



Universidad Nacional de Rosario - UNR

Facultad de Ciencias Agrarias

Licenciatura en Recursos Naturales

*Estudio del efecto de la isla de calor sobre la floración de *Erythrina crista-galli* L.  
(Ceibo) utilizando herramientas satelitales en Zavalla (Santa Fe, Argentina)*

Tesinista: Ariana Sol José

Directora: Ing. Agr. (MSc.) Verónica A. Anibalini

Co- directora: Dra. Alejandra Coronel

Lugar de trabajo: Parque José F. Villarino- Facultad de Ciencias Agrarias

**-2024-**

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....</b>	<b>10</b>
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos e hipótesis .....	10
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>11</b>
III.1. Sitios de trabajo.....	11
III.2. Información climatológica .....	12
III.3. Material vegetal .....	13
III.4. Estudios fenológicos .....	13
III.4.1 Observaciones fenológicas.....	14
III.4.2 Determinación de las fechas y duraciones de las fenofases en días calendarios ....	15
III.5. Determinación de la Isla de Calor Urbano (ICU). .....	16
III.5.1 Estimación de la temperatura del aire. ....	16
III.5.1.2 Obtención datos temperatura del aire .....	17
III.5.1.3 Calibración y validación de los datos térmicos.....	18
III.5.2 Cálculo ICU. ....	20
III.6. Evaluación del efecto de la ICU sobre la fase de floración del ceibo.....	21
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>23</b>
IV.1. Caracterización climatológica de la localidad de Zavalla .....	23
IV.2. Estudios fenológicos.....	27
IV.2.1 Determinación de las fechas y duraciones de las fenofases en días calendarios ....	27
IV.3. Determinación Islas de Calor Urbano.....	33
IV.3.1. Calibración y validación de los datos térmicos .....	33
IV.3.2. Obtención de la Isla de Calor Urbano.....	35
IV.4. Evaluación del efecto de la isla de calor sobre la fase de floración del ceibo .....	37
<b>V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>40</b>
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>46</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>47</b>

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia, por acompañarme incondicionalmente en todo sentido durante esta etapa. Especialmente a Eva, este logro es dedicado a vos sé que estarías orgullosa.

A mi casa de estudio, la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario, y todos los que hacen posible la educación pública.

A Vero y Ale, grandes profesionales, por todo el acompañamiento durante estos años y por su apoyo y paciencia en las dificultades.

A mis amigas compañeras de vida, por ser el sostén y motor impulsor en este camino, sin ellas nada hubiera sido igual.

A los amigos que me presentó Zavalla durante todos estos años, que hicieron de mi estadía en el pueblo una experiencia hermosa.

## RESUMEN

Los procesos de urbanización implican sustituciones de superficies naturales por construcciones urbanas, aumentando la temperatura local y produciendo el fenómeno Isla de Calor Urbana (ICU). La temperatura influye en la fenología de los vegetales modificando la ocurrencia y duración de las distintas fenofases. En este trabajo se comparan las fases fenológicas de dos poblaciones de *Erythrina crista-galli* L. (Ceibo), especie de árbol nativo cultivado, una ubicada en el casco urbano de la localidad de Zavalla (zona urbana) y otra en el Parque Villarino (zona no urbana), durante el periodo 2021-2023. Se demuestra la ICU en Zavalla durante el semestre cálido, mediante el uso de datos térmicos de sensores remotos que permitieron estimar la temperatura del aire por medio de un modelo estadístico. Se determina el efecto de la ICU sobre la floración de ambas poblaciones, a través de los grados días acumulados ( $^{\circ}\text{GD}$ ). Se observan diferencias en los inicios y duraciones de las fenofases, comenzando primero en el parque. El modelo para estimar la temperatura del aire presenta un grado de robustez y confiabilidad muy alto entre los valores observados y estimados. Para el semestre cálido la ICU presenta un comportamiento diario diferencial, siendo negativa durante el día produciendo la Isla de Frío Urbana (IFU) y positiva durante la noche (ICU), con máximos de  $-2,46^{\circ}\text{C}$  y  $1,83^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Los  $^{\circ}\text{GD}$  acumulados presentan diferencias significativas entre sitios para el ciclo 1, donde es mayor en la zona urbana por la presencia de una ICU de  $3,34^{\circ}\text{C}$  al principio de la floración. La fase se alarga en la zona urbana por tres días. Este trabajo representa un primer aporte para la región sobre la fenología del ceibo bajo la influencia del clima urbano y particularmente su efecto sobre la floración, y contribuye al conocimiento sobre el comportamiento de la ICU en una ciudad pequeña.

Palabras clave: fenología, estimación de temperatura, sensores remotos, Isla de calor urbano.

## ABSTRACT

Urbanization processes involve the replacement of natural surfaces with urban constructions, leading to increased local temperatures and producing the Urban Heat Island (UHI) phenomenon. Temperature influences the phenology of plants by modifying the occurrence and duration of different phenophases. This study compares the phenological phases of two populations of *Erythrina crista-galli* L. (Ceibo), a native cultivated tree species, one located in the urban center of Zavalla (urban area) and the other in Parque Villarino (non-urban area), during the period from 2021 to 2023. UHI is demonstrated in Zavalla during the warm season through the use of thermal data from remote sensors, which allowed for the estimation of air temperature using a statistical model. The effect of UHI on the flowering of both populations was determined through accumulated degree days ( $^{\circ}\text{DD}$ ). Differences in the start and duration of phenophases are observed, with the park exhibiting earlier phases. The model used to estimate air temperature shows a very high degree of robustness and reliability between observed and estimated values. During the warm season, UHI shows a differential daily behavior, being negative during the day, creating a Cold Urban Island (CUI), and positive during the night (UHI), with maximums of  $-2.46^{\circ}\text{C}$  and  $1.83^{\circ}\text{C}$  respectively. Accumulated  $^{\circ}\text{DD}$  shows significant differences between sites for the first cycle, where it is higher in the urban area due to the presence of a UHI of  $3.34^{\circ}\text{C}$  at the start of flowering. The phase is extended in the urban area by three days. This work represents a first contribution to the region on the phenology of ceibo under the influence of urban climate and particularly its effect on flowering and contributes to the understanding of UHI behavior in a small city.

Keywords: phenology, temperature estimation, remote sensors, urban heat island.

## I. INTRODUCCIÓN

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC por sus siglas en inglés, en su Reporte Especial sobre Calentamiento Global (2018), “las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0 °C con respecto a los niveles preindustriales” y que “es probable que el calentamiento global llegue a 1,5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual”. A su vez, en el Sexto Informe de Evaluación (IPCC 2021), se mejoraron las predicciones corrigiendo el hecho de que es muy probable que el calentamiento global llegue a 1,5 °C a principios del 2030. Y se afirma que “las ciudades intensifican localmente el calentamiento inducido por el hombre, y una mayor urbanización junto con extremos cálidos más frecuentes aumentarán la gravedad de las olas de calor (nivel de confianza muy alto); la urbanización también aumenta las precipitaciones medias y fuertes sobre las ciudades y/o a sotavento (nivel de confianza medio), y la intensidad de la escorrentía resultante (nivel de confianza alto)”. Así es como una de las causas del calentamiento global es el cambio en el uso del suelo debido al reemplazo de sistemas naturales por construcciones urbanas. Las mismas producen modificaciones en el clima a escala local y un mayor calentamiento del aire, generando el fenómeno conocido como Isla de Calor Urbano (ICU), donde la temperatura de los centros urbanos es mayor a la de las zonas no urbanas circundantes (Barradas, 2013).

Uno de los resultados de las sustituciones de las superficies naturales es el aumento en la cantidad de radiación solar absorbida por los diferentes materiales usados en las construcciones urbanas, la cual es re-irradiada, ocasionando un mayor calentamiento del aire con un consecuente incremento en la temperatura local (Román *et al.*, 2017).

Estos aumentos en la temperatura del aire de los centros urbanos tienen un efecto sobre las condiciones de confort de las poblaciones urbanas (Hsu *et al.*, 2021), y a su vez se producen incrementos en los consumos energéticos para poder amortiguar los aumentos de temperatura (Román *et al.*, 2017). Según un estudio sobre el impacto del cambio climático en el uso energético realizado por Flores Larsen *et al.* (2019), se predice que para el año 2080 el cambio en el uso energético será entre un 23-59% menor para calefacción y de entre un 360-790% mayor para refrigeración de una vivienda convencional en Argentina, comparados con el periodo de referencia 1961-1990.

Existen numerosos estudios sobre la identificación de ICU, a nivel global y regional. En Argentina se han realizado diversos estudios en localidades puntuales, como Rosario, Córdoba,

Mendoza, y Tucumán, así como a nivel regional abarcando numerosas ciudades del país (Correa *et al.*, 2006; Maristany *et al.*, 2008; Paolini, 2012; Chiarito, 2019; Casadei *et al.*, 2021), habiéndose utilizado sensores fijos o móviles, sensores remotos e imágenes satelitales para la colecta de datos térmicos.

Otra metodología a utilizar en la determinación de la ICU permite integrar datos térmicos de estaciones meteorológicas y datos satelitales a partir de modelos estadísticos, pudiendo estimar la temperatura del aire en casos en los que faltaran datos térmicos de algún periodo específico, o en situaciones en que sea escasa la cantidad de estaciones meteorológicas cuando se trate de un estudio de distribución espacial de la ICU (Morales Salinas *et al.*, 2018). Los datos térmicos satelitales, obtenidos de sensores remotos, son una de las herramientas más utilizadas en estudios de ICU y clima urbano. La teledetección permite un análisis más detallado en cuanto a la distribución espacial de la isla de calor y su correlación con las diferentes variables ambientales y características físicas del lugar (Fernandez García, 1995).

La urbanización ha impactado en la biodiversidad, los ciclos hidrológicos y de nutrientes, y en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Grimm *et al.*, 2008). En cuanto a los efectos sobre la biodiversidad, uno de los impactos que ha sido estudiado por diferentes autores, es sobre la fenología de diferentes organismos. Se ha demostrado que la temperatura es uno de los principales factores que influye en la fenología de, en estos casos, las especies vegetales, y que los incrementos en la temperatura del aire producen modificaciones y cambios tanto en las fechas de inicio o fin de las fases fenológicas, como en la duración de las mismas (García-Mozo, 2010; Krehbiel *et al.*, 2017; Ramirez Navarro, 2018; Canelos *et al.*, 2020; Fernández Zapiola *et al.*, 2020). En el Sexto informe del IPCC (2021) en cuanto al estado actual del clima se determinó que “los cambios en la biosfera terrestre desde 1970 son consistentes con el calentamiento global: las zonas climáticas se han desplazado hacia los polos en ambos hemisferios, y la temporada de crecimiento se ha alargado en promedio hasta dos días por década desde la década de 1950 en los extratropicos del hemisferio norte (nivel alto de confianza)”.

La fenología es una rama de la Bioclimatología, encargada de estudiar y explicar los cambios periódicos naturales de los seres vivos y su relación con las condiciones meteorológicas; determina las posibles causas de la aparición de los diferentes organismos vivos como respuesta a las variaciones ambientales (Murphy y Hurtado, 2011).

Los estudios sobre la fenología, a partir del registro de los cambios fenológicos, consisten en el análisis de los fenómenos periódicos de los seres vivos y su relación con las condiciones ambientales dentro de su distribución. En el caso de los vegetales, el momento en que se produce la aparición de los diferentes órganos está atribuido, además del complejo climático local, a las condiciones intrínsecas de la especie (De Fina y Ravelo, 1973).

Estos estudios presentan diferentes aplicaciones en el campo de la ciencia y las actividades antrópicas y agrícolas. Las observaciones fenológicas sobre la vegetación autóctona, analizadas en función de las variables meteorológicas permiten caracterizar el complejo climático regional de manera más sensible que los instrumentos medidores. Además, las observaciones sobre especies arbóreas ya sea de forma aislada o en comunidades, hace posible dirigir la explotación y el mantenimiento forestal, ya que a través de conocer los periodos fenológicos pueden planificarse actividades tales como recolección de semillas, podas, trasplantes, control de plagas y enfermedades, entre otras (Murphy y Hurtado, 2011).

A nivel regional, son escasos los estudios realizados sobre fenología de especies nativas, y aún más sobre cómo puede afectar a su fenología los cambios producidos en la temperatura del aire. Se destaca el trabajo de Gastaud (2017), que determinó la fenología y los requerimientos biometeorológicos de *Erythrina crista-galli* L. (Ceibo) y *Handroanthus heptaphyllus* (Lapacho rosado) en el sur de la provincia de Santa Fe, siguiendo la metodología del Registro Fitofenológico Integral modificado (Ledesma, 1953).

Los requerimientos biometeorológicos, como ser la temperatura base y los grados días acumulados, permiten evaluar el desarrollo y cumplimiento de las diferentes fases de las plantas para cumplir su ciclo. La acumulación calórica por encima de la temperatura base, la cual es característica de cada especie, está influenciada por la temperatura del aire. Por lo tanto, los cambios en la temperatura del aire determinan diferencias en la ocurrencia de las fases fenológicas de los vegetales (Carnelos *et al.*, 2020; Fernández Zapiola *et al.*, 2020).

Así mismo, el poder estudiar el posible efecto del calentamiento global sobre la fenología de especies vegetales nos brinda una herramienta muy útil como indicadores biológicos de las condiciones ambientales cambiantes, siendo las fenofases primaverales las más sensibles a la temperatura (Menzel, 2002). De mayor relevancia es aún cuando se trata del estudio de especies nativas, ya que las mismas están adaptadas al complejo climático local, por lo que caracteriza de mejor manera los cambios ambientales producidos.

El arbolado urbano cumple un rol fundamental en el enfriamiento del aire, el cual se debe, por un lado, al proceso de transpiración en el que la planta absorbe energía radiante produciendo un enfriamiento del aire y manteniéndolo más húmedo a sus alrededores. Y, por otro lado, se debe al área sombreada bajo el dosel que disminuye la superficie expuesta a la radiación solar (Lazzarini *et al.*, 2013; Feyisa *et al.*, 2014). Debido a su rol de enfriamiento, es importante poder identificar cambios producidos en la fenología del arbolado urbano, para poder llevar a cabo una implementación adecuada del mismo y así atenuar los efectos de los aumentos de temperatura urbana.

Por lo nombrado anteriormente, surge el interrogante de si al producirse el efecto de ICU, generando condiciones microclimáticas diferentes entre zona urbana y no urbana, produce diferenciaciones en la fenología de los vegetales de las poblaciones en ambos sitios. Teniendo en cuenta la escasez de estudios con respecto al tema, el objetivo del presente trabajo será determinar la existencia de diferencias en la fenología de dos poblaciones de una especie de árbol nativo de la región, *Erythrina crista-galli* L., de dos sitios diferentes bajo estudio (zona urbana-localidad de Zavalla y no urbana-Parque Villarino), y si dichas diferencias se deben a la presencia del fenómeno de ICU.

Con la presente investigación se busca contribuir al conocimiento sobre la flora nativa cultivada de la región y del posible efecto de la urbanización sobre la fenología del arbolado urbano, con fines de expandir los conocimientos actuales y sentar bases para futuras investigaciones.

## II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

### Objetivo general

- Determinar diferencias en la fenología de las poblaciones de *Erythrina crista-galli* (ceibo) de dos sitios bajo estudio (zona urbana y zona no urbana) y en particular el efecto de la isla calor urbano sobre la fase de floración.

### Objetivos específicos e hipótesis

1. a- Determinar inicio, plenitud, fin y duración, en días calendario, de las fenofases de los individuos de *Erythrina crista-galli* (ceibo) de las poblaciones de la zona urbana y no urbana.  
b- Comparar la fenología de los individuos de las poblaciones de ambos sitios.
2. Calibrar y validar el uso de sensores remotos para la determinación de la temperatura del aire.
3. Establecer la existencia del fenómeno de ICU en la localidad de Zavalla.
4. Identificar si la diferencia en la fase de floración entre ambos sitios es atribuida al fenómeno de ICU.

Hipótesis 1) La presencia de la ICU, al aumentar la temperatura de la zona urbana, ocasiona cambios en la fase de floración.

-Predicción 1a : Las poblaciones de *Erythrina crista-galli* de la zona urbana y no urbana presentan diferencias entre sí en su fenología.

-Predicción 1b: Menor duración de la fase de floración de la población urbana en comparación con la zona no urbana.

-Predicción 1c: Mayor acumulación de grados días en la zona urbana que en la zona no urbana debido a la presencia de la ICU.

Hipótesis 2) Los datos térmicos satelitales, frente a la ausencia de datos térmicos in-situ, son una opción válida para el estudio de la ICU.

-Predicción 2: El uso de sensores remotos constituye una herramienta robusta para estimar la temperatura del aire.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### III.1. Sitios de trabajo

El presente trabajo de investigación se desarrolló en dos sitios de la localidad de Zavalla (Santa Fe, Argentina). Uno de los sitios comprendió el Campo Experimental “José F. Villarino” de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR), ubicado en el periurbano de la localidad de Zavalla (Figura 1- polígono azul) determinando la zona no urbana (parque). El segundo sitio comprendió el centro urbano de dicha localidad (Imagen 1- polígono rojo), determinando la zona urbana (pueblo).



**Figura 1.** Imagen satelital de la localidad de Zavalla (polígono rojo) y el Parque J. F. Villarino. (polígono azul); imagen extraída de Google Earth (19.10.2023).

La localidad de Zavalla se encuentra ubicada a  $33^{\circ} 01'$  latitud sur y  $60^{\circ} 53'$  longitud oeste; en dirección sur-oeste de la ciudad de Rosario y pertenece a la ecorregión pampeana. Debido a la presencia de la Facultad de Ciencias Agrarias en la localidad, se ha ido produciendo un incremento en su población por estudiantes, docentes y no docentes que se mudan al pueblo ya sea temporal o permanentemente. A su vez, en los últimos años se han realizado diversos loteos, los cuales producen un incremento de la superficie urbanizada (ECOM Rosario).

El parque José F. Villarino, aledaño al pueblo, consta de 100 hectáreas, y allí se alojan instituciones educativas y una gran biodiversidad de flora y fauna. El mismo fue declarado Área Protegida del Paisaje Cultural de Administración de la UNR, por Res. CD N° 459/11 y Res. CS N° 890/12, categoría definida por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), la cual se caracteriza por presentar propiedades que surgen de la interacción entre sociedad y naturaleza, como ser actividades productivas, valorización histórica y paisajística.

La región se caracteriza por un clima templado cálido-húmedo, presentando una temperatura media promedio de 17 °C y un régimen de precipitación semi-monzónico con un total anual de precipitaciones que varía entre 511 a 1378 mm, con una media anual de 966 mm (Anibalini *et al.*, 2022). El tipo de suelo presente en la zona corresponde a la Serie Roldán (Argiudol vértico, fina, illítica, térmica), presentando la siguiente composición y espesor de horizontes: A11 0-15 cm; A12 15-18 cm; B1 28-40 cm; B21t 40-90 cm; B22t 90-140 cm; B3 140-185 cm; C de 185 cm a mayor profundidad (INTA, 1983).

### **III.2. Información climatológica**

Con el objetivo de describir cómo fueron los periodos evaluados en comparación con la serie histórica, se caracterizó la localidad de Zavalla a través de las variables meteorológicas temperatura máxima media, temperatura mínima media, temperatura media mensual y precipitación acumulada mensual de los semestres cálidos de los ciclos 2021-2022 y 2022-2023, y los semestres cálidos de la serie histórica (1991-2020). Para evaluar la variabilidad climática entre ciclos, se determinó la anomalía climática como la diferente entre el valor observado y el valor histórico.

Los datos diarios de temperatura y precipitación se obtuvieron de la estación agrometeorológica automática (EMA, PEGASUS-TECMES) de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNR. En tanto, los datos de la serie histórica fueron proporcionados por la estación agrometeorológica convencional de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNR perteneciente a la red del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Esta comparación fue posible debido a que la consistencia entre el instrumental usado fue realizada por Barbero *et al.* (2018), obteniendo un coeficiente de regresión lineal ( $R^2$ ) de 0,99 ( $p < 0,05$ ).

### **III.3. Material vegetal**

La unidad experimental de este trabajo es una especie de árbol nativo de la región, *Erythrina crista-galli* L. (ceibo). Pertenece a la subfamilia Papilionoideae, familia Fabaceae, dentro del orden Fabales, según APG IV (Cole *et al.*, 2016). Es originario de Sudamérica, se encuentra en Bolivia, Paraguay, Uruguay, Brasil y Argentina. En nuestro país abarca la región noreste y centro-este en las costas del Río Paraná y sus afluentes (Chaco, Selva Paranaense, Espinal y Delta e Islas del Paraná), y muy poco representado en el noroeste (Demaio *et al.*, 2021). Muy cultivado en plazas y parques, componiendo el arbolado urbano, y en las acequias de campos cultivados (Lozano y Zapater, 2010).

Se trata de un árbol de porte mediano, de tallo leñoso y tortuoso, de 4-12 m de altura. De follaje caduco, y sus hojas son compuestas y alternas, con tres folíolos ovalados. Sus flores son perfectas y de un característico color rojo dispuestas en racimos, que agrupan hasta 30 flores. Cáliz rojo acampanado, corola con 5 pétalos: uno mayor (estandarte), dos laterales (alas) y dos pétalos soldados (quilla), que envuelven a los 10 estambres del androceo (Demaio *et al.*, 2021). El fruto es una legumbre dehiscente de color castaño, en cuyo interior se encuentran semillas color marrón. Las mismas son transportadas por el agua y germinan en bancos de arena donde constituyen poblaciones que estabilizan el suelo y crean nuevas islas (Lozano y Zapater, 2010).

### **III.4. Estudios fenológicos**

La información utilizada para realizar los estudios consistió en una base de datos fenológicos conformada a partir de observaciones realizadas sobre dos poblaciones de ceibo (Figura 2), diez ejemplares situados en el Parque José F. Villarino (zona no urbana) y cinco dentro del casco urbano de la localidad de Zavalla (zona urbana), representando un total de 15 árboles. La cantidad de individuos es suficiente para poder establecer promedios fenológicos, y se corresponde con lo planteado por Cáceres *et al.* (2010).



Figura 2. Ubicación de los ejemplares de *Erythrina crista-galli* L. (ceibo) observados en zona urbana (polígono rojo) y zona no urbana (polígono azul).

### III.4.1 Observaciones fenológicas

Las observaciones fenológicas fueron realizadas sobre cada uno de los individuos de cada población. Consistieron en el registro periódico del estado fenológico de la planta, y se basaron en el Registro Fitofenológico Integral (Ledezma, 1953) modificado según los objetivos y alcances del presente trabajo. Los datos utilizados fueron registrados desde junio del 2021 hasta octubre del 2023 (José *et al.*, 2022). La cantidad de años observados permite obtener valores fenológicos medios normales ya que los vegetales reaccionan a las condiciones ambientales actuales del lugar (Murphy y Hurtado, 2011).

Las fases fenológicas registradas fueron: foliación, floración, fructificación y caída del follaje; en esta especie se presenta más de un evento de floración.

Las observaciones consistieron en el registro de la presencia de órganos visibles, en base a los cuales se determinó inicio, plenitud y fin de cada fase fenológica. Se consideró la fecha de inicio de cada una de las fases cuando el individuo presentó el 20% de su copa ocupado por los

órganos correspondientes a dicha fase; la plenitud cuando ocupó el 50% de su copa; y el fin de fase cuando ocupó el 80% de su copa. Por último, se registró como "inactividad" la ausencia de cambios fenológicos (Gastaudo, 2017).

La frecuencia de observación fue dependiendo de la época y fenofase que transcurría: durante las fenofases de mayor actividad (de octubre a marzo) se efectuaron dos observaciones por semana, y durante las fenofases de menor actividad (abril a septiembre) se realizó una observación por semana o cada diez días.

Particularmente para la foliación se consideró el inicio de fase cuando el árbol presentó el 20% de su copa ocupado por brotes foliares verdes visibles; la plenitud cuando presentó el 50% de su copa ocupado por hojas verdes expandidas; y el fin de fase cuando el 80% de su copa estuvo ocupada por hojas expandidas.

Para la floración se estableció el inicio de la fase cuando el árbol presentó el 20% de la copa ocupado por pimpollos rojos visibles; la plenitud cuando presentó el 50% de su copa ocupado por flores abiertas; y el fin de fase cuando se observó el 80% de la copa ocupado por flores abiertas.

Para la fase de fructificación, el inicio se definió cuando se registró el 20% de la copa ocupada por frutos inmaduros; la plenitud cuando frutos maduros ocuparon el 50% de la copa; y el fin de fase cuando el 80% de la copa fue ocupado por frutos maduros.

En el caso de la fase caída del follaje el inicio se registró cuando se observó el 20% del total de la copa desprovisto de hojas; plenitud cuando la caída de hojas representó el 50%; y el fin de fase cuando se registró la caída de hojas en un 80%.

#### **III.4.2 Determinación de las fechas y duraciones de las fenofases en días calendarios**

La información registrada se utilizó para establecer las fechas medias de inicio, plenitud y fin de cada fenofase con su correspondiente desvío ( $\pm$ ) para cada una de las poblaciones de árboles, con el fin de comparar y establecer diferencias fenológicas entre ambos sitios. Se estableció la duración media (tiempo en días transcurridos entre el inicio y el fin de fase) de cada fenofase en días calendario (Martin *et al.*, 1997). Además, se determinó la intensidad de fase como la inversa de la duración.

Se calcularon las variaciones entre sitios con los promedios de los dos años de observación, y para la determinación de variaciones intra-sitios se compararon los promedios anuales.

### **III.5. Determinación de la Isla de Calor Urbano (ICU).**

#### **III.5.1 Estimación de la temperatura del aire.**

Se procedió a estimar la temperatura del aire a partir de datos satelitales, con la finalidad de evaluar si es posible extrapolar datos de temperatura superficial terrestre obtenidos de sensores remotos para el cálculo de la ICU en los casos de no contar con sensores in situ o estaciones de superficie.

##### **III.5.1.1 Obtención de datos satelitales de temperatura.**

Los datos térmicos fueron obtenidos del sensor remoto MODIS, (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), el cual se encuentra montado sobre los satélites TERRA y AQUA, ambos de órbita polar y heliosincrónica, es decir, pasan por los polos y sobre una determinada latitud siempre al mismo tiempo solar local (Morales, 2017). Se analizaron los datos de temperatura superficial terrestre (TST) provenientes de los productos MYD11A2 (Casadei *et al*, 2021). Los datos fueron descargados del sitio web de MODIS (<https://modis.ornl.gov/globalsubset/>) correspondientes a los semestres cálidos, de octubre a marzo de los años 2021/2022 y 2022/2023. Dicho producto provee valores diarios de temperatura superficial diurna, entre las 13:00 y las 15:00 h (TSd), y nocturna, entre las 00:00 y las 2:00 h (TSn) hora local, horarios cercanos a los momentos de máximos y mínimos de temperatura diaria. Los mismos están expresados en grados Kelvin, con una resolución espacial de 1 km y una resolución temporal de 8 días, promediando las temperaturas diarias obtenidas en días sin nubes, con un factor de escala y filtros de control de calidad aplicados.

Para cada compuesto de ocho días diurno y nocturno, primeramente se convirtieron los datos de temperatura en grados Kelvin (°K) a grados Centígrados (°C) (1); luego se promediaron los valores obtenidos de cada píxel del área solicitada para la zona urbana y no urbana, diurno y nocturno, para todas las fechas dentro de los ciclos analizados.

$$^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{K} - 273 \quad (1)$$

Donde °C temperatura superficial terrestre en grados Celsius y °K temperatura superficial terrestre en grados Kelvin.

Las coordenadas utilizadas fueron establecidas de manera que cada una representa cada sitio bajo estudio: zona urbana (pueblo): -33.02191; -60.87775; zona no urbana (parque): -33.03721; -60.89190.

### III.5.1.2 Obtención datos temperatura del aire

Los datos de temperatura del aire se obtuvieron de la estación agrometeorológica automática (EMA, PEGASUS-TECMES) de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNR para la zona no urbana, y para la zona urbana de un sensor (HOBOWare Pro) colocado en el predio de una casa céntrica del pueblo (Figura 3). La consistencia entre el instrumental usado fue realizada por Barbero *et al.* (2018), obteniendo un coeficiente de regresión lineal ( $R^2$ ) de 0,99 ( $p < 0,05$ ).



**Figura 3.** Imagen satelital de la ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas de la zona urbana (sensor pueblo) y zona no urbana (sensor facultad) (9.10.2023).

Para ambos sitios, se utilizaron datos de temperatura horaria máxima (diurna) y mínima (nocturna), correspondientes a los horarios en los que el satélite obtiene los datos de TST diurna y nocturna. Se promediaron los valores a intervalos de ocho días para componer la temperatura al igual que los datos satelitales para los periodos cálidos 2021/2022 (de noviembre a marzo) y 2023 (de enero a marzo). Ambos set de datos se utilizaron para calibrar y validar los datos satelitales, respectivamente.

### III.5.1.3 Calibración y validación de los datos térmicos

Los valores de temperatura del aire, para la zona urbana y no urbana, se estimaron mediante la técnica estadística de regresión lineal en donde los datos de temperatura de las estaciones meteorológicas constituyeron la variable dependiente y los datos de TST obtenidos de sensores remotos actuaron como la variable regresora, diurnos y nocturnos de forma conjunta (mixtos). De este modo se obtuvo una ecuación (2) para cada sitio, la cual permitió obtener la temperatura estimada del aire urbana y no urbana. Se utilizó el software estadístico InfoStat/Profesional (Di Rienzo *et al.*, 2014).

$$y = a . x + b \quad (2)$$

Donde:

y: variable dependiente, temperatura de estación meteorológica

x: variable independiente, TST

a y b: coeficientes de la recta

Para establecer el grado de ajuste del modelo se determinaron, tanto para la calibración (datos térmicos 2021/2022) como para la validación (datos térmicos 2022/2023), los siguientes parámetros estadísticos entre los valores observados y los estimados (Sarria y Palazón, 2008):

- 1) Coeficiente de determinación  $r^2$  (3)

$$r^2 = \frac{cov(o,c)^2}{sd(o) sd(c)} \quad (3)$$

donde cov(o, c) es la covarianza entre los valores observados y los devueltos por el modelo (calculado), sd(o) la desviación típica de los valores observados y sd(c) la desviación típica de los resultados del modelo.

- 2) Eficiencia del modelo de Nash y Sutcliffe (1970) (4)

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1} (o_i - c_i)^2}{\sum_{i=1} (o_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

donde  $o$  es el valor observado,  $c$  el valor calculado y  $\bar{O}$  el promedio de los valores observados. La eficiencia del modelo de Nash-Sutcliffe toma valores de  $-\infty$  a 1, donde valores cercanos a 1 determinan un ajuste perfecto. Al ser un indicador no muy sensible a las sobreestimaciones o subestimaciones del modelo, se utilizó como criterio valores mayores a 0 para la calibración y validación.

3) Índice de ajuste modificado (Wilmott (1982) (5)

$$W = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - c_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|c_i - \bar{O}| + |o_i - \bar{O}|)^2} \quad (5)$$

donde  $o$  es el valor observado,  $c$  el valor calculado y  $\bar{O}$  el promedio de los valores observados. Este indicador toma valores entre 0 y 1, donde 1 representa un ajuste perfecto de los datos observados y los aportados por el modelo. Este indicador presenta la misma desventaja que el anterior, y el criterio tomado fueron valores mayores a 0,65 tanto en la calibración como en la validación.

4) Error medio (6)

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{o-c}{c}\right)^2}{N}} \quad (6)$$

donde  $o$  es el valor observado,  $c$  el valor calculado y  $N$  el total de datos térmicos.

5) Raíz del error cuadrático medio (RMSE) (7)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - c_i)^2}{N}} \quad (7)$$

donde  $o$  es el valor observado,  $c$  el valor calculado y  $N$  el total de datos térmicos. Este indicador toma valores de 0 a  $\infty$ , midiendo la magnitud de la diferencia entre los valores observados y los obtenidos por el modelo, donde valores cercanos a 0 indican un buen ajuste.

6) Exactitud (8)

$$Exactitud = 100 - (error\ medio * 100) \quad (8)$$

Es un concepto complementario al error, el cual mide el grado de similitud entre los valores observados y obtenidos por el modelo.

### III.5.2 Cálculo ICU.

El fenómeno de isla de calor urbano (ICU) se determinó realizando la diferencia entre la temperatura del aire urbana (TAU) y la temperatura del aire no urbana (TANU), para ambos horarios, diurna (d) y nocturna (n) respectivamente (9 y 10), para determinar su comportamiento durante el día. Para el cálculo se utilizaron valores de temperatura de aire estimada a partir de datos de temperatura obtenidos de sensores remotos, para ambos sitios bajo estudio. El periodo analizado comprende el semestre cálido (de octubre a marzo) de dos ciclos, ciclo 1 de 2021/2022 y ciclo 2 de 2022/2023.

$$ICUd = TAUd - TANUd \quad (9)$$

Donde TAUd temperatura del aire urbana diurna; TANUd temperatura del aire no urbana diurna;

$$ICUn = TAU_n - TANU_n \quad (10)$$

Donde TAU<sub>n</sub> temperatura del aire urbana nocturna; TANU<sub>n</sub> temperatura del aire no urbana nocturna.

La significancia estadística de la diferencia entre ciclos de la ICU diurna y nocturna se analizó mediante el test no paramétrico de Kruskal-Wallis.

### III.6. Evaluación del efecto de la ICU sobre la fase de floración del ceibo

El análisis del efecto de la ICU sobre la floración se realizó para el principal evento de floración.

Para la determinación de los °GD se trabajó con la temperatura media (11 y 12) calculada para cada compuesto de 8 días y para cada sitio. La misma se utilizó para el cálculo de los °GD.

$$T_{medU} = \frac{T_{diurnaU} + T_{nocturnaU}}{2} \quad (11)$$

$$T_{medNU} = \frac{T_{diurnaNU} + T_{nocturnaNU}}{2} \quad (12)$$

Siendo:

TmedU y TmedNU: temperatura media urbana y no urbana respectivamente;  
TdiurnaU y TdiurnaNU: temperatura diurna urbana y diurna no urbana respectivamente; y  
TnocturnaU y TnocturnaNU: temperatura nocturna urbana y nocturna no urbana respectivamente.

Se calculó para cada individuo los °GD acumulados (13) de inicio a fin de la fase, y el promedio con su correspondiente desvío para cada población. Se utilizó la temperatura base de 10 °C determinada por Gastaud *et al.* (2017).

$$^{\circ}GD = \sum(Tmed - Tbase) * n \quad (13)$$

Siendo:

Tmed: temperatura media de cada compuesto de 8 días

Tbase: temperatura base de la fase de floración

n: número de días que duró la fase

Se determinó la significancia estadística de la diferencia en la acumulación de °GD entre sitios mediante el test no paramétrico de Kruskal-Wallis, ya que los datos no cumplían con los supuestos de normalidad de ANOVA.

Se calculó la ICU con los valores de Tmed de cada sitio (14) para el periodo que comprendió el principal evento de floración, con el fin de observar su comportamiento y analizar su posible efecto sobre la acumulación de °GD. Se utilizaron los valores de temperatura media para la ICU con el fin de trabajar con los mismos valores utilizados en el cálculo de los °GD acumulados.

$$ICU(Tmed) = TmedU - TmedNU \quad (14)$$

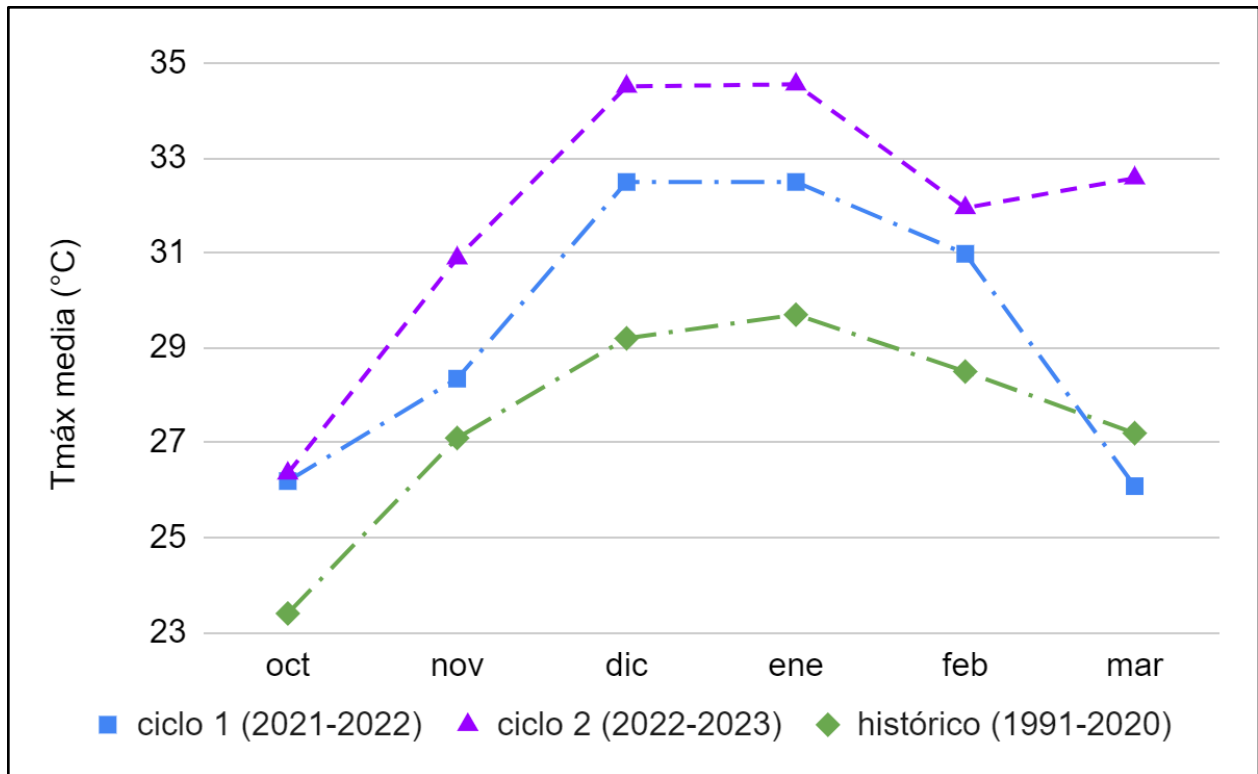
Donde ICU(Tmed) la ICU calculada con la temperatura media de cada compuesto, y TmedU y TmedNU las temperaturas media urbana y media no urbana respectivamente.

La relación entre los °GD y la ICU calculada a partir de la Tmed se determinó a través del análisis del valor p obtenido mediante el test no paramétrico de Kruskal-Wallis entre los °GD acumulados entre sitios, considerándose a cada individuo observado como una repetición. Así mismo, se determinó el grado de significancia de las diferencias entre las duraciones de la floración entre sitios para cada ciclo.

## IV. RESULTADOS

### IV.1. Caracterización climatológica de la localidad de Zavalla

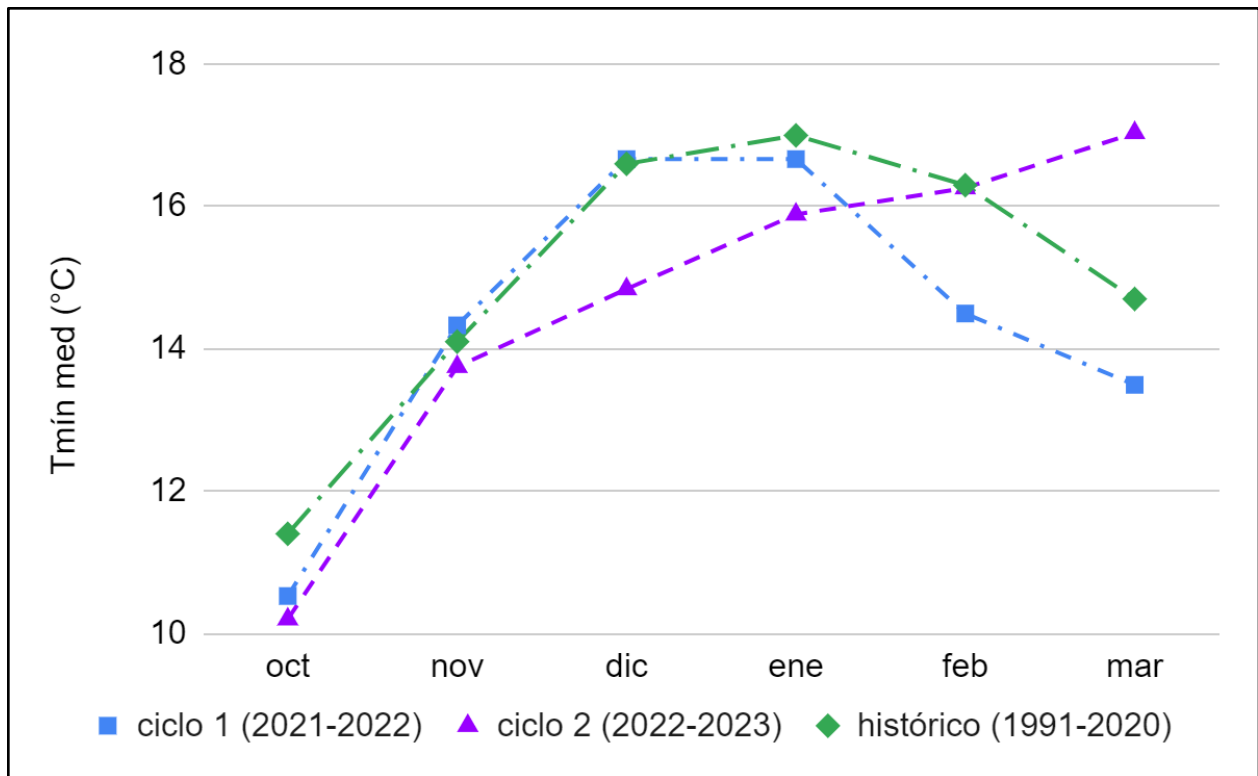
La Figura 4 muestra los valores de temperatura máxima media del semestre cálido de los ciclos 1 (2021-2022) y 2 (2022-2023), comparados con los valores históricos de la serie 1991-2020 para el mismo sitio.



**Figura 4.** Marcha de la temperatura máxima media (Tmáx med) del semestre cálido de los ciclos 1, 2 y el promedio histórico.

Se observó para ambos ciclos la presencia de anomalías positivas donde los valores de temperatura máxima media se encuentran por encima del promedio histórico, marcando mayores diferencias en el segundo ciclo. Se destaca en el mes de marzo del ciclo 2 un segundo pico de aumento de la temperatura en 5,8 °C por encima del valor histórico.

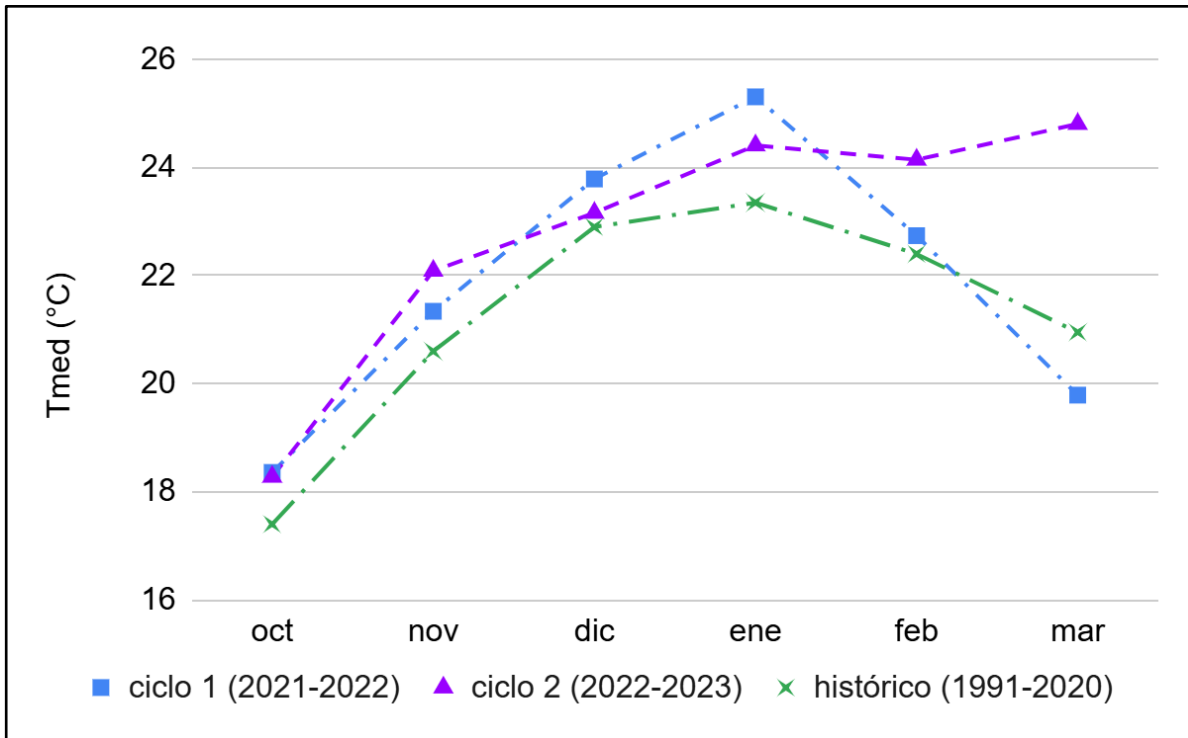
La Figura 5 muestra los valores de temperatura mínima media del semestre cálido de los ciclos 1 (2021-2022) y 2 (2022-2023), comparados con los valores históricos de la serie 1991-2020.



**Figura 5.** Marcha de la temperatura mínima media ( $T_{mín\ med}$ ) del semestre cálido de los ciclos 1, 2 y el promedio histórico .

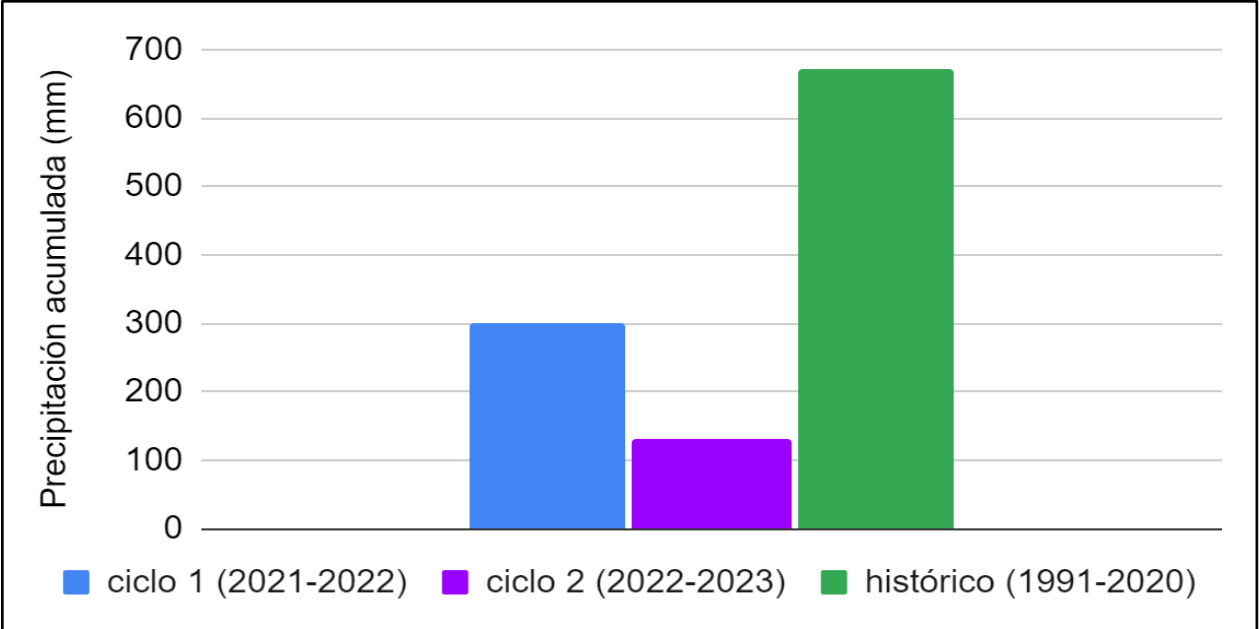
Se observó, en general para ambos ciclos, la presencia de anomalías negativas. En comparación, el primer ciclo presentó menores diferencias que el ciclo 2 con respecto al promedio histórico. En el segundo ciclo puede destacarse un aumento en los valores de temperatura mínima media a medida que avanza el semestre, presentando una anomalía del orden de  $2,34\text{ }^{\circ}\text{C}$  por encima del valor histórico en el mes de marzo.

En la Figura 6 se muestran los valores de temperatura media mensual del semestre cálido de los ciclos 1 (2021-2022) y 2 (2022-2023), comparados con los valores históricos de la serie 1991-2020. Ambos ciclos se encontraron por encima del valor histórico, sin embargo presentaron diferente comportamiento hacia el final del periodo. El ciclo 1 siguió la tendencia histórica disminuyendo luego del máximo alcanzado en enero, mientras que el ciclo 2 presentó un segundo pico en marzo manifestando una anomalía positiva de  $3,86\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

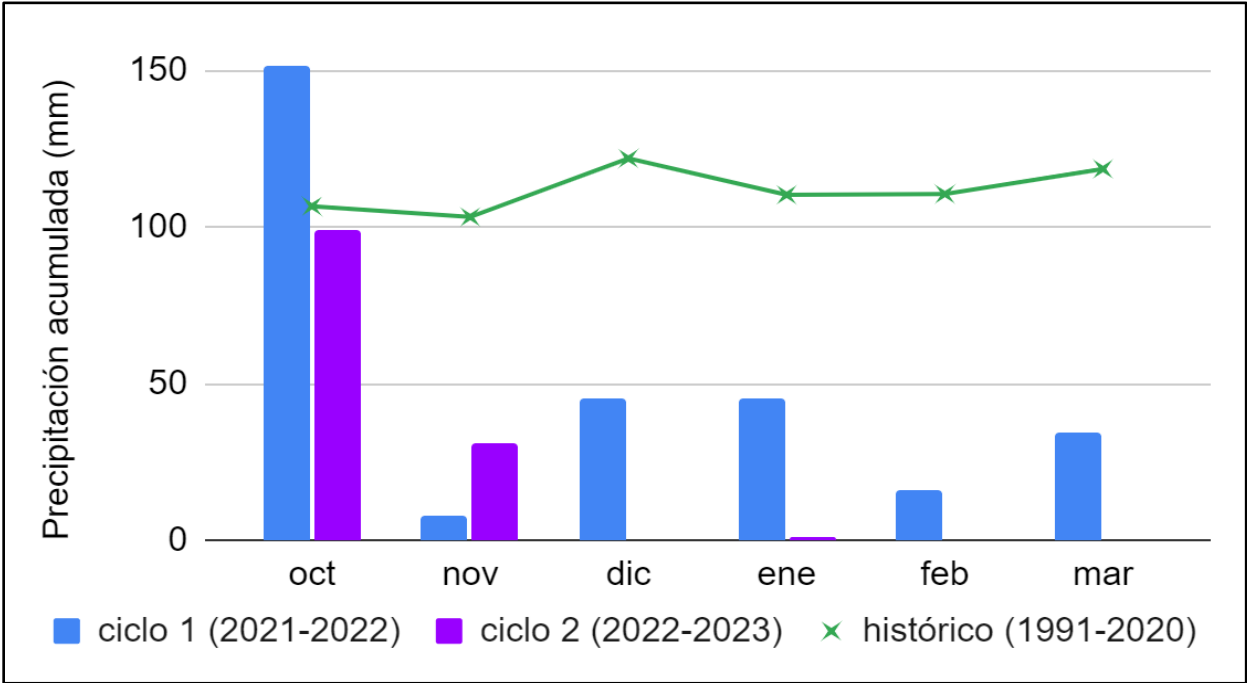


**Figura 6.** Marcha de la temperatura media mensual (Tmed) del semestre cálido de los ciclos 1, 2 y el promedio histórico.

En la Figura 7 se muestran las precipitaciones acumuladas totales del semestre cálido de cada ciclo, 1 (2021-2022) y 2 (2022-2023) y el valor histórico de la serie 1991-2020 y en la Figura 8, para cada ciclo, se muestran las precipitaciones acumuladas por mes del semestre cálido y el valor histórico mensual.



**Figura 7.** Precipitación acumulada total del semestre cálido de cada ciclo y la histórica.



**Figura 8.** Precipitaciones acumuladas por mes del semestre cálido de cada ciclo y la histórica.

Se encontró que las precipitaciones acumuladas totales en el semestre cálido fueron menores en ambos ciclos con respecto al valor histórico. El primer ciclo representó casi el 50% del valor acumulado histórico, mientras que el segundo ciclo registró casi un 25% del mismo.

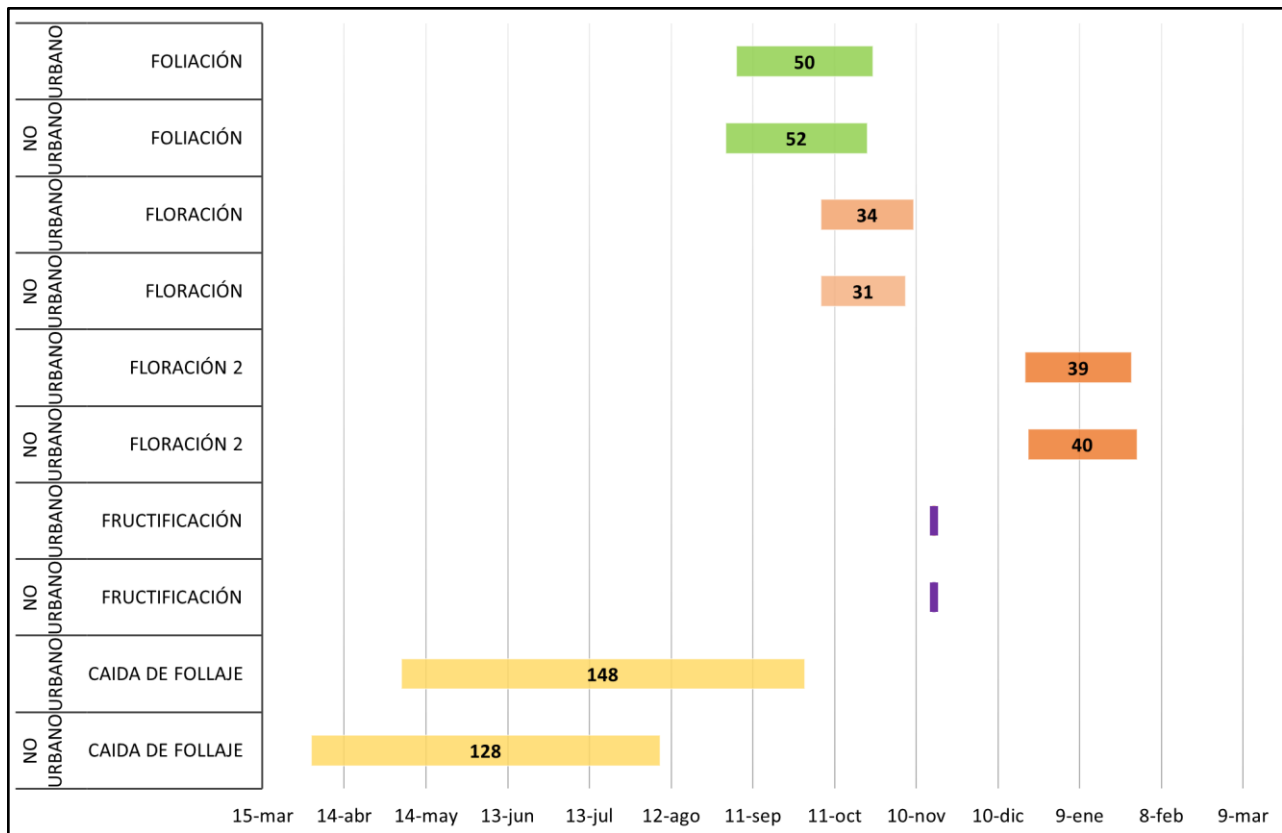
En el primer ciclo se observó acumulación en todos los meses del semestre, generalmente manteniéndose por debajo del valor histórico; en el segundo ciclo en los meses de diciembre, febrero y marzo no ocurrieron precipitaciones.

## IV.2. Estudios fenológicos

### IV.2.1 Determinación de las fechas y duraciones de las fenofases en días calendario

La Figura 9 muestra las duraciones medias de las fases de foliación, floración principal y accesoria, caída de follaje y fructificación. Para el caso de la fructificación solo fue graficado el inicio de fase, ya que no presentó mayor desarrollo.

En la Tabla 1 se indican los promedios y los desvíos de las fechas de inicio y fin de cada fenofase de la población de ceibos de cada sitio en los dos años de observación.



**Figura 9.** Duración media, fechas medias de inicio y fin de cada fenofase de las poblaciones de ceibo de cada sitio de observación, zona urbana (barra superior) y zona no urbana (barra inferior).

**Tabla 1.** Fechas medias y desvíos de inicio, plenitud, fin, y duración de las fases fenológicas del ceibo para cada sitio de observación.

		<b>Inicio</b>	<b>Plenitud</b>	<b>Fin</b>	<b>Duración (días)</b>
<b>Zona no urbana</b>	<b>Foliación</b>	1/9 ( $\pm 6$ )	2/10 ( $\pm 6$ )	23/10 ( $\pm 7$ )	52 ( $\pm 7$ )
	<b>Floración 1</b>	6/10 ( $\pm 5$ )	27/10 ( $\pm 6$ )	6/11 ( $\pm 5$ )	31 ( $\pm 5$ )
	<b>Floración 2</b>	1/12 ( $\pm 8$ )	21/12 ( $\pm 10$ )	8/1 ( $\pm 11$ )	40 ( $\pm 7$ )
	<b>Caída de follaje</b>	2/4 ( $\pm 10$ )	13/5 ( $\pm 22$ )	29/6 ( $\pm 24$ )	86 ( $\pm 17$ )
<b>Zona urbana</b>	<b>Foliación</b>	5/9 ( $\pm 9$ )	2/10 ( $\pm 6$ )	24/10 ( $\pm 7$ )	50 ( $\pm 10$ )
	<b>Floración 1</b>	6/10 ( $\pm 5$ )	28/10 ( $\pm 5$ )	8/11 ( $\pm 5$ )	34 ( $\pm 5$ )
	<b>Floración 2</b>	3/12 ( $\pm 8$ )	20/12 ( $\pm 9$ )	9/1 ( $\pm 11$ )	39 ( $\pm 5$ )
	<b>Caída de follaje</b>	5/5 ( $\pm 21$ )	24/6 ( $\pm 41$ )	1/8 ( $\pm 47$ )	88 ( $\pm 35$ )

A continuación se presentan los resultados de cada una de las fases con los valores medios y desvíos de cada población y los periodos promedios de los dos ciclos de observación (2021-2022 y 2022-2023).

La primera fase observada fue la foliación (Figura 10). En la tabla 2 se muestran los valores medios de cada población por ciclo de inicio, plenitud, fin y duración de la fase, así como el promedio de ambos ciclos y sus correspondientes desvíos. Se registró el inicio de fase a principios de septiembre y se observó un adelanto en la zona no urbana y una duración dos días más larga con respecto a la urbana. Esta última presentó mayor variabilidad en la fecha de inicio y duración de fase.



**Figura 10.** Brotes (izquierda) y hojas expandidas (derecha) de un ejemplar de ceibo.

**Tabla. 2.** Fechas medias y desvíos de inicio, plenitud, fin, y duración media de la fase foliación.

<b>Foliación</b>		<b>Inicio</b>	<b>Plenitud</b>	<b>Fin</b>	<b>Duración (días)</b>
<b>Ciclo 1</b>	<b>No urbano</b>	1/9 ( $\pm 7$ )	1/10 ( $\pm 7$ )	20/10 ( $\pm 7$ )	50 ( $\pm 8$ )
	<b>Urbano</b>	6/9 ( $\pm 7$ )	1/10 ( $\pm 7$ )	20/10 ( $\pm 7$ )	44( $\pm 9$ )
<b>Ciclo 2</b>	<b>No urbano</b>	2/9 ( $\pm 4$ )	3/10 ( $\pm 5$ )	26/10 ( $\pm 4$ )	54 ( $\pm 5$ )
	<b>Urbano</b>	3/9 ( $\pm 11$ )	3/10 ( $\pm 5$ )	28/10 ( $\pm 6$ )	57 ( $\pm 7$ )
<b>Promedio</b>	<b>No urbano</b>	1/9 ( $\pm 6$ )	2/10 ( $\pm 6$ )	23/10 ( $\pm 7$ )	52 ( $\pm 7$ )
<b>Promedio</b>	<b>Urbano</b>	5/9 ( $\pm 9$ )	2/10 ( $\pm 6$ )	24/10 ( $\pm 7$ )	50 ( $\pm 10$ )

La segunda fase observada fue la floración (Figura 11), siendo de todas las fases la de menor duración. La especie en estudio puede presentar más de un evento de floración, y en este caso fueron registrados uno principal y dos eventos accesorios, en los dos años de observación para los dos sitios.



**Figura 11.** Pimpollos (izquierda) y flores abiertas (derecha) de ceibo.

En la Tabla 3 se muestran, para el principal evento, las fechas medias de inicio, plenitud, fin y duración de fase de las dos poblaciones para cada ciclo, el promedio de ambos y sus correspondientes desvíos. En los dos sitios el inicio de fase se da en promedio para la misma fecha.

**Tabla 3.** Fechas medias y desvíos de inicio, plenitud, fin, y duración media del principal evento de floración.

Floración 1		Inicio	Plenitud	Fin	Duración (días)
<b>Ciclo 1</b>	<b>No Urbano</b>	10/10 ( $\pm 3$ )	29/10 ( $\pm 3$ )	8/11 ( $\pm 3$ )	29 ( $\pm 3$ )
	<b>Urbano</b>	7/10 ( $\pm 4$ )	30/10 ( $\pm 4$ )	9/11 ( $\pm 2$ )	33 ( $\pm 3$ )
<b>Ciclo 2</b>	<b>No Urbano</b>	2/10 ( $\pm 4$ )	24/10 ( $\pm 8$ )	5/11 ( $\pm 7$ )	34 ( $\pm 6$ )
	<b>Urbano</b>	5/10 ( $\pm 5$ )	26/10 ( $\pm 4$ )	7/11 ( $\pm 6$ )	35 ( $\pm 6$ )
<b>Promedio</b>	<b>No Urbano</b>	6/10 ( $\pm 5$ )	27/10 ( $\pm 6$ )	6/11 ( $\pm 5$ )	31 ( $\pm 5$ )
<b>Promedio</b>	<b>Urbano</b>	6/10 ( $\pm 5$ )	28/10 ( $\pm 5$ )	8/11 ( $\pm 5$ )	34 ( $\pm 5$ )

A principios de diciembre se observó el inicio de un segundo evento de floración. Una particularidad que se observó fue un comportamiento diferencial de los árboles entre ciclos. Del total de individuos observados, en el primer ciclo solo 2 de los 15 ejemplares lograron llegar a fin de fase (10%) y los restantes (90%) solo a plenitud; lo contrario ocurrió en el segundo ciclo donde 12 del total de árboles (85%) llegó a culminar la fase, con una duración de 41( $\pm$ 7) días en el parque y 39( $\pm$ 5) en el pueblo; y solo 3 (15%) llegaron hasta plenitud.

En la Tabla 4 se muestran las fechas medias de inicio, plenitud, fin y duración de fase de las dos poblaciones para los dos ciclos, el periodo promedio de ambos y sus correspondientes desvíos. Debido al comportamiento diferencial nombrado, con el fin de comparar las duraciones entre ciclos, se determinó la duración de fase hasta plenitud.

**Tabla 4.** Fechas medias y desvíos de inicio, plenitud, fin, y duración media del segundo evento de floración.

<b>Floración 2</b>		<b>Inicio</b>	<b>Plenitud</b>	<b>Fin</b>	<b>Duración (días)</b>
<b>Ciclo 1</b>	<b>No Urbano</b>	29/11 ( $\pm$ 8)	19/12 ( $\pm$ 5)	23/12	20( $\pm$ 4)*
	<b>Urbano</b>	1/12 ( $\pm$ 8)	22/12 ( $\pm$ 4)		23 ( $\pm$ 3)*
<b>Ciclo 2</b>	<b>No Urbano</b>	3/12 ( $\pm$ 8)	22/12 ( $\pm$ 13)	12/1 ( $\pm$ 9)	19 ( $\pm$ 7) *
	<b>Urbano</b>	5/12 ( $\pm$ 9)	19/12 ( $\pm$ 13)	8/1 ( $\pm$ 11)	14 ( $\pm$ 5) *
<b>Promedio</b>	<b>No Urbano</b>	1/12 ( $\pm$ 8)	21/12 ( $\pm$ 10)	8/1 ( $\pm$ 11)	21 ( $\pm$ 7) *
<b>Promedio</b>	<b>Urbano</b>	3/12 ( $\pm$ 8)	20/12 ( $\pm$ 9)	9/1 ( $\pm$ 11)	21 ( $\pm$ 5) *

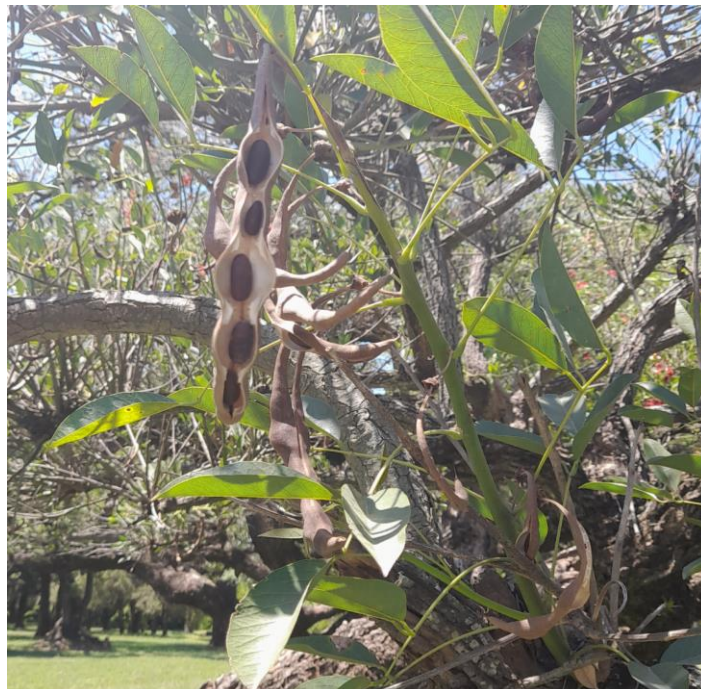
\* duración de fase hasta plenitud.

Se observó un tercer episodio de floración que dió inicio en el parque el 29 de enero ( $\pm$ 13 días) y en el pueblo el 4 de febrero ( $\pm$ 12 días), presentando mayor variabilidad que los eventos anteriores. Se observó que la mayoría de los ejemplares no llegan a finalizar la fase. En el primer año se observó que el 50% de los árboles llegó a alcanzar la plenitud, mientras que en el resto solo se observó un inicio de fase. En el segundo año se registró que el 70% de los árboles alcanzó la

plenitud, mientras que el 30% restante llegó a completar la fase con una duración media de 39 ( $\pm 5$ ) días.

A finales de la floración comienza la aparición de los frutos (Figura 12). Luego del primer evento de floración, la fructificación se inició en ambos sitios el 16 de noviembre con un desvío de  $\pm 7$  días en el parque y en el pueblo de  $\pm 4$  días. En la mayoría de los individuos, en ambos ciclos, no hubo avance en la fructificación, sólo un árbol de la zona urbana llegó a completar la fase en el primer ciclo con una duración de 55 días. En cuanto a la fructificación de los eventos accesorios de floración, en ambos ciclos y sitios, la mayoría de los individuos mostró la presencia de órganos aislados. Sin embargo, hubo dos ejemplares del pueblo que luego del tercer evento de floración llegaron a la plenitud de la fase de fructificación en los dos años de observación.

Durante los eventos de floración fueron registrados ataques pronunciados de la chicharrita de la espuma (*Cephus siccifolia* Walker) en los ejemplares del parque, sumado a la ocurrencia de tormentas y fuertes vientos, factores que produjeron una masiva caída de flores reduciendo el número de frutos producidos aunque la fase de floración se haya desarrollado normalmente hasta el fin de fase.



**Figura 12.** Legumbres y semillas de ceibo.

La última fase observada fue la caída del follaje (Tabla 5). Fue la fase más larga y la que presentó la mayor variabilidad en el inicio, plenitud, fin y duración; siendo la zona no urbana el sitio en donde se inició primero la fase para ambos ciclos .

**Tabla 5.** Fechas medias y desvíos de inicio, plenitud, fin, y duración media de la fase de caída de follaje.

Caída follaje		Inicio	Plenitud	Fin	Duración (días)
<b>Ciclo 1</b>	<b>No Urbano</b>	30/3 ( $\pm 4$ )	19/5 ( $\pm 13$ )	14/6 ( $\pm 7$ )	77 ( $\pm 7$ )
	<b>Urbano</b>	1/5 ( $\pm 8$ )	12/6 ( $\pm 24$ )	16/7 ( $\pm 34$ )	77 ( $\pm 27$ )
<b>Ciclo 2</b>	<b>No Urbano</b>	6/4 ( $\pm 12$ )	7/5 ( $\pm 28$ )	14/7 ( $\pm 26$ )	99 ( $\pm 17$ )
	<b>Urbano</b>	9/5 ( $\pm 29$ )	5/7 ( $\pm 54$ )	17/8 ( $\pm 56$ )	100 ( $\pm 41$ )
<b>Promedio</b>	<b>No Urbano</b>	2/4 ( $\pm 10$ )	13/5 ( $\pm 22$ )	29/6 ( $\pm 24$ )	86 ( $\pm 17$ )
<b>Promedio</b>	<b>Urbano</b>	5/5 ( $\pm 21$ )	24/6 ( $\pm 41$ )	1/8 ( $\pm 47$ )	88 ( $\pm 35$ )

### IV.3. Determinación Islas de Calor Urbano

#### IV.3.1. Calibración y validación de los datos térmicos

En la Tabla 6 se muestran los valores de las constantes a, b y el p-valor obtenidos a través de la regresión lineal entre la temperatura del aire y la TST diurnos y nocturnos (mixtos) en la calibración de los datos (periodo 2021/2022). A partir de los coeficientes a y b fue posible calcular la temperatura del aire reemplazando en la ecuación:  $y = a + b * x$ , donde x representa los valores de TST, por los valores obtenidos para los dos ciclos. Al observar el p-valor, se obtuvo una asociación altamente significativa entre ambas variables para los dos sitios.

**Tabla 6.** Valores de las constantes (a y b) y el p-valor de la regresión lineal en la calibración.

Calibración	Sitio	a	b	p-valor
	No urbano	10,81	0,54	0,0001
	Urbano	12,34	0,47	0,0001

En la Tabla 7 se presentan los diferentes parámetros estadísticos calculados para determinar el grado de ajuste del modelo, tanto en la calibración (2021-2022) como en la validación (2022-2023).

**Tabla 7.** Parámetros estadísticos calculados para determinar el grado de ajuste del modelo.

	Calibración		Validación	
	Urbano	No urbano	Urbano	No urbano
<b>Coefficiente de determinación <math>r^2</math></b>	0,85	0,88	0,84	0,84
<b>Eficiencia del modelo de Nash y Sutcliffe (1970)</b>	0,85	0,88	0,74	0,80
<b>Índice de ajuste modificado Wilmott (1982)</b>	0,96	0,97	0,94	0,95
<b>Error medio</b>	0,09	0,09	0,1	0,1
<b>Raíz del error cuadrático medio (RMSE)</b>	2,21	2,24	2,4	2,8
<b>Exactitud</b>	90,9	90,9	90,2	88,8

Se obtuvieron coeficientes de determinación entre 0,84 y 0,88, lo cual indica que el modelo para predecir la temperatura del aire a partir de valores TST presentó un ajuste alto y demostró tener alta confiabilidad.

En la eficiencia del modelo de Nash-Sutcliffe se obtuvieron valores cercanos a 1 tanto en la calibración como en la validación, lo que indicó un ajuste alto del modelo según el criterio establecido en la metodología.

El índice de ajuste modificado de Wilmott dió valores altos para la calibración y validación. Según el criterio planteado en la metodología demostró un alto ajuste entre los datos observados y los aportados por el modelo.

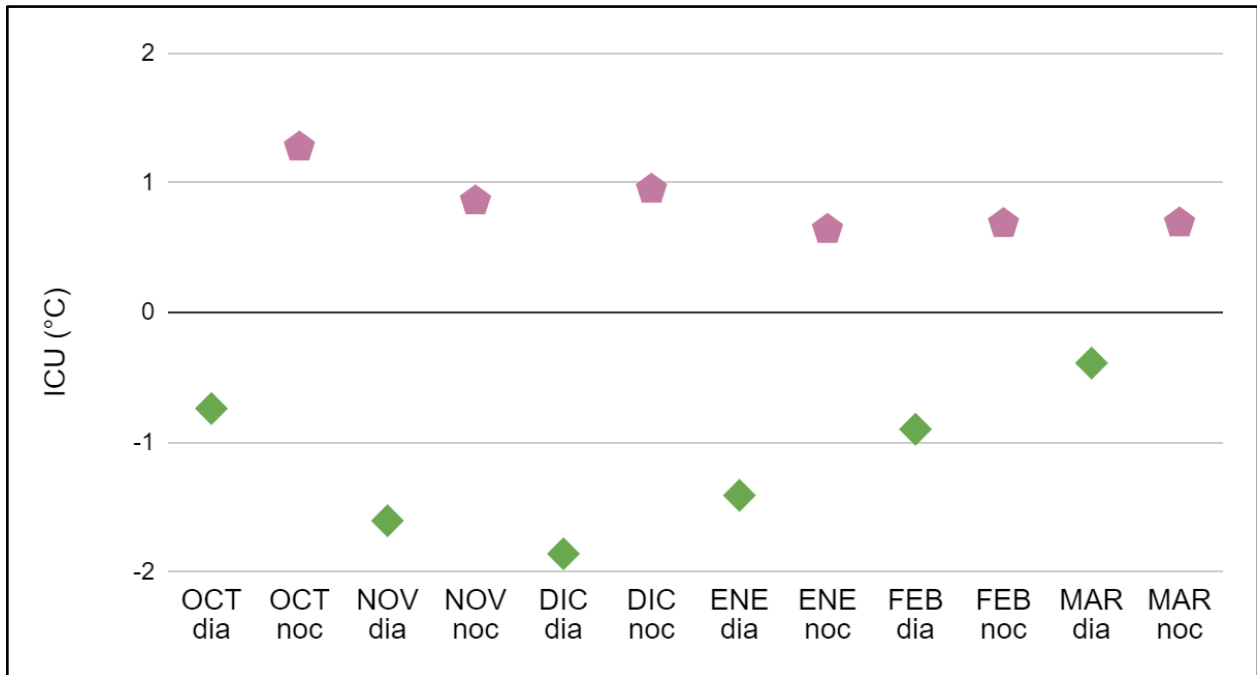
Se obtuvieron errores medio del orden de 0,09 y 0,1 para la calibración y la validación, respectivamente para ambos sitios. Estos valores demuestran una baja diferencia entre los valores observados y los obtenidos por el modelo. Complementario al concepto del error medio, se obtuvo una exactitud de entre 88-90% en la calibración y validación de los datos, lo que reflejó una aproximación de los resultados estimados a los datos observados.

Teniendo en cuenta el RMSE el modelo mostró un alto grado de ajuste, indicando que la magnitud entre los datos observados y los obtenidos por el modelo es baja.

### IV.3.2. Obtención de la Isla de Calor Urbano

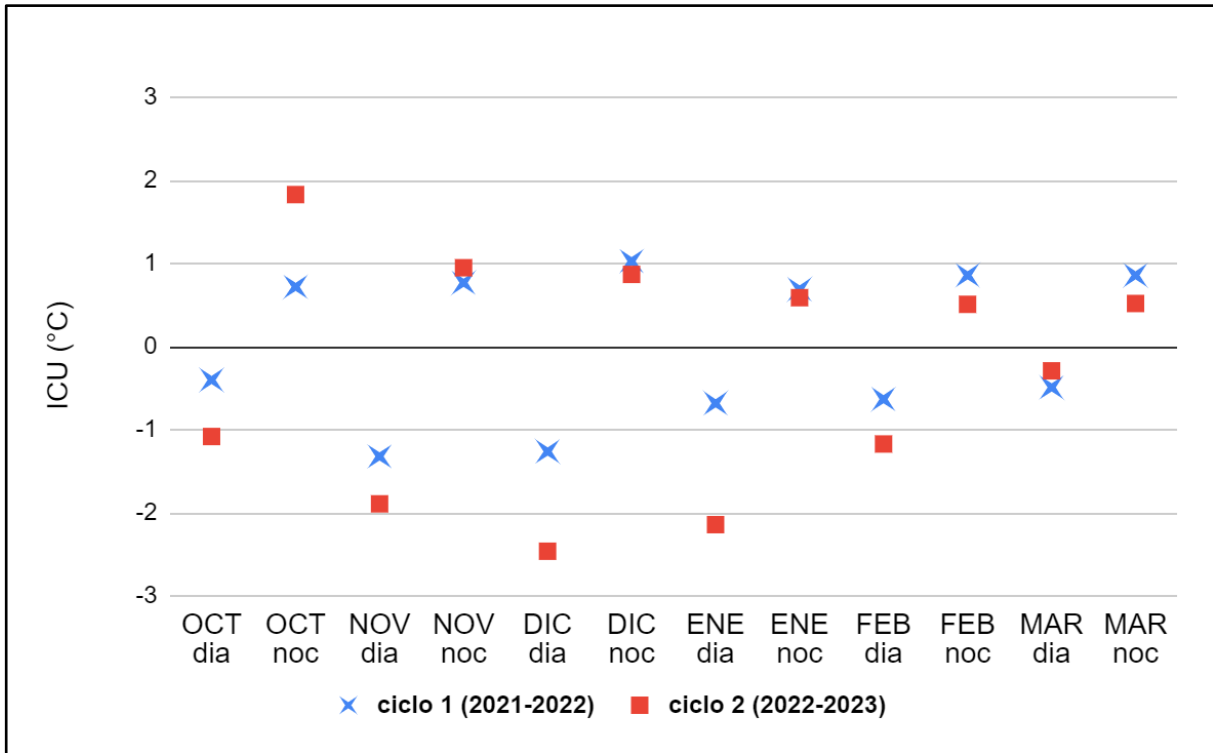
En base a los datos de temperatura de aire estimada, se obtuvo que la diferencia entre las temperaturas urbanas y no urbanas mostraron la existencia del fenómeno de isla de calor. Para evaluar el comportamiento de la ICU diaria se calculó y analizó la misma con datos diurnos (máximos) y nocturnos (mínimos).

En la figura 13 se observa la isla de calor mensual diurna y nocturna con el valor promedio de los dos ciclos de observación 2021-2022 y 2022-2023 del semestre cálido. Durante la noche se obtuvieron valores positivos de ICU, es decir, la zona urbana presentó valores de temperatura más elevados que la zona no urbana. En cuanto a los valores diurnos, fueron negativos, donde la zona urbana presentó valores de temperatura menores que la zona no urbana, este fenómeno se denomina Isla de Frío Urbana (IFU). Los valores extremos se observaron en octubre para la ICU con valores de 1,27 °C y en el mes de diciembre para la IFU con valores de -1,86 °C.



**Figura 13.** Marcha mensual de la ICU diurna (verde) y nocturna (violeta) para el semestre cálido (promedio de ambos ciclos)

En la Figura 14 se observa la marcha de la ICU por ciclo. Se detectaron diferencias significativas entre ciclos para la ICU diurna, pero no así para la nocturna (Tabla 8), lo que demuestra mayor variabilidad interanual durante el día. De la figura se desprende que el ciclo 2 presenta diferencias más extremas entre las temperaturas urbanas y no urbanas diurnas en comparación con el ciclo 1, tomando valores de hasta  $-2,46\text{ }^{\circ}\text{C}$  para el mes de diciembre.



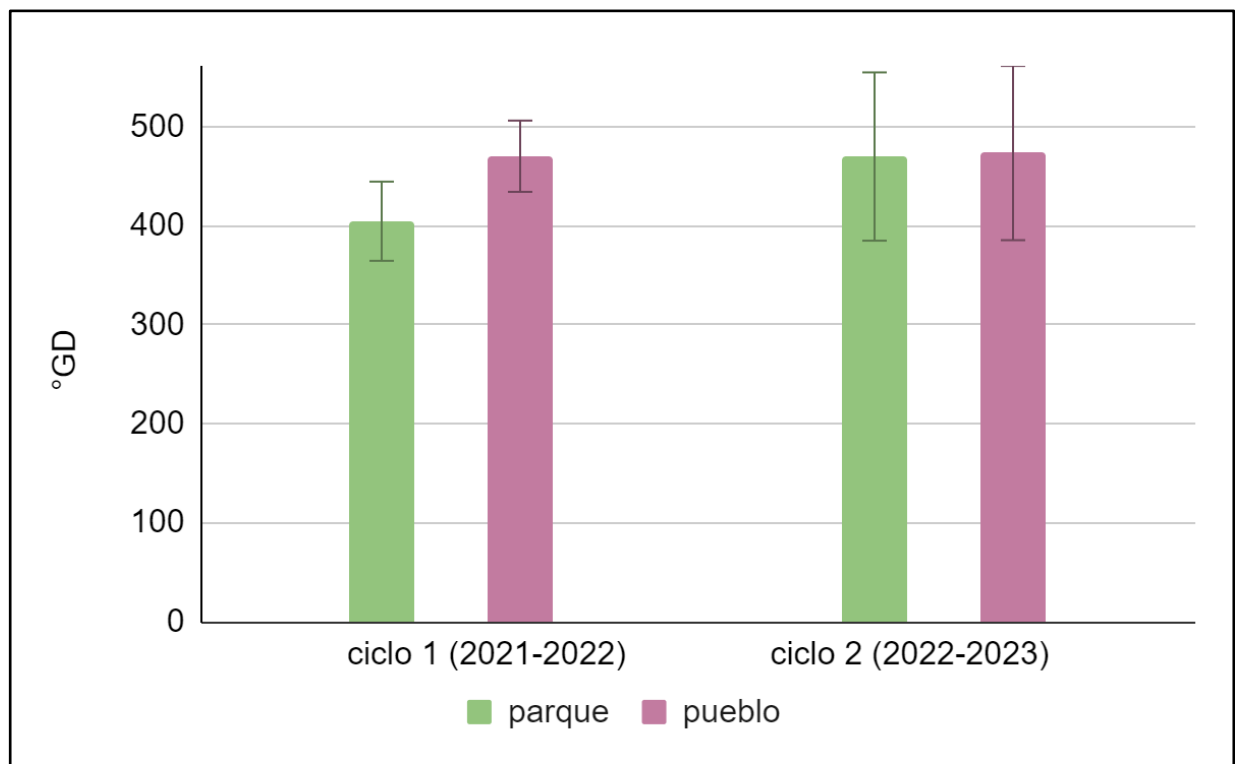
**Figura 14.** Marcha de la ICU diurna (valores negativos) y nocturna (valores positivos) para ambos ciclos (promedios mensuales).

**Tabla 8.** Comparación estadística de la marcha de la ICU entre los ciclos según el Test no paramétrico de Kruskal-Wallis.

ICU	p
<b>Diurna</b>	0,0054
<b>Nocturna</b>	0,54

#### IV.4. Evaluación del efecto de la isla de calor sobre la fase de floración del ceibo

La Figura 15 muestra la acumulación de °GD en promedio y el desvío estándar de la población de árboles de cada sitio para cada ciclo, 1 (2021-2022) y 2 (2022-2023), durante el principal evento de floración (Tabla 9). Se detectaron diferencias significativas entre las poblaciones de ambos sitios para el ciclo 1 en los °GD acumulados (Tabla 10) y en la duración de la fase (Tabla 11). El ciclo 2 no mostró diferencias entre sitios, presentando requerimientos térmicos y duraciones similares entre sí y una mayor variabilidad entre los individuos de cada población.



**Figura 15.** Grados días acumulados en cada sitio por ciclo (1 y 2).

**Tabla 9.** Grados Días promedio acumulados por sitio y ciclo.

	Sitio	°GD	Desvío
<b>Ciclo 1 (2021-2022)</b>	<b>No urbano</b>	405	40
	<b>Urbano</b>	470	36
<b>Ciclo 2 (2022-2023)</b>	<b>No urbano</b>	470	85
	<b>Urbano</b>	474	88

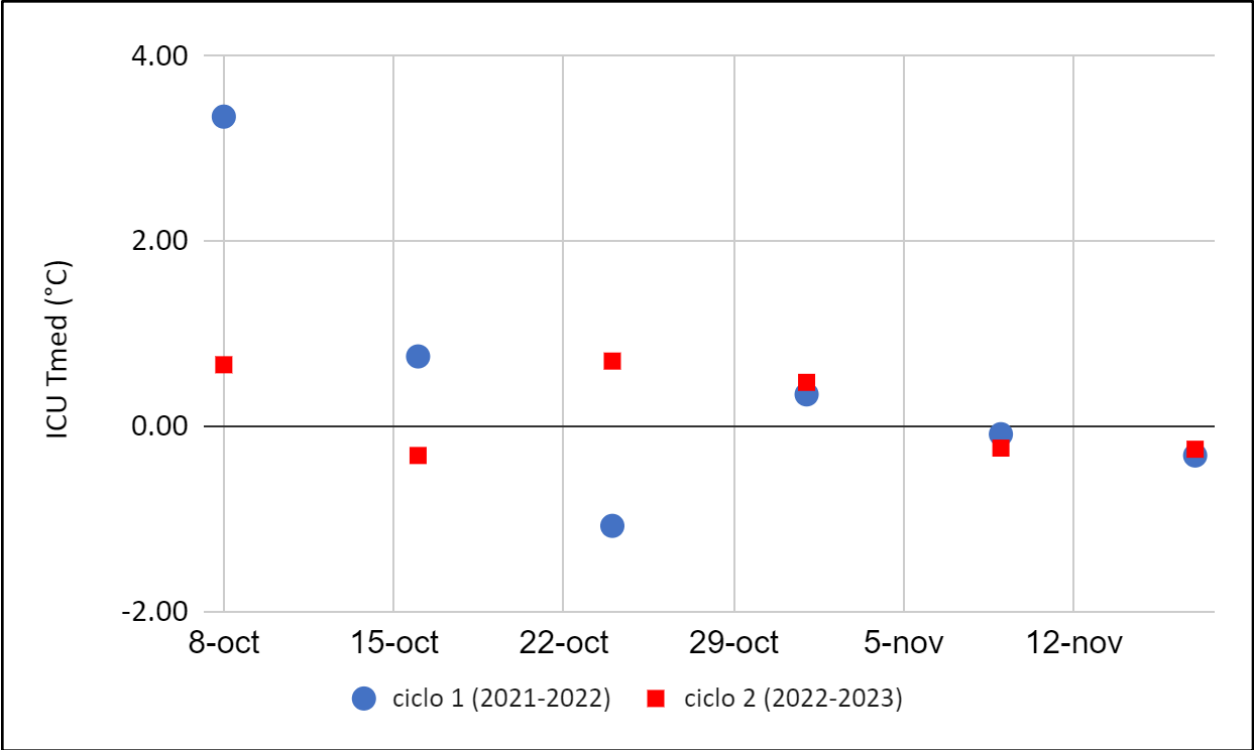
**Tabla 10.** Comparación estadística de los grados días acumulados entre sitios para cada ciclo 1 y 2 según el Test no paramétrico de Kruskal-Wallis.

<b>°GD</b>	<b>p</b>
<b>Ciclo 1 (2021-2022)</b>	0,0018
<b>Ciclo 2 (2022-2023)</b>	0,964

**Tabla 11.** Comparación estadística de las duraciones del principal evento de floración entre sitios para los ciclos 1 y 2 según el Test no paramétrico de Kruskal-Wallis.

<b>Duración de fase</b>	<b>p</b>
<b>Ciclo 1 (2021-2022)</b>	0,0170
<b>Ciclo 2 (2022-2023)</b>	0,7747

En la Figura 16 se observa el comportamiento de la ICU (Tmed) calculada con los datos térmicos medios de cada compuesto que comprendió el principal evento de floración, contemplando de inicio a fin, para los dos ciclos. La ICU (Tmed) tomó un valor máximo a principio de la floración para el ciclo 1, donde el pueblo presentó 3,34 °C más que el parque. En el ciclo 2 el máximo de ICU (Tmed) es menor, siendo de 0,75 °C. A finales de la fase se obtuvieron valores negativos dándose el fenómeno de IFU (Tmed), y cercanos a 0, lo que representó una menor diferencia de temperatura entre sitios.



**Figura 16.** Marcha de la ICU(Tmed) para el periodo comprendido para el principal evento de floración para los ciclos 1 (2021-2022) y 2 (2022-2023).

## V. DISCUSIÓN

La fase de foliación comienza a principios de septiembre en ambos sitios. En el parque se inicia en promedio cuatro días antes con respecto al pueblo, con una duración media dos días más larga. Diferencias en la temperatura del aire entre sitios puede ser el factor que de origen al adelantamiento de fase en el parque. La temperatura del aire debajo de la cubierta arbórea, durante las fases primaverales, es mayor que en áreas con superficies reflejantes (Gastaudo, 2017). Esto es debido a que a medida que van apareciendo las hojas y flores, las mismas absorben radiación y la emiten como onda larga aumentando la temperatura del aire circundante; mientras que las superficies urbanizadas, mayormente impermeables, poseen mayor conductividad térmica y capacidad de almacenamiento de calor (Rizwan *et al.*, 2008).

Para el mismo sitio en comparación con lo obtenido por Gastaudo (2017), se obtuvo que en el parque la foliación comienza nueve días antes y se acorta 11 días. Las fases primaverales son las más sensibles a los cambios de temperatura (Menzel, 2002), por lo que estas diferencias entre periodos pueden deberse a que las temperaturas aquí evaluadas fueron más cálidas que el periodo analizado por Gastaudo (2017); quien también encontró una correlación significativamente negativa entre la duración de fase y la temperatura media del aire, determinando que cuando aumenta la temperatura la fase se acorta. A su vez este adelantamiento y acortamiento de la fase de foliación en comparación a lo registrado por Gastaudo (2017) estaría explicado por lo visto por Fernández-Long *et al.* (2013) quienes precisaron que las tendencias a corto plazo del calentamiento del aire, para la región pampeana, indican un adelantamiento en la fecha de inicio y fin de fase, acortándose la duración de la etapa de crecimiento .

Se observaron tres eventos de floración bien marcados, uno principal y dos accesorios en ambos sitios. Difiere con lo presentado por Gastaudo (2017) para el parque y Galetto (2000) en la provincia de Entre Ríos, quienes observaron un solo evento accesorio al principal. Al analizar el comportamiento de las temperaturas máximas medias y las medias mensuales durante los eventos de floración fueron más cálidas que el valor histórico y que el periodo analizado por Gastaudo (2017). Al observar el comportamiento de los eventos accesorios y las temperaturas entre ciclos, el ciclo 2 fue más cálido que el 1, y es en el cual se observa un mayor desarrollo de fase en la mayoría de los ejemplares.

El inicio del principal evento de floración ocurrió en promedio para los dos sitios el mismo día, presentando mayor intensidad, y por ende menor duración en el parque, con una diferencia de

tres días. Comparado con lo observado por Gastaudo (2017), la duración de la fase fue similar para el parque, sin embargo, se observó un adelanto en el inicio de 15 días y de 14 días en el final de fase. Dicho adelantamiento puede atribuirse a que las temperaturas medias del periodo analizado fueron más cálidas que el periodo estudiado por Gastaudo (2017), comportamiento demostrado por Anibalini *et al.*, (2022) donde registraron un calentamiento del aire década a década

Al observar la duración de fase por ciclo, fue más larga en ambos sitios en ciclo 2 y fue donde la precipitación acumulada fue menor que la registrada para el ciclo 1 y el valor histórico. Se diferencia de lo encontrado por Anibalini *et al.*, (2020), donde manifestaron una correlación positiva de la duración de fase con la precipitación, indicando que a mayor PP la fase tiende a alargarse.

Al desglosar y analizar la floración por ciclo y por sitio, se dió un inicio adelantado por tres días en el pueblo en comparación con el parque para el ciclo 1, y en el ciclo 2 se dió la situación inversa. Este comportamiento puede deberse a la diferencia de temperaturas entre sitios. Cuando se observa el comportamiento de la ICU(Tmed) fue positiva para ambos ciclos, demostrando que el pueblo fue más cálido que el parque. La misma fue de mayor magnitud para el ciclo 1 y es cuando el inicio de fase se da primero en el pueblo, y fue el ciclo que presentó diferencias significativas en las temperaturas entre sitios. En el ciclo 2 si bien se produce un adelanto de fase en el parque con respecto al pueblo, la ICU(Tmed) es de menor magnitud y no hubo diferencias significativas en las temperaturas entre sitios. Por esto mismo puede deducirse que no es el único factor climático que influye en el inicio de fase.

Los eventos accesorios ocurrieron muy marcados entre sí y mostraron mayor variabilidad en la fecha de inicio en ambos sitios, comenzando primero en el parque. El inicio y las duraciones de los eventos accesorios no coincide con Galetto (2000) y Gastaudo (2017), quienes registraron inicio del único evento accesorio observado a fines de diciembre y principios de enero, respectivamente. Aquí fue registrado a principios de diciembre el inicio del segundo evento y a fin de enero y principio de febrero el inicio del tercer evento y siendo a su vez este el primer registro para el área de estudio. La duración de la floración accesoria fue 17 días menor en comparación con las observaciones de Gastaudo (2017), lo que puede ser atribuido a las condiciones más secas durante el periodo 2021-2023, en contraste con las condiciones más húmedas analizadas por Gastaudo (2017) para el periodo 2014-2017. Este comportamiento diferencial de duración encontrado entre periodos para los eventos accesorios es consistente con Anibalini *et al.* (2020),

quienes encontraron que la única variable que mostró una relación estadísticamente significativa con la duración de la fase fue la precipitación, junto con una correlación significativa y positiva con este elemento atmosférico. A medida que aumenta la precipitación, la duración de la floración adicional se extiende en el tiempo.

En cuanto a la fructificación luego del principal evento de floración, en ambos sitios, el inicio se dio para la misma fecha y no hubo mayor avance de fase que la presencia de órganos aislados en la mayoría de los ejemplares, y unos pocos alcanzaron la plenitud. Lo mismo fue registrado para la fructificación de los eventos accesorios de floración. Según Coimbra Vieira Costa y Barros de Morais (2008) la baja producción de frutos en ejemplares cultivados puede deberse a que al encontrarse más aislados entre sí se encuentran más expuestos a la intemperie, y en este caso particular se debió al ataque de la chicharrita de la espuma (*Cephus siccifolia* Walker) y a la ocurrencia de tormentas y vientos fuertes que se registraron durante los eventos de floración que produjeron muerte y caída de flores produciendo bajo número de frutos.

La caída de follaje fue la fase más larga y la que presentó mayor variabilidad en cada sitio en las fechas de inicio, fin y duración de fase. En el parque el inicio se dio a principio de abril y en el pueblo a principio de mayo, presentando una diferencia de casi un mes entre sitios. El pueblo presentó mayor variabilidad para cada uno de los momentos registrados y en la duración de la fase. En lo que respecta al parque, Gastaud (2017) registró un inicio más adelantado de la fase, el 24 de marzo, finalizando a mediados de junio, con una duración similar a las presentadas en este trabajo. Esto podría estar explicado por el aumento de las temperaturas medias que ha ido ocurriendo década a década (Anibalini *et al.*, 2022) lo que ocasiona una mayor retención de las hojas y por lo tanto un inicio más tardío de la caída de las mismas (Aroa, 2012).

Existen diferencias entre sitios en cuanto a los inicios y duraciones de fase, iniciándose en promedio antes en el parque en prácticamente todos los casos. La caída de follaje fue la que presentó mayor diferencia entre sitios, con un adelanto de un mes en el parque. Para la fructificación en ambos sitios se inicia en promedio el mismo día, donde la mayoría de los ejemplares no mostraron mayor avance de fase que la aparición de frutos aislados. En cuanto a la foliación y floración, son las etapas más susceptibles a cambios en la temperatura, Carnelos *et al.* (2020) y Fernández Zapiola *et al.* (2020) encontraron diferencias en la brotación y floración en especies forestales de la ciudad de Buenos Aires, comparado con los valores históricos, como consecuencia del cambio del clima en la ciudad.

Entre los periodos de observación comparados hubo intervalos de 5 a 6 años, lo cual permite demostrar inicialmente el efecto de la variabilidad climática sobre el comportamiento fenológico de los árboles nativos.

Del análisis mixto de los datos térmicos (diurnos y nocturnos) para la posterior estimación de la temperatura del aire, se obtuvieron en la calibración (ciclo 1, 2021-2022) y validación (ciclo 2, 2022-2023) coeficientes de determinación que demostraron un ajuste muy alto del modelo. Resultados que coinciden con los obtenidos por Morales Salinas (2018) en Chile y Martin Garzón (2021) en Colombia para el ajuste del modelo con datos mixtos, demostrando una alta confiabilidad del modelo.

Se calcularon además otros parámetros estadísticos para determinar la confiabilidad del modelo. Según los criterios establecidos anteriormente, se obtuvieron valores que determinan un buen ajuste y alta confiabilidad para la estimación de la temperatura del aire a partir de TST. La exactitud mostró una aproximación muy alta entre los datos observados y los estimados por el modelo. Teniendo en cuenta el RMSE, el modelo mostró ser robusto tomando valores desde 2,2 a 2,8 °C, mostrando la magnitud de la diferencia entre los valores observados y los obtenidos por el modelo. Estos valores coinciden con los obtenidos por Morales Salinas (2018) en Chile.

Al utilizarse datos diurnos (Tmax) y nocturnos (Tmin) se pudo comprobar que la isla de calor presenta diferente comportamiento durante el día y la noche. La isla de calor tomó valores negativos diurnos, lo que se conoce como Isla de Frío Urbana (IFU), y fue positiva durante la noche indicando la presencia de Isla de Calor Urbana (ICU). Este comportamiento de la marcha diaria de la isla de calor observado concuerda con lo encontrado por Morales Salinas (2018) en Chile, donde utilizó la metodología de estimación de la temperatura del aire a través de datos satelitales MODIS, y con Montarani y Camilioni (2021), donde a partir del estudio de datos TST de MODIS del periodo 2003-2017, obtuvieron para la ciudad de Rosario un comportamiento similar de la ICU analizando valores medios anuales.

La ICU nocturna fue de menor magnitud que la diurna y presentó una baja variabilidad interanual, tomando como valor mínimo 0,52 y máximo 1,83 °C ; valores similares a los encontrados por Casadei *et al* (2021) para la ciudad de Rosario. Además, halló una correlación negativa de la ICU nocturna con el NDVI urbano, indicando que un mayor arbolado urbano aumenta el área sombreada disminuyendo las superficies expuestas que absorben el calor durante el día y lo liberan por la noche. La capacidad de absorción de los materiales de construcción se

debe a su alta conductividad térmica y a su capacidad de almacenamiento calórico, energía que es liberada al aire circundante durante la noche.

En cuanto a la IFU, presentó diferencias significativas entre ciclos, siendo el ciclo 2 (2022-2023) el que expuso mayores valores de IFU con un máximo de  $-2,46\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; estos valores concuerdan con lo observado por Casadei *et al.* (2021) quien obtuvo para Rosario valores promedios anuales de  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  para la isla de frío diurna y con Chiarito (2019) que obtuvo para la ciudad de Rosario incrementos de temperatura durante el día desde centro a periferia de 2 a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con valores medios del periodo de verano.

Casadei *et al.* (2021) exponen que el comportamiento de la IFU para la región pampeana se debe a que las áreas rurales (zona no urbana) se presentan frecuentemente como suelos cultivados, desnudos o secos según el uso del suelo, y habitada por vegetación arbórea dispersa, arbustos bajos y herbáceas. Esto produce un menor enfriamiento del aire por reducción en la evapotranspiración, en contraparte a la vegetación urbana. Ésta última puede presentar mayores suministros de agua por riego y una comunidad vegetal compuesta por diversos tipos de crecimiento que contribuyen al enfriamiento del aire por evapotranspiración. Asimismo, durante el ciclo 2 se dieron temperaturas diurnas más elevadas en ambos sitios con respecto al ciclo 1, lo que explicaría la variabilidad entre ciclos.

Comparado con los resultados obtenidos para ciudades grandes, en este trabajo se obtuvieron patrones similares del comportamiento de la ICU para Zavalla, siendo una ciudad pequeña bajo contextos de distribución geográfica y urbanización distintos a lo encontrado en ciudades grandes de mayor población (Correa *et al.*, 2006; Maristany *et al.*, 2008; Paolini, 2012; Chiarito, 2019; Casadei *et al.*, 2021).

La temperatura es una de las variables del complejo climático que influye en el crecimiento y desarrollo de los vegetales, los cuales presentan diferentes respuestas a las variaciones de la misma. Cambios en la temperatura del aire producen modificaciones en el desarrollo de los vegetales, y por ende en las fases fenológicas (García-Mozo 2010; Carnelos *et al.*, 2020; Fernández Zapiola *et al.*, 2020), los cuales pueden ser medidos a través del efecto que produce la acumulación de temperaturas a partir de un umbral térmico (Agüero *et al.*, 2011).

Al analizar el comportamiento de la ICU(Tmed) y la duración de la floración, no se observa el efecto esperado planteado en el supuesto donde se esperaba un acortamiento de fase en el pueblo, ya que fue 4 días más larga que en el parque para el ciclo 1, y para el ciclo 2 la diferencia fue de 1

día más larga. Sí se observa un efecto sobre el momento de ocurrencia del inicio de fase para el ciclo 1, siendo el pueblo el sitio donde comienza primero la fase y el que presentó mayor temperatura que el parque.

La acumulación de grados días presentó diferencias significativas entre sitios para el primer ciclo, siendo el pueblo el que presentó mayor acumulación. La misma puede ser explicada por la ocurrencia de una ICU ( $T_{med}$ ) al principio del evento, donde el pueblo presentó  $3,34\text{ }^{\circ}\text{C}$  más que el parque. Para el segundo ciclo la diferencia de temperaturas entre sitios fue menor, lo que explicaría la similitud en los valores acumulados de  $^{\circ}\text{GD}$ .

A diferencia de lo obtenido por Gastaudo (2017) en el periodo 2014-2016 para los ejemplares del parque, en ambos ciclos se obtuvo mayor acumulación de  $^{\circ}\text{GD}$ . Si bien las duraciones de fases fueron similares en los dos periodos comparados, estas diferencias se deben a que las temperaturas registradas fueron más cálidas en comparación con el periodo histórico, generando mayor acumulación de  $^{\circ}\text{GD}$ .

## VI. CONCLUSIONES

Se determinaron diferencias en las fechas de inicio, fin y duración de las fenofases observadas entre las poblaciones de ceibos entre sitios, siendo la caída de follaje la fase que presentó mayor diferencia. También se estableció que bajo determinadas condiciones meteorológicas existe un efecto significativo de la ICU sobre la acumulación de °GD y la duración del principal evento de floración. Estas conclusiones permiten aceptar la hipótesis 1.

Además se demostró la robustez de un modelo estadístico a partir del cual puede estimarse la temperatura del aire utilizando herramientas satelitales, dando por aceptada la segunda hipótesis planteada, y a partir de la cual se determinó el comportamiento de la ICU para una ciudad pequeña, que si bien presentan diferentes contextos, se encontraron patrones similares a los de las grandes ciudades.

El presente trabajo de tesina representa un primer aporte sobre el comportamiento fenológico de *Erythrina crista-galli* L. (ceibo) bajo la influencia de las Islas de Calor Urbana y particularmente su efecto sobre la floración, siendo prácticamente inexistente este tipo de estudios no sólo para Argentina sino para el Cono Sur. Podría plantearse la continuación de esta investigación analizando el comportamiento de la ICU a lo largo de las diferentes estaciones y su efecto sobre las demás fases fenológicas para llevar a cabo un análisis más profundo y completo.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Agüero, S.N.; Ojeda Férrez, E.; Giraldez, A.; Galleguillo, N.; Barbieri, G.; Zeman, E.; Tolosa, G.; Villegas, J.A.; Costa, M.C. y Martín, G.O.(h). 2011. Acumulación de grados-día entre siembra y cosecha y rendimiento granífero obtenido, en cereales invernales. Avances en la Producción Vegetal y Animal del NOA (2011). Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán. <http://www.faz.unt.edu.ar/index.php/produccion-vegetal-y-animal>
- Anibalini V, Gastaud J, Coronel A. 2020. Relación entre la duración de la fase de floración de dos especies de árboles nativos y los elementos meteorológicos. XVIII Reunión Argentina de Agrometeorología y IX Reunión Latinoamericana de Agrometeorología, Asociación Argentina de Agrometeorología.
- Anibalini V, Dickie, MJ, Gastaud J, Coronel A. 2022. Variabilidad climática de la precipitación, temperatura y de sus eventos extremos en el sur de Santa Fe. Revista Argentina de Agrometeorología RADA 13: 23-29.
- Aroca MDH, Jumilla DFV. 2012. Respuestas al Cambio Climático en la Fenología de plantas y animales desde 1945 hasta 2009 en la Región de Murcia. UCAM Universidad católica San Antonio. (Tesis de maestría).
- Barbero S, Sola F, Venturini E, Anibalini V, Coronel A, Jozami E. 2018. Comparación entre datos registrados por estación convencional, automática y datalogger, en el sur de Santa Fe. CONGREGMET XIII.
- Barradas VL. 2013. La isla de calor urbana y la vegetación arbórea. Oikos. 7: 14-16.
- Cáceres AC, Sánchez V, Gon RV, Pascual Rubiano R. 2010. Estudios fenológicos de *Patagonula americana* L. y *Astronium balansae* Engl. de la provincia de Formosa. Revista Forestal YVYRARETA 17: 6-13.
- Carnelos DA, Fernandez Zapiola GM, Peretti M, Fernandez Long ME. 2020. Modificaciones del comportamiento fenológico de algunas especies forestales como consecuencia de cambios en el clima de la Ciudad de Buenos Aires (Argentina). *Agronomía & Ambiente*, 39(2).
- Casadei P, Semmartin M, Garbulsky MF. 2021. Análisis regional de las islas de calor urbano en la Argentina. *Ecología Austral* 31(1):190–203.
- Chiarito G, Chiarito E. 2019. Estudio satelital de isla de calor/frío en Rosario según temperaturas superficiales urbanas e indicadores temáticos de suelo. *Energías Renovables y Medio Ambiente* 43: 17 – 25.

- Coimbra Vieira Costa RA, Barros de Morais AB. 2008. Fenología e visitantes florais de *Erythrina crista-galli* L. (Leguminosae: Faboideae) en Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biotemas* 21(2): 51- 56.
  - Cole TCH, Hilger HH, Medan D. 2016. Angiosperm Phylogeny Poster–Flowering Plant Systematics.
  - Correa E, De Rosa C, Lesino G. 2006. Isla de calor urbana. Distribución espacio-temporal de temperaturas dentro del área metropolitana de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 10: 121-128.
  - De Fina A.L, Ravelo A.C 1973. Climatología y fenología agrícola. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Argentina. p.281.
  - Demaio P, Karlin UO, Medina M. 2021. Árboles Nativos de Argentina: Centro y Cuyo. Córdoba, Argentina. Ecoval Editorial. p. 182.
  - Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Ente de Coordinación Metropolitana Rosario (ECOM). <https://ecomrosario.gob.ar/localidad/30#:~:text=Informaci%C3%B3n%20General&text=La%20localidad%20de%20Zavalla%20tiene,actual%20es%20de%205.776%20habitantes>. Consultado el 13.6.2023.
- Fernández García F. 1995. Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación. Síntesis. p 288.
  - Fernández-Long ME, Müller GV, Beltrán-Przekurat A, Scarpati OE. 2013. Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology* 33(7) 1673-1686.
  - Fernandez Zapiola GM, Peretti M, Fernandez Long ME, Carnelos DA. 2020. Cambios en la floración de especies arbóreas ornamentales de la ciudad de Buenos Aires (Argentina). *Agronomía & Ambiente* 40(2): 110-121.
  - Feyisa GL, Klaus D, Meilby H. 2014. Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landscape and urban planning* 123: 87-95.
  - Flores Larsen S, Filippin C, Barea G. 2019. Impact of climate change on energy use and bioclimatic design of residential buildings in the 21st century in Argentina, *Energy & Buildings* 184: 216-229. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.015>

- Galetto L, Bernardello G, Isele IC, Vesprini J, Speroni G, Berduc A. 2000. Reproductive biology of *Erythrina crista-galli* (Fabaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden* 87: 127-145.
- García Mozo H, Mestre A, Galán C. 2010. Phenological trends in southern Spain: A response to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 150(4), 575-580.
- Gastaudo J. 2017. Fenología de dos especies arbóreas nativas implantadas en el Parque Villarino de la Facultad de Ciencias Agrarias–UNR (Argentina) (Tesis de grado, Facultad de Ciencias Gracias, Universidad Nacional de Rosario).
- Grimm NB, Faeth SH, Golubiewske NE, Redman CL, WU J, Bai X, Briggs JM. 2008. Global change and the ecology of cities. *Science* 319(5864): 756-760.
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2018. Reporte especial “Calentamiento global de 1,5 °C”. [Calentamiento Global de 1.5°C](https://doi.org/10.1017/9781009157940.001) Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales en el contexto del fortalecimiento de la respuesta al cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos para erradicar la pobreza. p. 1-24. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2021. Resumen técnico. En: Cambio climático - Las bases de las ciencias físicas: Contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. Prensa de la Universidad de Cambridge 2023: 35-144.
- Hsu A, Glenn S, Chakraborty T, Manya D. 2021. Disproportionate exposure to urban heat island intensity across major US cities. *Nature communications* 12(1): 1-11.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Secretaría de Agricultura y Ganadería de la Nación. 1983. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3360 – 20 y 21. Arroyo Seco- San Nicolás de los Arroyos. Provincia de Santa Fe. Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- José AS, Anibalini VA, Coronel AS. 2022. Diferencias en la fenología de la floración de ceibo entre un sitio urbano y otro rural en Zavalla, Santa Fe (Argentina). *Publicación Periódica Anual de la Sociedad de Biología de Rosario*. p. 152.
- Krehbiel C, Zhang X, Henebry GM. 2017. Impacts of thermal time on land surface phenology in urban areas. *Remote Sensing* 9(5): 499.
- Lazzarini M, Marpu PR, Ghedira H. 2013. Temperature-land cover interactions: The inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. *Remote Sensing of Environment* 130: 136-152.

- Ledesma NR 1953. Registro Fitofenológico Integral. *Meteoros* 3(1): 81-95.
- Lozano EC, Zapater MA. 2010. El género *Erythrina* (Leguminosae) en Argentina. *Darwiniana* 48(2): 179-200.
- Maristany A, Abadía L, Angiolini S, Pacharoni A, Pardina M. 2008. Estudio del fenómeno de la isla de calor en la ciudad de Córdoba. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 12: 69-75.
- Martín GO, Nicosia MG, Colombo MB, Lucas J. 1997. Fenología de Floración y Fructificación en leñosas nativas del Chaco semiárido de Tucumán y algunas consideraciones para su aprovechamiento forrajero. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino* 29(1): 65–85.
- Martín Garzón A. 2021. Correlación entre la temperatura superficial del sensor Modis y la temperatura media del aire en el departamento de La Guajira, Colombia. (Título Especialista en Sistemas de Información Geográfica, Universidad Antonio Nariño, Bogotá)
- Menzel A. 2002. Phenology: its importance to the global change community. *Climatic change* 54(4): 379-385.
- Morales, NB. 2017. Teledetección espacial Landsat, Sentinel2, Aster L1T y MODIS. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Escuela Profesional de Ingeniería Forestal.
- Morales Salinas L, Cárdenas Jirón L, Montaner Fernández D, Fuentes Jaque G, Muñoz Aguayo P, Neira Román J. 2018. Modelo espacialmente explícito de estimación de las temperaturas extremas diarias en la Ciudad de Santiago, Chile, usando imágenes MODIS e información meteorológica. *Asociación Española de Climatología*. p. 1035-1045
- Murphy GM, Hurtado RH 2011. *Agrometeorología*. Editorial Facultad de Agronomía. p. 512.
- Montanari MSL, Camilloni I. 2022. Variabilidad espacio-temporal de la isla de calor superficial en tres ciudades argentinas. *Meteorológica* 47(1). [http://www.meteorologica.org.ar/wp-content/uploads/2021/09/Lozada-Camilloni\\_2021\\_en-prensa.pdf](http://www.meteorologica.org.ar/wp-content/uploads/2021/09/Lozada-Camilloni_2021_en-prensa.pdf)
- Nash, J. E, Sutcliffe JV. 1970. Pronóstico del flujo del río a través del modelo conceptual. Parte 1: Una discusión de principios. *Journal of Hydrology* 10: 282-290.
- Paolini L. 2012. Análisis de la respuesta de la temperatura de superficie al crecimiento urbano utilizando series temporales MODIS. *Revista de Teledetección* 38: 28-35.
- Ramirez Navarro W. 2018. Efectos cuantitativos del cambio climático en el calendario fenológico de floración y fructificación de siete especies forestales en un bosque establecido

en la Región San Martín. (Tesis de grado) Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto (Perú).

- Rizwan AM, Dennis LY, Chunho LIU. 2008. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of environmental sciences*, 20(1): 120-128.
- Román E, Gómez G, de Luxán M. 2017. La isla de calor en Madrid y su influencia en el confort urbano. Libro de Actas del 3er Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-Eficientes. Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. p. 497-508.
- Sarría F, Palazón F. 2008. Estimación de parámetros, validación de modelos y análisis de sensibilidad. Modelización de sistemas ambientales. Modelización de sistemas ambientales. Disponible en: <https://www.um.es/documents/4874468/10375216/msa-cap-06.pdf/d1d2bdd2-e2c0-4a18-ba09-c6ac24a63771>
- Willmott CJ. 1982. Some comments on the evolution of model performance. *Bulletin of American Meteorology Society* 63(11): 1309-1369.