

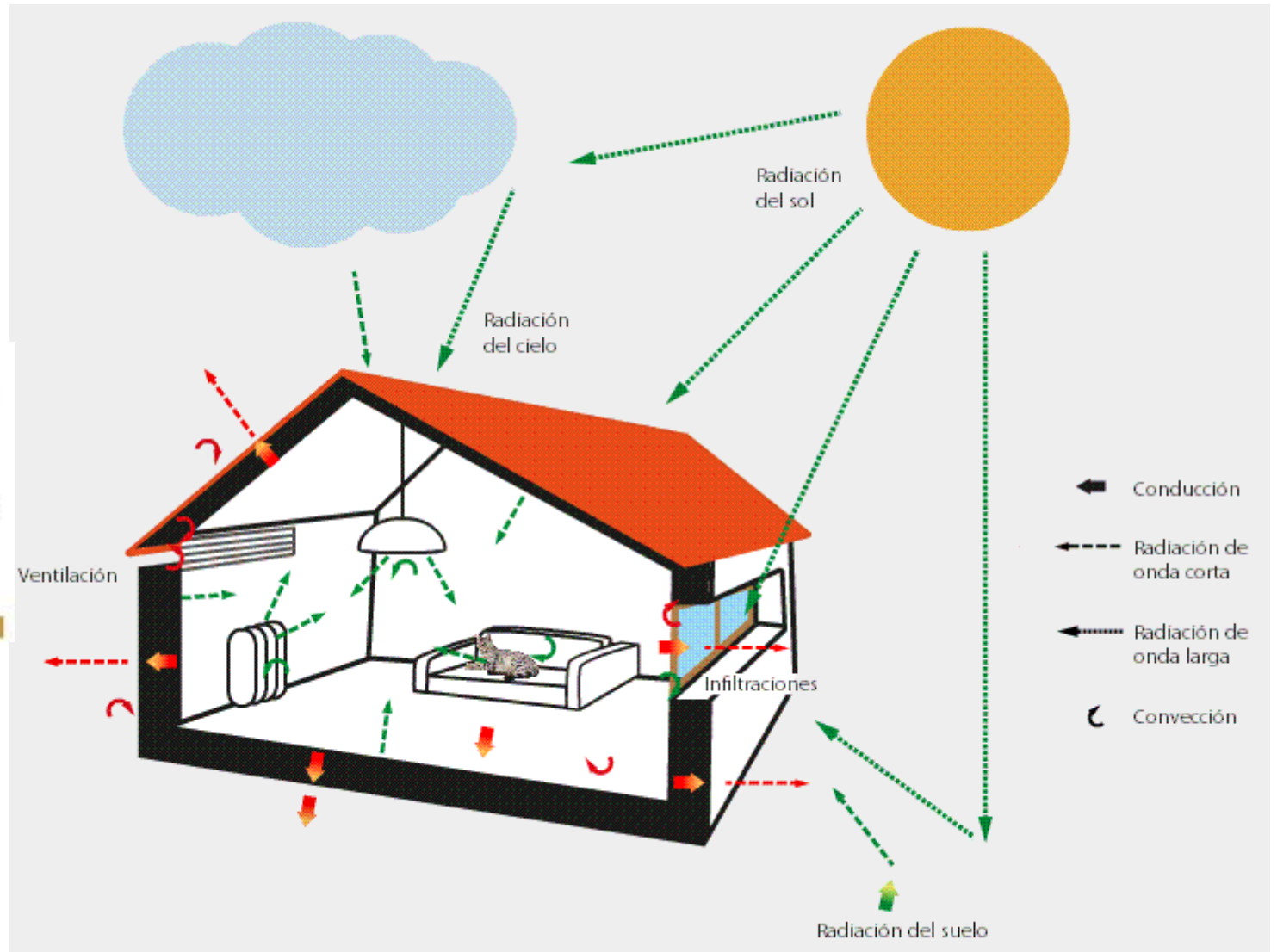


El desafío de implementar tecnologías verdes en zonas áridas

Dr. Ing. Agr. Emiliano Flores Asin

Abril 2025

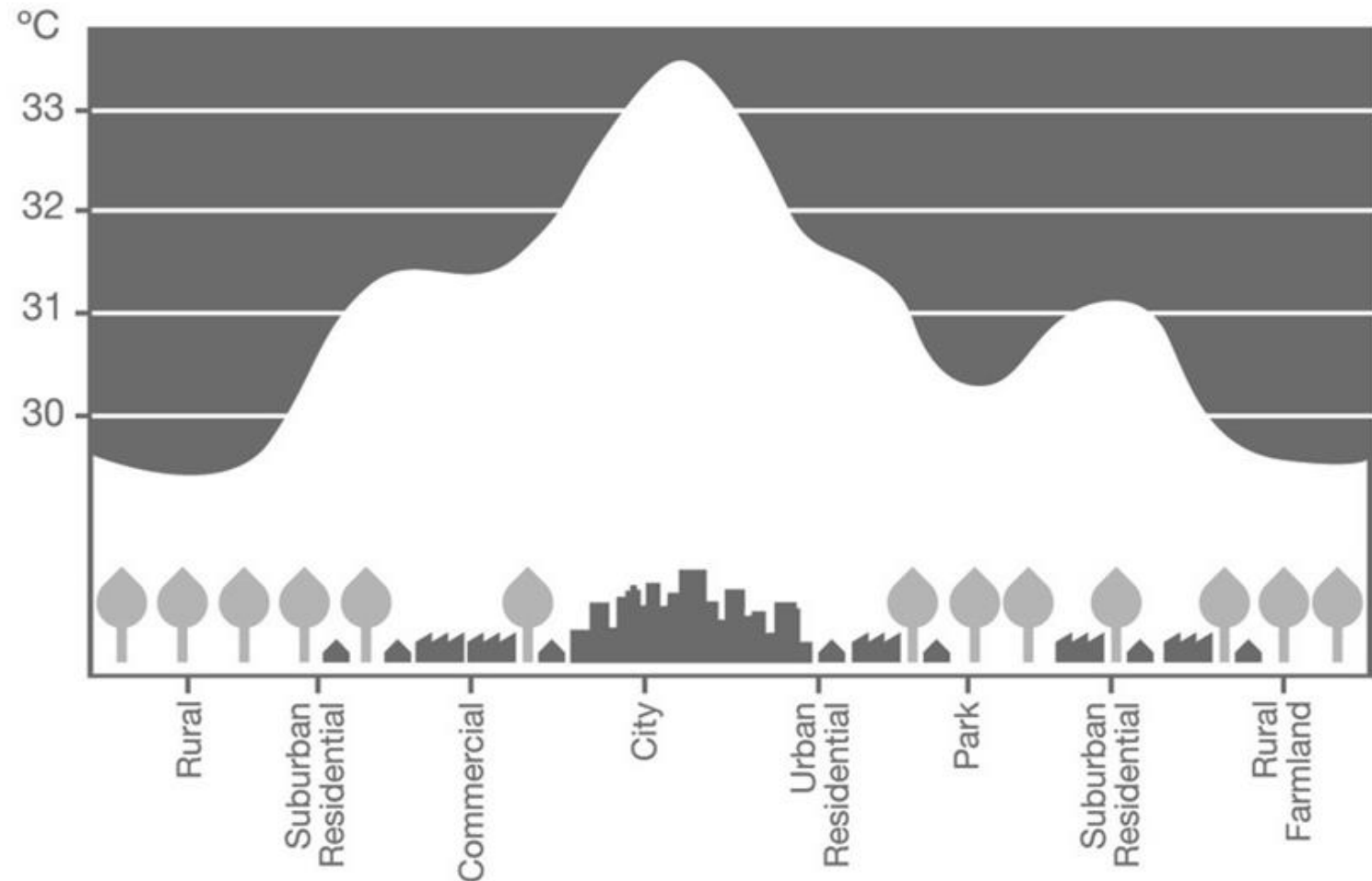
Transferencia de calor



ISLA DE CALOR URBANA

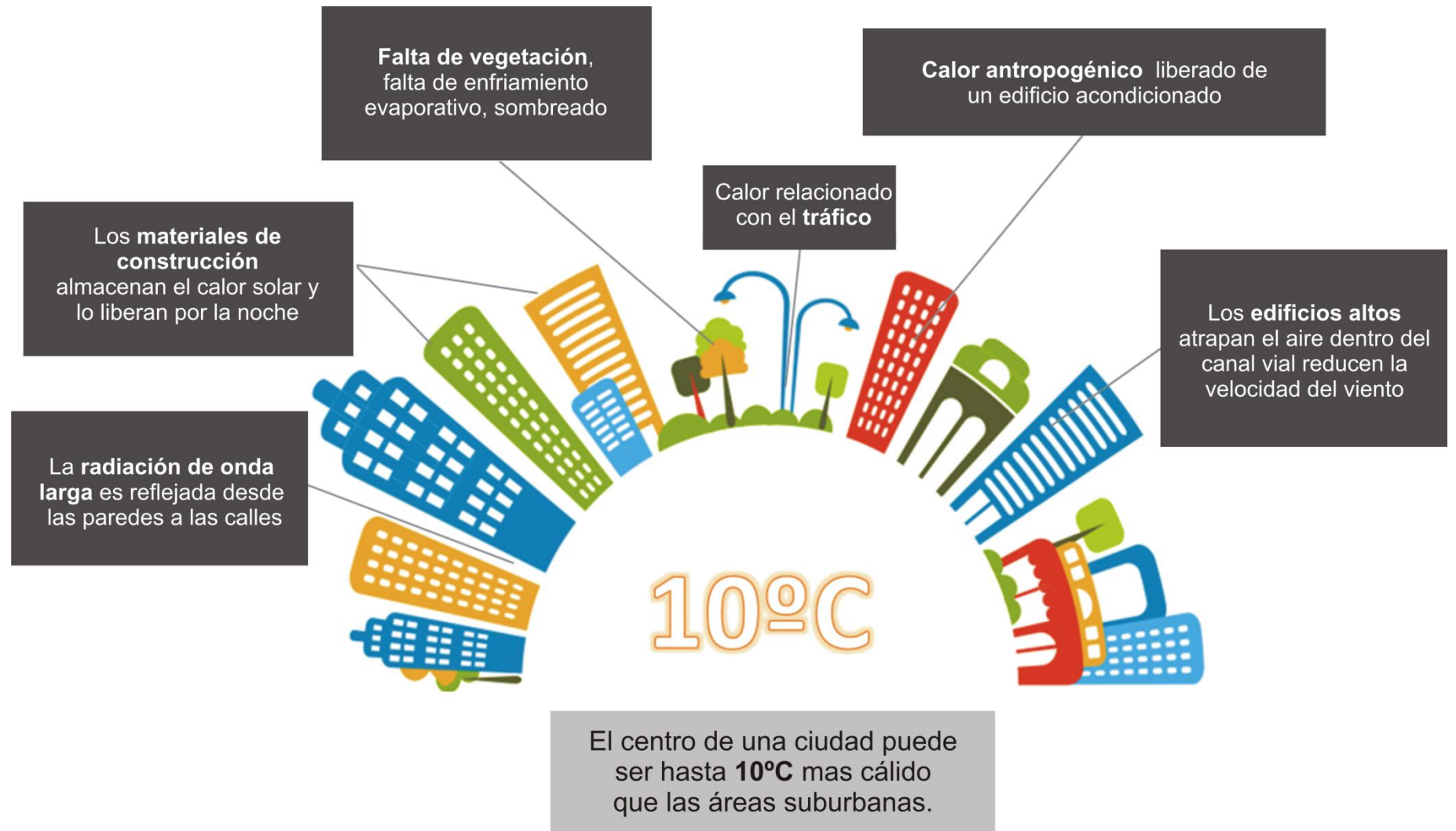
¿Qué es?

- Incremento de la temperatura de aire de las áreas urbanas respecto a la de las zonas rurales.



ISLA DE CALOR URBANA

Factores que contribuyen en su formación



ISLA DE CALOR URBANA

Consecuencias

EFFECTOS

- Sobre la **salud humana**: estrés por calor y causan insomnio y deshidratación. Disconfort térmico.
- Sobre el **consumo de energía**



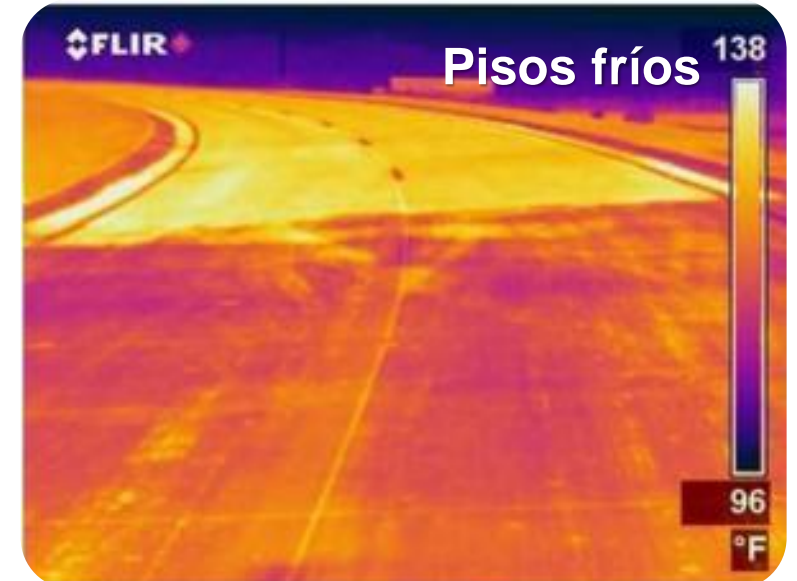


¿CÓMO MITIGAR?

MATERIALES REFLECTIVOS O FRIOS

Estrategias

Trabajar sobre la **capacidad de absorción** de la superficie externa de los edificios.



TECNOLOGÍAS VERDES

Estrategias

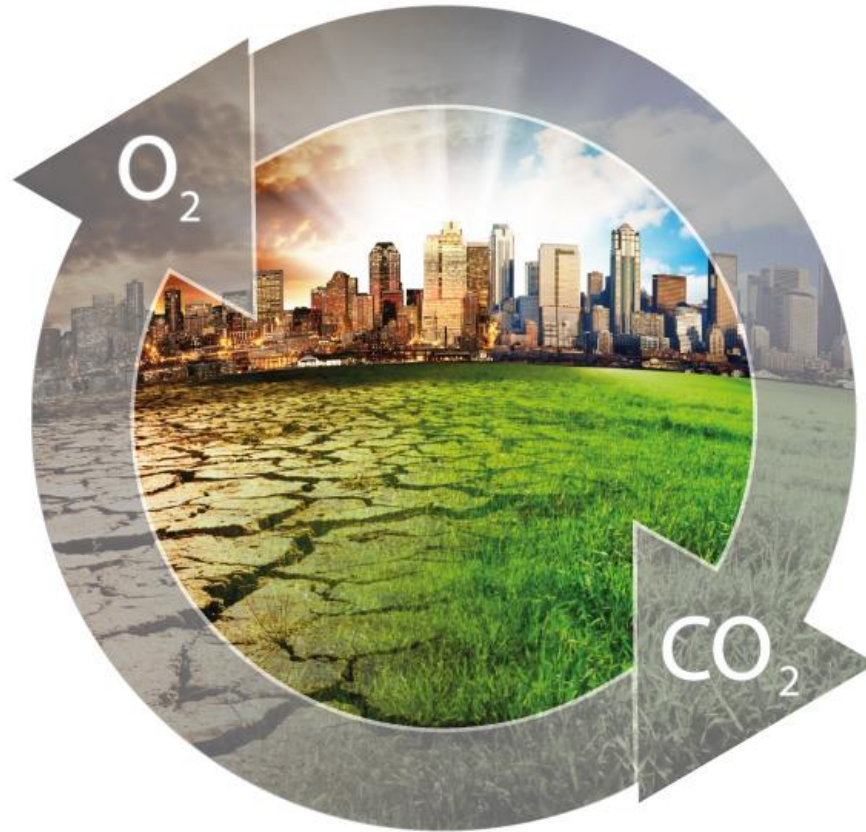
Trabajar sobre la **capacidad de absorción** de la superficie externa de los edificios.



ROLES DEL ENVERDECIMIENTO URBANO

¿Qué aportan
las estructuras
verdes en la
ciudad?

Servicios
ecosistémicos



De Soporte

- Permiten la conectividad con la Estructura Ecológica Principal.
- Sirven de hábitat para las aves migratorias, anfibios, insectos.
- Aumentan el área verde urbana.
- Generan corredores ecológicos.
- Aprovechamiento de residuos orgánicos.

Cultural

- Fomentan la agroecología.
- Promociona el intercambio de saberes.

De Provisión

- Producción de alimento para fauna

De Regulación

- Refrescan el ambiente.
- Purifican el aire.
- Filtran el agua lluvia, llevándola más limpia al caudal.
- Disminuye el efecto isla de calor urbano.
- Aportan a la biodiversidad.

Estructuras verdes tradicionales

Estrategias con árboles y enredaderas

Trabajar sobre la **capacidad de absorción** de la superficie externa de los edificios.

Situación óptima de invierno



Situación óptima de verano



Sostenibilidad urbana

- El uso eficiente de la energía es uno de los pilares de la **sostenibilidad urbana** en ciudades consolidadas.
- Implementar estrategias que **reduzcan los consumos energéticos** es un desafío para el presente siglo.
- La valoración de la **sustentabilidad urbana** deja de manifiesto el **rol de la vegetación**, ya que la misma puede reducir las temperaturas urbanas de 0,5 a 4,0 °C.
- Las nuevas tecnologías verdes, permiten la **incorporación de vegetación** a envolventes edilicias en ciudades consolidadas **donde no se cuenta con vacíos urbanos disponibles** para otro tipo de estructura verde tradicional.

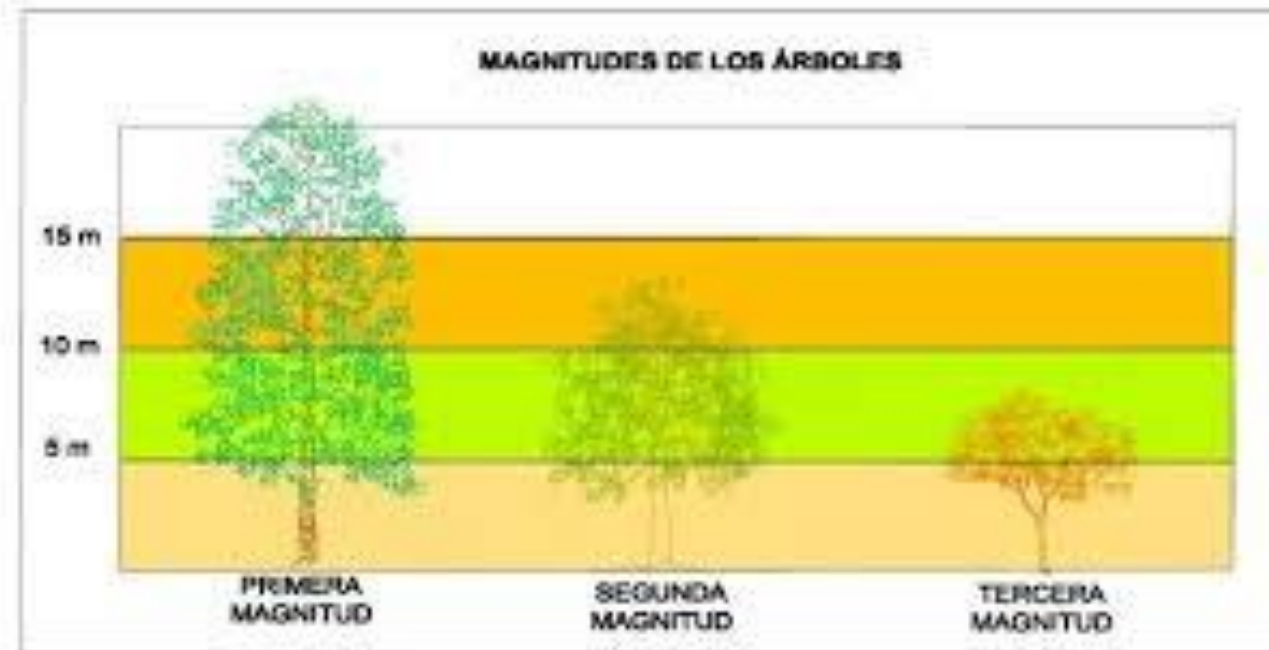
ESPACIOS VERDES TRADICIONALES

Arbolado de alineación, parques, plazas y patios



ARBOLADO DE ALINEACIÓN

Características



Especies aconsejadas según las dimensiones de las veredas

Magnitudes paisajistas de especies vegetales

- | | |
|-------------------|------------------|
| 1° Magnitud + 20m | 4° Magnitud + 3m |
| 2° Magnitud + 10m | 5° Magnitud + 1m |
| 3° Magnitud + 5m | 6° Magnitud - 1m |

Crespón

VEREDAS

ESPECIES

Angostas
(3-5 m)

Tercera a Cuarta Magnitud

- Albizia julibrissin "Acacia de Constantinopla"
- Prunus cerasifera 'Atropurpurea' "Ciruelo de jardín"
- Lagerstroemia indica "Crespón"
- Melia azedarach var umbraculifera "Paraíso sombrilla"
- Bauhinia forficata "Pezuña de vaca"
- Cercis siliquastrum "Árbol de Judea"
- Acer buergerianum "Arce"

Medianas
(5-7 m)

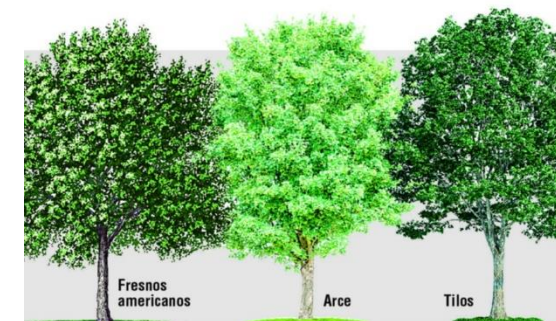
Segunda a Tercera Magnitud

- Tilia moltkei "Tilo"
- Fraxinus americana "Fresno americano"
- Fraxinus excelsior f. aurea "Fresno dorado"
- Fraxinus excelsior "Fresno europeo"
- Acer saccharinum "Arce azucarado"
- Handroanthus impetiginosus "Lapacho rosado"
- Jacaranda mimosifolia "Jacarandá"
- Gleditsia triacanthos inermis "Acacia blanca sin espina"
- Celtis australis "Almez"
- Aesculus hippocastanum "Castaño de la india"
- Catalpa bignonioides "Catalpa"
- Firmiana simplex "Parasol de la China"
- Styphnolobium japonicum "Sófora"
- Liriodendron tulipifera "Tulipanero"

Anchas
(> 7 m)

Segunda a Primera Magnitud

- Liquidambar styraciflua "Liquidambar"
- Platanus x hispanica "Plátano"
- Quercus rubra "Roble americano"
- Quercus robur "Roble europeo"
- Tipuana tipu "Típa"



Especies

NO ADECUADAS
para vereda

- | | | |
|--------------|------------|--------------|
| • Eucaliptus | • Cipreses | • Alamos |
| • Ficus | • Cedros | • Araucarias |
| • Gomero | • Palmeras | |
| • Pinos | • Sauces | |

PARQUES

Características



PLAZAS

Características



PATIOS

Características












TECNOLOGÍAS VERDES

Techos y muros verdes



Espacios verdes: PROBLEMÁTICA MUNDIAL

Índice internacional de
requerimiento de espacio
verde (OMS) : 1: 4 (20 %)

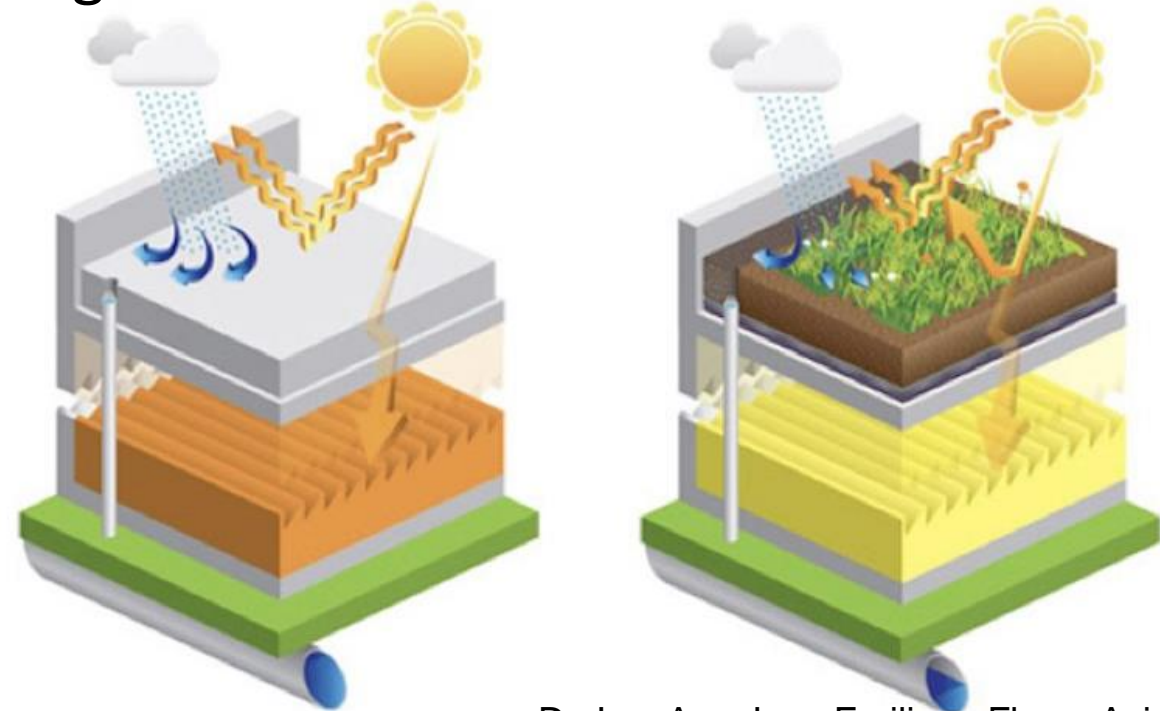
ESTRUCTURAS TRADICIONALES		NUEVAS TECNOLOGIAS	
Parques		Techos verdes	
Plazas			
Arbolado de alineación		Paredes verdes	
Pacios			

Incrementar áreas verdes en las ciudades implica generar nuevas formas de verde dado que las estructuras tradicionales (plazas, parques) no son viables de implementarse en ciudades consolidadas es decir no se cuenta con espacio disponible para introducir este tipo de estructuras.

Beneficios de incorporar verde

DISMINUCIÓN

- Efectos del calentamiento global
- Contaminación atmosférica
- Nivel de ruidos
- Escorrentía pluvial
- Efecto ICU
- Consumos de energía



Beneficios de incorporar verde

Cubiertas vegetadas –
Techos verdes

Ambientales

Provee de
H₂O



Propicia ciclos naturales



Reduce efecto invernadero



Aislamiento acústico

Económicos



Hipoteca verde



Incentivos gubernamentales



Aislamiento térmico



=



Sociales



Salud

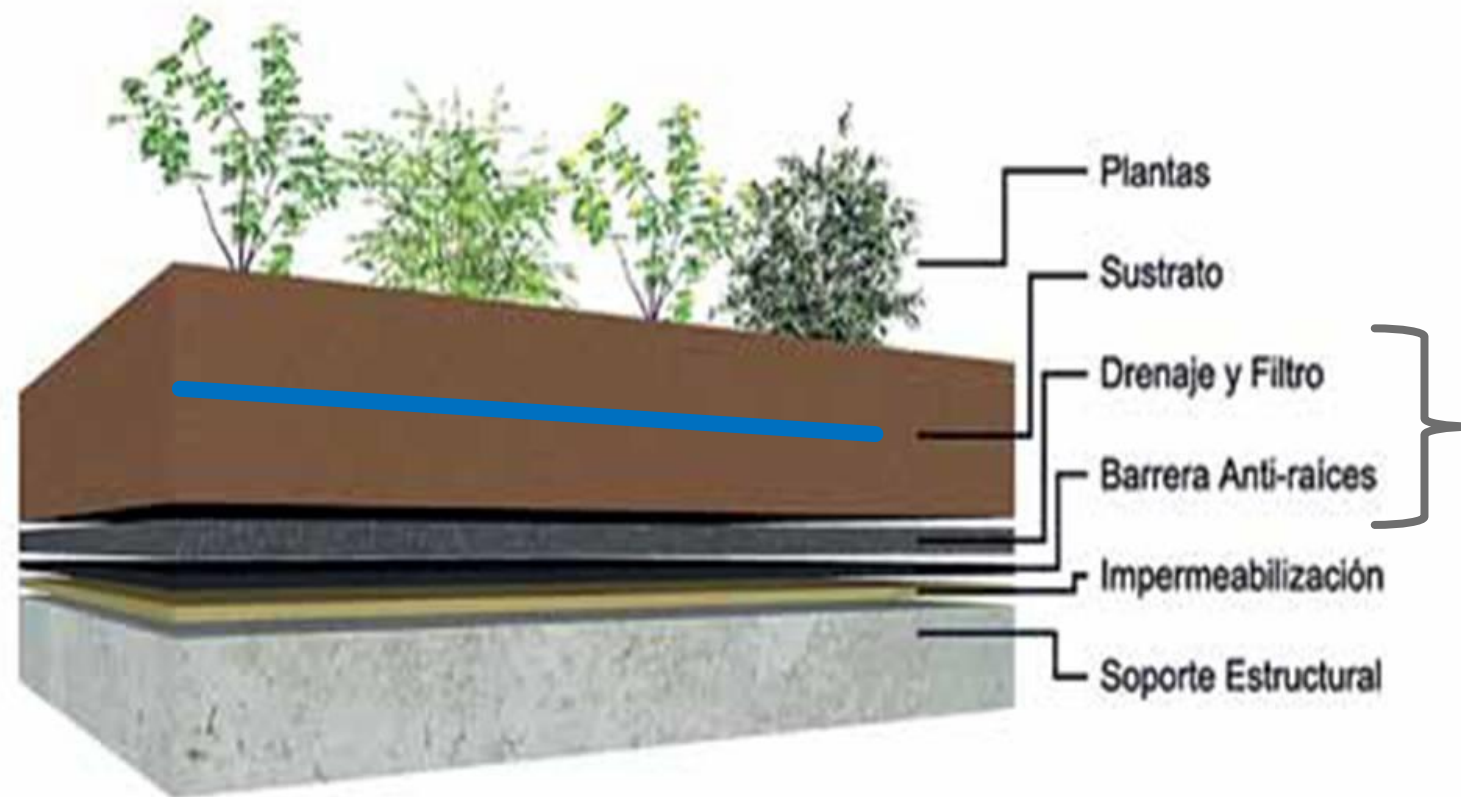


Espacios saludables



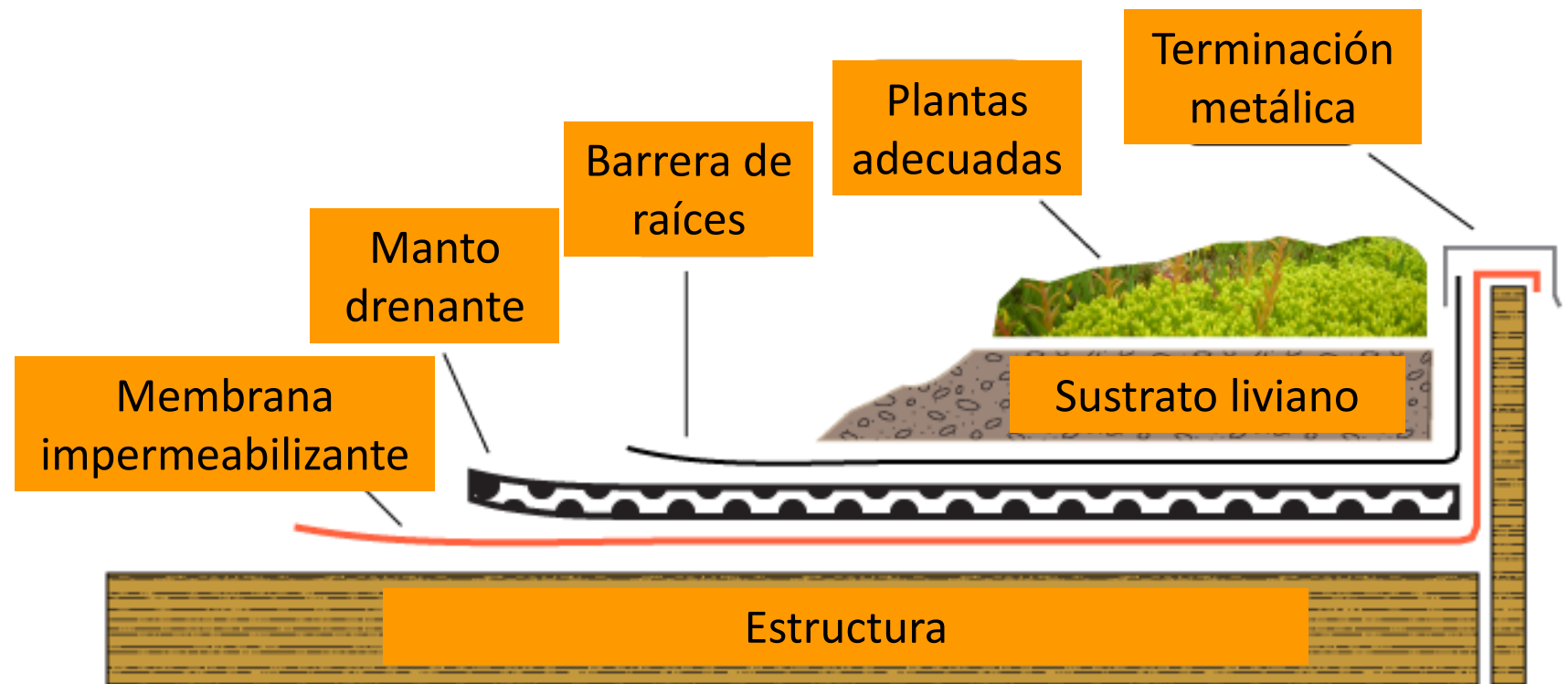
Espacios recreativos

Cubiertas vegetadas ¿Qué son?



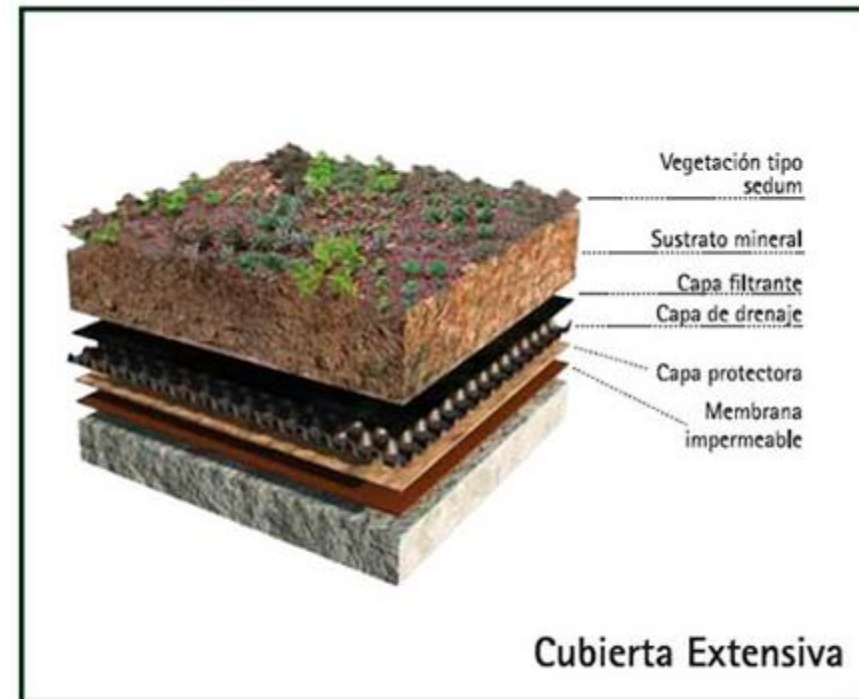
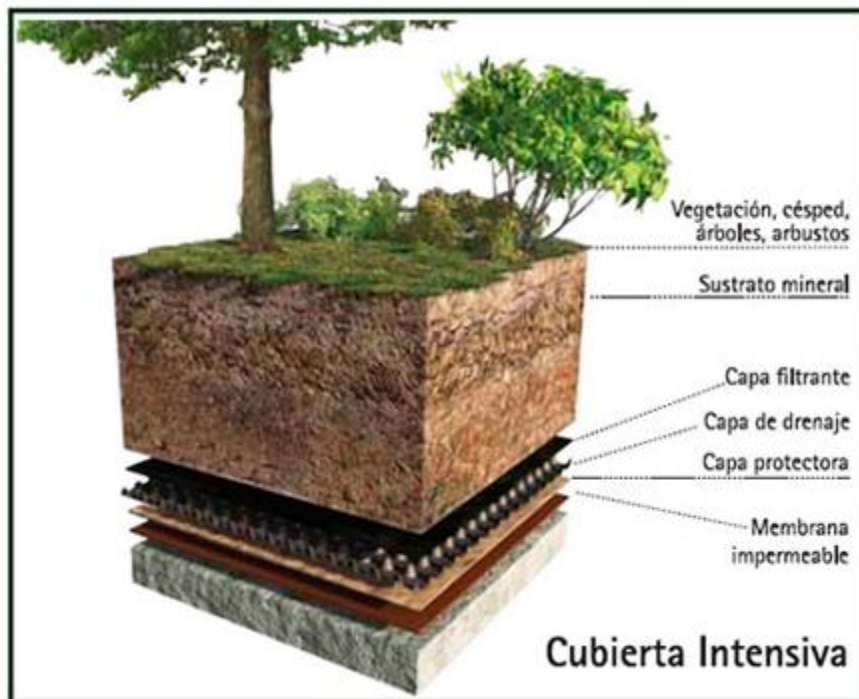
Tecnologías verdes ¿Qué son?

¿Cómo se
construye?



Tipos de Cubierta Vegetada

Sistemas multicapa



Tipos de Cubierta Vegetada

CARACTERÍSTICA	EXTENSIVO	SEMI-INTENSIVO	INTENSIVO
Espesor sustrato	Hasta 15 cms.	Entre 10 y 20 cms.	Mayor que 15 cms.
Cobertura Vegetal	No transitable	Parcialmente transitable	Transitable
Peso saturado	Entre 50 y 170 kg/m ²	Entre 150 y 250 kg/m ²	Mayor que 245 kg/m ²
Diversidad vegetal	Poca	Mayor	Máxima
Mantenición	Mínima	Variable	Alto
Tipo de vegetación	Rastreras	Arbustos pequeños, pastos ornamentales	Arbustos y árboles pequeños

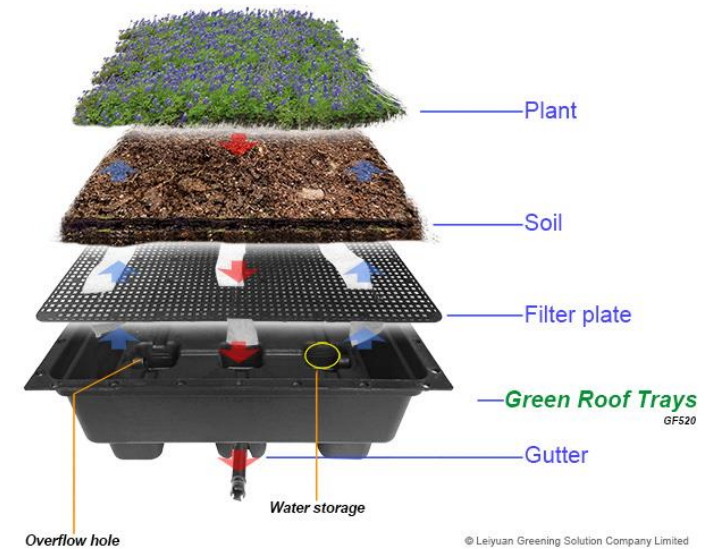
Características

Distinciones

EXTENSIVO	INTENSIVO
Más liviano	Mayores posibilidades de diseño paisajístico
Apto para grandes áreas	Mayor potencial de biodiversidad
Menor mantención Puede diseñarse para no ser regado	Mayor posibilidad de uso por parte de las personas
Más recomendado para proyectos de remodelaciones	
Menor costo de inversión	

Tipos de Cubierta Vegetada

Sistemas modulares



Muros verdes



Tipos de Muros verdes



Interiores

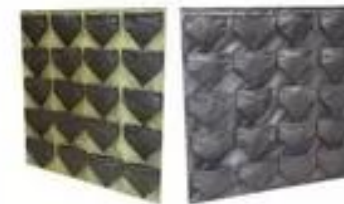


Exteriores

Tipos de Muros verdes



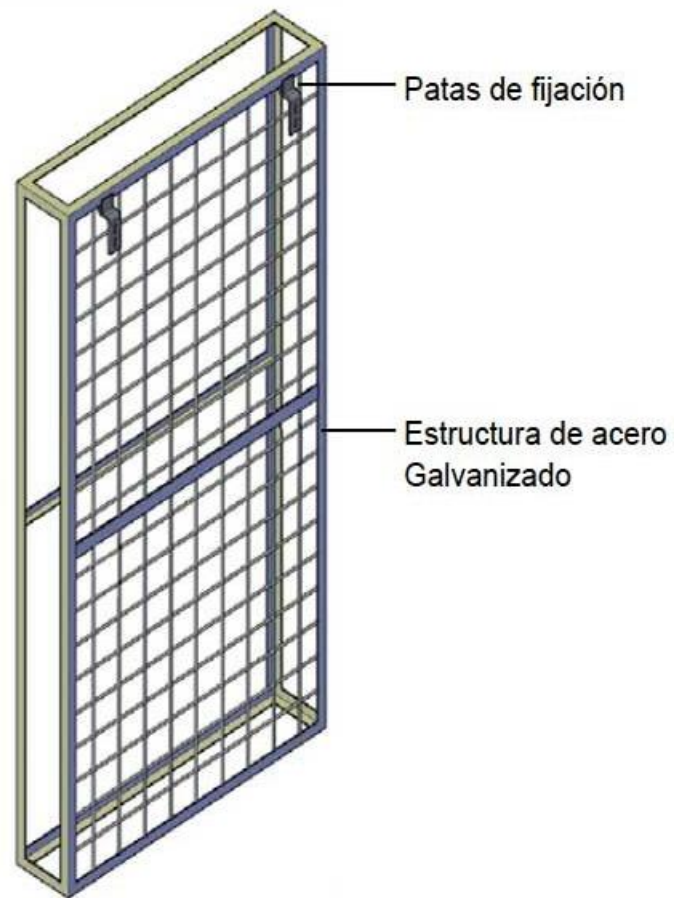
Algunas tecnologías de Muros verdes



Algunas tecnologías de Muros verdes



Algunas tecnologías de Muros verdes



SELECCIÓN DE ESPECIES A NIVEL INTERNACIONAL

- La limitada disponibilidad de agua, la exposición al viento, y la intensa radiación solar propicia **entornos hostiles** para el crecimiento de las plantas (Schwarz, 2005; Nagase & Dunnet., 2010).
- El conjunto de especies vegetales del **género Sedum** con características típicas de adaptación a ambientes xerofíticos son el grupo de plantas más utilizado internacionalmente (Dunnett & Kingsbury, 2008).
- La aptitud de los *Sedum* sp. de establecerse rápidamente, proporciona una buena cobertura en la superficie de la cubierta y son eficaces para disminuir la escorrentía de aguas pluviales, además de requerir un bajo mantenimiento (Monterusso et al., 2005; Butler et al., 2012).
- A nivel mundial, estudios científicos proponen **especies alternativas al género Sedum**, incluidos bulbos y pastos en Alemania (Liesecke et al., 1997), arbustos pequeños, pastos y plantas perennes ornamentales en Japón (Sendo et al., 2010), mezclas de especies vegetales que incluyen suculentas en Canadá (Lundholm et al., 2010), y tres especies alternativas han sido probadas en las condiciones climáticas del Reino Unido (Dunnett & Nolan, 2004; Nagase & Dunnett, 2010; Blanusa et al., 2013).
- **El enfoque de estos estudios ha sido la función ecológica, particularmente la supervivencia de las especies y las tasas de crecimiento.**



SELECCIÓN DE ESPECIES A NIVEL INTERNACIONAL

- El **tipo de planta y el hábito de crecimiento**, influye en la temperatura del sustrato debajo de la cubierta debido a que **condicionan los mecanismos de transferencia de calor** (Eksi et al., 2017).
- La **elección de las especies vegetales** a incorporar en los techos verdes no debería ser determinada sólo por su supervivencia en sustratos poco profundos -sistemas extensivo- sino también por el mayor potencial de **servicios ecosistémicos que ofrecen** -soporte, regulación, provisión, culturales- (Blanusa et al., 2013).
- Una de las principales prioridades para la **selección de plantas** en techos verdes extensivos y semiextensivos ha sido la **tolerancia al estrés hídrico y a las condiciones de crecimiento; y en segundo lugar la calidad estética**, solo se ha prestado una atención limitada a la capacidad de cada especie para proporcionar enfriamiento.
- **Se ha sugerido que los *Sedum* y otras especies** utilizadas actualmente (y aquellas con adaptaciones morfológicas similares) probablemente **no ofrezcan un enfriamiento evapotranspiratorio sustancial**, especialmente cuando el clima es cálido y seco (Getter & Rowe, 2006).
- Las **plantas nativas** debido a su condición natural, están bien adaptadas al entorno en el que evolucionaron y, como resultado, **requieren menos mantenimiento** y labores culturales que las plantas exóticas introducidas de otras zonas geográficas (Butler et al., 2012).





Usos posibles...





Avances en el país

- Contexto Nacional: el interés por estas tecnologías se ha incrementado a partir de la aprobación de la Ley N° 4.428 de implementación de “Techos o Terrazas Verdes” en el ámbito de CABA
- Contexto Provincial: Potencial de incorporación de nuevas tecnologías verdes en la alta densidad constructiva de la ciudad capital -61%-. Resultados de mediciones en prototipos experimentales en la estación de verano el Área Metropolitana de Mendoza (AMM).

Criterios de selección de especies

SELECCIÓN DE ESPECIES



✓ Universo análisis: 34 especies

✓ Metodología de análisis:
Valoración indicadores (escala 1-5)
Ponderación indicadores

- Requerimiento hídrico (5)
- Receso invernal (5)
- Resistencia sequía (5)
- Porte (5)
- Mantenimiento (5)
- Adaptación exposición solar
- Órgano reservante



Sedum lineare



Hyalis argentea



Zephyranthes candida



Lampranthus multiradiatus



Aptenia cordifolia



Cynodon dactylon



Thymus vulgaris



Hymenoxys acaulis



Sedum spectabile



Nassella tenuissima



Verbena rigida



Gazania rigens



Sedum acre

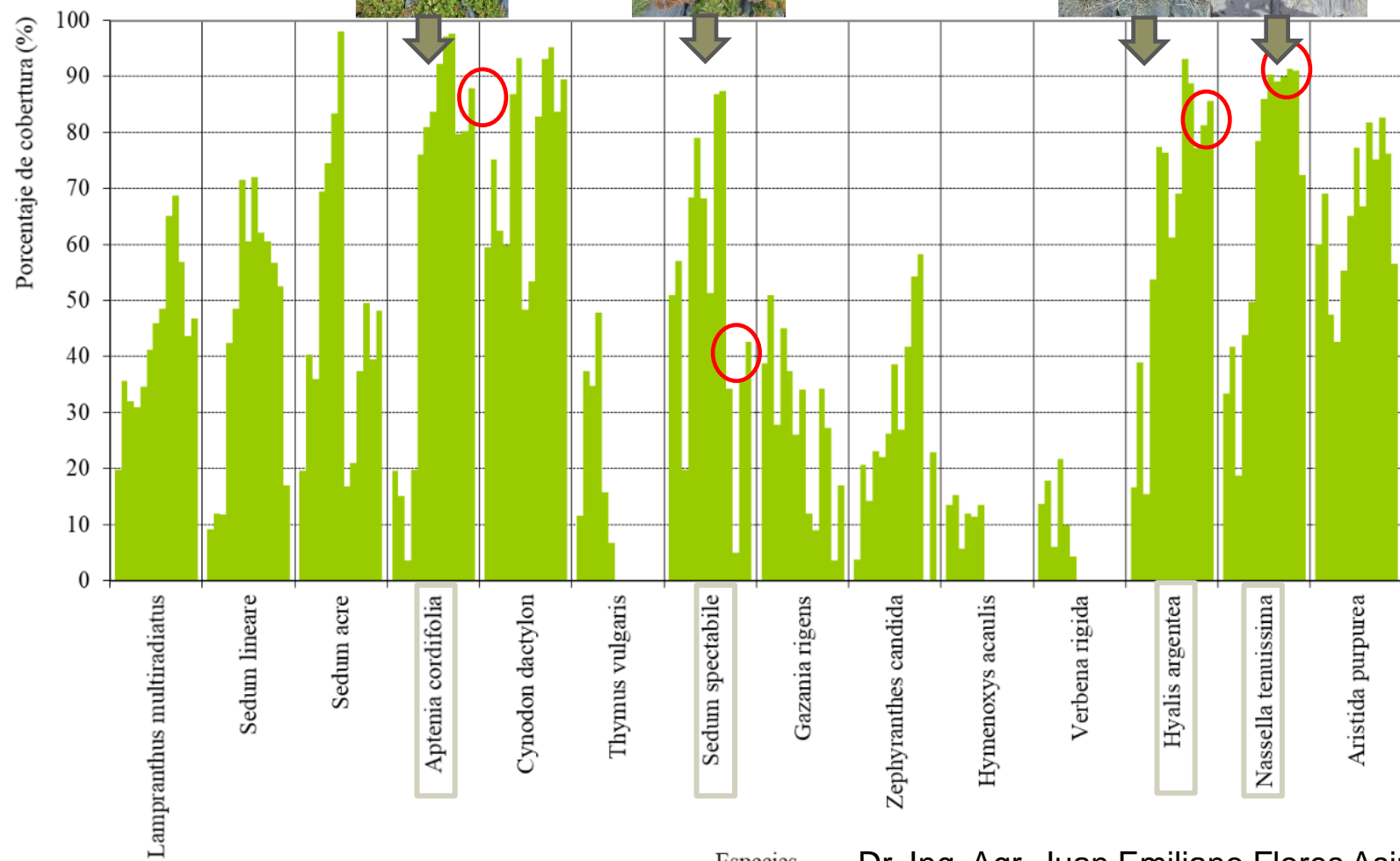
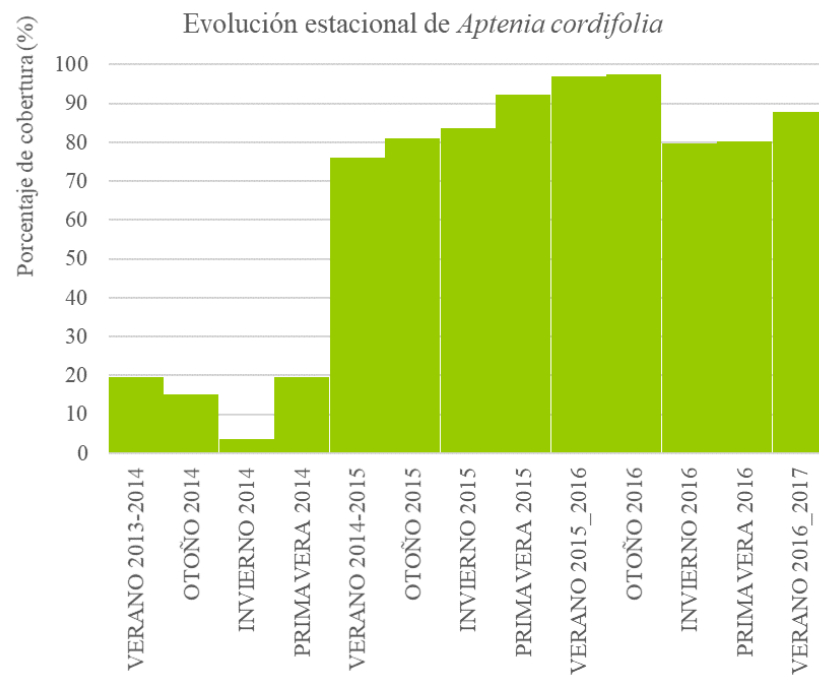


Aristida purpurea

Casos de estudio: Selección de especies

ID	Especie	Origen	Hábito de crecimiento
1	<i>Sedum lineare</i>	Exótica	Rastrero
2	<i>Hyalis argentea</i>	Nativa	Erguido
3	<i>Zephyranthes candida</i>	Exótica	Rastrero
4	<i>Lampranthus multiradiatus</i>	Exótica	Rastrero
5	<i>Aptenia cordifolia</i>	Exótica	Rastrero
6	<i>Cynodon dactylon</i>	Exótica	Rastrero
7	<i>Thymus vulgaris</i>	Exótica	Erguido
8	<i>Hymenoxys acaulis</i>	Exótica	Erguido
9	<i>Sedum spectabile</i>	Exótica	Erguido
10	<i>Nassella tenuissima</i>	Nativa	Erguido
11	<i>Verbena rigida</i>	Exótica	Rastrero
12	<i>Gazania rigens</i>	Exótica	Rastrero
13	<i>Sedum acre</i>	Exótica	Rastrero
14	<i>Aristida purpurea</i>	Exótica	Erguido

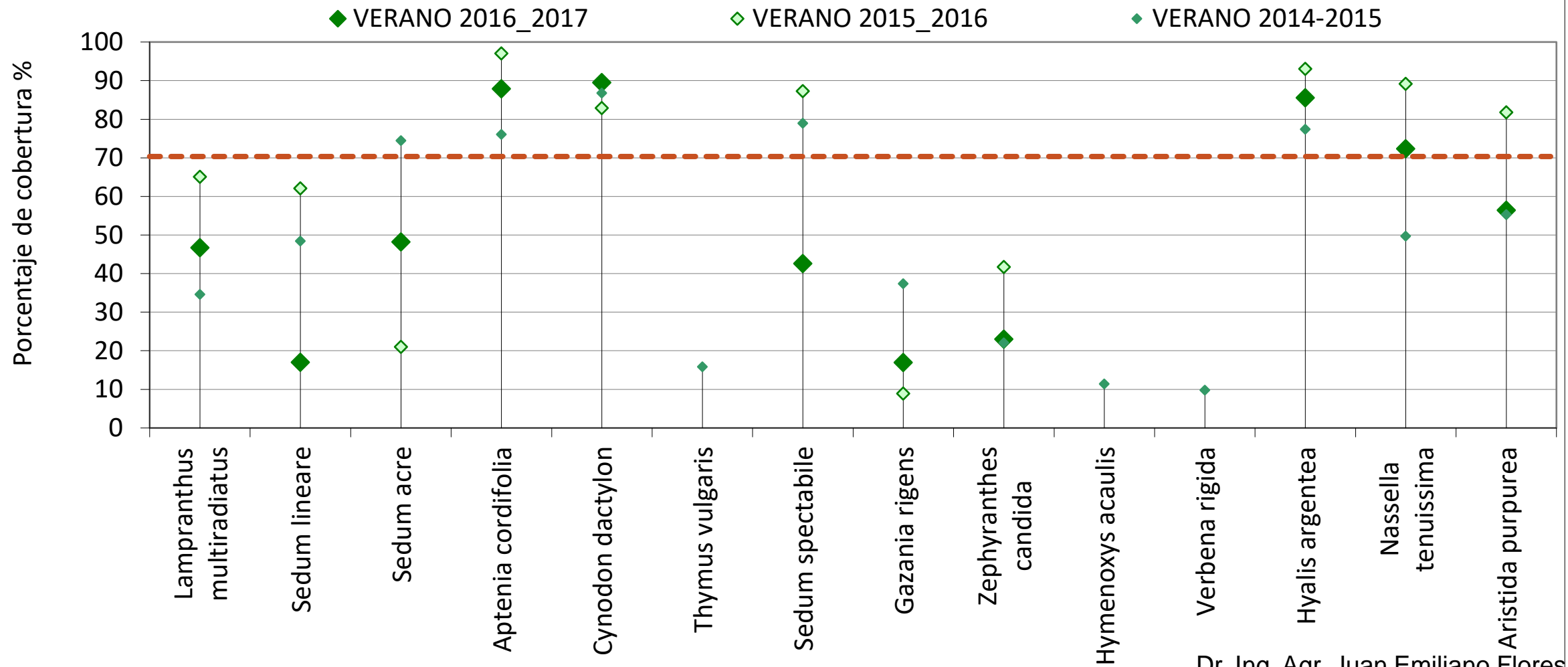
RESULTADOS DE COBERTURA VEGETAL



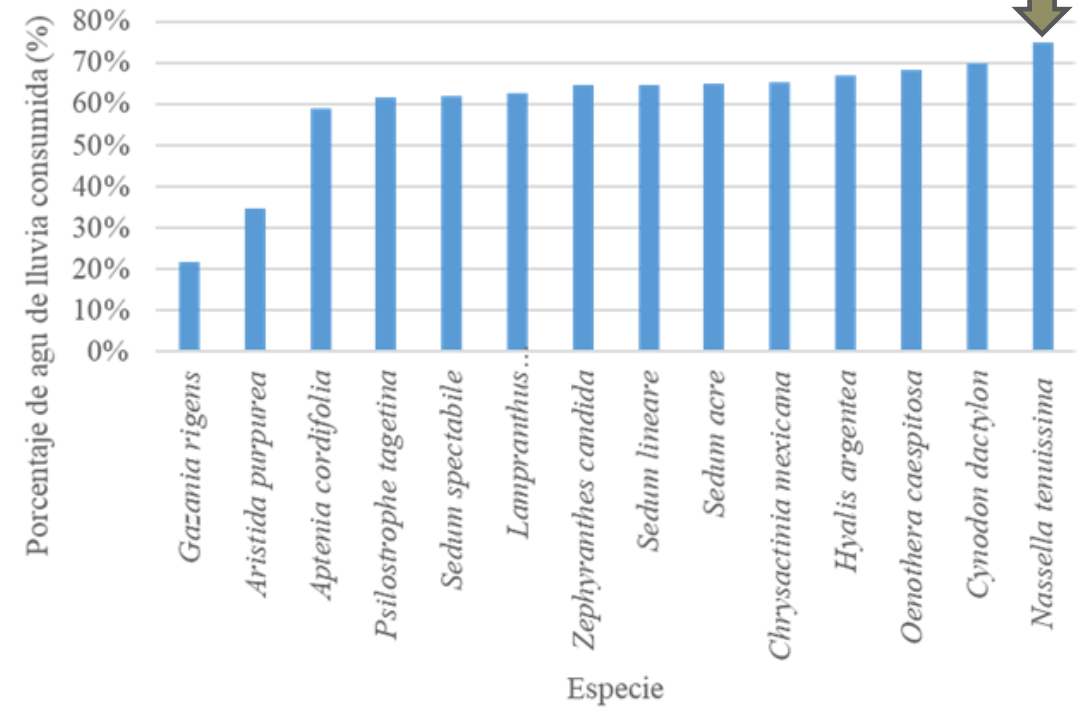
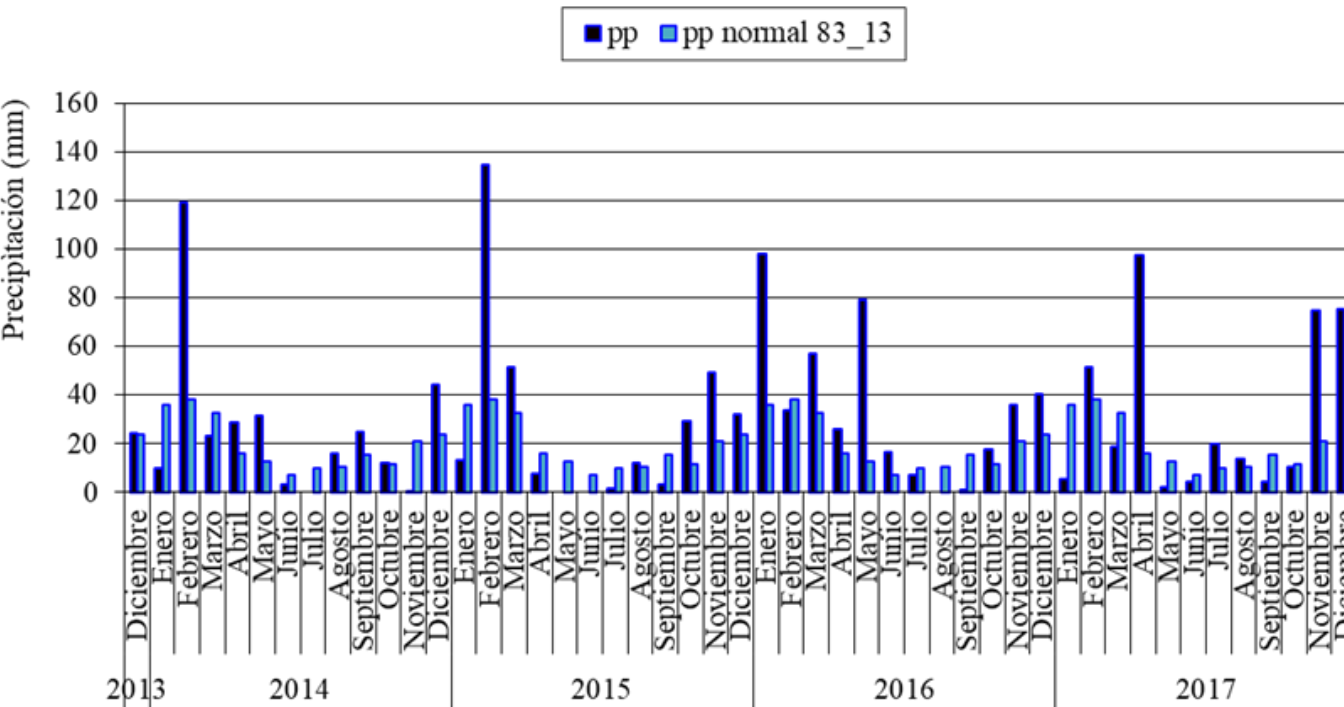
Especies

Dr. Ing. Agr. Juan Emiliano Flores Asin

RESULTADOS DE COBERTURA VEGETAL

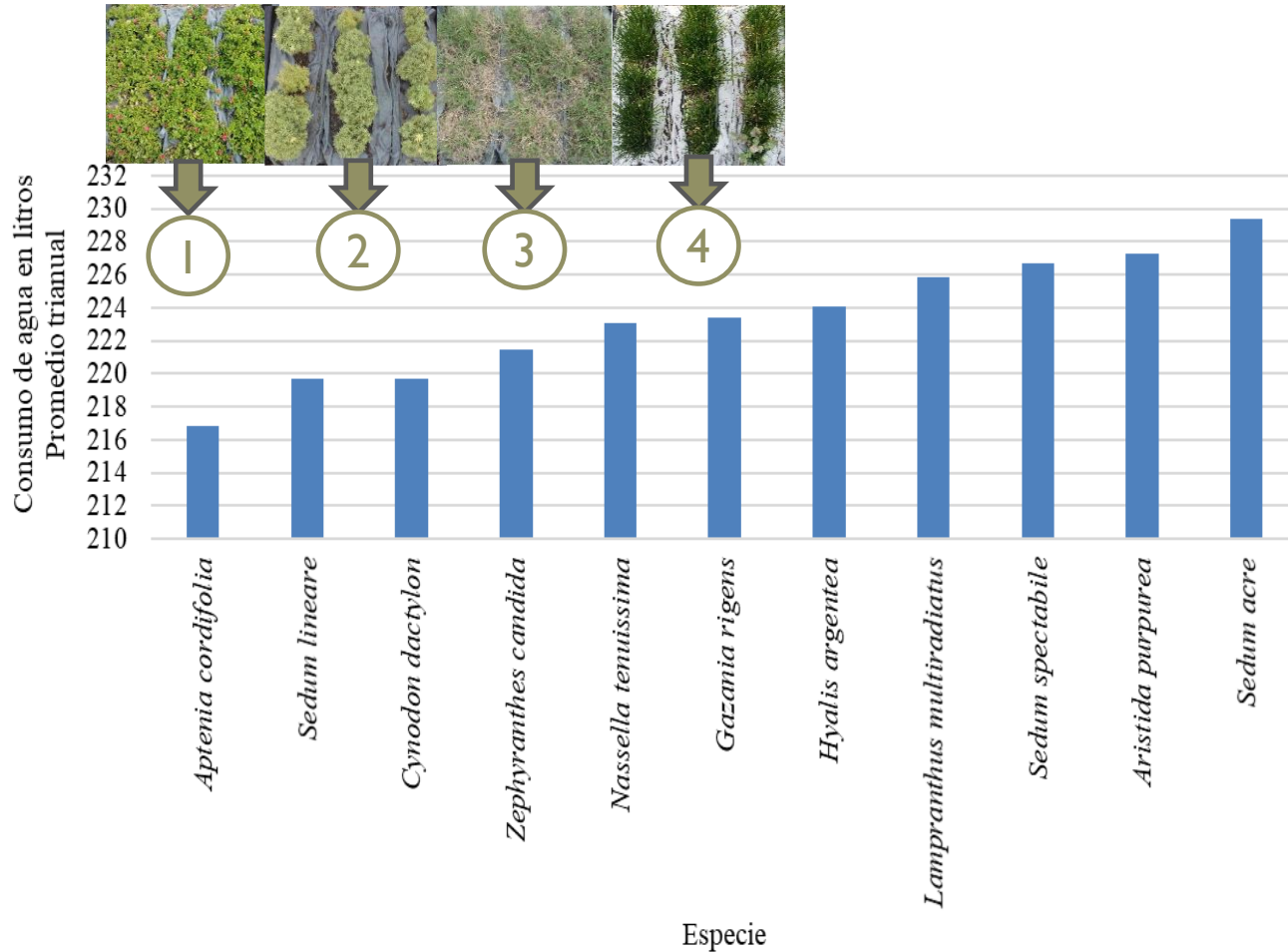


RESULTADOS DE CONSUMO HÍDRICO - PRECIPITACIONES



- Se analizó comparativamente con la precipitación normal o media histórica para el período 1983-2013
- Las precipitaciones ocurridas durante el desarrollo del ensayo (2014-2017) han superado la media histórica mensual
- Se pueden observar registros mayores a 40 mm de lluvia para los meses de Feb y Dic `14, Feb, Mar y Nov `15, Ene, Mar y May `16, Feb, Abr, Nov y Dic `18.

RESULTADOS DE CONSUMO HÍDRICO - RIEGO



- Año 2014: se garantiza la implantación del cultivo con una lámina de mayor volumen.
- Año 2015: presentó precipitaciones que superaban ampliamente la media histórica durante cinco meses de temperaturas moderadas a altas, en los cuales el cultivo era más exigente en cuanto al recurso.
- Año 2016: precipitaciones abundantes en los periodos críticos de consumo para las plantas debido a la coincidencia con momentos de alta actividad metabólica por las mismas. Se desplazaron algunas lluvias abundantes a la estación otoñal.

ESPECIES VEGETALES SUGERIDAS A UTILIZAR EN CUBIERTAS VEGETADAS

ID	ESPECIE	COBERTURA VEGETAL	CONDUCTANCI A ESTOMÁTICA	TEMPERATUR A DE HOJA	CONSUMO HÍDRICO	PESAJE
1	<i>Sedum lineare</i>			X	X	X
2	<i>Hyalis argentea</i>	X	X	X	X	X
3	<i>Zephyranthes candida</i>				X	X
4	<i>Lampranthus multiradiatus</i>			X		X
5	<i>Aptenia cordifolia</i>	X		X	X	X
6	<i>Cynodon dactylon</i>	X		X	X	X
7	<i>Thymus vulgaris</i>				X	X
8	<i>Hymenoxys acaulis</i>				X	X
9	<i>Sedum spectabile</i>	X		X		
10	<i>Nassella tenuissima</i>	X		X	X	X
11	<i>Verbena rigida</i>				X	X
12	<i>Gazania rigens</i>				X	X
13	<i>Sedum acre</i>			X		X
14	<i>Aristida purpurea</i>					X

Ensayos experimentales locales

Objetivo: Proponer diseños y tecnologías eficientes para el enverdecimiento urbano y edilicio que garanticen el equilibrio entre ambiente natural y construido en medios urbanos insertos en zonas áridas.



Diseño experimental



Se montaron tres box de ensayo en el área experimental del CCT CONICET Mendoza (latitud $32^{\circ} 53'52.83''\text{S}$, longitud $68^{\circ} 52'31.30''\text{O}$). La cantidad de box de ensayos persigue comparar sistemas verdes con distintos paquetes biológicos, respecto a cubiertas tradicionales (box testigo).

Mediciones

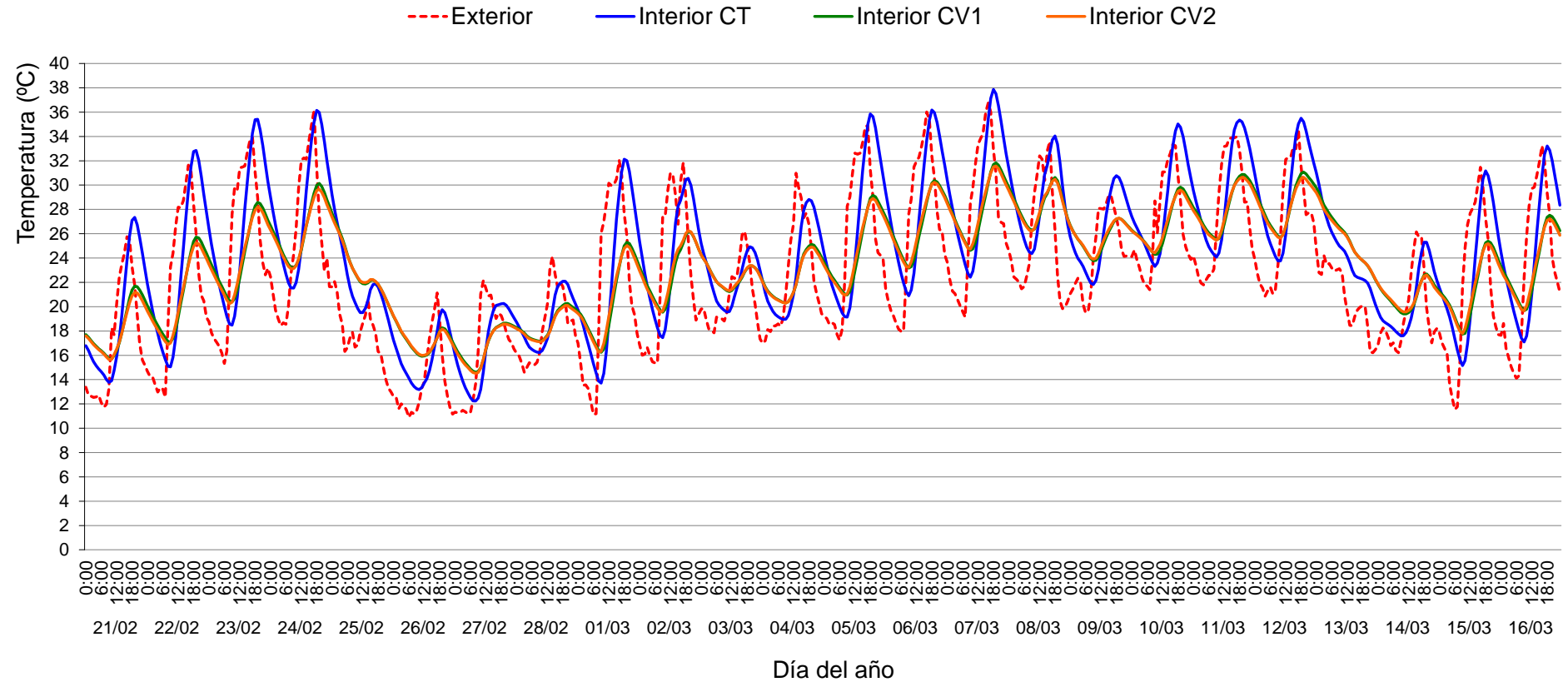
Mediciones con sensores de temperatura y humedad de suelo y aire; temperatura superficial, etc.



Medición de
agua de riego,
drenaje,
consumo.



Comportamiento térmico



Los datos obtenidos de las mediciones térmicas fueron promediados en forma horaria para una mejor comprensión de los comportamientos globales.

Resultados locales

Impacto al incorporar una cubierta vegetada de tipo extensiva con la especie: <i>Aptenia cordifolia</i>		
Ahorro energético (%)	Verano	35% Etapa de calentamiento
		31% Etapa de enfriamiento
	Invierno	4 % Etapa de calentamiento
		0 % Etapa de enfriamiento
Disminución Temperatura máxima	Verano	5 °C
	Invierno	3 °C
Disminución Temperatura media	Verano	2 °C
	Invierno	0 °C
Aumento Temperatura mínima	Verano	2 °C
	Invierno	2 °C
Disminución Amplitud térmica	Verano	6 °C
	Invierno	6° C

SIMULACIÓN: ESCALA EDILICIA

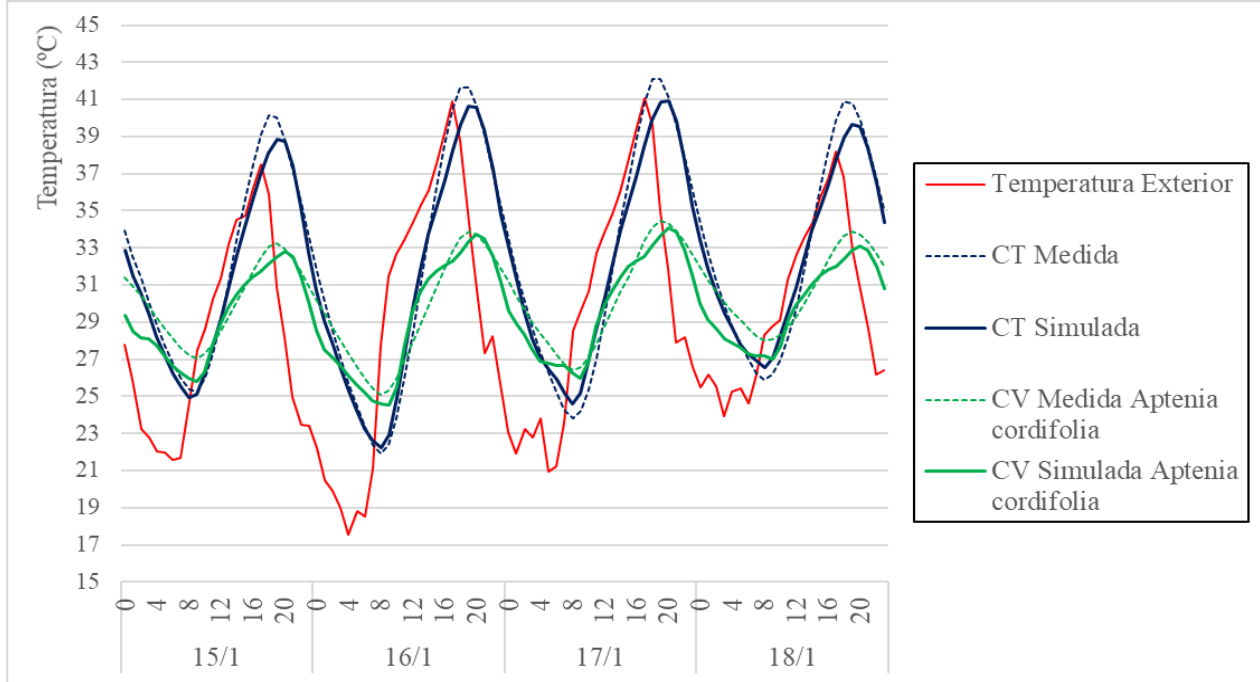
- **Selección y descripción del modelo de simulación:** Se utiliza el software EnergyPlus, versión 7.0. Este programa de simulación térmica y energética de edificios ha sido desarrollado por DOE (Department of Energy, Estados Unidos, 2009), a partir de códigos de BLAST y DOE2 (Scarduelli et al, 2009). Trabaja en régimen dinámico y permite interrelacionar las prestaciones de los sistemas energéticos con las características de la materialidad de la envolvente edilicia.
- **Configuración y datos de entrada del modelo físico para la simulación:**

Layers	Roughness	Thickness [m]	Conductivity [W/m°C]	Density [Kg/m3]	Specific Heat [J/Kg°C]
ROOF					
Reinforced Concrete	Rough	0.15	1.7	2400	800
WALLS					
Chipboard	Medium Smooth	0.018	0.17	1000	1000
Expanded polystyrene	Medium Smooth	0.05	0.04	20	100
Cement board	Medium Smooth	0.01	0.15	600	800
FLOOR					
Soil	Rough	1.00	0.87	2000	840
Concrete (Subfloor)	Rough	0.05	0.78	1600	780
Chipboard	Medium Smooth	0.018	0.17	1000	1000
Expanded polystyrene	Medium Smooth	0.03	0.04	20	100
Cement board	Medium Smooth	0.01	0.15	600	800

Ajuste del modelo de simulación

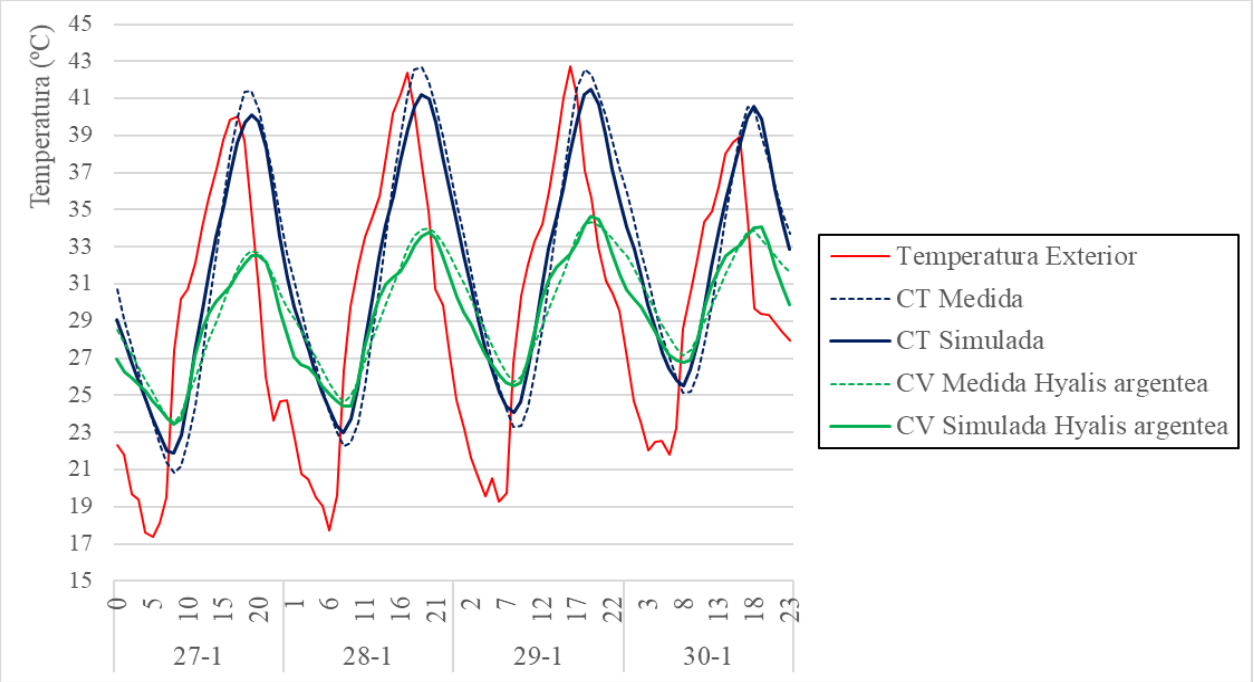
Caso Cubierta tradicional sin aislar versus cubierta vegetada con *Aptenia cordifolia*

R² son superiores a 0.85 en todos los casos



Caso Cubierta tradicional sin aislar versus cubierta vegetada con *Hyalis argentea*

R² son superiores a 0.85 en todos los casos



Escenarios propuestos:

Box con cubierta tradicional sin aislar

Box con cubierta tradicional aislada

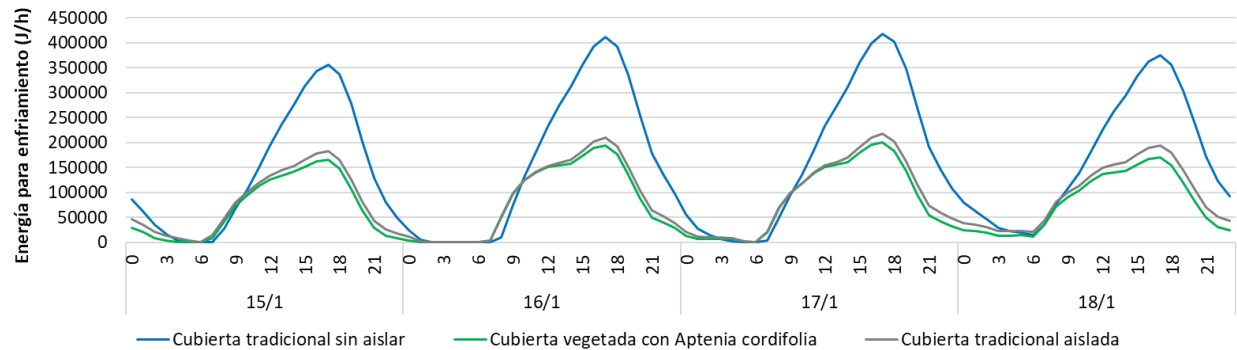
Box con cubierta vegetada con *Aptenia cordifolia*

Box con cubierta vegetada con *Hyalis argentea*

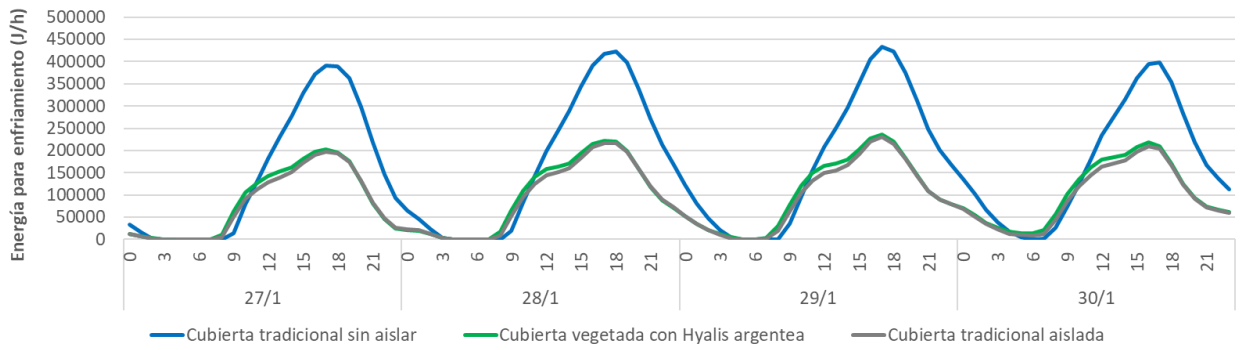
Consumo energético

SIMULACIÓN: ESCALA EDILICIA

Caso Cubierta tradicional sin aislar versus cubierta vegetada con *Aptenia cordifolia*



Caso Cubierta tradicional sin aislar versus cubierta vegetada con *Hyalis argentea*



Consumo de energía promedio para refrigeración en box	(kWh)	Δ Energía consumida= Energía con CT- Energía con CV con <i>Aptenia cordifolia</i>	Consumo de energía promedio para refrigeración en box	(kWh)	Δ Energía consumida= Energía con CT- Energía con CV con <i>Hyalis argentea</i>
Cubierta tradicional sin aislar	1.05	Ahorro 49.7 %	Cubierta tradicional sin aislar	1.10	Ahorro 40.98 %
Cubierta tradicional aislada	0.60	Ahorro 11.3 %	Cubierta tradicional aislada	0.61	Ahorro -5.95 %

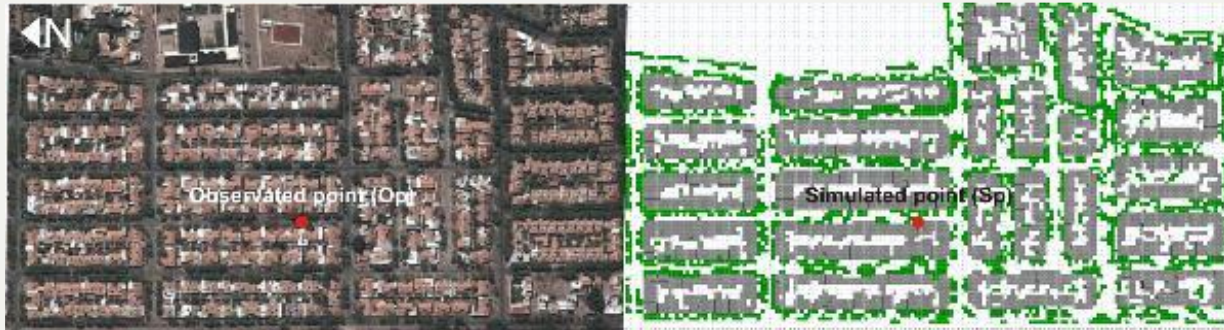
Dr. Ing. Agr. Juan Emiliano Flores Asin

SIMULACIÓN: ESCALA URBANA

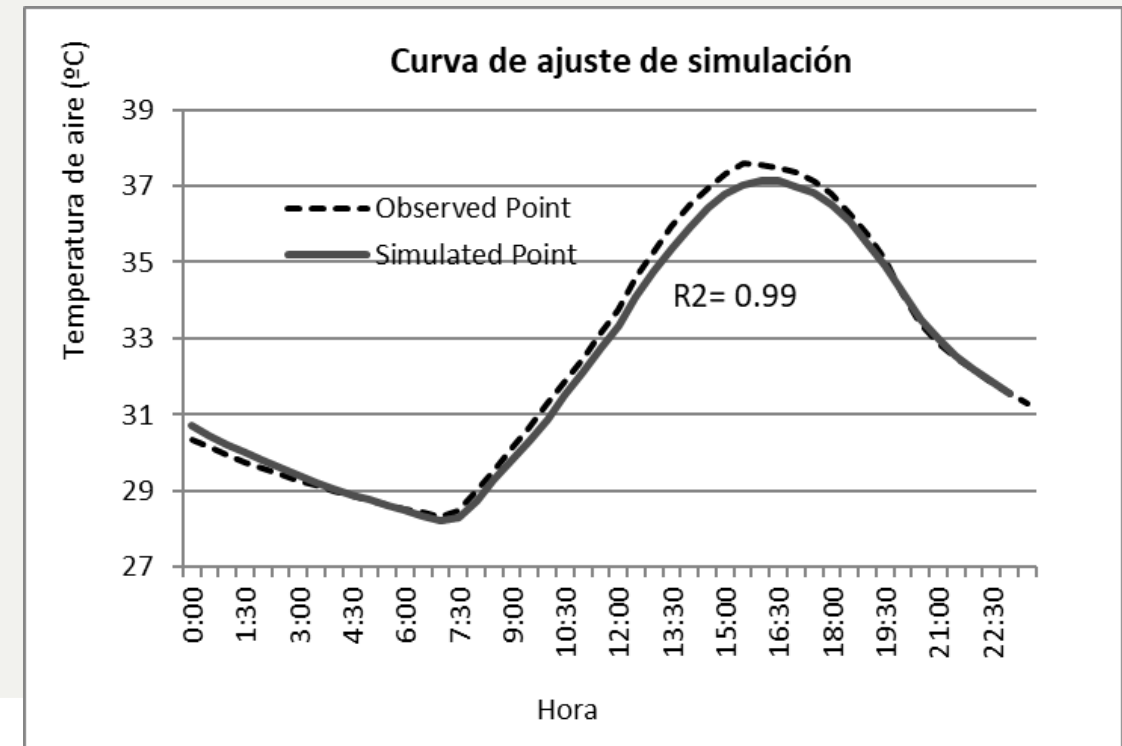
SIMULACIÓN: ESCALA URBANA

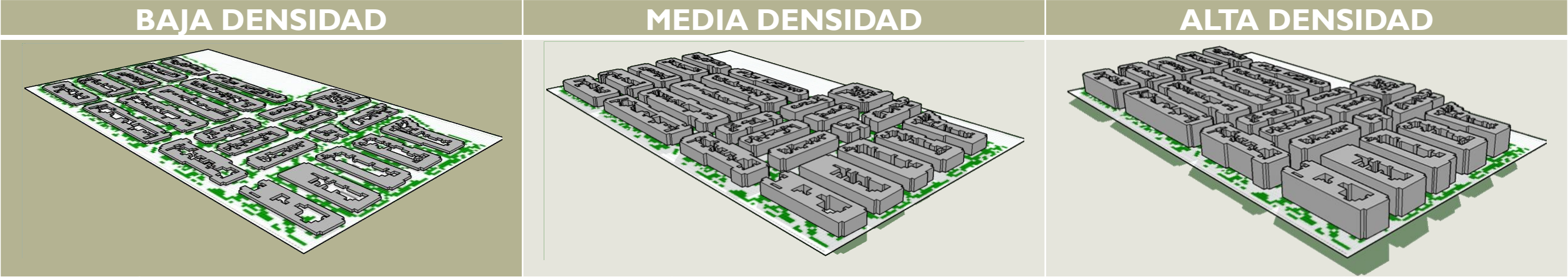
Selección y descripción del modelo de simulación: El desarrollo de modelos o escenarios teóricos se realizó mediante el uso del software **ENVI-met 3.1**. Este software es de acceso gratuito y fue desarrollado por el grupo de trabajo Environmental Modelling Group del Institute of Geography of the University of Mainz, Alemania (<http://www.envi-met.com>).

Descripción del área de estudio:



Ajuste del modelo de simulación

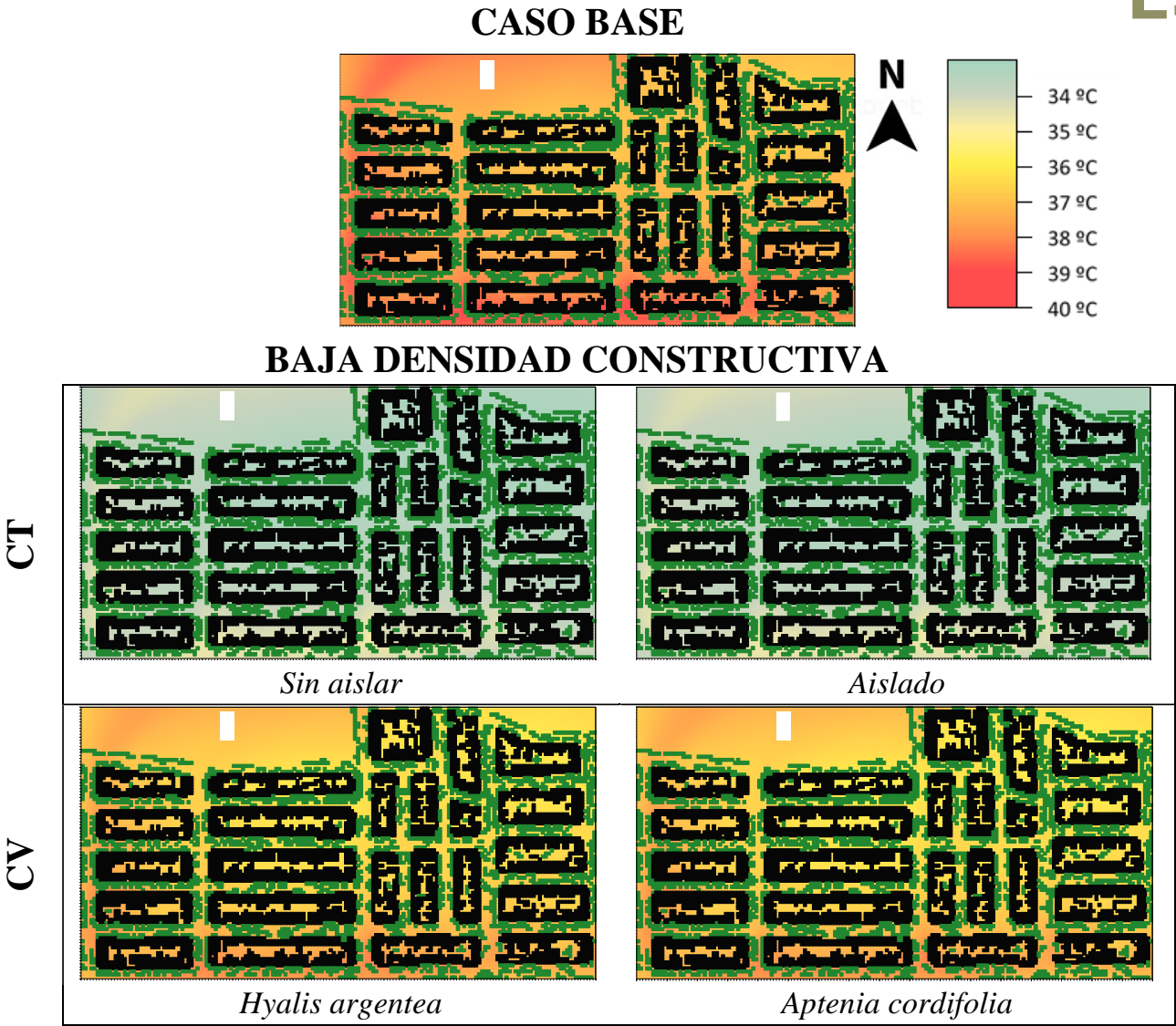




Escenario	Tecnología de cubierta		U-value [W/m²K]			Albedo
			BD	MD	AD	
Caso base	Techo de madera	Tejas cerámicas rojas	0.75	-	-	0.30
CT1	Techo de losa de hormigón armado	Membrana de aluminio sin aislar	2.79	3.44	3.55	0.86
CT2		Membrana de aluminio aislada	0.62	0.65	0.65	0.86
CV1		Cubierta vegetada con Hyalis argentea	0.28	0.28	0.28	0.47
CV2		Cubierta vegetada con Aptenia cordifolia	0.59	0.61	0.61	0.44

SIMULACIÓN: ESCALA URBANA

Comportamiento térmico de escenarios urbanos simulados

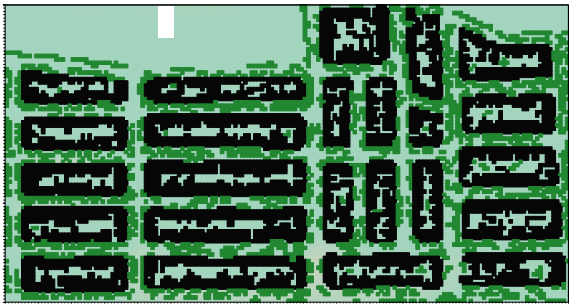


SIMULACIÓN: ESCALA URBANA

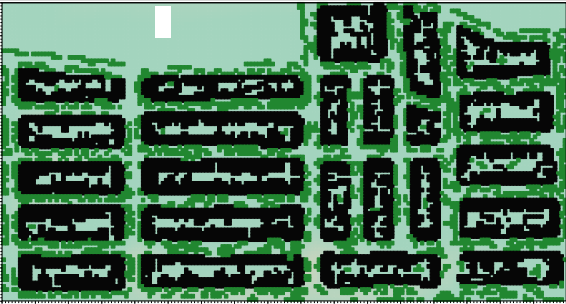
Comportamiento térmico de escenarios urbanos simulados

MEDIA DENSIDAD CONSTRUCTIVA

CT

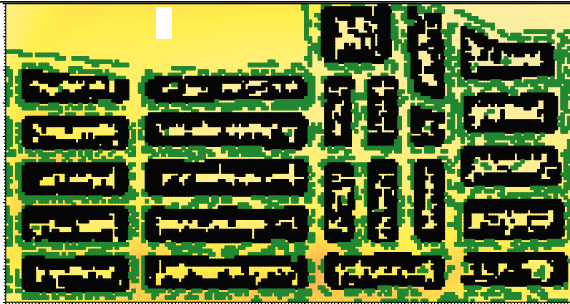


Sin aislar

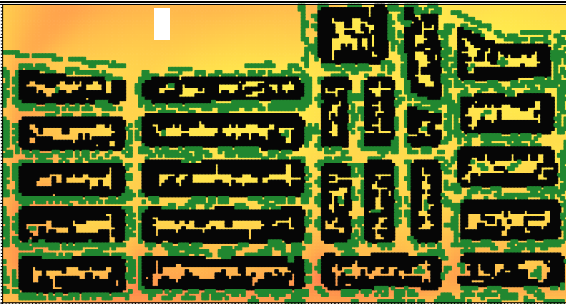


Aislado

CV



Hyalis argentea

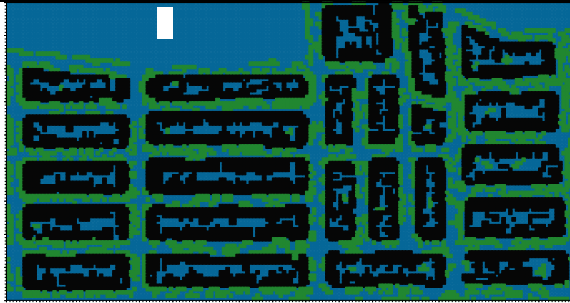


Aptenia cordifolia

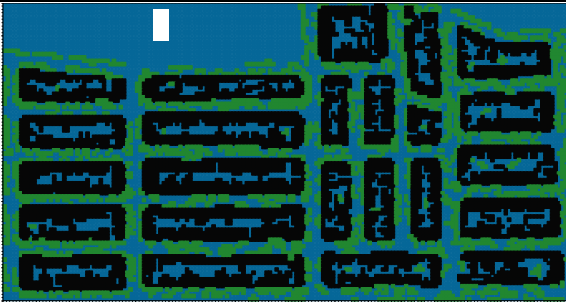
CT

CV

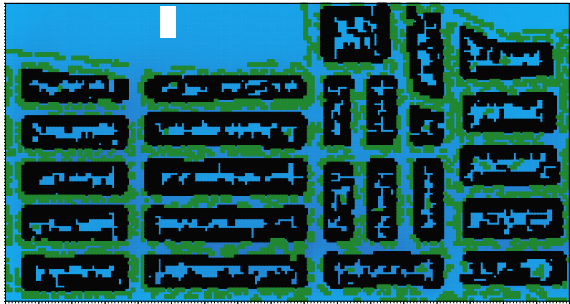
ALTA DENSIDAD CONSTRUCTIVA



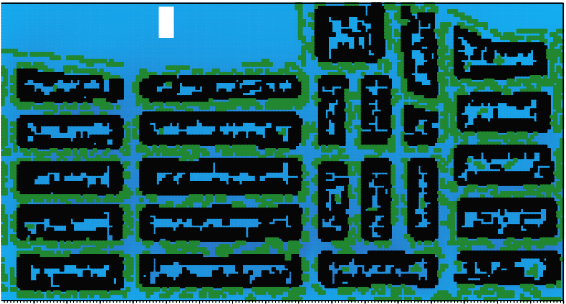
Sin aislar



Aislado



Hyalis argentea



Aptenia cordifolia



El desafío de implementar tecnologías verdes en zonas áridas

Dr. Ing. Agr. Emiliano Flores Asin