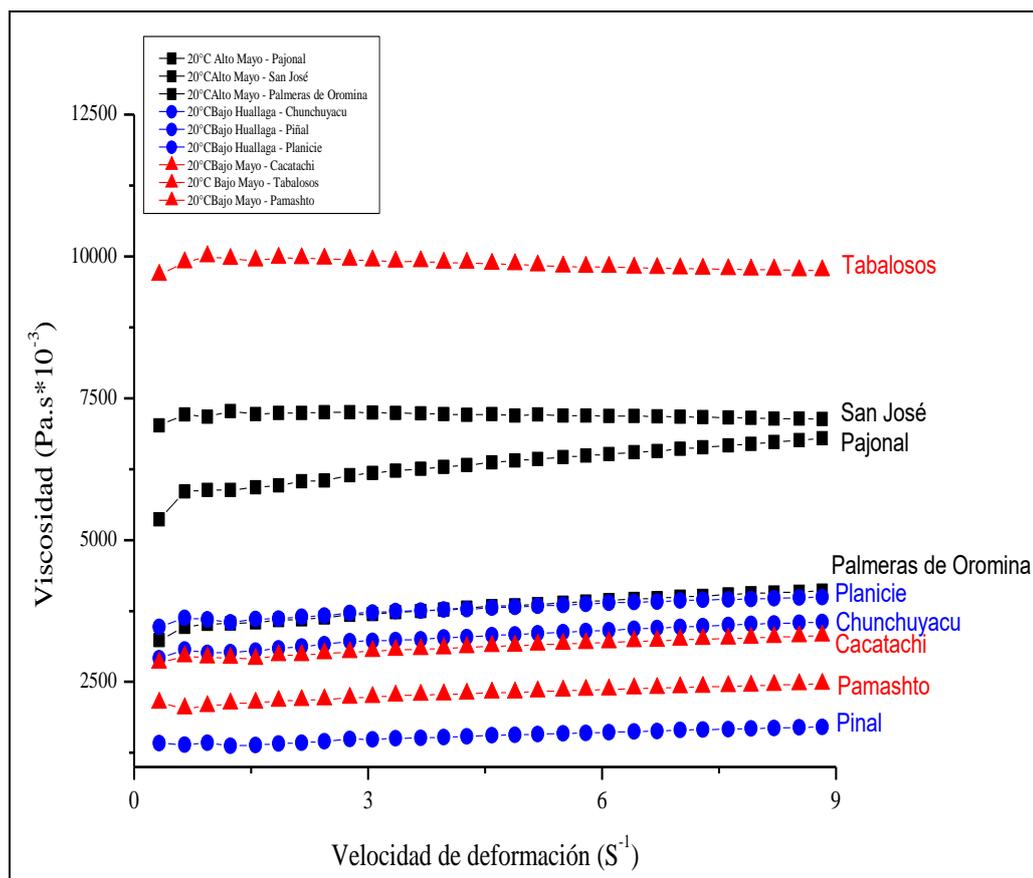


Figura 10. La viscosidad (Pa. s) x 10⁻³ vs la velocidad de deformación (S⁻¹) a 20°C en tres zonas ecológicas.

En la figura 10, la viscosidad a temperatura de 20°C, las localidades de Tabalosos, San José y Pajonal, presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$), las localidades Pajonal, San José, Palmeras de Oromina, Cacatachi, Tabalosos, Pamashto, Chunchuyacu, Piñal y Planicie presentaron comportamiento newtoniano, este comportamiento se debe al contenido de agua de las mieles ocurriendo una desintegración exponencial (Costa et al., 2012).

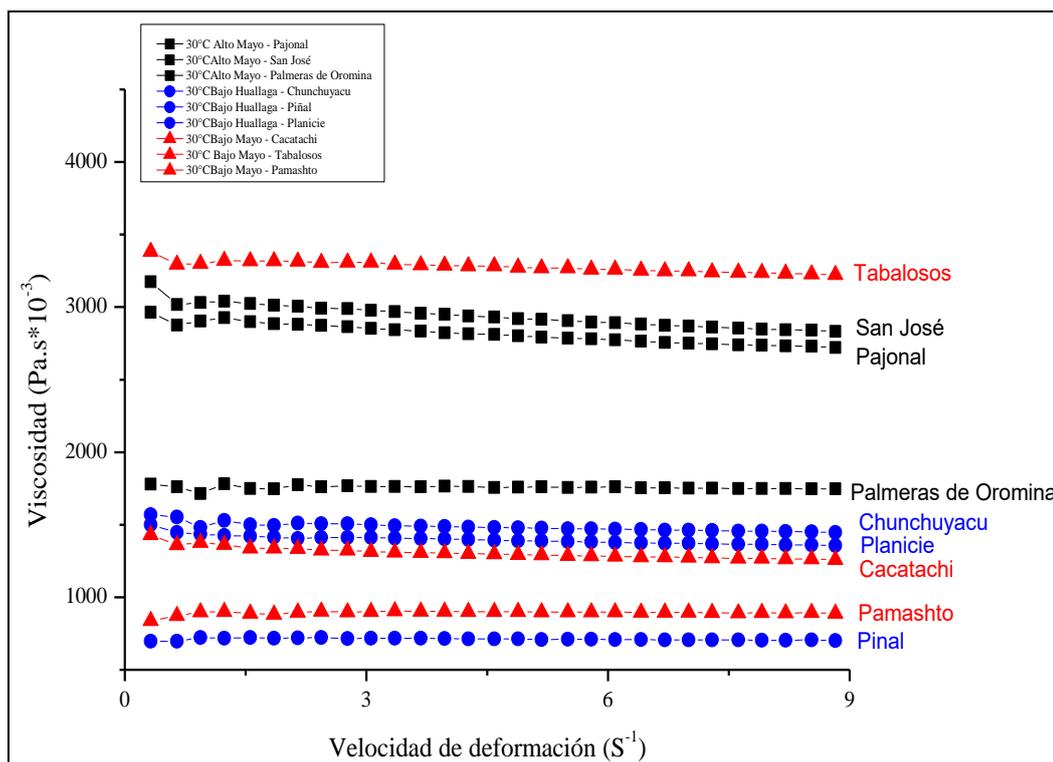


Figura 11. La viscosidad (Pa. s) x 10⁻³ vs la velocidad de deformación (S⁻¹) a 30°C en tres zonas ecológicas.

En la figura 11, la viscosidad a temperatura de 30°C las localidades Tabalosos y Palmeras de Oromina, presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$), las localidades Pajonal, San José, Palmeras de Oromina, Cacatachi, Tabalosos, Pamashto, Chunchuyacu, Piñal y Planicie muestran comportamiento newtoniano, según Rha, 1978, algunas causas atribuibles al comportamiento son los compuestos de alto peso molecular o partículas de gran tamaño y las variaciones en el tamaño y forma de las partículas que permiten el apilamiento de ellas.

Este comportamiento puede verse afectado por otros factores como los compuestos poliméricos y los azúcares, ya que las soluciones de glucosa y fructosa tienen diferentes propiedades reológicas (Orían et al., 2014).

3.2.3. Efecto de la combinación de zonas ecológicas vs la temperatura frente al esfuerzo umbral (τ_0), índice de consistencia (k) y índice de flujo (η).

En la figura 12, se muestra el efecto de la temperatura frente al Esfuerzo Umbral, referente al modelo Herschel Bulkley, nos indica que existe una diferencia, siendo la más afectada a todas las temperaturas propuestas (10, 20 y 30°C) la localidad del Alto Mayo.

Así mismo la temperatura y la localidad del Alto Mayo cuentan con valores elevados de Esfuerzo Umbral (τ_0).

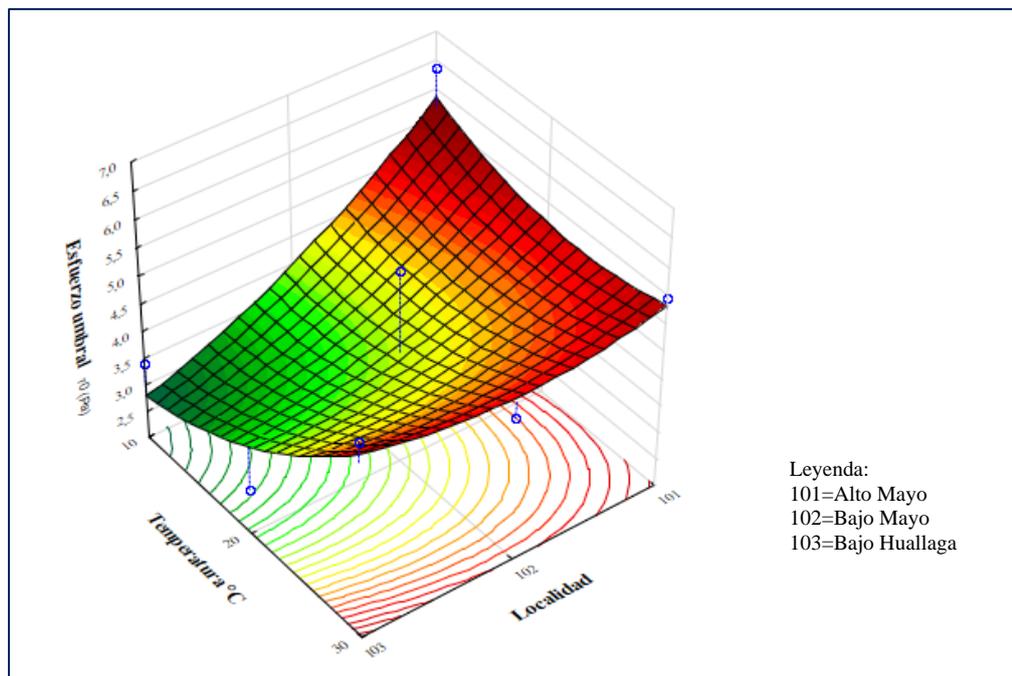


Figura 12. Comportamiento del Esfuerzo Umbral de muestras de mieles de abeja utilizando el modelo Herschel Bulkley.

Mientras que el Índice de Consistencia (K) en la figura 13, la localidad de Alto Mayo es la que presenta mayores valores significativos con diferencia de los demás.

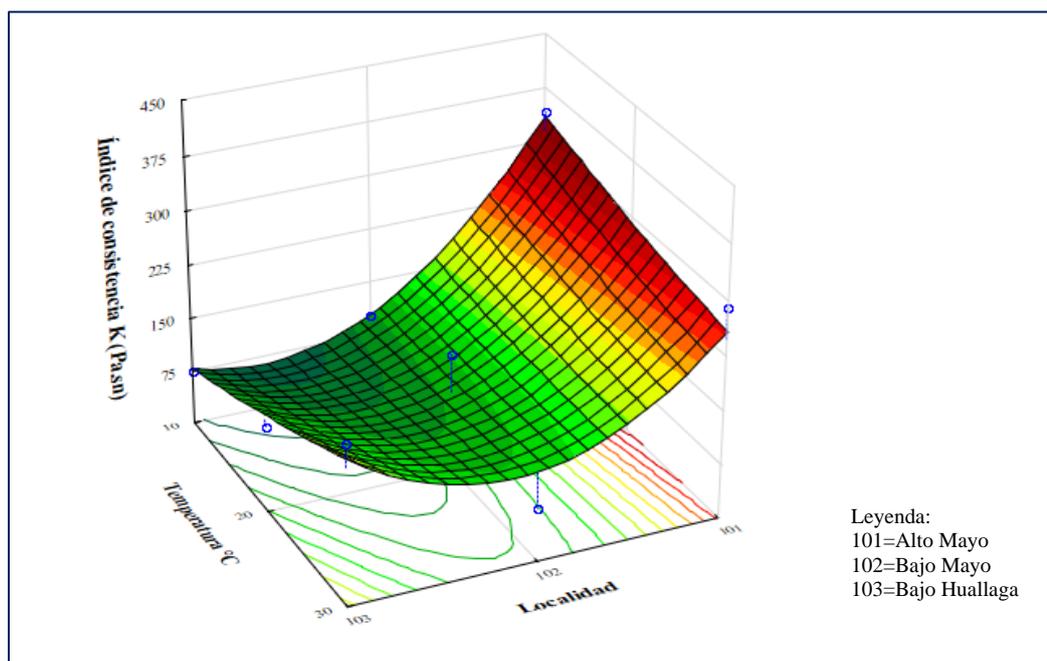


Figura 13. Comportamiento del Índice de Consistencia en muestras de mieles de abeja utilizando el modelo Herschel Bulkley.

La figura 14, la temperatura de 10°C es la que afectó a la todas las localidades y que el valor más alto de Índice de flujo lo alcanzó la localidad de Alto Mayo.

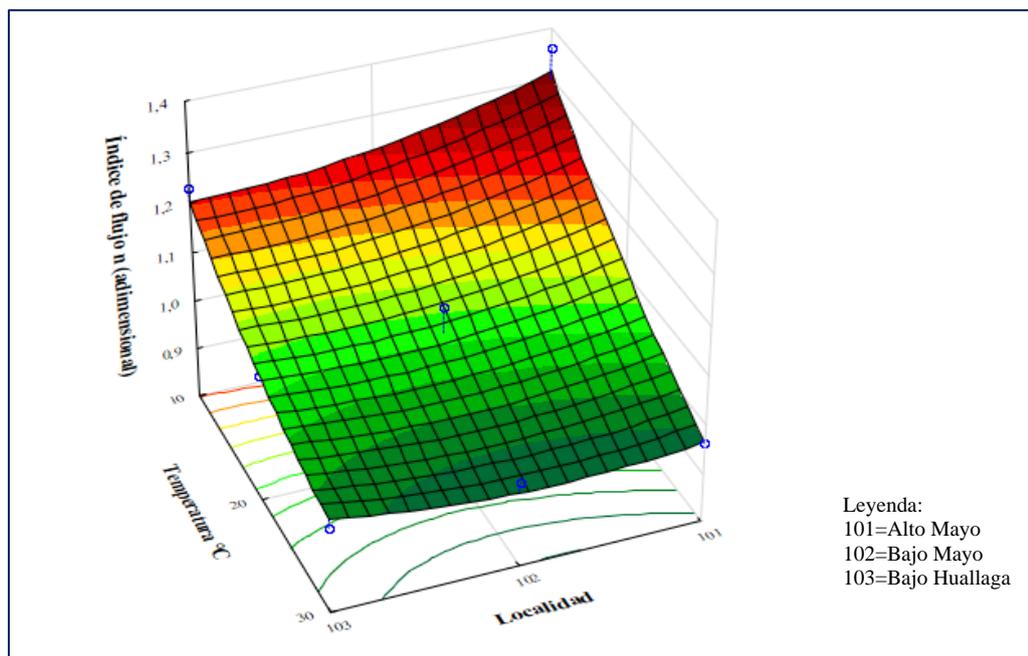


Figura 14. Comportamiento del Índice de Flujo en muestras de mieles de abeja utilizando el modelo Herschel Bulkley.

La influencia de la temperatura y las localidades en el índice de consistencia (k) bajo el modelo de la Ley de la Potencia es mostrada en la figura 15, la localidad del Alto Mayo es la que contiene mayor valor de (k) y también es afectada por todas las temperaturas.

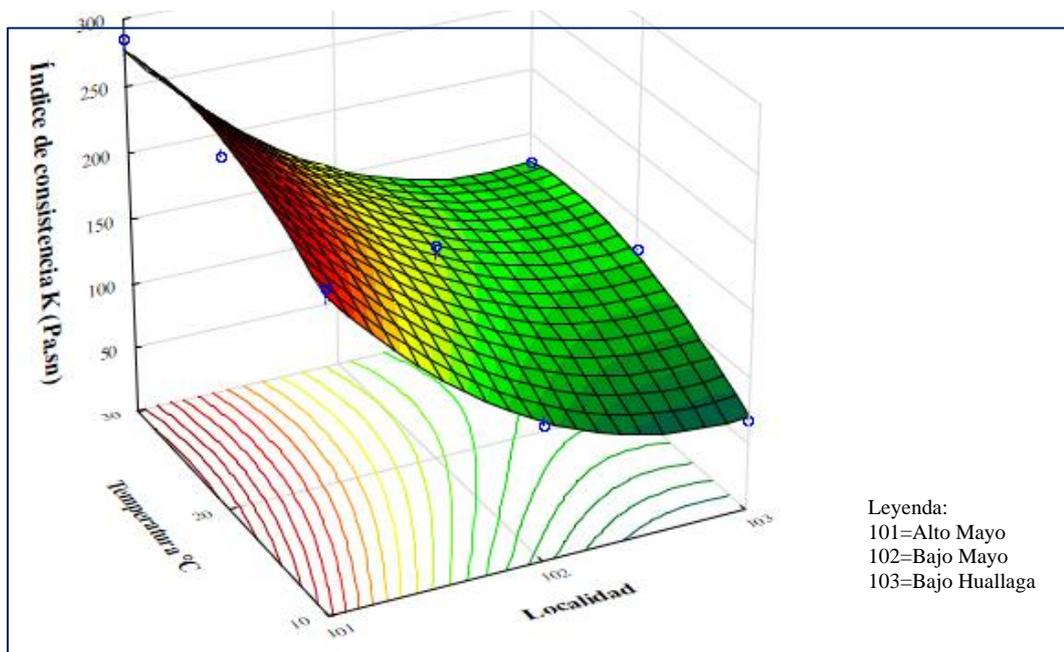


Figura 15. Comportamiento del Índice de Consistencia en muestras de mieles de abeja utilizando el modelo Ley de la Potencia.

El Índice de Flujo (η) mostro valores elevados en todas las localidades, siendo afectados en ellas por la temperatura de 10°C (Figura 16).

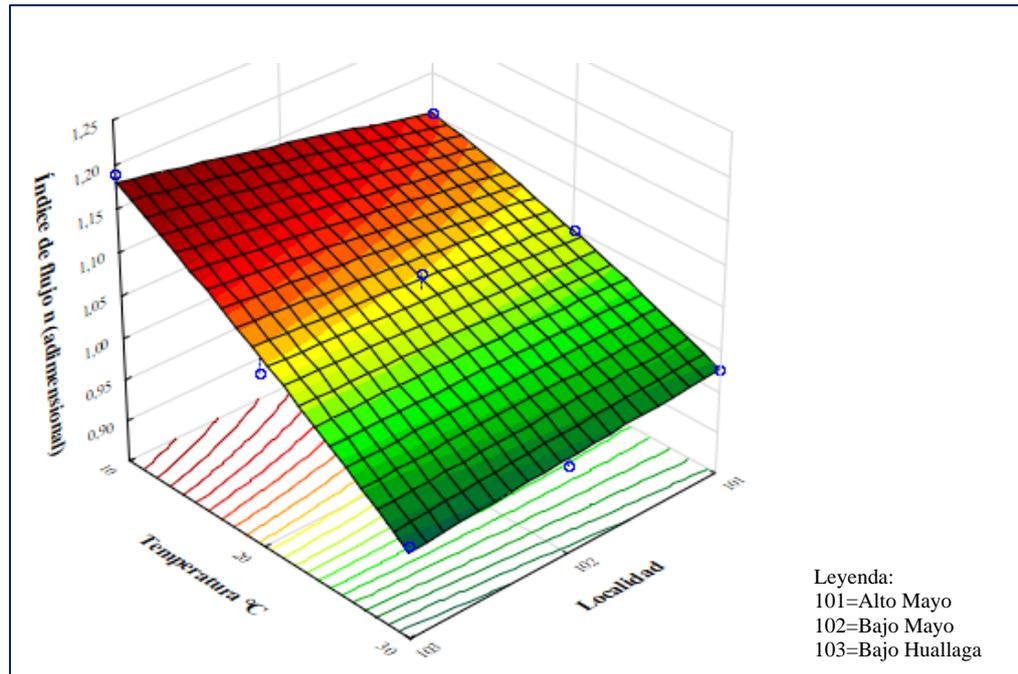


Figura 16. Comportamiento del Índice de Flujo en muestras de mieles de abeja utilizando el modelo Ley de la Potencia.

En la figura 17, el Esfuerzo Umbral (K_{oc}) en el modelo Casson, manifiesta que la temperatura a 20°C y 30°C, es mayor en todas las localidades

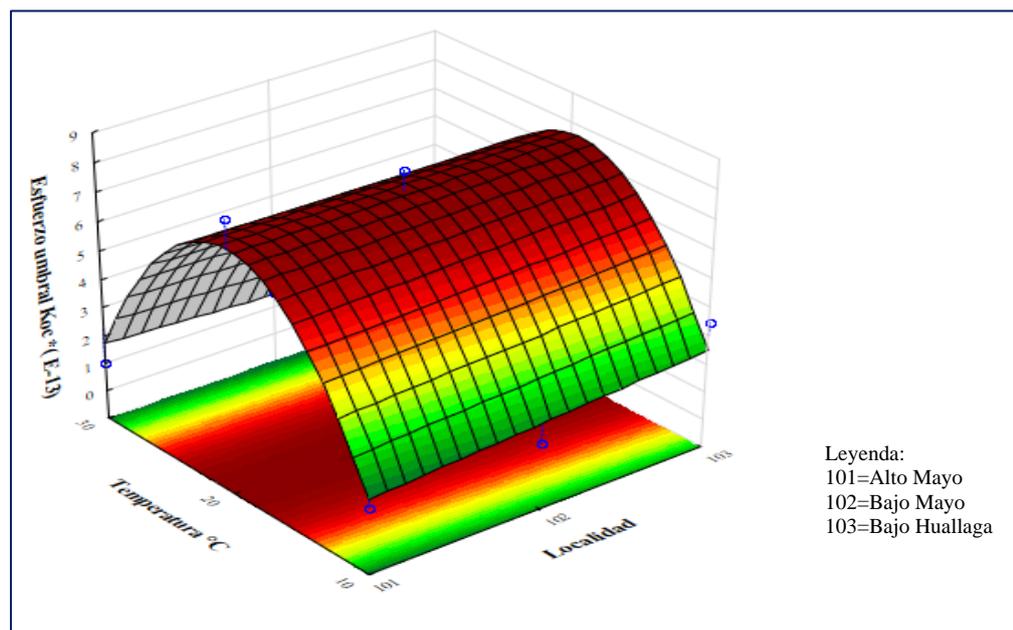


Figura 17. Comportamiento del Esfuerzo Umbral en muestras de mieles de abeja utilizando el modelo Ley de Casson.

Sin embargo, la Viscosidad Plástica de Casson (k_c) figura 20, refleja que la temperatura tiene un efecto directo en la localidad de Alto Mayo. Este comportamiento reológico se realiza por que los valores del (K_{oc}), son menores que el (k_c), es decir que el material no fluye constante (Pardo et al, 2007). Generalmente las características reológicas de la miel se ven afectadas por los cristales de miel (Smanalieva y Senge, 2008), es posible que por esta razón las propiedades reológicas tienen estas características ya que se trabajó con temperaturas bajas en las cuales pueden cristalizarse los azúcares; es por esta razón que el índice de consistencia de flujo reportó valores bajos y el índice de flujo más altos (Queiroz et al., 2005).

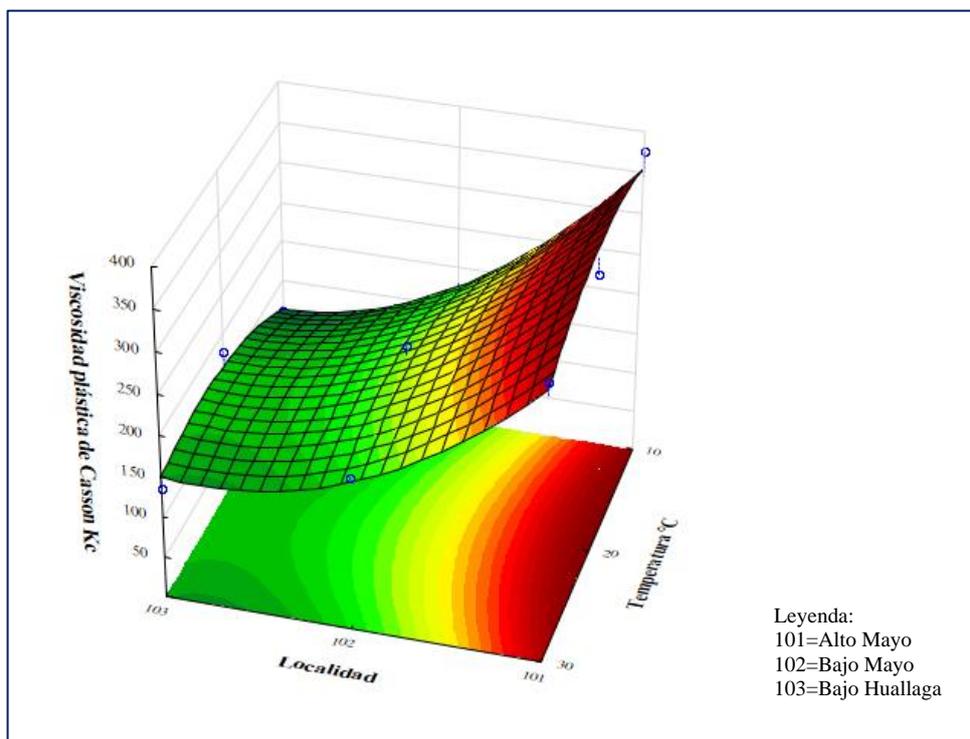


Figura 18. Comportamiento de la viscosidad Plástica en muestras de mieles de abeja utilizando el modelo Ley de Casson.

CONCLUSIONES

La localidad del Pajonal es la de menor valor en pH (3.22), conductividad eléctrica (248.94 $\mu\text{S}/\text{cm}$), cenizas (0.61%), fructuosa (25.04%) y glucosa (23.34%), y mayor en humedad (26.62%), A_w (0.79) y densidad (1.44 kg/L). Las muestras evaluadas presentaron un pH (3.22 a 3.50), las localidades Palmeras de Oromina, Pajonal (Alto Mayo), Cacatachi y Tabalosos (Bajo Mayo) presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$) en comparación con las demás localidades. La A_w de todas las muestras de miel variaron de (0.76 a 0.79), las localidades Pajonal, San José (Alto Mayo), Cacatachi, Tabalosos (Bajo Mayo), Piñal, Chunchuyacu y Planicie (Bajo Huallaga), presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$). El porcentaje de humedad de las muestras evaluadas se encontraron entre (25.19 a 26.62%), la zona ecológica Alto Mayo (Pajonal y San José), Bajo Huallaga (Piñal y Planicie) presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$), en comparación con la zona ecológica Bajo Mayo. La densidad obtenida se encontró entre (1.39 a 1.44 Kg/L), la zona ecológica Alto Mayo (Pajonal, San José y Palmeras de Oromina), Bajo Mayo (Pamashto) y Bajo Huallaga (Chunchuyacu, Piñal y Planicie) presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$). Los sólidos solubles variaron entre (68.08 a 72.70 °Brix), la zona ecológica Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$) a excepción de la localidad de Cacatachi y Chunchuyacu. Los azúcares reductores, en el caso de la fructuosa varió de (25.04 a 30.39%), la zona ecológica Alto Mayo (Pajonal y Palmeras de Oromina), Bajo Mayo (Cacatachi y Pamashto) y Bajo Huallaga (Chunchuyacu y Piñal) presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$), la glucosa varió de (23.34 a 27.63%), la zona ecológica Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$) y la sacarosa de (0.66 a 3.18%), la zona ecológica Alto Mayo (Palmeras de Oromina), Bajo Mayo (Cacatachi, Tabalosos y Pamashto) presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$) en comparación de la zona ecológica Alto Mayo.

Los modelos Newton, Herschel Bulkley y Ley de la Potencia son los que mejor se ajustan presentando valores cercanos a $R^2 = 0.9999$, mientras que el modelo Casson presentó un ajuste promedio de $R^2 = 0.814$. En el modelo Newton, la temperatura influyó en la Viscosidad Newtoniana (Pa.s), presentando mayor valor la zona Alto Mayo (Pajonal, San José y Palmeras de Oromina), que estadísticamente presentó

diferencia significativa ($P < 0.05$) en comparación a las zonas ecológicas Bajo Mayo (Cacatachi, Tabalosos, Pamashto) y Bajo Huallaga (Chunchuyacu, Piñal, Planicie), que estadísticamente no presentaron diferencia significativa ($P > 0.05$). En el modelo Herschel Bulkley, la temperatura y zonas ecológicas no influenciaron en el Esfuerzo Umbral (τ_0) ni en el Índice de Consistencia ($Pa.sn$), la temperatura influyó en el Índice de Flujo (n), siendo la temperatura de 10°C para las zonas ecológicas (Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga) la que presentó diferencia significativa ($P < 0.05$), en comparación a las temperaturas de 20 y 30°C que estadísticamente no presentaron diferencia significativa ($P > 0.05$). En el modelo Ley de la Potencia, la temperatura (10 , 20 y 30°C) para las zonas ecológicas (Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga), presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$) en el Índice de Flujo (n), la zona ecológica Alto Mayo (Pajonal, San José y Palmeras de Oromina) estadísticamente presentó diferencia significativa ($P < 0.05$) en el Índice de Consistencia ($Pa.sn$), en comparación a las zonas ecológicas Bajo Mayo Bajo Huallaga que estadísticamente no presentaron diferencia significativa ($P > 0.05$). En el modelo Casson, la temperatura y las zonas ecológicas no influenciaron en el Esfuerzo Umbral τ_0 (Pa), la zona del Alto Mayo (Pajonal, San José y Palmeras de Oromina) la que estadísticamente presentó diferencia significativa ($P < 0.05$) en la Viscosidad Plástica, en comparación con las otras zonas ecológicas (Bajo Mayo y Bajo Huallaga) que estadísticamente no presentaron diferencia significativa ($P > 0.05$).

La viscosidad a temperatura de 10°C en las localidades Pajonal, San José, Palmeras de Oromina (Alto Mayo), Cachatachi, Tabalosos, Pamashto (Bajo Mayo), Chunchuyacu, Piñal, Planicie (Bajo Huallaga) presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$), la localidad Pajonal, San José y Tabalosos mostraron comportamiento de fluido dilatante, caso contrario las localidades Palmeras de Oromina, Cacatachi, Pamashto, Chunchuyacu, Piñal y Planicie mostraron comportamiento newtoniano. La viscosidad a temperatura de 20°C en las localidades Tabalosos, San José y Pajonal presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$), todas las localidades presentaron comportamiento newtoniano. La viscosidad a temperatura de 30°C las localidades Tabalosos y Palmeras de Oromina presentaron estadísticamente diferencia significativa ($P < 0.05$), todas las localidades Pajonal, San José, Palmeras de Oromina, Cacatachi, Tabalosos, Pamashto, Chunchuyacu, Piñal y Planicie presentaron comportamiento newtoniano.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios reológicos de mieles contaminadas con otras sustancias como azúcar invertida, entre otras.

Utilizar otros modelos reológicos como de Sisko, Eyring, Reiner-Philippoff, etc, y otras temperaturas.

Realizar otros estudios con mieles de diferentes especies de abejas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-Jdayil, B., Al-Majeed Ghzawi, A., Al-Malah, K.I.M. & Zaitoun, S. 2002. Heat effect on rheology of light and dark-colored honey. *Journal of Food Engineering*, 51, 33-38.
- A.O.A.C., 2003. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 17 th ed. Revision 2. Volume II. Food Composition; Additives; Natural contaminants. Horwitz, William. Gaithersburg, Maryland. 20877-2477 USA
- Azeredo, L.C., Azeredo, M.A.A., Souza, S.R., Dutra, V.M.L., 2003. Protein contents and physicochemical properties in honey samples of *Apis mellifera* of different floral origins. *Food Chem.* 80,249–254.
- Bagci, Y., Arslan, D., Özcan, M. M., & Dursun, N. (2007). Determination of mineral contents of bee honeys produced in Middle Anatolia. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 58(8), 668–676.
- Barker R y Lehner Y. Laboratory comparison of high fructose corn syrup, grape syrup honey, and sucrose syrups maintenance for caged honey bees, *Apidologie*. 1978; 1: 35-42
- Belitz, H.D. Y Grosch, W. (1997). *Química de los alimentos*. 2 Ed. Acribia S.A., Zaragoza. pp: 152-173; 923-955.
- Bernard Michaud S.A. (2008). *Vida de abejas*. [Página web en línea]. [Consultado el 19 de marzo del 2008]. Formato Web. Oisponibilidad libre en: <http://www.lune-demiel.tm.fr/espagnol/07.htm>
- Brummer, R. 2006. *Rheology essentials of cosmetic and food emulsions*. 1 ed. Alemania, Springer.
- Bourne, M.C. 1982. *Food texture and viscosity: concept and measurement*. New York: Academic Press. 325 p.
- Chirife, J., 2006. On the nature of the relationship between water activity and % moisture in honey [en línea]. *Food Control*. 17. doi: 10.1016/j.foodcont.2005.04.002. Disponible en: <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/5448>
- Codex Alimentarius, 2001. “Codex Alimentarius Commission”. Revised Standards for Honey. Codex Standard 12-1981. Rev 2 (2001). FAO, Rome (2001).
- Codex Alimentarius. Norma Codex stan 2008. [En línea]. [Consultado el 25 de Julio del 2015]. Disponible en: http://www.codexalimentarius.net/download/standards/310/cxs_012s.pdf.

- Costa, P. A., Moraes, I. C. F., Bittante, A. M. Q. B., Sobral, P. J. A., Gomide, C. A., & Carrer, C. C. (2012). Thermal and Rheological Properties of Brazilian Honeys.
- Escriche, I., Oroian, M., Visquert, M., Gras, M. L., & Vidal, D. (2017). Rheological properties of honey from burkina faso: loss modulus and complex viscosity modeling. *International Journal of Food Properties*, 19(11), 2575-2586.
- Estrada H, Gamboa M, Chávez C, Arias M. 2005. Evaluación de la actividad antimicrobiana de la miel de abeja contra staphylococcus aureus, Staphylococcus epidermidis, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli, Salmonella enteritidis, Listeria monocytogenes y Aspergillus niger. Publicación Oficial de la Sociedad latinoamericana de Nutrición. Venezuela. [Consultado el 19 de marzo del 2008]. Formato Web. Disponibilidad libre en: <http://www.alanrevista.org/ediciones/20052/evaluacion_actividad_antimicrobiana_miel_abeja_es.asp.htm>
- Ferguson, J.; Kembloski, Z (1991). Applied Fluid Rheology. Elsevier Science Publishers LTD. University Press, Cambridge.
- Follegati, M., 2014. Análisis Comparativo de la calidad fisicoquímica y sensorial de la miel de abeja (*Apis mellifera* L.) producida en diferentes regiones del Perú. EAP Industrias Alimentarias, Universidad Agraria de la Selva, Tingo María.
- Fonte L, Díaz M., Machado R., Demedio J., García A., Blanco D., 2013. “Caracterización físico-química y organoléptica de miel de *Melipona beecheii* obtenida en sistemas agroforestales. Rev. Pastos y Forrajes, Vol. 36, No. 3, Julio-Setiembre, 345-349, 2013.
- Frias, I. Y Hardison, A. (1992). Estudio de los parámetros analíticos de interés en la miel: humedad, acidez e índice de formol, hidroximetilfurfural e índice de diastasas. Alimentaria, mayo, 71-74.
- Gomez-Diaz, D., Navaza, J.M., Quintans-Riveiro, L.C., 2009. Effect of temperature on the viscosity of honey. *Int. J. Food Prop.* 12, 396–404.
- Jiménez, M. 2006. “Reología de Fluidos Newtonianos y No Newtonianos”. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza (España).
- Junzheng, P. & Changying, J. 1998. General rheological model for natural honeys in China. *Journal of Food Engineering*, 36, 165-168.
- Juszczak, L. & Fortuna, T. 2006. Rheology of Selected Polish Honeys. *Journal of Food Engineering*, 75, 43-49.

- Kumar, J.S. & Mandal, M. 2009. Rheology and Thermal Properties of Marketed Indian Honey. *Nutrition & Food Science*, 39(2), 111-117.
- Lannes, R. 2002. “Estudio das propriedades físico-químicas de textura de chocolate, 1997. 175f. Tese (Doutorado em Tecnologia Bioquímico-Farmacéutica) – Faculdade de Ciências Farmacéuticas, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, 1997.
- Lazaridou, A., Biliaderis, C.G., Bacandritsos, N., Sabatini, A.G., 2004. Composition, thermal and rheological behavior of selected Greek honeys. *J. Food Eng.* 64, 9–21.
- Louveaux, J. (1985). Honey. *Cah. Nutr. Diet.*, XX, 1, 57-70.
- Manresa, G.A., 2005. Clasificación de mieles de abeja uniflorales mediante propiedades químicas, físicas y sensoriales. Tesis. Universidad de La Habana, Instituto de farmacia y alimentos. La Habana, Cuba.
- Müller, H. G. (1973). Introducción a la reología de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 174 p.
- Norma Mexicana Oficial (NMX-F-382-S). Miel de Abeja. Métodos de prueba. [En línea]. [Consultado el 30 de junio del 2008]. Disponible en: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-036-1981.PDF>
- Norma Oficial para Miel de Abejas. Decreto 13991-MEC, La Gaceta No 224, 22 de noviembre de 1982, Ministerio de Economía y Comercio, Costa Rica.
- Norma Técnica Peruana (NTP 209.168). 1999-nov-4. Miel: Definiciones, requisitos y rotulado. 2da edición. Elaborado por la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales [CAT] del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI]. Aprobado en 1999-oct-20. Lima: INDECOI- CTR. 13p.
- Norma Técnica Peruana (NTP 209.171). 1999-nov-4. De terminación del contenido de humedad. 2da edición. Elaborado por la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales [CRT] del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI]. Aprobado en 1999 -oct-20. Lima: INDECOI- CTR. 8p.
- Norma Técnica Peruana (NTP 209.172). 1999-nov-4. Determinación del contenido de azúcar reductor. 2da edición. Elaborado por la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales [CRT] del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI]. Aprobado en 1999 -Oct-20. Lima: INDECOI- CTR. 8p.

- Norma Técnica Peruana (NTP 209.173). 1999-nov-4. Determinación del contenido aparente de sacarosa. 2da edición. Elaborado por la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales [CRT] del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad intelectual [INDECOPI]. Aprobado en 1999 -oct-20. Lima: INDECOI- CTR. 9p.
- Norma Técnica Peruana (NTP 209.174). 1999-nov-4. Determinación de la acidez. 2da edición. Elaborado por la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales [CRT] del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI]. Aprobado en 1999-oct-20. Lima: INDECOI- CTR. 8p.
- Norma Técnica Peruana (NTP 209.175). 1999-nov-4. Determinación del contenido de sustancias minerales (cenizas). 2da edición. Elaborado por la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales [CAT] del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI]. Aprobado en 1999 -oct-20. Lima: INDECOI- CTR. 7p.
- Norma Técnica Peruana (NTP 209.178). 1999-nov-4. Determinación del contenido de sólidos insolubles en agua. 2da edición. Elaborado por la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales [CAT] del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad intelectual [INDECOPI]. Aprobado en 1999-oct-20. Lima: INDECOI- CTR. 8p.
- Oroian, M.; Amariei, S.; Escriche, I.; Leahu, A.; Damian, C.; Gutt, G. (2014). Chemical Composition and Temperature Influence on the Rheological Behaviour of Honeys. *International Journal of Food Properties*, 17(10), 2228–2240.
- Patricia Vit, 2009. Caracterización fisicoquímica de mieles de abejas sin aguijón (Meliponini) de Venezuela.
- Pardo, A., Garrido, J., Ruiz, M. Á., & San Martín, R. (2007). La interacción entre factores en el análisis de varianza: errores de interpretación. *Psicothema*, 19(2), 343-349.
- Pérez, H. A. A., & Chamorro, R. A. M. (2015). Análisis comparativo de la calidad fisicoquímica, microbiológica y organoléptica de la miel de abeja (*Apis mellifera*) producida en diferentes regiones de Perú. *Revista de Investigación Universitaria*, 1(1).
- Principal J., Barrios C., Colmenárez D., D' Aubeterre R., Graterol Z., Sandra F., y García de La Rosa S. (2013) Caracterización fisicoquímica y sensorial de mieles de *Apis mellifera* L. en los estados Lara y Yaracuy, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 31(2),

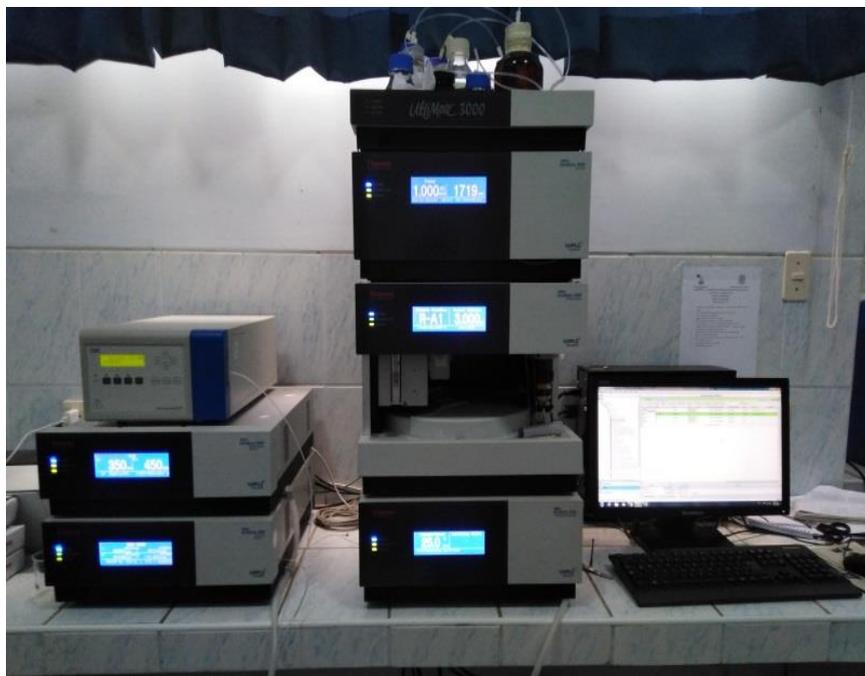
119-128. Recuperado en 09 de enero de 2018, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692013000200002&lng=es&tlng=es.

- Queiroz AJM, Figueiredo RMF, Silva CL (2005). Rheological evaluation of honey produced from *Piptadenia moniliformis* flowers. 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering.
- Ramírez Arias JF, Calderón Fallas RA, Ortiz Mora RA, Sanchez Chaves LA. Manual de Apicultura, tomo I, Heredia, Programa de publicaciones e impresiones de la Universidad Nacional. 2003.
- Ramirez J. W. (2016). “Caracterización físico química y sensorial de miel de abeja (*Apis mellifera* L.) de la provincia de Lamas – Bajo Mayo – región San Martín. Tesis, Universidad Nacional San Martín, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Tarapoto – Perú.
- Riveiro, L. C. Q. (2009). *Reología de productos alimentarios*. Univ Santiago de Compostela.
- RHA C. K. 1978. Rheology offluid foods. Food Technol. July, 77-82.
- Ruiz, P. A., Alvarez M. G., 2014. “Cadena agroalimentaria de la miel de abeja (*Apis mellifera*) en México de 1994 A 2003”, Tesis, UAAAN, Saltillo, Coahuila.
- Salamanca, G. G., 2001. “Criterios relativos al Análisis Sensorial de Miel”. Departamento de Química. Facultad de Ciencias Básicas. Tolima Colombia.
- Saxena, S., Gautam, S., Sharma, A., 2010. Physical, biochemical and antioxidant properties of some Indian honeys. Food Chem. 118,391–397.
- Saxena, S., Panicker, L., Gautam, S., 2014. Rheology of indian honey: effect of temperature and gamma radiation. Int. J. Food Sci. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/935129>.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Fecha no disponible. Manual de Buenas Prácticas de Producción de Miel. 52p. [Consultado el 18 de marzo del 2008]. Formato pdf. Disponibilidad libre en: <<http://www.senasica.sagarpa.gob.mx/miel/mbpm.pdf>>
- Simal, J. Y Huidobro, J.F. (1984). Parámetros de calidad de la miel III: acidez (pH, libre, láctónica y total) e índice de formol. Offarm, 3 (9), 523.
- Smanalieva J, Senge B (2008). Analytical and rheological investigations into selected unifloral German honey. Eur. Food Res. Technol. 229(1):107-113.

- Steffe, JF (1996). *Métodos reológicos en la ingeniería de procesos alimentarios*. Prensa de Freeman.
- Yue-Wen, C.; Chih-Hao, L.; Fu-Yu, W.; Hui-Huang, C. 2009. Rheological properties of crystallized honey prepared by a new type of nuclei. *Journal of Food Process Engineering* 34(4): 512–527.
- White, J. W., Jr. Analysis of Honey (1960) *Journal of Association Official Agricultural Chemists* Vol.43, N°3, pp. 638-642.
- White, J.W., 1975. Physical characteristics of honey. O.G. Nacoulma, 2005. Physicochemical analyses of In: Eva Crane (Ed.), *Honey: A Comprehensive Burkina Fasan honey*. ACTA Veterinaria BRNO, Survey. Heinemann, London, pp: 207-239.
- Zaitoun, S., Ghzawi, A.-M, Al-Malah, K.I.M. & Abu-Jdayil, B. 2001. Rheological Properties of selected light-colored Jordanian Honey. *International Journal of Food Properties*, 4, 139-148.

ANEXOS

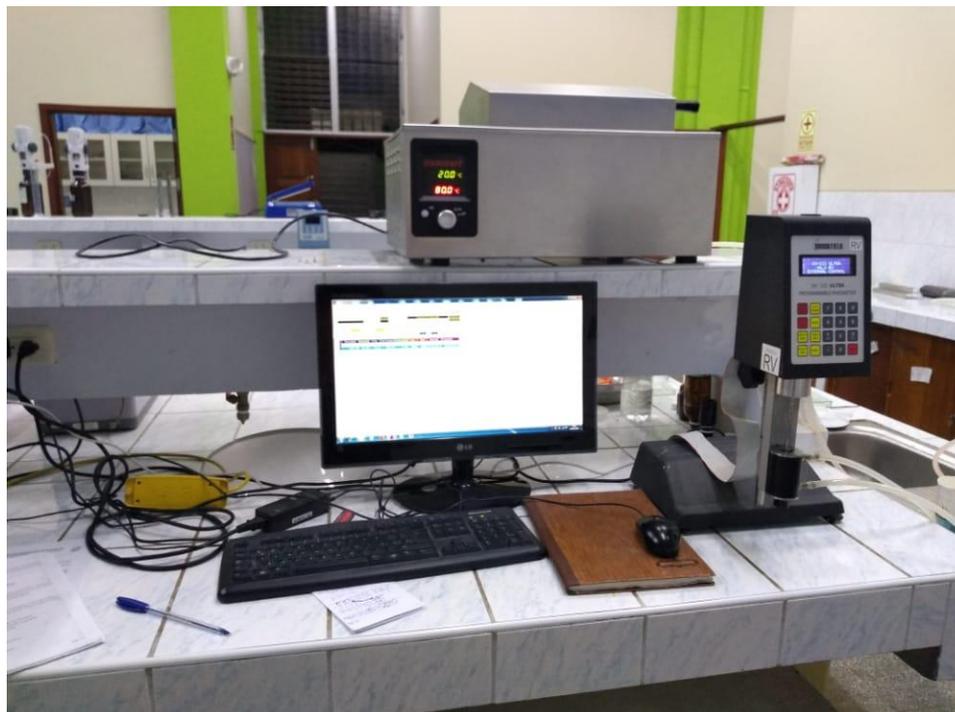
Anexo A. Sistema de cromatografía líquida – UHPLC, con detector IR para la determinación de azúcares en la miel.



Anexo B. Muestras almacenadas en recipientes de vidrio y plástico.



Anexo C. Comparación con diferentes temperaturas en el reómetro.



Anexo D. Análisis de varianza y comparaciones por parejas de Tukey al 95% para los análisis físico químicos:

pH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidad	8	0.2380	0.029754	5.00	0.002
Error	18	0.1071	0.005948		
Total	26	0.3451			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0771242	68.97%	55.19%	30.19%

Localidad	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación	
Palmeras de Oromina	AM	3	3.50000	A	
Cacatachi	BM	3	3.45000	A	
Piñal	BH	3	3.40000	A	B
Planicie	BH	3	3.38333	A	B
Pamashto	BJ	3	3.31667	A	B
San José	AM	3	3.30000	A	B
Chunchuyacu	BH	3	3.28000	A	B
Pajonal	AM	3	3.21667		B
Tabalosos	BM	3	3.21667		B

Acidez total (meq/kg):

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidad	8	120.737	15.0921	142.54	0.000
Error	18	1.906	0.1059		
Total	26	122.643			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.325394	98.45%	97.76%	96.50%

Localidad	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación	
Cacatachi	BM	3	34.7500	A	
Tabalosos	BM	3	32.3167	B	
Planicie	BH	3	31.8900	B C	
Piñal	BH	3	31.0067	C D	
Chunchuyacu	BH	3	30.1967	D	
Pajonal	AM	3	29.2433	E	
Pamashto	BM	3	29.0433	E F	
San José	AM	3	28.1233	F G	
Palmeras de Oromina	AM	3	27.8067	G	

A_w:

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidad	8	0.003332	0.000417	47.45	0.000
Error	18	0.000158	0.000009		
Total	26	0.003490			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0029627	95.47%	93.46%	89.81%

Localidad	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
Pajonal	BM	3	0.791333	A
Planicie	BH	3	0.785000	A B
Piñal	BH	3	0.782667	B C
San José	AM	3	0.775667	C D
Chunchuyacu	BH	3	0.772667	D E
Tabalosos	BM	3	0.766000	E F
Palmeras de Oromina	AM	3	0.763333	F G
Pamashto	BM	3	0.762000	F G
Cacatachi	BM	3	0.756667	G

Humedad (%):

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidad	8	5.4171	0.67714	47.27	0.000
Error	18	0.2579	0.01433		
Total	26	5.6750			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.119691	95.46%	93.44%	89.78%

Localidad	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
Pajonal	AM	3	26.6167	A
Planicie	BH	3	26.1633	B
Piñal	BH	3	25.8633	B C
San José	AM	3	25.7200	C D
Chunchuyacu	BH	3	25.5133	D E
Palmeras de Oromina	AM	3	25.4200	D E
Tabalosos	BM	3	25.3267	E
Pamashto	BM	3	25.2367	E
Cacatachi	BM	3	25.1867	E

Sólidos solubles (°Brix):

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidad	8	46.3868	5.79835	928.56	0.000
Error	18	0.1124	0.00624		
Total	26	46.4992			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0790218	99,76%	99,65%	99,46%

Localidad	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
San José	AM	3	72.7033	A
Pamashto	BH	3	70.5067	B
Planicie	BH	3	70.3533	B C
Pajonal	AM	3	70.1533	C D
Piñal	BH	3	70.0300	D E
Tabalosos	BM	3	69.9000	E
Palmeras de Oromina	AM	3	69.2333	F
Cacatachi	BM	3	68.1133	G
Chunchuyacu	BH	3	68.0800	G

Densidad (Kg/L):

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidad	8	0.007053	0.000882	67.81	0.000
Error	18	0.000234	0.000013		
Total	26	0.007287			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0036056	96.79%	95.36%	92.77%

Localidad	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
Pajonal	AM	3	1.44267	A
Pamashto	BM	3	1.43733	A B
Cacatachi	BM	3	1.42800	B C
Tabalosos	BM	3	1.42800	B C
Palmeras de Oromina	AM	3	1.42133	C
Piñal	BH	3	1.41833	C D
Chunchuyacu	BH	3	1.40833	D E
Planicie	BH	3	1.40433	E
San José	AM	3	1.38800	F

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$):

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidad	8	16936.3	2117.03	1280.58	0.000
Error	17	28.1	1.65		
Total	25	16964.4			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.28576	99.83%	99.76%	99.63%

Localidad	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
Tabalosos	BM	3	333.263	A
Planicie	BH	3	328.263	B
Pamashto	BM	3	324.477	C
Cacatachi	BM	3	321.950	C D
Palmeras de Oromina	AM	2	318.630	D E
San José	AM	3	314.850	E
Piñal	BH	3	308.007	F
Chunchuyacu	BH	3	285.037	G
Pajonal	AM	3	248.940	H

Cenizas (%):

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidad	8	0.055207	0.006901	16.64	0.000
Error	18	0.007467	0.000415		
Total	26	0.062674			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0203670	88.09%	82.79%	73.19%

Localidad	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
Piñal	BH	3	0.746667	A
Palmeras de Oromina	AM	3	0.743333	A
Pamashto	BM	3	0.723333	A B
Chunchuyacu	BH	3	0.710000	A B C
Tabalosos	BM	3	0.680000	B C D
San José	AM	3	0.656667	C D E
Cacatachi	BM	3	0.656667	C D E
Planicie	BH	3	0.636667	D E
Pajonal	AM	3	0.613333	E

Fructuosa (%):

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidad	8	67.6334	8.45418	411.80	0.000
Error	18	0.3695	0.02053		
Total	26	68.0029			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.143282	99.46%	99.22%	98.78%

Localidad	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
Chunchuyacu	BH	3	30.3933	A
Tabalosos	BM	3	29.3100	B
San José	AM	3	29.1567	B
Planicie	BH	3	29.0667	B
Cacatachi	BM	3	28.6067	C
Palmeras de Oromina	AM	3	28.1433	D
Pamashto	BM	3	27.1967	E
Piñal	BH	3	26.2667	F
Pajonal	AM	3	25.0433	G

Glucosa (%):

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidad	8	47.6699	5.95873	845.88	0.000
Error	18	0.1268	0.00704		
Total	26	47.7967			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0839312	99.73%	99.62%	99.40%

Localidad	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
Chunchuyacu	BH	3	27.6267	A
Cacatachi	BM	3	26.8067	B
San José	AM	3	26.1867	C
Palmeras de Oromina	AM	3	26.0100	C D
Pamashto	BM	3	25.7933	D E
Planicie	BH	3	25.6200	E
Tabalosos	BM	3	24.3633	F
Piñal	BH	3	23.8100	G
Pajonal	AM	3	23.3367	H

Sacarosa (%):

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidad	8	16.4700	2.05875	137.39	0.000
Error	18	0.2697	0.01499		
Total	26	16.7397			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.122414	98.39%	97.67%	96.37%

Localidad	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
Tabalosos	BM	3	3.18333	A
Cacatachi	BM	3	2.50000	B
Palmeras de Oromina	AM	3	1.75000	C
Pamashto	BM	3	1.54333	C D
Chunchuyacu	BH	3	1.34000	D
San José	AM	3	1.23333	D
Planicie	BH	3	0.87333	E
Pajonal	AM	3	0.85333	E
Piñal	BH	3	0.66000	E

Anexo E. Análisis de varianza y comparaciones por parejas de Tukey de los modelos matemáticos de Newton, Herschel Bulkley, Ley de la Potencia y Casson.

Modelo Newton:

Viscosidad Newtoniana Pa.s

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	258.9	129.5	3.01	0.159
Zona Ecológica	2	83310.9	41655.5	968.76	0.000
Error	4	172.0	43.0		
Total	8	83741.8			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
6.55733	99.79%	99.59%	98.96%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TEMPERATURA	N	Media	Agrupación
20	3	123.2	A
30	3	116.1	A
10	3	110.1	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ZONA ECOLÓGICA	N	Media	Agrupación
ALTO MAYO	3	252.07	A
BAJO MAYO	3	58.53	B
BAJO HUALLAGA	3	38.85	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo Herschel Bulkley:**Esfuerzo umbral τ_0 (Pa)**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	1.944	0.9721	0.50	0.638
Zona Ecológica	2	3.669	1.8346	0.95	0.460
Error	4	7.728	1.9321		
Total	8	13.342			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.38999	42.07%	0.00%	0.00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TEMPERATURA	N	Media	Agrupación
30	3	5.225	A
20	3	4.285	A
10	3	4.20	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ZONA ECOLOGICA	N	Media	Agrupación
ALTO MAYO	3	5.442	A
BAJO HUALLAGA	3	4.335	A
BAJO MAYO	3	3.932	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Índice de consistencia K (Pa.sn)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Zona Ecológica	2	58802.1	29401.1	6.36	0.057
Temperatura	2	860.0	430.0	0.09	0.913
Error	4	18477.7	4619.4		
Total	8	78139.8			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
67.9664	76.35%	52.71%	0.00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TEMPERATURA	N	Media	Agrupación
30	3	195.4	A
20	3	178.8	A
10	3	172.2	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ZONA ECOLOGICA	N	Media	Agrupación
ALTO MAYO	3	295.4	A
BAJO MAYO	3	138.7	B
BAJO HUALLAGA	3	112.3	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Índice de flujo η (adimensional)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	0.119390	0.059695	12.87	0.018
Zona Ecológica	2	0.004447	0.002223	0.48	0.651
Error	4	0.018549	0.004637		
Total	8	0.142386			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0680976	86.97%	73.95%	34.05%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
10	3	1.2497	A
20	3	1.0776	B
30	3	0.96960	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ZONA ECOLOGICA	N	Media	Agrupación
ALTO MAYO	3	295.4	A
BAJO MAYO	3	138.7	B
BAJO HUALLAGA	3	112.3	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo Ley de la Potencia:

Índice de flujo η (adimensional)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	0.047876	0.023938	25.97	0.005
Zona Ecológica	2	0.001027	0.000514	0.56	0.612
Error	4	0.003687	0.000922		
Total	8	0.052590			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0303585	92.99%	85.98%	64.51%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TEMPERATURA	N	Media	Agrupación
10	3	1.1423	A
20	3	1.0624	B
30	3	0.96400	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ZONA ECOLOGICA	N	Media	Agrupación
BAJO MAYO	3	1.0688	A
BAJO HUALLAGA	3	1.0573	A
ALTO MAYO	3	1.0427	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Índice de consistencia K (Pa.sn)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	4787.8	2393.9	15.99	0.012
Zona Ecológica	2	40592.4	20296.2	135.53	0.000
Error	4	599.0	149.8		
Total	8	45979.2			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
12.2375	98.70%	97.39%	93.40%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TEMPERATURA	N	Media	Agrupación
30	3	186.2	A
20	3	184.6	A
10	3	136.5	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
Alto Mayo	3	262.4	A
Bajo Huallaga	3	137.8	B
Bajo Mayo	3	107.1	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Modelo Casson:**Esfuerzo umbral τ_0 (Pa)**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Zona Ecológica	2	0.000000	0.000000	1.14	0.406
Temperatura	2	0.000000	0.000000	0.33	0.737
Error	4	0.000000	0.000000		
Total	8	0.000000			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0000000	42.33%	0.00%	0.00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TEMPERATURA	N	Media	Agrupación
30	3	0.000000	A
20	3	0.000000	A
10	3	0.000000	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ZONA ECOLOGICA	N	Media	Agrupación
ALTO MAYO	3	0.000000	A
BAJO MAYO	3	0.000000	A
BAJO HUALLAGA	3	0.000000	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Viscosidad plástica de Casson Kc

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	1910	955.0	1.11	0.412
Zona Ecológica	2	73022	36511.2	42.63	0.002
Error	4	3426	856.5		
Total	8	78359			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
29.2668	95.63%	91.26%	77.86%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TEMPERATURA	N	Media	Agrupación
20	3	247.7	A
30	3	219.9	A
10	3	214.5	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ZONA ECOLOGICA	N	Media	Agrupación
ALTO MAYO	3	351.8	A
BAJO HUALLAGA	3	188.9	B
BAJO MAYO	3	141.5	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo F. Análisis de varianza y comparaciones por parejas de Tukey referente a la localidad y la temperatura en las propiedades reológicas para las zonas ecológicas Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga, a las temperaturas de 10, 20 y 30 °C.

Temperatura de 10 °C Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidades	8	5400982	675123	16.29	0.000
Error	261	10815427	41438		
Total	269	16216409			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
203.564	33.31%	31.26%	28.63%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Localidades	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
TABALOSOS	BM	30	540.8	A
SAN JOSE	AM	30	486.1	A
PAJONAL	AM	30	417.2	A B
PALMERAS DE OROMINA	AM	30	259.9	B C
PLANICIE	BH	30	257.1	B C
CHUNCHUYACU	BH	30	225.5	C
CACATACHI	BM	30	207.2	C
PAMASHTO	BM	30	153.2	C
PIÑAL	BH	30	113.7	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Temperatura de 20 °C Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidades	8	4935684	616960	17.38	0.000
Error	261	9262512	35489		
Total	269	14198196			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
188.384	34.76%	32.76%	30.19%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Localidades	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
TABALOSOS	BM	30	489.3	A
SAN JOSE	AM	30	467.4	A
PAJONAL DE OROMINA	AM	30	422.3	A
PALMERAS	AM	30	263.4	B
CHUNCHUYACU	BH	30	220.8	B C
PLANICIE	BH	30	207.3	B C
CACATACHI	BM	30	193.0	B C
PAMASHTO	BM	30	143.6	B C
PIÑAL	BH	30	106.5	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Temperatura de 30 °C Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidades	8	4663054	582882	21.04	0.000
Error	261	7229874	27701		
Total	269	11892928			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
166.435	39.21%	37.35%	34.94%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Localidades	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
SAN JOSE	AM	30	435.0	A
PAJONAL	AM	30	417.2	A
TABALOSOS	BM	30	357.9	A B
PALMERAS DE OROMINA	AM	30	225.4	B C
PLANICIE	BH	30	185.8	C D
CHUNCHUYACU	BH	30	156.3	C D
CACATACHI	BM	30	123.9	C D
PAMASHTO	BM	30	103.3	C D
PIÑAL	BH	30	64.81	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo H. Análisis de varianza y comparaciones por parejas de Tukey referente a la temperatura y viscosidad para las zonas ecológicas Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga, a las temperaturas de 10, 20 y 30 °C.

Temperatura de 10 °C Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidades	8	20012296815	2501537102	189.07	0.000
Error	261	3453229492	13230764		
Total	269	23465526307			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
3637.41	85.28%	84.83%	84.25%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Localidades	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
SAN JOSE	AM	30	30804	A
PAJONAL	AM	30	24712	B
TABALOSOS	BM	30	19748	C
PALMERAS DE OROMINA	AM	30	12576	D
PLANICIE	BH	30	11144	D E
CHUNCHUYACU	BH	30	9435	E F
CACATACHI	BM	30	7436	F G
PAMASHTO	BM	30	6110	G H
PIÑAL	BH	30	3971	H

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Temperatura de 20 °C Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidad	8	1601817155	200227144	213.18	0.000
Error	261	245140981	939237		
Total	269	1846958135			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
969.143	86.73%	86.32%	85.80%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Localidades	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
TABALOSOS	BM	30	9525	A
SAN JOSE	AM	30	6955	B
PAJONAL	AM	30	6101	C
PALMERAS DE OROMINA	AM	30	3671	D
PLANICIE	BH	30	3664	D
CHUNCHUYACU	BH	30	3186	D
CACATACHI	BM	30	3007	D
PAMASHTO	BM	30	2212.0	E
PIÑAL	BH	30	1495.1	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Temperatura de 30 °C Alto Mayo, Bajo Mayo y Bajo Huallaga.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Localidad	8	196728811	24591101	174.56	0.000
Error	261	36767563	140872		
Total	269	233496374			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
375.329	84.25%	83.77%	83.15%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Localidades	Zona Ecológica	N	Media	Agrupación
TABALOSOS	BM	30	3170	A
SAN JOSE	AM	30	2841.6	B
PAJONAL	AM	30	2722.3	B
PALMERAS DE OROMINA	AM	30	1698.5	C
CHUNCHUYACU	BH	30	1435.5	C D
PLANICIE	BH	30	1349.9	D
CACATACHI	BM	30	1262.7	D
PAMASHTO	BM	30	863.7	E
PIÑAL	BH	30	687.4	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.