

DETERMINACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DEL RAQUIS A LA DESHIDRATACIÓN EN POSCOSECHA BASADA EN PARÁMETROS DE COSECHA

Jhonatan Loayza

List of Figures

List of Tables

Introduccion

El proceso de pardeamiento es un fenómeno natural que ocurre en frutas y verduras, que se ha convertido en un desafío en el sector de la industria alimentaria. La aparición de reacciones de pardeamiento de los alimentos generalmente afecta la apariencia del color de los alimentos y reduce notablemente la aceptación de los productos por parte del cliente. Actualmente, la determinación del momento de cosecha en uva de mesa se basa principalmente en parámetros de madurez como el contenido de sólidos solubles (°Brix) y la acidez titulable, sin considerar el estado fisiológico del raquis en el proceso de recolección. Sin embargo, se ha evidenciado que el cambio de color del raquis ocurre de manera paralela a la maduración de las bayas y se asocia directamente con la disminución del contenido relativo de agua (CAR) del tejido (Fang et al., 2015).

```
# Import librerias necesarias
import pandas as pd
import openpyxl
import numpy as np
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.colors as mcolors
from sklearn.metrics import r2_score, mean_squared_error
from sklearn.linear_model import LinearRegression
```

Resultados

1. Caracterizacion inicial a cosecha

La cosecha se realizó en el estado de madurez determinado por cada productor, siguiendo los criterios comerciales establecidos para uva de mesa (Tabla 1). Los sólidos solubles totales (STT) fluctuaron entre 17 % - 19%, mientras que la acidez titulable se mantuvo en rangos (0.51 % - 0.78%). Es importante

destacar que la firmeza de la baya presento variabilidad entre cultivares, destacando Sweet Globe con la mayor firmeza (652.46 g mm-1).

```
print('Tabla 1: Caracterizacion inicial en cosecha, cv. Allison y S. Celebreton.(media ± DE)')

Cosecha = pd.read_excel(r'../datos/caracterizacion inicial.xlsx')
df = pd.DataFrame(Cosecha)

df.columns = df.columns.str.strip() # Normalizar nombres de columnas

# Filtro de datos de acuerdo evaluacion 0h,3h,18h
df_filtrado = df[df["Evaluacion"].isin(["E00", "E03", "E18"])]

# Tabla resumen de caracterizacion inicial
df_resumen =(df_filtrado.groupby('Variedad')
              [['TSS','Acidez_titulable', 'Peso', 'Calibre_Ecuatorial', 'Firmeza']]
              .agg(['mean', 'std','count'])
              .round(2)
              .reset_index()
              )
# creamos un tabal media + DE
tabla_resumen = pd.DataFrame()
tabla_resumen["Variedad"] = df_resumen["Variedad"]

for var in ["TSS", "Acidez_titulable", "Peso", "Calibre_Ecuatorial", "Firmeza"]:
    tabla_resumen[var] = df_resumen.apply(
        lambda x: f"{x[(var, 'mean')]:.2f} ± {x[(var, 'std')]:.2f}", axis=1
    )

# Renombrar encabezados
tabla_resumen = tabla_resumen.rename(columns={
    "TSS": "TSS (°Brix)",
    "Acidez_titulable": "Acidez Titulable (g/L)",
    "Peso": "Peso (g)",
    "Calibre_Ecuatorial": "Calibre (mm)",
    "Firmeza": "Firmeza (gf mm-1)"
})

print(tabla_resumen)
```

Tabla 1: Caracterizacion inicial en cosecha, cv. Allison y S. Celebreton.(media \pm DE)

	Variedad	TSS (°Brix)	Acidez Titulable (g/L)	Peso (g)	Calibre (mm)	\
0	AL	19.04 \pm 1.04	0.64 \pm 0.07	10.18 \pm 1.82	22.57 \pm 1.58	
1	SC	18.04 \pm 0.80	0.78 \pm 0.09	9.03 \pm 1.61	23.60 \pm 1.54	

	Firmeza (gf mm ⁻¹)
0	322.48 \pm 64.59
1	242.69 \pm 18.44

2. Relación de acuedo hue inicial, Contenido Relativo del agua

Los valores iniciales de Hue (°) del raquis mostraron una fuerte relaciona negativa con la intensidad del pardeamiento después de 10 días a 0°C . Indicando que valores de Hue (°) más bajos (desplazamiento hacia el amarillo) están asociado con un mayor oscurecimiento durante el almacenamiento en poscosecha.

El Contenido Relativo de Agua (CRA), mostró una relación inversa consistente con el pardeamiento del raquis en los 2 cultivares evaluados. Durante el almacenamiento 10 días a 0 °C la relación fue especialmente fuerte en Allison ($R^2 = 0.85$), Sweet Celebration ($R^2 = 0.78$)

```
# 1. Cargamos archivos
# =====
datos_correlacion = pd.read_csv(r'../datos/Pardeamiento uva de mesa.csv', sep=';')

df = pd.DataFrame(datos_correlacion)
df.columns = df.columns.str.strip() # Normalizar nombres de columnas

#Visualizar las primeras columnas de df.
#print(df.columns)
#df.info()
#df.head()

# 2. Crear un identificador único por racimo
df['ID'] = (df['Variedad'].astype(str) + '_' +
            df['Productor'].astype(str) + '_' +
            df['Tratamientos'].astype(str) + '_' +
            df['Repeticion'].astype(str) + '_' +
            df['N_Racimo'].astype(str))

# 3. Pivotar para tener columnas separadas
tabla_correlaciones = (
    df.pivot_table(
```

```

        index=['Variedad', 'ID'],
        columns='Tiempo',
        values='Hue'
    )
    .reset_index()
    .round(2) # redondear a 2 decimales
)

#Visualizar tabla de correlaciones
#tabla_correlaciones.head()
#tabla_correlaciones.info()
# Colormap personalizado con ayuda de Chatgpt
colors = [
    (0.8, 0.2, 0.1), # Rojo degradado (menos saturado, más natural)
    (1.0, 0.5, 0.0), # Naranja
    (1.0, 1.0, 0.0), # Amarillo
    (0.7, 1.0, 0.3) # Verde amarillento
]
cmap_rav = mcolors.LinearSegmentedColormap.from_list("rojo_amarillo_verde", colors, N=256)

# 4. Crear figura de correlaciones por variedad hus vs hue
plt.figure(figsize=(9, 5))
variedades = tabla_correlaciones['Variedad'].unique()

# 5. Colores distintos para las líneas
colores_linea = ['black', 'blue']

# Correlaciones del T0 y T10
sc = plt.scatter(tabla_correlaciones['T0'],
                 tabla_correlaciones['T10'],
                 c=tabla_correlaciones['T10'],
                 cmap=cmap_rav
)

# Regresión lineal por variedad
for i, variedad in enumerate(variedades):
    datos = tabla_correlaciones[tabla_correlaciones['Variedad'] == variedad]

```

```

X = datos[['T0']].values
y = datos['T10'].values

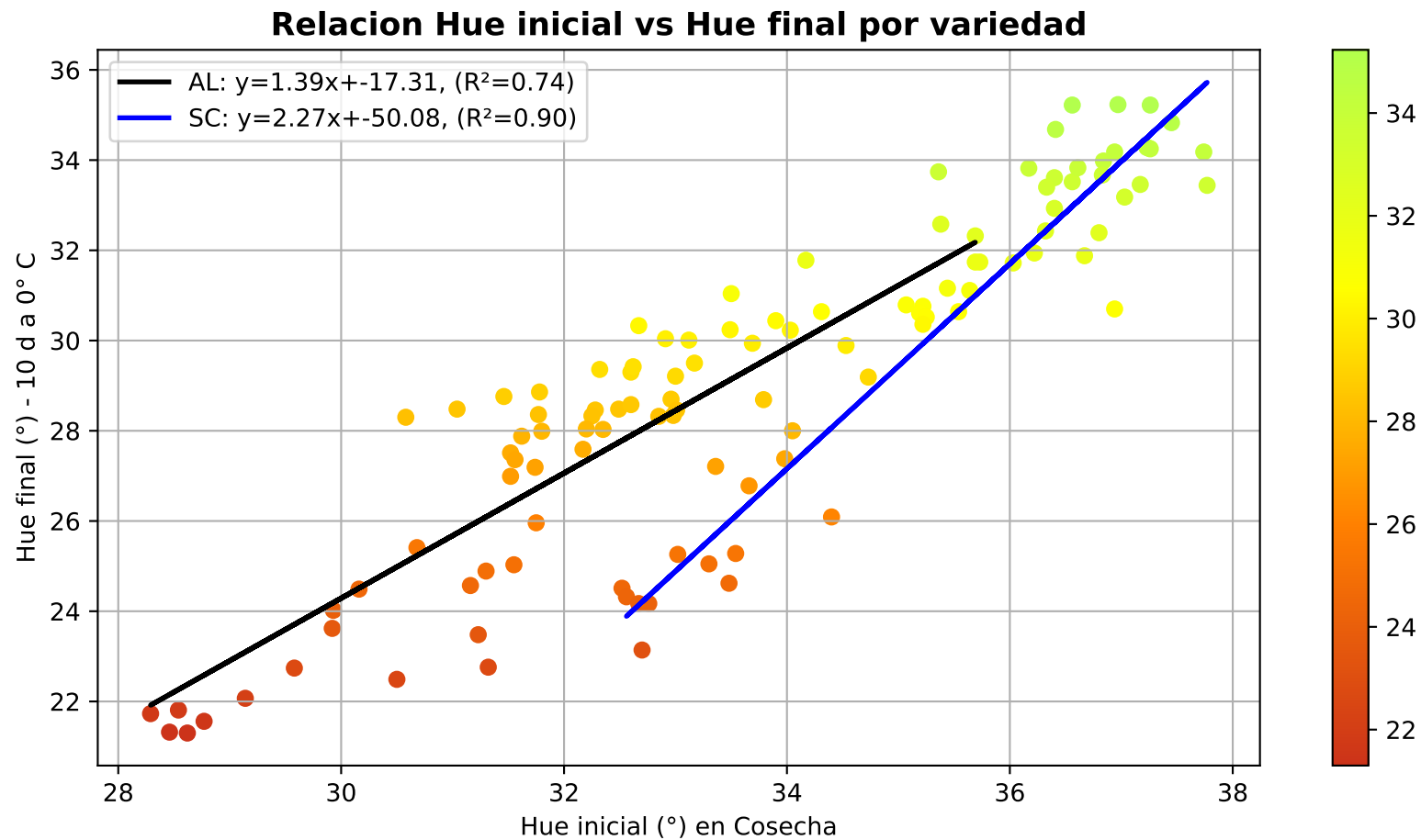
#Regresion lineal
modelo = LinearRegression()
modelo.fit(X, y)
y_pred = modelo.predict(X)

# Calcular R², pendiente, intercepto
r2 = r2_score(y, y_pred)
pendiente = modelo.coef_[0]
intercepto = modelo.intercept_

# Dibujar la línea de regresión variedad
plt.plot(X, y_pred,
         color=colores_linea[i % len(colores_linea)],
         lw=2, label=f'{variedad}: y={pendiente:.2f}x+{intercepto:.2f}, (R²={r2:.2f})')

# Etiquetas y formato Grafico
plt.xlabel('Hue inicial (°) en Cosecha')
plt.ylabel('Hue final (°) - 10 d a 0° C')
plt.title('Relacion Hue inicial vs Hue final por variedad', fontsize=13, weight='bold')
plt.colorbar()
plt.grid(True)
plt.legend(frameon=True)
plt.tight_layout()
plt.show()

```



```
# 2 Correlacion de acuerdo CRA vs pardeamiento -----
datos_CRA = pd.read_csv(r'../datos/Contenido relativo de agua.csv', sep=';')

#datos_CRA.info()

#Calculamos el promedio CAR en T0
CRA_promedio_T0 = (
```



```

    datos_CRA
    .groupby(['Productor', 'Variedad', 'Color', 'Tratamientos'])['CAR']
    .mean()
    .round(2)
    .reset_index()
)

#Filtrar pardeamiento T10 ---
Pardo_t10 = df[df['Tiempo'] == 'T10']
#print(Pardo_t10.columns)

#Calculamos en promedio pardeamiento T10

Pardo_promedio_T10 = (
    Pardo_t10
    .groupby(['Productor', 'Variedad', 'Color', 'Tratamientos'])['Pardo']
    .mean()
    .round(2)
    .reset_index()
)

#Unimos ambos promedio por columnas comunes
CAR_VS_PAR = pd.merge(
    CRA_promedio_T0,
    Pardo_promedio_T10,
    on=['Productor', 'Variedad', 'Color', 'Tratamientos']
)

colors = [
    (0.7, 1.0, 0.3), # Verde amarillento
    (1.0, 1.0, 0.0), # Amarillo
    (1.0, 0.5, 0.0), # Naranja
    (0.8, 0.2, 0.1) # Pardo/rojo degradado
]

cmap_rav1 = mcolors.LinearSegmentedColormap.from_list("verde_a_pardo", colors, N=256)

# --- Crear gráfico de correlación CAR vs Pardo ---

```

```

plt.figure(figsize=(10, 6))
variedades = CAR_VS_PAR['Variedad'].unique()
colores_linea = ['black', 'blue']

# Dispersión global
sc = plt.scatter(CAR_VS_PAR['CAR'], CAR_VS_PAR['Pardo'], c=CAR_VS_PAR['Pardo'], cmap= cmap_rav1)

# Regresión lineal por variedad
for i, variedad in enumerate(variedades):
    datos = CAR_VS_PAR[CAR_VS_PAR['Variedad'] == variedad]
    X = datos[['CAR']].values
    y = datos['Pardo'].values

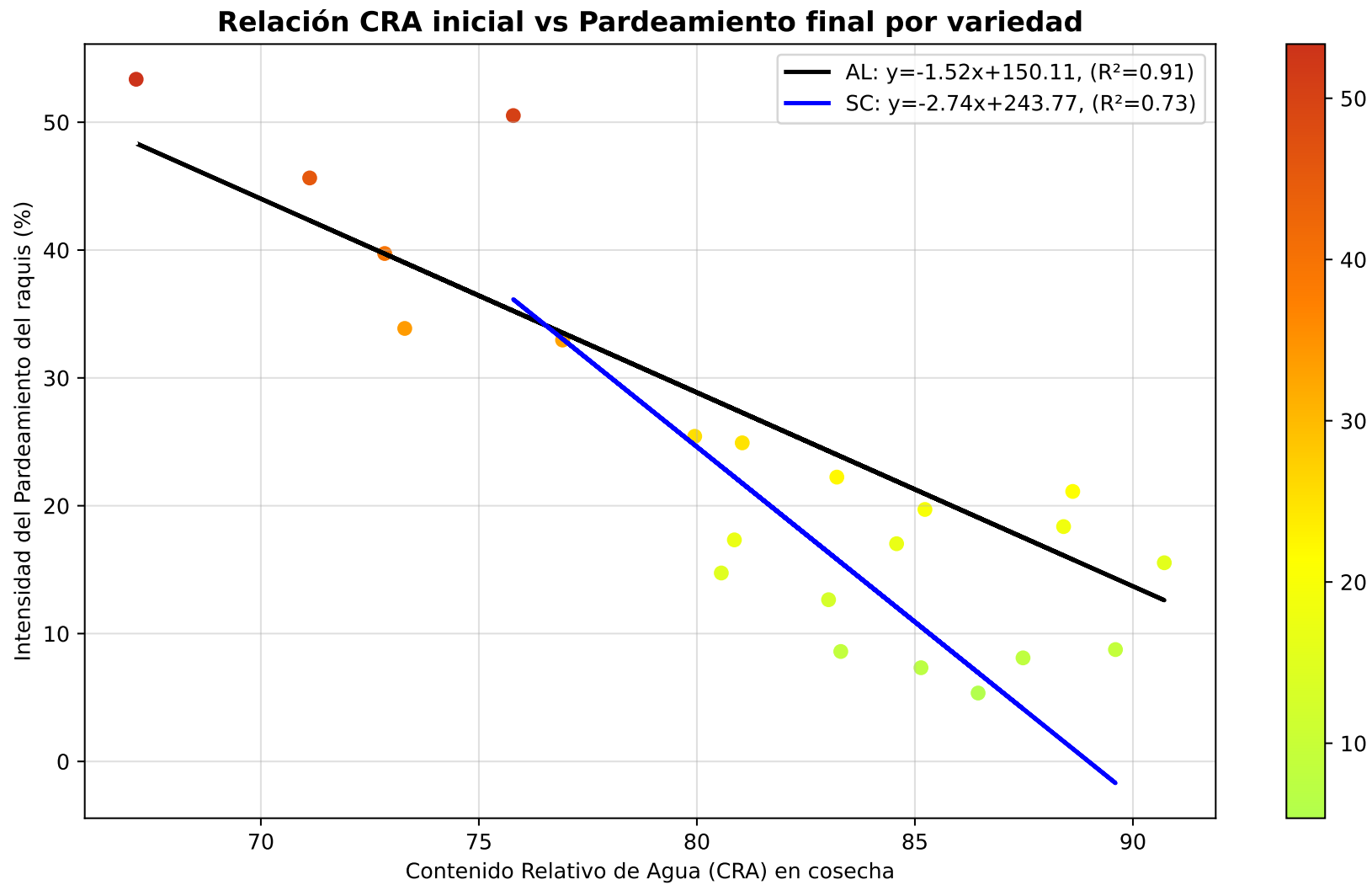
    modelo = LinearRegression()
    modelo.fit(X, y)
    y_pred = modelo.predict(X)

    r2 = r2_score(y, y_pred)
    pendiente = modelo.coef_[0]
    intercepto = modelo.intercept_

    plt.plot(X, y_pred,
             color=colores_linea[i % len(colores_linea)],
             lw=2,
             label=f'{variedad}: y={pendiente:.2f}x+{intercepto:.2f}, ( $R^2$ = $\{r2:.2f\}$ )')

# --- Formato final ---
plt.xlabel('Contenido Relativo de Agua (CRA) en cosecha')
plt.ylabel('Intensidad del Pardeamiento del raquis (%)')
plt.title('Relación CRA inicial vs Pardeamiento final por variedad', fontsize=13, weight='bold')
plt.colorbar()
plt.grid(alpha=0.4)
plt.legend(frameon=True)
plt.tight_layout()
plt.show()

```



3. Almacenamiento comercial en postcosecha.

El pardeamiento del raquis aumentó consistentemente con el tiempo de almacenamiento comercial en ambas variedades evaluadas. ‘Allison’ mostró niveles iniciales más altos y una progresión más marcada del oscurecimiento respecto de ‘Sweet Celebration’. Asimismo, los racimos clasificados con raquis amarillo (A) tendieron a presentar mayor área parda que aquellos con raquis verde (V), lo que confirma la relevancia del color inicial como indicador fisiológico de la sensibilidad al pardeamiento durante la poscosecha.

```
# 1. Cargar datos
# =====

df = pd.read_csv(r'../datos/Almacenamiento comercial.csv', sep= ';')
df.columns = df.columns.str.strip()

# 2. Opcional: ordenar niveles de Tiempo si quieres
orden_tiempo = ['T40', 'T43']

if set(orden_tiempo).issuperset(df['Tiempo'].unique()):
    df['Tiempo'] = pd.Categorical(df['Tiempo'], categories=orden_tiempo, ordered=True)

# 3. Crear boxplot facetado por Variedad
colores = {'A': "#f2f464",
           'V': "#29ac29"}

g = sns.catplot(
    data=df,
    kind='box',
    x='Tiempo',
    y='Pardo',
    hue='Color',
    col='Variedad',
    palette=colores,
    height=5,
    aspect=1,
    fliersize=4,          # tamaño de outliers
    linewidth=1.2
)
```

```

# Ajusta leyenda fuera del grafico
g._legend.set_bbox_to_anchor((1.12, 0.5))

# =====
# 4. Ajustes finales - Escala Y fija

for ax in g.axes.flatten():
    ax.set_ylim(0, 100) # ← AQUÍ SE FIJA LA ESCALA DE 0 A 100
    ax.set_ylabel("% Área parda del raquis", fontsize=11)
    ax.set_xlabel("Tiempo de almacenamiento (días)", fontsize=11)
    ax.tick_params(axis='both', labelsize=10)
# =====
# 5. Títulos y estética final

g.fig.suptitle(
    " Pardeamiento del raquis durante el almacenamiento comercial poscosecha",
    y=1.05,
    fontsize=14,
    fontweight='bold'
)

for ax in g.axes.flatten():
    ax.set_ylabel("% Área parda del raquis", fontsize=11)
    ax.set_xlabel("Tiempo de almacenamiento (días)", fontsize=11)
    ax.tick_params(axis='both', labelsize=10)

plt.tight_layout()
plt.show()

```

Pardeamiento del raquis durante el almacenamiento comercial poscosecha

