

Artículo

Análisis climático del Alto Valle de Río Negro para implementación de estrategias de diseño bioclimático

Climatic analysis of the Alto Valle de Río Negro for the implementation of bioclimatic design strategies

María de la Paz Diulio*

CONICET / Universidad Nacional de Río Negro
mdiulio@conicet.gov.ar

Analía Fernanda Gómez**

Universidad Nacional de La Plata
afgomez@fau.unlp.edu.ar

Fecha de envío: 24 de febrero 2023
Fecha de aceptación: 2 de noviembre 2023
Fecha de publicación: febrero 2024

Disponible en: <https://doi.org/10.24215/24226483e132>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

* Laboratorio de Experimentación Proyectual y Estudios Urbano-Territoriales. Universidad Nacional de Río Negro.

** Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de La Plata

Resumen: El cambio climático, la crisis y la pobreza energéticas nos invitan a repensar el rol de las edificaciones para proveer confort en espacios interiores. Este estudio se aplica a la región del Alto Valle de Río Negro, Argentina, donde se encuentran 15 localidades a lo largo de un valle de 88 kilómetros, en un clima templado frío, con veranos cálidos, donde se busca determinar cuáles son las estrategias de diseño bioclimático idóneas para alcanzar el confort higrotérmico desacoplado del consumo de energías no renovables. Dada la carencia de registros climáticos abiertos, se analiza la factibilidad de utilizar datos tele detectados estimados por el satélite MERRA-2. Asimismo, se evalúa la pertinencia de unificar las mismas estrategias a lo largo de la región. Los resultados muestran que es aceptable utilizar esta base de datos dada la buena afinidad entre los datos estimados satelitales y los registros empíricos existentes; así como se observa alta similitud entre las variables climáticas comparadas en una muestra de 4 de las 15 localidades de la región. A partir de generar un archivo climático EPW para la zona, y representarlo en el diagrama de Givoni, se observa que las estrategias más efectivas son ganancias térmicas internas, alta inercia térmica con descarga nocturna, y ganancia solar directa. A nuestro mejor entender, este es el primer estudio que realiza una descripción climática detallada del Alto Valle de Río Negro, para determinar estrategias de diseño bioclimático en arquitectura.

Palabras clave: clima, diseño bioclimático, arquitectura, confort térmico, base de datos climáticos

Abstract: Climate change, the energy crisis and energy poverty invite us to rethink the role of buildings in providing comfort in interior spaces. This study is applied to the region of the Alto Valle de Río Negro, Argentine, where 15 cities are located along an 88-kilometer valley, in a cold temperate climate with warm summers, where we expect to determine the most suitable bioclimatic design strategies for achieving hygrothermal comfort decoupled from the consumption of non-renewable energy. Given the lack of open climate records, we analyzed the feasibility of using remotely sensed data estimated by the MERRA-2 satellite. Furthermore, we evaluate the possibility of unifying the same strategies throughout the region. The results show that it is acceptable to use this database given the good fit between the estimated satellite data and the existing empirical records; as well as we observed high similarity between the climatic variables compared in a sample of 4 of the 15 cities in

the region. By generating an EPW climate file for the area, and representing it in the Givoni diagram, we noticed that the most effective strategies are internal thermal gains, high thermal mass night flushed, and direct solar heat gain. To the best of our knowledge, this is the first study that carries out a detailed climatic description of the Upper Río Negro Valley, to determine bioclimatic design strategies in architecture.

Keywords: climate, bioclimatic design, architecture, thermal comfort, climatic database

1. Introducción:

El trabajo se enmarca en el proyecto de investigación “Confort higrotérmico en el hábitat construido. Tecnología, energía, clima y ambiente” de la Universidad Nacional de Río Negro, cuyo objetivo es producir una guía de estrategias de mejoras del confort higrotérmico en el Alto Valle de Río Negro (AVRN). Este es el primer avance donde se analiza información sobre el clima local, que es un insumo básico para cualquier estrategia de mejoras del confort higrotérmico.

El AVRN es un oasis en el norte de la Patagonia Argentina limitado al oeste por la confluencia de los Ríos Limay y Neuquén, y al este por la zona del Valle Medio, donde se encuentra Choele Choel (Figura 1). El AVRN tiene un ancho variable que oscila entre 8 y 10 km, entre 40 y 200 metros por debajo del nivel de las mesetas circundantes, denominadas bardas (Figura 2).

Figura 1: Región del Alto Valle del Río Negro, Argentina



Fuente: Google maps

Figura 2: Región de estudio. De izquierda a derecha Cinco Saltos, Neuquén, Cipolletti, Fernández Oro, Allen, Contralmirante Guerrico, Coronel Juan José Gómez, General Roca, Padre Stefenelli, Cervantes, Mainque, Ingeniero Huergo, General Godoy, Villa Regina y Chichinales. A la derecha, el perfil de elevación muestra la geografía del AVRN entre las bardas norte y sur que se alzan a 200m sobre el nivel de las ciudades.



Fuente: Google Earth

Durante la crisis mundial de 1929 en Argentina colapsa el esquema agroexportador, y el gobierno propone reducir las importaciones, promoviendo la industria local y la diversificación de cultivos. En este marco se introduce el cultivo de peras y manzanas en el Valle, irrigado por una infraestructura de canales que buscaban, además, contener las crecidas de los ríos, lo que permitió que en diez años se logre abastecer el mercado nacional (Albers, 1996).

El confort higrotérmico es una condición subjetiva, y se refiere al estado de la mente que expresa satisfacción con el entorno térmico (ASHRAE, 2004). Dado que permanecemos al menos el 80% del tiempo adentro de edificios, la calidad del ambiente interior tiene un impacto en el confort, en la salud y en el bienestar general (de Dear & Brager, 1998). Los efectos del ambiente, como la luz, el sonido, el clima y el espacio, inciden en las personas, quienes se esfuerzan por llegar al punto en el que adaptarse al entorno requiera solamente un mínimo de energía. Este estado se llama zona de confort, y ocurre cuando la mayor parte de la energía se libera para dedicarse a la productividad (Olgay et al., 1998).

A partir de la revolución industrial, la mayor distribución de la riqueza y el abaratamiento de la energía, impulsaron un aumento generalizado del consumo de energía (Hernandez Pezzi, 2010); esto contribuyó a que durante el siglo XX el diseño de los edificios dejara de lado una de sus funciones: la provisión del confort higrotérmico. Los combustibles derivados del petróleo, máquinas de vapor y la electricidad, que fueron abundantes y baratos, permitieron a las personas aislarse de los efectos de la fuerza de la naturaleza consintiendo que las máquinas se encarguen de todo, olvidando cómo resolver situaciones que solían depender del fuego, la fuerza de los animales, el viento o el sol (Wright et al., 2008).

La necesidad de cambio surge a partir de la evidencia científica del efecto nocivo que el ritmo actual de consumo provoca en el ambiente. El efecto invernadero es un fenómeno que ocurre debido a la acumulación de CO₂ en la atmósfera que impide la fuga de los rayos solares reflejados en la superficie de la tierra. Este cambio del clima es de origen antropogénico y ha provocado el incremento de 1°C de la superficie global de la tierra en el último siglo (NASA GISS: Urban Climate Change Research Network, 2023).

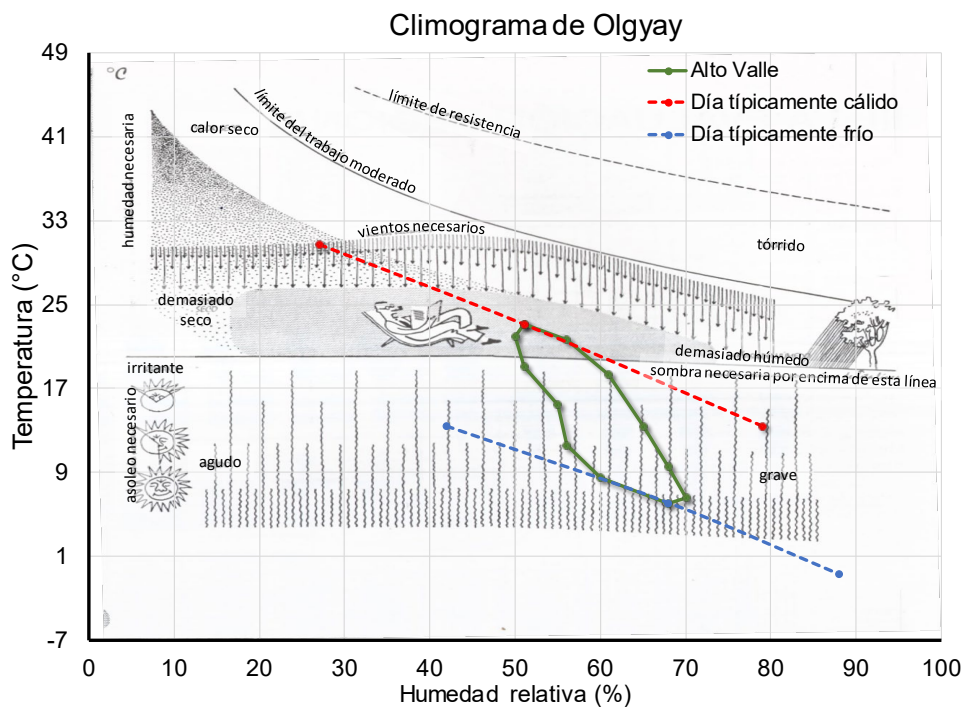
Las construcciones precarias otorgan bajas prestaciones tanto en invierno como en verano, ya que, con paramentos delgados y cubiertas sin aislamiento térmico, toda energía que se añade para climatizar se disipa rápidamente debido a la baja eficiencia energética. Esto no es excluyente de viviendas de bajos recursos sino de la mayor parte de las construcciones tradicionales actuales, aún de viviendas de clase media y alta. Mientras estos hogares alcanzan el confort con opulencia a expensas de cantidades enormes de energía, existen hogares que no pueden permitirse económicamente utilizar energía para alcanzar condiciones de confort, con consecuencias para la salud, y a costa de resignar otras necesidades básicas.

Las alternativas para alcanzar el confort desacoplado del consumo de energías fósiles tienen un valor social, ambiental y económico importante, además de su impacto directo en la reducción del consumo de energía: alivio de la pobreza energética, reducción del efecto isla de calor urbana y mejor calidad del aire interior. En este sentido, una de las acciones más simples y económicas a proponer es la aplicación de Estrategias de Diseño Bioclimático (EDB), cuyo fin radica en ajustar el

diseño arquitectónico a las condiciones del clima local para aproximarse al confort higrotérmico a costo cero de operación, filtrando, absorbiendo o repeliendo los elementos ambientales según influyan beneficiosa o negativamente en el confort de las personas (Olgay et al., 1998). En palabras de Wladimiro Acosta (2013), la finalidad de la vivienda es proporcionar un “clima privado” contrarrestando los agentes perjudiciales de la naturaleza circundante y aprovechando los agentes favorables para obtener mayor habitabilidad y confort.

El climograma de Olgay (1963) (Figura 3), es una herramienta para indicar la medida correctiva a implementar, basándose en la ubicación respecto de la zona de confort de un polígono conformado por doce puntos cuyas coordenadas son la temperatura seca y la humedad relativa de cada mes en un sitio determinado. Las medidas correctivas son ventilación, humedad, asoleamiento o sombra. En la Figura 3 se representa el clima de la estación meteorológica de INTA Alto Valle, ubicada en Allen, utilizando la metodología de Olgay, entrando en zona de confort en diciembre, enero y febrero.

Figura 3: gráfica bioclimática de Olgay para Allen, en AVRN.



Fuente: Olgay, V., Frontado, J., & Clavet, L. (1998). *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas* (1ª. Ed., 10ª tirada). Gustavo Gili.

Sin embargo, cabe aclarar que la región se encuentra en zona de clima desértico con inviernos fríos (BWk) (Peel et al., 2007) y la Norma IRAM 11603 (IRAM, 2012) le asigna la Zona IV templada fría, es decir que se trata de un clima seco, donde las amplitudes térmicas diarias son mayores a 15°C. Por ese motivo, los valores medios mensuales o estacionales diluyen la rigurosidad del clima: por ejemplo, en enero, para que la temperatura media sea de 23,1°C implica que la media máxima es de 30,7°C con máximas absolutas de 40,9°C. Es decir, que la situación de verano no está eximida de medidas correctivas, a pesar de tratarse de un clima templado frío. Esto es habitual en los climas secos, y hace necesario contar con datos horarios y desplazar estrategias basadas en datos con medias mensuales.

Existen datos disponibles en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para Neuquén, cuya estación meteorológica se ubica en el Aeropuerto Presidente Perón, en el extremo oeste de la Ciudad. Estas planillas se pueden descargar desde el sitio web con datos mensuales agrupados en 1981-2010 y 1992-2020 (SMN, 2010, 2020). Asimismo, en el sitio web datos.gob.ar se publican planillas con los datos horarios del día anterior de cada una de las estaciones meteorológicas del SMN.

Desde el sitio web de EnergyPlus, es posible descargar el archivo climático “EPW”ⁱ de Neuquén, que se utiliza para realizar simulaciones energéticas.

Otra fuente de información climática consultada es la Norma IRAM 11603 que en su versión vigente provee un resumen de datos estacionales, para la condición de invierno (junio, julio y agosto) y verano (diciembre, enero y febrero) para dos ciudades de la región: Neuquén y Cipolletti, aclarando para esta última que son datos de la década de 1980 (IRAM, 2012). La versión de la misma Norma 11603 de 1996, reemplazada por la actualización de 2012, muestra datos para Neuquén, Cipolletti, Alto Valle y Villa Regina, pero no explicita a qué localidades se refiere con Alto Valle, ya que, por ejemplo, Cipolletti y Villa Regina son parte del Alto Valle.

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Centro Regional Patagonia Norte, presenta datos mensuales de 1970-2019 de T, HR, viento, evapotranspiración, precipitaciones, granizo y viento de la región (Rodríguez & Muñoz, 2022). Esta información es de utilidad especialmente para fines productivos,

al permitir realizar previsiones y mitigar los efectos nocivos de las variaciones del clima.

A pedido de las autoras, el SMN facilitó una base de datos desde 1979 hasta 2022 con registros de temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento en km/h para la localidad de Cipolletti con los tres registros que toman al día: 9:00, 15:00 y 21:00 hs. Si bien completa las medias mensuales de la base de datos estándar, está lejos aún de conformar la estructura de datos horaria esperada.

Finalmente, se indaga en la base de datos climáticos de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) que se nutre de sistemas satelitales que proporcionan datos para el estudio del clima y los procesos climáticos. MERRA-2 de NASA proporciona un registro estimado de variables meteorológicas de la atmósfera global a 2 m. de altura. Estos datos, horarios, mensuales o anuales son estimaciones climatológicas dedicadas a proporcionar datos confiables de recursos solares y meteorológicos en cualquier punto del planeta, y son de utilidad fundamentalmente en regiones donde las mediciones de la superficie son escasas o inexistentes. Si bien se trata de estimaciones, existen antecedentes que validan la aplicación de esta metodología para fines agrícolas (Rosales et al., 2020), meteorología (Andrade et al., 2022) o energías renovables (Richardson & Andrews, 2014).

Ante la revisión bibliográfica realizada, se detecta que existen publicados datos insuficientes, parciales, con diferentes estructuras, que se presentan en la Tabla 1; luego contamos con datos obtenidos a pedido al SMN, y finalmente con datos satelitales tele-detectados que requieren validación y contrastación con registros empíricos.

Este trabajo tiene por objetivo responder las siguientes preguntas de investigación:

¿Es el clima del AVRN suficientemente uniforme como para asignar las características climáticas de una base de datos a toda la zona?

¿La información climática estimada brindada por el satélite podría ser utilizada para las localidades que no poseen estación meteorológica?

¿Qué estrategias bioclimáticas se deben implementar en esta región para alcanzar condiciones de confort higrotérmico sin energía adicional?

Motiva este estudio la hipótesis de que a pesar de la extensión del AVRN, las condiciones climáticas son similares, y consideramos viable la utilización del archivo climático EPW de Neuquén para el conjunto de localidades, así como las estrategias bioclimáticas a implementar.

Tabla 1. Resumen de datos climáticos publicados disponibles.

Var.	Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
T media (°C)	Neuquén ²	21,95						8,11					21,95
	Neuquén ³	19						6,4					19
	Neuquén ⁴	23,7	22,3	18,9	13,4	9,2	6,6	5,8	8,1	11,4	15,6	19,4	22,4
	Neuquén ⁵	24,1	22,4	19,1	13,7	9,5	6,8	6	8,3	11,7	15,5	19,5	22,6
	Cipolletti ²	21,9						8,14					21,9
	Cipolletti ³	21,4						7,1					21,4
	Alto Valle ³	24,4						6,9					24,4
	Va° Regina ³	21						7					21
	Guerrico ⁶	23,1	21,7	18,3	13,4	9,6	6,6	6,1	8,5	11,6	15,5	19,1	22
T min (°C)	Neuquén ²	13,9						1,7					13,9
	Neuquén ³	13,7						0					13,7
	Neuquén ⁴	15,9	14,4	11,8	7,2	4	1,7	0,5	2	4,8	8,4	11,9	14,6
	Neuquén ⁵	15,5	14,2	11,6	6,8	3,5	1,5	0,2	1,6	4,4	8,2	11,6	14,5
	Cipolletti ²	13,9						2,4					13,9
	Cipolletti ³	14,2						1,2					14,2
	Alto Valle ³	11,9						-0,7					11,9
	Va° Regina ³	11,8						-0,5					11,8
	Guerrico ⁶	13,4	12,3	9,6	5,5	2,5	0,2	-0,7	0,8	3,3	6,8	9,7	12,3
T min abs (°C)	Neuquén ²							-11,8					
	Neuquén ³							-4,5					
	Cipolletti ²							-10,3					
	Cipolletti ³							-3,3					
	Alto Valle ³							-5,2					
	Va° Regina ³							-5					
	Guerrico ⁶	1,8	1,3	-2,3	-7	-10,1	-10,5	-12,9	-11	-7,9	-4,5	-3	-0,3

Fuentes:

- ² Norma IRAM 11603 Clasificación bio ambiental de la República Argentina 2012.
- ³ Norma IRAM 11603 Clasificación bio ambiental de la República Argentina 1996.
- ⁴ Servicio Meteorológico Nacional. Estadísticas Climatológicas Normales - 1991-2020.
- ⁵ Servicio Meteorológico Nacional. Estadísticas Climatológicas Normales - 1981-2010
- ⁶ Variabilidad agroclimática en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén.

Tabla 1. Resumen de datos climáticos publicados disponibles. (Continuación)

Var.	Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
T max (°C)	Neuquén ²	29,9						14,5					29,9
	Neuquén ³	30,5						14,1					30,5
	Neuquén ⁴	31,9	30,6	27	21,6	16,5	12,9	12,9	15,9	18,9	23,2	27,1	30,2
	Neuquén ⁵	32,1	30,6	27,4	21,8	16,6	13,3	13,1	16,1	19,3	22,9	27,1	30,3
	Cipolletti ²	30,2							14,7				30,2
	Cipolletti ³	29,9							14,6				29,9
	Alto Valle ³	30,1							15				30,1
	Va° Regina ³	29,8							14,7				29,8
Guerrico ⁶	30,7	29,5	26,3	21,6	16,9	13,4	13,4	16,3	19,4	22,8	26,4	29,3	
T max abs (°C)	Neuquén ²	42,3											42,3
	Neuquén ³	34											34
	Cipolletti ²	43											43
	Cipolletti ³	33,4											33,4
	Alto Valle ³	33,6											33,6
	Va° Regina ³	33,3											33,3
	Guerrico ⁶	40,9	40	38,5	34,9	31,3	27,3	27,3	30,9	33,7	39,1	39,6	40,5
Precipitación (mm)	Neuquén ²	60,1						72					60,1
	Neuquén ³	11						8					11
	Neuquén ⁴	12,9	11,9	23,6	15,3	21,1	23,5	15,9	11,4	19,3	20,3	14,5	11,2
	Neuquén ⁵	13,5	12,6	14,8	21,9	26,4	17,6	17,9	9,6	16,5	32,9	17,7	10,3
	Cipolletti ²	97							74				97
	Cipolletti ³	11							10				11
	Alto Valle ³	13							10				13
	Va° Regina ³	15							10				15
	Guerrico ⁶	19	22,9	24,2	23,5	21,3	18,1	15,7	10,6	18,1	23,6	15,1	14,7
Humedad relativa (%)	Neuquén ²	42,5						67					42,5
	Neuquén ³	38						64					38
	Neuquén ⁴	36,7	44	53,4	62,2	67,7	71,7	68,5	58,7	51,1	44,3	38,3	36,1
	Neuquén ⁵	38,1	45,4	53,6	63	70,2	70,9	68	58,8	51,1	46,5	39,9	37,2
	Cipolletti ²	51,7							71				51,7
	Cipolletti ³	41							62				42
	Alto Valle ³	48							64				48
	Va° Regina ³	60							72				60
Guerrico ⁶	51	56	61	65	68	70	68	60	56	55	51	50	
Velocidad viento (Km/h)	Neuquén ²	12,6						9,2					12,6
	Neuquén ⁴	12,8	11,3	9,9	8,8	8,3	9,3	9,5	9,7	10,3	12,8	13,9	13,8
	Neuquén ⁵	12,1	10,4	8,4	7,7	7	8,3	7,9	9,3	10,2	10,9	12	12,8
	Cipolletti ²	11,9							6,9				11,9
	Cipolletti ³	18							9				18
	Alto Valle ³	18							16				18
	Guerrico ⁶	5,9	5	4,6	4,2	4,2	5,4	5,1	6	6,7	6,7	7,3	7

Fuentes:

- ² Norma IRAM 11603 Clasificación bio ambiental de la República Argentina 2012.
³ Norma IRAM 11603 Clasificación bio ambiental de la República Argentina 1996.
⁴ Servicio Meteorológico Nacional. Estadísticas Climatológicas Normales - 1991-2020.
⁵ Servicio Meteorológico Nacional. Estadísticas Climatológicas Normales - 1981-2010
⁶ Variabilidad agroclimática en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén.

2. Metodología

Con el fin de responder a las preguntas de investigación: *i) ¿Es el clima del AVRN suficientemente uniforme como para asignar las características climáticas de una base de datos a toda la zona?; ii) ¿La información climática estimada brindada por el satélite podría ser utilizada para las localidades del valle que no poseen estación meteorológica?; iii) ¿Qué estrategias bioclimáticas se deberían implementar en esta región para alcanzar condiciones de confort higrotérmico sin energía adicional?;* se propone comparar los datos existentes, empíricos, de Neuquén y Cipolletti con los datos satelitales originados mediante teledetección para analizar la fidelidad de los mismos; realizar una correlación entre los datos estimados para una misma variable en distintas localidades del AVRN y así evaluar la uniformidad de los datos a lo largo del Valle. Por último, se pretende representar la/s localidad/es en el diagrama psicrométrico para determinar cuáles son las estrategias más eficaces.

2.1 Fidelidad de datos satelitales

MERRA-2 (*Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version-2*) es una base de datos de libre acceso de la NASA, que provee diversas variables atmosféricas a nivel horario para el período 1980-actualidad (sin huecos), para todo el globo. Su interfaz permite descargar los datos en el intervalo deseado para cualquier punto, lo que hace posible comparar con los datos reales disponibles para el aeropuerto de Neuquén y Cipolletti.

La humedad relativa es fuertemente proporcional a la temperatura y altamente sensible a sus cambios. El aumento de 1°C en una mezcla de aire repercute en la reducción de 3% de humedad relativa. Esto significa que si la temperatura es estable la humedad relativa también lo será, pero si la temperatura tiene una variación la humedad triplica esa variación. Por eso tiene mayor sentido analizar solo la temperatura, ya que la humedad replica las variaciones.

Para el caso de Cipolletti, se descarga un período de los dos últimos años de la base de datos y se filtran las horas que incluye el archivo brindado por SMN: las 9, las 15 y las 21. Con estas dos series análogas se procede a hacer la comparación.

El caso de Neuquén es diferente, porque, como todos los EPW, el archivo climático está compuesto por meses típicos, entonces el mes de enero está extraído del año

2007, febrero del año 2006, marzo de 2017 etc. En esta prueba se replica el año típico recopilando los datos diarios de cada mes del año correspondiente para conformar las dos muestras análogas que permitan hacer la comparación.

La metodología para comparar las muestras se basa en los criterios utilizados por la bibliografía para comparar datos reales y simulados (Ascione et al., 2017). De esta manera se calculan dos indicadores: el error medio absoluto (MAE), que es la suma de las diferencias entre el dato observado y el dato estimado dividida por el tamaño de la muestra; y el error cuadrático medio (ECM) mensual que es la diferencia promedio al cuadrado entre los valores estimados y el valor real.

Según las directrices M&V y ASHRAE es esperable que estos indicadores sean como máximo el 10% mensual para el MAE y 30%, como máximo, para el ECM.

Tabla 2. Tolerancias de calibración aceptables

<i>Periodicidad del dato</i>	<i>Índice</i>	<i>Valor máximo aceptable</i>
<i>Horario</i>	<i>Error medio absoluto (MAE) mensual</i>	$\pm 10\%$
	<i>Error cuadrático medio (ECM) mensual</i>	30%

Fuente: (U.S. Department of Energy, 2015, pp. 4-20)

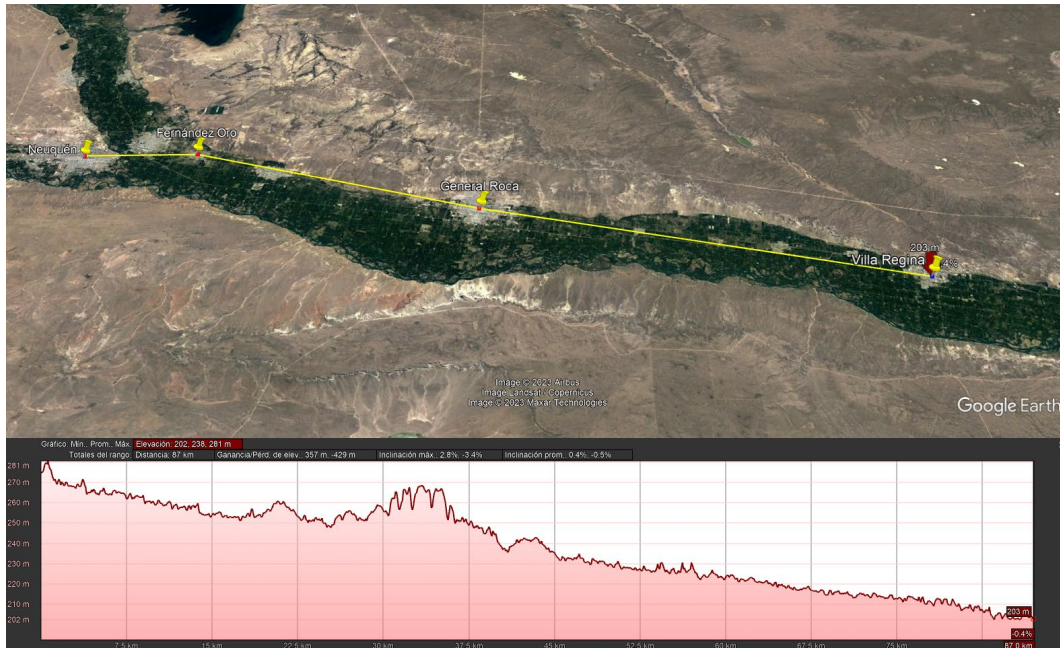
2.2 Uniformidad climática en AVRN

Utilizando la interfaz de MERRA-2 se recuperan datos de temperatura media ($^{\circ}\text{C}$), temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa (%) y precipitación (mm diarios) de julio de 2022 y de enero de 2021; para 4 localidades distribuidas a lo largo del AVRN: Neuquén, Fernández Oro, General Roca y Villa Regina (Figura 4).

Se representan en un gráfico de dispersión 62 puntos correspondientes al valor diario de los dos meses analizados, de a dos localidades a la vez: una en el eje X y otra en el eje Y. Si los valores de la localidad representada en el eje X son idénticos a los valores tomados por la localidad representada en el eje Y, la nube de puntos conforma a una distribución lineal perfecta, y si los datos son desiguales la fuerza de asociación a la recta se debilita. Cuanto más fuerte es la afinidad, más se aproximan los puntos al modelo lineal que generan. Esta propiedad se denomina coeficiente de correlación R. Sin embargo, el coeficiente de determinación R^2 es capaz de medir la fuerza de afinidad asignando a la muestra valores entre cero (no

hay distribución lineal) y uno (la afinidad es perfecta). Se utiliza como indicador este coeficiente de determinación R^2 , donde los valores entre 0,8 y 1 hablan de una muestra con muy buen ajuste, y entre 0,6 y 0,8 de un ajuste regular.

Figura 4. Selección de 4 ciudades del AVRN con perfil de elevación de 281m en el extremo OESTE, Neuquén; y 200m. en el extremo ESTE, Villa Regina.



Fuente: Google Earth.

2.3 Determinación de estrategias bioclimáticas idóneas

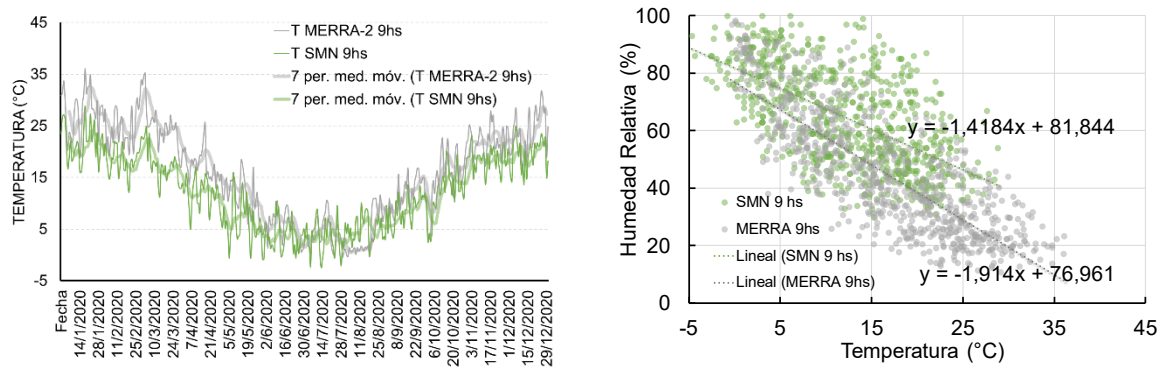
Para adoptar las estrategias más convenientes se grafican los puntos horarios del archivo climático sobre un diagrama psicrométrico en el que se indican las estrategias bioclimáticas dispuestas por Givoni. Dado que cada punto corresponde a un registro, la mayor concentración de puntos indica la intensidad de esa condición, y en tanto, se adoptan las estrategias que cubran las zonas más densificadas.

3. Resultados

3.1 Fidelidad de los datos satelitales

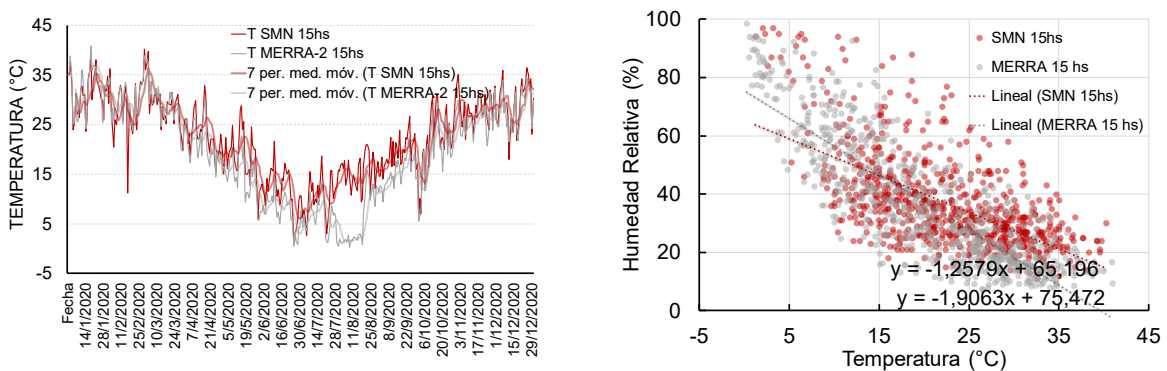
Se comparan los datos registrados respecto de los datos satelitales estimados, primero para Cipolletti y luego para Neuquén Aeropuerto.

Figura 5. Cipolletti. Comparación temperatura SMN y MERRA a las 9hs. A la izquierda, curva de T sobre eje temporal, y a la derecha diagrama de dispersión con línea de tendencia.



Fuente: elaboración propia

Figura 6. Cipolletti. Comparación temperatura SMN y MERRA a las 15hs a la izquierda, curva de T sobre eje temporal, y a la derecha diagrama de dispersión con línea de tendencia.



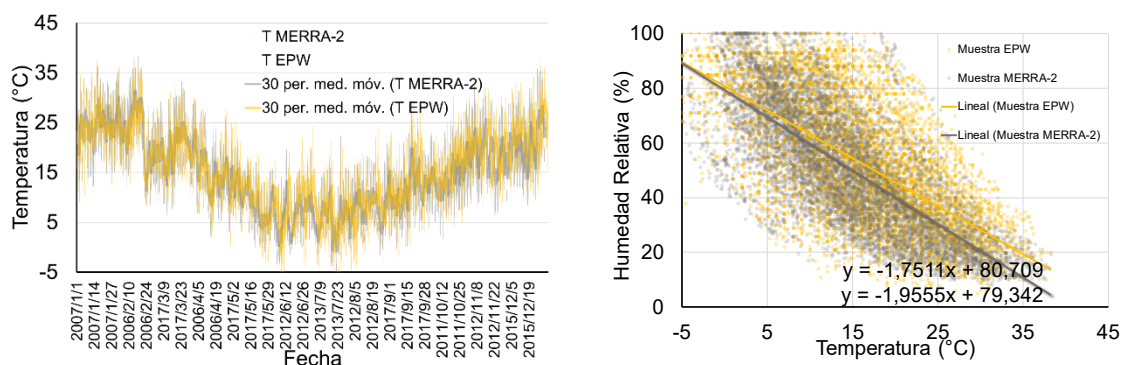
Fuente: elaboración propia

En gráficas superpuestas con datos estimados (MERRA-2) y reales (SMN) para Cipolletti se comparan la temperatura (T) y la humedad relativa (HR) a las 9 hs y a las 15 hs para evaluar la afinidad.

La Figura 5 y Figura 6 muestran la temperatura de 2020, las series en color es el dato medido por el SMN y la serie gris es el dato estimado por MERRA-2. Para simplificar su comparación se agrega una línea de tendencia media móvil período 7. Se observa un ajuste mayor en las horas de la tarde (más cálidas), y los mayores desajustes en agosto, de hasta 10°C; mientras que, por la mañana, el satélite determina temperaturas levemente más elevadas de lo real.

Para Neuquén la afinidad entre la muestra real y la estimada es superior. Los mayores desvíos se encuentran en los meses de invierno, en los que la temperatura real es mayor a la estimada. Esta diferencia no supera 5°C en ningún caso.

Figura 7. Neuquén. Comparación temperatura SMN y MERRA. A la izquierda, curva de T sobre eje temporal, y a la derecha diagrama de dispersión con línea de tendencia.



Fuente: elaboración propia

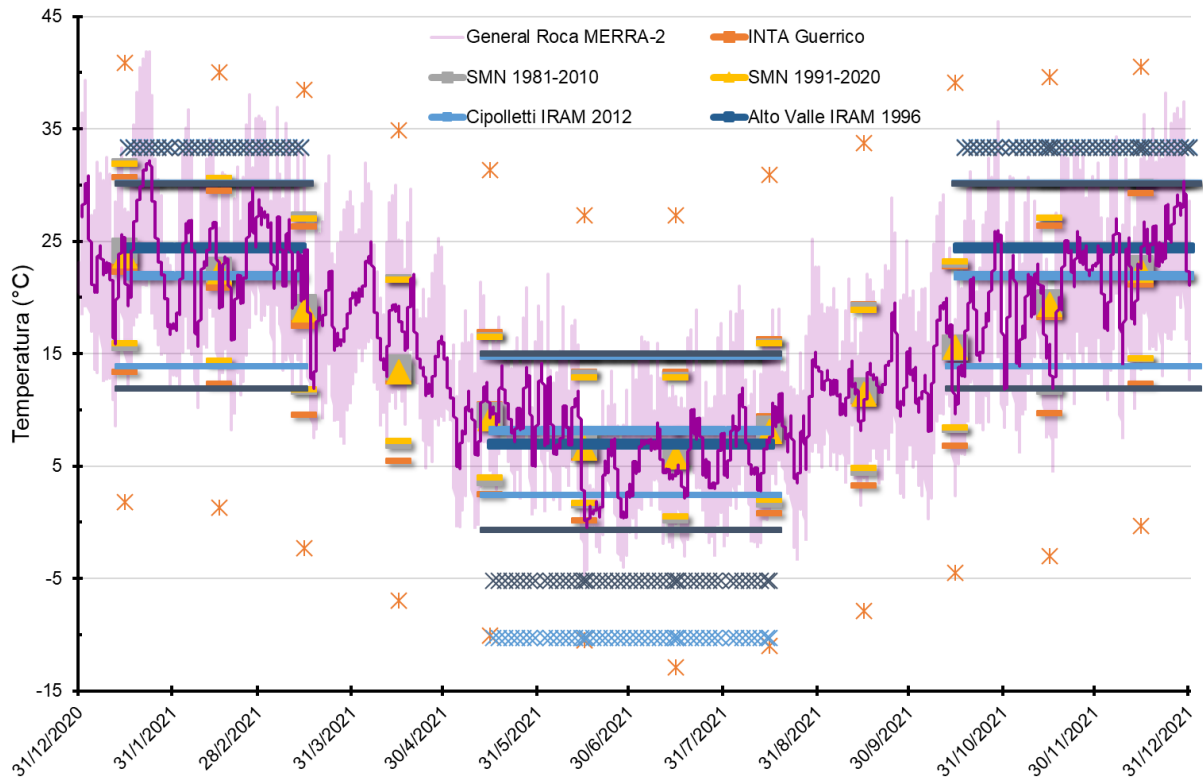
Tabla 3. MAE y EMC para la validación de datos satelitales como fuente de información climática

ZONA	CIPOLLETTI (9 hs)		CIPOLLETTI (15 hs)		NEUQUÉN	
	MAE (max 10%)	EMC (max 30%)	MAE (max 10%)	EMC (max 30%)	MAE (max 10%)	EMC (max 30%)
ENE	6,20	2,11	1,53	1,76	2,52	4,38
FEB	6,36	1,71	1,73	2,80	2,43	5,89
MAR	3,88	2,01	0,73	2,45	2,16	2,47
ABR	5,70	2,78	2,17	1,74	2,46	3,60
MAY	5,46	3,50	3,89	2,21	2,27	2,76
JUN	3,16	2,75	4,20	1,63	4,27	4,53
JUL	2,41	2,78	4,26	3,12	3,18	3,05
AGO	4,49	2,61	9,88	2,81	3,98	3,99
SEP	3,33	2,12	3,79	1,81	3,07	2,66
OCT	3,42	2,43	2,27	1,83	3,56	2,69
NOV	4,21	1,72	2,33	1,64	4,06	3,67
DIC	4,55	1,80	1,54	1,71	2,58	2,46

Fuente: elaboración propia

Los indicadores propuestos por la bibliografía y ASHRAE para evaluar afinidad entre las muestras, MAE y EMC alcanzan los valores expresados en la Tabla 3, no superando los máximos admisibles, aun en el caso de agosto en Cipolletti, donde se observa el mayor desalineo.

Figura 8: Comparación de T estimada por MERRA2 con datos de estaciones meteorológicas publicados.



Fuente: elaboración propia. Datos horarios y media móvil de MERRA-2 (Morado). Temperaturas medias, medias máximas, medias mínimas, máximas absolutas y mínimas absolutas de: SMN 1981-2010 (Gris); SMN 1991-2020 (Amarillo); IRAM 11603 (2012) (Celeste); IRAM 11603 (1996) (Azul); INTA (Anaranjado).

En la Figura 8 se grafica el conjunto de T horaria para el año 2021 en General Roca, obtenido de la base de datos satelital (estimada), superponiendo los registros de estaciones meteorológicas. La curva morada es una media móvil (periodo 24 horas) mientras que el dato horario conforma una cinta cuyo ancho representa la amplitud diaria mencionada, coincidente con las mínimas y máximas medias de la bibliografía. En dos ocasiones la T alcanza el punto máximo absoluto (enero y diciembre), sin embargo, en esta muestra del año 2021 la T mínima absoluta no alcanzó en ningún momento los valores de las estaciones meteorológicas.

De este análisis interpretamos que los datos teledetectados replican las condiciones registradas con suficiente aproximación como para justificar su adopción en caso de no contar con registros empíricos.

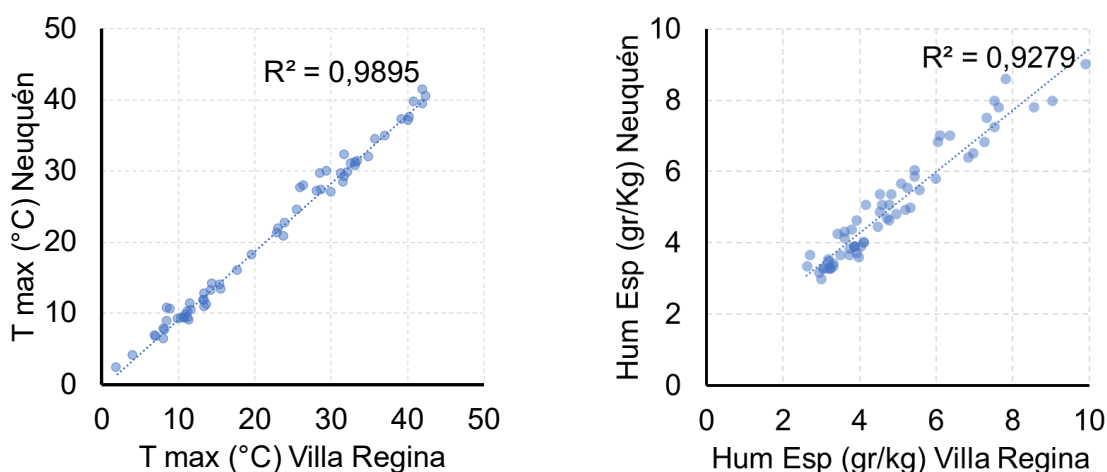
3.2 Uniformidad climática en AVRN

Los registros climáticos satelitales se comparan para indagar la homogeneidad higrótérmica de la región de estudio. De las muestras de Neuquén, Fernández Oro, General Roca y Villa Regina se seleccionan un mes de verano, enero; y un mes de invierno, julio.

Para cuantificar el ajuste o similaridad de las variables climáticas a lo largo del AVRN se calcula el R^2 de todas las combinaciones. En la Figura 9, la relación entre la T máxima de Villa Regina y de Neuquén es muy fuerte y el $R^2=0,989$. Obtener asociaciones fuertes, con coeficientes de correlación cercanos a 1, para todas las variables analizadas en las cuatro localidades representativas del AVRN permite confirmar la homogeneidad del clima.

La Figura 9 muestra asimismo la relación que se da entre los registros de humedad específica en enero y julio para Villa Regina y Neuquén, evidenciando que al igual que en el caso de la T máxima, existe una relación lineal fuerte entre las dos muestras.

Figura 9: Correlación de T max (°C) y Humedad específica entre Neuquén y Villa Regina



Fuente: elaboración propia.

La Tabla 4 presenta los resultados de las pruebas de coeficiente de determinación realizadas para cada par de localidades y a cada una de las cuatro variables más

relevantes de las extraídas: temperatura máxima y mínima, humedad relativa, humedad específica y precipitación.

Los resultados con las asociaciones más fuertes se observan en las localidades más cercanas, por ejemplo, entre Neuquén y Fernández Oro, y el valor R^2 se reduce a medida que aumenta la distancia. Para los casos de temperatura y humedad, la bondad de ajuste es elevada en todos los casos, superior a 0,9, lo que permite inferir que se trata de localidades con condiciones climáticas análogas, y que se pueden proponer las mismas estrategias bioclimáticas en todo el AVRN.

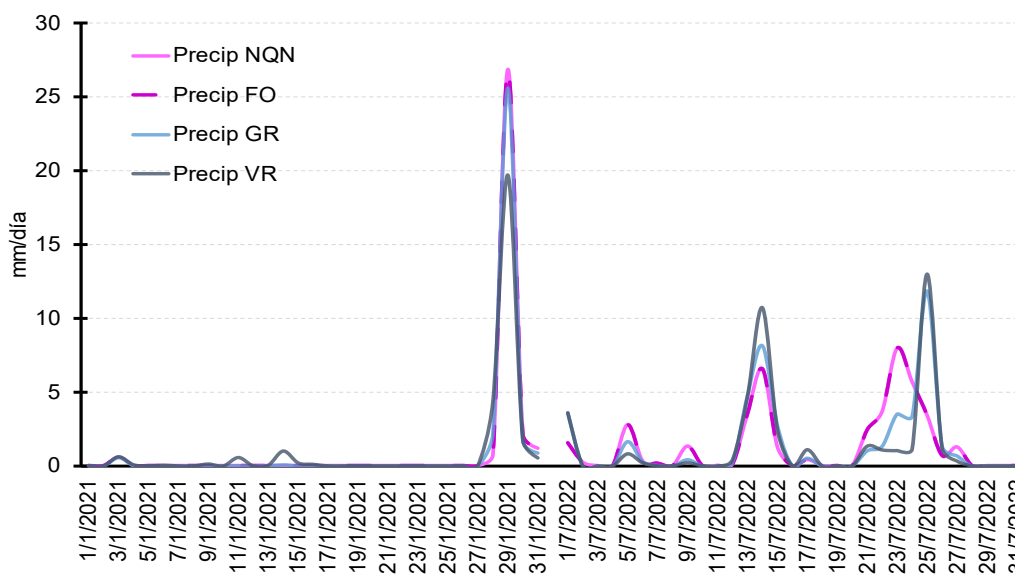
Tabla 4: Valores de coeficiente de determinación (R^2) para Tmax, Tmin, HE, Hesp y Precipitación de la muestra de 4 localidades para enero de 2021 y julio de 2022.

Localidad		Neuquén	Fernández Oro	Gral. Roca	Villa Regina
Temperatura máxima	<i>Neuquén</i>	-	1	0,99	0,989
	<i>Fernández Oro</i>	1	-	0,995	0,996
	<i>Gral. Roca</i>	0,995	0,995	-	0,996
	<i>Villa Regina</i>	0,989	0,99	0,996	-
Temperatura mínima	<i>Neuquén</i>	-	1	0,995	0,988
	<i>Fernández Oro</i>	1	-	0,995	0,988
	<i>Gral. Roca</i>	0,995	0,995	-	0,994
	<i>Villa Regina</i>	0,988	0,988	0,994	-
Humedad relativa	<i>Neuquén</i>	-	1	0,989	0,97
	<i>Fernández Oro</i>	1	-	0,989	0,97
	<i>Gral. Roca</i>	0,989	0,989	-	0,991
	<i>Villa Regina</i>	0,97	0,97	0,991	-
Humedad específica	<i>Neuquén</i>	-	1	0,937	0,927
	<i>Fernández Oro</i>	1	-	0,937	0,927
	<i>Gral. Roca</i>	0,937	0,937	-	0,983
	<i>Villa Regina</i>	0,927	0,927	0,983	-
Precipitación	<i>Neuquén</i>	-	1	0,861	0,685
	<i>Fernández Oro</i>	1	-	0,961	0,685
	<i>Gral. Roca</i>	0,861	0,861	-	0,935
	<i>Villa Regina</i>	0,685	0,685	0,935	-

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 4 muestra que los valores con menor afinidad son para la variable precipitación. Sin embargo, al mirar en detalle esa variable aislada se manifiesta que las lluvias son parejas, si bien parece que llueve entre 2 y 4 mm más en Villa Regina que en Neuquén, en verano esa condición se invierte.

Figura 10: Milímetros de lluvia por día durante enero de 2021 y julio de 2022 para Neuquén (NQN), Fernández Oro (FO), General Roca (GR), y Villa Regina (VR).



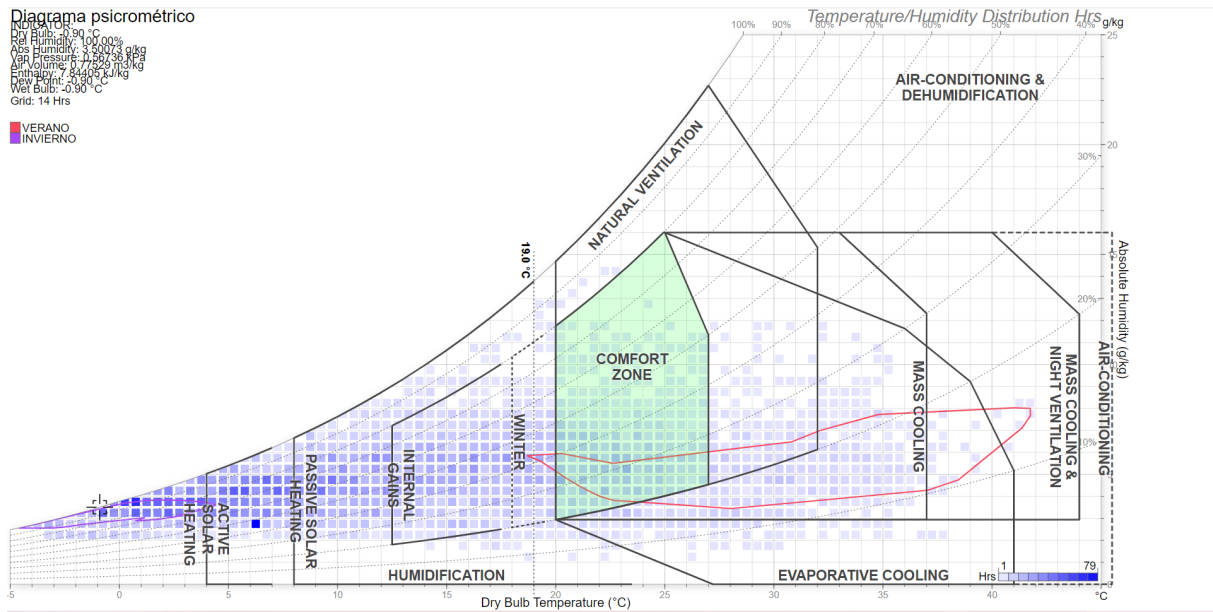
Fuente: elaboración propia

3.3 Determinación de estrategias bioclimáticas idóneas

Finalmente, el estudio se enfoca en determinar las estrategias bioclimáticas válidas extrapolables a la región. La Figura 11 muestra un diagrama psicrométrico elaborado a partir de un archivo EPW para el año 2022 extraído de la base de datos de teledetección correspondiente a la zona urbana de General Roca.

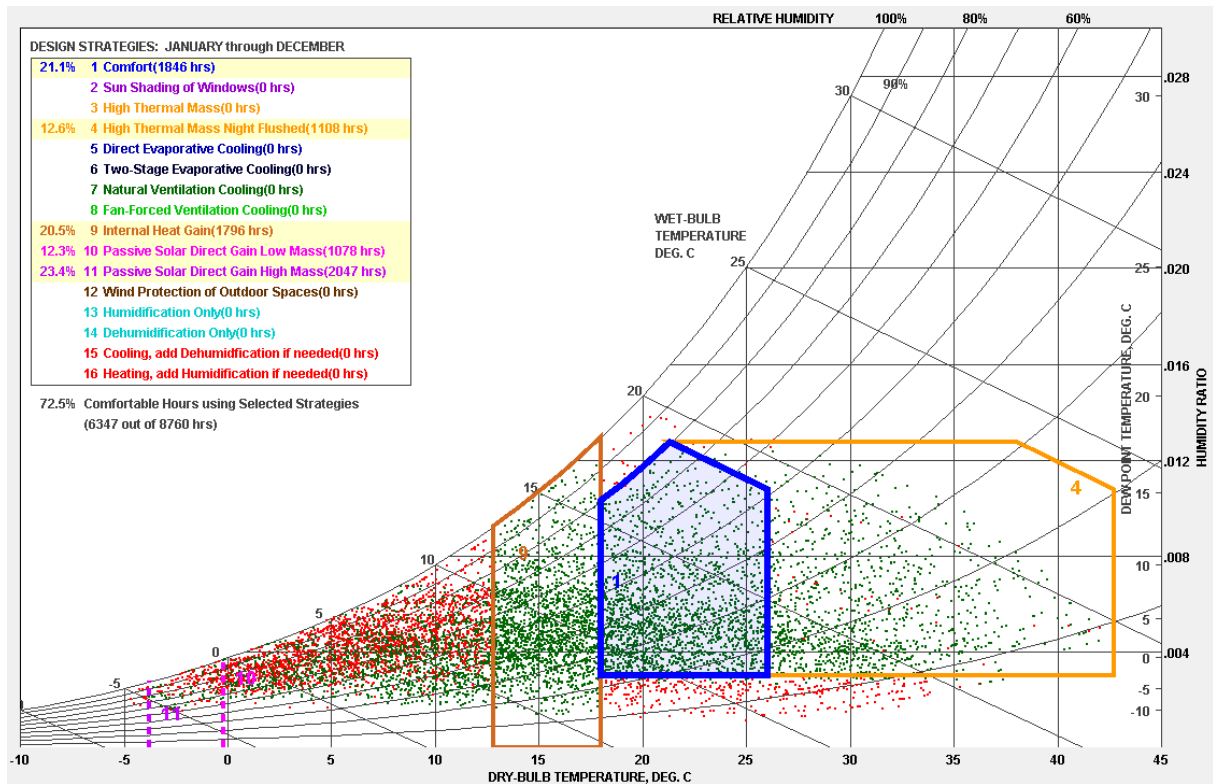
El gradiente azul de la grilla obedece a la cantidad de horas en las que un registro de T y humedad caen en la cuadrícula. Por eso los puntos más oscuros son más frecuentes y los más claros, los eventuales. El 21% de las horas del año, las condiciones interiores son de confort, entre 18° y 26° C y 20 y 80% de humedad relativa. El polígono rojo representa las condiciones de un día típicamente cálido, en el que durante la noche y la mañana ocurren condiciones de confort, pero llegando a 42°C las recomendaciones son ventilación natural, utilizar masa acumuladora para refrescar, y ventilación selectiva. El polígono morado representa las condiciones de un día típicamente frío, con amplitud térmica reducida, y siempre fría entre -5 y 5°C. Para esta condición Givoni sugiere incorporar estrategias solares activas y calefacción convencional.

Figura 11: Diagrama psicrométrico de Givoni para General Roca – AVRN – EPW 2022.



Fuente: elaboración propia utilizando la herramienta “Psychrometric Chart” de Dr. Andrew Marsh.

Figura 12: Estrategias de diseño



Fuente: Elaboración propia con EPW generado utilizando herramienta Climate Consultant 6.

Para confirmar la efectividad de estas 3 estrategias se utiliza Climate Consultant 6 (Liggett & Milne, 2008) analizando el archivo EPW elaborado para AVRN. El 21% de las horas del año se encuentran naturalmente en condiciones de confort. Al aplicar la estrategia de alta inercia térmica con descarga nocturna (*high thermal mass night flushed*) con lo que se incorpora el 12,6% a la zona de confort y atendiendo toda la región de calor y exceso de temperatura del verano. Como estrategia adicional, si se mejora la envolvente para conservar las ganancias de calor internas (*internal heat gains*) se amplía cubriendo el 20,5% de las horas a la izquierda de la zona de confort, es decir, las que están entre 13° y 18°C. Con esas dos estrategias se cubre el 54,2% de las horas del año en confort. Y finalmente, incorporando ganancia solar directa con masa de acumulación (*passive solar direct gain high mass*) puedo incrementar las horas de confort un 18,3% adicional, alcanzando el 72,5% de las horas del año sin utilizar equipamiento de climatización artificial.

4. Conclusiones

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el clima del Alto Valle de Río Negro para determinar las posibilidades de mejorar el confort higrotérmico en edificios por medio de estrategias de diseño bioclimático.

Se detecta que la información climática disponible es insuficiente y genérica, y una compilación de esta se presenta en la Tabla 1. Se considera la posibilidad de utilizar datos satelitales estimados, y a tal fin se propone una metodología para contrastarlos con datos reales y determinar su pertinencia. Otro problema para considerar es si en los 88 km del AVRN existen variaciones climáticas que ameriten el análisis particular de cada ciudad o si, por el contrario, las condiciones homogéneas permiten adoptar las mismas estrategias y recomendaciones. Para ello fue necesario reunir información de datos satelitales de distintos puntos de la zona y corroborar que a lo largo del Valle se perciben las mismas características del clima, lo que indica que serían válidas las mismas recomendaciones de diseño.

Estos dos pasos intermedios proveen resultados con valor en sí mismo: la homogeneidad climática a lo largo de los 88 km. que separan Neuquén de Villa Regina; y la posibilidad de acceder gratuitamente a datos que demuestran ser confiables de cualquier punto del Valle.

La facilidad para generar y descargar el archivo .EPW utilizando el predictor de recursos energéticos mundiales de la NASA permite analizar y proponer intervenciones a partir de datos horarios, que son superiores a los datos de temperatura y humedad medios mensuales que se suelen encontrar. Especialmente en climas secos, con amplitud térmica diaria de 11°C a 16°C, los valores medios no representan ajustadamente la rigurosidad del clima tanto las temperaturas máximas en verano como las temperaturas mínimas en invierno.

El contar con un archivo climático local permitió utilizar diferentes herramientas en línea y gratuitas para reconocer con agilidad cuáles son las estrategias idóneas para este clima, como *Climate Consultant* o *Psychro-chart* de Dr. A. J. Marsh, basadas en la producción de Baruch Givoni.

Las estrategias bioclimáticas resultantes de este análisis son inercia térmica con descarga nocturna, ganancia solar directa, y aprovechamiento de las ganancias térmicas internas. A partir de este resultado esperamos desarrollar en profundidad alternativas constructivas para su implementación en arquitectura.

Si bien estas estrategias son conocidas y llevadas a la práctica por muchos constructores locales, hasta donde sabemos, ninguna investigación previa ha realizado un análisis detallado sobre el clima del AVRN con fines de adopción de estrategias de diseño bioclimático.

5. Referencias

Acosta, W. (2013). *Vivienda y clima* (A. Gaité, Ed.; 1a edición). Miniediciones Helios.

Albers, C. (1996). *Planificación comunal en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, Argentina*. Inst. für Geographie der Techn. Univ.

Andrade, H. N., Nunes, A. B., & Teixeira, M. S. (2022). South Atlantic explosive cyclones in 2014-2015: Study employing NCEP2 and MERRA-2 reanalyses. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 94.

<https://doi.org/10.1590/0001-3765202220200797>

Ascione, F., Bianco, N., De Masi, R. F., Mauro, G. M., & Vanoli, G. P. (2017). Chapter 19—Cost-Effective Refurbishment of Italian Historic Buildings. En F. Pacheco-Torgal, C.-G. Granqvist, B. P. Jelle, G. P. Vanoli, N. Bianco, & J. Kurnitski (Eds.), *Cost-Effective Energy Efficient Building Retrofitting* (pp. 553-600). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101128-7.00019-8>

ASHRAE. (2004). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ANSI.

de Dear, R., & Brager, G. S. (1998). *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*. <https://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6>

Hernandez Pezzi, C. (2010). *Un vitruvio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible*. Gustavo Gili.

IRAM. (1996). *IRAM 11603 Acondicionamiento térmico de edificios Clasificación bioambiental de la República Argentina*.

IRAM. (2012). *IRAM 11603 Acondicionamiento térmico de edificios Clasificación bioambiental de la República Argentina*.

Liggett, R., & Milne, M. (2008). *Climate consultant (Versión 6) [JAVA]*. UCLA.

Olgay, V., Frontado, J., & Clavet, L. (1998). *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas* (Primera edición, décima tirada) impresión digital. Gustavo Gili.

Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

Richardson, D. B., & Andrews, R. W. (2014). Validation of the MERRA dataset for solar PV applications. *2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, 0809-0814. <https://doi.org/10.1109/PVSC.2014.6925039>

Rodríguez, A., & Muñoz, A. (2022). *Variabilidad agroclimática en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén*. INTA.

Rosales, J. S., Bravo, I., Turraca, D., Bocco, M., & Sayago, S. (19-30 de octubre de 2020). Evaluación de datos obtenidos del producto MERRA-2 (NASA) con estaciones meteorológicas de las provincias de Catamarca y La Rioja (Argentina) para estimar temperaturas en zonas nogaleras. *49JAIIO - CAI Congreso Argentino de Agroinformática*, CABA, Argentina.

SMN. (2010). *Estadísticas Climatológicas Normales—Período 1981-2010*. Servicio Meteorológico Nacional. Datos abiertos. <https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos>

SMN. (2020). *Estadísticas Climatológicas Normales—Período 1991-2020*. Servicio Meteorológico Nacional. Datos abiertos. <https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos>

U.S. Department of Energy. (2015). M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects Version 4.0 (Federal Energy Management Program (FEMP)) <https://www.energy.gov/femp/articles/mv-guidelines-measurement-and-verification-performance-based-contracts-version-40>.

Wright, D., Cook, J., Andrejko, D. A., Wolters, G. J., & Wright, D. (2008). *The passive solar primer: Sustainable architecture*. Schiffer Pub.

ⁱ “Energy Plus Weather file”, es un archivo climático que se utiliza para hacer simulaciones con Energy Plus. https://energyplus.net/weather-region/south_america_wmo_region_3/ARG