

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**TESIS DE GRADO**

**“DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE  
REAL DE CINCO ESPECIES VEGETALES Y SU CORRELACIÓN CON EL  
EXTRACTOR DE PLACAS EN CONDICIONES CONTROLADAS”**

**Elaborado por:**

**CARLA ARACELI CAMPANINI GARECA**

Tesis de grado presentada a consideración de la “**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**”, como requisito para optar el grado académico de licenciatura en la carrera de Ingeniería Agronómica

**GESTIÓN 2025  
Tarija – Bolivia**

V°B°

.....  
Ing. Sergio Fernando Mendoza Mendoza  
**PROFESOR GUÍA**

.....  
M.Sc. Ing. Milton Javier Caba Olguín

**DECANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

.....  
M.Sc. Ing. Víctor Enrique Zenteno López

**VICEDECANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

.....  
M.Sc. Ing. Wilfredo Benitez Ordoñez  
**TRIBUNAL**

.....  
M.Sc. Ing. Henry Esnor Valdez Huanca  
**TRIBUNAL**

.....  
M.Sc. Ing. Martin Oscar Tordoya Rojas  
**TRIBUNAL**

El tribunal calificador del presente trabajo no se solidariza con la forma, términos, modos y expresión vertidas en el mismo siendo esta responsabilidad del (la) autor(a).

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios por brindarme la vida, la fuerza y la sabiduría para seguir adelante, incluso en los momentos de mayor dificultad, por ser mi guía constante y la fuente de fe que me permitió no rendirme y confiar en que cada esfuerzo tiene un propósito.

A mis padres, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo permanente. Gracias por creer en mí y por enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son la base para alcanzar cualquier meta.

A mis hermanos, por su compañía y el apoyo, que fueron un impulso constante para continuar.

Dedico este trabajo a todas las personas que de una u otra manera me brindaron su apoyo, confianza y motivación durante este proceso.

### **Agradecimiento**

Agradezco de manera especial a los Ing. del laboratorio de suelos de la Facultad De Ciencias Agrícolas Y Forestales, por el apoyo, la orientación y su disposición de compartir sus conocimientos, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A mis padres, por todo el esfuerzo que ellos hicieron por mí.

A mis amigos, que estuvieron conmigo en todo este proceso.

## ÍNDICE

Dedicatoria

Agradecimiento

Resumen

Página

INTRODUCCIÓN ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1. Antecedentes ..... **¡Error! Marcador no definido.**

2. Justificación..... **¡Error! Marcador no definido.**

3. Planteamiento del problema..... **¡Error! Marcador no definido.**

5. Objetivos ..... **¡Error! Marcador no definido.**

5.1. Objetivo general ..... **¡Error! Marcador no definido.**

5.2. Objetivos específicos ..... **¡Error! Marcador no definido.**

6. Hipótesis alternativa..... **¡Error! Marcador no definido.**

## CAPITULO I

### MARCO TEORICO

1.1. Composición del suelo ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.2. Potencial hídrico en el suelo ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.3. Retención del agua en el suelo ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.4. Parámetros de humedad ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.4.1. Punto de saturación ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.4.2. Capacidad de campo ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.4.3. Punto de marchitez permanente ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.4.4. Agua útil ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.5 Exactor de placas..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.5.1. Extractor de placas de 15 bar ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.5.2. Extractor de placas de 0,33 bar ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.6 Punto de marchitez incipiente ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.7 Movimiento del agua en la planta ..... **¡Error! Marcador no definido.**

1.8 Funciones del agua en la planta ..... **¡Error! Marcador no definido.**

|          |                                                                                      |                               |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1.9      | Balance hídrico en las plantas .....                                                 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.10     | . Estrés hídrico en las plantas .....                                                | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.11.    | Acelga.....                                                                          | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.11.1.  | Taxonomía .....                                                                      | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.11.2.  | Importancia del cultivo.....                                                         | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.11.3.  | Descripción botánica .....                                                           | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.11.4.  | Requerimientos edafoclimáticos .....                                                 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.12.    | Cebolla .....                                                                        | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.12.1.  | Taxonomía.....                                                                       | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.12.2.  | Descripción botánica .....                                                           | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.12.3.  | Importancia del cultivo .....                                                        | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.12.4.  | Requerimientos edafoclimáticos del cultivo.....                                      | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.13.    | Lechuga .....                                                                        | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.13.1.  | Taxonomía .....                                                                      | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.13.2.  | Descripción botánica.....                                                            | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.13.3.  | Importancia del cultivo de la lechuga .....                                          | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.13.4.- | Requerimiento edafoclimáticos .....                                                  | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.14.    | Remolacha.....                                                                       | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.14.1.  | Taxonomía.....                                                                       | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.14.2.  | Descripción botánica.....                                                            | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.14.3.  | Importancia del cultivo de la remolacha .....                                        | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.14.4.  | Requerimientos edafoclimáticos .....                                                 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.15.    | Tomate.....                                                                          | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.15.1.  | Taxonomía.....                                                                       | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.15.2.  | Descripción botánica.....                                                            | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.15.3.  | Importancia del cultivo de tomate.....                                               | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.15.4.  | Requerimientos edafoclimáticos .....                                                 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.16.    | Bases fisiológicas del punto de marchitez permanente en cultivos hortícolas<br>..... | ¡Error! Marcador no definido. |

## CAPITULO II

## MATERIALES Y METODOS

|                                                                            |                               |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 2.1. Ubicación .....                                                       | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.2. Mapa de la ubicación .....                                            | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.3. Características climáticas .....                                      | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.3.1. Precipitación.....                                                  | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.3.2. Viento .....                                                        | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.3.3. Tipo de suelo .....                                                 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.3.4. Vegetación .....                                                    | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.4. Materiales .....                                                      | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.4.1. Material vegetal.....                                               | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.4.2. Insumos .....                                                       | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.4.3. Herramientas y materiales de campo .....                            | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.4.4. Materiales para el extractor de placas .....                        | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.4.5. Materiales para muestra de suelo para los tratamientos....          | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.4.6. Equipo de laboratorio .....                                         | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.4.7. Equipo de campo.....                                                | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.4.8. Invernadero .....                                                   | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.5. Diseño experimental.....                                              | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.6. Factor de estudio .....                                               | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.7. Diseño de campo .....                                                 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.8. Procedimiento .....                                                   | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.8.1. Metodología de toma de datos de campo .....                         | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.8.1.1 Metodología del uso de la balanza para los datos de campo.....     | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.8.2. Saturación de la muestra de suelo para el extractor de placas ..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.8.3. Metodología del extractor de placas .....                           | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.9.- Variables respuesta.....                                             | ¡Error! Marcador no definido. |

## CAPITULO II



## RESULTADOS Y DISCUSIONES

- 3.1. Condiciones ambientales del invernadero..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.2 Características morfológicas de los diferentes tratamientos . **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.2.1. Remolacha..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.2.2. Cebolla ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.2.3. Tomate ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.2.4. Acelga..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.2.5. Lechuga ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.3. Porcentaje de humedad constante del suelo antes de la saturación..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.4. Resultados del extractor de placas ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.5. Porcentaje de humedad en el suelo hasta llegar al punto de marchitez permanente de las diferentes especies vegetales ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.6. Punto de marchitez permanente de las diferentes especies.. **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.6.1. Punto de marchitez permanente de la remolacha (*Beta vulgaris* L.) ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.6.2. Punto de marchitez permanente del tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.6.3. Punto de marchitez permanente de la acelga (*Beta vulgaris* L. var. cicla) ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.6.4. Punto de marchitez permanente de la lechuga (*Lactuca sativa* L.)..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.7. Comparación entre el punto de marchitez permanente de campo y el punto de marchitez del extractor de placas de presión. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.8 Determinación del agua útil ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.9. Análisis de varianza y prueba de medias de Tukey ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 3.9.1. Resultados del análisis de varianza (ANVA); **¡Error! Marcador no definido.**

|                                                   |                                      |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 3.9.2. Coeficiente de variación.....              | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 3.9.3. Prueba de comparación de medias (Tukey) .. | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| <b>CAPITULO IV</b>                                |                                      |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>             |                                      |
| 4.1. Conclusiones .....                           | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 4.2. Recomendaciones.....                         | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>                               |                                      |

## **ÍNDICE DE CUADROS**

|                                                                                                             |                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Cuadro 1;</b> Punto de marchitez permanente de diferentes tipos de suelos ..                             | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| <b>Cuadro 2:</b> Características morfológicas de la remolacha .....                                         | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| <b>Cuadro 3:</b> Características morfológicas de la cebolla .....                                           | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| <b>Cuadro 4;</b> Características morfológicas del tomate.....                                               | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| <b>Cuadro 5:</b> Características morfológicas de la acelga.....                                             | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| <b>Cuadro 6:</b> Características morfológicas de la lechuga .....                                           | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| <b>Cuadro 7:</b> Porcentaje de humedad del suelo.....                                                       | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| <b>Cuadro 8:</b> Resultados del punto de marchitez permanente según el extractor de placas de presión ..... | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| <b>Cuadro 9:</b> Porcentaje de humedad en el suelo del cultivo de la remolacha (T1) .....                   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| <b>Cuadro 10:</b> Porcentaje de humedad en el suelo para el cultivo del tomate (T3) .....                   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| <b>Cuadro 11:</b> Porcentaje de humedad en el suelo para el cultivo de la acelga (T4) .....                 | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |

**Cuadro 12:** Porcentaje de humedad en el suelo para el cultivo de la lechuga (T5)..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Marcador no definido.**

**Cuadro 13:** Punto de marchitez permanente de la remolacha **¡Error! Marcador no definido.**

**Cuadro 14:** Punto de marchitez permanente para el tomate .. **¡Error! Marcador no definido.**

**Cuadro 15:** Punto de marchitez permanente para la acelga... **¡Error! Marcador no definido.**

**Cuadro 16:** Punto de marchitez permanente para la lechuga. **¡Error! Marcador no definido.**

**Cuadro 17:** Diferenciación del punto de marchitez permanente del extractor de placas y el punto de marchitez obtenido para las diferentes especies vegetales **¡Error! Marcador no definido.**

**Cuadro 18:** Diferenciación del valor del punto de marchitez permanente del extractor de placas y el valor promedio del punto de marchitez obtenido en campo ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Cuadro 19:** Agua útil para las diferentes especies vegetales. **¡Error! Marcador no definido.**

**Cuadro 20:** Valor del agua útil según el extractor de placas.. **¡Error! Marcador no definido.**

**Cuadro 21:** Resultados obtenidos para el punto de marchitez permanente de las diferentes especies vegetales..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Cuadro 22:** Análisis de varianza ANVA para el punto de marchitez permanente ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Cuadro 23:** Prueba de Tukey al 5% y al 1% de significancia **¡Error! Marcador no definido.**

## INDICE DE FIGURAS

**Figura 1:** Imagen del extractor de placas ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Figura 2:** Imagen del equipo Clock/humidity HTC- 2 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Figura 3:** Temperatura y humedad relativa en el invernadero ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Figura 4:** Marchitez de la cebolla ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Figura 5:** Porcentaje de humedad en el suelo ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Figura 6:** Porcentaje de humedad en el suelo para la remolacha..... **¡Error! Marcador no definido.**

- Figura 7:** porcentaje de humedad del suelo para el tomate.. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 8:** Porcentaje de humedad en el suelo para la acelga **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 9:** Porcentaje de humedad para la lechuga ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 10:** Sistema radicular de la remolacha ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 11:** Sistema radicular del tomate ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 12:** Sistema radicular de la acelga ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 13:** Sistema radicular de la lechuga..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 14:** Comparación del punto de marchitez del extractor de placas y el punto de marchitez obtenido en campo de las diferentes especies vegetales . **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 15:** Valor del agua útil para las diferentes especies vegetales ... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 16:** Porcentaje del punto de marchitez en las diferentes especies vegetales .... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 17:** Diferencia del punto de marchitez entre las diferentes especies vegetales **¡Error! Marcador no definido.**

## ÍNDICE DE ANEXO

- Anexo 1:** Construcción de invernadero ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 2:** Preparación del suelo y llenado de las macetas ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Anexo 3:** Trasplante de los plantines ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 4:** Desarrollo de las especies vegetales ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 5:** Control fitosanitario ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 6:** Control de la temperatura, humedad ambiente y humedad del suelo ..... ¡Error!

**Marcador no definido.**

**Anexo 7:** Riego de las especies vegetales ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 8:** Saturación del suelo ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 9:** Pérdida de turgencia de la remolacha ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 10:** Estrés hídrico de la cebolla ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 11:** Pérdida de turgencia del tomate ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 12:** Pérdida de turgencia de la acelga..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 13:** Pérdida de turgencia de la lechuga ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 14:** Punto de marchitez permanente..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 15:** Toma de muestra de campo..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 16:** Análisis del porcentaje de humedad del suelo ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 17:** Preparación de la muestra de suelo para la determinación del punto de marchitez  
permite con el extractor de placas ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 18:** Manejo del extractor de placas ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 19:** Taxonomía de la acelga..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 20:** Taxonomía de la cebolla ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 21:** Taxonomía de la lechuga ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 22:** Taxonomía del tomate ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 23:** Taxonomía de la remolacha ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 24:** Análisis de suelo ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Anexo 25:** Ubicación del lugar..... ¡Error! Marcador no definido.