



**Universidad  
Europea**

**UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID  
ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO**

**ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**SISTEMAS INDUSTRIALES**

**MENCIÓN ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**ESTUDIO REOLÓGICO E IMPLEMENTACIÓN  
AUTOMÁTICA DE MIELES EN EMPRESA**

**Alumno: D<sup>a</sup> MARÍA TORRES PRIEGO**

**Directores: Dra. Arisbel Cerpa Naranjo**

**M.Sc. José Luis Lafuente Carrasco**

**JUNIO 2022**

**TÍTULO:** ESTUDIO REOLÓGICO E IMPLEMENTACIÓN AUTOMÁTICA DE MIELES EN EMPRESA

**AUTOR:** MARÍA TORRES PRIEGO

**DIRECTORES DEL PROYECTO:** Dra. Arisbel Cerpa Naranjo y M.Sc. José Luis Lafuente Carrasco

**FECHA:** xx de JUNIO de 2022

# RESUMEN

Este proyecto trata de la actualización del sector de la apicultura y, por lo tanto, un aumento en la eficacia y rapidez en la elaboración de mieles de la empresa “**Madrid Miel**”. Para ello en primer lugar, se realiza un **estudio reológico** de varios tipos de mieles (Brezo Erica, Levantamuertos y Romero) de dicha empresa, con vistas a determinar su comportamiento de flujo y los valores de viscosidad en función de la temperatura. Además, se estudian aspectos como la conductividad, humedad y color.

Se concluye, que todas las mieles se encuentran en buen estado, no superando el 20% de humedad establecido por las normas de la Delegación Alimentaria. Dentro de las clasificaciones de mieles, se tratan de **mieles florales** debido a que los valores de conductividad se encuentran por debajo de los  $800\mu\text{S/cm}$ .

El comportamiento de flujo de las mieles estudiadas es típico de fluidos **no newtonianos** presentando **tixotropía negativa o reopexia**. Las mieles estudiadas, disminuyen su viscosidad a medida que aumenta la temperatura.

Los valores de viscosidad obtenidos a  $25\text{ }^\circ\text{C}$  y a un gradiente de velocidad de  $300\text{ s}^{-1}$  son: muestras **Romero-48942 mPa.s**, **Brezo Erica-14211 mPa.s** y **Levantamuertos-9922 mPa.s**.

La determinación del color se realiza mediante el diseño de un **prototipo electrónico** para la clasificación de mieles según su colorimetría, el cual es capaz de detectar mejor los ámbares oscuros que los claros.

**Palabras claves:** reología, mieles, mieles Madrid, romero, brezo Erica, levantamuertos.

## ABSTRACT

This project deals with the updating of the beekeeping sector and, therefore, an increase in the efficiency and speed in the production of honeys of the company "**Madrid Miel**". First of all, a rheological study of several types of honeys (Brezo Erica, Levantamueertos and Romero) of this company is carried out in order to determine their flow behavior and viscosity values as a function of temperature. In addition, aspects such as conductivity, humidity and color are studied.

It is concluded that all the honeys are in good condition, not exceeding the 20% humidity established by the Food Delegation standards. Within the classifications of honeys, they are **floral honeys** because the conductivity values are below  $800\mu\text{S}/\text{cm}$ .

The flow behavior of the studied honeys is typical of non-Newtonian fluids, presenting **negative thixotropy or rheopexy**. The studied honeys decrease their viscosity with increasing temperature.

The viscosity values obtained at  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  and at a velocity gradient of  $300\text{ s}^{-1}$  are: samples **Romero**-48942 mPa.s, **Brezo Erica**-14211 mPa.s and **Levantamueertos**-9922 mPa.s.

The color determination is carried out through the design of an electronic prototype for the classification of honeys according to their colorimetry, which is able to detect dark colors better than light ones.

**Key words:** rheology, honeys, Madrid Miel , Romero, Brezo Erica, levantamueertos.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	3
<b>ABSTRACT</b> .....	4
<b>Capítulo 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	13
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.2 ALTERNATIVA PLANTEADA.....	15
1.3 OBJETIVOS GENERALES DEL PROYECTO.....	15
1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
1.4 ESTRUCTURA DEL PROYECTO .....	17
<b>Capítulo 2. MEMORIA</b> .....	18
2.1 OBJETIVO.....	18
2.2 ALCANCE.....	18
2.3 ANTECEDENTES .....	19
2.4 MARCO TEÓRICO.....	22
2.4.1 MODELOS REOLÓGICOS .....	22
2.4.1.1. DEFINICIÓN REOLOGÍA.....	22
2.4.1.2. CONCEPTOS PRINCIPALES REOLÓGICOS.....	23
2.4.1.3. DINÁMICA DE LOS FLUIDOS .....	24
2.4.1.4. CURVAS DE FLUJO Y DE VISCOSIDAD.....	25
2.4.1.5. TIPOS DE MODELOS REOLÓGICOS.....	26
2.4.1.1. EFECTO DEL TIEMPO .....	29
2.4.1.2. PUNTO DE FLUJO .....	31
2.4.2 ASPECTOS TEÓRICOS SOBRE MIELES. ....	31
2.4.1.2. PARÁMETROS DE IDENTIFICACIÓN Y CALIDAD DE LA MIEL.....	31
2.4.1.3. CONCEPTOS PRINCIPALES HUMEDAD.....	32
2.4.1.4. CONDUCTIVIDAD .....	34
2.4.1.5. COLORIMETRÍA.....	36
2.4.1.6. FOTOMETRÍA.....	39
2.4.3 MODELADO ELECTRÓNICO .....	40
2.3.4.1. BUS I2C .....	40
2.3.4.2. PANTALLAS OLED.....	43
2.3.4.3. SENSOR RGB .....	44

---

2.3.4.4. FUNCIONAMIENTO TCS 34725.....	46
2.5 MATERIALES Y EQUIPOS .....	47
2.5.1 MUESTRAS .....	47
2.5.2 REÓMETRO .....	48
2.5.3 SOFTWARES UTILIZADOS .....	50
2.5.4 CRISON CM 35.....	51
2.5.5 REFRACTÓMETRO DE MIEL .....	52
2.5.6 HELTEC WIFI LORA 32 (V2) .....	53
2.5.7 TCS 34725.....	54
2.6 MÉTODO EXPERIMENTAL .....	56
2.6.1 HUMEDAD .....	56
2.6.2 ENSAYOS REOLÓGICOS.....	57
2.6.3 CONDUCTIVIDAD .....	58
2.6.4 COLORIMETRÍA.....	60
2.7 RESULTADOS .....	62
2.7.1 HUMEDAD .....	62
2.7.2 CONDUCTIVIDAD .....	64
2.7.3 ENSAYOS REOLÓGICOS (CURVAS DE FLUJO Y CURVAS DE VISCOSIDAD).....	65
2.7.4 COLOR .....	95
2.8 IMPACTO SOBRE LA SALUD Y EL MEDIOAMBIENTE.....	100
2.9 PRESUPUESTO .....	101
2.9.1 COSTE DE MATERIALES Y MANO DE OBRA .....	101
2.9.2 PRESUPUESTO FINAL .....	102
2.10 CONCLUSIONES.....	103
2.11 FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO .....	104
Capítulo 3. Bibliografía .....	105
Capítulo 4. ANEXOS .....	107

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de flujo. Fuente: Darlington Engineers .....	25
Figura 2. Curva de viscosidad Fuente: Darlington Engineers .....	25
Figura 3: Fluidos tixotrópicos y reopécticos. Fuente: universidad nacional agraria.....	29
Figura 4: Esquema tipología de fluidos. Fuente: Elaboración propia ...	30
Figura 5: representación de luminosidad. Fuente: Franja industriales .	36
Figura 6: tonalidad de colores. Fuente: multimedia integral.....	37
Figura 7 : posibles colores de la miel. Fuente: Beevoo.....	37
Figura 8: modelo de color HSL. Fuente: Guarrocasas.....	38
Figura 9: comunicación por puerto I2C. Fuente: control automático educación.....	40
Figura 10: comunicación I2C Fuente: control automático educación...	41
Figura 11: Bus de datos mediante comunicación I2C. Fuente: control automático educación .....	42
Figura 12: esquema Heltec wifi lora 32 V2 , pinout diagram .....	43
Figura 13: color RGB. Fuente: Hi Sour .....	44
Figura 14: cubo RGB (coordenadas). Fuente: reproduction of colour, R.W.G. Hunt (6th ed) .....	44
Figura 15: modelos distintos RGB. Fuente: Jorge Lorente, 22.02.201 45	
Figura 16: array de fotodiodos . Fuente: Jorge Lorente, 22.02.2018 ...	45
Figura 17: Funcionamiento sensor RGB. Fuente: elaboración propia .	46
Figura 18: Funcionamiento fotodiodos. Fuente: elaboración propia ....	46
Figura 19. Muestras de mieles procedentes de la Empresa Madrid Miel, S.L. “Comunidad de Madrid”. Fuente: elaboración propia.....	47
Figura 20: Reómetro rotacional Rheostress 6000 Fuente: elaboración propia.....	48
Figura 21: Conductímetro CRISON CM 35 y sus componentes. Fuente: elaboración propia.....	51
Figura 22. Refractómetro de miel. Fuente: elaboración propia .....	52
Figura 23: Heltec wifi lora 32 V2. Fuente: elaboración propia.....	53
Figura 24: TCS 34725. Fuente: elaboración propia .....	55
Figura 25. Calibración del refractómetro Fuente: elaboración propia ..	56
Figura 26. Lente refractómetro. Fuente: elaboración propia .....	56
Figura 27: sistema de medida plato-plato. P20CSL. Fuente: elaboración propia.....	57
Figura 28. Botes de calibración Crison CM 35. Fuente: elaboración propia.....	58

Figura 29. Calibración Crison CM 35. Fuente: elaboración propia.....	58
Figura 30. Medición de conductividad Fuente: elaboración propia .....	59
Figura 31: Honey color test. Fuente: elaboración propia.....	60
Figura 32: Soporte TCS 34725 . Fuente: elaboración propia.....	61
Figura 33: Medición con el sensor. Fuente: elaboración propia.....	61
Figura 34. Representación de la humedad de Romero. Fuente: elaboración propia.....	62
Figura 35. Medida de la humedad de Brezo Erica. Fuente: elaboración propia.....	62
Figura 36. Representación de la humedad de Levantamueertos. Fuente: elaboración propia.....	63
Figura 37: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=20°C. Fuente: elaboración propia .....	67
Figura 38: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=20°C .Fuente: elaboración propia .....	67
Figura 39: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=25°C. ....	68
Fuente: elaboración propia .....	68
Figura 40: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=25°C. Fuente: elaboración propia .....	68
Figura 41: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=30°C. Fuente: elaboración propia .....	69
Figura 42: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=30°C. Fuente: elaboración propia .....	69
Figura 43: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=35°C. Fuente: elaboración propia .....	70
Figura 44: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=35°C Fuente: elaboración propia .....	70
Figura 45: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=40°C. Fuente: elaboración propia .....	71
Figura 46: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=40°C Fuente: elaboración propia .....	71
Figura 47: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamueertos a 20°C. Fuente: elaboración propia .....	72
Figura 48: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamueertos a t=20°C. Fuente: elaboración propia.....	72
Figura 49: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamueertos a T=25°C. Fuente: elaboración propia.....	73
Figura 50: Viscosidad vs gradiente de velocidad para la miel Levantamueertos a T=25°C. Fuente: elaboración propia.....	73



Figura 51: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamueertos a T=30°C. Fuente: elaboración propia.....	74
Figura 52: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamueertos a 30°C. Fuente: elaboración propia.....	74
Figura 53: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamueertos a T=35°C. Fuente: elaboración propia.....	75
Figura 54: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamueertos a T=35°C. Fuente: elaboración propia.....	75
Figura 55: Esfuerzo cortante vs gradiente de velocidad para la miel Levantamueertos T=40°C. Fuente: elaboración propia.....	76
Figura 56: Viscosidad vs gradiente de velocidad para la miel Levantamueertos a T=40°C. ....	76
Fuente: elaboración propia .....	76
Figura 57: Esfuerzo cortante vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=20°C. Fuente: elaboración propia.....	77
Figura 58: Viscosidad vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=20°C. Fuente: elaboración propia .....	77
Figura 59: Esfuerzo cortante vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=25°C. Fuente: elaboración propia.....	78
Figura 60: Viscosidad vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=25°C. Fuente: elaboración propia .....	78
Figura 61: Esfuerzo cortante vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=30°C. Fuente: elaboración propia.....	79
Figura 62: Viscosidad vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=30°C. Fuente: elaboración propia .....	79
Figura 63: Esfuerzo cortante vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=35°C. Fuente: elaboración propia.....	80
Figura 64: Viscosidad vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=35°C. Fuente: elaboración propia .....	80
Figura 65: Esfuerzo cortante vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=40°C. Fuente: elaboración propia.....	81
Figura 66: Viscosidad vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=40°C. Fuente: elaboración propia .....	81
Figura 67: temperatura vs viscosidad para muestra 1 de romero a 300 s – 1. Fuente: elaboración propia .....	83
Figura 68: temperatura vs viscosidad para muestra 1 de romero a 300 s – 1 tras dos meses. Fuente: elaboración propia .....	84
Figura 69: temperatura vs viscosidad para muestra 1 de Levantamueertos a 300 s – 1 . Fuente: elaboración propia.....	86
Figura 70: temperatura vs viscosidad para muestra 1 de Levantamueertos a 300 ss – 1 tras dos meses. Fuente: elaboración propia.....	87

---

Figura 71: temperatura vs viscosidad para muestra 1 de Brezo Erica a 300 s – 1. Fuente: elaboración propia.....	89
Figura 72: temperatura vs viscosidad para muestra 1 de Brezo Erica a 300 s – 1. Fuente: elaboración propia.....	90
Figura 73: Viscosidad vs gradiente de velocidad a T=30°C, 1 día. Fuente: elaboración propia.....	92
Figura 74: Viscosidad vs gradiente de velocidad a T=30°C, 2 meses después. Fuente: elaboración propia.....	93
Figura 75: medición color RGB. Fuente: Peko Step .....	95
Figura 76: pantalla de simulación MyOpenLab. Fuente: elaboración propia.....	95

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Identificación y parámetros de calidad de diferentes mieles .	21
Tabla 2 : Equivalencia de grados brix y porcentaje de humedad de la miel. Fuente: comunidad de foros de apicultura.....	33
Tabla 3: Control de calidad de las mieles. En amarillo, los tipos de mieles similares a las tratadas en este estudio. Fuente: , A. G., Pajuelo, A. G., Consultores, E., & Miquel, A.-S. (s/f).....	35
Tabla 4 : Datasheet TCS 34725 longitud de onda. Fuente: Datasheet TCS 34725.....	39
Tabla 5: pinout data sheet TCS 34725. Fuente: Datasheet TCS 34725 .....	54
Tabla 6: data sheet TCS 34725. Fuente: datasheet TCS 34725 .....	55
Tabla 7. Resultados conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Fuente: elaboración propia .....	64
Tabla 8: Resultados viscosidad frente a gradiente de velocidad constante Romero. Fuente: elaboración propia.....	83
Tabla 9: Resultados viscosidad frente a gradiente de velocidad constante. Muestra Romero después de 2 meses . Fuente: elaboración propia .....	84
Tabla 10: Resultados viscosidad frente a gradiente de velocidad constante Levantamueertos. Fuente: elaboración propia .....	86
.....	86
Tabla 11: Resultados viscosidad frente a gradiente de velocidad constante Levantamueertos tras dos meses. Fuente: elaboración propia .....	87
Tabla 12: Resultados viscosidad frente a gradiente de velocidad constante Brezo Erica. Fuente: elaboración propia.....	89
Tabla 13: Resultados viscosidad frente a gradiente de velocidad constante Brezo Erica tras dos meses. Fuente: elaboración propia .....	90
Tabla 14: Resultados viscosidad en función del tipo de miel y rango de temperatura (20-40 °C ) a 300 s – 1 . Fuente: elaboración propia .....	91
Tabla 15: valores de viscosidad en función del tipo miel a temperatura de 25°C y 300 s – 1 . Fuente: elaboración propia.....	94
Tabla 16: valores de viscosidad en función del tipo miel a temperatura de 30°C y 300 s – 1. Fuente: elaboración propia.....	94
Tabla 17: Muestra 1. valores RGB y desviaciones. Fuente: Elaboración propia .....	96
Tabla 18: Muestra 2. valores RGB y desviaciones. Fuente: Elaboración propia .....	96

---

Tabla 19: Muestra 3. valores RGB y desviaciones. Fuente: Elaboración propia .....	97
Tabla 20: Muestra 4. valores RGB y desviaciones. Fuente: Elaboración propia .....	97
Tabla 21: Muestra 5. valores RGB y desviaciones. Fuente: Elaboración propia .....	98
Tabla 22: Muestra 6. valores RGB y desviaciones. Fuente: Elaboración propia .....	98
Tabla 16: presupuesto del proyecto de fin de grado . Elaboración propia .....	102

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto se desarrollará con la empresa Madrid Miel , y los directores Dra. Arisbel Cerpa Naranjo y M.S .José Luis Lafuente Carrasco; en el cual se realizará una serie de estudios reológicos para la determinación de la viscosidad en mieles frente a la influencia de una serie de factores.

Paralelamente, se desarrolla un prototipo para la mejora en la empresa Madrid Miel para optimizar el sistema de producción.

La miel es una sustancia dulce de origen animal, que verdaderamente proviene del vegetal, el cual es producida por las abejas debido al néctar de las plantas, de secreciones de partes vivas de dichas plantas o incluso de excreciones de animales.

El néctar es mezclado con las enzimas que presentan las abejas, que transforman y producen la miel y posteriormente depositan en las colmenas para su madurez.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en España, no se reconoce la importancia que pueden llegar a tener las abejas, siendo los agentes más polinizadores del planeta, y por tanto son el 80% responsables de lo que se ingiere en la vida cotidiana.

El consumo de la miel genera gran beneficio en los seres humanos debido a que presenta una gran cantidad de nutrientes y en consecuencia actúa como principal fuente de energía. “Sin abejas no hay polinización y sin polinización no hay comida” [1]

Una de las empresas encargadas de la producción y venta de mieles de alta calidad en España se denomina Madrid Miel. Se trata de una empresa de apicultores fundada en el año 1944, con sede en España y Portugal. Se encargan del cuidado de las abejas sobre unos medios específicos para la obtención de unas mayores prestaciones. Elaborada de manera artesanal, natural y ecológica para su posterior venta

A la hora de la elaboración de sus mieles para la obtención de una mayor calidad, se requiere de un estudio en profundidad, con la obtención de una serie de parámetros específicos según unas condiciones determinadas. Esta empresa encarga a laboratorios independientes un análisis para certificar sus propiedades por lo que los estudios internos realizados en este proyecto aumentan la calidad y valor del producto

A su vez, el sector de la apicultura en España se encuentra bastante anticuado, para lo cual conviene hacer una modernización de su tecnología como por ejemplo en la colorimetría lo realizan de manera manual, por trabajadores, por lo que se disminuye eficiencia y por lo tanto precisión.

Con este proyecto se trata de actualizar este sector, en concreto la empresa Madrid Miel para su optimización de su sistema de producción

## 1.2 ALTERNATIVA PLANTEADA

Para facilitar el proceso a la hora de la elaboración, se hace un estudio reológico en el que se medirán ciertos parámetros, que le aportarán valor para el conocimiento de las características internas. Por lo tanto, cuando sean trasladados al laboratorio para saber de antemano dichas particularidades. Cada una de las propiedades son valores que dan indicadores de la miel

En cuanto a la clasificación de las mieles, se propone solución que se trata de realizar la automatización de un proceso mediante un prototipo, el cual de manera electrónica clasifica la miel según su color.

## 1.3 OBJETIVOS GENERALES DEL PROYECTO

El principal objetivo de este proyecto es realizar un **estudio reológico** de varios tipos de mieles (Romero, Levantamuertos y Brezo Erica) procedentes de la empresa "Madrid Miel" en función de diferentes factores: tipo de miel, temperatura, humedad y conductividad.

Otro objetivo fundamental es el uso de un **prototipo electrónico** que sea capaz de clasificar los distintos tipos de mieles según el color que presenten, sobre todo diferenciación entre tonos de mayor similitud.

Para su realización se utilizan una serie de equipos y dispositivos, como, por ejemplo, el reómetro del laboratorio de la Universidad Europea de Madrid (Reómetro Rheostress 6000) para la determinación del comportamiento reológico y su viscosidad, así como el estudio de la colorimetría

---

### 1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinación del comportamiento reológico de los diferentes tipos de miel frente a diferentes factores:
  - Temperaturas
  - Conductividad
  - Humedad
  - Color
  
- Caracterización reológica de la miel mediante la curva de flujo y curva de viscosidad.
  
- Diseño e implementación de un sistema electrónico para la clasificación según su color.
  
- Evaluación económica y ambiental.



## 1.4 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

La estructura de este proyecto se va a dividir en una serie de apartados que se ven a continuación

1. Introducción: Se aborda el contenido principal del proyecto
2. Objetivo y alcance : motivo del proyecto
3. Marco teórico: conocimientos acerca del proyecto
4. Materiales y equipos : instrumentos utilizados en la elaboración de los objetivos planteados
5. Método experimental: manera de proceder el estudio y prototipo
6. Resultados: se estudian los beneficios acerca del punto 5.
7. Presupuesto: análisis sobre el plan de financiación
8. Impacto medioambiental: estudio de la viabilidad
9. Conclusiones y futuras líneas de trabajo

## **Capítulo 2. MEMORIA**

### **2.1 OBJETIVO**

El principal objetivo de este proyecto se trata de realización de un estudio reológico con una serie de parámetros necesarios, para la ayuda a la empresa en procesos internos de elaboración.

Además, se implementa un prototipo electrónico para la detección de colorimetría en cuanto a la clasificación de las mieles

### **2.2 ALCANCE**

El estudio reológico permitirá determinar la curva de flujo para conocer el tipo de comportamiento del fluido, así como su viscosidad, parámetros que son importantes en el procesamiento y almacenaje de la misma.

En relación con la colorimetría de la miel, se hace un prototipo, el cual clasifica la miel según su color. En este proyecto se obtiene las tres muestras para observar la clara identificación de manera digital. Para el control y medición se hace uso de un sensor TCS 34725 de color junto con una placa Heltec Wifi Lora 32 ( V2).

## 2.3 ANTECEDENTES

Gerardo E. Maldonado, Alba S. Navarro et.al investigaron las propiedades tanto reológicas como textuales de 26 tipos de mieles de diferentes regiones, en concreto del Norte y Centro de Argentina. Para ello utilizaron un reómetro con un rango de 10 a 50 °C observándose cómo la viscosidad disminuye con respecto a la temperatura. Así como un comportamiento newtoniano en cada una de las mieles.

También midieron parámetros en amplitud destacando el módulo viscoso por encima del módulo de almacenamiento. Como conclusión las mieles del Norte presentaban una mayor viscosidad, pero sin embargo ambos presentaban la misma consistencia y adhesividad. [2]

El objetivo de este artículo «Development of novel methods to determine crystalline glucose content of honey based on DSC, HPLC, and viscosity measurements, and their use to examine the setting propensity of honey,» es la obtención de métodos fiables para una correcta cristalización de la miel y ser utilizados en instalaciones de producción industrial. Se basan en calorimetría diferencial de barrido y cromatografía líquida de alto rendimiento. Estos dieron como resultado una relación que utiliza el contenido de viscosidad relativa siendo esta la relación entre la viscosidad del cristal que contiene la miel y la de la misma cuando estas se disuelven. La correlación obtenida sirve para determinar el contenido de cristales en instalaciones industriales. La tasa de crecimiento de cristalización con 14°C (temperatura normal de cristalización) fue lineal y aumentó con el contenido de glucosa. [3]

Este artículo trata acerca de las últimas investigaciones realizadas por Olga Escudero y M<sup>o</sup> Carmen Seijo sobre las diferentes propiedades de la miel, de tal forma, puedan servir para evitar los fraudes y demás problemas relacionados en la industria alimentaria. En este trabajo se exponen las diferentes técnicas analíticas utilizadas con este propósito. [4]

Se comprobó el efecto del calor en la viscosidad, el color, la concentración de **Hidroximetilfurfural** (5 HMF) de la miel. El calor (rango medido entre 20° C y 80°C) hace a miel más amarillenta y disminuye el enrojecimiento. En cuanto a la viscosidad un aumento de la temperatura, la reduce a partir de 20°C. Con la actividad diastásica (actividad de las enzimas alfa y beta amilasa sobre la miel) esta baja a temperaturas más altas y por último la cantidad de 5HMF aumenta con la temperatura llegando a su máximo a los 80°C [5].

Se analizó la miel a diferentes temperaturas y aparte de verse la disminución de la viscosidad junto al aumento de temperatura, también se comprobó que el rango bajo de temperatura era más relevante en dicha disminución que en el rango alto [6]

El objetivo es comprender las características fisicoquímicas del jarabe de fruta (miel) para el turrón peruano de “Doña Pepa” entre las que destaca la viscosidad, humedad y contenido de agua. Determinaron Olegario Marín-Machuca, José Iannacone et.al la concentración óptima para una mejor viscosidad, entre las que destacan 0,60 %, 0,80 %, 1,00 %, 1,20%, 1,40 % y 1,60%. Se concluye que la goma (xantán y tara) a una temperatura de 22 °C y 84° Brix se comportan como excelente espesante. [7]

En el trabajo realizado por Marta Blanco Pérez, se hizo una caracterización de distintos tipos de mieles tanto mono florales como mieladas.

A su vez también se observó cómo el origen geográfico no varía el comportamiento, pero cuando se estudiaron los comportamientos establecidos por la legislación vieron como influían todos los parámetros como HMF, polinidad, y color entre otros

Los más influyentes fueron los del color y la conductividad con valores más altos para variedades de castaño, brezo y mielada y bajos para romero, azahar y cantueso. Lo mismo ocurre con HMF ( contenido en azúcares y diastasas). La conclusión fue que todos cumplían el 100% con la Normal Nacional de la calidad a excepción del azahar y tres muestras de romero encontradas al límite. [8]

El objetivo del trabajo «Identificación de marcadores químicos en mieles monoflorales españolas,» que presenta es la identificación y clasificación de los distintos pólenes que presentan las mieles para su correcta clasificación. Para ello destaca la capacidad de información de una fracción volátil en 5 variedades de mieles mono-florales. Se detectaron 116 compuestos volátiles de los cuales 10 de ellos no mostraron diferencias volátiles. Se concluye que la técnica SPMEGC-MS ( es la idónea para la obtención de información acerca de la polinidad gracias a la adsorción de fracciones orgánica volátiles en fase sólida inmovilizada sobre una fibra) [9]

En este trabajo, «Efecto de la Adición de Jarabes de Sacarosa y Fructosa en el Comportamiento Reológico de Miel de Abejas.» se estudia la viscosidad presente en las mieles como resultado de la adición de jarabe de fructosa y sacarosa en un porcentaje de 0 a 50%. Se llega a la conclusión de que este tipo de mieles son de comportamiento newtoniano. También, al aumentar el número de aditivos en la miel, menor es su viscosidad. Por lo tanto, se puede saber cuánta adulteración presenta la miel con respecto a su viscosidad. [10].

En la tabla 1 se observan diferentes tipos de mieles y algunos de sus parámetros característicos más importantes que son comentados en el punto 2.4.1.2. del proyecto, correspondiente al título “Parámetros de identificación y calidad de la miel”

Continents/countries	Sugars (g 100 g <sup>-1</sup> )			Moisture (g 100 g <sup>-1</sup> )	Free acidity (meq kg <sup>-1</sup> )	Electrical conductivity (μS cm <sup>-1</sup> )	Color (Pfund scale)
	Fructose	Glucose	Sucrose				
European/Spain	37.75–41.40	28.80–37.30	0.15–1.43	15.40–17.38	20.10–35.20	0.24–0.99	Light amber–dark amber
European/Spain, Romania, and Czech Republic	39.30–49.20	26.80–38.30	0.60–2.20	15.30–17.50	–	0.17–0.80	Water white–light amber
European/Greece	–	–	–	10.47–20.47	22.31–41.54	0.81–1.75	L: 60.78–72.74 (dark honeys); a: –5.05 to –1.95; b: 13.35–30.30
African/Morocco	39.44–42.42	29.25–33.08	0.47–1.86	14.64–18.59	10.69–30.74	0.31–1.12	White–dark amber
African/Tunisia	35.78–37.84	31.07–36.58	n. d. –4.60	17.27–19.80	7.11–27.20	0.39–0.89	L: 36.64–51.37 (dark honeys); a: –0.67 to 4.41; b: 6.06–17.67
Asian–European/ Turkey	29.80–44.49	25.93–35.98	2.85–8.44	7.99–17.40	3.86–30.42	–	L: 8.88–18.54 (dark honeys); a: 2.64–8.04; b: 11.50–23.56
Asian/Indian	43.30–65.50		0.40–8.80	17.20–21.60	–	0.33–0.94	L: 26.3–36.8 (dark honeys); a: 0.12–4.9; b: 0.7–14.4
American/Argentina	67.70–73.5		0.40–5.6	14.10–18.80	9.00–36.8	0.12–0.68	Extra white–dark amber
American/Uruguay	–		–	16.60–18.61	–	0.41–0.99	Extra light amber–amber
American/Brazil	33.30–38.60	21.00–26.35	0.12–0.50	17.10–20.50	23.60–45.50	–	–

Tabla 1 : Identificación y parámetros de calidad de diferentes mieles

## **2.4 MARCO TEÓRICO**

En esta sección se trata acerca de conocimientos básicos sobre el proyecto, primeramente, en relación con el estudio reológico, además de la implementación digital.

### **2.4.1 MODELOS REOLÓGICOS**

#### **2.4.1.1. DEFINICIÓN REOLOGÍA**

Se denomina reología, (palabra introducida por Eugene Bingham en 1929), al estudio de la deformación y el fluir de la materia.

Una definición más moderna expresa que la reología es la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir. La reología, es una parte de la mecánica de medios continuos. Una de las metas más importantes en reología es encontrar ecuaciones constitutivas para modelar el comportamiento de los materiales. Dichas ecuaciones son en general de carácter tensorial.

Dicho en otras palabras, se le conoce como reología al estudio de los comportamientos que presenta el fluido cuando se les someten a diversos esfuerzos [11]

### 2.4.1.2. CONCEPTOS PRINCIPALES REOLÓGICOS

Elasticidad y viscosidad son dos conceptos principales dentro del estudio reológico.

La **elasticidad** se encuentra dentro del campo de la física. Se trata de una propiedad mecánica frente a acciones de fuerzas y recuperar la forma que tenía inicialmente en el caso en el cual las fuerzas se anulen.

Según la Ley de Hooke cuando le aplicamos una fuerza sobre un sólido este experimenta una deformación que va a ser directamente proporcional al esfuerzo aplicado. Una vez que el sólido recupera su forma inicial significa que el esfuerzo desaparece.

Todos los materiales elásticos tienen un límite elástico a partir del cual si se sobrepasa actúa como un plástico, es decir, de deformación permanente.

En primer lugar, los fluidos se pueden caracterizar según el comportamiento de la **viscosidad** frente a una serie de factores, como la velocidad de deformación o cambio en el esfuerzo cortante, también conocido como esfuerzo de cizalla, el cual consta de la fuerza que se realiza sobre un fluido con respecto a su área de manera paralela. A la constante de proporcionalidad de estos dos factores se le conoce como viscosidad, o conocido como resistencia de un fluido a deformarse debido al rozamiento entre sus moléculas. Se puede manifestar tanto en líquidos como en gases. Esta es independiente de la densidad, pero si dependiente de la temperatura como se verá más adelante.

En el Sistema Internacional (SI) se mide como Pa. s (Pascales x segundos) pero si queremos basarnos en el entorno industrial es más utilizado el poise con la siguiente relación:  $1\text{cp} = 1\text{mPa}\cdot\text{s}$

Normalmente, cuando nos encontramos con valores de temperatura ambiente en torno a 20°C, podemos decir que el valor de viscosidad de la miel está a  $10^4$  mPa.s (mili Pascal segundo).

### 2.4.1.3. DINÁMICA DE LOS FLUIDOS

Podemos distinguir dos tipos de viscosidades en Mecánica de Fluidos:

- **Viscosidad dinámica o viscosidad absoluta** se le conoce como la relación existente entre el esfuerzo cortante o de cizalla y su gradiente de velocidad. Es decir, la resistencia que opone frente al esfuerzo cortante . Esta se denomina con la letra  $\mu$ .

Según la Ley de Newton la viscosidad dinámica es :

$$\mu = \tau / \gamma \quad \dots\dots\dots(1)$$

Medida en Pas (normalmente se utiliza centipoise, cp )

- **Viscosidad cinemática**, a diferencia de la anterior esta se trata del cociente entre la viscosidad dinámica ( $\mu$ ) y la densidad del fluido ( $\rho$ )

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \dots\dots\dots(2)$$

Medida en  $m^2/s$  . Esta también tiene su equivalente cst ( centistoke)

$$1 \text{cst} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$



#### 2.4.1.4. CURVAS DE FLUJO Y DE VISCOSIDAD

Se le denomina **curva de flujo** a la relación que presenta de una manera gráfica el esfuerzo cortante con respecto a la velocidad de deformación.

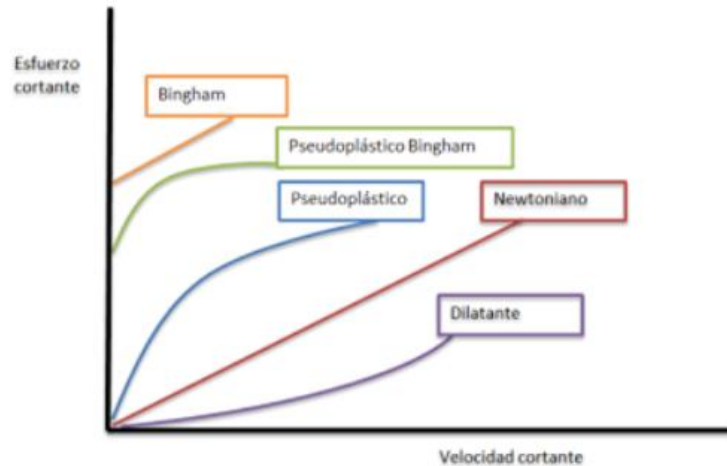


Figura 1. Curva de flujo. Fuente: Darlington Engineers

Sin embargo, también se puede encontrar la **curva de viscosidad** conocida como la viscosidad en relación con la velocidad de deformación.

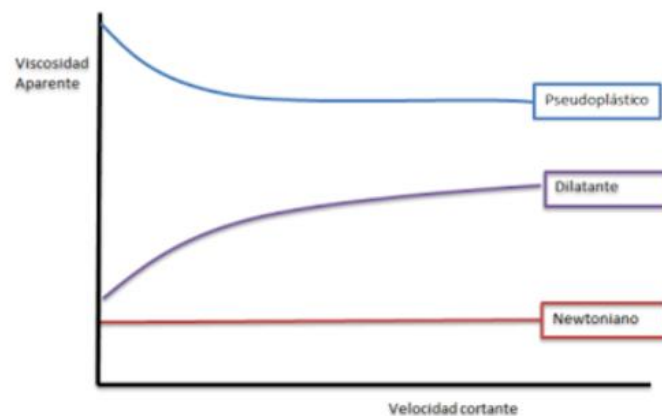


Figura 2. Curva de viscosidad Fuente: Darlington Engineers

Se le conoce como esfuerzo cortante o de cizalla a la resistencia que opone un fluido frente a dicha fuerza. Unidad de medida son los Pascal (Pa).

Velocidad de deformación a la medición de dicho cambio con respecto al tiempo presentado, en este caso será de 0 a 600 s. Se mide en  $s^{-1}$  o Hzs.

### 2.4.1.5. TIPOS DE MODELOS REOLÓGICOS

Dentro de los modelos reológicos destacan dos grupos, los llamados fluidos newtonianos y los no newtonianos.

Estos primeros se les conoce debido a que se mantiene constante el valor de la viscosidad cuando se le aplica un esfuerzo constante con respecto a su velocidad de deformación. Esta característica se observará en un gráfico llamado curva de flujo que relaciona estas dos principales propiedades [12]

Básicamente cumplen con la **Ley de viscosidad de Newton**:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \dots\dots\dots(4)$$

$\mu$ = constante, (mPa.s)

Donde  $du/ dy$  es la velocidad de deformación.

También, representado como  $\dot{\gamma}$  en  $s^{-1}$  y la  $\mu$  representa la viscosidad dinámica (Pa s)

Al esfuerzo cortante se le conoce como  $\tau$  , siendo este :

$$\tau = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(5)$$

Sin embargo, en cuanto a los fluidos no newtonianos, son aquellos en los cuales, la viscosidad de fluido se ve influenciada por la velocidad de formación con respecto a la fuerza de corte. No actúa de una manera constante, y por lo tanto no siguen la Ley de Newton, ya que el valor de viscosidad no se comportar de una manera constante. [13]

Siguen la ecuación de **Ostwald Waele** que se verá más adelante.

$$\tau = k * \dot{\gamma}^n \dots\dots\dots(6)$$

En cuanto a los **independientes del tiempo**, estos se dividen en tres grupos, plásticos de Bingham, pseudoplástico o Dilatantes.

- Los plásticos de Bingham se caracterizan por tener una relación lineal entre los valores de la curva de flujo, es decir, esfuerzo cortante y velocidad de deformación una vez que han superado un límite específico de valor cortante.

Estos se le conocen como plásticos ideales y se rige según la fórmula de Bingham:

$$\tau = \tau_0 + \eta_B * \dot{\gamma} \dots\dots\dots(7)$$

$\eta_B$  es la viscosidad plástica del material

Siendo  $\tau_0$  el esfuerzo inicial o umbral

Si el esfuerzo cortante inicial se encuentra por encima de  $\tau_0$  este se comporta como un fluido newtoniano, en el caso contrario como un no newtoniano

- Pseudoplásticos son aquellos en los que a medida que la velocidad de deformación aumenta la viscosidad tiende a disminuir, a mayor esfuerzo cortante, menor viscosidad. Normalmente esto ocurre debido a que hay una serie de uniones de microfibras que se encuentran empaquetadas, pero por esta característica tienden a estirarse.

Suelen seguir una fórmula de esfuerzo cortante o de cizalla, mediante la ecuación de Ostwald Waele o también llamado ley de potencia.

$$\tau = k * \dot{\gamma}^n \dots\dots\dots(8)$$

Siendo k el índice de consistencia y n el índice de fluidez. Dependiendo de dicho índice, es decir, n, se obtiene un criterio:

- n=1 corresponde con fluido newtoniano
- n<1 corresponde con un pseudoplástico
- n>1 corresponde con un dilatante

---

Dependiendo del índice se muestra el comportamiento de un fluido no newtoniano.

- Dilatantes, son los fluidos en los que ocurre de manera contraria, cuando la velocidad de deformación aumenta, la viscosidad aumenta a su vez.

Se utiliza la misma fórmula mediante la ecuación de Ostwald Waele, pero a diferencia del pseudoplástico este significa que su grado de comportamiento del fluido es de  $n < 1$

### 2.4.1.1. EFECTO DEL TIEMPO

A continuación, se verán aquellos en los que el factor del tiempo se ve influenciado, es decir, **dependientes**.

Estos se pueden dividir en tres tipos, **tixotrópicos, reopécticos y viscoelásticos**.

- Tixotrópicos, se tratan de aquellos fluidos los cuales la viscosidad disminuye con la velocidad de deformación, pero a su vez son dependientes del tiempo ya que cuanto mayor sea, la viscosidad disminuye como por ejemplo en el caso de los yogures.
- Reopécticos, se les denomina a los fluidos que en reposo son líquidos, pero cuando se le aplica un esfuerzo cortante se solidifican.

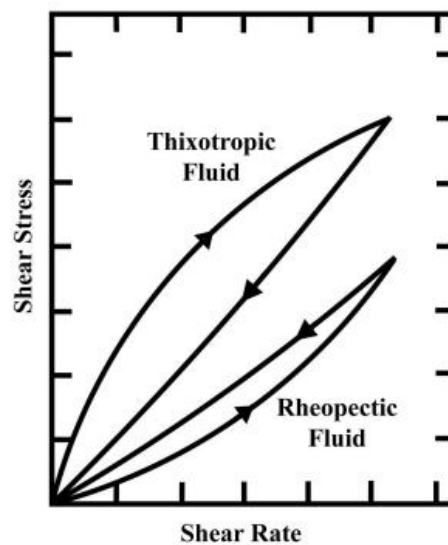


Figura 3: Fluidos tixotrópicos y reopécticos. Fuente: universidad nacional agraria

- Viscoelásticos, son características propias de fluidos no newtonianos, los cuales presentan una fuerza que se opone al movimiento conocido como viscosidad, y una componente que es elástica que permite al fluido a volver a la posición inicial. En otras palabras, son los que cuando se le aplica el esfuerzo cortante a una velocidad de deformación presentan tanto propiedades viscosas, como elásticas. Durante todo este proceso se absorbe una parte del trabajo en forma de calor.



Figura 4: Esquema tipología de fluidos. Fuente: Elaboración propia

### 2.4.1.2. PUNTO DE FLUJO

Esto se determina según el esfuerzo umbral utilizado para que dicho fluido comience a fluir, dicho en otras palabras, es aquel que manteniéndole un esfuerzo cortante es capaz de deformarse de manera constante.

Debido a las interacciones entre las partículas son de gran importancia en suspensiones.

## 2.4.2 ASPECTOS TEÓRICOS SOBRE MIELES.

### 2.4.1.2. PARÁMETROS DE IDENTIFICACIÓN Y CALIDAD DE LA MIEL

Entre los parámetros característicos para la identificación de las mieles, se encuentran: tipo, composición, humedad, pH, conductividad, color.

Los **azúcares** son fundamentales en la composición de las mieles. Estos han sido estudiados por varios científicos la gran cantidad de azúcares como fructosa y glucosa entre otros. Estos pueden variar según el tipo de almacenamiento que presenten.

Estos azúcares se encuentran en las mieles debido a la sacarosa que produce el néctar y por ello también se pueden se suelen analizar los niveles de sacarosa para observar la calidad y cualquier manipulación de la miel, es decir evalúa la madurez de la miel. [14]

**Acidez y pH**, En cuanto al parámetro del pH, se han estudiado que ciertos rangos de pH, (entre 3,2 y 4,5) impiden la formación de microorganismos en las mieles. Si se toma el parámetro de la libre acidez sirve para la determinación del deterioro de la miel.

Hay varios factores que pueden afectar a su acidez debido a la diferencia de ácidos orgánicos, temporada de cosecha y lugar geográfico. [14]

**Cenizas**, trata de una medida de calidad el cual mide el contenido mineral, que este depende del lugar geográfico... que además se encuentra relacionado con el color y sabor de esta.

Se estima que el valor medio de cenizas en la miel ronda entre el 0,17% p/p (peso de soluto /peso de la disolución) [14]

A continuación, se detallan algunos de ellos, en función del interés en este trabajo.

### 2.4.1.3. CONCEPTOS PRINCIPALES HUMEDAD

Existen varios factores que pueden influir en el comportamiento de la miel como por ejemplo la calidad y composición de materia prima, factores climáticos...

La miel se compone de tres grupos fundamentales, azúcares, no azúcares y agua. Aunque tanto el agua como el azúcar forman el 99% de la miel.

Normalmente, cuando la miel se encuentra bien conservada y procesada presenta una humedad entre los valores de 17 y 18%. El néctar que es llegado a la colmena presenta un gran contenido en agua, más de un 52%, aunque el llenado solo se hace cuando la humedad es la máxima (20%).

Debido a la elevada humedad atmosférica, hace que produzca un aumento de humedad en la colmena y por lo tanto una mayor humedad en la miel debido a las **propiedades higroscópicas**, siendo esta la capacidad que tiene la miel de absorber la humedad.

En cuanto a la humedad de los almacenes no puede superar el 60%

Normalmente la miel más cristalizada es más higroscópica que la miel fluida o líquida

Se puede observar en la tabla las correlaciones entre brix y densidades, grados...

Requisitos de la calidad de la miel en cuanto al contenido de humedad según el reglamento sanitario de los alimentos, Decreto Supremo N.º 977/76, artículo nº 324; debe de ser menor a un 20%

Mientras menor sea el porcentaje de la miel se va a conservar de mejor manera. Si ocurre que la humedad es mayor, cuando la conservamos durante un cierto período de tiempo va a fermentar y por lo tanto contaminación por hongos.



**Table 5.6 Honey Conversion Table – °Brix, Specific Gravity and % Moisture Relationships\***

% Moisture	Specific Gravity (20 °C)	°Brix at 20°C (Refractometer 0 - 90 range)	Refractive Index at 20 °C	% Moisture	Specific Gravity (20 °C)	°Brix at 20 °C (Refractometer 0 - 90 range)	Refractive Index at 20 °C
13	1.4525	85.66	1.5041	17	1.4239	81.45	1.494
13.2	1.451	85.45	1.5035	17.2	1.4225	81.25	1.4935
13.4	1.4495	85.24	1.503	17.4	1.4212	81.04	1.493
13.6	1.4481	85.03	1.5025	17.6	1.4197	80.83	1.4925
13.8	1.4466	84.82	1.502	17.8	1.4184	80.63	1.492
14	1.4453	84.61	1.5015	18	1.4171	80.42	1.4915
14.2	1.4438	84.39	1.501	18.2	1.4156	80.21	1.491
14.4	1.4428	84.18	1.5005	18.4	1.4143	80.01	1.4905
14.6	1.4409	83.97	1.5	18.6	1.4129	79.8	1.49
14.8	1.4395	83.76	1.4995	18.8	1.4115	79.59	1.4895
15	1.4381	83.55	1.499	19	1.4101	79.39	1.489
15.2	1.4367	83.34	1.4985	19.2	1.4087	79.18	1.4885
15.4	1.4352	83.13	1.498	19.4	1.4074	78.97	1.488
15.6	1.4338	82.92	1.4975	19.6	1.406	78.77	1.4876
15.8	1.4324	82.71	1.497	19.8	1.4046	78.56	1.4871
16	1.431	82.5	1.4965	20	1.4033	78.35	1.4866
16.2	1.4295	82.29	1.496	20.2	1.402	78.15	1.4862
16.4	1.4282	82.08	1.4955	20.4	1.4006	77.94	1.4858
16.6	1.4267	81.87	1.495	20.6	1.3992	77.74	1.4853
16.8	1.4254	81.66	1.4945	20.8	1.3979	77.53	1.4849

\* Data from the table compiled by H.D. Chetaway. National Research Laboratories - Ottawa.  
Temperature corrections are as follows: Specific Gravity = .0006 per °C or .00033 per °F; °Brix value = .09 per °C or .05 per °F; Refractive Index = .00023 per °C or .00013 per °F. If the temperature is above 20°C, add the correction; if it is below 20°C subtract the correction.

*Tabla 2 : Equivalencia de grados brix y porcentaje de humedad de la miel. Fuente: comunidad de foros de apicultura*

#### **2.4.1.4. CONDUCTIVIDAD**

En cuanto a la conductividad que presentan cualquier fluido, en este caso las mieles, representan la capacidad de conducir la electricidad. Para la medición de esta propiedad, se utiliza un equipo llamado Crison CM 35.

La conductividad se mide en mS/cm (Mili siemens/ centímetro). Esta varía en función de la cantidad de sales que presente la miel. Se trata de la inversa de la resistividad.

$$\text{Conductividad} = 1 / \text{resistividad} \dots \dots \dots (9)$$

Cuando el valor de conductividad es alto, significa que las corrientes son más altas y por tanto presenta una mayor concentración de sales disueltas. Estos valores dependen mucho de la temperatura a la que se encuentre, por lo que normalmente se toman a temperatura ambiente.

También, es cierto que en mieles los valores de conductividad se muestran prácticamente invariantes con respecto al cambio de temperatura.

Cabe destacar que según el tipo de miel que se esté midiendo se basan en un valor de conductividad o en otro. Siempre que se mide miel, se habla de un rango mayor o menor de 0,8mS/cm [15].

<b>Origen de la miel</b>	<b>Conductividad eléctrica (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>	<b>Color (mm Pfund)</b>
Acacia (Robinia pseudoacacia)	Menos de 300	Menos de 35
Aguacate (Persea ssp)	Más de 800	Más de 80
Albaida (Anthyllis cytisoides )	Menos de 300	Menos de 40
Alfalfa (Medicago sativa )	Menos de 300	Menos de 35
Almendro (Prunus amygdalus )	Menos de 25	Menos de 30
Bosque (Mezcla de mielada y miel floral)	700 a 900	Más de 90
Biércol, septembrina (Calluna vulgaris)	Más de 600	Más de 70
<b>Brezos, urces (Erica ssp)</b>	Más de 600	Entre 49 y 114
Cantueso (Lavandula stoechas)	Menos de 500	Más de 50
Castaño (Castanea sativa)	Más de 800	Más de 70
Chupamieles, argamula, viborera (Echium ssp)	Menos de 500	Menos de 48
Espliego (Lavandula vera, L. latifolia)	Menos de 300	Entre 30 y 84
Eucalipto (Eucaliptus ssp)	Menos de 400	Entre 40 y 80
Girasol (Helianthus annuus)	Menos de 45	Entre 30 y 48
Limón (azahar) (Citrus limonia)	Menos de 300	Menos de 35
Madroño (Arbutus unedo)	Más de 600	Más de 80
<b>Mielada de alcornoque, encina o roble</b> (	Más de 800	Más de 90
Montana (Multifloral de matorral y bosque de montaña)	Menos de 800	Más de 80
Naranja y mandarino (azahar) (Citrus ssp)	Menos de 300	Menos de 30
Pradera (Multifloral de pradera, Fabaceae -Leguminosaceae-)	Menos de 300	Menos de 48
Retama (Lygos sphaerocarpa)	Menos de 700	Más de 70
<b>Romero (Rosmarinus officinalis)</b>	Menos de 300	Menos de 35
Tomillo (Thymus ssp)	Menos de 400	Entre 40 y 84

Tabla 3: Control de calidad de las mieles. En amarillo, los tipos de mieles similares a las tratadas en este estudio. Fuente: , A. G., Pajuelo, A. G., Consultores, E., & Miquel, A.-S. (s/f)

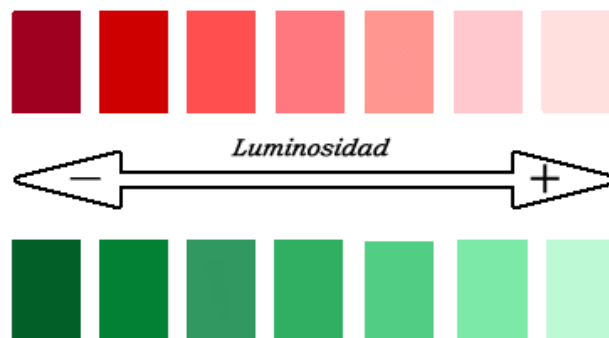
### 2.4.1.5. COLORIMETRÍA

Podemos definir la colorimetría como la ciencia que estudia las medidas cualitativas y cuantitativas del color. Nos ayuda a medir y combinar los colores según las necesidades de cada momento. [20]

La colorimetría se trata también de un estímulo cuya percepción varía en función de quien lo recibe, por lo que los resultados suelen ser subjetivos. Para ello como resultado se emplean elementos fotométricos que se verán adelante.

Los colores se representan una serie de variables a tener en cuenta:

- **Luminosidad**, cantidad de luz que se emite en todas direcciones . Debido a un cambio de intensidad hace que un color tenga mayor o menor luminosidad. Por ejemplo, un color oscuro presenta una menor luminosidad mientras que uno claro una mayor luminosidad



*Figura 5: representación de luminosidad. Fuente: Franja industriales*

- **Brillo**: se define como la cantidad de luz emitida por un objeto
- **Tono**: significa la luz de onda dominante debido a las ondas luminosas percibidas. Siendo unas de las propiedades más importantes del color.

Estos son los primeros en ser procesados en el cerebro

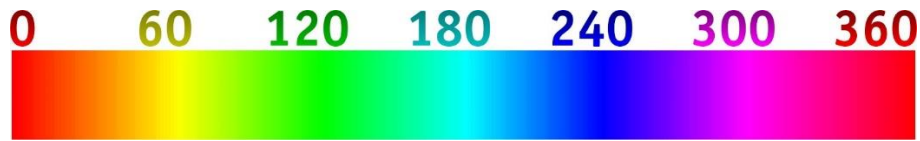


Figura 6: tonalidad de colores. Fuente: multimedia integral

En este proyecto se realizará un estudio con la **escala Pfund** ( permite una clasificación de la miel según su tonalidad) se explicará a posteriori

La escala Pfund se trata de una escala de colores medidos según la tonalidad que presente el color ( mm ) . Esta escala es usada en la apicultura para distinguir las distintas tonalidades de miel (0 - 8 mm. 8 - 16 mm)

Con esta escala permite unificar criterios para clasificar la miel. Pfund define 7 intervalos

- Primer intervalo: (0-8mm) desde el muy claro hasta el blanco agua
- Último intervalo: (114-140) ámbar oscuro

Además del tipo de miel que sea, es decir, mielada, floral... se puede distinguir según la temperatura, el néctar y el tiempo de almacenamiento.

Los colores predominantes en la miel son el blanco, ámbar extra claro, ámbar claro, ámbar, y ámbar oscuro. [16]

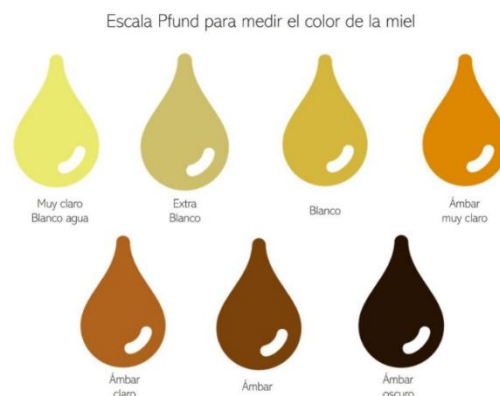


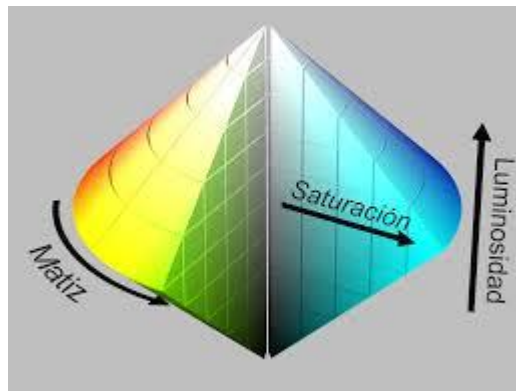
Figura 7 : posibles colores de la miel. Fuente: Beevoo

Entre las 20000 especies de abejas que hay, las que producen miel abarcan una cantidad de 600

Los colores de las mieles dependen de varios factores como origen floral, según la variedad de las enzimas que posea la abeja, según la forma de almacenamiento...Según el néctar que posea hace que tengas distintas proporciones de azúcar y por lo tanto diferencias en el color.

Un dato a tener en cuenta es que el color de la miel no determina su calidad.

- **Saturación o matiz** , la medida en la cual el color se va alejando de la tonalidad gris. Es decir, se caracteriza la distancia entre el centro de la circunferencia hacia el exterior.



*Figura 8: modelo de color HSL. Fuente: Guarrocasas*

Se le llama al color HSL, al tono (Hue), Saturación (Saturation) y luminosidad (Light Ness) es decir no se tratan siglas de los colores sino de sus variables.

### 2.4.1.6. FOTOMETRÍA

La fotometría es aquella encargada de la medición de la intensidad de color que presenta un objeto de manera objetiva.

Es capaz de conocer el color según la cantidad de longitud de onda que adsorba o dicho objeto. Para ello se emplean foto receptores como son las fotorresistencias. Estas son las encargadas de producir una señal eléctrica cuando la luz ha incidido sobre la muestra.

Parameter	Test Conditions	Red Channel		Green Channel		Blue Channel		Clear Channel			Unit
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Typ	Max	
R <sub>e</sub> Irradiance responsivity	$\lambda_D = 465 \text{ nm}^{(2)}$	0%	15%	10%	42%	65%	88%	11.0	13.8	16.6	counts / $\mu\text{W}$ / $\text{cm}^2$
	$\lambda_D = 525 \text{ nm}^{(3)}$	4%	25%	60%	85%	10%	45%	13.2	16.6	20.0	
	$\lambda_D = 615 \text{ nm}^{(4)}$	80%	110%	0%	14%	5%	24%	15.6	19.5	23.4	

Tabla 4 : Datasheet TCS 34725 longitud de onda. Fuente: Datasheet TCS 34725

A continuación, se expondrán uno de los equipos comerciales fotométricos más frecuentes: escáner, reflectó metro y Sensor RGB.

En este trabajo se comenta acerca de dicho sensor RGB

## 2.4.3 MODELADO ELECTRÓNICO

En cuanto a la parte de implementación electrónica hay que tener en cuenta una serie de conceptos principales.

### 2.3.4.1. BUS I2C

El **bus I2C** se trata de un bus de serie para transmisión de datos. Principalmente sirve para comunicación entre cada una de las partes del circuito como por ejemplo de la Heltec que es la que se utiliza en este proyecto.

Este tipo de bus cuenta con dos hilos los cuales se pueden conectar una serie de dispositivos, algunos denominados maestros que son los que mandan las órdenes necesarias a los llamados esclavos. Los maestros son los que toman la iniciativa y deciden cuándo comenzar y finalizar el proceso.

Para saber dónde y si se encuentran los dispositivos conectados a cada uno se le asigna una dirección específica.

En cuanto a la capacidad de número de dispositivos conectados es limitado ya que sólo se permiten de 7 a 10 bits con una carga máxima del bus de 400pF.

En esta imagen se puede observar cómo se encuentran conectados los maestros y los esclavos según un bus I2C con SCA siendo este el bus de datos, y el SCL, siendo este el de reloj

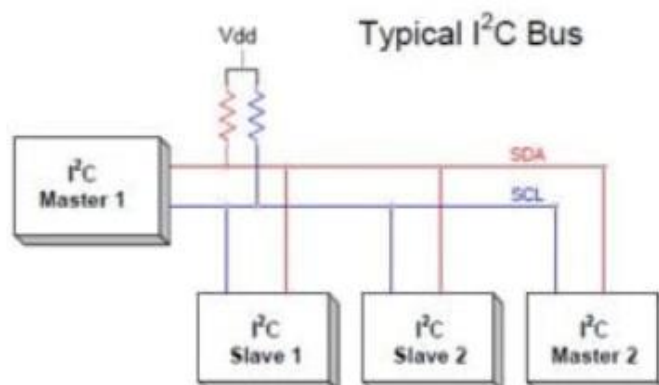


Figura 9: comunicación por puerto I2C. Fuente: control automático educación



### Funcionamiento del bus I2c:

En primer lugar, se comienza con el inicio formado por un bit de arranque, START, el cual hace que se inicialice la comunicación. En cuanto a la finalización se termina con el bit de STOP.

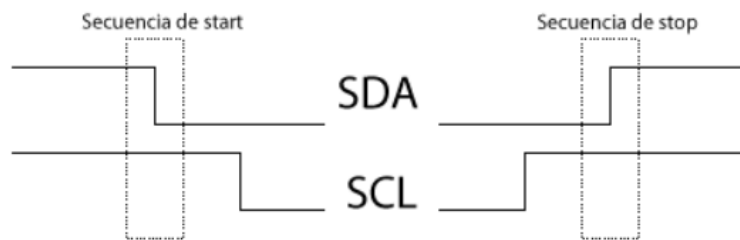


Figura 10: comunicación I2C Fuente: control automático educación

Para saber si nos encontramos con el SDA activado se puede averiguar de una manera.

Al iniciar dicho proceso, se sabe que el bus I2C está formado por cadenas de colector abierto, por lo tanto, se necesita poner una resistencia con una fuente de alimentación de 5V para cerrar el circuito y que conduzca la intensidad.

Es por eso por lo que antes de inicializar, tanto el SDA como el SCL se encuentran en nivel alto. Cuando se comienza con el START ocurre que el SDA pasa a un nivel bajo, mientras que el SCL se encuentra en el nivel del comienzo, es decir, en nivel alto.

Una vez que ya se encuentra en proceso, para saber si cambia a STOP, se observa cómo cambia el SDA, que estaba en nivel bajo a alto, manteniéndose el SCL en alto.

A la hora de la transmisión de datos, cada maestro manda la dirección correspondiente al esclavo con el que quiere comunicarse.

Este también, a parte de la dirección, envía el bit (W/R), el cual si pone un 0 significa lectura, sin embargo, un 1 significa escritura en el esclavo. El esclavo debe responderle una vez que recibe la información, en consecuencia, el esclavo envía un bit de confirmación como respuesta. A este bit se le denomina ACK [17]

En cuanto al bit de confirmación si le responde con un 0, significa que lo ha recibido correctamente. Si es un 1 ( NOACK) es decir, el bit es que la no se ha producido una confirmación por parte del esclavo de la tarea. Si se recibe un 2 (MULTIMASTER) y por lo tanto una colisión de información debido a que hay una misma dirección para dos maestros diferentes.

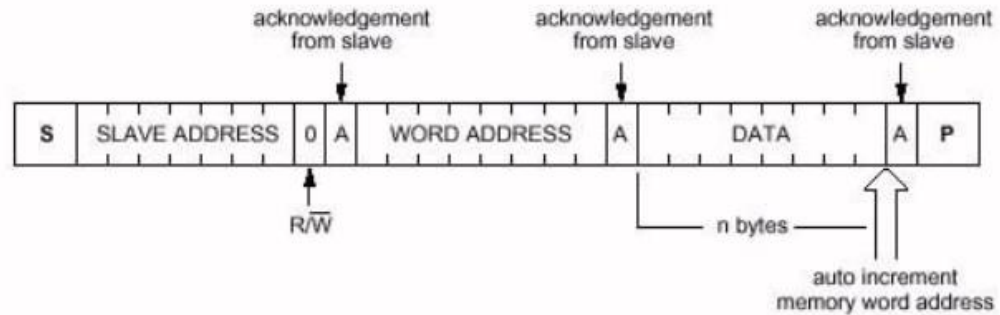


Figura 11: Bus de datos mediante comunicación I2C. Fuente: control automático educación

En la imagen se ve la estructura de cómo se transmite un bus de datos desde el maestro hasta el esclavo.

Este proyecto contiene este tipo de bus a la hora de la transmisión de datos.

La Heltec es un sistema (plataforma) que incluye un micro específico (ESP 32), es decir, el encargado de la ejecución de programas solo en sistema binario. También integra pantalla, wifi lora, outputs... Tanto el output de SDA como SCL se encargan de la transmisión de datos mediante lo que este bus I2C

Este es el esquema de pines que presenta. Siendo el pin 4, SDA el pin 15, SCL.

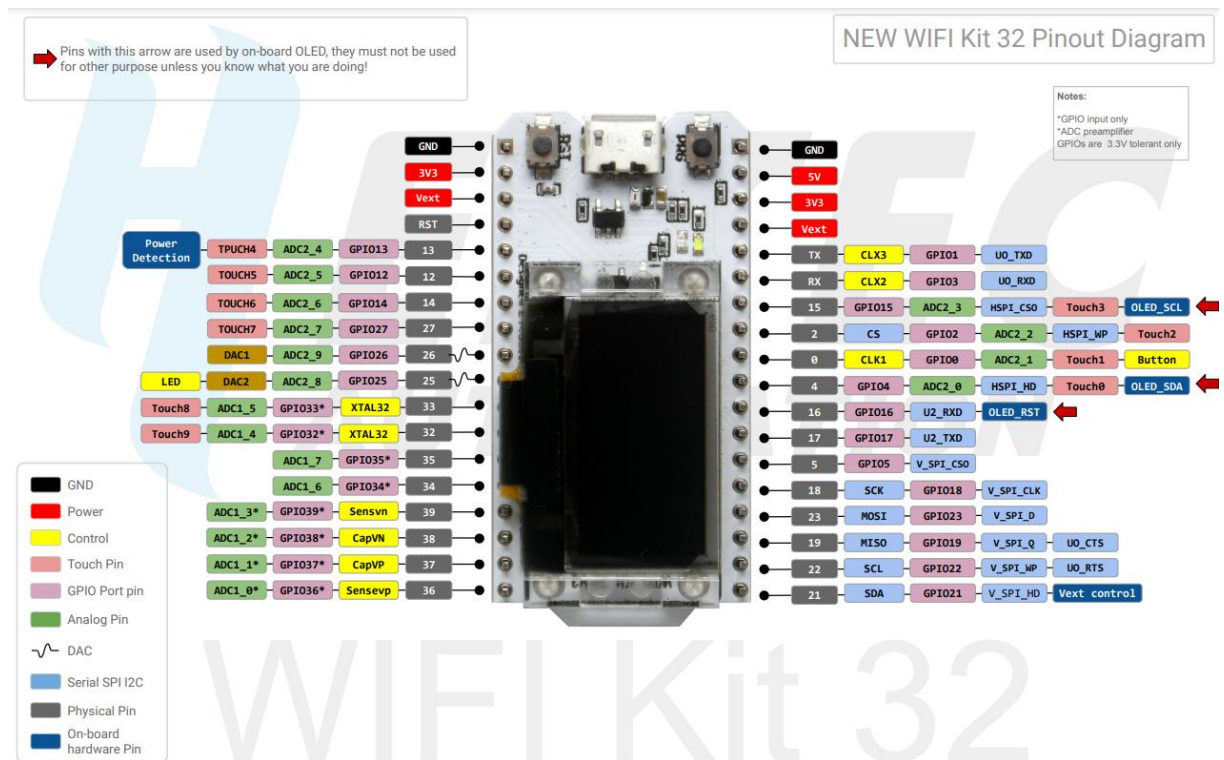


Figura 12: esquema Heltec wifi lora 32 V2 , pinout diagram

### 2.3.4.2. PANTALLAS OLED

Se utilizan las pantallas OLED, ( organic light-emitting diode) o en español, diodo orgánico de emisión de luz. Estas láminas están entre dos conductores por lo que cuando se le transmite una corriente hacen que emitan luz.

La diferencia entre el tipo de pantallas OLED y las LCD son que las OLED no requieren back light o luz de fondo, por lo tanto, hacen que sean más económica y con un menor consumo.

### 2.3.4.3. SENSOR RGB

Se trata de un dispositivo el cual es capaz de detectar los valores principales de color como son el rojo, verde y azul ( coordenadas RGB). A partir de ahí capta una información de la intensidad de dichos colores, sobre sus coordenadas en RGB.

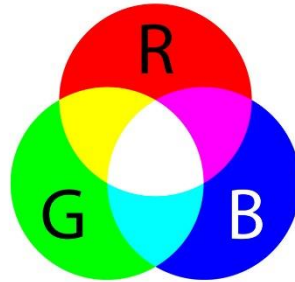


Figura 13: color RGB. Fuente: HiSour

Estos colores se transforman en colores digitales, ( coordenadas) y la suma de las contribuciones dan una serie de colores de 8 bits

Los valores que se toman son de 0 a 255 siendo este el rango de combinación entre colores

Cuando se habla de matiz se habla del estado puro que presenta el color, como azul, verde...

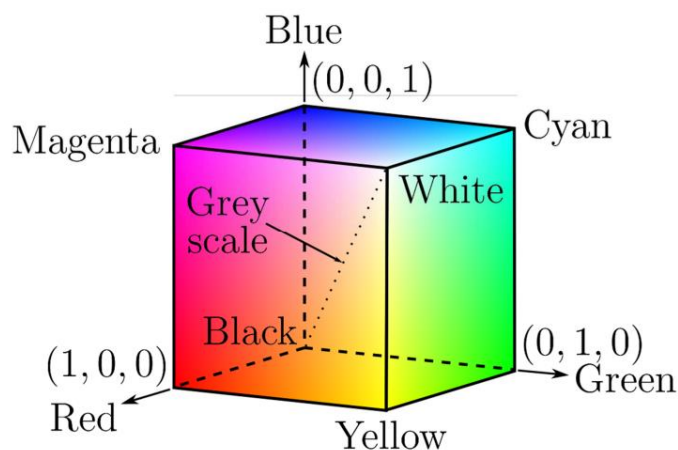


Figura 14: cubo RGB (coordenadas). Fuente: reproduction of colour, R.W.G. Hunt (6th ed)

Tiene varias aplicaciones como medir la temperatura de color, controlar la intensidad... Esto es muy utilizado en tabletas, impresoras... incluso en el sector médico e industrial.



Figura 15: modelos distintos RGB. Fuente: Jorge Lorente, 22.02.2018

Los LEDs se utilizan para generar una luz intensa y así iluminar la superficie que a continuación el sensor es capaz de detectar el color de la misma.

El LED tiene un sensor que sirve para alumbrar objetos de colores donde la luz blanca va a chocar con los objetos solamente refleja la luz necesaria a tener en cuenta.  
[18]

En cuanto al array de fotodiodos como se muestra en la imagen permite traducir la luz que incide en corriente eléctrica que luego el mismo sensor, posteriormente lo convierte en una señal cuadrada en forma de frecuencia variable para ser leído en Arduino.

Matriz de fotodiodos 3x4 que contiene IR blocking filter, es decir, bloquea la luz infrarroja por filtros de colores. Aunque no se sabe en las especificaciones si va primero el filtro de luz infrarroja o el filtro de color.

Se trata de 16 fotodiodos con filtro rojo, 16 con filtro verde, 16 con filtro azul, y 16 sin filtro, siendo un total de 64 fotodiodos

Sin los fotodiodos del sin filtro sería muy difícil captar los colores principales.

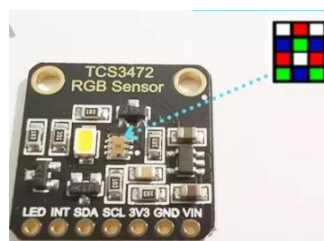


Figura 16: array de fotodiodos . Fuente: Jorge Lorente, 22.02.2018

#### 2.3.4.4. FUNCIONAMIENTO TCS 34725

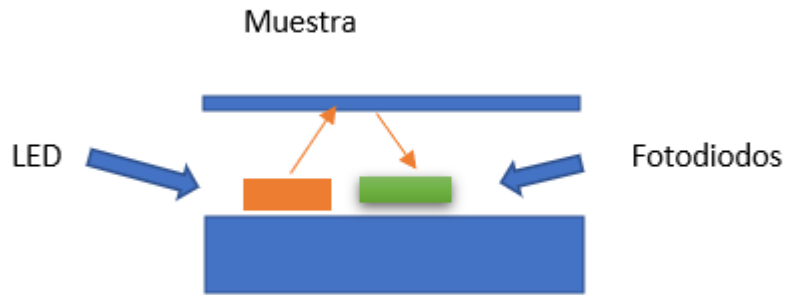


Figura 17: Funcionamiento sensor RGB. Fuente: elaboración propia

En primer lugar, el LED emite una luz para iluminar y que presente la misma intensidad dicha muestra, a continuación, la muestra refleja la luz y los fotodiodos captan dicha luz en forma de longitud de onda, los cuales finalmente se transmite como frecuencia variable, su longitud de onda.

Una vez que la luz es transmitida a los fotodiodos se produce estas fases:

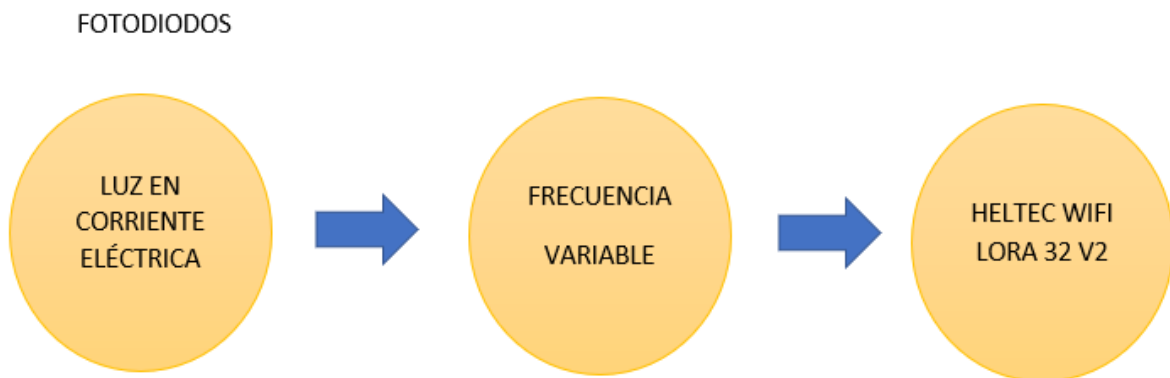


Figura 18: Funcionamiento fotodiodos. Fuente: elaboración propia

## 2.5 MATERIALES Y EQUIPOS

### 2.5.1 MUESTRAS

En este trabajo se han estudiado tres tipos de mieles: Romero, Brezo Erica y Levantamueertos, de la empresa “Madrid Miel” procedentes de la Comunidad de Madrid.



Figura 19. Muestras de mieles procedentes de la Empresa Madrid Miel, S.L. “Comunidad de Madrid”.  
*Fuente: elaboración propia*



## 2.5.2 REÓMETRO

Es un equipo encargado del estudio de comportamiento reológico de un fluido. Estos se pueden dividir según una serie de características. En primer lugar, según la cinemática de los fluidos para medir las funciones, uno es de cizalla y otro de extensión.

En este equipo se realizan dos tipos de ensayos: rotacional y oscilatorio.

La otra manera la en la que se puede dividir es según la deformación, en pequeña, alta o estacionaria.

Para mi elaboración de TFG he utilizado el Reómetro Haake RheoStress 6000 de la universidad europea de Madrid, Villaviciosa de Odón.



Figura 20: Reómetro rotacional Rheostress 6000 Fuente: elaboración propia

Se trata de un dispositivo formado por un cono-vaso como sistema de medida y es muy útil debido a que se puede trabajar con altas temperaturas debido al elevado punto de ebullición, de 220 ° C del fluido refrigerante utilizado, en este caso, aceite silicona.



Tipos de ensayo:

- Ensayo rotacional o en rampa, en el cual se observa el comportamiento de flujo presentado por el fluido.
- Ensayo para determinación de propiedades viscoelásticas, con vistas a determinar el comportamiento viscoelástico del fluido, predominio de las componentes elásticas y plásticas.

En este tipo de ensayo con mieles se utiliza como sistema de medida, plato - plato, debido a que presenta una gran viscosidad, no es capaz de ser medible con el cono-plato. También, se hace un estudio en rampa entre 0 – 600 s<sup>-1</sup>.

El software utilizado es Rheowin Jobs para el registro de datos y el Rheowin Data para su tratamiento y análisis.

---

### 2.5.3 SOFTWARES UTILIZADOS

RHEOWIND JOB: Se trata de un software, el cual, es utilizado para la calibración del reómetro y su control.

RHEOWIND DATA: Una aplicación en la cual se obtienen los datos necesarios para poder proceder a su estudio reológico. Se obtienen las curvas de flujo, así como, las curvas de viscosidad.

ORIGIN: Programa utilizado para la realización de las gráficas correspondientes

ARDUINO IDE: Software utilizado para la calibración del TCS 34725

MYOPENLAB: entorno de simulación para la colorimetría de las mieles

### 2.5.4 CRISON CM 35

Se trata de un conductímetro portátil con una pantalla formada por un display LCD, el cual es capaz de medir como su propio nombre indica tanto conductividad o salinidad como temperatura.

Puede medir gran cantidad de fluidos desde los más diluidos como por ejemplo aceites... hasta los más viscosos, como es el caso de la miel.

Según la conductividad que presenta la miel ( $\text{mS/cm}$ ), se utiliza una baja conductividad o alta, con valores entre  $147 \mu\text{S/cm}$  y  $12,88 \text{mS/cm}$



Figura 21: Conductímetro CRISON CM 35 y sus componentes. Fuente: elaboración propia

### 2.5.5 REFRACTÓMETRO DE MIEL

Dispositivo utilizado para medir el porcentaje de humedad de agua y nivel de unión de la miel y otros líquidos relacionado con un alto contenido de azúcar.

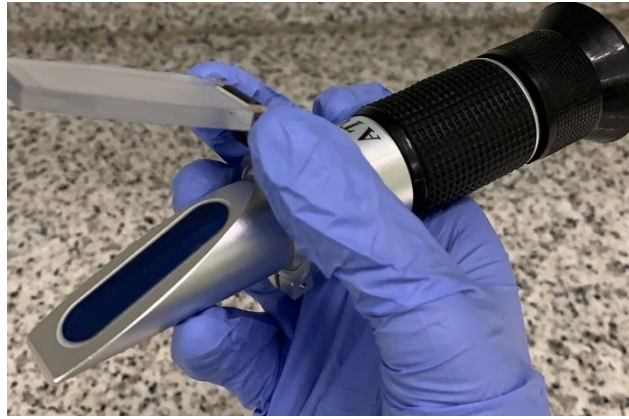


Figura 22. Refractómetro de miel. *Fuente: elaboración propia*

### 2.5.6 HELTEC WIFI LORA 32 (V2)

Se trata de una plataforma, el cual presenta en su interior un microcontrolador, es decir un circuito integrado, en concreto el ESP 32. Una de las características más significativas es que tiene capacidad para Bluetooth, Wifi

Mediante el entorno de desarrollo de Arduino llamado IDE, se programa una serie de instrucciones

En la información no oficial del producto se presentan una serie de propiedades como conexión mediante USB, el cual tiene que alimentarse con 5V del ordenador normalmente, aunque tiene como valor mínimo 4,7 V y como máximo 6V.

Este microcontrolador en su interior presenta una estructura definida, en cuanto a sus pines de entrada y salida.

A continuación, se mostrará la imagen de dichos pines.

Como se ve en la imagen esta cuenta tanto como pinout de 3,3 V como de 5V

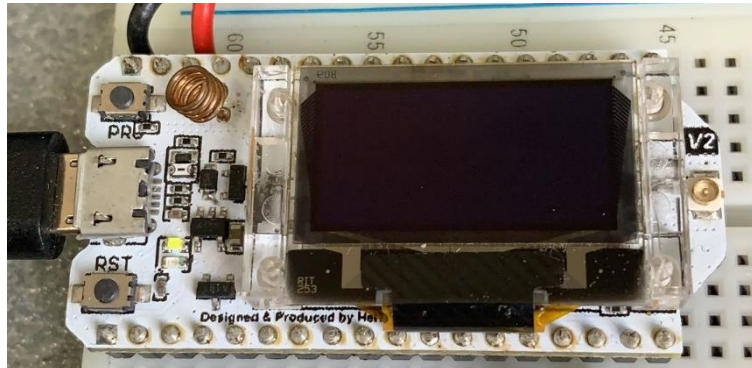


Figura 23: Heltec wifi lora 32 V2. Fuente: elaboración propia

El objetivo de este es controlar al sensor de color que se va a utilizar, llamado TCS 34725.

### 2.5.7 TCS 34725

Se trata de un módulo el cual presenta un sensor de detección de colores, proviene de un retorno digital de colores principales ( RGB) Red, Blue and Green. Está formado por un IR filtrado de bloqueo integrado en un chip. Esta minimiza el componente del espectro de la luz proveniente y permite la medida de los colores.

Presenta mucha sensibilidad, un ancho rango dinámico y un IR de bloqueo, provoca un sensor ideal de color para variaciones de luz y mediante atenuaciones de materiales.

Es un array de 3\*4 de fotodiodos, los cuales detecta luz verde, azul , roja y clara. Estos 4 integrados convierte las corrientes amplificadas de los fotodiodos a un valor digital de 16 Bits.

A continuación, se observarán las conexiones que presenta el sensor [19]

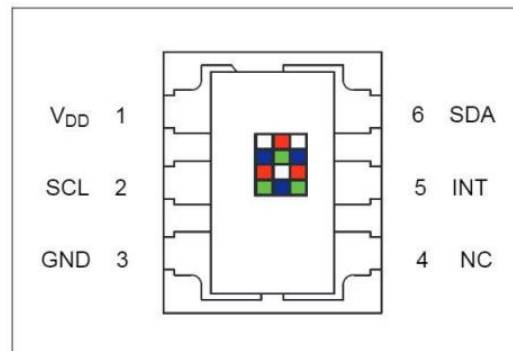


Tabla 5: pinout data sheet TCS 34725. Fuente: Datasheet TCS 34725



Figura 24: TCS 34725. Fuente: elaboración propia

Pin Number	Pin Name	Pin Type	Description
1	V <sub>DD</sub>		Supply voltage
2	SCL	Input	I <sup>2</sup> C serial clock input terminal – clock signal for I <sup>2</sup> C serial data
3	GND		Power supply ground. All voltages are referenced to GND
4	NC	Output	No connect - do not connect
5	INT	Output	Interrupt - open drain (active low).
6	SDA	Input/Output	I <sup>2</sup> C serial data I/O terminal - serial data I/O for I <sup>2</sup> C.

Tabla 6: data sheet TCS 34725. Fuente: datasheet TCS 34725

## 2.6 MÉTODO EXPERIMENTAL

### 2.6.1 HUMEDAD

Se han realizado una serie de pruebas a los tres tipos de mieles: Romero, Brezo Erica y Levantamuertos.

En primer lugar, se realiza una medición acerca de la humedad que presenta cada una.

El dispositivo que se utiliza es el llamado Refractómetro de miel (Honey refractometer). Es de simple uso, ya que se inserta el aceite óptico en la cristalera que presenta para poder calibrarlo, colocando los brix a 78.8 %.

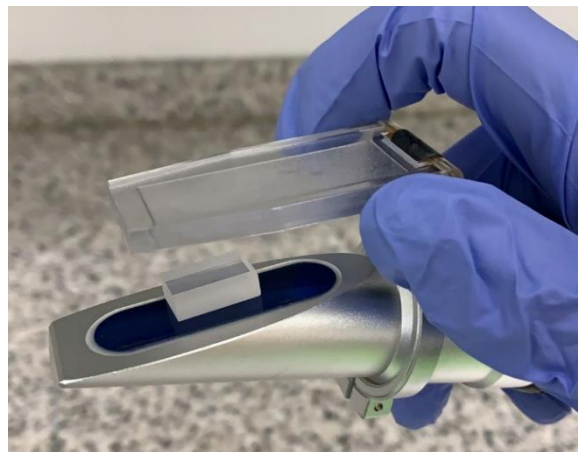


Figura 25. Calibración del refractómetro *Fuente: elaboración propia*

Una vez realizada la calibración, procedemos a su lavado con agua destilada y se comienza con la lectura de cada una de las muestras. Se inserta la muestra y se observa por la lente los valores obtenidos.

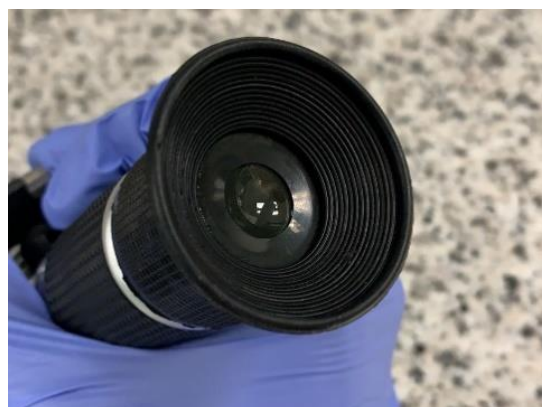


Figura 26. Lente refractómetro. *Fuente: elaboración propia*



## 2.6.2 ENSAYOS REOLÓGICOS

Las muestras fueron caracterizadas en un reómetro rotacional Rheostress 6000, Thermo Hakee, Alemania, capaz de medir las curvas de flujo y las curvas de viscosidad que presenta cada fluido. El estudio se ha realizado teniendo en cuenta varios factores: temperatura, conductividad, humedad y color.

Para comenzar los ensayos, primero se gira la manivela para que fluya el aire con una presión de 6 bares. Se procede a encender el reómetro y el termostato el cual en el interior posee el fluido refrigerante, aceite silicón, con un punto de ebullición de 220°C.

Una vez que se enciende el equipo, se abren los dos programas a utilizar, Reowinjob y Reowindata. El primero es el que se utiliza para la calibración del equipo de medición. Antes de calibrarlo se coloca el sistema de medida plato-plato, en concreto el llamado P20 CS L



*Figura 27: sistema de medida plato-plato. P20CSL. Fuente: elaboración propia*

Una vez colocado todo se le da al control manual para la calibración hasta que salga un punto verde. Se sale y se vuelve al inicio, utilizando el programa de una rampa de 0 a 600 s, significando que de 0 a 600 se produce un aumento de la velocidad de cizallamiento. Una vez que llega a los 600 s se estabiliza durante 60 s y después decrece la velocidad de cizalla de 600 a 0 s.

Procedemos a colocar la muestra antes de su inicio con la temperatura deseada para la medida. En este proyecto se realiza con un rango de temperaturas de 20 a 40 °C .

Una vez realizado todo se realiza la medida para observar la curva de flujo y de viscosidad.

### 2.6.3 CONDUCTIVIDAD

En cuanto a la elaboración de manera experimental para observar los resultados de la conductividad se han estudiado las tres mieles.

En primer lugar, se realiza una calibración. primero a  $147 \mu\text{S/cm}$ , a continuación, a  $1413 \mu\text{S/cm}$  y finalmente a  $12,88 \text{ mS/cm}$ .



Figura 28. Botes de calibración Crison CM 35. Fuente: elaboración propia

Para ello se inserta el tubo de plástico con la muestra estándar en la solución patrón de  $147 \mu\text{S/cm}$  y se realizan pequeños movimientos para que pueda bañarse dicho tubo de metal en la muestra estándar y proceder a la calibración.

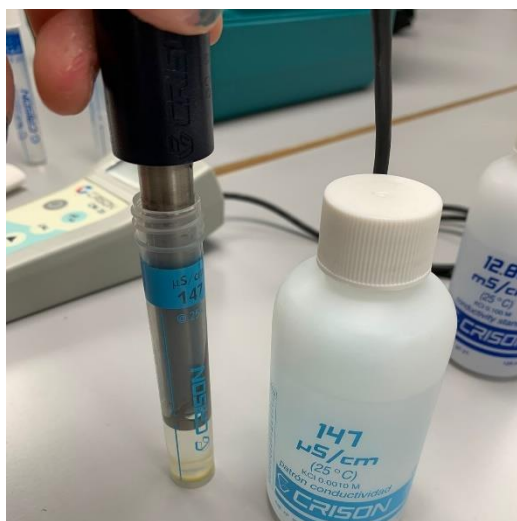


Figura 29. Calibración Crison CM 35. Fuente: elaboración propia

Una vez que ya se encuentra listo para sus mediciones cogemos cada una de las muestras de las mieles e insertamos el tubo metálico en ellas para medir el valor de conductividad



Figura 30. Medición de conductividad *Fuente: elaboración propia*

## 2.6.4 COLORIMETRÍA

En cuanto a la elaboración del método experimental se ha realizado de la siguiente manera.

Primeramente, se ha estudiado los tipos de colores que presentaba la miel, realizando una paleta propia, desde claro hasta ámbar oscuro

Una vez que se tienen los rangos de valores se mide con el prototipo montado. La calibración de dicho prototipo presenta los siguientes aspectos: colores en RGB, hexadecimal y RAW como se muestra en la figura.

Para su calibración se necesitan dos parámetros a tener en cuenta:

- Tiempo de exposición: normalmente con valores entre 2,4 ms y 614 ms
- Ganancia: 1x, 4x, 16x, 60x

Estos parámetros deben de variar hasta que se calibra el sensor del todo, mostrando el blanco como un color en R:255, G:255 y B:255

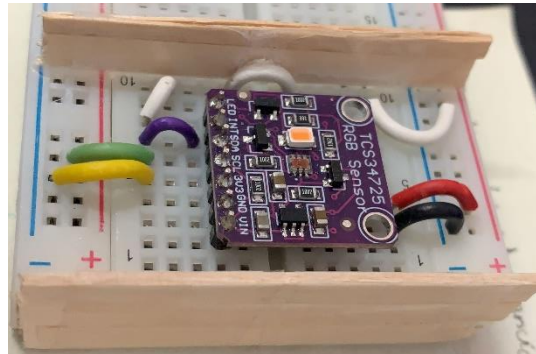


*Figura 31: Honey color test. Fuente: elaboración propia*

Una vez que se calibra se procede a la medición de valores de una serie de muestras que se colocan sobre el sensor.

La colocación de la muestra con respecto al sensor debe de ser siempre a la misma altura para que los valores no influyan por dicha perturbación.

Para resolver el problema se han colocado a ambos lados del módulo TCS 34725 un soporte para que se encuentren todas las muestras a la misma distancia, siendo capaz de reflejar la luz.



*Figura 32: Soporte TCS 34725 . Fuente: elaboración propia*

Para la detección del color se ha utilizado un programa llamado MyOpenLab el cual es capaz de realizar un entorno de simulación mediante una trama de datos por puerto serie



*Figura 33: Medición con el sensor. Fuente: elaboración propia*

Se coloca la paleta de miel o la miel real sobre el sensor y se procede a la medición de valores.

## 2.7 RESULTADOS

### 2.7.1 HUMEDAD

Comenzamos con la muestra Romero para la medición de su humedad observando su resultado en la lente.

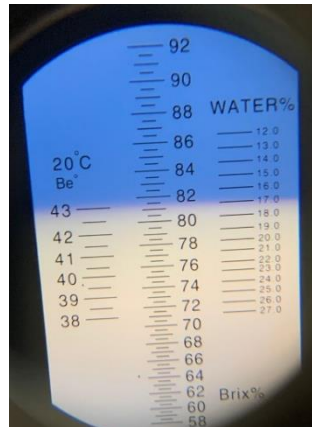


Figura 34. Representación de la humedad de Romero. Fuente: elaboración propia

Vemos como presenta un 17% de humedad, dentro de los límites establecidos por la delegación alimentaria (hasta un 20%). En cuanto a los brix representa un 81%

Posteriormente, se realiza el mismo procedimiento con el Brezo Erica, otro tipo de miel para ver cómo varían las propiedades

En la siguiente imagen se observan los resultados.

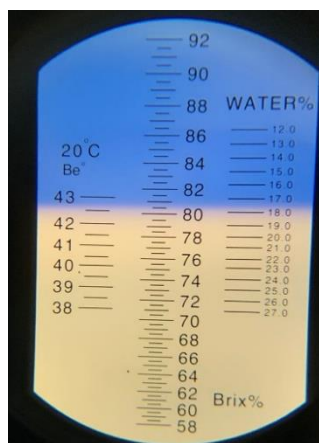


Figura 35. Medida de la humedad de Brezo Erica. Fuente: elaboración propia

Aquí se muestra como la humedad sube una pequeña parte con respecto a la de



Romero. Por lo tanto, quiere decir que presenta una mayor viscosidad, y con ello una mayor cantidad de sales disueltas.

Finalmente, se mide la muestra de Levantamueertos en el Honey Refractometer, teniendo en cuenta que esta miel es la más espesa que las demás, por lo que su comportamiento con respecto a la humedad va a cambiar en cierta manera.

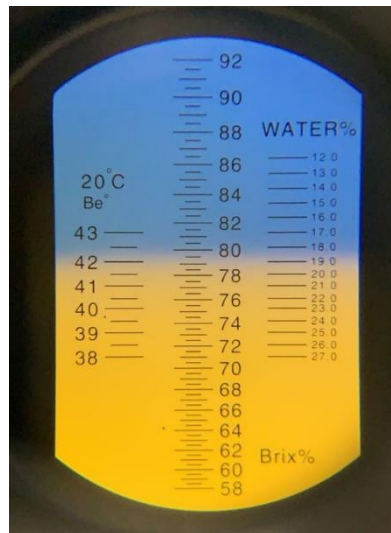


Figura 36. Representación de la humedad de Levantamueertos. Fuente: elaboración propia

Efectivamente el resultado es el esperado, comparado con las dos anteriores, al ser más viscoso hace que tenga una serie de sales, que hacen que tenga una mayor humedad.

El número de Brix es de un 79%, ya que, a menor número de Brix, mayor será el porcentaje de humedad que presenta. Esto quiere decir que la miel de Levantamueertos presenta unas mejores propiedades higroscópicas, es decir, presenta una mayor capacidad de absorción de la humedad.

Sin embargo, esta miel muestra un proceso de descomposición mayor debido a las prestaciones exhibidas puesto que el porcentaje de humedad es mayor.

## 2.7.2 CONDUCTIVIDAD

En cuanto a los resultados obtenidos, se han realizado varios ensayos, tras dos meses.

Temperatura	ROMERO	BREZO ERICA	LEVANTAMUERTOS
19,1° C (1° DÍA)	0,81 $\mu\text{S/cm}$	6,78 $\mu\text{S/cm}$	3,74 $\mu\text{S/cm}$
21,2 °C (2 meses, después)	0,68 $\mu\text{S/cm}$	6,69 $\mu\text{S/cm}$	6,96 $\mu\text{S/cm}$

Tabla 7. Resultados conductividad en  $\mu\text{S/cm}$ . Fuente: elaboración propia

Se observa cómo los resultados experimentales no coinciden con los teóricos (tabla 3) debido a una gran cantidad de factores mencionados anteriormente como pueden ser el lugar geográfico, composición, calidad de la miel... Pero sí se muestra que la miel Romero como en la teoría indica debe de tener el menor valor de conductividad.

Con estos resultados se puede ver como las diferentes mieles estudiadas son de carácter floral debido a que sus conductividades son inferiores a 800  $\mu\text{S/cm}$ . En el caso de que tuviesen un rango superior a este, entonces hablaríamos de mieles mieladas.



### 2.7.3 ENSAYOS REOLÓGICOS (CURVAS DE FLUJO Y CURVAS DE VISCOSIDAD)

En estas gráficas se muestra el comportamiento de cada una de las mieles medida el primer día de estudio con respecto a dos meses después.

En general en cada una de las curvas de flujo mostradas, es decir, gradiente de velocidad frente a esfuerzo cortante se observa un comportamiento no newtoniano debido a que no cumple con la **Ley de Newton**:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \dots\dots\dots(4)$$

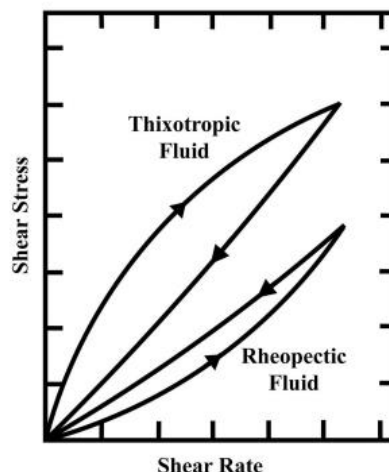
Por lo tanto, quiere decir que la viscosidad no se comporta de una manera constante con respecto Al gradiente de velocidad aplicada. Por lo tanto, no sigue una línea recta como debe ocurrir en los fluidos newtonianos, como es el caso del agua y los aceites.

Observamos, que las mieles siguen el comportamiento de fluidos pseudoplástico que siguen el modelo de **Ostwald Waele**:

$$\tau = k * \gamma^n \dots\dots\dots(6)$$

En cuanto al factor del tiempo, se observa que las mieles presentan un comportamiento dependiente del tiempo. En concreto, comportamiento típico de fluidos tixotrópicos o reopécticos, según la curva de subida (0-600 s-1) o de bajada (600-0 s-1) que se estudia a posteriori.

Se observa cada comportamiento en la figura 4



En la miel **Brezo Erica** se comporta de una manera diferente porque por ejemplo al principio la muestra del primer día a temperatura de 20 y 25 se comporta con una mayor viscosidad con respecto a los dos meses, pero a medida que aumentamos la temperatura cambia su comportamiento, obtenemos una mayor viscosidad a los dos meses frente a la medida el primer día, a 35°C.

Finalmente, a 40°C, vuelve a comportarse de la misma forma que a temperatura de 20, 25 y 30°C, siendo la viscosidad del primer día mayor que la de dos meses después.

En cuanto a la miel de **Levantamuertos**, por ejemplo, tanto en la curva de flujo como en la curva de viscosidad, se muestra una mayor viscosidad en la primera muestra con respecto a los dos meses después.

Para concluir la miel de **Romero** se comporta como la de Levantamuertos debido a que la viscosidad es mayor en todos los casos de temperatura de la primera medida si se compara con la de después de dos meses.

Poner los rangos de valores de viscosidad (en número) que se mueve cada muestra en función de la temperatura.

Se debe decir que pasa con la tixotropía, si aumenta o disminuye o sea debes mirar el área de la histéresis para poder comentar que pasa con este comportamiento a medida que aumenta la temperatura.

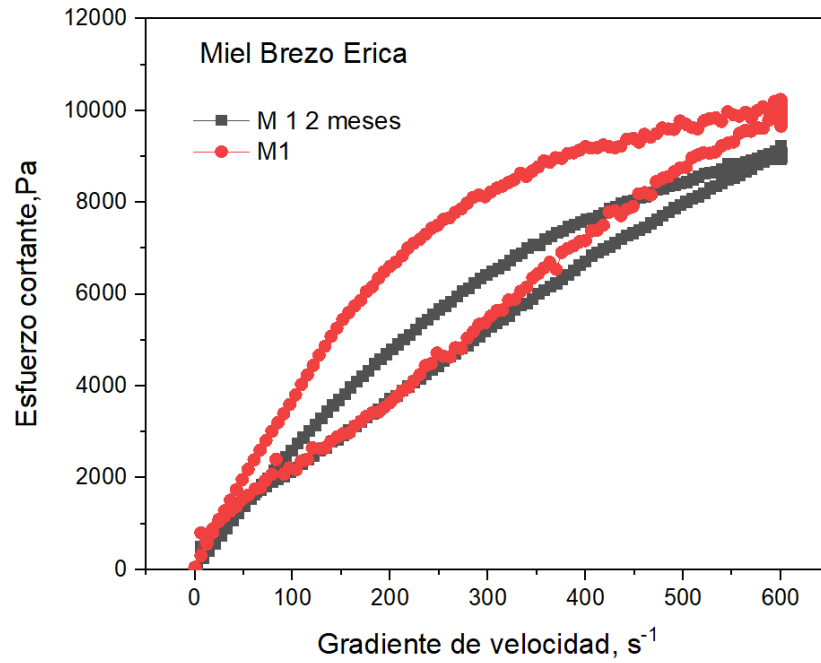


Figura 37: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=20°C. Fuente: elaboración propia

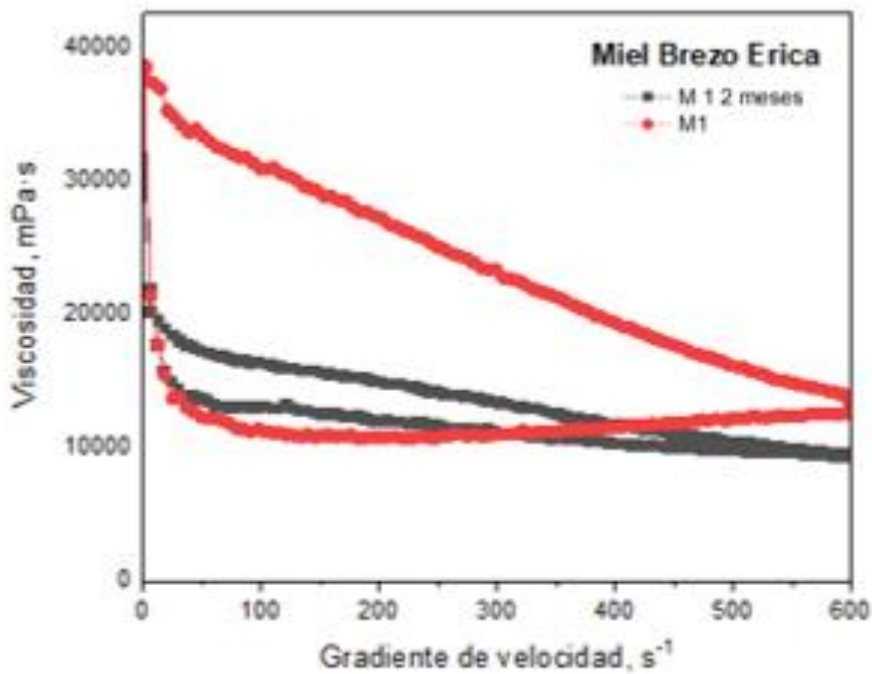


Figura 38: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=20°C. Fuente: elaboración propia

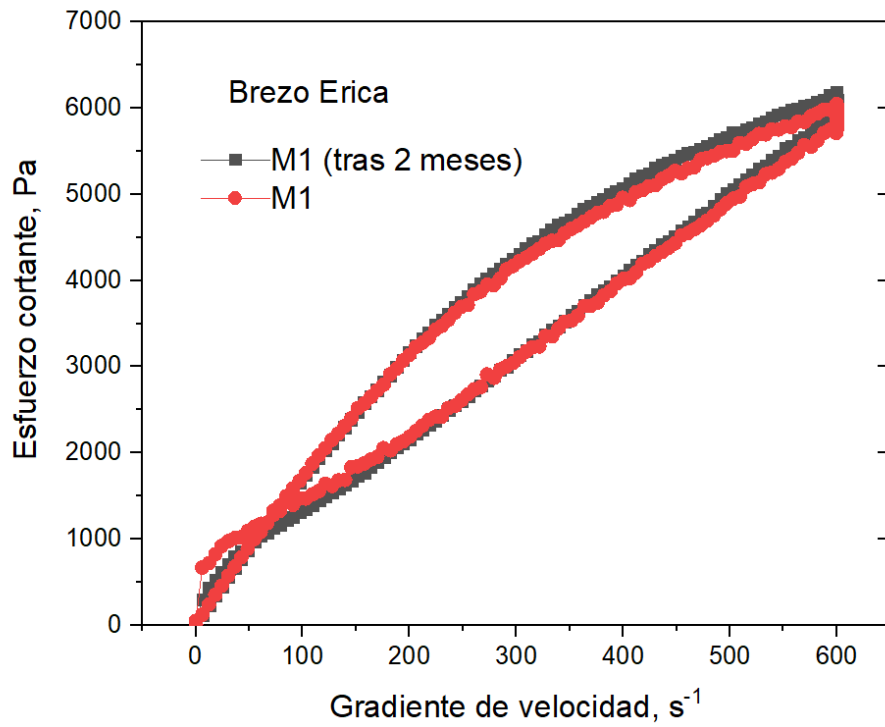


Figura 39: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=25°C.  
Fuente: elaboración propia

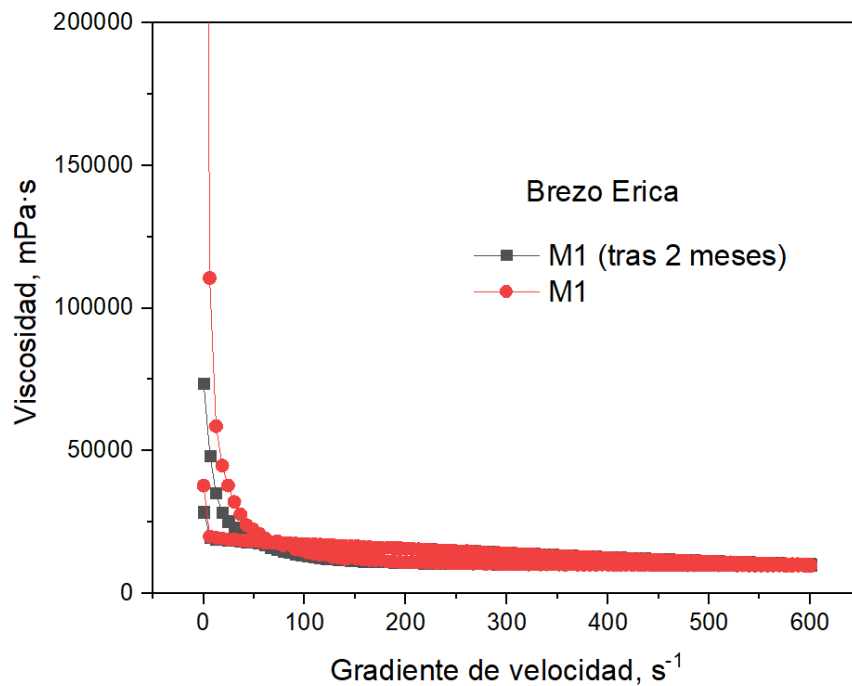


Figura 40: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=25°C. Fuente: elaboración propia

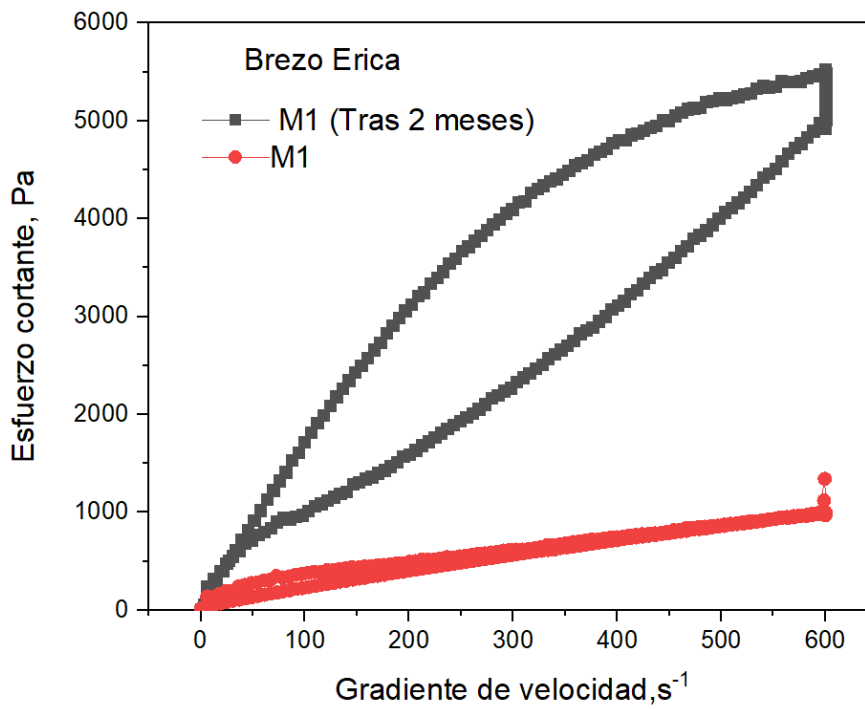


Figura 41: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a  $T=30^{\circ}C$ . Fuente: elaboración propia

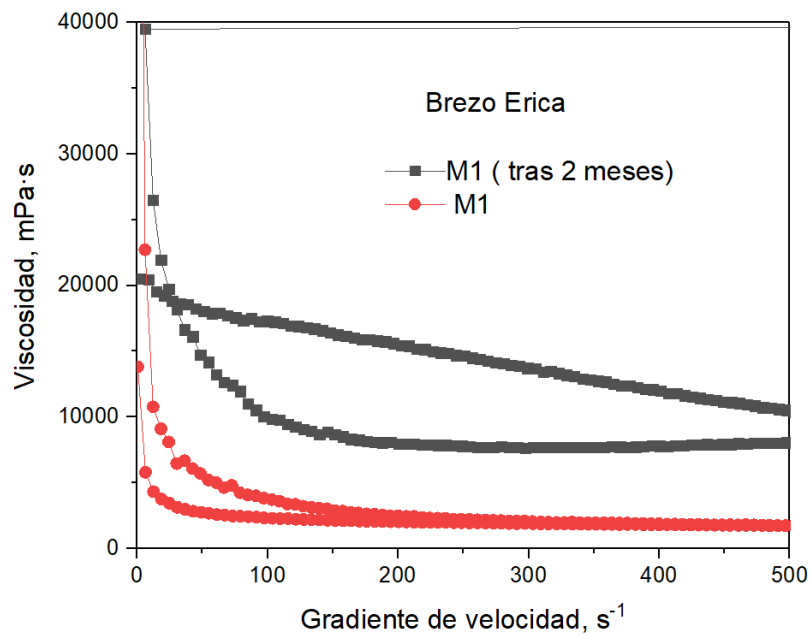


Figura 42: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a  $T=30^{\circ}C$ . Fuente: elaboración propia

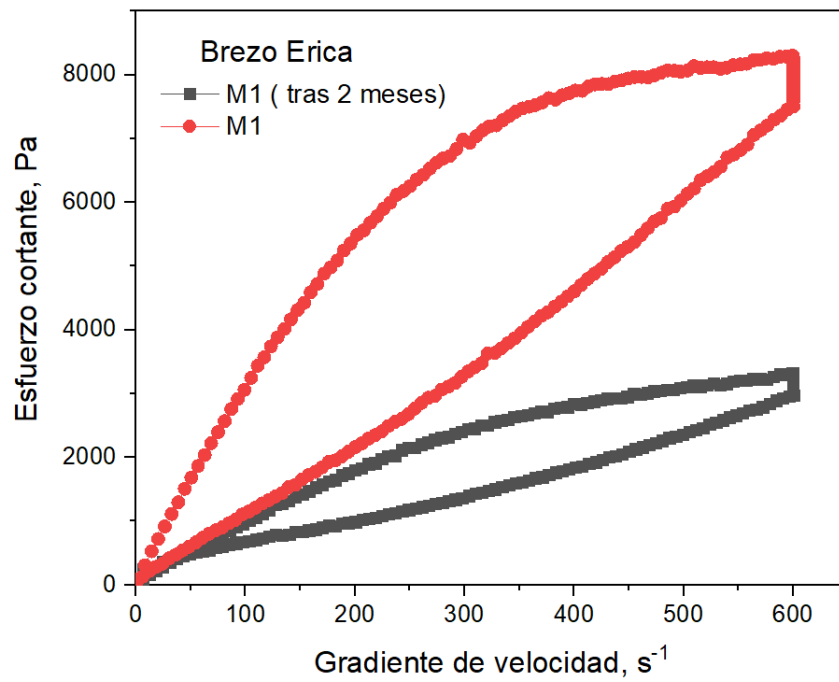


Figura 43: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=35°C. Fuente: elaboración propia

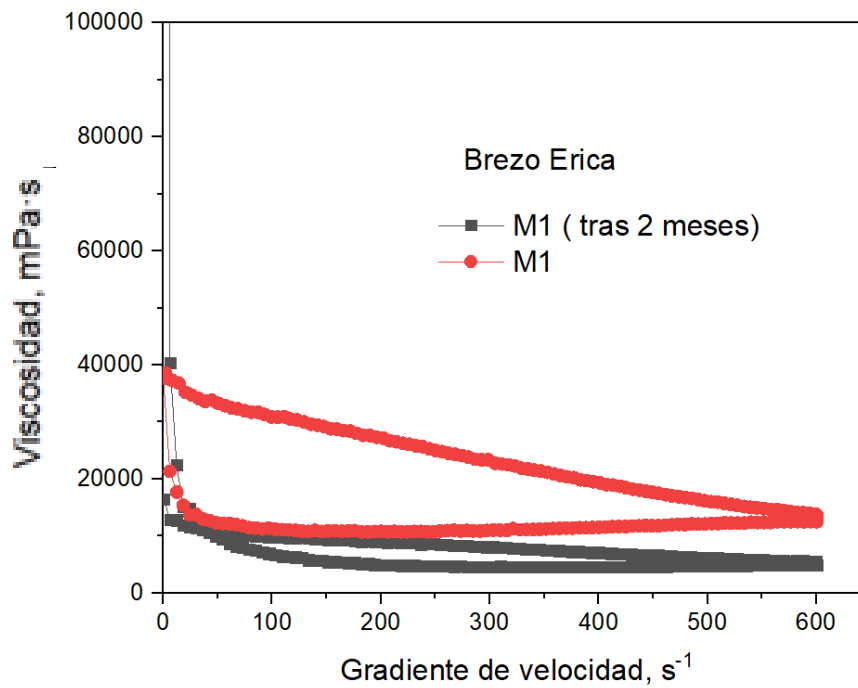


Figura 44: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=35°C Fuente: elaboración propia

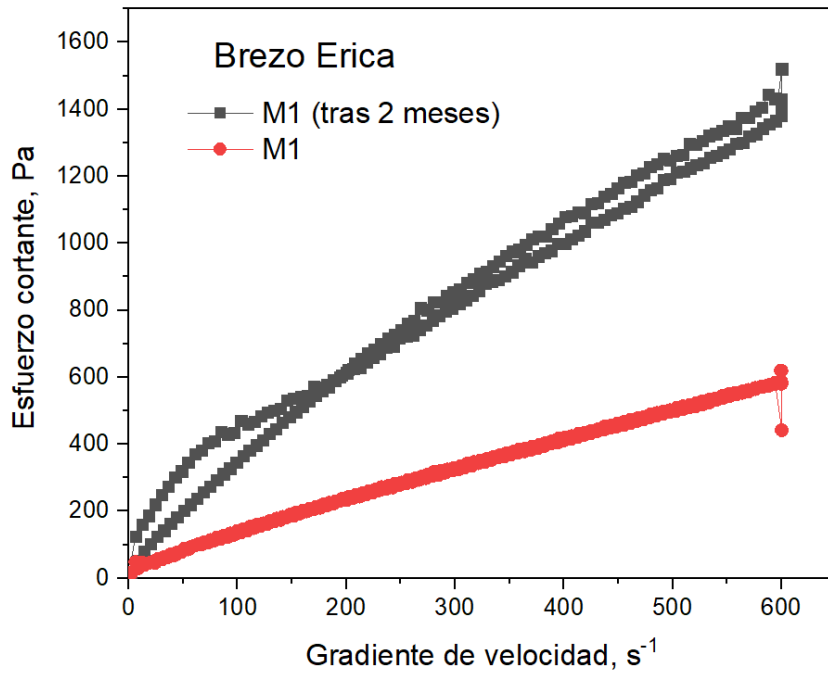


Figura 45: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=40°C. Fuente: elaboración propia

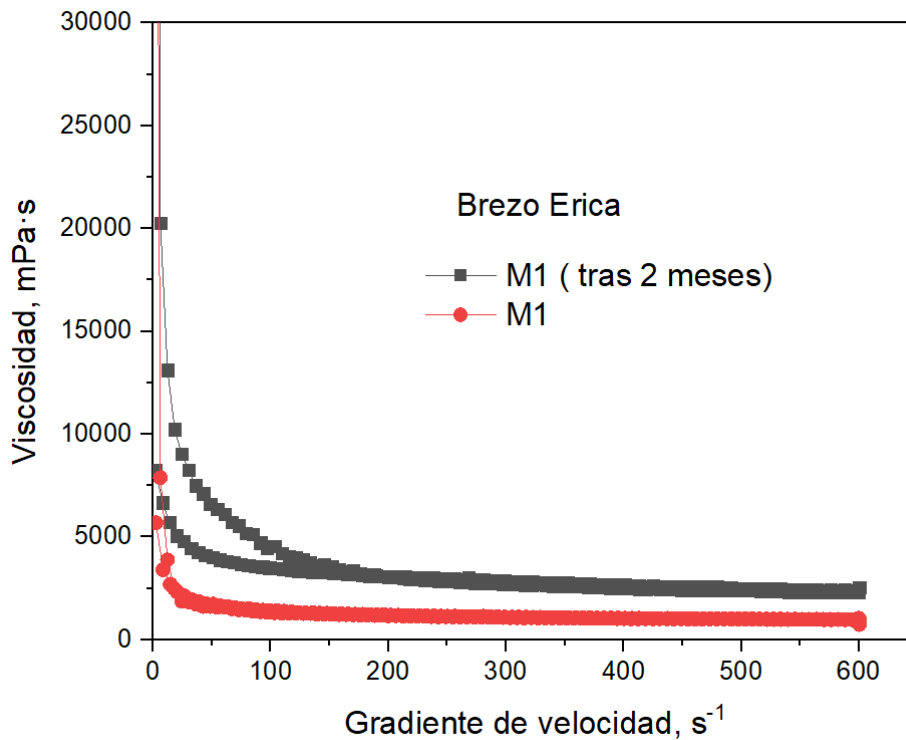


Figura 46: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T=40°C Fuente: elaboración propia

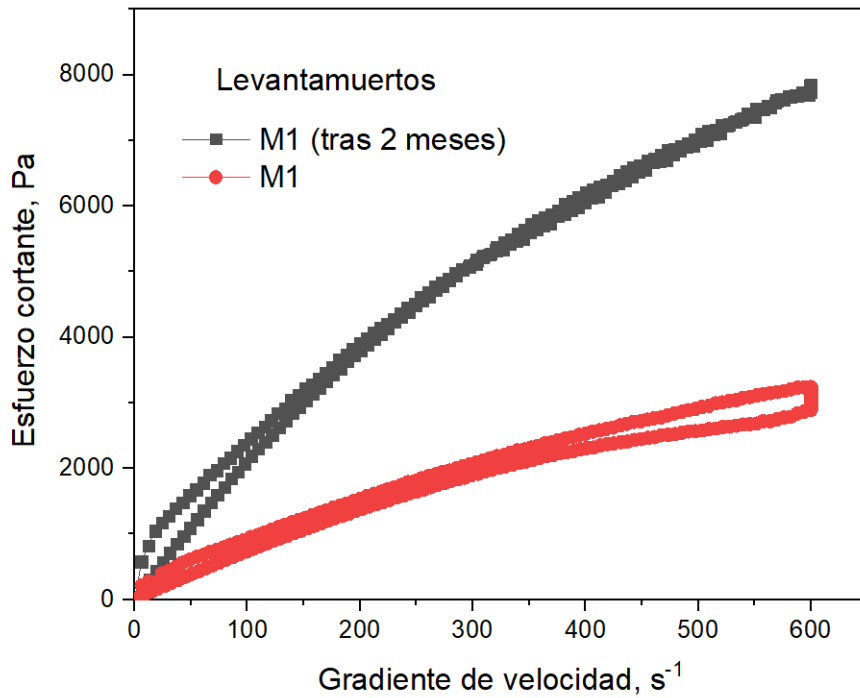


Figura 47: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos a 20°C. Fuente: elaboración propia

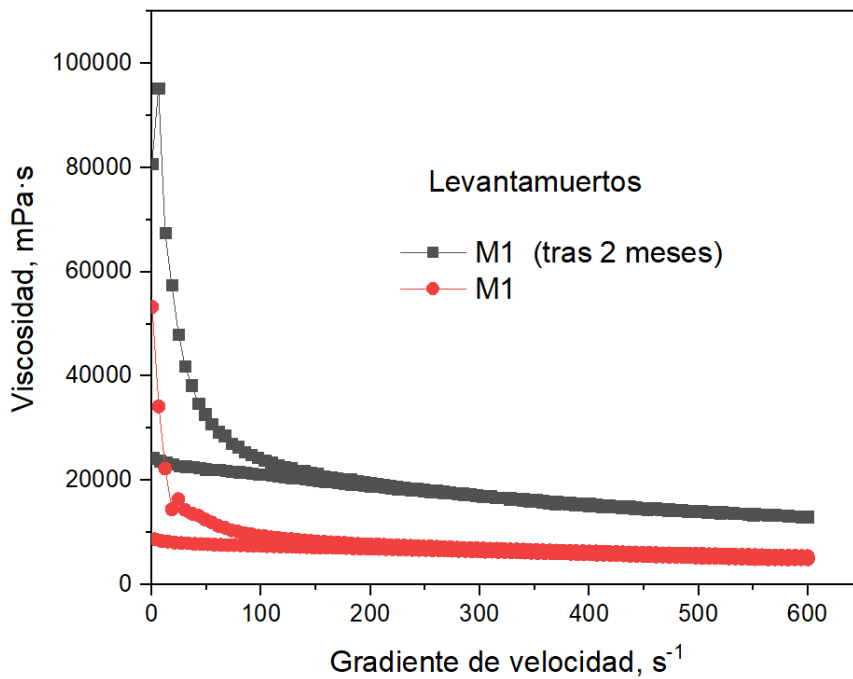


Figura 48: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos a t=20°C. Fuente: elaboración propia



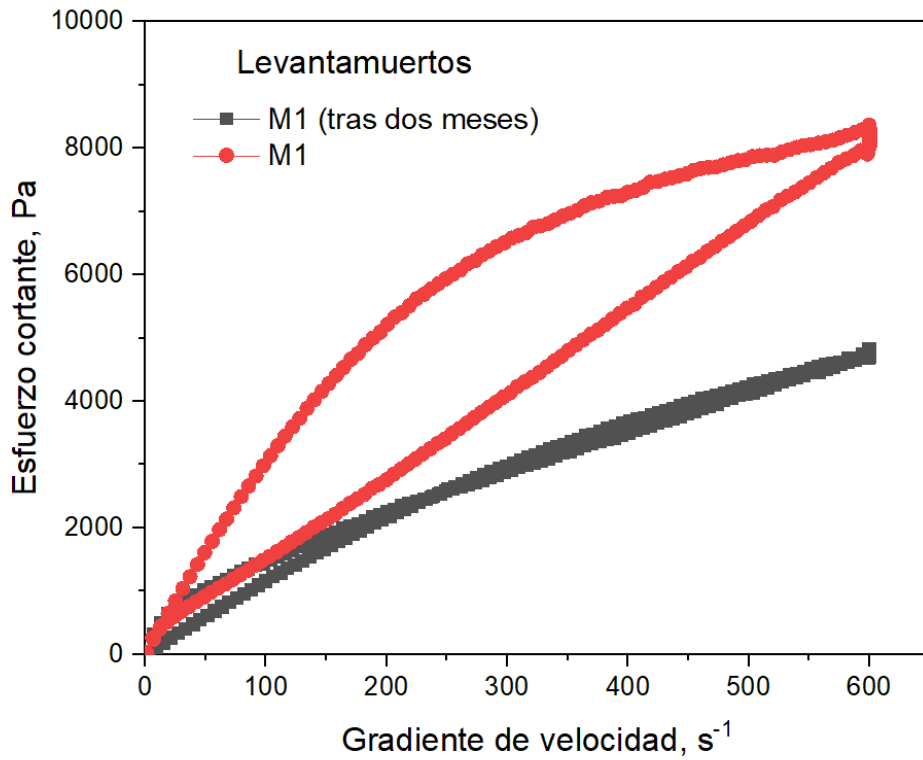


Figura 49: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos a T=25°C.  
Fuente: elaboración propia

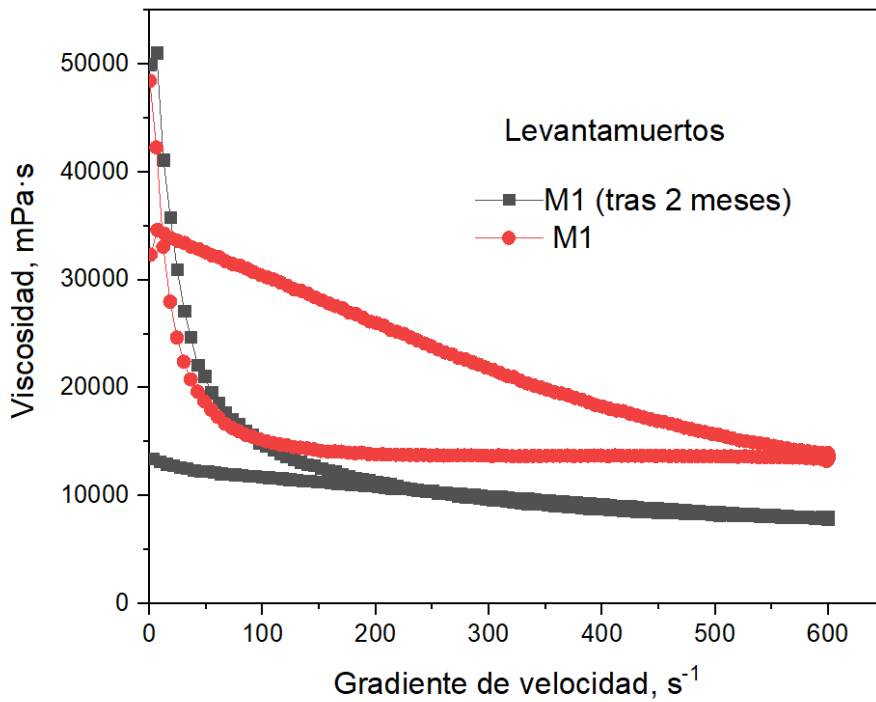


Figura 50: Viscosidad vs gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos a T=25°C.  
Fuente: elaboración propia

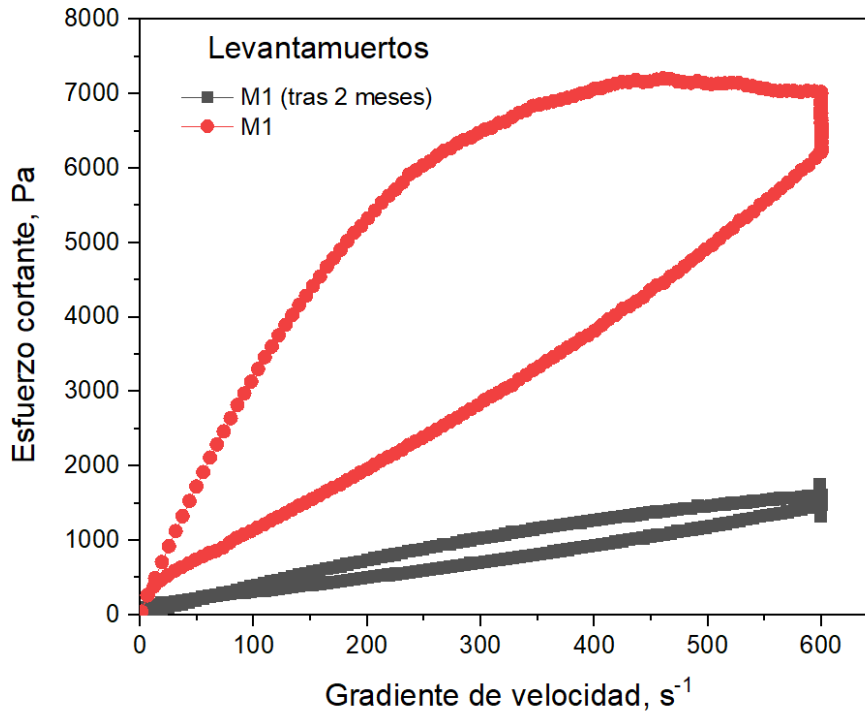


Figura 51: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos a T=30°C. Fuente: elaboración propia

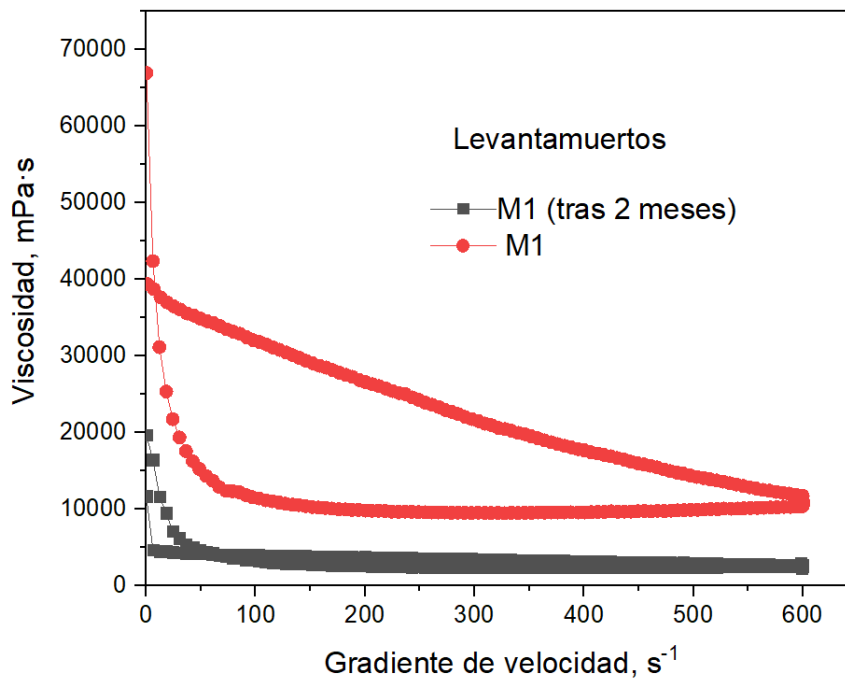


Figura 52: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos a 30°C. Fuente: elaboración propia

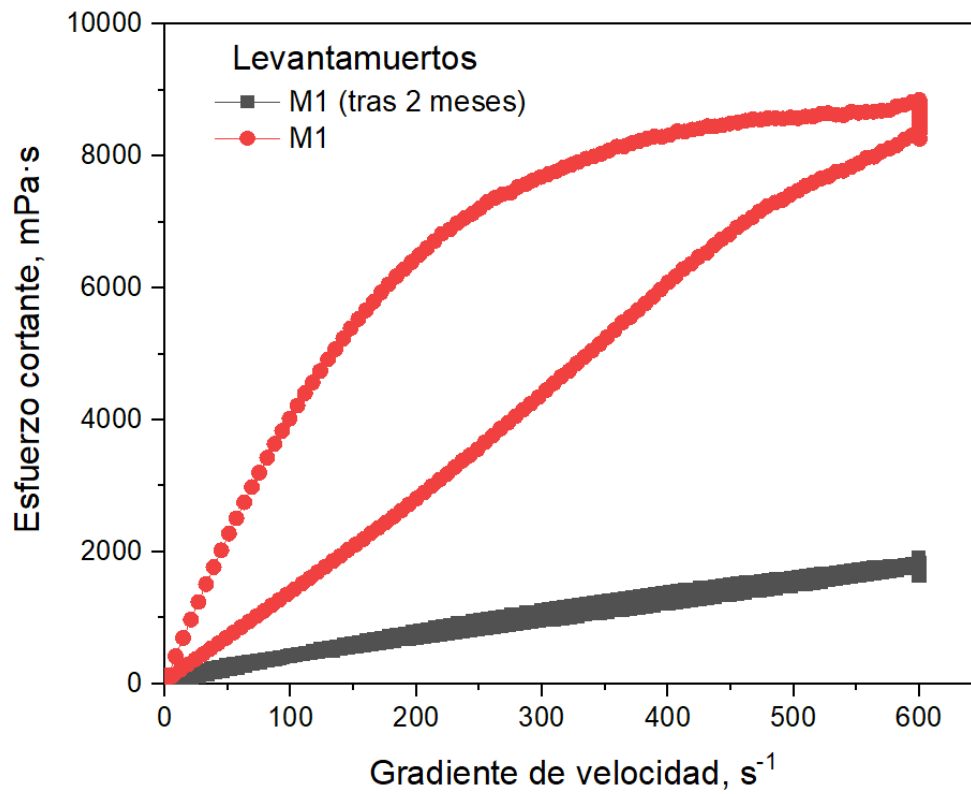


Figura 53: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos a T=35°C. Fuente: elaboración propia

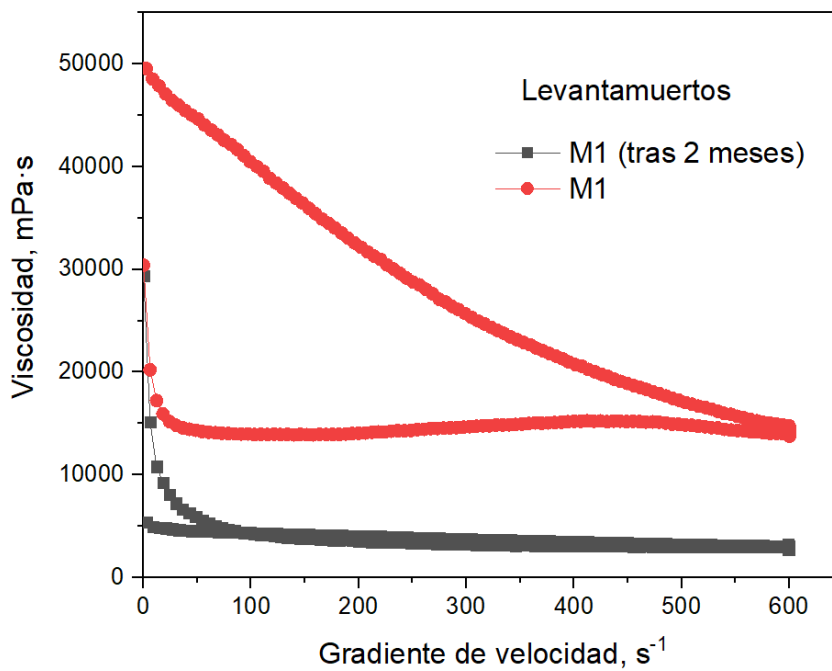


Figura 54: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos a T=35°C. Fuente: elaboración propia

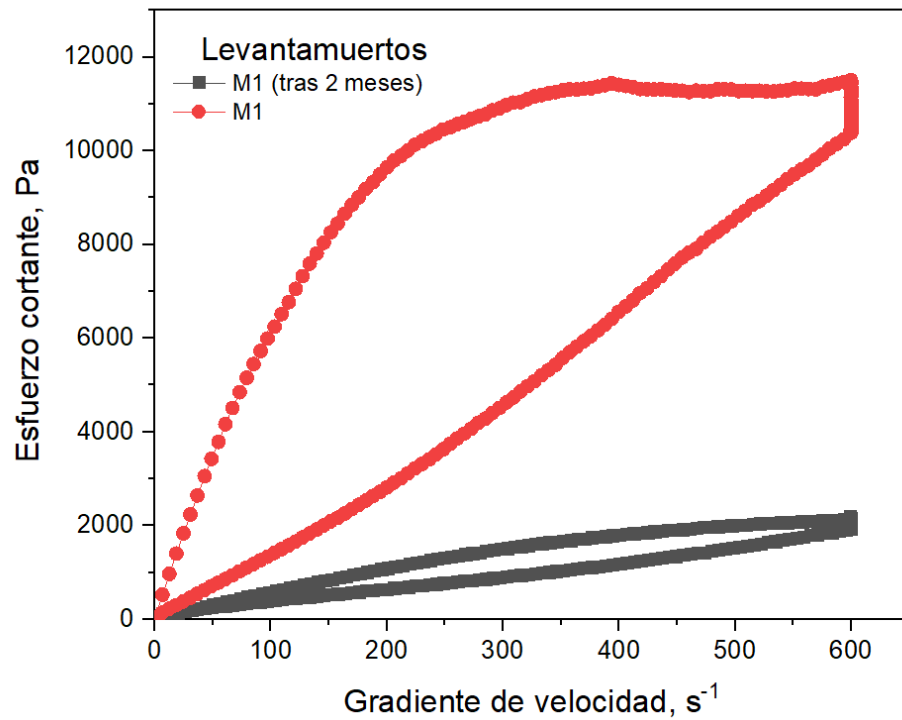


Figura 55: Esfuerzo cortante vs gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos  $T=40^{\circ}\text{C}$ . Fuente: elaboración propia

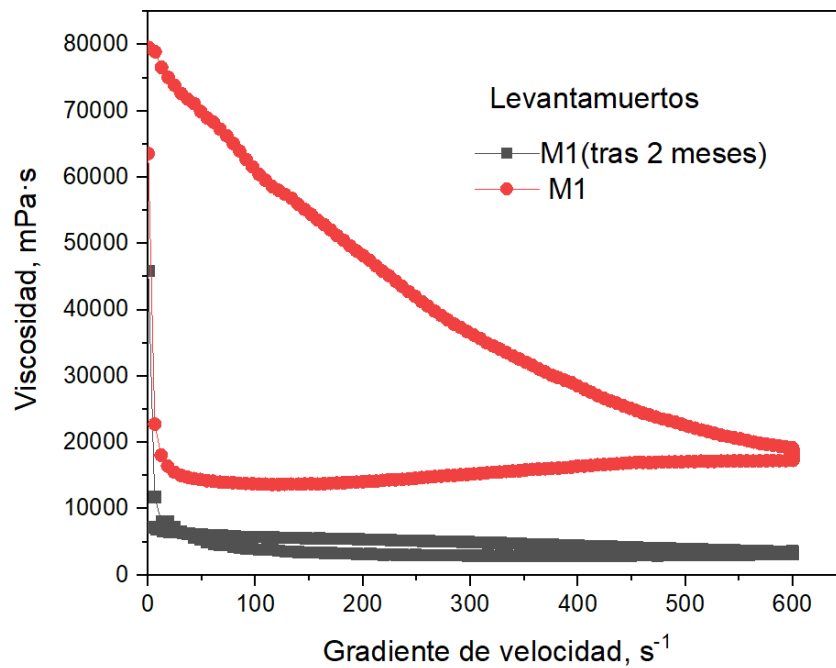


Figura 56: Viscosidad vs gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos a  $T=40^{\circ}\text{C}$ . Fuente: elaboración propia

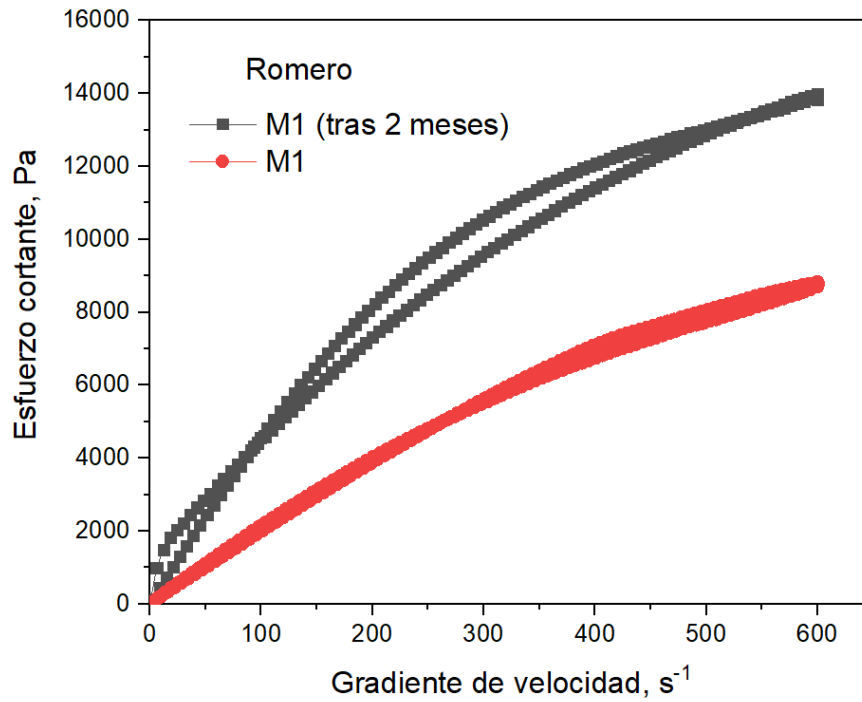


Figura 57: Esfuerzo cortante vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=20°C. Fuente: elaboración propia

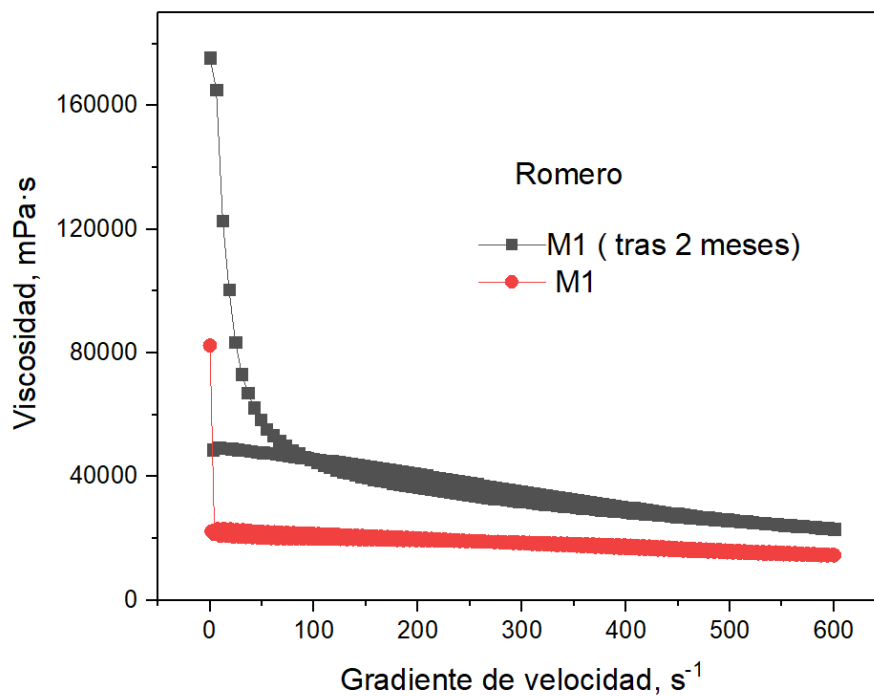


Figura 58: Viscosidad vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=20°C. Fuente: elaboración propia

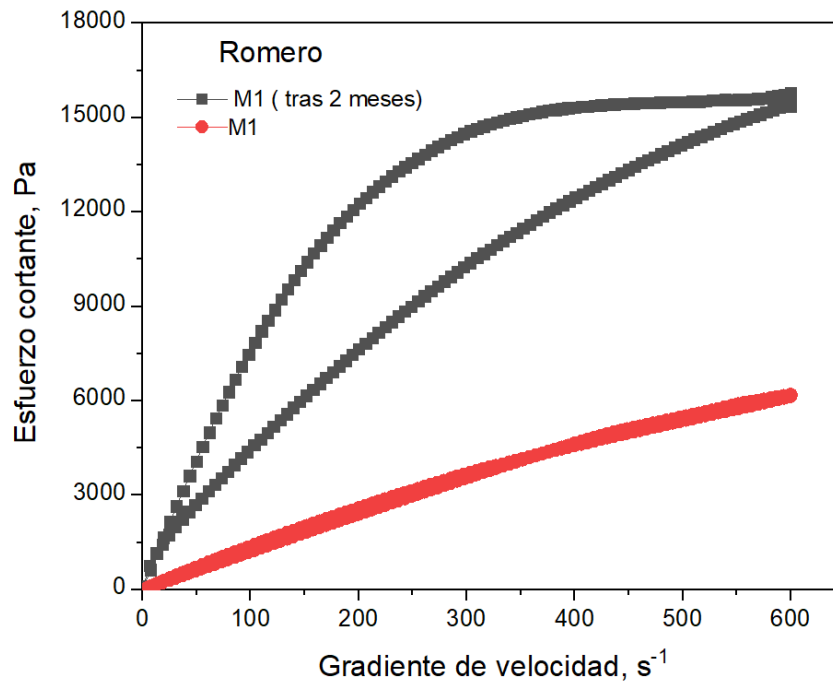


Figura 59: Esfuerzo cortante vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=25°C. Fuente: elaboración propia

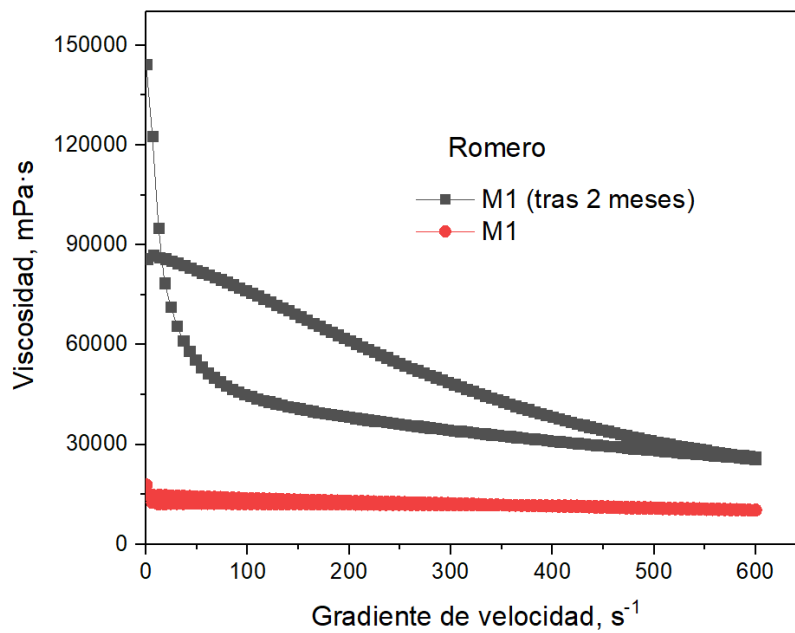


Figura 60: Viscosidad vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=25°C. Fuente: elaboración propia

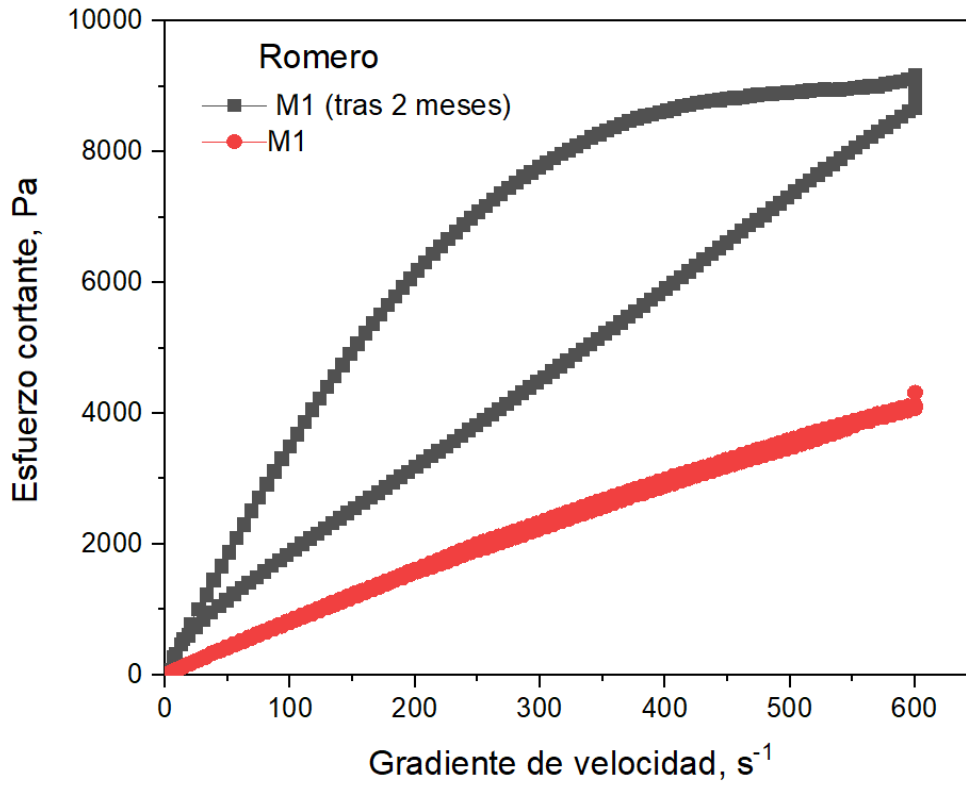


Figura 61: Esfuerzo cortante vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=30°C. Fuente: elaboración propia

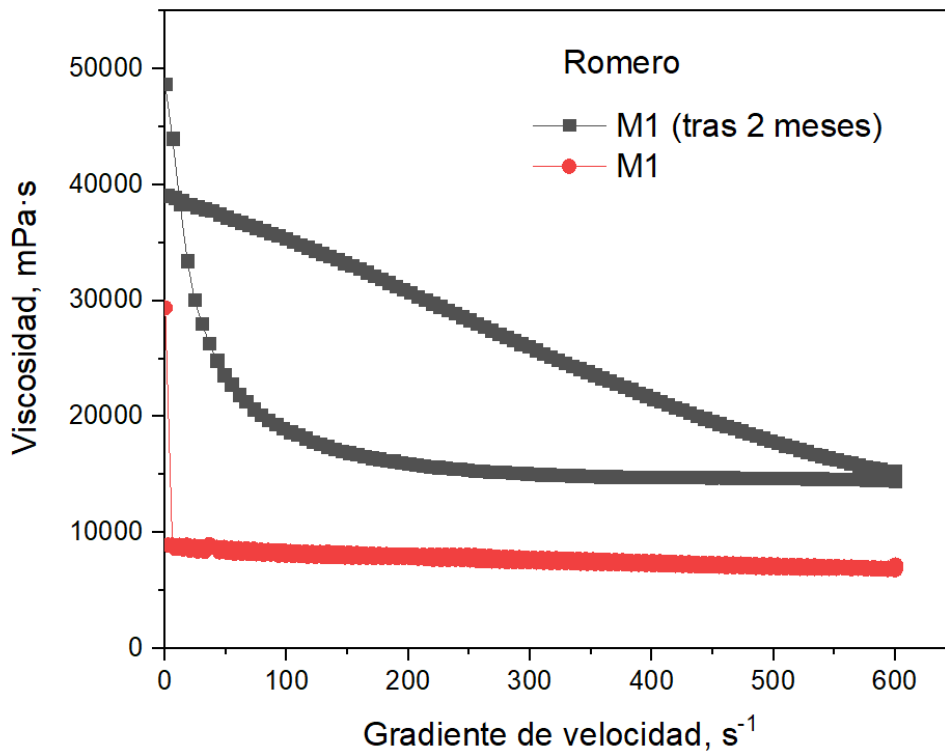


Figura 62: Viscosidad vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=30°C. Fuente: elaboración propia

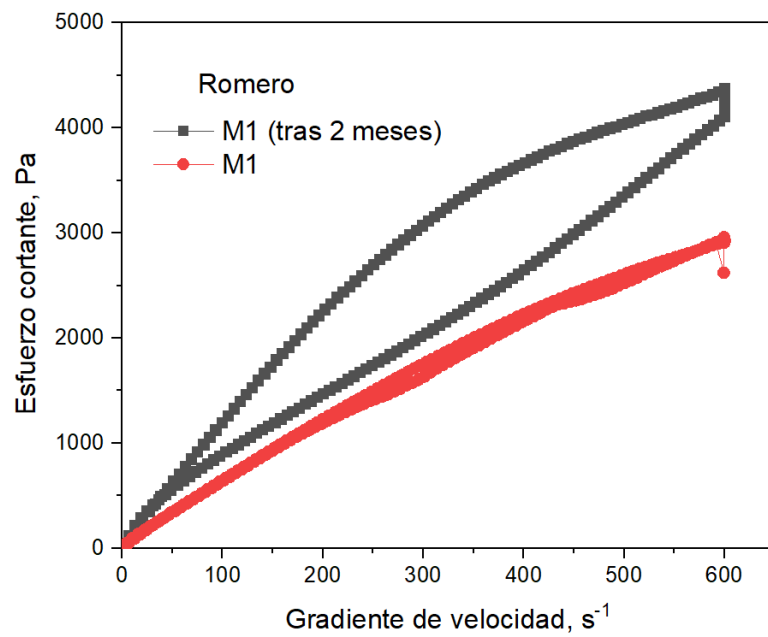


Figura 63: Esfuerzo cortante vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=35°C. Fuente: elaboración propia

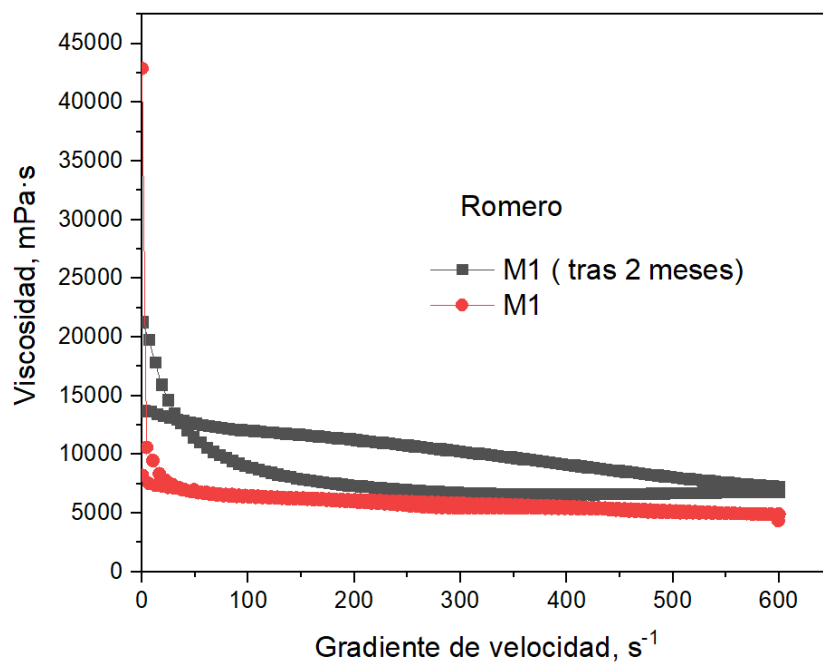


Figura 64: Viscosidad vs gradiente de velocidad para la miel Romero a T=35°C. Fuente: elaboración propia



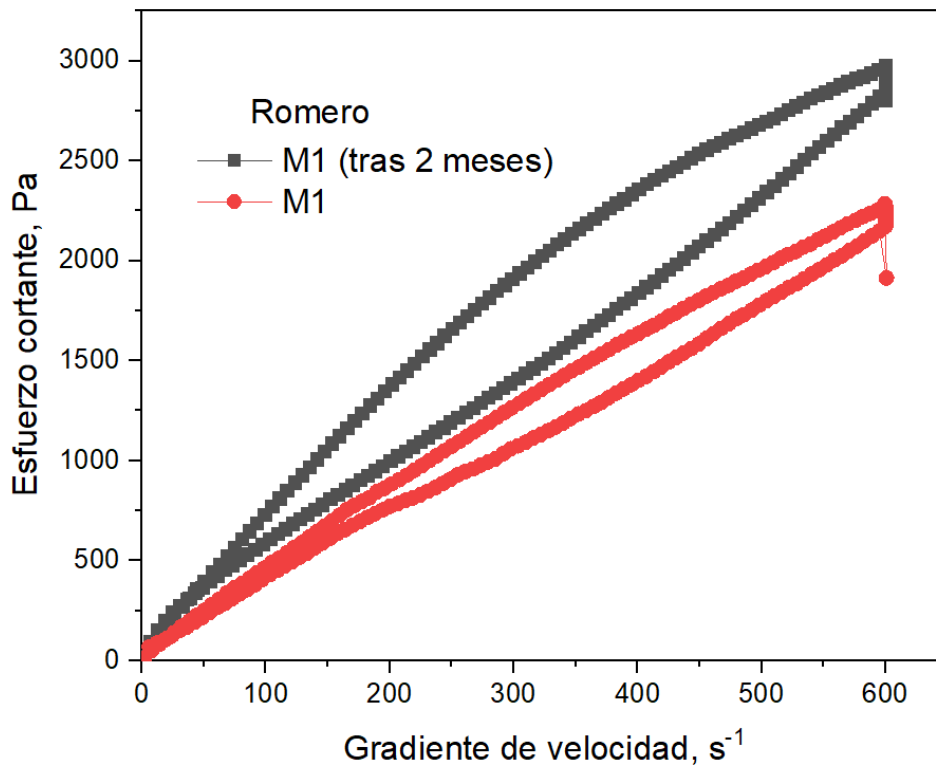


Figura 65: Esfuerzo cortante vs gradiente de velocidad para la miel Romero a  $T=40^{\circ}C$ . Fuente: elaboración propia

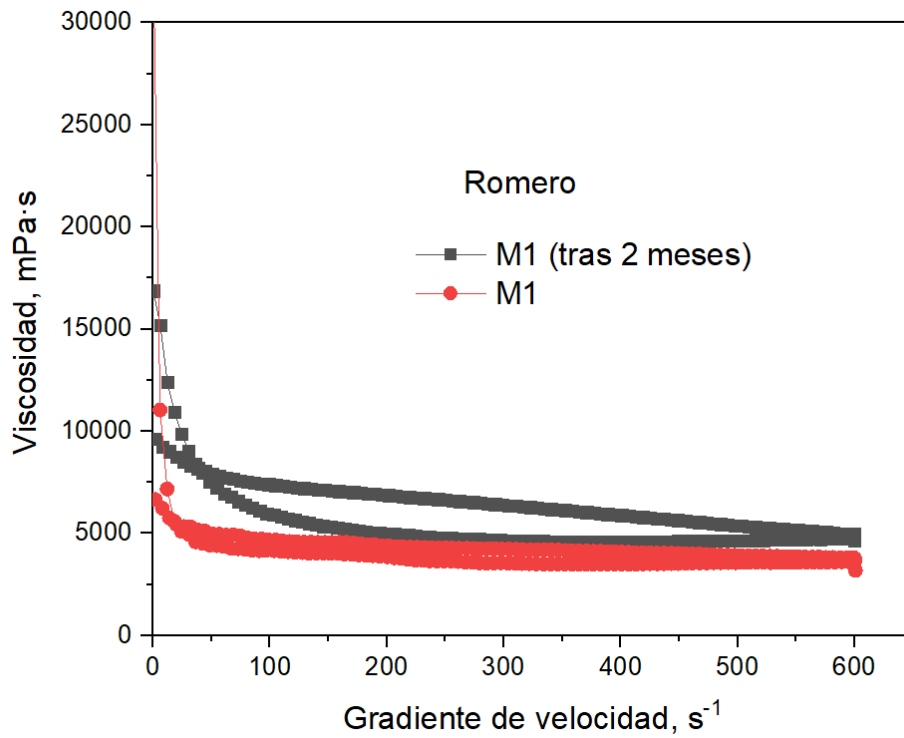


Figura 66: Viscosidad vs gradiente de velocidad para la miel Romero a  $T=40^{\circ}C$ . Fuente: elaboración propia

### **2.6.3.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LAS MEDIDAS REOLÓGICAS.**

En cuanto a la muestra de Romero, en la Tabla 8 se observa cómo se comporta el valor de viscosidad conforme aumenta la temperatura y a un gradiente de velocidad de  $300 \text{ s}^{-1}$  constante.

Se contemplan dos tablas para cada una de las mieles, una medida realizada el primer día y otra a los dos meses.

Se observa claramente que a medida que aumenta la temperatura desde 20 a 40°C la viscosidad disminuye, tanto en la curva de subida como de bajada para el gradiente de velocidad seleccionado. Este comportamiento nos permite confirmar el efecto de la temperatura y de la dependencia del tiempo. Por lo tanto, se trata de un fluido respectivo o de tixotropía negativa, debido a que los valores de viscosidad de subida son menores que los de bajada.

Los valores de viscosidad inicialmente oscilan entre 18670 a 3536 mPa.s para el rango entre 20 y 40°C. Una vez transcurridos los 2 meses, esta miel aumenta los valores de viscosidad, obteniéndose valores entre 48942 a 4656 mPa.s

Muestra: Romero M1

Gradiente de velocidad =  $300 \text{ s}^{-1}$

Tiempo = día 1

Temperatura (°C)	Viscosidad, subida (mPa·s)	Viscosidad, bajada (mPa·s)
20	18669	18311
25	11855	12256
30	7781	7434
35	5428	5847
40	3536	4225

Tabla 8: Resultados viscosidad frente a gradiente de velocidad constante Romero. Fuente: elaboración propia

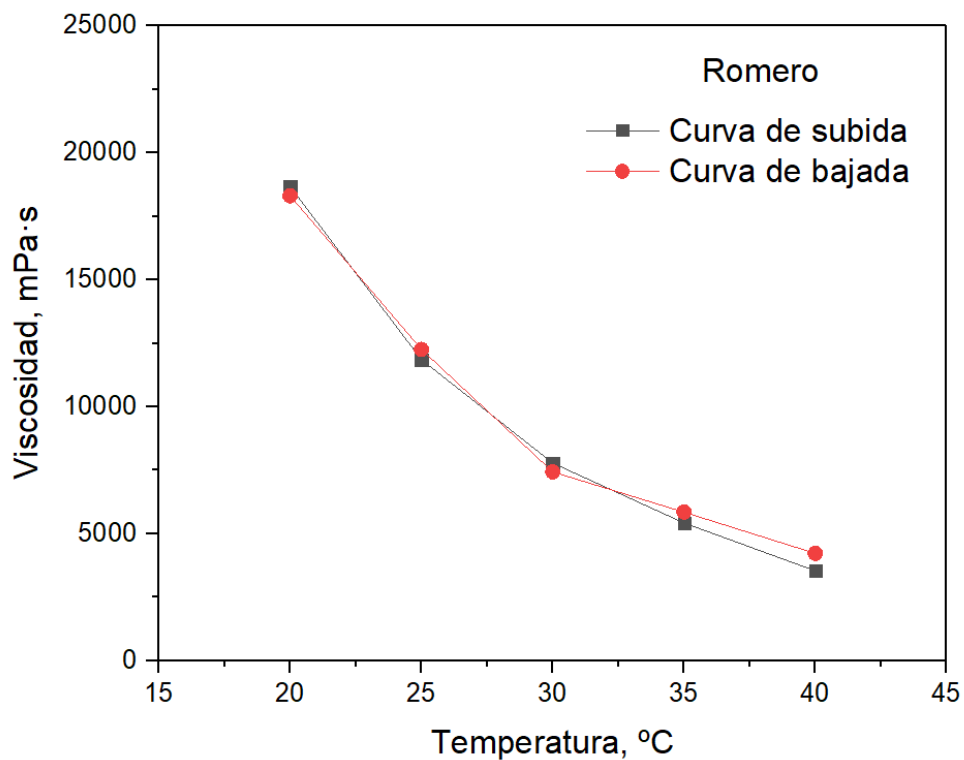


Figura 67: temperatura vs viscosidad para muestra 1 de romero a  $300 \text{ s}^{-1}$ . Fuente: elaboración propia

Muestra: Romero M1

Gradiente de velocidad =  $300 \text{ s}^{-1}$

Tiempo = después de 2 meses

Temperatura (°C)	Viscosidad, subida (mPa·s)	Viscosidad, bajada (mPa·s)
20	31841	34909
25	34249	48942
30	15944	25733
35	6767	10225
40	4656	6370

Tabla 9: Resultados viscosidad frente a gradiente de velocidad constante. Muestra Romero después de 2 meses . Fuente: elaboración propia

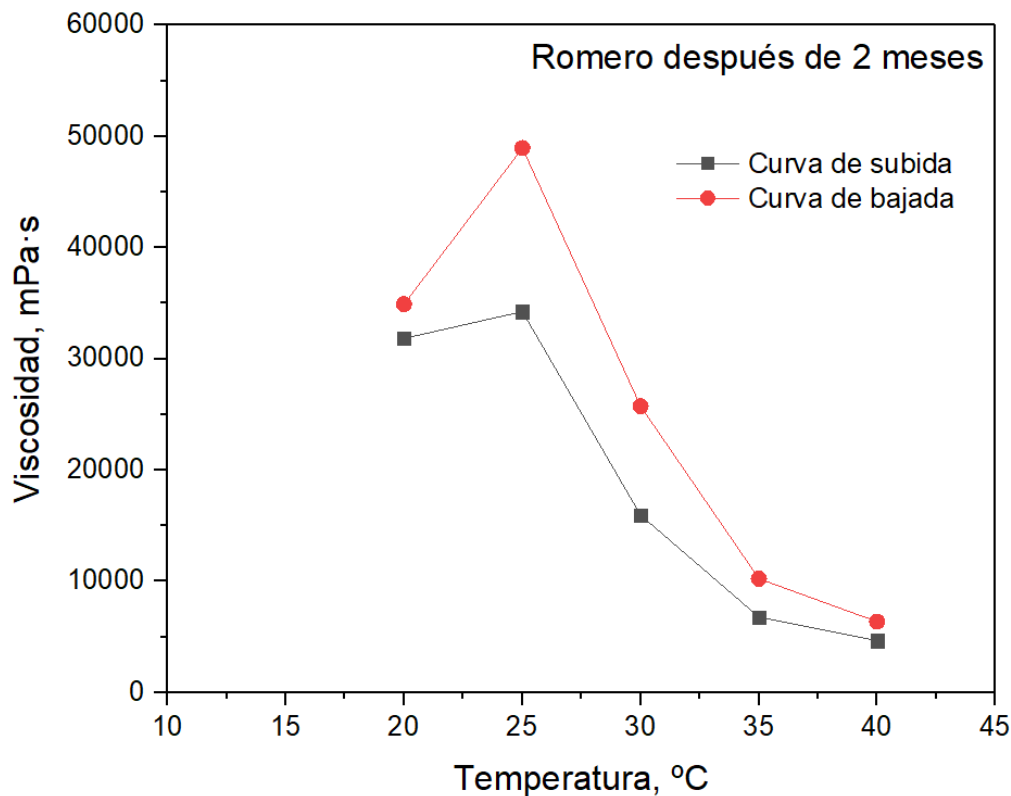


Figura 68: temperatura vs viscosidad para muestra 1 de romero a  $300 \text{ ss}^{-1}$  tras dos meses. Fuente: elaboración propia

La muestra de Levantamuertos tanto de un día como a los dos meses también se observa cómo se comporta de una manera dependiente del tiempo, por lo tanto, como la curva de subida es menor que la de bajada también sería un fluido reopéctico.

En la muestra del primer día ocurre una manera algo peculiar, debido a que, en este caso al aumentar la temperatura la viscosidad aumenta. Esto es característico de los gases. Seguramente, esto se ha producido debido a error experimental.

Cuando analizamos los datos obtenidos después de dos meses, se observa lo esperado, que la viscosidad disminuye con respecto a la temperatura como suele ocurrir en general en las mieles.

Por tanto, considerando los valores de viscosidad obtenidos después de dos meses, podemos ver que estos oscilan entre 17060 a 2992 mPa.s para el rango entre 20 y 40°C a gradiente de velocidad de  $300 \text{ s}^{-1}$  constante.

Muestra: Levantamuertos M1

Gradiente de velocidad =  $300 \text{ s}^{-1}$

Tiempo = día 1

Temperatura (°C)	Viscosidad, subida (mPa·s)	Viscosidad, bajada (mPa·s)
20	6898	6298
25	13663	21670
30	9226	20981
35	14676	25349
40	14876	31669

Tabla 10: Resultados viscosidad frente a gradiente de velocidad constante Levantamuertos. Fuente: elaboración propia

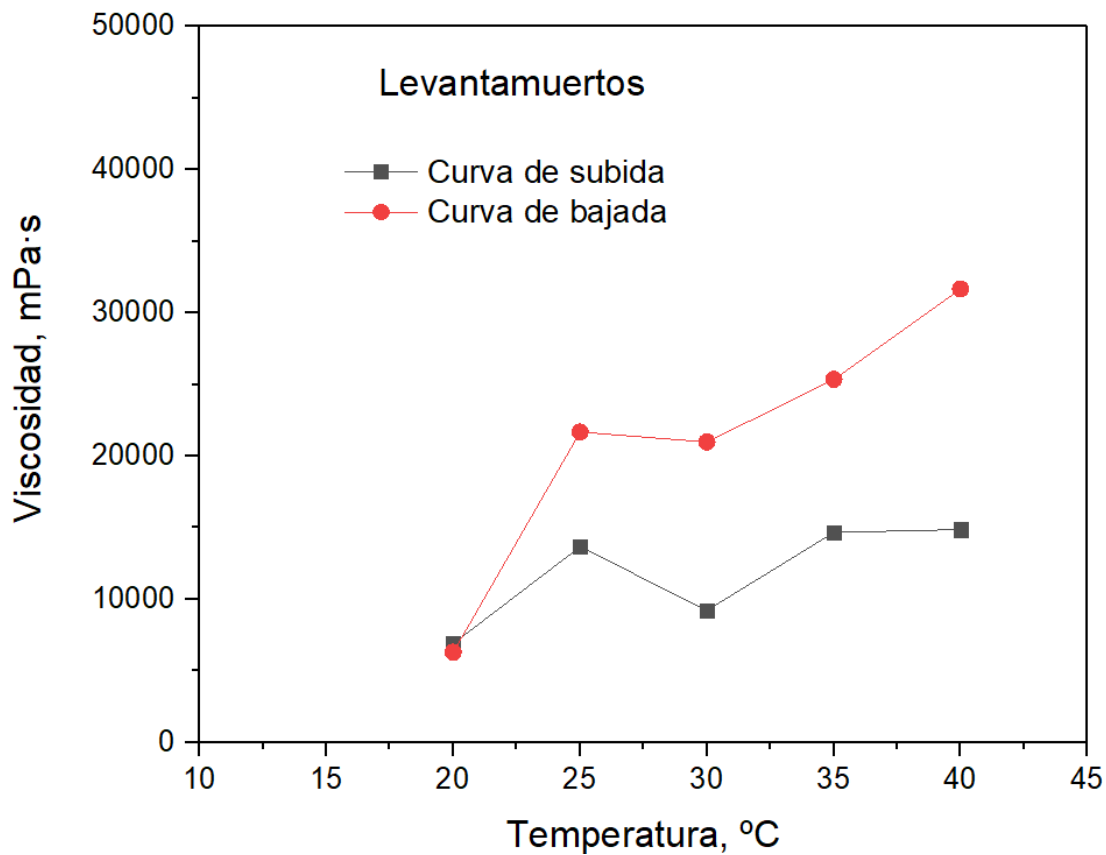


Figura 69: temperatura vs viscosidad para muestra 1 de Levantamuertos a  $300 \text{ s}^{-1}$ . Fuente: elaboración propia

Muestra: Levantamuertos M1

Gradiente de velocidad =  $300 \text{ s}^{-1}$

Tiempo = después de 2 meses

Temperatura (°C)	Viscosidad, subida (mPa·s)	Viscosidad, bajada (mPa·s)
20	16920	17060
25	9615	9922
30	2367	3451
35	3222	3724
40	2992	5003

Tabla 11: Resultados viscosidad frente a gradiente de velocidad constante Levantamuertos tras dos meses. Fuente: elaboración propia

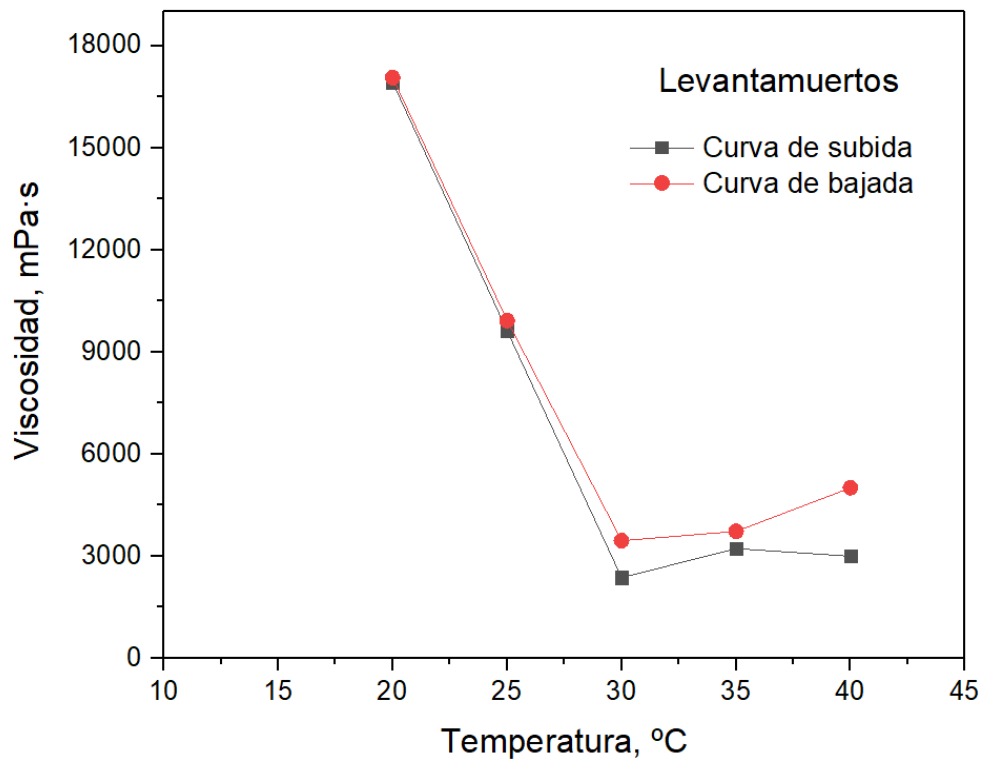


Figura 70: temperatura vs viscosidad para muestra 1 de Levantamuertos a  $300 \text{ ss}^{-1}$  tras dos meses. Fuente: elaboración propia

Finalmente, en la muestra de Brezo Erica se comporta de la misma a manera que en los otros tipos de mieles debido a que también se trataría de un fluido reopécticos por las características mencionadas con anterioridad.

Cuando analizamos los datos obtenidos después de dos meses, se observa lo esperado, que la viscosidad disminuye con respecto a la temperatura como suele ocurrir en general en las mieles, excepto a temperatura de 35°C. donde se observa un aumento de la viscosidad, lo cual no debe ocurrir, por lo que se debe haber producido un error experimental en la medida,

Los valores de viscosidad inicialmente oscilan entre 27152 a 3653 mPa.s para el rango entre 20 y 40°C. Una vez transcurridos los 2 meses, esta miel aumenta los valores de viscosidad, obteniéndose valores entre 21372 a 2698 mPa.s a gradiente de velocidad de 300  $s^{-1}$  constante.



Muestra: Brezo Erica M1

Gradiente de velocidad =  $300 \text{ s}^{-1}$

Tiempo = día 1

Temperatura (°C)	Viscosidad, subida (mPa·s)	Viscosidad, bajada (mPa·s)
20	18231	27152
25	10263	13947
30	6232	7173
35	11051	13259
40	3653	3853

Tabla 12: Resultados viscosidad frente a gradiente de velocidad constante Brezo Erica. Fuente: elaboración propia

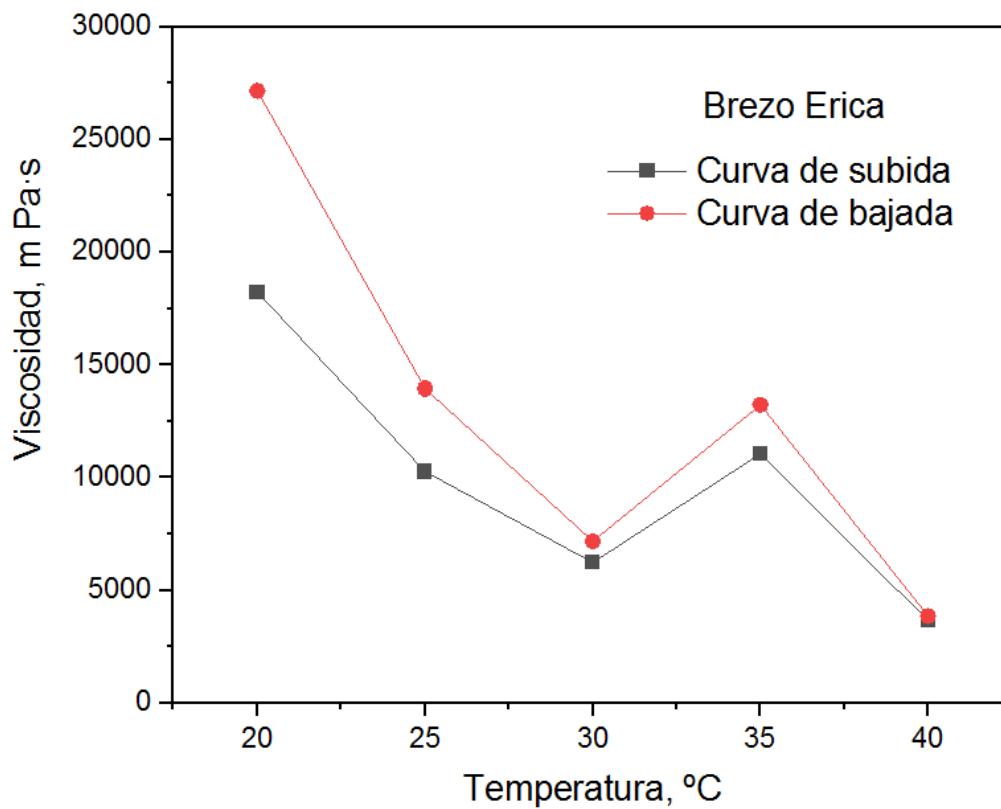


Figura 71: temperatura vs viscosidad para muestra 1 de Brezo Erica a  $300 \text{ s}^{-1}$ . Fuente: elaboración propia

Muestra: Brezo Erica M1

Gradiente de velocidad =  $300 \text{ s}^{-1}$

Tiempo = después de 2 meses

Temperatura (°C)	Viscosidad, subida (mPa·s)	Viscosidad, bajada (mPa·s)
20	17459	21372
25	10355	14211
30	7706	13671
35	4617	8077
40	2698	2835

Tabla 13: Resultados viscosidad frente a gradiente de velocidad constante Brezo Erica tras dos meses. Fuente: elaboración propia

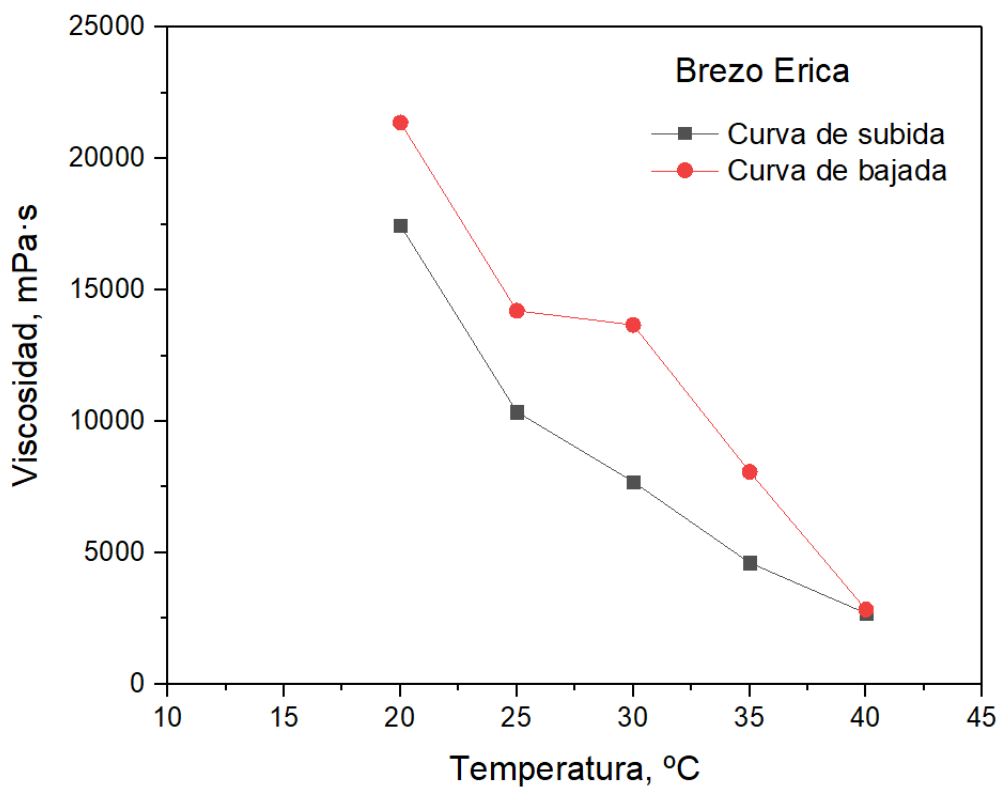


Figura 72: temperatura vs viscosidad para muestra 1 de Brezo Erica a  $300 \text{ s}^{-1}$ . Fuente: elaboración propia

**VALORES DE VISCOSIDAD EN FUNCIÓN DEL TIPO MIEL Y RANGO DE  
TEMPERATURA (20-40 °C ) a 300 s<sup>-1</sup>**

<b>Muestras</b>	<b>Viscosidades (mPa.s) entre 20-40 °C</b>	
	<b>Medida: 1er día</b>	<b>Medida: 2 meses después</b>
<b>Romero</b>	18670 - 3536	48942 - 4656
<b>Levantamuertos</b>	-	17060 - 2992
<b>Brezo Erica</b>	27152 a 3653	21372 - 2698

*Tabla 14: Resultados viscosidad en función del tipo de miel y rango de temperatura (20-40 °C ) a 300 s<sup>-1</sup> . Fuente: elaboración propia*

### 3.6.3.1. INFLUENCIA DEL TIPO DE MIEL EN LA VISCOSIDAD A TEMPERATURA DE 30 °C

A continuación, se presentan las curvas de viscosidad en función del tipo de miel a una temperatura de 20 y 30 °C y en función de tiempo, medidas el primer día y dos meses después.

Se observa que para la medida de día 1, el valor de viscosidad de la miel levantamueertos es la mayor, seguido de Romero y por último el de Brezo Erica.

Esto varía a los dos meses debido a que, a las mismas condiciones, temperatura constante de 30°C los valores de viscosidad varían, ya que ahora el Romero es el que mayor viscosidad presenta, seguido de brezo Erica y finalmente el valor más bajo de viscosidad de la miel Levantamueertos

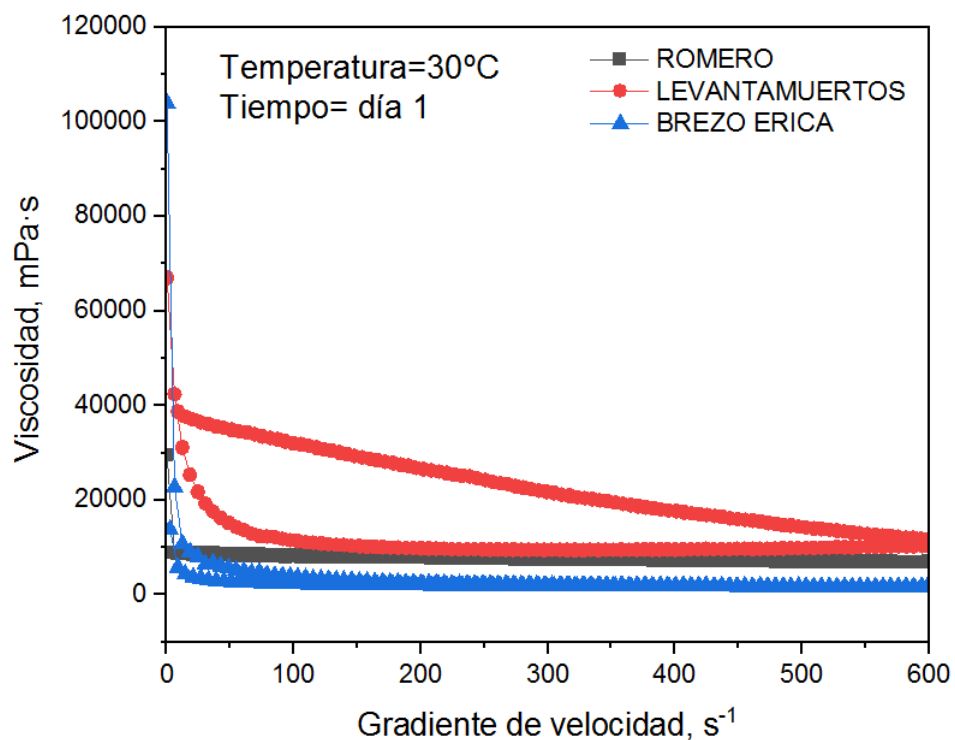


Figura 73: Viscosidad vs gradiente de velocidad a T=30°C, 1 día. Fuente: elaboración propia

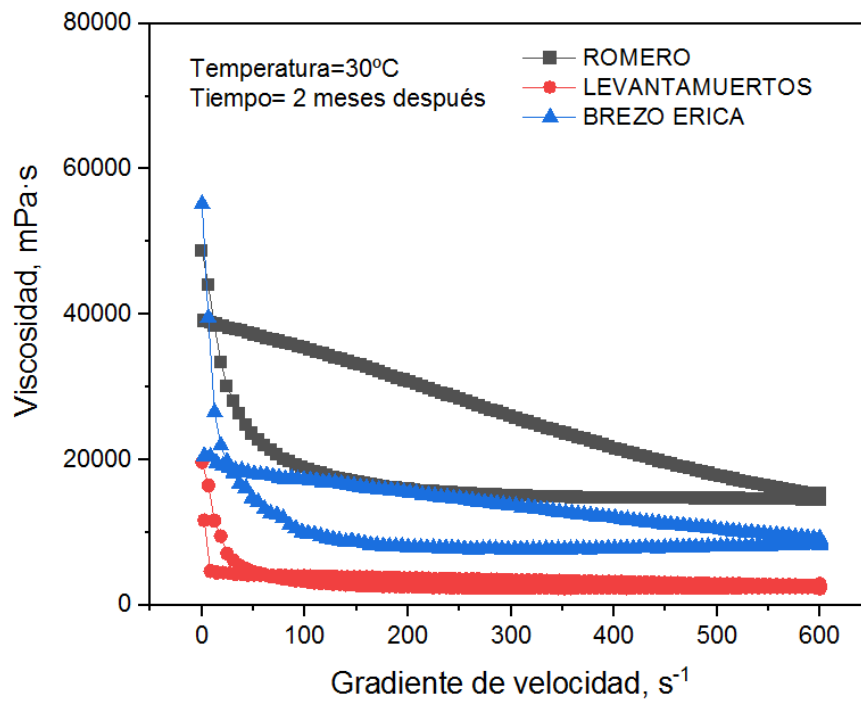


Figura 74: Viscosidad vs gradiente de velocidad a  $T=30^{\circ}\text{C}$ , 2 meses después. Fuente: elaboración propia

**VALORES DE VISCOSIDAD EN FUNCIÓN DEL TIPO MIEL A TEMPERATURA DE  
 25°C Y 300 s<sup>-1</sup>**

<b>Muestras</b>	<b>Viscosidad (mPa.s)</b>	
	<b>Curva de bajada</b>	
	<b>Medida: 1er día</b>	<b>Medida: 2 meses después</b>
<b>Romero</b>	12256	48942
<b>Levantamuertos</b>	21670	9922
<b>Brezo Erica</b>	13947	14211

Tabla 15: valores de viscosidad en función del tipo miel a temperatura de 25°C y 300 s<sup>-1</sup>. Fuente: elaboración propia

**VALORES DE VISCOSIDAD EN FUNCIÓN DEL TIPO MIEL A TEMPERATURA DE  
 30°C Y 300 s<sup>-1</sup>**

<b>Muestras</b>	<b>Viscosidad (mPa.s)</b>	
	<b>Curva de bajada</b>	
	<b>Medida: 1er día</b>	<b>Medida: 2 meses después</b>
<b>Romero</b>	7434	25733
<b>Levantamuertos</b>	-	3451
<b>Brezo Erica</b>	7173	13671

Tabla 16: valores de viscosidad en función del tipo miel a temperatura de 30°C y 300 s<sup>-1</sup>. Fuente: elaboración propia

## 2.7.4 COLOR

En cuanto a la medición de resultados se analiza el comportamiento de cada valor de RGB y se compara con un programa para ver qué color es el que detecta verdaderamente.

El primero que debe de detecta es el blanco que como se ve con anterioridad muestra los valores reales.

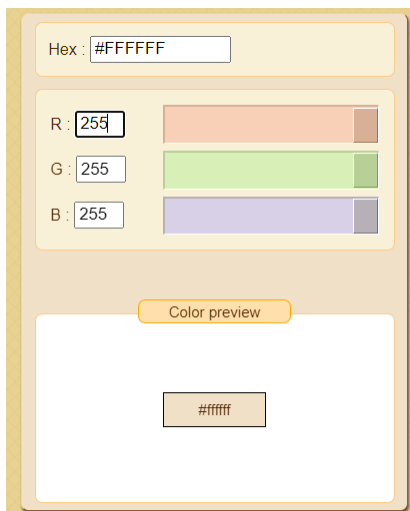


Figura 75: medición color RGB. Fuente: Peko Step

También se ha realizado de otra manera, mediante el entorno de simulación de MyOpenLab para obtener valores con una mayor rapidez.

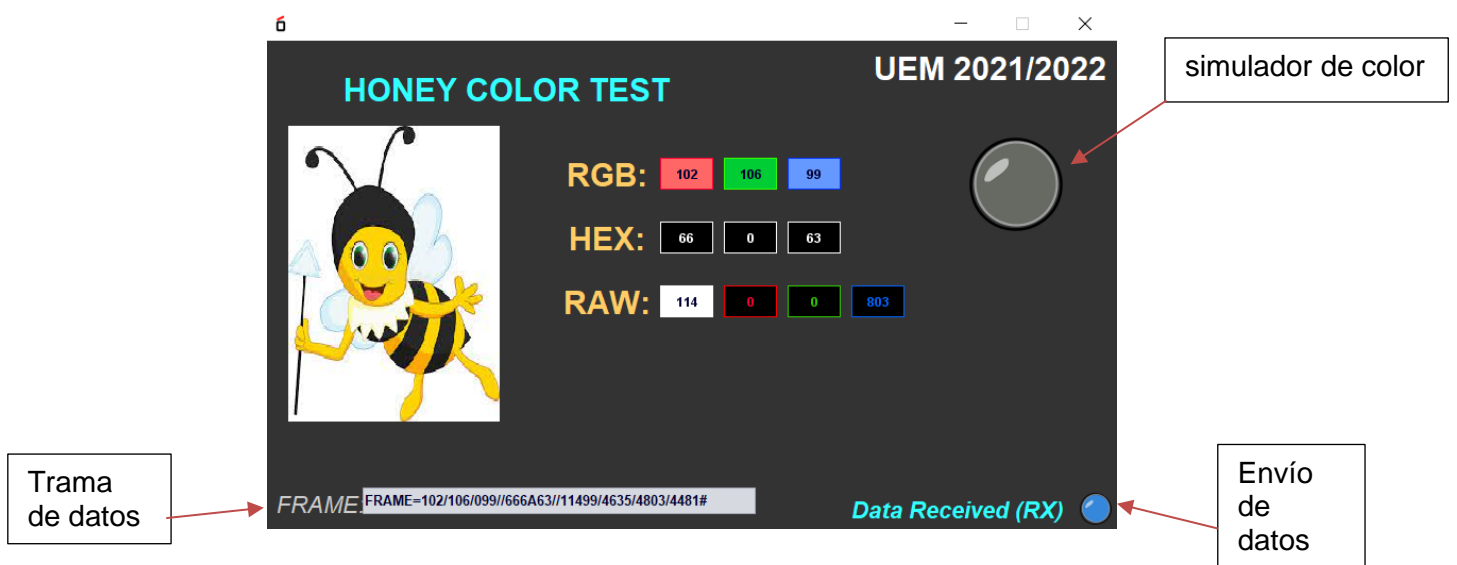


Figura 76: pantalla de simulación MyOpenLab. Fuente: elaboración propia

	<b>R</b>	<b>G</b>	<b>B</b>	<b>DESVIACIÓN</b>		
<b>Muestra 1</b>	174	56	33	13,43	-6,34	10,81
	212	67	40	-5,47	1,58	-8,10
	196	62	36	2,48	-3,17	2,70
	212	65	38	-5,47	-7,93	-2,70
	212	68	40	-5,47	0	-8,10
	204	63	38	-1,49	0	-2,7
<b>Media</b>	<b>201</b>	<b>63</b>	<b>37</b>	<b>5,63</b>	<b>3,17</b>	<b>5,85</b>

Tabla 17: Muestra 1. valores RGB y desviaciones. Fuente: Elaboración propia



	<b>R</b>	<b>G</b>	<b>B</b>	<b>DESVIACIÓN</b>		
<b>Muestra 2</b>	175	55	33	8,85	9,83	8,33
	213	68	40	-10,93	-11,47	-11,11
	207	67	37	-7,81	-9,83	-2,77
	186	60	36	3,12	1,63	0
	182	59	35	5,20	3,27	2,77
	194	61	36	-1,04	0	0
<b>Media</b>	<b>192</b>	<b>61</b>	<b>36</b>	<b>6,19</b>	<b>6</b>	<b>4,16</b>

Tabla 18: Muestra 2. valores RGB y desviaciones. Fuente: Elaboración propia





	R	G	B		DESVIACIÓN	
<b>Muestra 3</b>	255	85	48	0	4,49	9,43
	255	94	53	0	-5,6	0
	255	93	52	0	-4,49	1,88
	255	85	49	0	4,49	7,54
	255	92	52	0	-3,37	1,88
	255	85	68	0	4,49	-28
<b>Media</b>	<b>255</b>	<b>89</b>	<b>53</b>	<b>0</b>	<b>3,74</b>	<b>8,12</b>

Tabla 19: Muestra 3. valores RGB y desviaciones. Fuente: Elaboración propia



	R	G	B		DESVIACIÓN	
<b>Muestra 4</b>	255	94	52	0	4,08	3,70
	255	92	51	0	6,12	5,55
	255	101	56	0	-3,06	-3,70
	255	104	57	0	-6,12	-5,55
	255	95	53	0	3,06	1,85
	255	107	58	0	-9,1	-7,40
<b>Media</b>	<b>255</b>	<b>98</b>	<b>54</b>	<b>0</b>	<b>5,25</b>	<b>4,62</b>

Tabla 20: Muestra 4. valores RGB y desviaciones. Fuente: Elaboración propia



	<b>R</b>	<b>G</b>	<b>B</b>		<b>DESVIACIÓN</b>	
<b>Muestra 5</b>	255	92	50	0	18,58	16,66
	255	108	57	0	4,42	5
	255	95	51	0	15,92	15
	255	128	68	0	-13,27	-13,33
	255	126	66	0	-11,50	-10
	255	130	68	0	-15,04	-13,33
<b>Media</b>	<b>255</b>	<b>113</b>	<b>60</b>	<b>0</b>	<b>13,12</b>	<b>12,22</b>

Tabla 21: Muestra 5. valores RGB y desviaciones. Fuente: Elaboración propia



	<b>R</b>	<b>G</b>	<b>B</b>		<b>DESVIACIÓN</b>	
<b>Muestra 6</b>	255	148	76	0	-7,24	-7,04
	255	108	56	0	21,73	21,12
	255	118	65	0	14,49	8,45
	255	153	78	0	-10,86	-9,85
	255	156	80	0	-13,04	-12,67
	255	147	75	0	-6,52	-5,63
<b>Media</b>	<b>255</b>	<b>138</b>	<b>71</b>	<b>0</b>	<b>12,31</b>	<b>10,79</b>

Tabla 22: Muestra 6. valores RGB y desviaciones. Fuente: Elaboración propia



Efectivamente el sensor es capaz de detectar este tipo de colores sin problema, pero ahora se analiza el nivel de precisión, es por ello, por lo que se procede a las mieles tanto reales como la paleta realizada.

En cuanto a la desviación de cada una de las muestras se observa como a partir de la muestra 3, el valor de R incrementa hasta un 100%, obteniendo un valor de 255. Sin embargo, la desviación tanto de G y B va incrementando cuando se acerca a tonalidades de mayor claridad, siendo las muestras 5 y 6 las más claras.

Teniendo en cuenta que nos encontramos ante tonalidades de una misma gama y habiendo llegado la R al valor máximo, los únicos parámetros que varían son el G y B.

En general la desviación con respecto a la media no suele superar un 10% por lo que el sensor presenta una cierta precisión, en torno a un 90% para la distinción de dichas tonalidades de miel.

El sensor presenta una mayor precisión en la distinción de colores oscuros frente a los más claros.

## 2.8 IMPACTO SOBRE LA SALUD Y EL MEDIOAMBIENTE

En cuanto a aspectos ambientales se puede destacar los beneficios que puede tener la apicultura en la flora como por ejemplo la polinización de las abejas en las plantas con flores son esenciales para que continúe en la Tierra la vida. Se trata de un proceso esencial en la vida.[23]

Además, los componentes de la miel son beneficiosos para la salud humana ya que contienen una serie de nutrientes y a la vez aspectos medicinales que puede llegar a utilizarse junto con procedimientos químicos para su mejora y realizar medicamentos. [23]

Con el uso de la miel se generan muchos bienes a la sociedad como por ejemplo la elaboración de velas o cerveza. Con esto trae mejores ventas y fomenta la economía. Estos aspectos producen un fortalecimiento en el desarrollo sostenible [23]

Sin la visita de las abejas a sus flores muchas plantas irían disminuyendo su presencia por falta de reproducción, lo que ocasionaría una desprotección del suelo y un aumento de la erosión por el viento y la lluvia. [20]

La colorimetría va asociada a la optimización de procesos, esto implica siempre un ahorro no solo de tiempos, sino que además hace que el sistema productivo sea más sostenible de forma holística

## 2.9 PRESUPUESTO

### 2.9.1 COSTE DE MATERIALES Y MANO DE OBRA

Para el cálculo del presupuesto de este proyecto se va a considerar el coste total de los materiales que se utilizan y su mano de obra.

Para realizar el coste de la mano de obra se utiliza un Boletín Oficial del Estado, 159/2022, de 22 de febrero, por el que se fija el salario para un ingeniero para 2022, en concreto en el artículo 1 [22]

Según el artículo Art. 29.2 del III Convenio de estructura del Grupo Mercantil ISS. [22] Los requisitos de mano de obra en el grupo de profesionales que encajan son en el grupo A debido a que se tiene una titulación universitaria de grado superior.

Tomando como base una jornada de 40 h/ semanales el proyecto ha llevado 5 meses, desde el mes de enero hasta el mes de junio. Partiendo de que el salario para un ingeniero anualmente de promedio es de 37900 € [20], llegando a ganar por mes un total de 3158,33€.

Si se realizan los cálculos, para 5 meses serían un total de **15791,66 €**,

Para el coste de los materiales se tiene en cuenta su correspondiente adquisición por la cantidad comercializada.

## 2.9.2 PRESUPUESTO FINAL

Si contamos la mano de obra junto con los materiales necesarios para la realización de dicho proyecto, el coste total sería de **15858,57€**

Nº	Material	Cantidad	Coste
1.	Fungibles	(g)	€
	Romero	500	5,9
	Brezo Erica	500	5,4
	Levantamueertos	220	8,7
SUBTOTAL			20
2.	Componentes eletrónic unidad		€
	TCS 34725	1	12,69
	Heltec Wifi Lora 32 (V2	1	31,99
	materiales varios	5%	2,23
SUBTOTAL			46,91
3.	Mano de obra	personal	€
	Salario	1	15791,66
TOTAL			15858,57

Tabla 16: presupuesto del proyecto de fin de grado . Elaboración propia .

## 2.10 CONCLUSIONES

De la investigación realizada se concluye,

Las mieles estudiadas, de acuerdo con la humedad presentada están dentro del rango que presenta la delegación alimenticia (hasta un 20% de humedad, en brix un 80%) por lo que se encuentran en buen estado . A mayor humedad, mayor viscosidad y cantidad de sales disueltas.

Se comprueba que el Levantamuertos es el que tiene mayores sales con un brix de 79% y por lo tanto que mejores propiedades higroscópicas presenta, mejor absorción de la humedad.

Todas las mieles estudiadas se clasifican como **mieles florales**, teniendo en cuenta que por encima de 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  se trata de mieles mieladas y por debajo de dicho valor mieles florales. La miel Romero es la que presenta menor conductividad ( 0,68  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y la de Levantamuertos la de mayor (6,96  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

En cuanto al estudio reológico se determina que las mieles estudiadas son todas NO Newtonianas debido a que los valores de viscosidad no son constantes con el gradiente de velocidad. Además, varía con el tiempo, siendo todos **reopécticos** o con **tixotropía negativa**.

Las mieles estudiadas, disminuyen su viscosidad a medida que aumenta la temperatura.

A medida que pasan los meses los valores de viscosidad varían. Por ejemplo, el primer día el que mayor viscosidad presenta es el Levantamuertos, seguido de Romero y Brezo Erica, aunque tras los dos meses el de mayor viscosidad pasa a ser el Romero, seguido de Brezo Erica y la de menor viscosidad es la de Levantamuertos a temperaturas de 25 y 30 °C y un gradiente de velocidad de 300 s<sup>-1</sup>

Los valores de viscosidad a 25 °C y a un gradiente de velocidad de 300 s<sup>-1</sup> son: muestras Romero-48942 mPa.s, Brezo Erica-14211 mPa.s y Levantamuertos-9922 mPa.s,

El sensor utilizado en el módulo TCS 34725, presenta una mayor desviación, ( más de un 10%) para colores claros, siendo **más preciso en colores ámbar oscuro**.

---

## 2.11 FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

- ❖ Estudiar de forma más rigurosa el comportamiento de la humedad y la conductividad
  
- ❖ Estudiar la composición de las mieles antes y después del aumento de temperatura
  
- ❖ Cuantificar el grado de tixotropía en función del cálculo de área obtenida en la curva de flujo.
  
- ❖ Determinar el modelo reológico que más se ajusta y los parámetros reológicos en función de los diferentes factores estudiados.
  
- ❖ Realizar más pruebas para la determinación del color amarillo
  
- ❖ Conseguir un prototipo que a partir del punto anterior diga de qué tipo de miel se trata



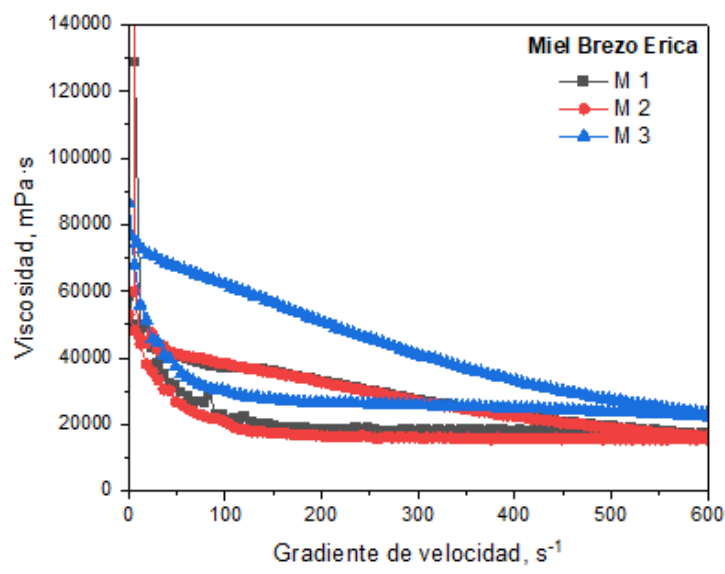
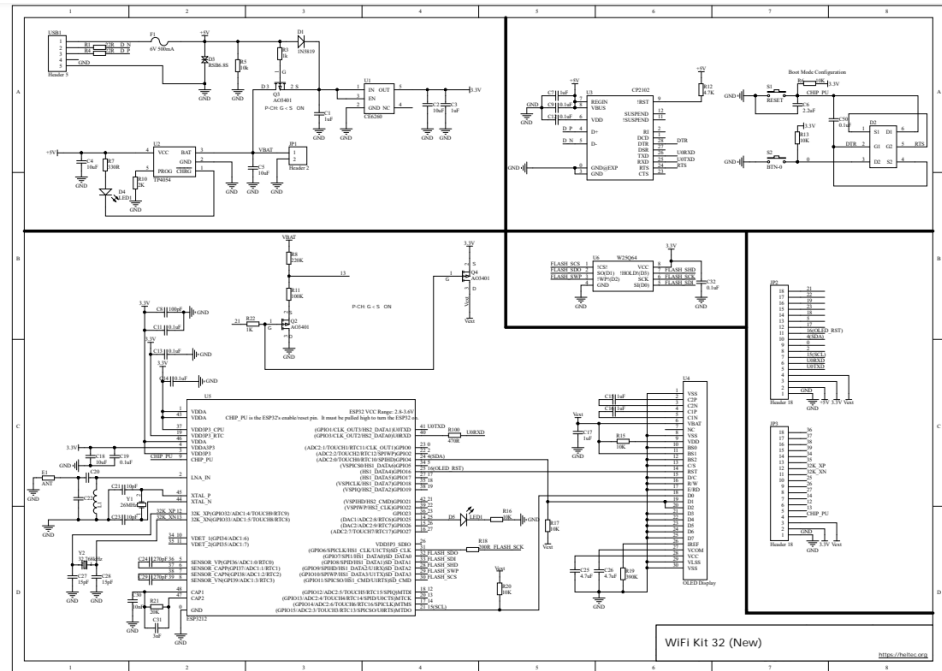
## Capítulo 3. Bibliografía

- 1] Osvaldo., «¿Cuál es la importancia de las abejas? Para la Naturaleza.,» 21 6 2018. [En línea]. Available: <https://www.paralanaturaleza.org/cual-es-la-importancia-de-las-abejas/#abejas/1>.
- 2] G. E. N. A. S. & Y. D. K. Maldonado, «A comparative study of texture and rheology of Argentinian honeys from two regions,» *Journal of texture studies*, pp. 424-433, 2018.
- 3] N. A. D. F. J. & N. K. Al-Habsi, «Development of novel methods to determine crystalline glucose content of honey based on DSC, HPLC, and viscosity measurements, and their use to examine the setting propensity of honey,» *Journal of food science*, vol. 78, nº 6, pp. E845-E852, 2013.
- 4] P. M. G. C. G. L. V. C. A. C. O. & F. R. da Silva, «Honey: Chemical composition, stability and authenticity.,» *Food chemistry*, vol. 196, pp. 309-323, 2016.
- 5] M. F. M. W. A. S. P. & L. A. Kędzińska-Matysek, «Characterisation of viscosity, colour, 5-hydroxymethylfurfural content and diastase activity in raw rape honey (*Brassica napus*) at different temperatures.,» *Journal of food science and technology*, vol. 53, nº 4, pp. 2092-2098, 2016.
- 6] D. N. J. M. & Q.-R. L. C. Gómez-Díaz, « Effect of temperature on the viscosity of honey.,» *International Journal of Food Properties*, vol. 12, nº 2, pp. 396-404., 2009.
- 7] O. I. J. A.-Z. F. A. V.-A. A. O. C.-D. J. E. & Q.-Q. A. Marín-Machuca, «REOLOGÍA FISCOQUÍMICA DEL JARABE DE FRUTA (MIEL) PARA TURRÓN.,» *Biotempo*, vol. 18, nº 1, pp. 101-108., 2021.
- 8] M. (. Blanco Pérez, «Parámetros fisicoquímicos en mieles monoflorales españolas de la campaña 2020,» 01 09 2021. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/171155>.
- 9] A. M. I. Peral Pinto, «dentificación de marcadores químicos en mieles monoflorales españolas,» (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València)., Valencia , 2021.
- 10] R. D. T. R. & P. A. M. .. Andrade, «Efecto de la Adición de Jarabes de Sacarosa y Fructosa en el Comportamiento Reológico de Miel de Abejas.,» *Información tecnológica*, vol. 27, nº 1, pp. 03-08., 2016.
- 11] s/f, QUE ES LA REOLOGIA, 12 3 2022. [En línea]. Available: <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/que-es-la-reologia>.
- 12] A. 1707, «fluidos newtonianos .,» 13 Marzo 2014. [En línea]. Available: <https://andespary.wordpress.com/fluidos/fluidos-newtoniano/>.
- 13] (s/f), «TRASVASE DE FLUIDOS NO NEWTONIANOS.,» 17 3 2022. [En línea]. Available: <http://www.adareng.com/es/articulo/trasvase-de-fluidos-no-newtonianos/n-4>.

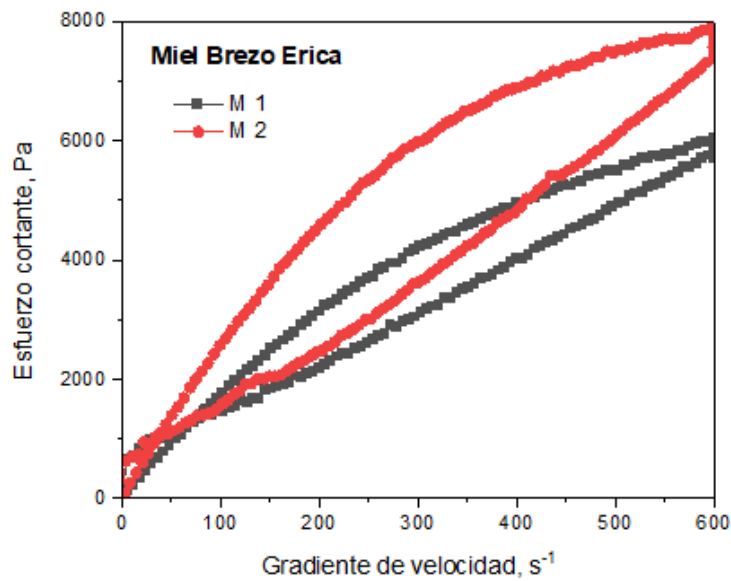
- P. M. G. C. G. L. V. C. A. C. O. & F. R. da Silva, « Honey: Chemical composition, stability and authenticity.,» *Food chemistry*, vol. 196, pp. 309-323., 2016.
- 14] s. & R. E. Mielmari, «equivalencia de grados brix y porcentaje de humedad en la miel . Comunidad de foros de Apicultura.,» 12 9 2016. [En línea]. Available: <https://salines.mforos.com/1949906/12750755-equivalencia-de-grados-brix-y-porcentaje-de-humedad-en-la-mi>.
- 15] B. Chef, « Posibles colores de la miel, ¿a qué se deben?,» beevoo, 14 6 2020. [En línea]. Available: <https://beevoo.net/blog/posibles-colores-de-la-miel-a-que-se-deben/>.
- 16] «Comunicación I2C,» Control Automático Educación., 27 6 2016. [En línea]. Available: <https://controlautomaticoeducacion.com/microcontroladores-pic/comunicacion-i2c/>.
- 17] [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=TFQtKLhlpis&t=786s>.
- 18] (s/f)., «TCS34725 datasheet, PDF,» Alldatasheet, 12 3 2022. [En línea]. Available: [https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Tcs34725%20datasheet&gclid=CjwKCAiAprGRBhBgEiwANJEY7LJWY9-sfCgJk06tB\\_BwkWQzvEgZD6riteKSKXshgj8p2\\_qN-SYS](https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Tcs34725%20datasheet&gclid=CjwKCAiAprGRBhBgEiwANJEY7LJWY9-sfCgJk06tB_BwkWQzvEgZD6riteKSKXshgj8p2_qN-SYS).
- 19] jobted. [En línea]. Available: <https://www.jobted.es/salario/ingeniero#:~:text=Sueldo%20del%20Ingeniero%20en%20Espa%C3%B1a&text=El%20sueldo%20de%20un%20Ingeniero,130.000%20%E2%82%AC%20brutos%20por%20a%C3%B1o..>
- 20] A. E. d. C. y. E. d. Madrid, ASEMIEL-ANIMPA, [En línea]. Available: <http://www.asemiel.org/la-miel-y-los-productos-apicolas/miel-y-medio-ambiente/>.
- 21] O. I. J. A.-Z. F. A. V.-A. A. O. C.-D. J. E. & Q.-Q. A. (. R. F. D. J. D. F. (. P. T. B. Marín-Machuca, vol. 18, nº 1, pp. 101-108..
- 22] «Ministerio de Trabajo y Economía Social,» BOE-A-2022-2851, 23 2 2022. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/02/22/152>.
- 23] N. Bradbear, Dirección de Sistemas de Apoyo a la Agricultura, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Roma 2005. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/3/y5110s/y5110s00.htm#Contents>.
- 24]

[21]

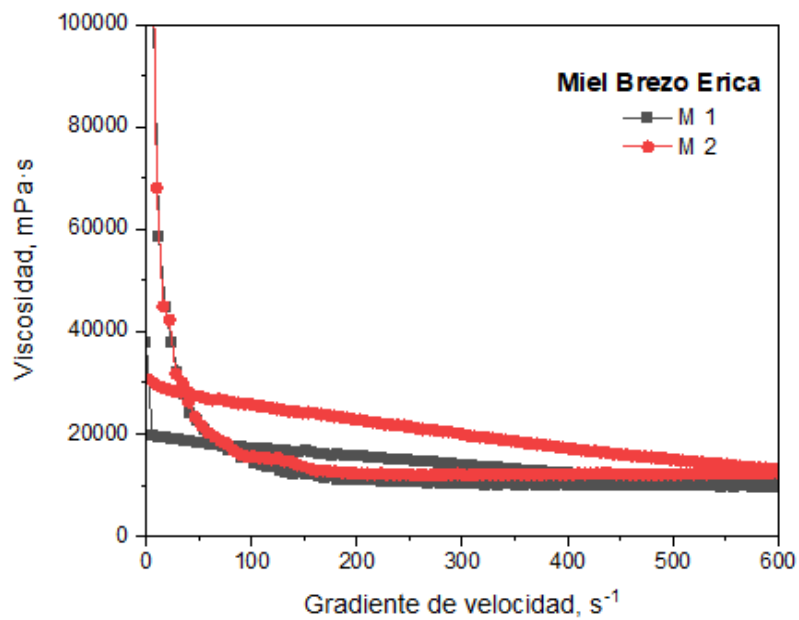
# Capítulo 4. ANEXOS



**Figura 2:** Viscosidad vs Gradiante de velocidad para la miel Brezo Erica a T = 20°C



**Figura 3:** Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T = 25°C



**Figura 4:** Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica

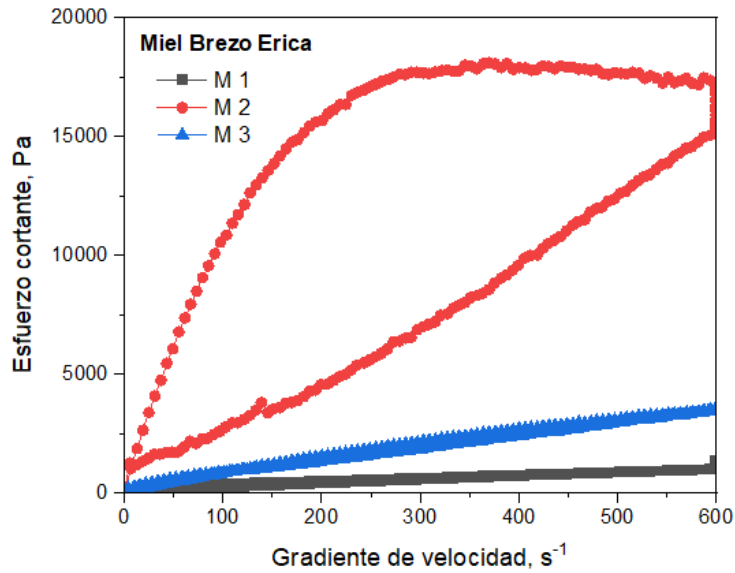


Figura 5: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T = 30°C

C

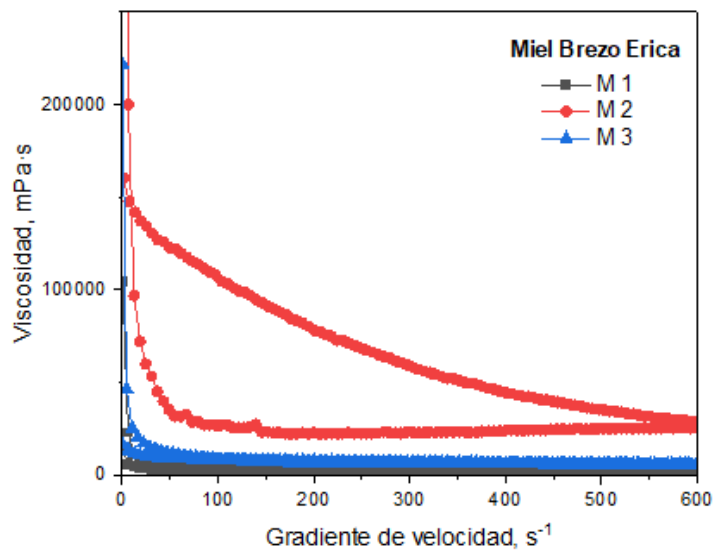
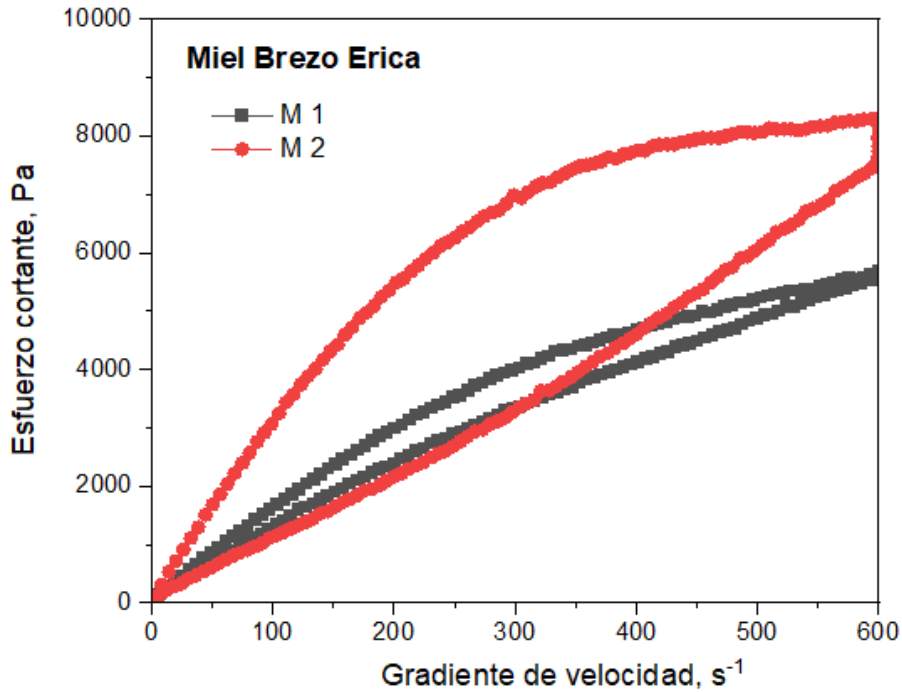
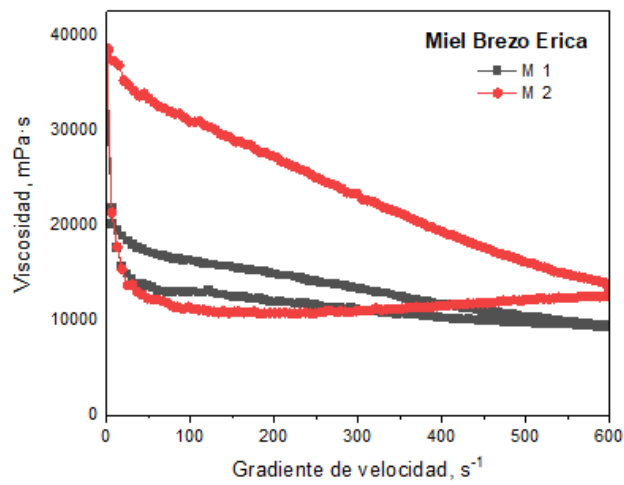


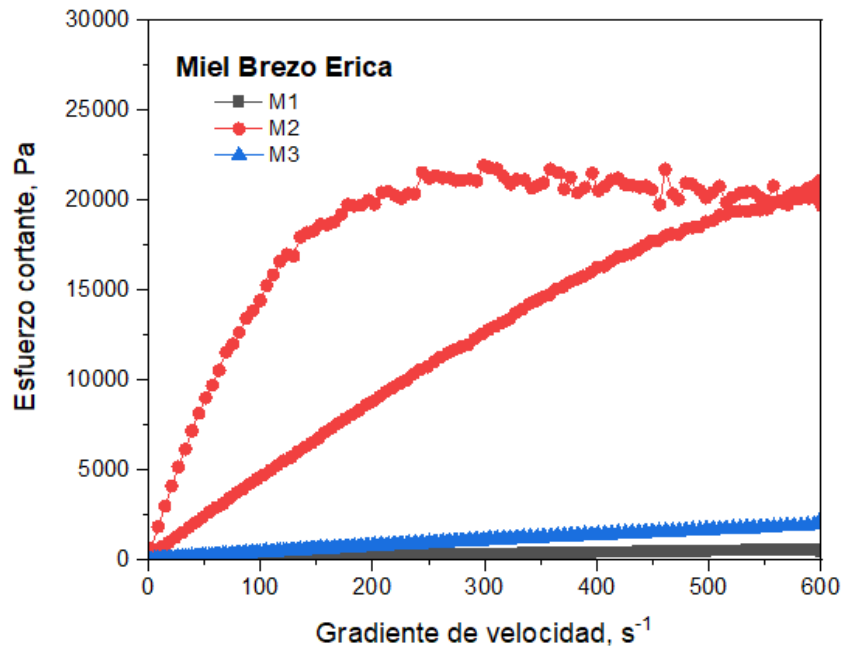
Figura 6: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T = 30°C



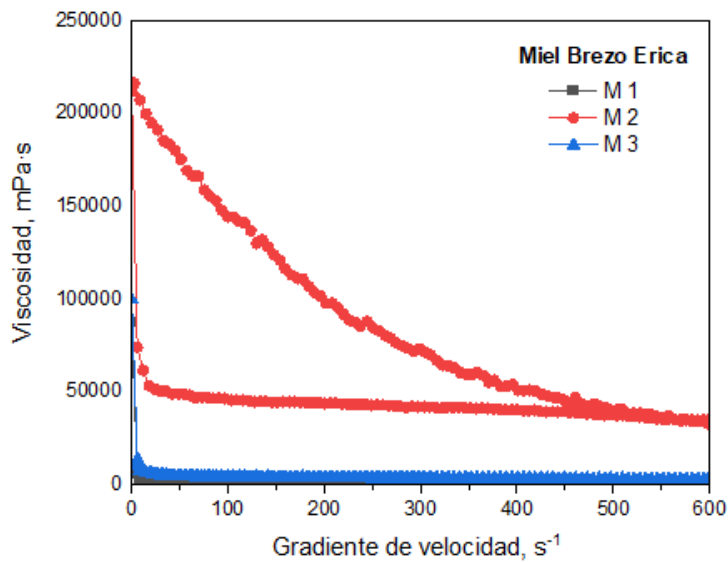
**Figura 7:** Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T = 35° C



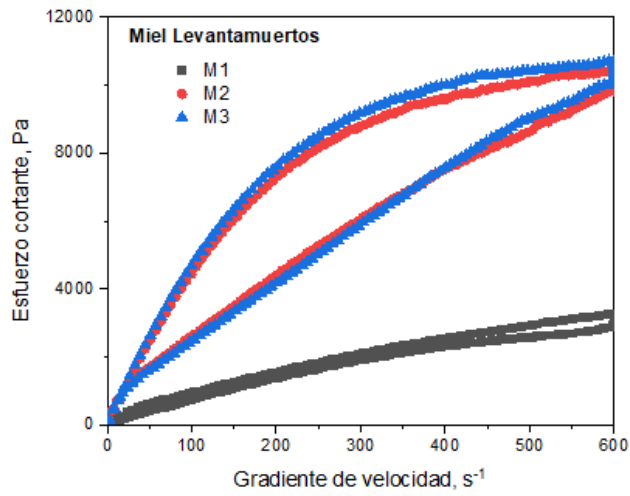
**Figura 8:** Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T = 35° C



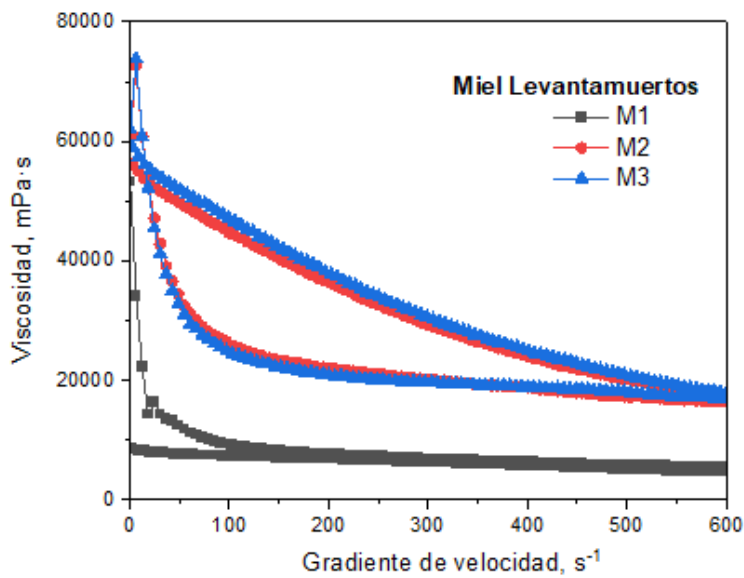
**Figura 9:** Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T = 40°C



**Figura 10:** Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Brezo Erica a T = 40°C

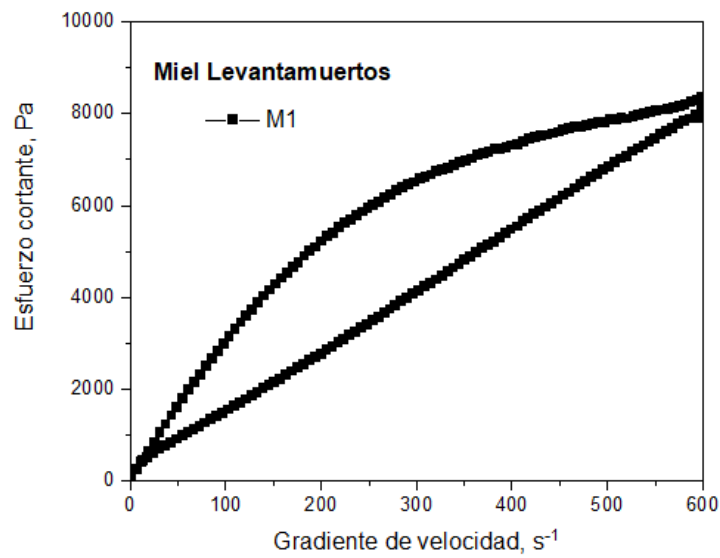


**Figura 11:** Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos a T= 20º

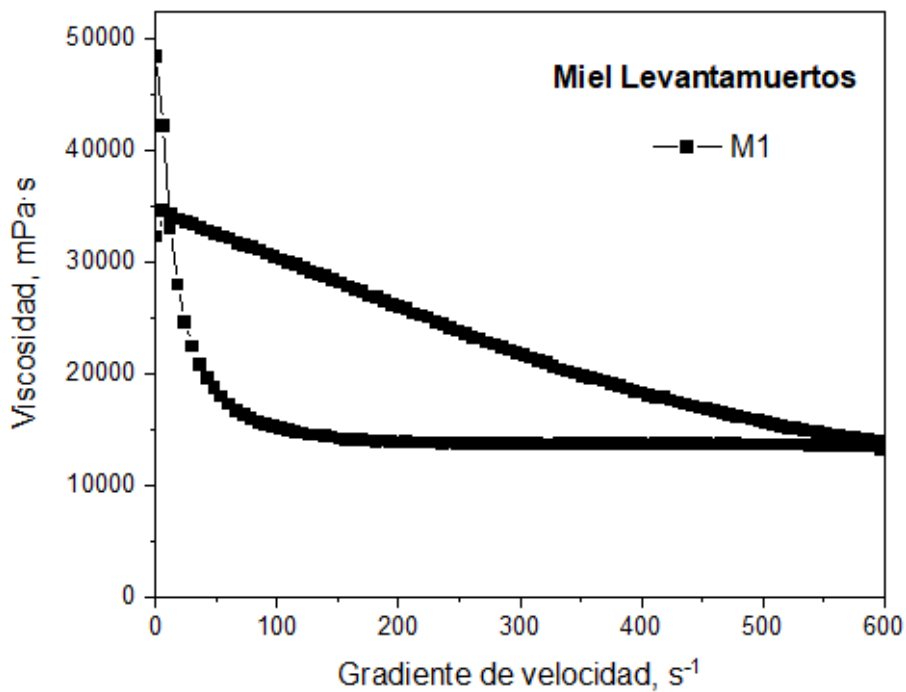


**Figura 12:** Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos a T= 20º

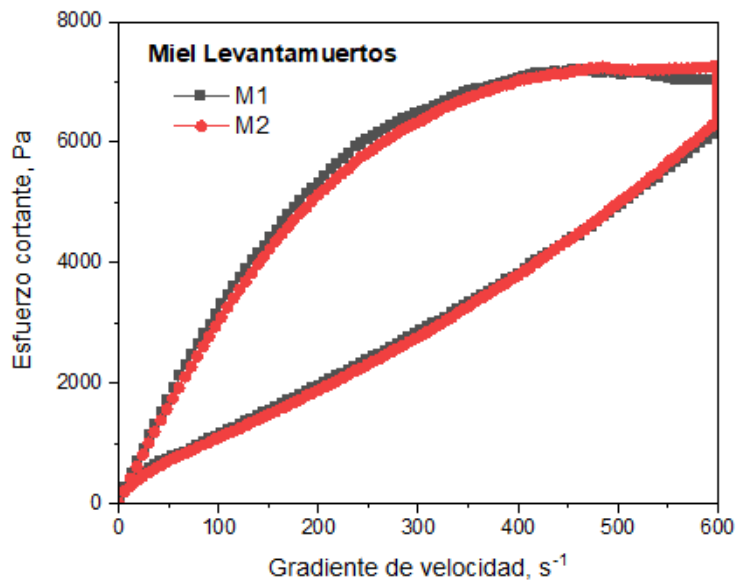




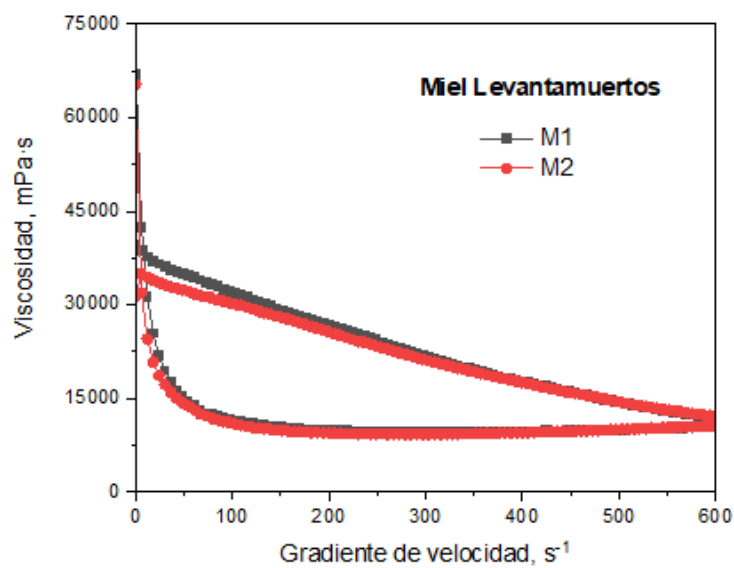
**Figura 13:** Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos a T= 25º



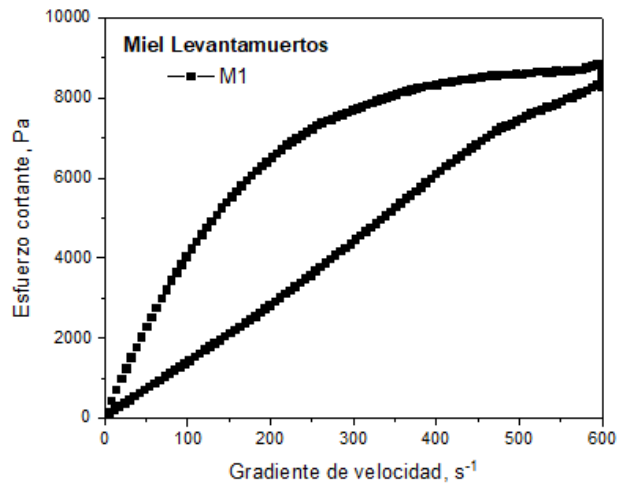
**Figura 14:** Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos a T= 25º



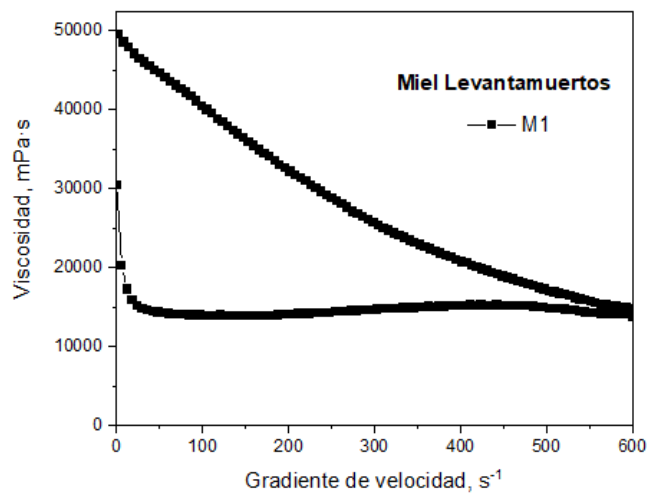
**Figura 15:** Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos a T= 30<sup>o</sup>



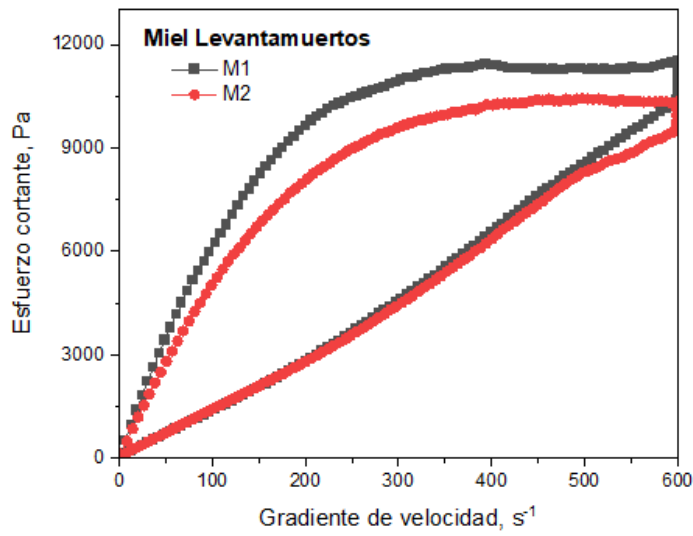
**Figura 16:** Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamuertos a T= 30<sup>o</sup>



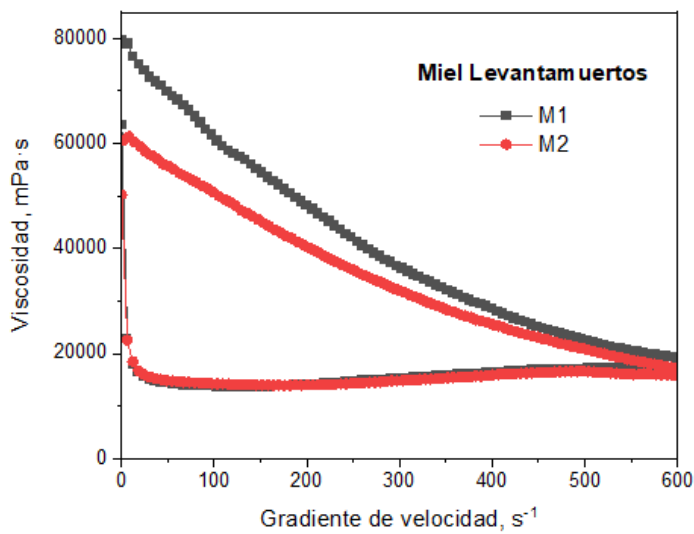
**Figura 17:** Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamueertos a T= 35º



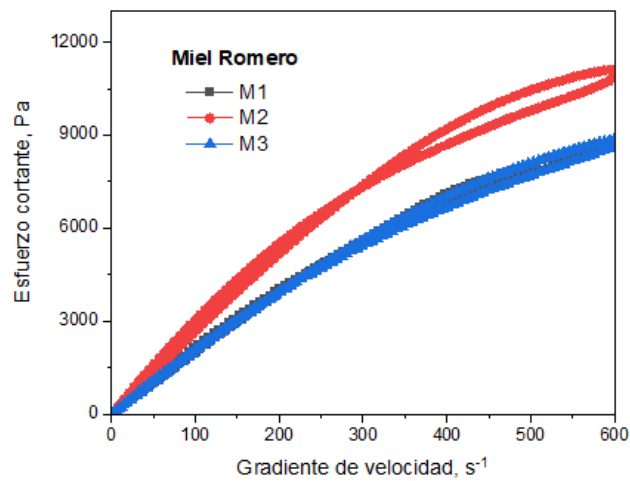
**Figura 18:** Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamueertos a T= 35º



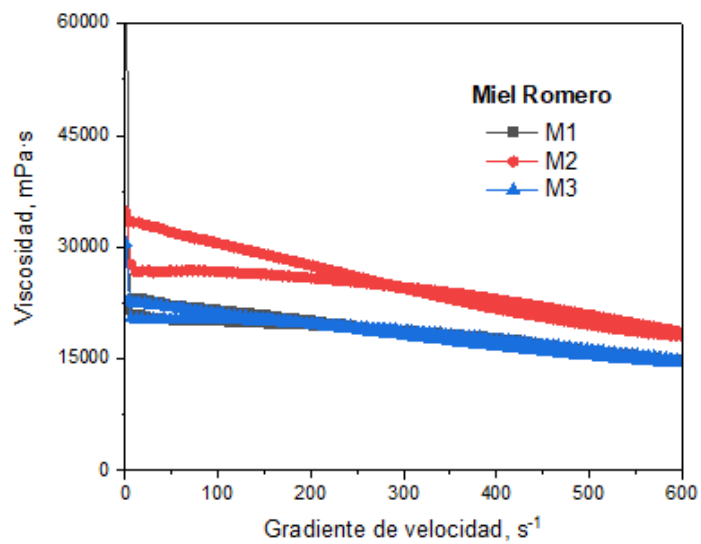
**Figura 19:** Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamueertos a T= 40º



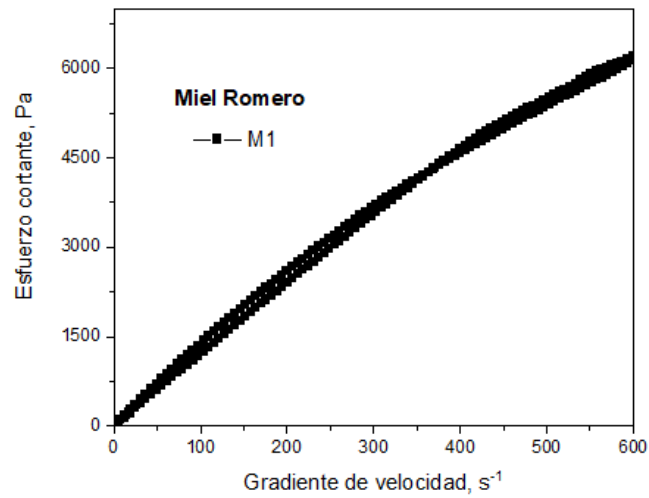
**Figura 20:** Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Levantamueertos a T=40º



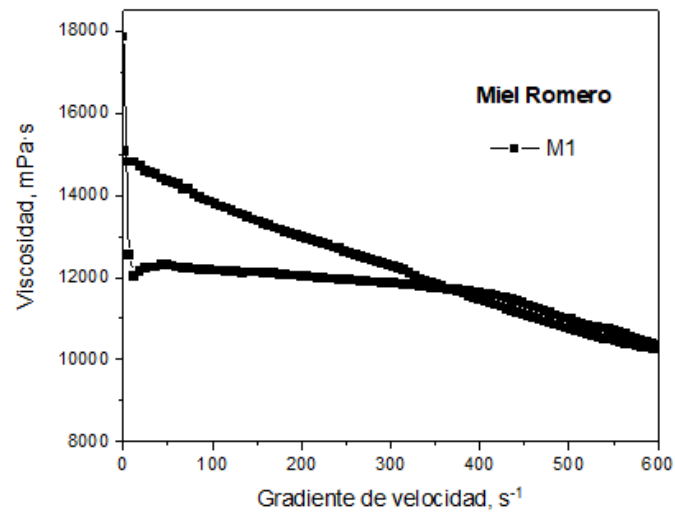
**Figura 21:** Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Romero a T= 20<sup>o</sup>



**Figura 22:** Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Romero a T=20<sup>o</sup>



**Figura 23:** Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Romero a T= 25º



**Figura 24:** Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Romero a T=25º

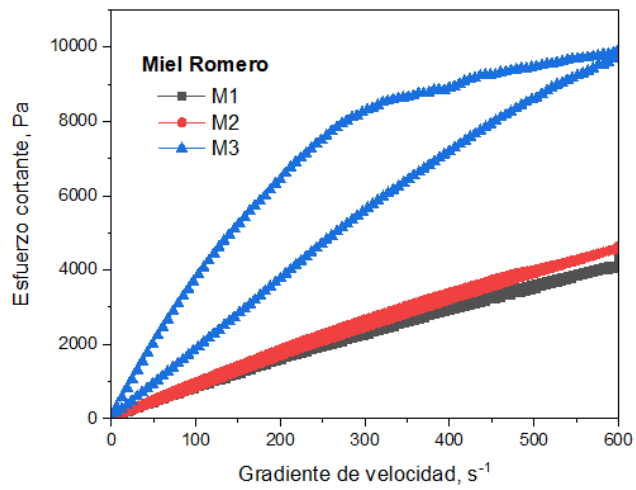


Figura 25: Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Romero a T=30°C

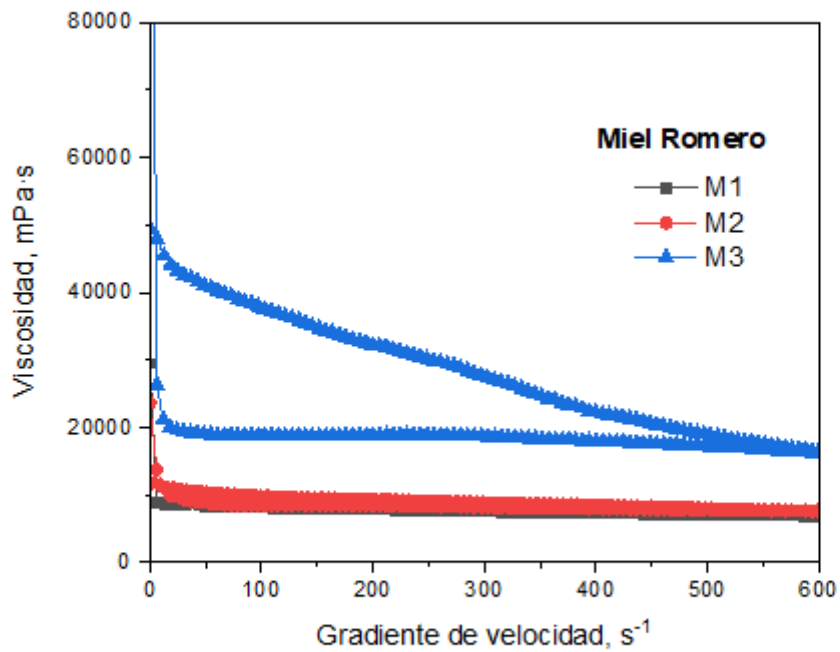
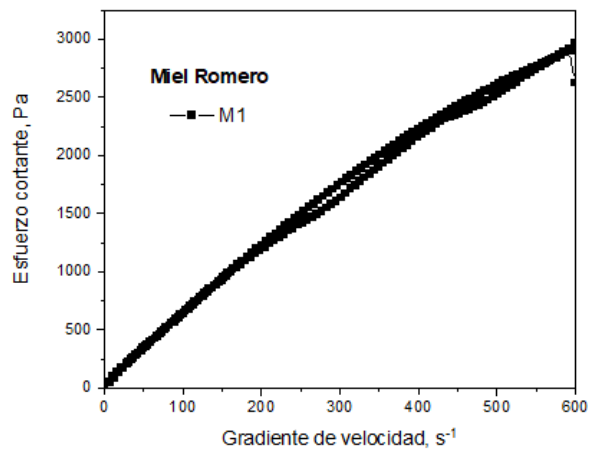
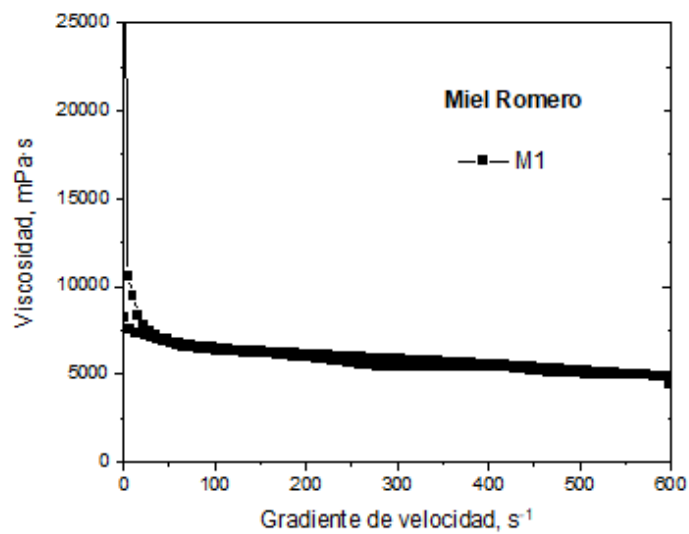


Figura 26: Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Romero a T=30°C

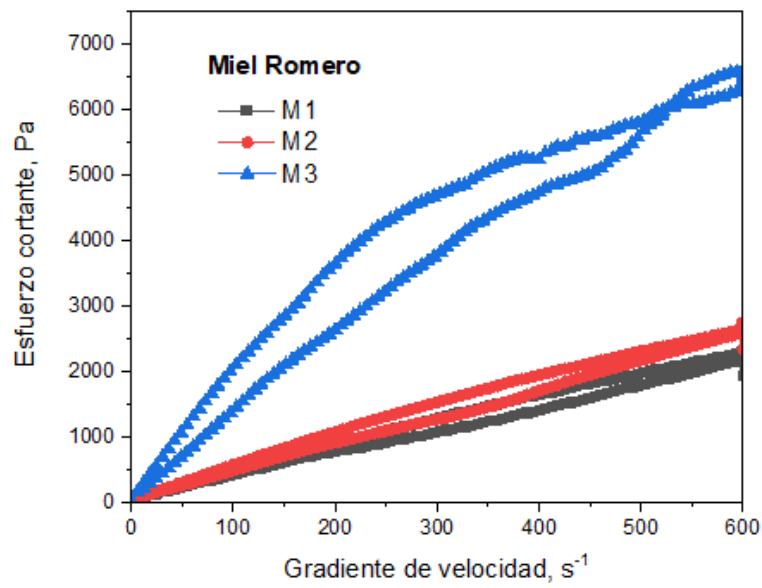


**Figura 27:** Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Romero a T=35°

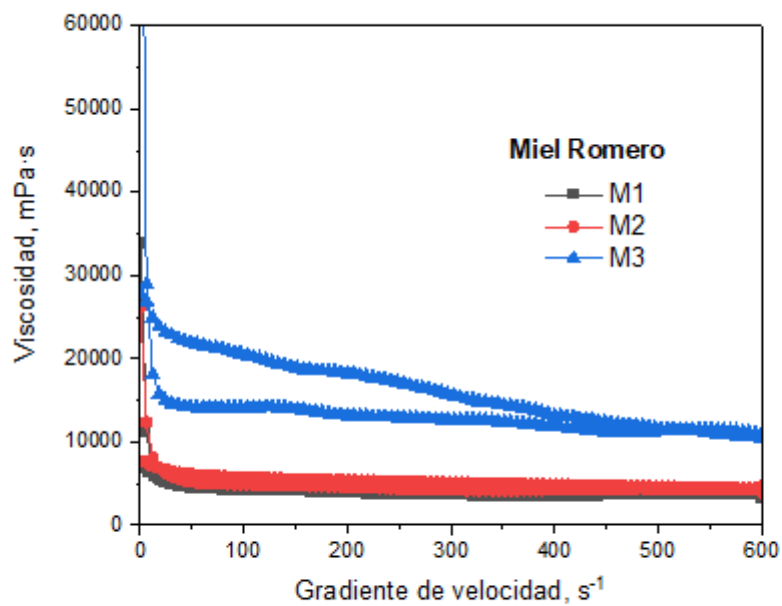


**Figura 28:** Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Romero a T=35°





**Figura 29:** Esfuerzo cortante vs Gradiente de velocidad para la miel Romero a  $T=40^{\circ}$



**Figura 30:** Viscosidad vs Gradiente de velocidad para la miel Romero a  $T=40^{\circ}$

**TCS3472**  
**COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER**  
**with IR FILTER**

TAOS135 – AUGUST 2012

**Operating Characteristics,  $V_{DD} = 3\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise noted)**

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$I_{DD}$	Supply current	Active		235	330	$\mu\text{A}$
		Wait state		65		
		Sleep state — no I <sup>2</sup> C activity		2.5	10	
$V_{OL}$	INT, SDA output low voltage	3 mA sink current	0		0.4	V
		6 mA sink current	0		0.6	
$I_{LEAK}$	Leakage current, SDA, SCL, INT pins		-5		5	$\mu\text{A}$
$I_{LEAK}$	Leakage current, LDR pin		-5		5	$\mu\text{A}$
$V_{IH}$	SCL, SDA input high voltage	TCS34721 & TCS34725	0.7 $V_{DD}$			V
		TCS34723 & TCS34727	1.25			
$V_{IL}$	SCL, SDA input low voltage	TCS34721 & TCS34725	0.3 $V_{DD}$			V
		TCS34723 & TCS34727	0.54			

**Optical Characteristics,  $V_{DD} = 3\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , AGAIN = 16x, ATIME = 0xF6 (unless otherwise noted)**  
**(Note 1)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	Red Channel			Green Channel			Blue Channel			Clear Channel			UNIT	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
$R_e$	Irradiance responsivity	$\lambda_D = 465\text{ nm}$ Note 2	0%		15%	10%		42%	65%		88%	11.0	13.8	16.6	counts/ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
		$\lambda_D = 525\text{ nm}$ Note 3	4%		25%	60%		85%	10%		45%	13.2	16.6	20.0	
		$\lambda_D = 615\text{ nm}$ Note 4	80%		110%	0%		14%	5%		24%	15.6	19.5	23.4	

**TCS3472**  
**COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER**  
**with IR FILTER**  
TAOS135 – AUGUST 2012

**Terminal Functions**

TERMINAL NAME	NO.	TYPE	DESCRIPTION
GND	3		Power supply ground. All voltages are referenced to GND.
INT	5	O	Interrupt — open drain (active low).
NC	4	O	No connect — do not connect.
SCL	2	I	I <sup>2</sup> C serial clock input terminal — clock signal for I <sup>2</sup> C serial data.
SDA	6	I/O	I <sup>2</sup> C serial data I/O terminal — serial data I/O for I <sup>2</sup> C .
V <sub>DD</sub>	1		Supply voltage.

**Available Options**

DEVICE	ADDRESS	PACKAGE – LEADS	INTERFACE DESCRIPTION	ORDERING NUMBER
TCS34721†	0x39	FN–6	I <sup>2</sup> C Vbus = V <sub>DD</sub> Interface	TCS34721FN
TCS34723†	0x39	FN–6	I <sup>2</sup> C Vbus = 1.8 V Interface	TCS34723FN
TCS34725	0x29	FN–6	I <sup>2</sup> C Vbus = V <sub>DD</sub> Interface	TCS34725FN
TCS34727	0x29	FN–6	I <sup>2</sup> C Vbus = 1.8 V Interface	TCS34727FN

† Contact TAOS for availability.

**Absolute Maximum Ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†**

Supply voltage, V <sub>DD</sub> (Note 1)	3.8 V
Input terminal voltage	–0.5 V to 3.8 V
Output terminal voltage	–0.5 V to 3.8 V
Output terminal current	–1 mA to 20 mA

## Parámetros técnicos

Resource	Parameter		
Master Chip	ESP32( 240MHz Tensilica LX6 dual-core + 1 ULP, 600 DMIPS)		
Wireless Communication	Wi-Fi	Bluetooth	LoRa
	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps)	Bluetooth V4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specification	Node-to-node communication or LoRaWAN
LoRa Chip	SX1276/SX1278		
LoRaWAN Area	hardware version	Support frequency	
	LF		EU433
			CN470
			IN865
	HF		EU868
			US915
		AU915	
	KR920		
	AS923		
LoRa Maximum Output Power	19dB ± 1dB		
Hardware Resource	UART x 3; SPI x 2; I2C x 2; I2S x 1; 12-bits ADC input x 18; 8-bits DAC output x 2; GPIO x 22, GPI x 6		
FLASH	8MB(64M-bits) SPI FLASH		
RAM	520KB internal SRAM		
Interface	Micro USB x 1; LoRa Antenna interface(IPEX) x 1; 18 x 2.54 pin x 2		
Maximum Size (Including protruding parts such as switch and battery compartment)	51 x 25.5 x 10.6 mm		
USB to Serial Chip	CP2102		
Battery	3.7V Lithium (SH1.25 x 2 socket)		
Solar Energy	x		
Battery Detection Circuit	√		
External Device Power Control (Vext)	√		
Low Power	Deep Sleep 800µA		
Display Size	0.96-inch OLED		
Working Temperature	-40~80°C		

## Características electricas

Electrical Features	Condition	Minimum	Typica	Maximum
<b>Power Supply</b>	USB powered ( $\geq 500\text{mA}$ )	4.7V	5V	6V
	Lithium powered ( $\geq 250\text{mA}$ )	3.3V	3.7V	4.2V
	3.3V (pin) powered ( $\geq 150\text{mA}$ )	2.7V	3.3V	3.5V
	5V (pin) powered ( $\geq 500\text{mA}$ )	4.7V	5V	6V
<b>Power Consumption(mA)</b>	WIFI Scan		115mA	
	WIFI AP		135mA	
	LoRa 10dB output		50mA	
	LoRa 12dB output		60mA	
	LoRa 15dB output		110mA	
	LoRa 20dB output		130mA	
<b>Output</b>	3.3V pin output			500mA
	5V pin output (USB powered only)		Equal to the input current	
	External device power control (Vext 3.3V)			350mA