



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS
ICS1113-OPTIMIZACIÓN

Informe 2

Uso eficiente del agua de riego en Vitacura Grupo 77

Andrés Marchant 19625294 sección 4
Matías Orbeta 20643357 sección 4
Vicente Paiva 20639082 sección 4
Orlando Ugolini 20643233 sección 4
Jesus Delgado 19205821 sección 4

Fecha entrega: 22 de Mayo de 2023

1. Descripción del Problema

1.1. Problema a estudiar

Uno de los problemas más importantes vistos a nivel nacional y regional es el déficit del agua. En efecto, a lo largo de nuestro país se han reportado bajas de las precipitaciones en cerca de un 50 %, lo que ha llevado a que los embalses solo utilicen el 45 % de su almacenamiento (Universidad de Chile, 2023).

Municipios y la intendencia de Santiago ya han establecido medida provisoria para combatir esto como normas de uso y visibilización de la problemática. Dichas normativas han establecido posibles cambios en un largo plazo de tiempo, pero que debería ser atacado en un plazo de un trimestre para poder establecer buen uso de los recursos hídricos en épocas de sequía, como lo suelen ser los veranos en la capital. Complementario a esto, en el sector oriente de Santiago ya se han ejecutado diversas medidas, como por ejemplo, se ha comenzado a implementar jardines de escaso consumo hídrico con el fin de atacar dicha problemática (País Circular, 2021) u otro ejemplo que en Vitacura ya se elaboró un plan para reducir el consumo de agua, que incluye entre otros puntos, reducir el pasto en distintas áreas verdes de la comuna (Emol, 2022).

El principal desafío para abordar la problemática es lograr combatir el uso deficiente del agua en las comunas del sector oriente porque es aquí donde se consume gran parte de la capacidad hídrica de la capital producto de la gran cantidad de zonas verdes que existen dentro de ellas. Un dato que visualiza lo anterior es que el consumo de agua llega a los 350 litros por persona diarios en Vitacura, Las Condes y Lo Barnechea, comparado con el promedio de 170 litros en todo Santiago (El Mostrador, 2022).

Nosotros nos enfocaremos en Vitacura debido a que esta es la comuna con más área verde accesibles por habitantes dentro de Santiago llegando a un 7,6 áreas verdes por persona, seguido después de Independencia con 5,9 y finalmente Las Condes con 5,6 (MiParque, 2023).

El tomador de decisiones principal en este problema es la Municipalidad de Vitacura, incluyendo también al departamentos de Medio Ambiente o Sustentabilidad y el Ministerio de Medio Ambiente, ya que son los encargados de establecer políticas y normativas para el uso de los recursos hídricos. A su vez, también pueden participar otros actores, como empresas de servicios públicos, organizaciones comunitarias, expertos en recursos hídricos y la sociedad civil en general. Es importante involucrar a todos los actores relevantes en la toma de decisiones y en la implementación de soluciones efectivas para abordar esta problemática de la mejor manera posible.

El horizonte de planificación es a mediano plazo, en un año, para establecer un buen uso de los recursos hídricos y cambios efectivos dentro de las zonas verdes. De todas maneras, es importante establecer medidas a corto plazo para garantizar un uso eficiente de los recursos hídricos en el futuro.

Considerando el contexto, para contribuir a solucionar el problema de déficit de agua nacional, nos centraremos en plantear un modelo de optimización que busque minimizar la cantidad total de agua utilizada para el riego en las áreas verdes de la comuna Vitacura. Este modelo permitirá reducir el agua de riego de la comuna mediante una combinación de cambios de especies de plantas, distribuciones y proporciones de las áreas verdes.

1.2. ¿Por qué es valioso resolver el problema?

El déficit de agua es un desafío crítico que afecta diversos sectores y que tiene implicancias en diferentes ámbitos como es la seguridad hídrica, el desarrollo económico, la preservación de ecosistemas, la adaptación al cambio climático, entre otros.

La resolución del déficit de agua garantizaría mayor disponibilidad de agua para cubrir las necesidades básicas de la población, así como para la agricultura, la industria y la conservación de ecosistemas. Esto evitaría conflictos futuros sociales y económicos derivados de la escasez de agua y aseguraría la seguridad hídrica a largo plazo.

El agua es un recurso fundamental para diversas actividades económicas en Chile, como la agricultura, la minería, la generación de energía y el turismo. Al asegurar la disponibilidad de este recurso, se promovería un entorno propicio para el desarrollo sostenible de estas actividades, generando empleo, aumentando la productividad y atrayendo inversiones nacionales y extranjeras. Además, se evitarían las pérdidas económicas asociadas a la escasez de agua, como la disminución de la producción agrícola y los costos adicionales de importación de alimentos.

Es vital el agua para la salud de los ecosistemas acuáticos y terrestres. Si se resuelve el déficit del agua, se protegerían los ríos, lagos, humedales y otros hábitats naturales, preservando la biodiversidad y los servicios ambientales que proporcionan. Esto incluye la conservación de especies acuáticas y terrestres, la protección de fuentes de agua potable y la mitigación de los impactos del cambio climático en los ecosistemas.

Es importante la resolución del problema debido a que también implica tomar medidas de adaptación para enfrentar los efectos del cambio climático, como sequías más intensas y prolongadas. Esto incluye la implementación de prácticas de gestión del agua más eficientes, la promoción de tecnologías de captación y almacenamiento de agua, y el fomento de la educación y concientización sobre el uso responsable del agua.

De manera cuantitativa y cualitativa, se puede considerar lo siguiente:

■ Cuantitativos:

- Ahorro económico: La resolución del déficit de agua permitiría reducir los costos asociados a la importación de alimentos y mitigar las pérdidas económicas derivadas de la escasez de agua.
- Incremento de la producción agrícola: Al contar con un suministro adecuado de agua, se incrementaría la producción agrícola, generando mayores ingresos para el sector y asegurando la disponibilidad de alimentos.
- Ahorro de recursos hídricos: Al hacer un uso más eficiente del agua, se reduciría el consumo total, generando un ahorro de recursos hídricos valiosos para otros usos.

■ Cualitativos:

- Mejora en la calidad de vida: La disponibilidad de agua confiable y suficiente garantizaría el acceso a agua potable para la población, mejorando su calidad de vida y salud.
- Sostenibilidad ambiental: La resolución del déficit de agua contribuiría a la preservación de los ecosistemas naturales, asegurando la biodiversidad y los servicios ambientales que brindan.
- Fortalecimiento de la resiliencia: Al adaptarse al cambio climático y gestionar eficientemente el agua, se fortalecería la resiliencia del país frente a eventos extremos, como sequías e inundaciones.

La resolución del déficit de agua en Chile presenta un valor significativo en términos de seguridad hídrica, desarrollo económico, preservación de ecosistemas y adaptación al cambio climático. Los impactos cuantitativos incluyen ahorro económico, incremento de la producción agrícola y ahorro de recursos hídricos, mientras que los impactos cualitativos se reflejan en una mejor calidad de vida, sostenibilidad ambiental y fortalecimiento de la resiliencia. Resolver este problema requiere la implementación de medidas efectivas y la colaboración entre diversos actores, incluyendo autoridades, sector privado y sociedad civil.

1.3. Objetivo

Se desarrollará un modelo matemático de optimización lineal entera mixta, que tendrá como objetivo minimizar la cantidad total de agua utilizada para el riego en la comuna Vitacura, en un lapso de un año. Existirán áreas verdes dentro de la comuna de Vitacura las cuales podrán tener 3 tipos de especies, árboles, pastos y arbustos. A dichas áreas se le puedan aplicar obras para el retiro de pasto o cambios de especies.

Las variables de decisiones son:

- (1) Época del año (Verano o Invierno)
- (2) Tipos Áreas (Verde o De Obra)
- (3) Condición del Área (Instalada o Removida)
- (4) Especie de Vegetación (Árbol o Arbusto)
- (5) Cantidad de Vegetación (Árbol o Arbusto)
- (6) Cantidad de agua

Las Restricciones involucradas en la decisión:

- (1) Existe una división entre verano e invierno
- (2) La primera mitad de los días es verano, el resto es invierno.
- (3) El área verde utilizada por árboles, arbustos, pasto y obras debe ser igual al área total del espacio disponible.
- (4) El área verde por habitante debe ser mayor o igual a lo recomendado por la OMS.
- (5) No se puede regar entre 9:00 y 20:00 horas.
- (6) Agua utilizada para regar un área debe ser igual al consumo de la vegetación presente.
- (7) El área de vegetación de cada espacio debe ser mayor o igual al mínimo establecido en todo momento.
- (8) La suma de todos los árboles presentes en la comuna debe ser al menos $1/3$ de la población de la comuna, según recomendación de la OMS.
- (9) Debe haber al menos tres especies de árbol en cada área verde.
- (10) Debe haber al menos tres especies de arbusto en cada área verde.
- (11) Solo puede haber árboles de una especie si está presente en el área verde.
- (12) Solo puede haber arbustos de una especie si está presente en el área verde.
- (13) La cantidad de árboles debe ser igual que lo presente el día anterior, menos lo removido y más lo plantado.

- (14) La cantidad de árboles debe ser igual que lo presente el día anterior, menos lo removido y más lo plantado.
- (15) No puede haber más área de pasto que lo presente el día anterior, menos lo removido y más lo plantado
- (16) No puede haber más área de obras que lo presente el día anterior, menos lo removido y más lo creado.
- (17) Los costos de obras públicas, plantar y remover plantas, y plantar o mover pasto no puede superar el presupuesto de la comuna.

2. Modelación del Problema

2.1. Índices

- $j \in \{1, \dots, J\}$: j-esimo especie de árbol.
- $n \in \{1, \dots, N\}$: n-esima especie de arbusto.
- $a \in \{1, \dots, A\}$: a-esima área verde.
- $h \in \{1, \dots, 24\}$: h-esima hora.
- $d \in \{1, \dots, 365\}$: d-esimo día.

2.2. Parámetros

- APJ_j : Área promedio de la j-esimo arbol.
- APN_n : Área promedio del n-esimo arbusto.
- AR : Área verde mínima recomendada por la OMS.
- P : Población de la comuna de Vitacura.
- $CAPV$: Consumo de agua por m2 de pasto en verano.
- $CAPV_i$: Consumo de agua por m2 de pasto en invierno.
- CPI_j : Consumo de agua del j-esimo arbol en invierno.
- CPV_j : Consumo de agua del j-esimo arbol en verano.
- CAI_n : Consumo de agua del n-esimo arbusto en invierno.
- CAV_n : Consumo de agua del n-esimo arbusto en verano.
- COI : Costo por metro cuadrado por instalar una obra.
- COR : Costo por metro cuadrado por remover una obra.
- AT_a : Área total en la a-esima área verde.
- PA : Porcentaje mínimo de vegetacion.
- CPA_j : Costo de plantar arbol de especie j .
- CRA_j : Costo de remover arbol de especie j
- $CPAN_n$: Costo de plantar arbusto de especie n

- $CRAN_n$: Costo de remover arbusto de especie n
- PT : Presupuesto de la comuna de Vitacura destinado a obras públicas.
- CPP : Costo por plantar un metro cuadrado de pasto.
- CPR : Costo por remover un metro cuadrado de pasto.

2.3. Variables

- E_d : Época del año en el día d . (Verano o invierno)
- $R_{a,h,d}$: Cantidad de agua necesaria para regar el área a a la hora h del día d .
- $AO_{a,d}$: Área utilizada en obras en a el día d .
- $V_{j,a,d}$: Está presente la especie de árbol j en el área a el día d .
- $U_{n,a,d}$: Está presente la especie de arbusto n en el área a el día d .
- $CAJ_{a,j,d}$: Cuantos árboles de la especie j están presentes en a el día d .
- $CAN_{a,n,d}$: Cuantos arbustos de la especie n están presentes en a el día d .
- $AP_{a,d}$: Área de pasto en metros cuadrados en a en el día d .
- $PA_{j,a,d}$: Cantidad de árboles de especie j que se plantan en a el día d .
- $RA_{j,a,d}$: Cantidad de árboles de especie j que se remueven en a el día d .
- $PAN_{n,a,d}$: Cantidad de arbustos de especie n que se plantan en a el día d .
- $RAN_{n,a,d}$: Cantidad de arbustos de especie n que se remueven en a el día d .
- $AIA_{a,d}$: Área instalada de pasto en el área verde a en el día d .
- $ARA_{a,d}$: Área removida de pasto en el área verde a en el día d .
- $AIO_{a,d}$: Área instalada de obras en el área verde a en el día d .
- $ARO_{a,d}$: Área removida de obras en el área verde a en el día d .

2.3.1. Naturaleza de las variables

- $CAJ_{a,j}, CAN_{a,n}, PA_{j,a,d}, RA_{j,a,d}, PAN_{n,a,d}, RAN_{n,a,d} \in \mathbb{Z}_0^+$
- $AO_{a,d}, AP_{a,d}, AIA_{a,d}, ARA_{a,d}, AIO_{a,d}, ARO_{a,d}, R_{a,h,d} \in \mathbb{R}_0^+$
- $E_d, U_{n,a,d}, V_{j,a,d} \in \{0, 1\}$

2.4. Función Objetivo

$$\min \left(\sum_{a=1}^A \sum_{d=1}^3 65 \sum_{h=1}^{24} R_{a,d,h} \right)$$

2.5. Restricciones

- Existe una división entre verano e invierno

$$\sum_{d=1}^{365} E_d = \frac{365 + 1}{2} = 183 \quad (1)$$

- La primera mitad de los días es verano, el resto es invierno.

$$E_d = 1 \quad \forall d \in \{1, \dots, 183\} \quad (2)$$

- El área verde utilizada por árboles, arbustos, pasto y obras debe ser igual al área total del espacio disponible.

$$AT_a = AO_{a,d} + AP_{a,d} + \sum_{j=1}^J (CAJ_{a,j,d} \cdot APJ_j) + \sum_{n=1}^N (CAN_{a,n,d} \cdot APN_n) \quad (3)$$

$$\forall a \in \{1, \dots, A\}, \forall d \in \{1, \dots, 365\}$$

- El área verde por habitante debe ser mayor o igual a lo recomendado por la OMS.

$$\sum_{a=1}^A (AT_a - AO_{a,d}) \geq P \cdot AR \quad \forall d \in \{1, \dots, 365\} \quad (4)$$

- No se puede regar entre 9:00 y 20:00 horas.

$$\sum_{h=9}^{20} R_{a,h,d} = 0 \quad \forall d \in \{1, \dots, 365\}, \forall a \in \{1, \dots, A\} \quad (5)$$

- Agua utilizada para regar un área debe ser igual al consumo de la vegetación presente

$$\begin{aligned} \sum_{h=1}^{24} R_{a,d,h} = & \sum_{j=1}^J [CAJ_{j,a,d} \cdot (CPV_j \cdot E_d + CPI_j \cdot (1 - E_d))] + \\ & \sum_{n=1}^N [CAN_{n,a,d} \cdot (CAV_n \cdot E_d + CAI_n \cdot (1 - E_d))] + AP_{a,d} \cdot (CAPV \cdot E_d + CAPI \cdot (1 - E_d)) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\forall a \in \{1, \dots, A\}, \forall d \in \{1, \dots, 365\}$$

- El área de vegetación de cada espacio debe ser mayor o igual al mínimo establecido en todo momento.

$$AT_a \cdot PA \leq AP_{a,d} + \sum_{j=1}^J (CAJ_{a,j,d} \cdot APJ_j) + \sum_{n=1}^N (CAN_{a,n,d} \cdot APN_n) \quad (7)$$

$$\forall a \in \{1, \dots, A\}, \forall d \in \{1, \dots, 365\}$$

- La suma de todos los árboles presentes en la comuna debe ser al menos 1/3 de la población de la comuna, según recomendación de la OMS.

$$\sum_{a=1}^K \sum_{j=1}^J CAJ_{a,j} \geq \frac{P}{3} \quad \forall d \in \{1, \dots, 365\} \quad (8)$$

- Debe haber al menos tres especies de árbol en cada área verde.

$$\sum_{j=1}^J V_{j,a,d} \geq 3 \quad \forall a \in \{1, \dots, A\}, \forall d \in \{1, \dots, 365\} \quad (9)$$

- Debe haber al menos tres especies de arbusto en cada área verde.

$$\sum_{n=1}^N U_{n,a,d} \geq 3 \quad \forall a \in \{1, \dots, A\}, \forall d \in \{1, \dots, 365\} \quad (10)$$

- Solo puede haber árboles de una especie si está presente en el área verde.

$$V_{j,a,d} \cdot M \geq CAJ_{j,a,d} \quad \forall a \in \{1, \dots, A\}, \forall d \in \{1, \dots, 365\} \quad (11)$$

- Solo puede haber arbustos de una especie si está presente en el área verde.

$$U_{n,a,d} \cdot M \geq CAN_{n,a,d} \quad \forall a \in \{1, \dots, A\}, \forall d \in \{1, \dots, 365\} \quad (12)$$

- La cantidad de árboles debe ser igual que lo presente el día anterior, menos lo removido y más lo plantado.

$$\sum_{j=1}^J (CAJ_{j,a,d} - RA_{j,a,d} + PA_{j,a,d}) = \sum_{j=1}^J CAJ_{j,a,d+1} \quad (13)$$

$$\forall a \in \{1, \dots, A\}, \forall d \in \{1, \dots, 364\}$$

- La cantidad de arboles debe ser igual que lo presente el día anterior, menos lo removido y más lo plantado.

$$\sum_{n=1}^N (CAN_{n,a,d} - RAN_{n,a,d} + PAN_{n,a,d}) = \sum_{n=1}^N CAN_{n,a,d+1} \quad (14)$$

$$\forall a \in \{1, \dots, A\}, \forall d \in \{1, \dots, 364\}$$

- No puede haber más área de pasto que lo presente el día anterior, menos lo removido y más lo plantado.

$$AP_{a,d} + AIA_{a,d} - ARA_{a,d} = AP_{a,d+1} \quad \forall a \in \{1, \dots, A\}, \forall d \in \{1, \dots, 364\} \quad (15)$$

- No puede haber más área de obras que lo presente el día anterior, menos lo removido y más lo creado.

$$AO_{a,d} + AIO_{a,d} - ARO_{a,d} = AO_{a,d+1} \quad \forall a \in \{1, \dots, A\}, \forall d \in \{1, \dots, 364\} \quad (16)$$

- Los costos de obras públicas, plantar y remover plantas, y plantar o mover pasto no puede superar el presupuesto de la comuna.

$$PT \geq \sum_{a=1}^K \left(COI \cdot \sum_{d=1}^D AIO_{a,d} + COR \cdot \sum_{d=1}^D ARO_{a,d} + CPP \cdot \sum_{d=1}^D AIA_{a,d} + CPR \cdot \sum_{d=1}^D ARA_{a,d} \right. \\ \left. + \sum_{n=1}^N \left[CPAN_n \cdot \sum_{d=1}^D PAN_{n,a,d} \right] + \sum_{n=1}^N \left[CRAN_n \cdot \sum_{d=1}^D RAN_{n,a,d} \right] + \sum_{j=1}^J \left[CPA_j \cdot \sum_{d=1}^D PA_{j,a,d} \right] \right. \\ \left. + \sum_{j=1}^J \left[CRA_j \cdot \sum_{d=1}^D RA_{j,a,d} \right] \right) \quad (17)$$

3. Defición de Datos

3.1. Datos

La comuna de Vitacura cuenta con 893.573 m² de áreas verdes públicas, estando compuesta por 5 grandes parques, las cuales corresponden a 405.613 m² de área verde. Además, podemos encontrar un total de 109 plazas y plazoletas según lo obtenido de la página de la Municipalidad de Vitacura. Ante estos hechos, se toma el supuesto de que cada una de estas ubicaciones de plazas y plazoletas tendrán los mismo m² cada uno, donde estos corresponderán a una porción equivalente de la diferencia entre el total de m² de área verde y lo correspondiente a los parques, obteniendo un total de 4476,7 m² aproximadamente por ubicación.

Para el parámetro P , es decir, la población de Vitacura, se tomó la proyección de población de la comuna en 2023 expuesta en la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, la cual corresponde a 97.388 personas. Además, para el parámetro de presupuesto de la comuna (PT), se obtuvo el presupuesto de "Mejoramiento y Remodelación de Parque de la Comuna" el de "Mejoramiento y Remodelación Áreas Verdes" de la cuenta pública de Vitacura del año 2022, lo cual corresponde a un total de \$723.248.000 CLP.

Para poder acotar por abajo, el modelo toma en consideración los metros cuadrados per cápita recomendados por la OMS, donde se obtuvo que se aconseja un mínimo de 9 metros cuadrados por habitante en las áreas urbanas.

Para los diferentes tipo de vegetación, pasto, arbol y arbustos, se supuso que arbustos es todo lo que no es pasto ni arbol. Para cada tipo de vegetación se realizó una búsqueda de datos de precios de plantación (compra e instalación de la planta), riego en m³ necesarios, m² promedios de espacio que se emplazan, y altura. Para poder obtener los diámetros de los arboles, se supuso que los diámetros correspondían al 7,5 % de la altura de cada arbol.

Para determinar el precio de obra tanto instalado como removido se planteó como supuesto que este corresponde a un empedrado realizado con áridos de canto rodado de 10 a 12 mm de tamaño máximo, el cual es colocado a tizón en disposición irregular, sobre capas de cemento CEMII/B-P 32 (generador de precios, 2022). Con esto señalado, y según lo estipulado en el sitio de generador de precios unitarios de Chile (2022), se decidió en que el precio de instalación y remoción del m² de obras corresponde a unos \$39780.

En cuanto al precio de plantación tanto de los arboles como de los arbustos, se tomó en consideración el precio de compra e instalación de dicha vegetación, lo cual tomó en cuenta los precios señalados en las distintas huertas de compra online y el precio de instalación por área de emplazamiento señalado en el generador de precios (2022). Además, para el caso de remover dicha vegetación, se estableció el precio por unidad señalado en el generador de precios (2022) para dicha acción.

Por otra parte, para determinar el emplazamiento en el área verde de los arboles se estableció su diámetro como la multiplicación de la altura promedio de estos, determinada en biografía, por 0.075, la cual posteriormente se determinó el área circular del tronco, la cual fue multiplicada 9 veces suponiendo que dicho valor corresponde al emplazamiento de las raíces en el área verde. En el caso de los arbustos, el área de emplazamiento de estos corresponde al área promedio de las macetas en las que vienen estos a la hora de su compra.

A su vez, tanto para el caso de los arbustos como de los arboles se estableció la carga hidráulica tanto para verano a invierno, basándose en datos de riego señalados en diversos portales de cuidados de plantas (revisar bibliografía de referencias para ver más detalles). De esto se estableció que su riego tiende a ser entre 2 a 3 veces mayor en el verano que en el invierno, para ambas familias de vegetación.

4. Gurobi

4.1. Explicación

El código del modelo se divide en tres partes principales: La lectura de datos y parámetros, la definición de variables, restricciones y función objetivo, y la optimización del modelo.

En la primera parte, se leen los datos y parámetros necesarios para el modelo desde varios archivos de Excel utilizando la biblioteca Pandas. Estos datos incluyen información sobre las áreas de los parques (`solo_m2_areas.xlsx`), los costos de las obras (`Costo_Obras.xlsx`), la vegetación presente en el parque (`plantas.xlsx`) y parámetros externos (`Parametros_unicos.xlsx`).

En la segunda parte, se definen las variables del modelo (16 en Total), las restricciones (17 en Total) y la función objetivo (F0).

En la tercera parte, se optimiza el modelo utilizando Gurobi. Se establece un límite de tiempo de 30 minutos utilizando el método `setParam()` de Gurobi. Luego, se llama al método `optimize()` para resolver el modelo y obtener la solución óptima.

4.2. Solución

Al correr el código, este se demora aproximadamente 2 minutos pero nos entrega una solución infactible.

5. Validación Resultados

5.1. Validación

El problema planteado originalmente de minimizar la cantidad total de agua utilizada para el riego en la comuna de Vitacura en un año se ha determinado como no factible en la forma en que se modeló inicialmente. Se observa que al correr el modelo en GUROBI, no se llega un valor que cumpla las restricciones del problema planteado, minimizando la función objetivo. Por lo tanto, es necesario actualizar y reformular el problema para llegar a una solución factible.

Considerando esta situación, se requiere un nuevo enfoque que permita abordar de manera realista el uso eficiente del agua en las áreas verdes de la comuna. El objetivo será encontrar una solución factible que optimice la distribución y gestión de las áreas verdes existentes, teniendo en cuenta la variedad de especies como árboles, pastos y arbustos, así como las acciones de mantenimiento, como obras para el retiro de pasto o cambios de especies. Además, un punto importante al analizar el modelo actual fue la falta de un estado inicial de las áreas verdes, a partir del cual el modelo podrá basarse para obtener el estado final de estas.

Referencias

- [1] BCN. (s. f.). Hidrografía de la Región Metropolitana. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/hidrografia.htm>
- [2] Dirección General de Aguas. (2018). Estudio Nacional del Agua: Resumen Ejecutivo. Ministerio de Obras Públicas. <https://dga.mop.gob.cl/Estudios/04%20Resumen%20Ejecutivo/Resumen%20Ejecutivo.pdf>
- [3] El Mostrador. (2022, marzo 21). De baluarte del rechazo a zona vulnerable por falta de agua. El Mostrador. <https://www.elmostrador.cl/cultura/2022/03/21/de-baluarte-del-rechazo-a-zona-vulnerable-por-falta-de-agua/#:text=Actualmente%2C%20el%20promedio%20de%20consumo,350%20litros%20diarios%20por%20persona.>
- [4] Gestión de Negocios. (s. f.). Recursos Hídricos en Chile. Gestipolis. <https://www.gestipolis.com/recursos-hidricos-en-chile/>
- [5] País Circular. (2021, septiembre 28). El 60% de escasez de agua en Chile es causada por una mala gestión del recurso, aumento de actividades y sobretorgamiento de derechos. País Circular. <https://www.paiscircular.cl/agenda-2030/el-60-de-escasez-de-agua-en-chile-es-causada-por-una-mala-gestion-del-recurso-aumento-de-actividades-y-sobretorgamiento-de-derechos/>
- [6] Universidad de Chile. (2022, marzo 22). Día Mundial del Agua: Chile lidera la crisis hídrica en América Latina. Universidad de Chile. <https://www.uchile.cl/noticias/184816/dia-mundial-del-agua-chile-lidera-la-crisis-hidrica-en-america-latina#:text=El%20a%C3%B1o%202021%20cerr%C3%B3%20como,los%20principales%20r%C3%ADos%20del%20pa%C3%ADs.>
- [7] Natacha Ramírez, Emol (2022, febrero 13). Comunas del sector oriente de Santiago se adaptan ante el riesgo real de racionamiento” de agua. <https://www.emol.com/noticias/Nacional/2022/02/13/1046593/medidas-municipios-sector-oriente-sequia.html>
- [8] Fundación MiParque, (2023). Puente Alto y El Bosque: las comunas con menor acceso a áreas verdes. <https://www.miparque.cl/es/puente-alto-y-el-bosque-las-comunas-con-menor-acceso-a-areas-verdes/>