



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE

## HUELLA HÍDRICA 2021

### PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

#### Agosto 2021

#### Resumen

Para efectos de este estudio, la huella hídrica se compone de diferentes tipos de huella, la directa está comprendida por huella azul, verde y gris, mientras que la indirecta por electricidad y papel. Los resultados obtenidos indican que la mayor proporción de la huella se asocia a la huella gris y electricidad (35,9% y 38,5% respectivamente), y el valor total de la huella institucional 2021 corresponde a 1.402.154 m<sup>3</sup>, teniendo un consumo per cápita de la Comunidad UC de 34 m<sup>3</sup> al año. Respecto de los valores de consumo de agua potable, este se concentra principalmente en el campus San Joaquín, triplicando los consumos per cápita en cualquiera de los demás campus. En cuanto al consumo estacional de agua potable, este se concentra en los meses de verano principalmente. La tendencia de la huella hídrica en los últimos cuatro años, indica que en los años pandémicos se redujo considerablemente la huella hídrica (aprox. el 28%).

#### Introducción

En un contexto de cambio climático donde a nivel internacional científicos y líderes mundiales se encuentran desarrollando distintos planes para su mitigación y precisa adaptación, surgen diferentes métodos mediante los cuales cuantificar el impacto del estilo de vida que hasta ahora hemos llevado como humanidad y que nos ha traído hasta estas situaciones extremas como sequías extendidas, derretimiento de hielos, altas temperaturas e inundaciones. Uno de estos métodos es la huella hídrica, la cual nace como concepto en 2002 con el profesor Arjen Hoekstra, quien trabajó este tema en la UNESCO-IHE dejando varias referencias que han sido de utilidad a nivel mundial.

La Huella Hídrica propone ser un indicador que cuantifica el consumo de agua dulce de forma directa e indirecta por parte de algún ente ya sea nación, empresa, organización o incluso persona. Para esto Hoekstra propone hacer una división en distintos tipos de huella hídrica:

- Huella Hídrica Azul: consumo de agua potable proveniente de fuentes superficiales o subterráneas que no retorna al sistema.
- Huella Hídrica Verde: mide el agua lluvia que es evaporada o que no llega a escorrentías ya que ha sido almacenada en el suelo.
- Huella Hídrica Gris: Se refiere al volumen teórico de agua dulce que se requiere para asimilar la carga contaminante del efluente.



## Metodología

La Huella Hídrica comprende varias dimensiones; considera su consumo directo e indirecto y está dividida para tres tipos de usos consuntivos. Cabe destacar que se puede tener tanto consumo directo como consumo indirecto de todos los tipos de huella (azul, verde y gris).

Hoekstra, para el cálculo de la Huella Hídrica propone los siguientes cálculos:

$$\text{Huella Hídrica} = \text{Huella Hídrica Azul} + \text{Huella Hídrica Verde} + \text{Huella Hídrica Gris} \quad (1)$$

Para el cálculo de la Huella Hídrica Azul se tiene el siguiente modelo:

$$\text{HHA} = \text{Evapotranspiración de Agua Azul} + \text{Incorporación de Agua Azul} + \text{Flujo de retorno perdido} \quad (2)$$

Para el cálculo de la Huella Hídrica Verde se tiene:

$$\text{HHV} = \text{Evapotranspiración de Agua Verde} + \text{Incorporación de Agua Verde} \quad (3)$$

Para el cálculo de la Huella Hídrica Gris se tiene:

$$\text{HHG} = \text{Volumen de agua reincorporado} * (c. efluente - c. actual) / (c. máxima - c. natural) \quad (4)$$

Donde "c" corresponde a contaminación.

Todas estas fórmulas fueron recogidas del Water Footprint Assessment Manual (Hoekstra A, Chapagain A, Aldaya M & Mekonnen M, 2011). Sin embargo, cabe destacar que ya que estas fórmulas están dispuestas de manera general para que se puedan aplicar a diversos objetos de estudio (como un producto o toda una organización) es que se ajustaron las fórmulas que se han presentado anteriormente de manera que pudieran contemplar el recurso hídrico en función del uso que se le da dentro de la institución.

En cuanto al tipo de uso, la huella se puede clasificar como directa e indirecta. Los insumos utilizados para cada una se detallan a continuación.

Directo:

- Consumo de agua por funcionamiento de la universidad (i.e. agua dulce de consumo cotidiano).
- Registro de aguas de lluvia (entre otras variables meteorológicas) y evapotranspiración de áreas verdes en el Campus San Joaquín.

Indirecto:

- Consumo por concepto de utilización de la red eléctrica.
- Consumo por concepto de compra de papel (como la adquisición más representativa del funcionamiento de la universidad).



- Consumo por concepto de transporte de la comunidad, considerando tanto el transporte diario de la comunidad como viajes por estudios/trabajo.
- Residuos.
- Construcción<sup>1</sup>
- Alimentación<sup>2</sup>

Sin embargo, algunos de estos aspectos no fueron considerados:

- Transporte de la comunidad: Se descartó su cuantificación debido a su bajo impacto, de igual manera se tomó en consideración la respuesta entregada por los autores del manual quienes se refieren a este aspecto como "Transport, however, does not consume a significant amount of freshwater. We recommend including the water footprint of transport only when biofuels are used as the source of energy."<sup>3</sup>
- Residuos: Debido a que no se encontraron referencias en los estudios realizados en la Water Footprint Network, se descartó su cuantificación, al no encontrarse referencias no es posible hacer una estimación utilizando factores, ya que estos últimos no existen.
- Construcción: Al igual que en el caso de residuos, no se encontraron referencias en la Water Footprint Network respecto al proceso de construcción, sin embargo, existen algunos estudios referentes a los materiales de construcción. Respecto del funcionamiento de los edificios este aspecto del impacto hídrico se tiene en consideración de forma Directa (Huella Azul por Consumo de agua potable).
- Alimentación: Si bien existen varios estudios disponibles en la Water Footprint Network e incluso existe un estudio ajustado al caso de Chile en la producción de alimentos, para esta versión de la cuantificación de la Huella Hídrica no se han podido recabar los datos de alimentos consumidos por la comunidad UC.<sup>4</sup>

Finalmente, la Huella Hídrica UC 2021 será cuantificada con los siguientes datos:

- Huella Azul Directa: Consumo de agua potable por funcionamiento de la universidad y factores correspondientes.
- Huella Verde Directa: Precipitaciones y otros datos meteorológicos asociados a la superficie de áreas verdes del Campus San Joaquín.
- Huella Gris Directa: Consumo de agua potable por funcionamiento de la universidad y factores correspondientes.
- Huella Hídrica Indirecta:

<sup>1</sup> Está considerado para ser parte del cálculo de la huella de carbono institucional en un futuro.

<sup>2</sup> Está considerado para ser parte del cálculo de la huella de carbono institucional en un futuro.

<sup>3</sup>

<https://books.google.cl/books?id=jWAsDwAAQBAJ&pg=PT154&dq=Transport,+however,+does+not+consume+a+significant+amount+of+freshwater.+We+recommend+including+the+water+footprint+of+transport+only+when+biofuels+are+used&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjwpMOek4rqAhVCK7kGHVuxC30Q6AEIJzAA#v=onepage&q=Transport%2C%20however%2C%20does%20not%20consume%20a%20significant%20amount%20of%20freshwater.%20We%20recommend%20including%20the%20water%20footprint%20of%20transport%20only%20when%20biofuels%20are%20used&f=false>

<sup>4</sup> Es ideal que para una próxima cuantificación se pueda determinar una metodología de cuantificación y recopilación de información.



- Producción papel (revistas UC y Crisol). Se utiliza un “factor de conversión”, se entiende que éste considera todos los tipos de huella de este ítem (azul, verde y gris).
- Consumo electricidad por matriz energética, utilizando un factor de conversión según el tipo.

Respecto a la Huella Verde, al no contarse con registros de riego para áreas verdes, se estimó el consumo en base a la evapotranspiración teórica de las áreas verdes y tecnología de riego utilizada, utilizándose como base el balance hídrico elaborado el año 2018 en el Campus San Joaquín. En este se utiliza el método de Penman-Monteith para calcular la evapotranspiración de referencia en base al documento “Evapotranspiración de cultivo” de la FAO, la que es ajustada con un coeficiente de paisajismo en base a la metodología descrita en “A guide to estimating irrigation water needs of landscape planting in California” desarrollada por la Universidad de California. Esto último se aplicó en función de la información descrita en la “Caracterización Territorial del Campus San Joaquín” del año 2015. El cálculo se aplicó sólo para el campus de San Joaquín, ya que la superficies vegetales de los demás campus son despreciables.

Los principales supuestos se detallan a continuación:

- Para la Huella Azul Directa se utiliza un Coeficiente de Recuperación de 0,8 obtenido a partir de lo que dictamina el Decreto 90.
- Para la Huella Verde Directa se utiliza información de precipitación y otras variables meteorológicas provista por la Estación Climatológica Quinta Normal para el Campus San Joaquín, privilegiando el criterio de cercanía y similitud geográfica para su selección.
- Para la Huella Gris Directa se utilizaron los criterios dispuestos por los Decretos 609 (para recuperación de las aguas por alcantarillado) y 90 (para máximo permitido de contaminante DBO5 en las aguas residuales). También se utilizó el supuesto de que al ser agua potable el afluente, el valor de DBO5 sería cero, y, ya que el efluente es tratado por los servicios de sanitización de agua (Aguas Andinas en Santiago y Aguas Araucanía en Villarrica), los niveles de contaminación por DBO5 corresponden al máximo permitido por ley (SISS).
- En esta oportunidad no fueron considerados residuos líquidos peligrosos que pudieran ser desechados al alcantarillado (afectando directamente la Huella Gris) provenientes de laboratorios ya que actualmente no se cuenta con esta información, a pesar de que se sabe que es una posible práctica también se sabe que existen protocolos de neutralización de estos residuos líquidos.



## Resultados

### Huella Hídrica UC 2021

La Huella Hídrica total de la institución corresponde a 1.402.154 m<sup>3</sup> y se desglosa como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2: Resumen de los componentes de la Huella Hídrica Institucional 2021. Elaboración propia.

Tipo de huella	Cantidad (m <sup>3</sup> )
Azul directa	107.812
Verde directa	249.953
Gris directa	503.122
Papel indirecta	788,8
Electricidad indirecta	540.479

Como se evidencia en la tabla 2, la mayor proporción de la huella está asociada a usos directos (azul, verde y gris), representando el 61% de la huella total, mientras que la huella indirecta (papel y electricidad) representa el 39% de la huella total.

La proporción entre las diferentes huellas se presenta en la siguiente figura.

### Huella Hídrica 2021

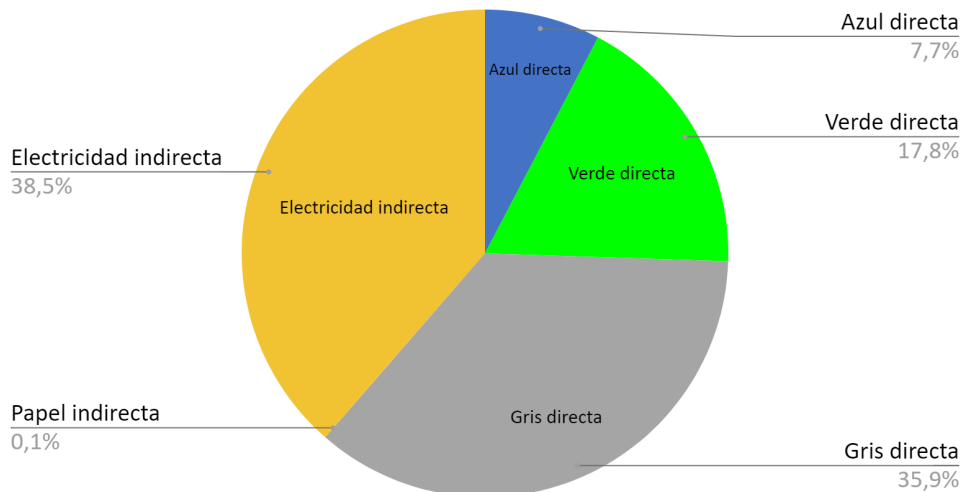


Figura 2. Proporción de tipos de huellas hídricas. Elaboración propia.



Finalmente la Huella Hídrica total Institucional es de 1.402.154 m<sup>3</sup>, por lo tanto, la huella per cápita de la UC es de 33,4 m<sup>3</sup>, considerando los tres estamentos y cinco campus.

Respecto a la evolución que ha tenido la Huella Hídrica en los últimos años, se puede notar una leve tendencia a la baja en los últimos años.

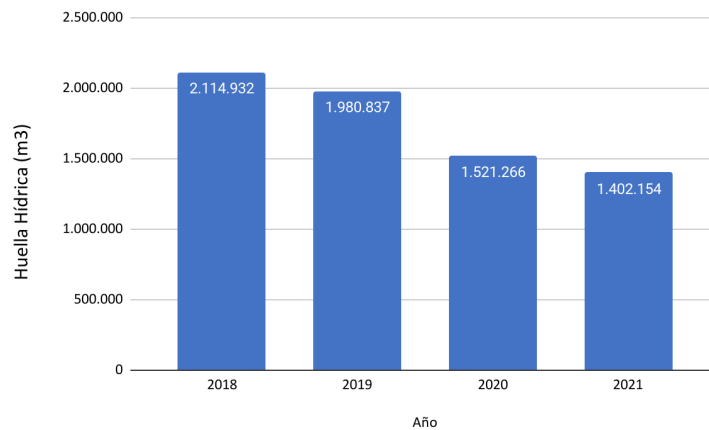


Figura 3. Tendencia Huella Hídrica de los últimos cuatro años.

En la figura 3, se puede observar que el año 2021 ha sido el año con menor valor desde que empezó su medición (2018), siendo similar al valor del año 2020 (1.521.266 m<sup>3</sup>). La notoria baja en estos dos últimos años medidos, posiblemente se deba a la modalidad virtual instaurada en gran parte de estos periodos, producto de la pandemia COVID-19.

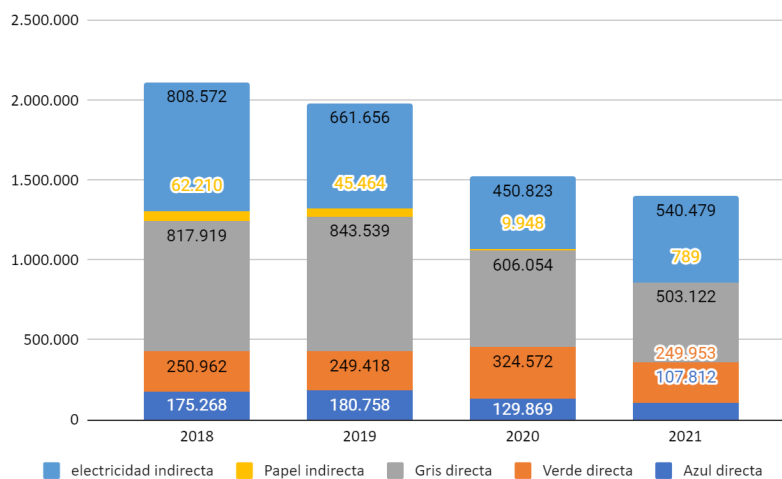


Figura 4. Tendencia Huella Hídrica de los últimos cuatro años por tipo de Huella.



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE

### Huella Azul Directa

La fórmula utilizada para calcular la huella por consumo de agua potable utilizada:

$$\text{Huella Azul} = \text{Afluente} - \text{Efluente} \quad (5)$$

Debido a que no se conocen los volúmenes necesarios para aplicar la fórmula (2), se puede simplificar esta expresión a la anteriormente mostrada (5).

$$\text{Huella Azul} = \text{Incorporaciones al producto} = \text{Agua consumida} - \text{Agua consumida que retorna a la matriz} \quad (6)$$

En la fórmula (6) se puede entender la lógica detrás de la simplificación de los volúmenes a calcular. Finalmente la expresión queda como sigue:

$$\text{Huella Azul} = \text{Agua consumida} - \text{Factor de Recuperación} * \text{Agua consumida} = \text{Agua consumida} * (1 - 0,8) \quad (7)$$

El resultado es una Huella Azul Directa de 107.812 m<sup>3</sup>, esta huella corresponde al total de agua potable consumida de 579.059 m<sup>3</sup> para los cinco campus.

### Huella Verde Directa

Para cuantificar esta huella no se necesitó simplificar la fórmula original (3). El valor correspondiente a esta huella es de 249.953 m<sup>3</sup>

### Huella Gris Directa

Una vez más para este cálculo no hizo falta una modificación de la fórmula (4). Cabe destacar que el Volumen de agua reincorporado corresponde a:

$$\text{Agua consumida} * \text{Factor de Recuperación}$$

Se obtiene así una Huella Hídrica Gris Directa de 503.122 m<sup>3</sup>.



## Huella de Papel Indirecta

La Huella Hídrica de papel indirecta fue 788,8 m<sup>3</sup> considerando el papel consumido en salas Crisol y Revistas UC, dentro de las que se encuentran la Revista Universitaria y Visión UC, totalizando un consumo de 1,17 t de papel. Para efectos de la presente huella no se consideró el consumo asociado a producción de resmas, puesto que en el transcurso del año 2021 se siguió ocupando la producción del año 2020. Una de las diferencias más significativas de consumo respecto al año anterior fue precisamente el papel, esto se ve reflejado especialmente en el consumo de papel Crisol, pasando de 9,6 t de papel producidos en el año 2020, a 0,849 t en 2021.

## Huella de Electricidad indirecta

Al igual que en el caso de la Huella de Papel Indirecta, para cuantificar la Huella de Electricidad se utilizó un factor de conversión para cada tipo de generación de energía presente en la matriz de Chile. Los factores de conversión<sup>5</sup> al no existir específicamente para Chile, se utilizaron los presentes en Water Footprint Network. Para poder utilizar estos factores de conversión, se debió desagregar el consumo de la universidad según indica la proporción de generación para cada mes del año 2021. Esto se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 1: Proporción de presencia de cada tipo de generación de energía para el año 2021 para la matriz energética Chilena, aplicado al consumo total eléctrico de la UC. Elaboración propia.

Tipo de energía	Valores matriz (GWh)	Proporción matriz (%)	Valor (kWh)	Factor de conversión (m <sup>3</sup> /kWh)	Valor (m <sup>3</sup> )
Térmica- Carbón	27.008	0,348	5.918.491	0,01	59.185
Térmica- Petróleo diesel	908	0,012	198.978	0,01	1.990
Térmica-Gas natural	13.710	0,177	3.004.388	0,01	30.044
Hídrica	20.637	0,266	4.522.360	0,079	357.266
Solar	7.638	0,098	1.673.779	0	0
Eólica	5.537	0,071	1.213.370	0,001	1.213
Biomasa	1.883	0,024	412.638	0,22	90.780
Geotérmica	246	0,003	53.908	0	0

<sup>5</sup>





Por lo que la Huella Hídrica Indirecta por concepto de Electricidad es de 540.479 m<sup>3</sup>.

### Consumo de agua potable 2021

En cuanto al consumo de agua potable, se pueden evidenciar notorias diferencias a nivel de campus, como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 2. Consumo de agua por persona según campus. Elaboración propia.

Campus	Consumo (m3)	Comunidad UC	Consumo por persona (m3)
Casa Central	32.075	8.542	3,75
Lo Contador	13.011	2.622	4,96
Oriente	847	1.741	0,49
San Joaquín	491.427	28.773	17,08
Villarrica	1.699	330	5,15

Los mayores valores de consumo de agua potable por persona se evidencian en el campus San Joaquín, mientras que Campus Oriente presenta un bajo consumo de agua per cápita.

Los niveles de consumo también varían en forma temporal, concentrándose en su mayoría en los meses de verano, especialmente diciembre, enero y febrero, así como también marzo, llegando a un consumo institucional cercano a los 60.000 m<sup>3</sup> de agua potable.

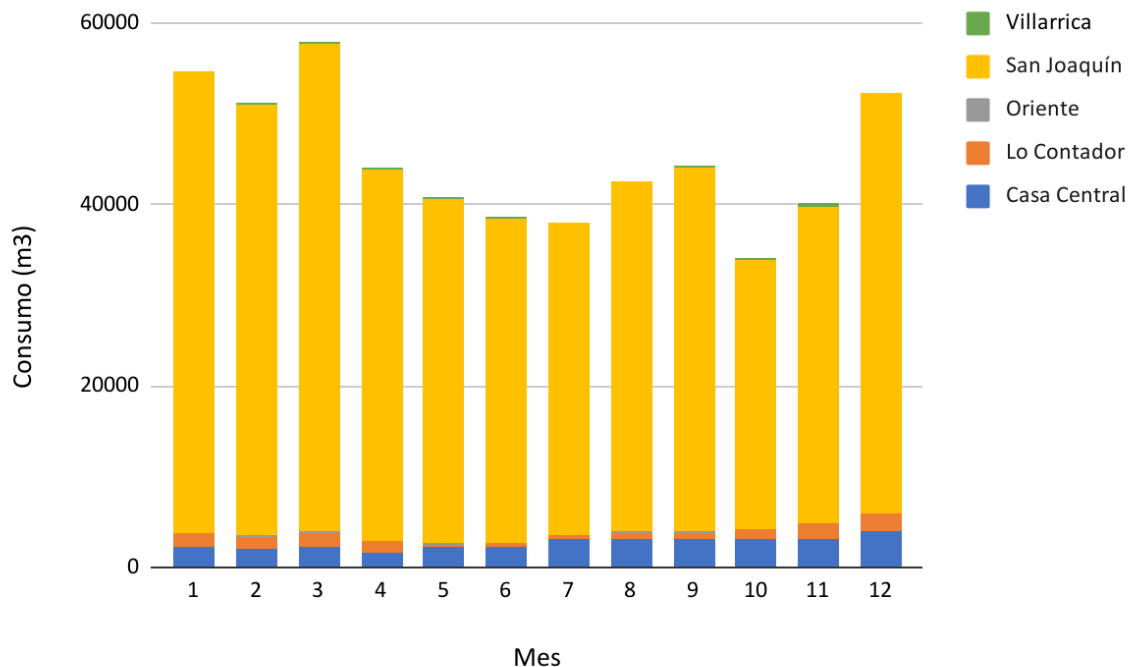


Figura 1. Consumo de agua potable por mes. Elaboración propia.

## Conclusiones

- Los mayores valores de Huella Hídrica corresponden a la Huella Gris con un 35,9% y Huella Indirecta de Electricidad con un 38,5%, en su conjunto comprendiendo el 74,4% de la Huella Hídrica. Esto se relaciona directamente con el nivel de consumo de agua potable y el consumo de electricidad, aunque también, en el caso de esta última, de la configuración de la matriz energética.
- La concentración de la huella se presenta principalmente en usos directos, de todas formas se debe considerar la reducción del uso indirecto, especialmente disminuyendo el consumo de electricidad.
- Respecto del consumo de agua potable, se pueden evidenciar diferencias notorias entre campus, destacando el alto nivel de consumo de agua per cápita en el Campus San Joaquín, triplicando el valor de cualquiera de los demás campus. Posiblemente este fenómeno se relacione con el efecto pandemia, aunque no deja de ser alarmante, desde este punto de vista, pareciera ser importante generar un consumo más consciente, y por ende más eficiente en el Campus San Joaquín.



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE

- La tendencia a la baja en la huella hídrica en años pandémicos es evidente, desde este punto de vista pareciera ser que la modalidad híbrida o virtual es una buena opción para la reducción de la huella institucional.

### Recomendaciones

- Se sugiere hacer una primera aproximación para el levantamiento de la huella hídrica asociada a la alimentación. Se podrían empezar a levantar antecedentes de experiencias internacionales, y eventualmente adaptar a una encuesta institucional para una correcta medición. Adicionalmente, se podría utilizar como insumo la encuesta aplicada a los embajadores para la acción climática junto con sus respectivos resultados.
- Se recomienda realizar mediciones de riego en las diferentes áreas verdes de los campus, esto para una cuantificación más certera de la huella hídrica verde, es decir, en vez de ocupar datos de estaciones meteorológicas, ocupar los datos efectivos de riego.
- Es deseable que se separe la metodología de consumo en áreas verdes dentro del balance hídrico, a una planilla exclusiva con la única finalidad de obtener la huella hídrica.
- Se sugiere hacer una primera aproximación en cuanto a la medición de huella hídrica asociada a la construcción, al igual que en la huella asociada a alimentación, se podría empezar a recoger experiencia nacional e internacional.

### Bibliografía

Fueron consultados los siguientes referentes nacionales:

- Cálculo de la Huella Hídrica de la UTEM
- Cálculo de la Huella Hídrica del Campus Casa Central Valparaíso de la UTFSM, Carla Duran
- Estimación Huella Hídrica de la Agricultura Chilena, Guillermo Donoso

Fue consultado el referente internacional:

- Water Footprint Assessment Manual, Arjen Hoekstra, Ashok Chapagain, Maite Aldaya y Mesfin Mekonnen

Recursos:

- Decreto 90:  
[https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/Documents/DTO\\_90\\_07\\_MAR\\_2001.pdf](https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/Documents/DTO_90_07_MAR_2001.pdf)
- Decreto 609: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=121486>
- Generadoras Chile: <http://generadoras.cl/documentos/boletines>  
<http://generadoras.cl/tipos-energia/energia-termica>
- Dirección Meteorológica de Chile:  
<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/anuario/2018>

Dirección de Sustentabilidad  
Edificio Agronomía, Piso 3 / Av. Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago, Chile  
Teléfono: 223547509 / [www.sustentable.uc.cl](http://www.sustentable.uc.cl)

[www.uc.cl](http://www.uc.cl)



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE

<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anual/evapoTranspiracionAnual/330020/2018>

Todos los cálculos fueron realizados en el link a continuación:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1tLKCQbj9Ok1KA0dV0KdHtAIGUy7ItLZreAFwuo0Mu4g/edit#gid=1169273320>