



Universidad del Desarrollo
Universidad de Excelencia

deWater

Sistema biomimético para captación y recolección pasiva de rocío

Proyecto de Título mediante Exploración Tecnológica
Josefina Antonia Guerraty Riquelme



Universidad del Desarrollo
Universidad de Excelencia

Proyecto de Título mediante Exploración Tecnológica
Josefina Antonia Guerraty Riquelme

deWater

Sistema biomimético para captación y recolección pasiva de rocío

Profesores Guías:

Sr. Francisco Fuentes
Sr. Francisco Zamorano

Memoria presentada a la Facultad de Diseño de la Universidad del Desarrollo para
optar al Título Profesional de Diseñador (para proyectos aplicados).

Santiago, diciembre 2022

Agradecimientos

Quiero agradecer infinitamente a todas las personas que estuvieron detrás de este proyecto dispuestos a apoyarme durante todo su proceso. Un a mención especial a mis profesores guía que estuvieron dispuestos a ayudarme en todo momento. Gracias por su tiempo y dedicación





Fig. N°1. Césped con gotas de rocío. Pexels

Abstract

DEWater es un proyecto que nace como respuesta a la necesidad de incorporar nuevas tecnologías en los sistemas de recolección de agua no convencionales, dado que el contexto mundial de escasez hídrica solo proyecta escenarios más complejos para el futuro.

Se decide hacer una exploración tecnológica que permita llegar a una solución de diseño basada en la naturaleza mediante el estudio de sistemas biológicos que permita crear un sistema biomimético para la captación y recolección pasiva de rocío. Esta investigación se llevó a cabo mediante dos etapas. En primer lugar se encuentra la etapa de exploración material como herramienta que permitirá determinar qué material, en conjunto con el caolín, presenta las condiciones óptimas para condensar rocío. En segundo lugar, se encuentra la etapa de desarrollo proyectual de una microestructura en base a patrones biomiméticos hidrofóbicos que permitan replicar la estrategia natural del escarabajo de Namibia con la finalidad de captar y recolectar rocío.

Índice temático

Abstract	pág. 07
Introducción	pág. 13
Capítulo 01 : Recursos hídricos	pág. 17
- Escenario chileno	pág. 18
Caítulo 02: Recolección de rocío	pág. 23
- Escarabajo de Namibia	pág. 26
- Inovaciones tecnológicas	pág. 30
- Onyma	pág. 32
Capítulo 03: Soluciones basadas en la naturaleza	pág. 37
- Objetivo general	pág. 39
Capítulo 04: Diseño solución	pág. 42
Capítulo 05: Desarrollo propuesta solución	pág. 46
- Exploración material	pág. 46
- Análisis ángulo de contacto	pág. 48
- Análisis superficies	pág. 58
- Proceso de revestimiento	pág. 67
Capítulo 06: Analisis y evaluación de resultados	pág. 71
Conclusión	pág. 73
Referencias	pág. 76
Bibliografía	pág. 77

Índice Imágenes

fig. 01	pág.06	fig. 22	pág.31	fig. 43	pág. 53	fig. 64	pág. 56
fig. 02	pág. 12	fig. 23	pág. 32	fig. 44	pág. 53	fig. 65	pág. 56
fig. 03	pág. 15	fig. 24	pág. 33	fig. 45	pág. 53	fig. 66	pág. 59
fig. 04	pág. 19	fig. 25	pág. 35	fig. 46	pág. 53	fig. 67	pág. 60
fig. 05	pág.20	fig. 26	pág. 41	fig. 47	pág. 54	fig. 68	pág. 60
fig. 06	pág.20	fig. 27	pág. 42	fig. 48	pág. 54	fig. 69	pág. 61
fig. 07	pág. 21	fig. 28	pág. 43	fig. 49	pág. 54	fig. 70	pág. 63
fig. 08	pág. 21	fig. 29	pág. 43	fig. 50	pág. 54	fig. 71	pág. 64
fig. 09	pág.22	fig. 30	pág. 43	fig. 51	pág. 54	fig. 72	pág. 65
fig. 10	pág. 24	fig. 31	pág. 45	fig. 52	pág. 54	fig. 73	pág. 65
fig. 11	pág. 24	fig. 32	pág. 46	fig. 53	pág. 55	fig. 74	pág. 67
fig. 12	pág. 24	fig. 33	pág. 47	fig. 54	pág. 55	fig. 75	pág. 67
fig. 13	pág. 25	fig. 34	pág. 47	fig. 55	pág. 55	fig. 76	pág. 67
fig. 14	pág. 25	fig. 35	pág. 47	fig. 56	pág. 55	fig. 77	pág. 68
fig. 15	pág. 25	fig. 36	pág. 48	fig. 57	pág. 55	fig. 78	pág. 68
fig. 16	pág. 27	fig. 37	pág. 48	fig. 58	pág. 55		
fig. 17	pág. 29	fig. 38	pág. 49	fig. 59	pág. 55		
fig. 18	pág. 29	fig. 39	pág. 53	fig. 60	pág. 55		
fig. 19	pág. 29	fig. 40	pág. 53	fig. 61	pág. 55		
fig. 20	pág 30	fig. 41	pág. 53	fig. 62	pág. 55		
fig. 21	pág. 30	fig. 42	pág. 53	fig. 63	pág. 56		



Fig. Nº2 Suelo afectado por sequía. Laker from Pexel

La seguridad alimentaria, la salud humana, los asentamientos urbanos y rurales, la producción de energía, el desarrollo industrial, el crecimiento económico y los ecosistemas naturales dependen del agua y por consiguiente, son vulnerables a las consecuencias del cambio climático. El cambio climático y el déficit hídrico agravarán la situación de las regiones en las que más escasea el agua y crearán escasez en las regiones en las que todavía abunda el agua hoy. Asimismo, las consecuencias del cambio climático en los sistemas hídricos urbanos incluyen, por una parte, temperaturas más altas, menos precipitaciones y sequías más graves; por otra, una mayor frecuencia de las lluvias torrenciales y de los episodios de inundaciones. (UNESCO, 2020).

Según análisis realizados por la Agenda de Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), actualmente la escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial, donde 3 de cada 10 personas carecen de acceso a servicios de agua potable seguros y 6 de cada 10 carecen de acceso a instalaciones de saneamiento gestionadas de forma segura. Según el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático, el uso global de agua se ha multiplicado por seis en los últimos 100 años y sigue aumentando a un ritmo constante de un 1% cada año debido al crecimiento demográfico, al desarrollo económico y al cambio de los patrones de consumo.

Particularmente Chile es un país con alta vulnerabilidad al cambio climático. Según un informe realizado por la mesa de agua de Chile - Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación - Se estima que ha habido cerca de 30% de déficit en las precipitaciones en el centro-sur de Chile durante la última década, lo cual también ha afectado la cantidad de nieve caída y su tasa de derretimiento. Esto ha tenido como consecuencia el comienzo de un nuevo contexto nacional de escasez de agua dulce, donde las condiciones ambientales están cambiando hacia un aumento de temperaturas que provocará como consecuencia el aumento en la evaporación de agua.

Actualmente, se está buscando implementar estrategias de adaptación y mitigación para gestionar y reducir los efectos del cambio climático, las que incluyen una combinación de opciones naturales, de ingeniería y tecnológicas, medidas sociales e institucionales para contener el daño o explotar las oportunidades beneficiosas del cambio climático y de acciones humanas que buscan reducir las fuentes o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero (GHGs). En términos de innovación tecnológica, gestión del conocimiento, investigación y desarrollo de capacidad los retos son promover la creación de nuevas herramientas y enfoques por medio de la investigación avanzada y el desarrollo, y en el mismo orden de importancia, acelerar la implantación del conocimiento y la tecnología existentes en todos los países y regiones.

Sin embargo, el real desafío está en buscar soluciones tecnológicas ecológicas a la hora de investigar estrategias de adaptabilidad y mitigación sostenibles en el tiempo aprovechando el potencial que nos entregan las nuevas condiciones atmosféricas para convertirlas en oportunidades, entendiendo el cambio climático como una realidad inevitable.

Gracias a los avances tecnológicos, hoy estamos frente a un abanico de estrategias de diseño disponibles para la adaptación al cambio climático y la reducción del riesgo de catástrofe. El Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (2018) presenta el concepto de “soluciones basadas en la naturaleza” (SbN) - inspiradas y respaldadas por la naturaleza que utilizan o imitan los procesos naturales para contribuir a la gestión mejorada del agua - como una herramienta que puede implicar la conservación o rehabilitación de los ecosistemas naturales y/o la mejora o creación de procesos naturales en ecosistemas modificados o artificiales. Las SbN resultan especialmente prometedoras en cuanto a progresos en la producción sostenible de alimentos, la mejora de los asentamientos urbanos, el acceso al suministro de agua potable y al saneamiento y la reducción del riesgo de desastres relacionados con el agua. También pueden ayudar a responder a los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos. Las SbN apoyan una economía circular, restauradora y regeneradora por diseño, y fomentan una mayor productividad de los recursos para reducir su desperdicio y evitar la contaminación, incluso a través de la reutilización y el reciclaje de los mismos. También respaldan los conceptos de crecimiento verde o economía verde, que promueven el uso sostenible de los recursos naturales y el aprovechamiento de los procesos naturales para sustentar las economías. (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 7, Place de Fontenoy - 75352 París 07 SP, Francia).

Los análisis e investigaciones actuales insisten en que cada vez resulta más necesario valorar los recursos hídricos ‘no convencionales’ en la planificación futura. La reutilización del agua (o agua regenerada) es una alternativa fiable a los recursos hídricos no convencionales. En Chile, se han implementado diversas tecnologías no convencionales para la obtención de agua dulce como la desalinización de agua, recolección de lluvia, tecnología de hidrogel, atrapaniebla y la recolección de rocío. De ellas, la tecnología menos convencional, pero más sustentable ha sido la obtención de agua dulce a partir de la recolección de rocío dado que presenta un sistema pasivo de recolección que no requiere energía adicional y que, al mismo tiempo, se verá directamente involucrado en los efectos del cambio climático ya que, según lo expuesto en el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020, se espera que la evaporación de la superficie terrestre se incremente como resultado de la tendencia mundial del aumento de las temperaturas del aire en todas las regiones, menos las más secas, donde la falta de agua impide tal aumento, generando un aumento en la evaporación de agua, volviendo el aire más cálido y húmedo. (Plan Sequía, Gobierno de Chile. Recuperado el 26 de mayo de 2022, desde: <https://www.gob.cl/plansequia/>)

Entendiendo el contexto nacional de escasez, y con la finalidad de contribuir en la búsqueda de soluciones de diseño basadas en la implementación de tecnologías ecológicas y sustentables, se establece como objetivo general del proyecto DEWater la exploración de estructuras biomiméticas que permitan mejorar parámetros de captación y recolección pasiva de rocío, con respecto a tecnologías actuales. Este objetivo se alcanzará mediante dos etapas de investigación. En primer lugar se llevará a cabo un estudio bio-

atmosférica con la finalidad de estudiarlos y analizarlos para poder buscar una solución de diseño basada en la naturaleza. En segundo lugar, se realizará una investigación que tendrá el propósito de buscar un material que mejore parámetros de captación y recolección de agua atmosférica.

El proyecto DEWater se llevará a cabo mediante una **investigación constructiva** donde el prototipaje servirá como método de elaboración de conocimiento. Para ello se comenzará por investigar sistemas biológicos de obtención pasiva de agua atmosférica con la finalidad de entender el funcionamiento y las cualidades de sus estructuras y superficies para luego simplificarlas e implementarlas en el proyecto a través de una estrategia estructural. Asimismo, será necesario conocer conceptos básicos como radiatividad, eficiencia de condensación, evaporación, entre otros, que nos permitirán conocer la física detrás del funcionamiento de las diferentes estructuras para poder aplicar dichos conocimientos dentro del proceso de diseño del proyecto. Paralelamente, se realizará una investigación a nivel de laboratorio, que permitirá establecer qué material tiene mejor comportamiento a la hora de ponerlo en contacto directo con el agua teniendo como objetivo mejorar parámetros de captación de moléculas de agua. Este conocimiento se complementará con los resultados obtenidos del análisis de sistemas biológicos, con la finalidad de obtener un sistema biomimético de diseño, basado en un análisis estructural y material inspirado en la naturaleza. Finalmente, se realizará un estudio a nivel de laboratorio donde se implementará el diseño seleccionado de superficie y se analizará el volumen de condensación de agua que genera contemplando variables de humedad, temperatura, presión, viento, entre otros, y obtener un primer acercamiento de resultados esperables.





Fig. N°3. Hoja con gotas de agua. Pexels

Capitulo 01
Recursos Hídricos

I. Recursos Hídricos

Se entiende como recurso hídrico aquellos cuerpos de agua que existen en el planeta desde los océanos hasta los ríos pasando por los lagos, los arroyos y las lagunas.

Actualmente, según análisis realizados por la ODS (Objetivos de desarrollo sustentable) La escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial donde 3 de cada 10 personas carecen de acceso a servicios de agua potable seguros y 6 de cada 10 carecen de acceso a instalaciones de saneamiento gestionadas de forma segura. El uso global de agua se ha multiplicado por seis en los últimos 100 años y sigue aumentando a un ritmo constante de un 1% cada año debido al crecimiento demográfico, al desarrollo económico y al cambio de los patrones de consumo. La seguridad alimentaria, la salud humana, los asentamientos urbanos y rurales, la producción de energía, el desarrollo industrial, el crecimiento económico y los ecosistemas dependen del agua y por consiguiente, son vulnerables a las consecuencias del cambio climático.

Adaptarse y mitigar el cambio climático por medio de una gestión hídrica es fundamental para el desarrollo sostenible. La adaptación y la mitigación son estrategias complementarias para gestionar y reducir los riesgos del cambio climático. La adaptación incluye una combinación de opciones naturales, de ingeniería y tecnológicas, así como medidas sociales e institucionales para contener el daño o explotar las oportunidades beneficiosas del cambio climático. Existen opciones de adaptación en todos los sectores relacionados con el agua y deberían estudiarse y aplicarse siempre que sea posible. La mitigación incluye actuaciones humanas para reducir las fuentes o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero (Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y cambio climático). Los retos de desarrollo, erradicación de la pobreza y sostenibilidad están intrincadamente entrelazados con los de mitigación y adaptación al cambio climático, sobre todo gracias al agua. Conjugar la adaptación y la mitigación del cambio climático a través del agua es una propuesta que beneficia a todos.



3 de cada 10 personas carecen de acceso a servicios de agua potable seguros.



6 de cada 10 personas carecen de acceso a instalaciones de saneamiento seguros.

Fuente: ODS. Objetivos de desarrollo sustentable

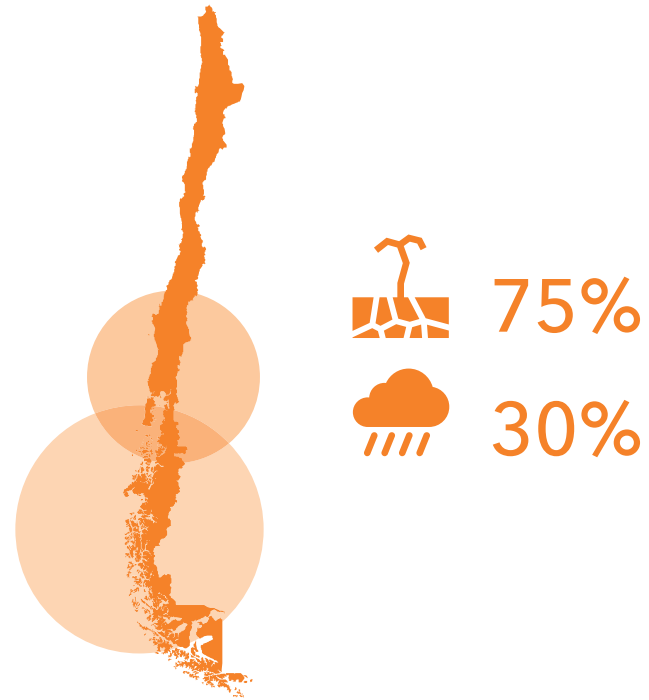
En primer lugar, facilita la gestión de los recursos hídricos y mejora el suministro de agua y la prestación de servicios sanitarios. En segundo lugar, contribuye directamente a combatir tanto las causas como las consecuencias del cambio climático, incluida la reducción del riesgo. En tercer lugar, contribuye directa o indirectamente a cumplir varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (hambre, pobreza, salud, energía, industria, acción por el clima y por supuesto, el ODS 6 del agua), además de otros objetivos globales.

Las consecuencias del cambio climático en los sistemas hídricos urbanos incluyen, por una parte, temperaturas más altas, menos precipitaciones y sequías más graves; por otra, una mayor frecuencia de las lluvias torrenciales y de los episodios de inundaciones. En los pequeños asentamientos urbanos y rurales el uso del agua para la agricultura y en algunos casos para las aplicaciones industriales hace que el agua esté menos disponible para el uso doméstico. El suministro doméstico ha de gozar de prioridad, en cumplimiento de los derechos humanos al agua y al saneamiento.

El abanico de estrategias disponibles de adaptación al cambio climático y de reducción del riesgo de catástrofe contiene enfoques duros (estructurales) y blandos (instrumentos de políticas). Las medidas duras incluyen mejorar el almacenamiento de agua, infraestructura a prueba de clima y mejorar la resiliencia de los cultivos introduciendo variedades resistentes a las inundaciones y a la sequía. Las medidas blandas incluyen seguros frente a las inundaciones y la sequía, sistemas de pronóstico y de alerta temprana, planificar el uso de la tierra y la capacitación (educación y concienciación). En términos de innovación tecnológica, gestión del conocimiento, investigación y desarrollo de capacidad los retos son promover la creación de nuevas herramientas y enfoques por medio de la investigación avanzada y el desarrollo, y en el mismo orden de importancia, acelerar la implantación del conocimiento y la tecnología existentes en todos los países y regiones. Sin embargo, estas acciones sólo producirán el resultado deseado si van acompañadas de concienciación, así como de programas de desarrollo educativo y de capacitación, con el objetivo de difundir ampliamente el conocimiento disponible e incentivar la adopción de las tecnologías nuevas y existentes. (Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y cambio climático).

Escenario hídrico en Chile

Particularmente Chile es un país con alta vulnerabilidad al cambio climático. Se estima que ha habido cerca de 30% de déficit en las precipitaciones en el centro-sur de Chile durante la última década, lo cual también ha afectado la cantidad de nieve caída y su tasa de derretimiento. Esto ha tenido como consecuencia una reducción de caudales, sobre todo durante el verano (Garreaud et al., 2017; Rivera et al., 2017; Stehr y Aguayo, 2017), lo que lleva a un problema de escasez hídrica. La zona centro-sur de Chile lleva una década con déficit de precipitaciones de entre 25% y 30%, lo que la convierte en la década más seca desde que existe registro. Trabajos científicos han demostrado que una parte de esta sequía meteorológica se debe a la acción humana por medio del cambio climático global. Esta sequía, sumada al aumento de las temperaturas, ha impactado con fuerza el régimen de caudales, cuyo déficit varía entre 70% en los ríos de las regiones de Coquimbo y Valparaíso,



Fuente: Comité científico COP25; Ministerio de ciencia, tecnología, conocimiento e innovación.

a valores cercanos al 25% hacia el sur durante el período 2010-2014. Las proyecciones climáticas para el período 2030-2060, comparadas con el de 1985-2015, indican una disminución generalizada de las precipitaciones promedio de entre 5% y 15% para la zona comprendida entre las cuencas de los ríos Elqui (región de Coquimbo) y el Baker (región de Aysén). (Rojas M., P. Aldunce, L. Farías, H. González, P.A. Marquet, J. C. Muñoz, R. Palma-Behnke, A. Stehr y S. Vicuña (editores) (2019). Evidencia científica y cambio climático en Chile: Resumen para tomadores de decisiones. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.) Cifras provenientes de distintas fuentes dan cuenta de la frágil situación del recurso hídrico en Chile: 76% de la superficie chilena está afectada por sequía, desertificación y suelo degradado (SudAustral Consulting SpA, 2016); Un claro ejemplo es lo sucedido en la laguna Aculeo ubicada en la comuna de Paine, Re-



Fig N°4. Laguna Aculeo. La Tercera

gión Metropolitana, Chile. La cual se secó por completo producto del abuso de consumo de agua y la falta de políticas públicas para su manejo a la hora de enfrentar los efectos del cambio climático.

El déficit de recursos hídricos ha llevado a los distintos gobiernos chilenos a implementar políticas globales para redistribuir las aguas y priorizar el consumo humano. Durante diciembre 2021, 184 municipios llegaron a ser declarados con falta extrema de agua, concentrando al 47% de la población. El escenario es desalentador. Según el último Informe

Hídrico de la Dirección General de Aguas (DGA), la falta de lluvia en grandes ciudades llega al 98% de déficit en comparación a años normales, mientras pequeños poblados agrícolas se acostumbran a vivir con racionamientos. Si no existe una política global, dicen los expertos, Chile enfrentará graves conflictos los próximos cinco años. Además, se ha declarado Emergencia Agrícola por déficit hídrico en 226 comunas a lo largo de Chile. La declaración de Emergencia Agrícola por déficit hídrico es una herramienta del Ministerio de Agricultura para entregar

ayuda y apoyo eficaz para aquellas zonas de nuestro país afectadas por la baja disponibilidad de agua. En este marco y como una necesidad de abordar las problemáticas y desafíos en el ámbito de la sequía, el año 2019 se convocó a una Mesa del Agua para trabajar en la definición de una estrategia hídrica basada en tres pilares. El 2021 se plasmó en un Plan de Emergencia Contra la Sequía que busca aumentar la disponibilidad de agua y mejorar la eficiencia en su uso, con el objetivo de asegurar el abastecimiento para el consumo humano y la producción de alimentos. (Roxana Alvarado, Francisca de la Vega Planet. “Chile lidera la crisis hídrica en América Latina”, 2022).

Es por esto que cada día se hace más necesario implementar nuevas tecnologías dentro de las estrategias gubernamentales para minimizar las repercusiones de la escasez hídrica, teniendo como principal objetivo garantizar el consumo humano y el uso doméstico. Cada día resulta más necesario valorar los recursos hídricos ‘no convencionales’ en la planificación futura. La reutilización del agua (o agua regenerada) es una alternativa fiable a los recursos hídricos convencionales. Actualmente en Chile se han implementado diversas tecnologías no convencionales para la obtención de agua dulce como la desalinización de agua, recolección de lluvia, tecnología de hidrogel, atrapaniebla y la recolección de rocío.



Figura N°5. Fabrica desalinizadora de agua. Diario el Mostrador.

01. Desalinización de agua: Corresponde a la obtención de agua dulce a partir de aguas superficiales. Es un proceso de separación de sales y

otros minerales disueltos en el agua, mediante el uso de membranas de ósmosis inversa, la cual requiere de elevada presión, potencial eléctrico para forzar efectivamente el agua a través de la membrana. El aumento constante de los costos de energía en las últimas décadas ha tenido un impacto particularmente negativo en procesos intensivos que demandan energía, contribuyendo así al problema de las emisiones. Las plantas desalinizadoras que actualmente existen en la zona norte del país están principalmente relacionadas con el uso minero y en menor medida para el consumo humano. Estas producen 5 m³ por segundo de agua desalinizada. (Emol, Gobierno respalda la desalinización del agua para combatir la sequía: “Llegó la hora de mirarla en serio para dar una real solución”, 2019).



Figura N°6. Hidrogeles de poliacrilato en la agricultura. Portal Frutícola.

02. Tecnología de Hidrogel: Otra tecnología de absorción de aguas superficiales, es el uso de hidrogeles como almacenadores de agua. Estos materiales corresponden a polímeros formados por un gel insoluble que absorbe el agua de suelo y atmósfera, hidratándose y reteniendo el agua para liberarla de forma paulatina a medida que el entorno lo requiera. Esta tecnología se utiliza ampliamente en el campo de la agricultura mejorando las propiedades de retención de agua en diferentes suelos, como arcillas y margas arenosas. La comercialización de los hidrogeles en Chile comenzó en el año 2015 y es ampliamente utilizado en suelos de la región Metropolitana y de Valparaíso para usos domésticos, mantención y agricultura, entre canchas de golf, condominios, parques y campos. (Soy Chile, 2020)



Figura N°7. Proceso de recolección de agua de lluvia. Revista AD, México..

0.3 Recolección de lluvia: Se trata de una forma alternativa de abastecimiento hídrico basado en la captación, almacenamiento y aprovechamiento de las precipitaciones pluviales (agua de la lluvia) para el consumo cotidiano ya sea doméstico, para la agricultura o ganadería.

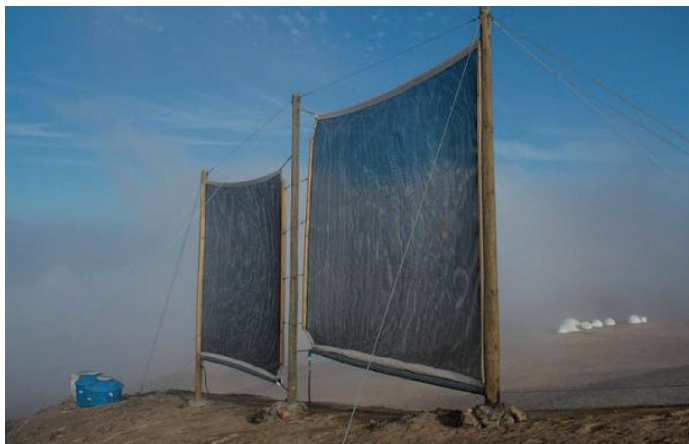


Figura N°8. Estrategía de atrapanieblas. Meteorología en Red.

0.4 Recolección de agua atmosférica: Actualmente existen dos principales tecnologías para recolectar agua por condensación: Recolección de niebla y recolección por rocío. Recolección de Niebla: La Recolección de niebla es una tecnología que no requiere energía externa, pero que para tener éxito, debe ubicarse en regiones donde existan condiciones climáticas favorables. Dado que el viento transporta las nieblas al sitio

de cosecha, la interacción de la topografía y el viento influirá en la determinación del rendimiento. Recolección de Rocío: Sistema pasivo de recolección de agua dulce por medio de la condensación de humedad en el aire.

De ellas, la tecnología menos convencional, pero más sustentable ha sido la obtención de agua dulce a partir de la recolección de rocío dado que presenta un sistema pasivo de recolección que no requiere energía adicional y que, al mismo tiempo, se verá directamente involucrado en los efectos del cambio climático ya que, según lo expuesto en el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020, se espera que la evaporación de la superficie terrestre se incremente como resultado de la tendencia mundial del aumento de las temperaturas del aire en todas las regiones, menos las más secas, donde la falta de agua impide tal aumento, generando un aumento en la evaporación de agua, volviendo el aire más cálido y húmedo. (Plan Sequía, Gobierno de Chile. Recuperado el 26 de mayo de 2022, desde: <https://www.gob.cl/plansequia/>).

Entendiendo el cambio climático como una realidad inevitable, se busca aprovechar el potencial de las nuevas condiciones atmosféricas como precursoras de obtención de agua desde el rocío, de manera que se conviertan en una oportunidad real, sustentable y accesible a la hora de combatir la escasez hídrica local. Dado que a medida que pasa el tiempo aumentan las temperaturas, lo que provoca un aumento en la evaporación de agua haciendo el aire más cálido y húmedo, convirtiéndose en una potencial fuente de agua atmosférica.





Capítulo 02
Recolección de Rocío

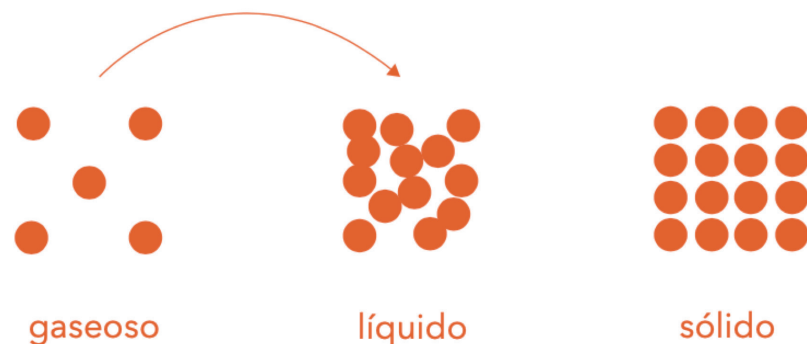
Fig. N°9. Telarañas bañadas en rocío. Pexels

Recolección de Rocío

El rocío es la humedad que se forma como resultado de la condensación. La temperatura en la que se forma el rocío se llama punto de rocío, y ocurre dentro de un amplio rango de temperaturas entre 6 y 21°C.

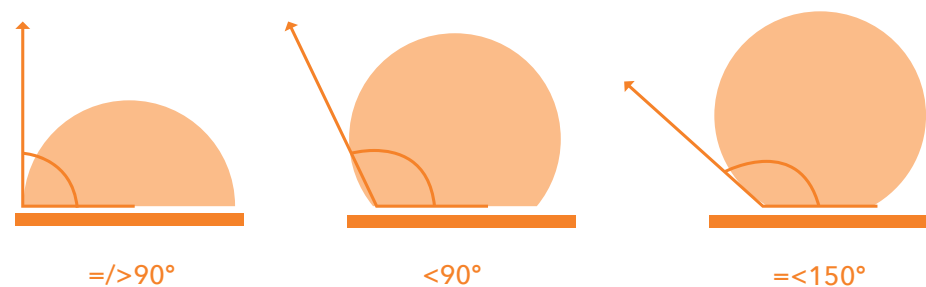
La recolección de rocío es una de las tecnologías no convencionales para la obtención de agua más interesantes dado que está directamente involucrada en los efectos del cambio climático ya que, según lo expuesto en el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020, se espera que la evaporación de la superficie terrestre se incremente como resultado de la tendencia mundial al aumento de las temperaturas del aire en todas las regiones, generando un aumento en la evaporación de agua, volviendo el aire más cálido y húmedo. (Plan Sequía, Gobierno de Chile. Recuperado el 26 de mayo de 2022, desde: <https://www.gob.cl/plansequia/>). Por otro lado, al ser un sistema pasivo de recolección es que cumple con la particularidad de ser un mecanismo sustentable de obtención de agua dulce, dado que no requiere de energía adicional para su implementación entendiendo que toda reducción en el uso de agua tiene el potencial de reducir al mismo tiempo la demanda energética del sector hídrico y por tanto, ayuda a combatir el cambio climático. Teniendo en cuenta esta particularidad del sistema, es que toma en cuenta su potencial a la hora de combatir la escasez hídrica en Chile mediante el proyecto DEWater presentando soluciones no convencionales, eficientes, ecológicas y sustentables. Pero, ¿Cómo condensamos rocío? Se hace necesario analizar el proceso de condensación de rocío para comprender conceptos físicos que permitirán guiar la respuesta solución del proyecto presente.

El proceso de condensación es un proceso natural mediante el cual el agua pasa de estado gaseoso a líquido, es decir, cuando la presión de vapor de agua es mayor que la presión de vapor de saturación. En este proceso las moléculas de agua están en constante movimiento por el aire a una velocidad que depende de la temperatura y para que éstas logren condensarse es necesaria la existencia de un núcleo de condensación. Estos núcleos son los encargados de facilitar el proceso de condensación de las partículas de agua ya que ellos buscan atraer las **partículas**



terísticas específicas de su superficie, la cual se denomina superficie hidrofóbica.

Las superficies Hidrofóbicas son aquellas que poseen la capacidad de repeler el agua, convirtiéndolas en superficies naturalmente impermeables. Para entender el comportamiento de una superficie frente al agua, hay que medir el ángulo de contacto de la gota sobre dicha superficie, de esta manera permite caracterizar las superficies en hidrofílicas (ángulo menos a 90°), hidrofóbicas (ángulo superior a 90°) o superhidrofóbicas (ángulo mayor a 150°). Entender este concepto permite comprender y analizar el comportamiento del agua sobre diferentes superficies, utilizando parámetros reales que permitirán tomar decisiones de diseño reales y fundamentadas.



Dentro de la naturaleza existen diversos sistemas biológicos que se encargan de recolectar rocío. Según el Informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de recursos hídricos 2018, los ecosistemas hacen importantes contribuciones al reciclaje de precipitaciones desde las

escalas locales a las continentales. El 40% de las precipitaciones anuales a nivel mundial se originan de la evaporación terrestre contra el viento, y esta fuente representa más de la mitad de las precipitaciones en algunas regiones; el resto se origina de los océanos (Keys et al., 2016). El estudio y análisis de ellos será necesario para conocer estrategias biológicas que permitan aprovechar de manera eficiente el agua de la atmósfera con la finalidad de aprender de ellos para luego replicar las formas y procesos para crear diseños innovadores, funcionales y eficientes.

En primer lugar se analizará la planta de loto.



Figura N°10. Flor de Loto. Blog Objetivo Bienestar.



Figura N°11. Hidrofobicidad hoja de loto. Asknature.

Las plantas de loto (*Nelumbo nucifera*) son plantas acuáticas que viven en hábitats fangosos. Se caracteriza por tener hojas flotantes y olorosas, además de un fruto de estructura compleja con múltiples hoyos que asemejan pequeños ojos. Las hojas de loto se mantienen libres de suciedad, una ventaja obvia para una planta acuática que vive en hábitats típicamente fangosos, y lo hacen sin usar detergente ni gastar energía. La cutícula de la planta está formada por lípidos solubles incrustados en una matriz de poliéster -cera- pero el grado de repelencia al agua es extremo (superhidrofóbico). Esto se logra a través de la microtopografía de las superficies de sus hojas, que aunque muestran una variedad de estructuras, todas comparten un conjunto matemático similar de proporciones asociadas con la superhidrofobicidad. Dentro de un artículo de revista W. Barthlott, C. Neinhuis explico que “El microrrelieve de las superficies de las plantas, causado principalmente por *crystaloides de cera epicuticular*, tiene diferentes propósitos y, a menudo, causa una repelencia al agua efectiva. Además, se reduce la adherencia de partículas contaminantes. Basado en datos experimentales... aquí se muestra por primera vez que la interdependencia entre la rugosidad de la superficie, la adhesión reducida de partículas y la repelencia al agua es la piedra angular en el mecanismo de autolimpieza de muchas superficies biológicas. Las plantas se contaminaron artificialmente con varias partículas y posteriormente se sometieron a un enjuague artificial por aspersión o generador de niebla. En el caso de las hojas hidrófugas, las partículas se eliminaban por completo mediante gotitas de agua que rodaban por las superficies independientemente de su naturaleza química o tamaño. Las hojas de *N. nucifera* ofrecen una demostración impresionante de este efecto, que es, por lo tanto, llamado el ‘Efecto del Loto’ y que puede ser de gran importancia biológica y tecnológica.” (Barthlott y Neinhuis 1997:1)

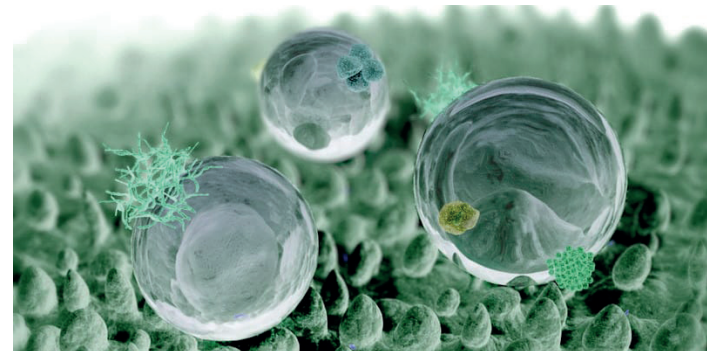


Figura N°12. Fotografía tipo SEM de la superficie de la Hoja de loto. Asknature.

En segundo lugar, se analizarán las suculentas rosetas. Las suculentas de roseta constituyen un grupo diverso de plantas que se han establecido con éxito en los ecosistemas desérticos, especialmente en las elevaciones en las que se forman las nubes. Muchos de ellos tienen hojas relativamente grandes que almacenan grandes volúmenes de agua y están dispuestas en capas que se extienden alrededor de la base de la planta. Esta estructura les ayuda a recoger y almacenar agua de la lluvia y la niebla, y es una de las claves de su éxito en estos entornos.



Figura N°13. Suculenta roseta. Asknature.

Estas suculentas han desarrollado varias características para ayudarlas a hacer uso de este recurso. Los agaves, por ejemplo, son muy eficientes en la recolección de agua, incluso de la niebla y las lluvias más ligeras, gracias a la superficie lisa de sus hojas creada por una capa exterior cerosa que también sirve como barrera contra la pérdida de agua. Las gotas de agua en la niebla tienen mucha área de superficie con la que hacer contacto con otras superficies. Con esta gran área de superficie, y siendo relativamente ligera, las gotas de niebla son capturadas por una envoltura de aire de movimiento lento que rodea una hoja y se dirige a lo largo de su superficie lisa. (Anika Haza, Asknature, 2022).

La particularidad que se destaca de esta especie es la estrategia que presenta en su superficie lisa y cerosa, que le permite obtener características hidrofílicas, evitando la pérdida de agua. Esta observación resulta interesante para el desarrollo del proyecto, ya que nos entrega conoci-

mientos y fundamentos para un acercamiento preliminar hacia las técnicas de recolección de rocío.

En tercer lugar se encuentra el lagarto diablo espinoso.



Figura N°14. Lagarto diablo espinoso. Asknature.

En el interior de Australia vive un lagarto que parece un cactus, más conocidos como diablos espinosos. La particularidad que destaca de esta especie de lagartos radica en su superficie microestructurada con canales capilares entre escamas superpuestas que permiten que la lagartija recolecte agua por capilaridad y la transporte a su boca para su ingestión. El papel ecológico de este mecanismo es la adquisición de agua de varias fuentes posibles, como lluvia, charcos, rocío, condensación en la piel o absorción de arena húmeda.

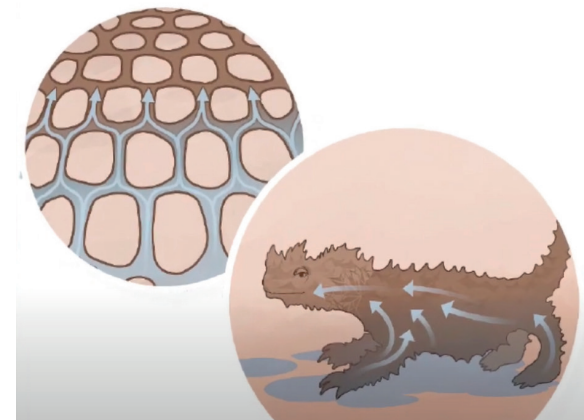


Figura N°15. Estructura superficie lagarto del desierto. Asknature.

Lo interesante que posee este lagarto es su capacidad física para recolectar humedad está asociada con una red de canales capilares, entre las escamas superpuestas, que permite el transporte pasivo y a veces direccional del agua recolectada a la boca para beber (Withers, 1993; Sherbrooke et al., 2007; Comanns et al., 2011, 2015). Es necesario el transporte a la boca para la ingestión, porque el tegumento es sustancialmente impermeable para minimizar la pérdida de agua por evaporación (Bentley y Blumer, 1962; Withers, 1993) y esto impide la absorción de agua a través de la piel. Es fundamental para el transporte capilar de agua una fuente de agua que proporcione un volumen suficiente de agua para que la piel la absorba y llene los canales capilares hasta el punto de que el agua capilar llegue finalmente a la boca para su ingestión. Se hace interesante analizar este tipo de estrategias biológicas para abrir un abanico de posibilidades de soluciones de diseño, a la hora de buscar un mecanismo que mejore las características de captación y recopilación de rocío. El análisis del lagarto diablo espinoso da cuenta de la importancia de las características superficiales a la hora de buscar captar partículas de agua, siendo fundamental la implementación de un mecanismo tipo red para guiar y resguardar las partículas de agua, evitando una posible evaporación de estas.

En último lugar, se estudiará al escarabajo del desierto de Namibia.

El Escarabajo de Namibia es un sistema biológico muy interesante a la hora de analizar su supervivencia en ambientes desérticos. Y es que gracias a su propio cuerpo logra recolectar el agua necesaria para subsistir en ese hábitat. Gracias a su superficie con protuberancias, logra facilitar la captación de niebla. Para entender cómo se comporta su superficie frente a la presencia de niebla, será necesario analizar el detalle de su microestructura, en específico su élitro, el cual corresponde a cada una de las alas rígidas y duras que tienen los insectos coleópteros, para determinar la eficacia de ella para recoger niebla.

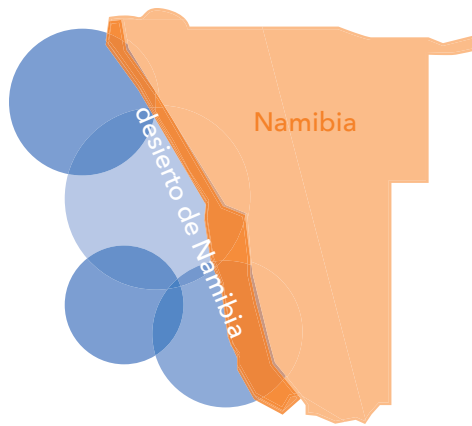
El Desierto de Namibia es uno de los hábitat más áridos de la Tierra. En él viven diversos organismos vivos que deben enfrentarse día a día a la falta de agua en su entorno. El desierto presenta una gran variedad de organismos vivos, pero para esta investigación se analizará en particular





Fig. N°16. Escarabajo de Namibia capturando rocío. Pexels

el Escarabajo Oscuro del Desierto de Namibia (Tenebrionidae) ya que ellos aprovechan activamente la niebla a través de un comportamiento denominado “Fog - Basking” (2: Hamilton WJ III, Seely MK: Fog Basking by the Namib Desert Beetle, *Onymacris unguicularis*. *Nature* 1976, 262:284-285.) En él, el escarabajo adopta una postura con la cabeza mirando hacia el viento y el agua de niebla comienza a acumularse en sus élitros y baja hacia su boca, para ser absorbida por el escarabajo.



El mecanismo por el cual el agua de niebla se transforma en grandes gotas en una superficie se ha descrito a partir del estudio de los élitros de los escarabajos de Namibia. Se cree que las superficies que subyacen en este proceso son picos hidrofílicos rodeados de zonas hidrofóbicas; el agua transportada por la niebla se deposita en los picos hidrofílicos de las protuberancias de los élitros del escarabajo y forman gotas de rápido crecimiento que - una vez que son lo suficientemente grandes como para moverse contra el viento - ruedan hacia la cabeza. La universidad de Lund (Suecia) realizó estudios a nivel laboratorio para analizar el comportamiento del escarabajo en condiciones de niebla, donde se concluyó que la alta humedad, y no la baja temperatura, es la condición crítica bajo la cual los escarabajos adoptan su característica posición de cabeza para recoger agua. Sin embargo, la combinación de niebla y bajas temperaturas son el factor que más desencadenan este comportamiento.

A escala macroscópica, los élitros del escarabajo están cubiertos por una

matriz casi aleatoria de protuberancias separadas entre 0,5 y 1,5 mm, cada una de aproximadamente 0,5 mm de diámetro (Fig. 17a). A nivel microscópico, los picos de estas protuberancias son lisos, sin recubrimiento (Fig. 17b), mientras que los valles, incluidos sus lados inclinados, están cubiertos por una microestructura recubierta de cera (Fig. 17b).

La microestructura A escala macroscópica, los élitros del escarabajo están cubiertos por una matriz casi aleatoria de protuberancias separadas entre 0,5 y 1,5 mm, cada una de aproximadamente 0,5 mm de diámetro (Fig. 17a). A

nivel microscópico, los picos de estas protuberancias son lisos, sin recubrimiento (Fig. 17b), mientras que los valles, incluidos sus lados inclinados, están cubiertos por una microestructura recubierta de cera (Fig. 17b). La microestructura consta de hemisferios aplanados, **isometrom** de diámetro y dispuestos en una matriz hexagonal regular (Fig. 17c), creando un sistema superhidrofóbico que recuerda a la hoja de loto. El sistema de producción de gotas funciona mediante el “crecimiento” de gotas en los puntos de siembra hidrofílicos de los picos. El agua de la niebla se deposita en los picos, formando gotitas de rápido crecimiento que se unen a los élitros; El agua que golpea las laderas hidrofóbicas también se puede recolectar como puede rebotar o volar a una región hidrófila. Cada gota adherida finalmente alcanza un tamaño en el que su área de contacto cubre toda la isla hidrofílica. Más allá de este tamaño, la relación entre su masa y su área de contacto superficial aumenta rápidamente hasta que se supera la fuerza capilar que lo une a la superficie (esta fuerza está dictada por el área de la isla hidrofílica). En este punto, la gota se desprende y rueda por la superficie inclinada del escarabajo, guiada por el ligero agarre que ofrecen otros picos a lo largo de su camino. Es por esto que se concluye que la combinación de puntos hidrofílicos e hidrofóbicos fue la mejor para recolectar agua de la niebla. (Andrew R. Parker*, Chris R. Lawrence† , Captura de agua por un escarabajo del desierto, 2001). En la Fig. 18 se muestra una representación esquemática de una sección transversal de los élitros. Para la condensación de agua, la superficie exterior de los élitros (valles y protuberancias) es la más importante. A partir de micrografías electrónicas realizadas **por xxx**, se observó que la superficie de los valles sólo revela un patrón periódico hexagonal con un período de aproximadamente 6µm, y tanto los valles como las protuberancias muestran algunas microestructuras(fig 18..)

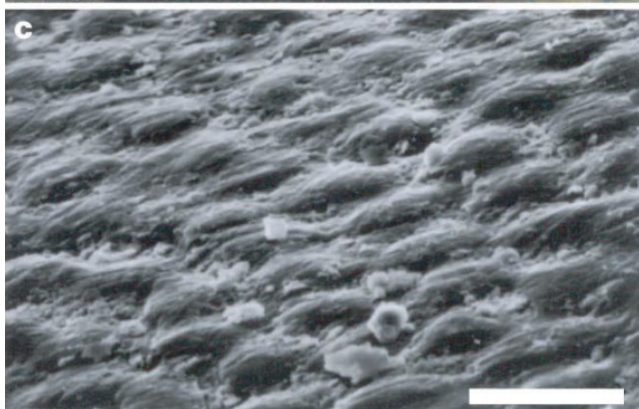
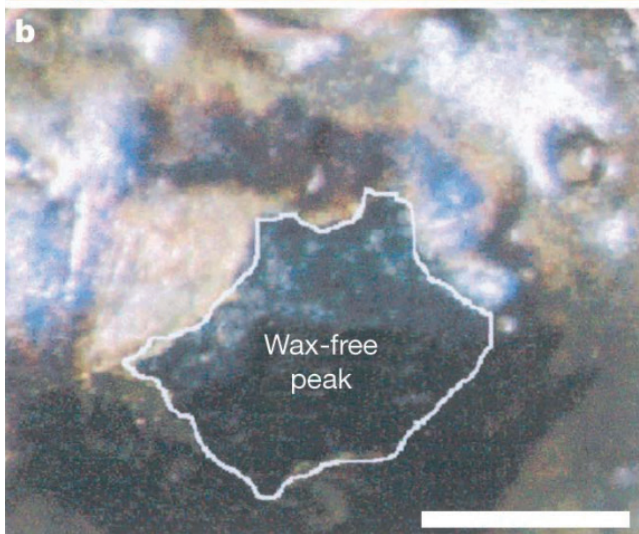


Fig. 18. La superficie de captura de agua de las alas fusionadas (élitros) del escarabajo del desierto *Stenocara* sp.

A, Hembra adulta, vista dorsal; picos y valles son evidentes en la superficie de los élitros.

B, Un 'golpe' en los élitros, teñidos con Red O durante 15 min y luego con isopropanol al 60 % durante 10 min, un procedimiento que analiza la presencia de ceras. Las áreas deprimidas de los élitros, que de otro modo serían negras, se tiñen positivamente (cerosos, coloreados), mientras que los picos de las protuberancias permanecen sin teñir (sin cera; negros).

C, Micrografía electrónica de barrido de la superficie texturizada de las áreas deprimidas. barras de escala,

Fuente: Andrew R. Parker*, Chris R. Lawrence, Departamento de Zoología, Universidad de Oxford, Oxford

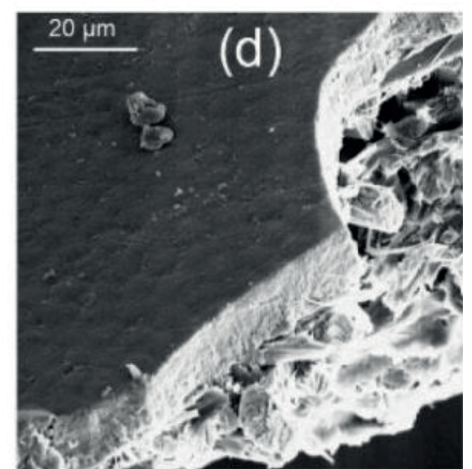
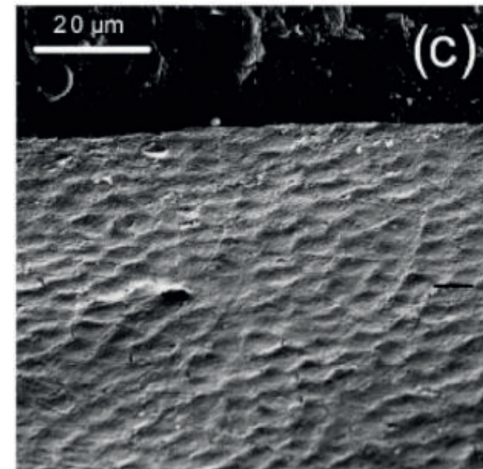
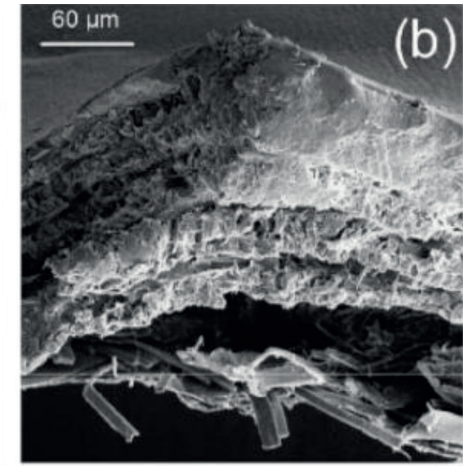
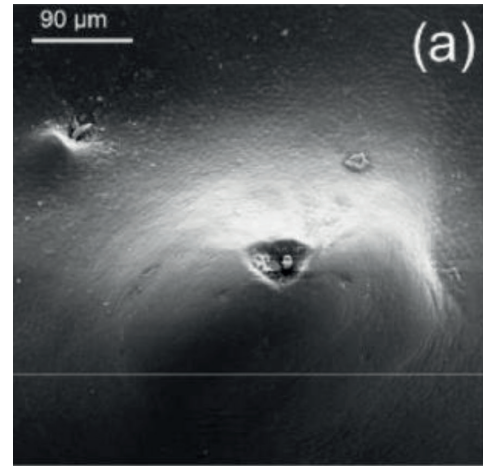


Figura N°18. Fotografía SEM de las regiones de los élitros realizados por J.M Guadarrama - Cetina. para el informe "La condensación de rocío en la piel del escarabajo del desierto. (a) Protuberancia y valles circundantes. En la parte superior de la protuberancia hay una pequeña depresión con una microseta. En el valle se observa otra microseta. La superficie de la parte superior de la protuberancia es lisa; la superficie del valle contiene una estructura hexagonal (véase en c). (b) sección transversal a través de una protuberancia. (c) superficie estructural del valle. (d) La capa lisa observada en la protuberancia, que corresponde a la capa reticulada del cemento más cera por encima de la epicutícula exterior.

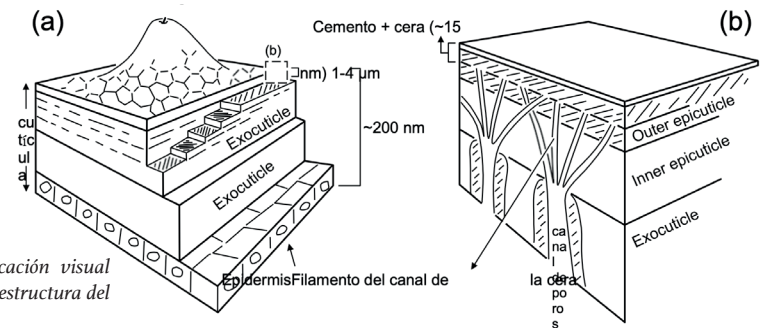


Figura N°19. Simplificación visual para observar la microestructura del escarabajo de namibia

En términos de innovación tecnológica, gestión del conocimiento, investigación y desarrollo de capacidad los retos son promover la creación de nuevas herramientas. Actualmente, existen distintas soluciones tecnológicas que han intentado recolectar agua atmosférica mediante distintas estrategias.

Investigadores de UT Austin llevaron a cabo una investigación donde elaboraron un gel simple y de bajo costo para obtener agua atmosférica. Este elemento funciona cuando se coloca en un área con una humedad relativa del 30 %. 1 kg del producto puede producir 13 litros (3,4 galones) de agua al día, incluso cuando se pone en un clima completamente seco con solo un 15 % de humedad, aún puede generar 6 litros (1.6 galones) por día. El gel, llamado SHPF (película de polímero súper higroscópico) está hecho de dos ingredientes: goma Konjac, un aditivo alimentario común hecho de la raíz de la planta konjac, y celulosa, es decir, fibra vegetal. La goma konjac es lo que absorbe el agua del aire. La celulosa se ha diseñado de alguna manera para que responda térmicamente (no se proporcionan detalles) y es hidrofóbica, por lo que arroja agua cuando se calienta. Tras esta investigación realizada por UT Austin, en conjunto con el artículo publicado por Guo, Y., Guan, W., Lei, C., se obtuvieron los siguientes resultados:

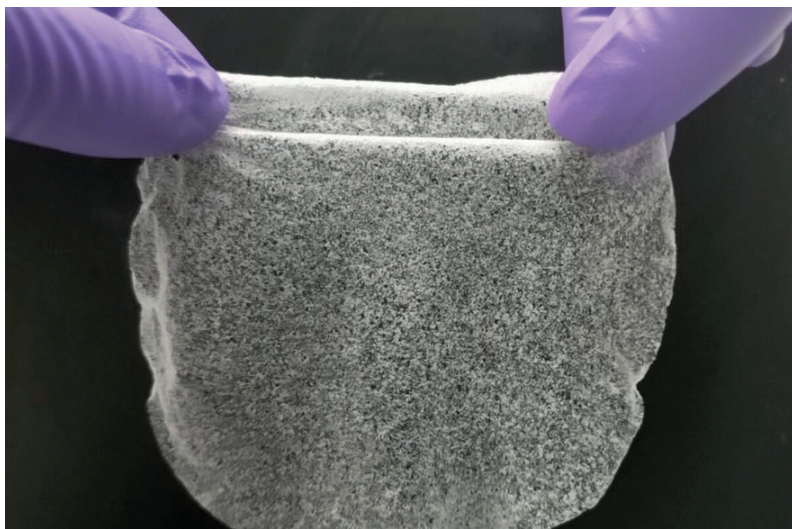


Figura N°20. Fotografía gel SHPF' s. UT. Austin

Se observó una superficie rugosa con poros de tamaño micro que oscilan entre los 20 y 50 μm . con la estructura altamente porosa y la excelente capacidad para contener LiCl (cloruro de litio, cuya fórmula química es LiCl, es una sal formada por cloro y litio en proporción 1:1).

El vapor de agua del aire húmedo se difunde a través de los poros abiertos de SHPF a su pared debido a la presión de vapor reducida en la interfaz hidrogel-aire causada por el LiCl higroscópico. alcanzando una recolección promedio de agua de 0.56gg-1 después de capturar humedad a - 15%hr, 0,82 gg-1 para - 30% hr y 1,31 gg-1 para - 60% de hr. La eficiencia de recolección de agua promedio calculada, es decir, la relación entre la recolección de agua y la captación de agua, alcanza el 87%. Por último, destaca la atractiva capacidad de entrega de agua de SHPF. Destacando con alta absorción de agua bajo baja HR en condiciones exteriores. Suplementario, bajo costo de materiales, síntesis fácil y escalable, y respeto al medio ambiente en general, los SHPF prometen una futura implementación sostenible.

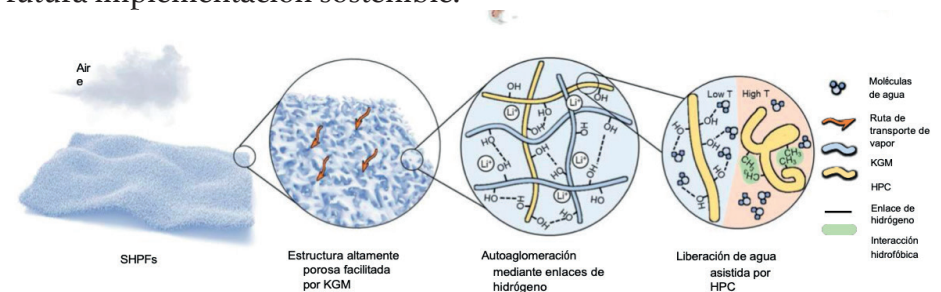


Figura N°21. Representación gráfica estructura química del gel SHPF' s. UT. Austin

Por otro lado, dentro de un informe de recopilación de diseños y estructuras para la recolección de agua atmosférica, se encuentra el proyecto de cosechadora de agua en 3D de diseño vertical que puede condensar de manera eficiente y luego transferir agua gaseosa en un ambiente de humedad sobresaturada también ha recibido una gran atención. Las espinas de cactus en forma de cono están compuestas por un 50 % de celulosa y un 50 % de lignina, arabino u otros polisacáridos no estructurales, que proporcionan a la espina una gran afinidad por las moléculas de agua para recolectar gotas de niebla en áreas desérticas.. Al imitar la microestructura de la columna vertebral, en 2013, el grupo de Jiang informó sobre un cable de cobre cónico (CCW) con una humectabilidad de gradiente axial para la recolección de agua saturada. (Recolección de

agua atmosférica: una revisión de los diseños de materiales y estructuras. Xingyi Zhou, Hengyi Lu, Fei Zhao,* y Guihuayu* Mayo 2020.)

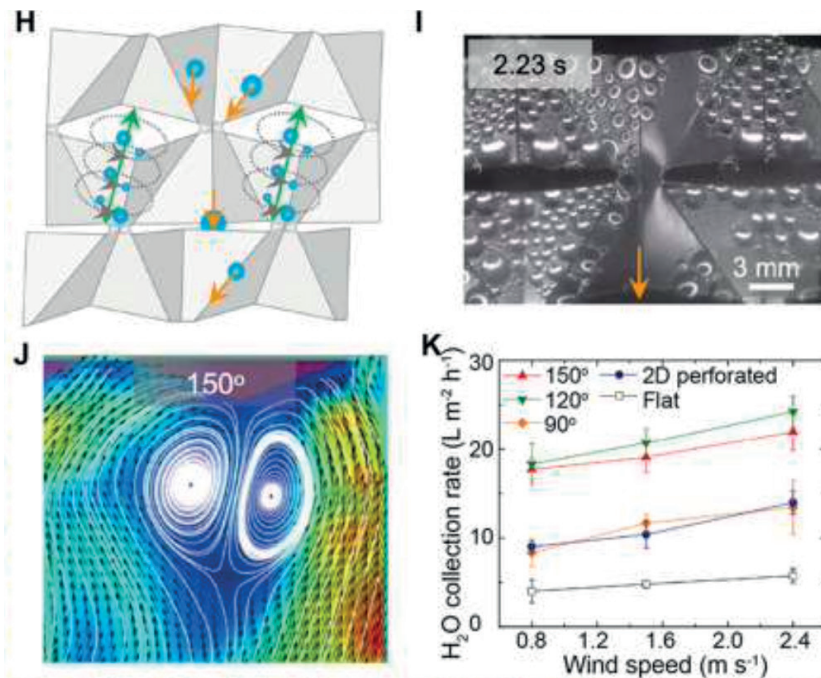


Figura N°22. Representación del funcionamiento de la cosechadora vertical. Recolección de agua atmosférica: una revisión de los diseños de materiales y estructuras.

El principal cuello de botella que afecta la captación de agua saturada es el patrón de contacto entre el aire húmedo y la columna cónica, es decir, la aerodinámica y la mecánica de fluidos del aire húmedo cerca de la superficie del material. Inspirándose en las corrientes de Foucault, Yang et al. llevó a cabo una nueva exploración de la morfología de la superficie de los materiales de recolección de agua y creó una superficie 3D que promovió la generación de corrientes de Foucault en el aire húmedo, aceleró la recolección de niebla y logró una tasa de recolección de niebla ultra alta de 24,5 L·m⁻²·h⁻¹ a un caudal de aire húmedo de 2,4 ms⁻¹. En este estudio, se emplearon láminas de PET recubiertas con Al ultrafinas (grosor = 127 μm) para cortar la superficie 3D similar a la del kirigami deseada (Figura 2H-K). Evaluaron completamente la tasa de recolección de agua de la superficie 3D cuando los ángulos de flexión en la superficie son planos (180°, 90°, 120°, y 150°) y el aire húmedo (0.8–2.4 ms⁻¹) fluye perpendicular al plano de la superficie. La generación de co-

rrientes de Foucault también se probó mediante modelos matemáticos. Como resultado, esta superficie 3D tipo kirigami logra una eficiencia de recolección de niebla porcentualmente mayor que la de todos los materiales de superficie de estructura publicados para la recolección de agua saturada.

Durante el continuo crecimiento y transferencia de gotas de agua, es extremadamente importante evitar la acumulación de moléculas de agua en la microestructura de la superficie, porque el agua residual que cubre la superficie afecta directamente la eficiencia de recolección de agua y la cinética de transferencia de gotas de agua. Esta observación es importante a la hora de tomar las decisiones de diseño, ya que demuestra empíricamente que la superficie debe tener algún tipo de ángulo de inclinación para que el agua escurra y no se acumule, disminuyendo las probabilidades de condensación de agua debido a la falta de interacción entre las moléculas y las superficies.

En tercer lugar, está Nans, Natural Nanotechnology System, es una empresa que trabaja en producir soluciones nanotecnológicas inspiradas en la naturaleza. Su primer producto fue Rhino, el cual consiste en un impermeabilizante para materiales de la construcción. Este material es utilizado con la finalidad de ser más sustentable; nace de la combinación de dos o más compuestos químicos (materias primas individuales con distintas propiedades) de forma que la combinación de ellos genera mejores propiedades al compuesto final, es decir, que el material final sea superior a cada una de las materias primas por separado (sostenibilidad para todos, 2020). Rhino es un aditivo que se adiciona durante el proceso de mezclado del hormigón, ayudando a disminuir el costo en las materias primas, al solo utilizar un aditivo para hidrofobicidad, impermeabilidad y mejora de la resistencia del producto. El mecanismo de acción del aditivo constante de dos partes. Primero, el aditivo confiere su propiedad de hidrofobicidad a la mezcla de cemento cuando es agregada a la misma. Y posterior a ello, se produce una reacción entre la base del aditivo (aluminosilicato) y la mezcla de cemento, proporcionando así una mayor resistencia e impermeabilidad del material resultante. Segundo, puede sustituir al cemento, en al menos un 15% aproximadamente. Se destaca de esta estrategia tecnológica la implementación de

dos o más compuestos con la finalidad de que en conjunto incrementen la eficiencia de condensación de la superficie. Esta observación es importante a la hora de analizar distintas variables materiales y estructurales con el objetivo de optimizar la captación de agua.



Figura N°23. Comparación de superficies con y sin tecnología Rhino. Recolectión de agua atmosférica: una revisión de los diseños de materiales y estructuras.

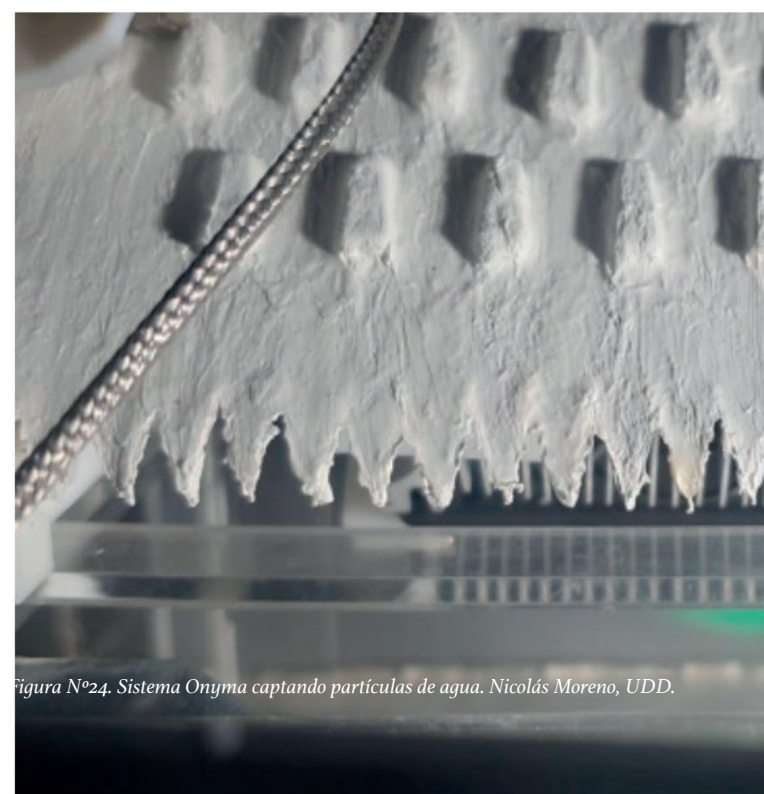
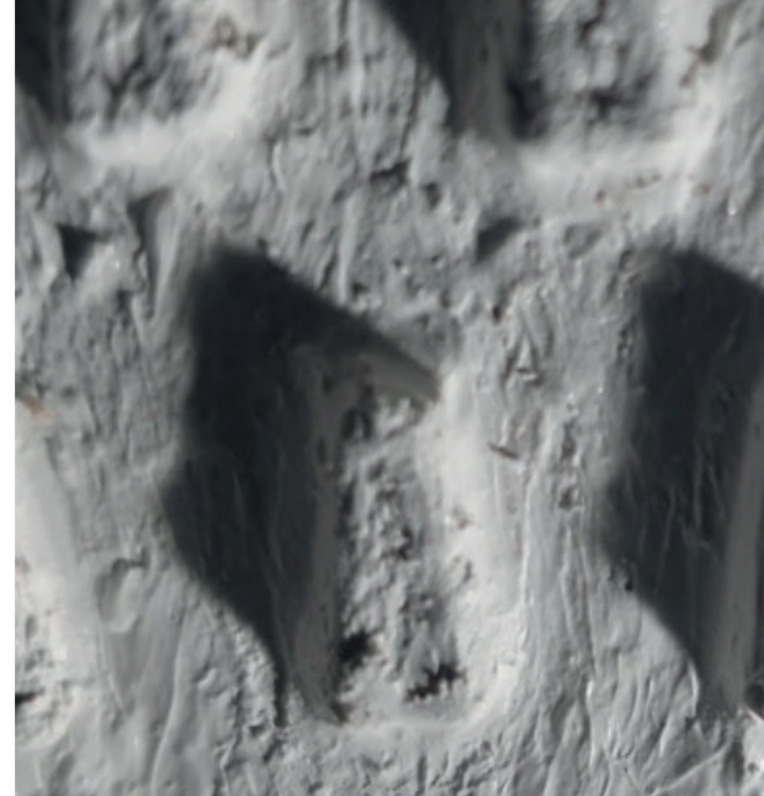
Por último, está el proyecto Onyma, el cual fue un proyecto de título realizado por Nicolás Moreno, en conjunto con sus tutores Francisco Fuentes y Nataly Silva que tuvo como objetivo principal investigar la eficiencia de material a través de modificación de éste para mejorar sus condiciones de condensación por medio de la diferencia de temperatura de las superficies. Al mismo tiempo, la investigación puso su mirada en el funcionamiento de la naturaleza, y con el propósito de imitarla fue que Onyma logró generar un primer acercamiento a un sistema inspirado en lo biomimético para la recolección de rocío. (Moreno, Fuentes & Silva, 2019). El proyecto surgió como una alternativa activa de recolección de agua dulce donde se llevó a cabo una investigación de material y aditivos con el objetivo de otorgar nuevas y mejores condiciones para la condensación de agua sobre este material. Para ello se estudió en particular el caolín como aditivo principal para la muestra, debido a su alta emisividad y alta reflectividad, actuando como superficie absorbente de rocío en techos.

El caolín es un silicato de aluminio hidratado ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), producto de la descomposición de rocas feldespáticas principalmente. El

término caolín se refiere a arcillas en las que predomina el mineral caolinita. Presenta un aspecto terroso, tacto árido y casi siempre susceptible a la plasticidad cuando se le añade agua. Se usa principalmente en la manufactura de porcelana, cerámica y ladrillos, materiales de yeso, aisladores eléctricos y térmicos, agentes emolientes y de secado; en la industria farmacéutica y como absorbente. Se caracteriza por ser Insoluble en agua, ácidos fríos o hidróxidos de álcalis. (Cosmos.cl) y resiste altas temperaturas. Tiene elevada refractariedad y facilidad de dispersión.

Tras el análisis a nanoescala de las partículas de caolín, se determinó que se utilizará una placa de acero galvanizado revestida con pintura acrizinc y caolín INCI dado que presenta un acabado poroso en la superficie que lo hace propenso a la nucleación de humedad y lo convierte en una superficie hidrofóbica. Por otro lado, el proyecto Onyma construyó un sistema de monitoreo para analizar características como humedad y temperatura en relación directa con el volumen de condensación generado por la placa. Sin embargo, Onyma realizó una investigación basada en una condensación y recolección activa de moléculas de agua logrando una condensación mediante diferencia de temperaturas. Esto es interesante, pero responde de manera poco sustentable a la problemática que busca responder el presente proyecto, por lo que se descarta la posibilidad de utilizar métodos activos para condensación de agua, de manera de disminuir la demanda energética para la reutilización de agua. DEWater realizará una exploración exhaustiva material y estructural con el objetivo de generar una captación y recolección pasiva de rocío.

Del mismo modo cabe destacar que Onyma aportó en el ámbito de la investigación tecnológica para la recolección de rocío entregando información acerca de la utilización del caolín como aditivo hidrofóbico. Sin embargo, se decide descartar el resto de su metodología para el proyecto DEWater ya que no alcanzó volúmenes de condensación óptimos. Para el desarrollo de éste proyecto se considerará la implementación de Caolín como aditivo hidrofóbico, de manera continuar con la investigación con respecto a los distintos métodos de aplicación de este aditivo, con el propósito de obtener mayor índices de hidrofobicidad en la superficie del material.



Se hace interesante comprender los aspectos que permiten la condensación de rocío. Entendiendo el contexto de escasez hídrica, es importante buscar soluciones tecnológicas coherentes que nos permitan aportar en el estudio y avance hacia una verdadera solución. Comprender el comportamiento de la naturaleza frente a escenarios de escasez de agua, nos enseña directamente como aprovechar al máximo los recursos para lograr subsistir de manera sustentable y ecológica de manera de generar soluciones tecnológicas reales basadas en la naturaleza.





Figura N. 25. Partículas de agua. Asknature.

Capitulo 03
Soluciones Tecnológicas basadas en la naturaleza

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) están inspiradas y respaldadas por la naturaleza y utilizan o imitan los procesos naturales para contribuir a la gestión mejorada del agua. Una solución basada en la naturaleza puede implicar la conservación o rehabilitación de los ecosistemas naturales y/o la mejora o creación de procesos naturales en ecosistemas modificados o artificiales. (Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. París, UNESCO.)

Las SbN resultan especialmente prometedoras en cuanto a progresos en la producción sostenible de alimentos, la mejora de los asentamientos urbanos, el acceso al suministro de agua potable y al saneamiento y la reducción del riesgo de desastres relacionados con el agua. También pueden ayudar a responder a los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos. Las SbN se destacan por apoyar una economía circular, restauradora y regeneradora de diseño, fomentando una mayor productividad de los recursos para reducir su desperdicio y evitar la contaminación, incluso a través de la reutilización y el reciclaje de los mismos. También respaldan los conceptos de crecimiento verde o economía verde, que promueven el uso sostenible de los recursos naturales y el aprovechamiento de los procesos naturales para sustentar las economías. La aplicación de las SbN al agua también genera beneficios colaterales de carácter social, económico y medioambiental, que incluyen mejoras de la salud humana y los medios de subsistencia, el desarrollo económico sostenible, empleos decentes, la rehabilitación y mantenimiento de los ecosistemas y la protección y mejora de la biodiversidad. El valor de algunos de estos beneficios colaterales puede ser sustancial y decisivo a la hora de inclinar la balanza de las inversiones a favor de las SbN.

Los ecosistemas tienen una influencia importante en el reciclaje de la precipitación desde una escala local, hasta una continental. En lugar de considerarse como “consumidora” de agua, la vegetación es vista más bien como “recicladora” de agua. Globalmente, hasta el 40% de las precipitaciones de la tierra tienen su origen en la transpiración de las plantas a barlovento y en otras evaporaciones terrestres. Esta fuente re-

presenta la mayoría de las precipitaciones en algunas regiones. Por tanto, las decisiones relacionadas con el uso de la tierra en un lugar determinado pueden tener consecuencias importantes para los recursos hídricos, las personas, la economía y el medio ambiente en lugares distantes, lo que apunta a las limitaciones de la cuenca hidrográfica (en oposición a la “cuenca de precipitación”) como base para la gestión. La infraestructura verde (para el agua) utiliza sistemas naturales o seminaturales como las SbN para proporcionar opciones de gestión de los recursos hídricos con beneficios equivalentes o similares a las infraestructuras convencionales “grises” (construidas/ físicas) de agua. En algunas situaciones, los enfoques basados en la naturaleza pueden ofrecer la principal o la única solución viable (por ejemplo, la restauración del paisaje para luchar contra la degradación de la tierra y la desertificación), mientras que para otros propósitos solo funcionará una solución construida (por ejemplo, suministrar agua a una vivienda mediante tuberías y grifos). (Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. París, UNESCO.)


Actualmente existe una ciencia llamada Biomimética encargada del estudio de la naturaleza como fuente de inspiración para tecnologías innovadoras con la finalidad de resolver problemas humanos que la naturaleza ya ha resuelto a través de modelos de sistemas (mecánica) o procesos (química), o elementos que imitan o se inspiran en ella. Es decir, consiste en inspirarnos en dicha naturaleza para desarrollar soluciones tecnológicas. (blog de Enérgya-VM, 2021). Y es que a través de la biomimética se ha logrado llegar a soluciones de diseño sustentables, circulares y regenerativas; pasivas de energía, evolutivas, eficientes y efectivas.

Bajo esta premisa se desarrolló el ya mencionado Proyecto Onyma, el cual tuvo como objetivo principal investigar la eficiencia de material a través de modificación de éste para mejorar sus condiciones de condensación por medio de la diferencia de temperatura de las superficies. Al mismo tiempo, la investigación puso su mirada en el funcionamiento de la naturaleza, y con el propósito de imitarla fue que Onyma logró generar un primer acercamiento a un sistema inspirado en lo biomimético

Objetivo General

Explorar estructuras biomiméticas que permitan mejorar parámetros de captación y recolección pasiva de rocío, con respecto a la tecnología utilizada por Onyma





Diseño Solución
capítulo 4

Diseño Solución

Como se mencionó anteriormente, el proyecto deWater se enmarca dentro del contexto nacional de la escasez de agua dulce, donde las condiciones ambientales están cambiando hacia un aumento de temperaturas que provocará como consecuencia el aumento en la evaporación de agua. Entendiendo esta realidad es que se analizan distintas tecnologías de recolección de agua dulce, siendo la más eficaz teniendo en cuenta las condiciones climáticas futuras, la recolección de agua atmosférica, en específico la recolección de rocío dado que no se ve condicionada por condiciones geográficas y presenta diversas alternativas de captación de humedad a través de sistemas pasivos de recolección, lo que nos lleva al diseño de sistemas sustentables y accesibles.

Se busca alcanzar una solución que, en primera instancia, sea implementada en Chile teniendo en cuenta que actualmente existe emergencia agrícola por déficit hídrico en 226 comunas a lo largo del país. Buscando aportar a los pequeños agricultores con el objetivo de generar un sistema que permita la obtención de agua para uso doméstico, evitando que estas personas pongan en riesgo su disponibilidad de agua, priorizando sus cultivos.

En rasgos generales, la propuesta solución busca implementarse en lugares áridos, como por ejemplo la comuna de Petorca la cual se encuentra en el epicentro de la mega sequía que ha afectado a la zona central del país en la última década, donde el manejo del recurso, su extracción y escasa fiscalización, han jugado un papel importante en la crisis, convirtiendo a Petorca en un ícono de inequidad en el acceso al agua. Si se logra captar y recolectar rocío en esta zona extrema, necesariamente el volumen de condensación de agua aumentará si la solución se implementa en lugares costeros o ambientes con mayor índice de humedad.

Entendiendo los requisitos que existen para obtener condensación, destaca principalmente el concepto de radiactividad, donde una superficie con menor temperatura presenta mejores condiciones de condensación de agua, dado que a menor temperatura las partículas de agua se mueven a menor velocidad por lo que es más fácil que éstas sean atraídas

por los núcleos de condensación. Al mismo tiempo, la orientación del viento posee una gran incidencia en el proceso de condensación de agua, entendiendo que el viento empuja las partículas de agua hacia la superficie de condensación y esto aumenta las probabilidades de condensación en los núcleos.

Analizando estas particularidades es que se toma la decisión de implementar la propuesta de diseño en los techos de las casas particulares de la comuna de Petorca ya que la inclinación de estos ayudan a captar el viento, tomar las partículas de agua y condensarlas. Al mismo tiempo, la inclinación de los techos sería un factor que facilite la recolección del agua condensada, haciendo que ésta fluya y se desplace por la superficie. Por último, otro elemento interesante que se encuentra en los techos es el material con el que están hechos. El acero galvanizado es un material que se utiliza principalmente en techumbres. El potencial que posee este material es su capacidad de adaptarse a las diferentes condiciones climáticas, aumentando o disminuyendo su temperatura dependiendo de las condiciones ambientales. Se hace interesante este punto, ya que como mencionamos anteriormente, las partículas de agua se mueven a una menor velocidad cuando se encuentran sobre una superficie fría, propiciando la condensación.

Es por esto que, entendiendo el contexto en el que se quiere implementar la propuesta solución, se toma la decisión de implementar el diseño sobre las techumbres de las casas con la finalidad de aprovechar las características del acero galvanizado y la inclinación que por defecto poseen sobre los techos.

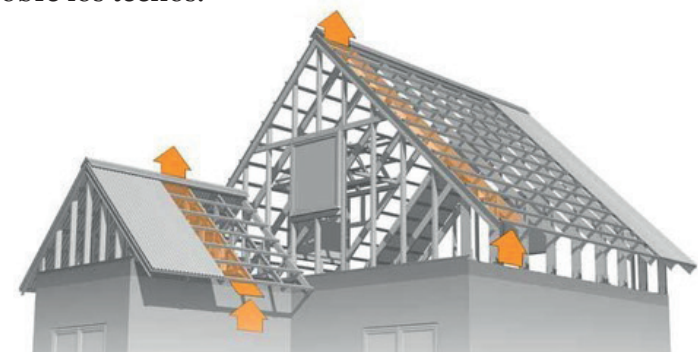


Figura N°27. Representación de techumbre con acero galvanizado y ángulo de inclinación

Ahora, ¿qué más necesito para condensar?

Tras lo estudiado anteriormente, se destacan las características estructurales que presentan los sistemas biológicos, donde a través de su microestructura logran captar y recolectar pasivamente agua atmosférica. Para el desarrollo del proyecto se tomará como referente la estructura del escarabajo de Namibia, con el objetivo de estudiar en específico el funcionamiento de su superficie para poder generar una abstracción de diseño y replicarlo. Para ello será necesario entender su morfología y estrategia biológica, lo cual permitirá comprender la física dentro de su estructura.

El proyecto DEWater busca replicar de manera artificial la red de patrones y canales que posee el escarabajo de Namibia. Como se mencionó anteriormente, A escala macroscópica, los élitros del escarabajo están cubiertos por una matriz casi aleatoria de protuberancias separadas entre 0,5 y 1,5 mm, cada una de aproximadamente 0,5 mm de diámetro. A nivel microscópico, los picos de estas protuberancias son lisos, sin recubrimiento, mientras que los valles, incluidos sus lados inclinados, están cubiertos por una microestructura recubierta de cera. La microestructura consta de hemisferios aplanados, 10 micrometros de diámetro y dispuestos en una matriz hexagonal regular, creando un sistema superhidrofóbico que recuerda a la hoja de loto. El sistema de producción de gotas funciona mediante el “crecimiento” de gotas en los puntos de siembra hidrofílicos de los picos. Cada gota adherida finalmente alcanza un tamaño en el que su área de contacto cubre toda la isla hidrofílica. Más allá de este tamaño, la relación entre su masa y su área de contacto superficial aumenta rápidamente hasta que se supera la fuerza capilar que lo une a la superficie (esta fuerza está dictada por el área de la isla hidrofílica). En este punto, la gota se desprende y rueda por la superficie inclinada del escarabajo, guiada por el ligero agarre que ofrecen otros picos a lo largo de su camino. Es por esto que se concluye que la combinación de puntos hidrofílicos e hidrofóbicos fue la mejor para recolectar agua de la niebla. (Andrew R. Parker*,Chris R. Lawrence† , Captura de agua por un escarabajo del desierto, 2001).



Figura N°28. Flujo del agua sobre escarabajo del desierto. AskNature.

Diseño Red de Patrones

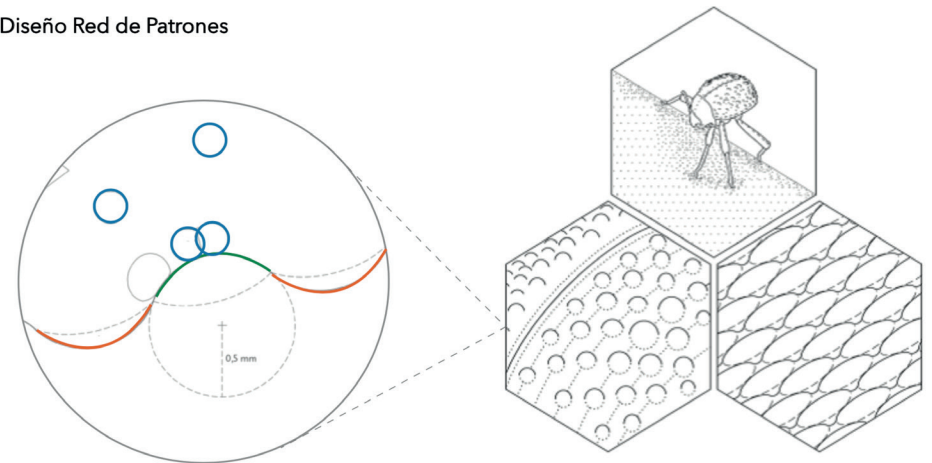


Figura N°29. Análisis de superficie escarabajo del desierto.. AskNature.

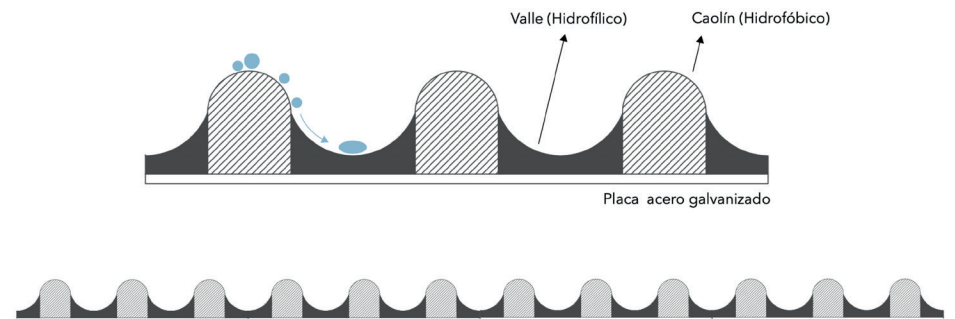


Figura N°30. Primer acercamiento de diseño de superficie basado en el escarabajo del desierto.. AskNature.

Con el objetivo de replicar la microestructura del escarabajo, creando una red de patrones y canales, se utilizará la herramienta de diseño paramétrico (grashopper), el cual permitirá crear diversos patrones adaptables con el objetivo de realizar diversas muestras que permitan concluir en qué escala la condensación de agua mejora. Esto permitirá crear diversas variables de comportamiento que permitirán llevar un análisis más completo del estudio de patrones.

Por otro lado, tomando en cuenta la materialidad presente en los sistemas biológicos de la naturaleza es que se hace necesario generar un estudio y análisis de materiales hidrófobos. Esto porque se busca revertir la placa de acero galvanizado con materiales que potencian la condensación y recolección de agua, ayudando a generar flujos continuos de desplazamiento de agua, evitando pérdidas y evaporación del agua mientras ésta es recolectada. Para ello se decide continuar con el material utilizado por el proyecto Onyma, donde utilizaron caolín como revestimiento hidrófobo, dado que su composición y materialidad permiten un acabado poroso y granulado sobre la superficie, lo cual sirve como picos de condensación. Al mismo tiempo, Onyma realizó diversos análisis a nivel de laboratorio que demuestran la factibilidad del uso de caolín como material hidrofóbico para la condensación de agua atmosférica. Pero, siguiendo con la línea de soluciones tecnológicas basadas en la naturaleza, es que se hace necesario explorar otro material que en conjunto con el caolín, presenten mucho mejores condiciones de condensación de agua, disminuyendo la radiactividad del material (capacidad de una superficie de generar energía, calor), por ende generando superficies que posean bajas temperaturas y evitan la evaporación.

Para poder llevar a cabo la exploración material, será necesario estudiar qué materiales presentan las mejores características de impermeabilidad y radiatividad para luego realizarle pruebas que permitan evidenciar empíricamente cuál es el material que posee un mejor comportamiento al contacto con el agua.

Para llevar todo este proceso a cabo se utilizará una metodología de doble diamante, donde por un lado estará todo el procedimiento creativo, ligado a descubrir e investigar teniendo como objetivo definir una pro-

puesta de diseño proyectual y por el otro lado, se encontrará el proceso ligado a la manufactura de prototipos que van relacionados directamente con el diseñar y desarrollar la solución. Esta metodología permite mejorar y rediseñar procesos, por lo que resulta atractivo utilizarla a la hora de investigar y analizar una solución viable de diseño para la captación y recolección pasiva de agua atmosférica. Será fundamental para el desarrollo del proyecto llevar a cabo una investigación constructiva utilizando el prototipaje como método de elaboración del conocimiento, ya que servirá como puesta en práctica de todos los conocimientos adquiridos tras el estudio del marco teórico con respecto a los sistemas biológicos que se encargan de recolectar agua.

La investigación será en gran parte a nivel de laboratorio, ya que se necesita entender el comportamiento de los distintos materiales y patrones bajo variables controladas de temperatura, humedad, presión, vientos, etc para poder evaluar cómo se comporta el volumen de condensación con respecto a estas variables. Por otro lado será necesario observar continuamente la temperatura de las placas de acero galvanizado revestido con el objetivo de identificar si presenta una variación en su temperatura gracias a la utilización del revestimiento hidrofóbico.

Finalmente, será necesario prototipar el diseño y tamaño del patrón para ser utilizado sobre la capa de acero galvanizado revestida. La variación de tamaño entre los canales y protuberancias puede producir modificaciones en las áreas donde se busca generar núcleos de condensación, por lo que se generará un diseño paramétrico que permita ir cambiando estos parámetros de manera fácil y eficiente.



Desarrollo Propuesta Solución
capítulo 5

Desarrollo problema solución

Teniendo como objetivo general del proyecto DEWater la exploración de estructuras biomiméticas que permitan mejorar parámetros de captación y recolección pasiva de rocío, con respecto a tecnologías actuales, se establecen como objetivos específicos la exploración material como herramienta que permitirá determinar qué material, en conjunto con el caolín, genera una superficie óptima para la generación de rocío. Por otro lado, se establece la necesidad de la creación de una microestructura en base a patrones hidrofóbicos tras el estudio y análisis de sistemas biológicos como estrategias naturales de captación y recolección pasiva de rocío. Estas etapas serán descritas a partir de distintos procesos de diseño.

Etapas de diseño

// Exploración Material

Como se mencionó anteriormente, se realizará una exploración material con el objetivo de determinar qué material, en conjunto con el caolín, generarán una superficie con características óptimas para captar y recolectar rocío.

Para la selección de materiales a analizar, se decide especificar directamente aquellos que presenten características cerosas, ya que con el análisis de sistemas biológicos se evidenció una particularidad común presente en los organismos que logran captar rocío: La característica superficial de poseer elementos cerosos que permiten generar un flujo de agua eficiente, y al mismo tiempo, tener un comportamiento impermeable al momento de contacto de la superficie con el agua. Tomando en cuenta esta particularidad, se decidió elegir materiales naturales, ecológicos y que respondan a la necesidad de poseer características cerosas. Es por esto que se decide trabajar con cera de abeja, parafina sólida, resina de pino (colofonia), resina látex natural y aceite de linaza.

1. Cera de abejas: La cera es una materia grasa que las abejas producen y utilizan para construir los panales. Es uno de los elementos más

importantes de la colmena que influyen en el proceso de producción y optimización de la miel. A temperatura ambiente es sólido pero a los 32°C se convierte en un producto blando y maleable y a los 63°C funde por completo. La densidad es aproximadamente 0,939. Es insoluble en agua y alcohol frío, parcialmente soluble en alcohol caliente y éter; soluble en grasas calientes y aceites etéricos. Por el proceso de producción natural puede presentar variaciones en el color, desde un tono amarillo claro a marrón oscuro. Pese a que no presenta las condiciones óptimas para utilizarse como revestimiento, es interesante analizar su comportamiento impermeable, entendiéndose que es un elemento 100% natural. Esto servirá para generar comparaciones con los otros materiales.



Figura N°30. Cera de abeja. Asknature.

2. Parafina Sólida: La parafina sólida, es un aceite mineral, derivado principalmente de hidrocarburos (petróleo) y otros minerales (como el carbón). Se usa ampliamente en la producción de papel encerado, estos son varios papeles que se utilizan para separar y conservar los alimentos. Es un papel resistente al agua recubierto de parafina lineal, lo que les confiere una alta pureza y alta capacidad aislante, de ahí el origen de su nombre, además de usarse como recubrimiento de alimentos, también puede proteger los alimentos del calentamiento directo y cocinarlos sin deteriorarse. También es ampliamente usada para impermeabilizar tapones de corcho o plástico; los tapones de corcho y recubiertos con parafina se manejan mejor. En la industria del vino, son los preferidos por las personas por su capacidad para aislar el vino embotellado,

por lo que pueden mantener la calidad del vino.



Figura N°31. Cristales de parafina sólida. Cadium.

3. Resina de pino: La resina de colofonia se obtiene de las coníferas (pinos) mediante diferentes procesos. Su capacidad para aumentar la adhesividad específica, además de formar una capa aislante e impermeable, son características interesantes para su inclusión en la formulación de materiales de construcción como bloques, vigas y morteros.



Figura N°32. Cristales colofonia - resina de pino. Calendula..

4. Látex natural: es un material que se obtiene a partir de la savia extraída del árbol *Hevea brasiliensis* o árbol del caucho. El látex destaca principalmente por su gran elasticidad y firmeza que se traducen en una buenísima adaptabilidad. También destaca por sus propiedades

antibacterianas y antifúngicas naturales ya que no es un sustrato apto para el crecimiento de estos organismos. El látex natural permite una buena transpiración y también necesita estar en buen estado para transpirar bien. Tiene una durabilidad de entre 17 y 20 años y es biodegradable. Según un análisis realizado por el Grupo de Innovación por la Mejora de la Docencia en Estructura, Propiedades y Procesado de Materiales (GIMDEPPM) de la Universidad de Barcelona, determinaron diversas propiedades del Látex Natural, siendo las más destacadas el hecho de ser un buen aislante térmico. Alrededor de -195°C . Donde De 0 a 10°C es frágil y opaco, por encima de los 20°C se vuelve blando, flexible y translúcido. Al calentarlos por encima de los 50°C adquiere una textura de plástico pegajoso. A temperaturas superiores a 200°C se descompone. Tiene muy buena resistencia al agua, tanto dulce como salada y una muy buena resistencia a la radiación UV.



Figura N°33. Cosecha de Latex natural. SB Descanso.

5. Aceite de linaza: sirve para la fabricación de productos que protegen la madera al exterior. Se podría decir que es una alternativa natural, tradicional y económica a algunos barnices y pinturas. Es un producto natural y ecológico que presenta propiedades impermeabilizantes y de protección.

Con el objetivo de analizar la hidrofobicidad de cada material, se decidió realizar una prueba para medir el ángulo de contacto de una gota de agua destilada de 10 μl sobre las distintas superficies con el objetivo de analizar la adherencia de las gotas sobre los distintos revestimientos

con la finalidad de disminuir la adherencia de la gota sobre la superficie y determinar cual de ella presenta mejores condiciones hidrofóbicas.

Análisis ángulo de contacto

Para realizar las pruebas se comenzó cortando placas de zinc galvanizado de 7.5x7.5cm con una tijera hojalatera de 10". Luego las placas fueron tristemente lavadas con alcohol isopropílico y secadas a temperatura ambiente. Una vez limpias las placas, se comenzó con el revestimiento de estas.

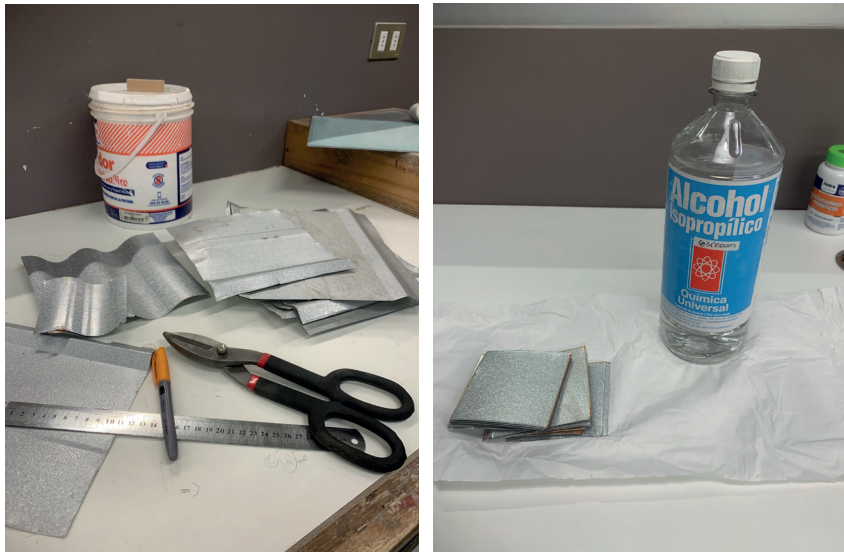


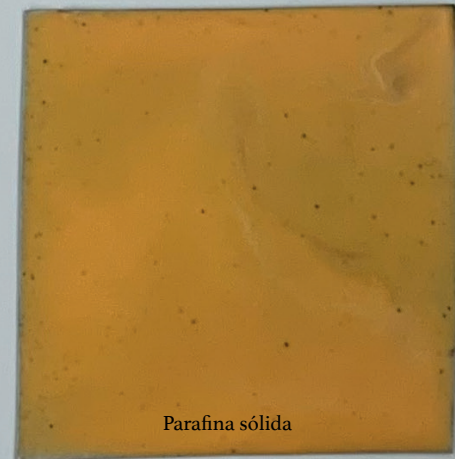
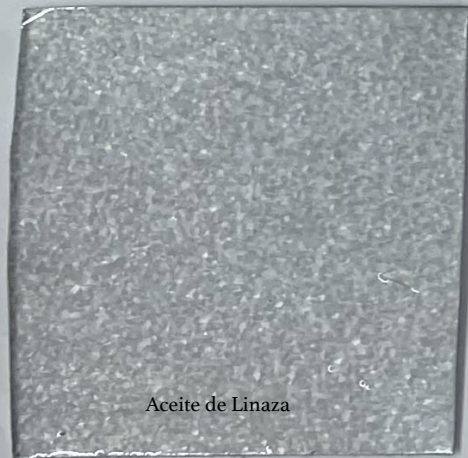
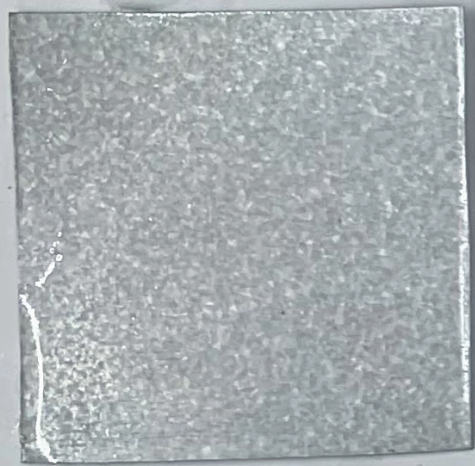
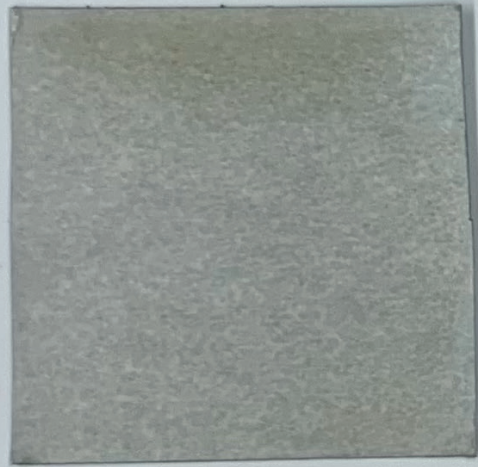
Figura N°34 y 35. Proceso de preparación placas de acero galvanizado. Corte de 7.5x7.5cm y luego triple lavado con alcohol isopropílico..

En primer lugar se revistió 2 placas con Aceite de linaza (artel) utilizando un pincel aplicando tres capas consecutivas. Las placas fueron secadas de dos maneras distintas: de manera natural y en un horno industrial a 80°. Sin embargo, el aceite al ser imprimante tuvo un proceso de secado lento, pese a la utilización de horno. En segundo lugar se revistió tres placas con MEISTER LÁTEX NATURAL, a las cuales se les aplicó tres capas consecutivas de pintura a cada una. Éstas fueron secadas al natural, mediante horno a 80° y utilizando una cámara UV durante 1 hora con la finalidad de comparar la capacidad hidrofóbica del material teniendo como variable su proceso de secado. En tercer lugar se

revistió una placa con Parafina sólida marca stick bumps, la cual se fundió aproximadamente a 80° con el objetivo de generar una superficie homogénea sobre la placa de zinc. De este mismo modo se realizó el revestimiento con cera de abeja natural, la cual se encontraba en estado sólido, por lo que fue llevada al horno a 80° y una vez líquida se esparció sobre la lámina de zinc generando una adecuada distribución del revestimiento. Por último, se revistió tres placas con Colofonia - Resina de Pino. Ésta se encontraba en formato de cristal, por lo que se sometió a calor para fundirla y poder aplicarla en estado líquido sobre la placa de zinc. Este proceso presentó dificultades ya que la capa de material tendió a fracturarse debido al cambio abrupto de temperatura, sin embargo se decidió seguir con su análisis para obtener su ángulo de contacto.



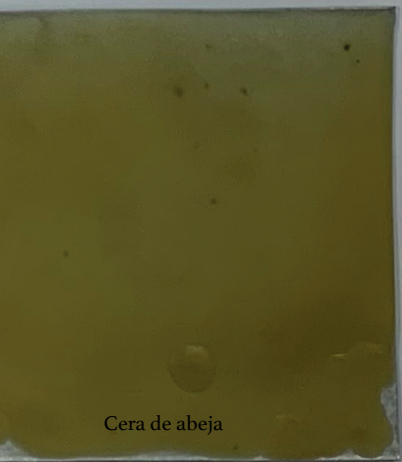
Figura N°36. Materiales que serán analizados en la prueba de ángulo de contacto.



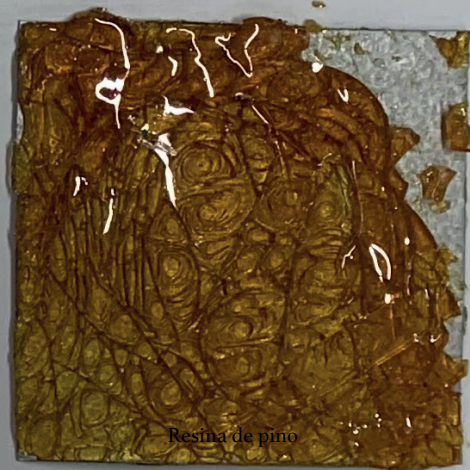
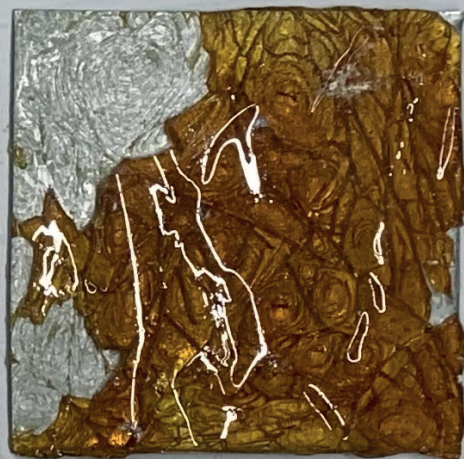
Aceite de Linaza

Látex Natural

Parafina sólida



Cera de abeja



Resina de pino

Figura N°37. Placas revestidas con los distintos materiales a analizar. Elaboración propia.

Análisis de muestras:

Para entender el comportamiento de una superficie frente al agua, hay que medir su ángulo de contacto, el cual proporciona información acerca de la energía de interacción entre la superficie y el líquido. Las sustancias hidrofóbicas se caracterizan por tener un ángulo de contacto con el agua superior a 90° . No obstante, también existen materiales superhidrofóbicos, que poseen ángulos superiores a 150° y cuyas superficies se resisten a ser mojadas.

Para realizar el análisis de cada muestra se utilizó el equipo de medición de ángulo de contacto que presenta una estructura de PLA impresa con una impresora Creality Ender 3, la cual se utilizó como plataforma para todas las placas. Se montó una micropipeta de 2- 20 UL (025) sobre la muestra de prueba para producir la gota. La cámara digital Canon Rebel T100 utilizó tubos de extensión de 7mm, 14mm y 28mm para capturar una imagen lateral de la gota. Se dispuso una fuente de luz LED para iluminar la gota de la dirección opuesta de la cámara para mejorar la calidad de la imagen, pasando por una pantalla de acrílico difuminado.

Para realizar la prueba de ángulo de contacto sobre las distintas placas revestidas se produjo una gota de agua destilada utilizando la micropipeta de laboratorio con $10\mu\text{l}$, luego se estandarizó el tiempo para capturar la gota de agua, decretando 5 minutos desde que se insertó la gota hasta que se sacó la fotografía con el objetivo de dejar a la gota reposar. Este procedimiento se replicó tres veces consecutivas con la finalidad de obtener el promedio del ángulo de contacto de la gota sobre cada revestimiento y su desviación estándar para luego estandarizar los resultados de las muestras y proyectar su comportamiento sobre los revestimientos analizados. Una vez tomadas las fotografías fueron analizadas utilizando el Software AutoCad 2021 para determinar cada ángulo de contacto.

Análisis de muestras:

Aceite de Linaza (Artel) El aceite de linaza presentó ángulos de contacto inferiores a 90° por lo que, pese a ser un material que repele el agua no presenta características hidrológicas, dado que el una superficie es

clasificada como hidrológica cuando su ángulo de contacto es igual o superior a los 90° .

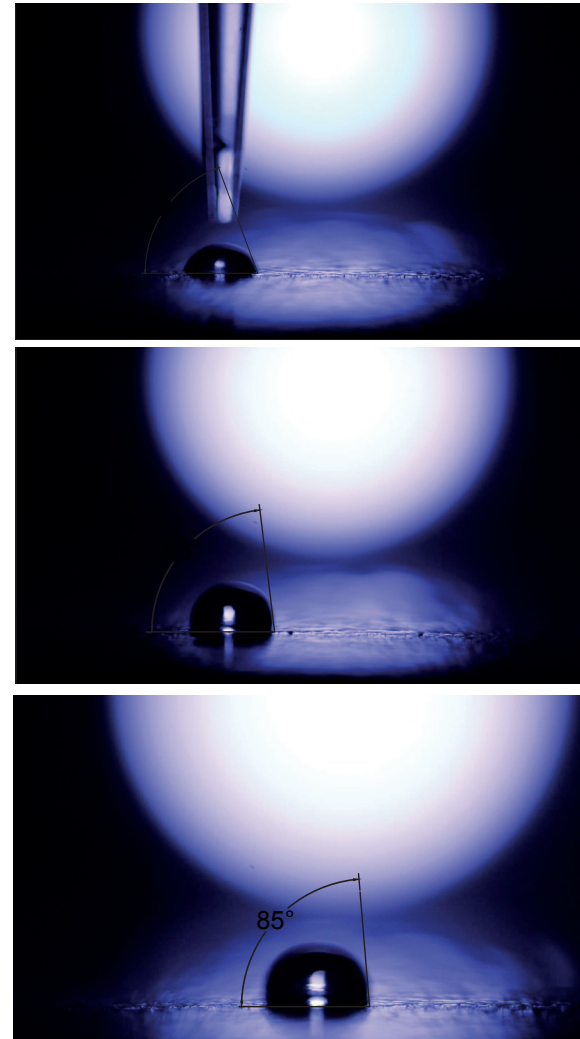


Figura N°38, 39, 40.. Toma análisis ángulo de contacto. Elaboración propia

	Toma N1	Toma N2	Toma N3
Aceite de Linaza	Ángulo 70°	Ángulo 83°	Ángulo 85°

Figura N°41. Tabla resultados análisis de contacto aceite de linaza. Elaboración propia.

Cera de Abeja La cera de abeja presentó ángulos de contactos notoriamente variables entre cada toma pasando desde los 65° hasta los 85° grados. Tras realizarle el análisis de ángulo de contacto se observó que la cera de abeja no presenta las características de una superficie hidrofóbica ya que sus ángulos son inferiores a los 90° grados. Por otro lado, las propiedades de la cera de abeja no presentan las condiciones adecuadas para ser utilizadas como revestimiento ya que este material tiende a degradarse en un corto período de tiempo y se vuelve blanda y maleable a los 32°, por lo que se realizó esta prueba con la intención de estudiar, analizar y evidenciar la capacidad de repeler el agua de la cera de abeja.

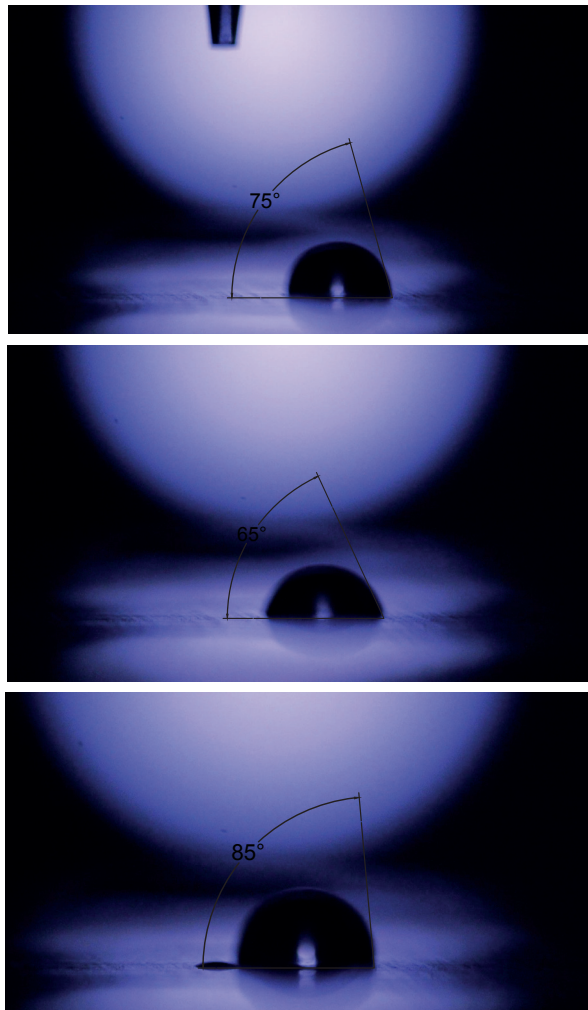


Figura N°41, 42, 43.. Toma análisis ángulo de contacto. Elaboración propia

	Toma N1	Toma N2	Toma N3
Cera de Abeja	Ángulo 75°	Ángulo 65°	Ángulo 85°

Figura N°44. Tabla resultados análisis de contacto cera de abeja. Elaboración propia.

Parafina Sólida (Sticky Bumps) La parafina sólida se destaca por ser un material insoluble al agua, sin embargo es un derivado principalmente de hidrocarburos (petróleo) y otros minerales (como el carbón), por lo que se descarta su utilización como revestimiento, dado que se busca un material ecológico y sustentable y la parafina sólida no cumple este requisito. Sin embargo, se realizó su análisis con el objetivo de analizar el material para saber cómo se comporta frente a partículas de agua.

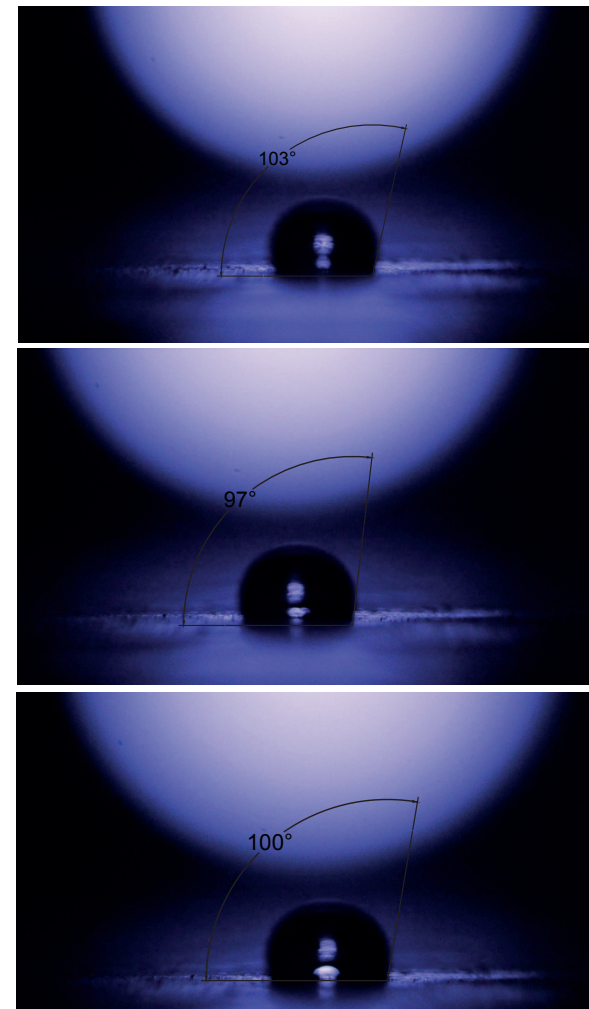


Figura N°45, 46, 47. Toma análisis ángulo de contacto. Elaboración propia

	Toma N1	Toma N2	Toma N3
Parafina Sólida	Ángulo 103°	Ángulo 97°	Ángulo 100°

Figura N°48. Tabla resultados análisis de contacto parafina sólida. Elaboración propia.

Colofonia - Resina de Pino La colofonia o Resina de pino es una resina natural que se extrae directamente desde los árboles por lo que es 100% natural y ecológica y destaca principalmente por su capacidad impermeabilizante. Al momento de trabajar con la resina se fueron presentando obstáculos y dificultades ya que la resina al estar a mucha temperatura al momento de fundirla, terminó saturando, por lo que a secarse tendió a quebrarse. Se cree que quizás por esos inconvenientes la resina no presentó el resultado esperado, ya que sus ángulos fluctuaron entre los 19° grados y los 61°, por lo que no presenta las condiciones para clasificarse como una superficie hidrofóbica.

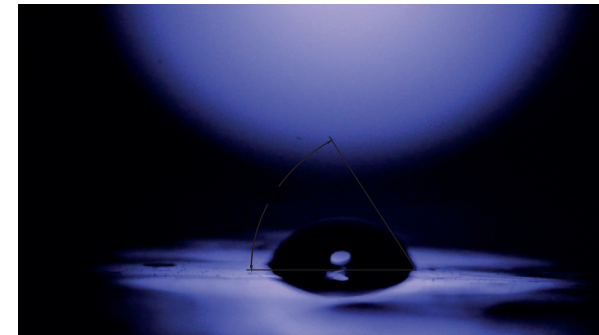
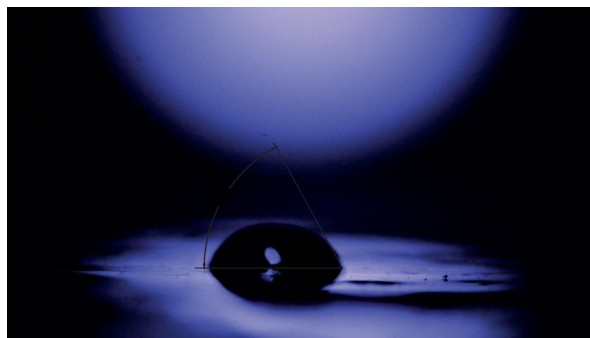
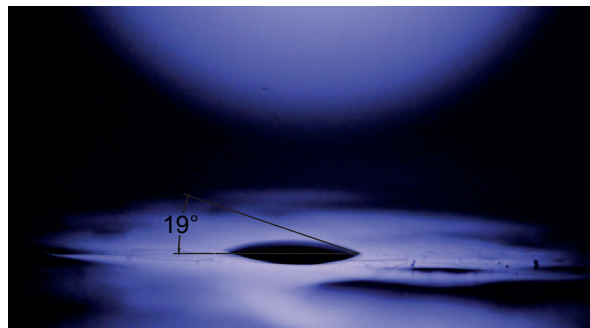


Figura N°49, 50, 51. Toma análisis ángulo de contacto. Elaboración propia

	Toma N1	Toma N2	Toma N3
Colofonia	Ángulo 19°	Ángulo 61°	Ángulo 59°

Figura N°52. Tabla resultados análisis de contacto parafina sólida. Elaboración propia.

Latex Resina Natural Para realizar el análisis del látex natural se optó por realizar tres variaciones con respecto a la forma de secado de las placas, donde se decidió utilizar un horno a 80 grados, una cámara UV y secado al aire libre. Según el análisis realizado el látex natural secado en horno fue el que obtuvo mejores resultados con respecto al ángulo de contacto, superando el ángulo en 90°, por lo que clasifica como una superficie hidrofóbica. Por otro lado, las muestras secadas dentro de la cámara UV tuvieron resultados muy distintos presentando ángulos de contacto de hasta 35° grados. Muy por debajo de los ángulos obtenidos en el látex secado en horno. Cabe destacar que a nivel superficial no se detectó ningún tipo de diferencia entre las distintas muestras, por lo que se cree que hubo cambios en las propiedades de cada muestra debido a los rayos UV. Por último, el látex que se secó de manera natural tampoco logró generar las condiciones adecuadas para clasificarlo como una superficie hidrofóbica, pero sí obtuvo mejores resultados que el látex en cámara UV.

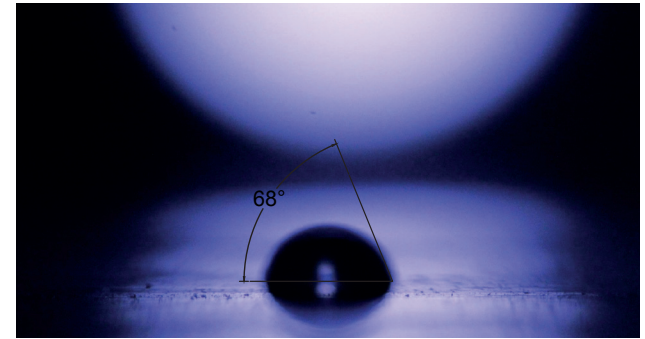
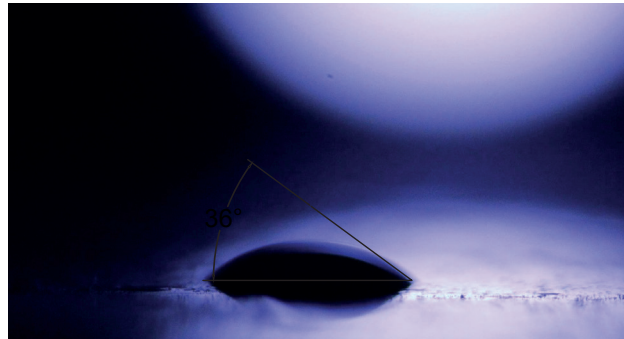
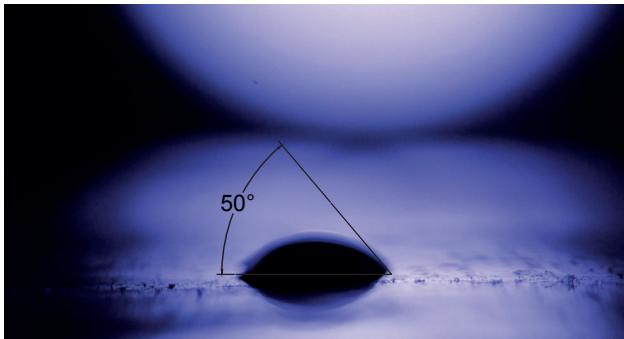
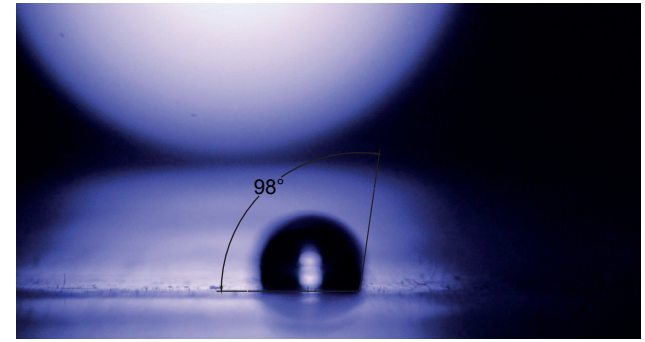
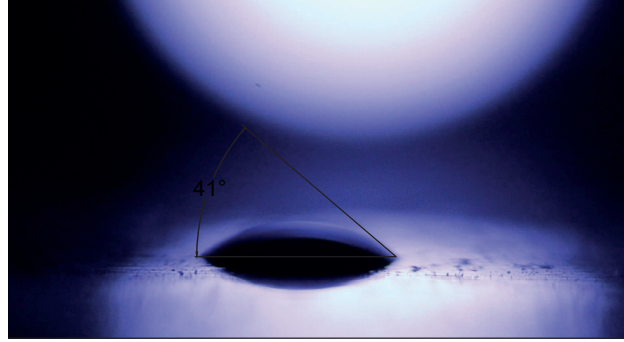
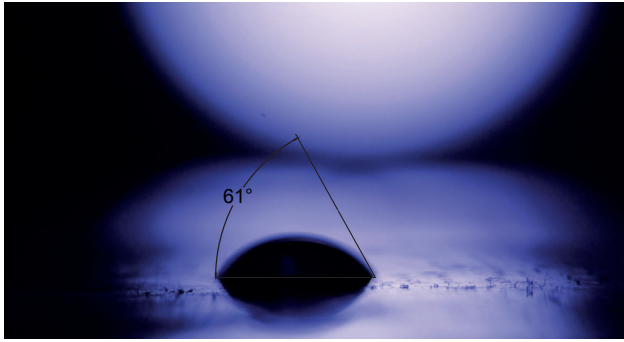
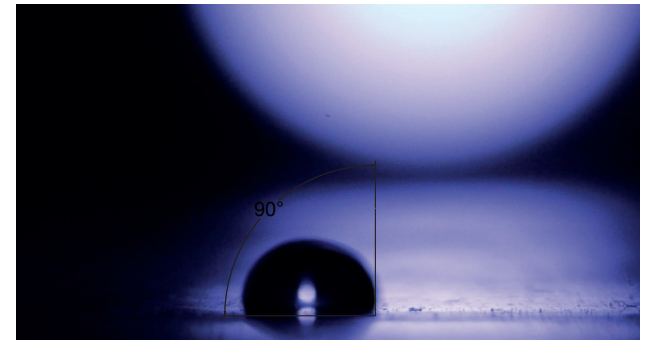
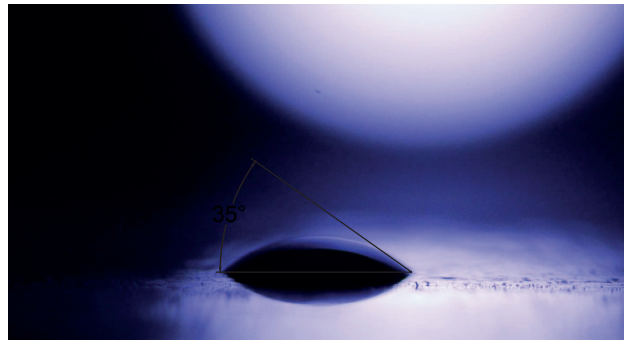
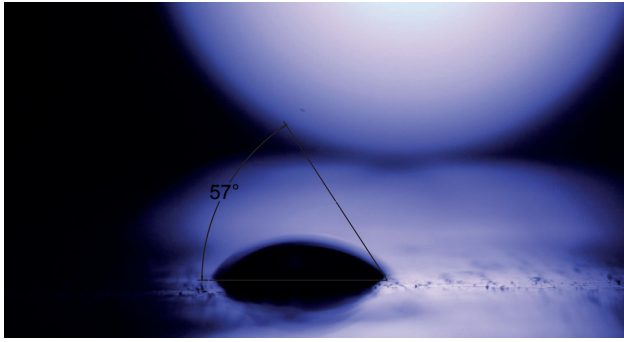


Figura N°53, 54, 55. Toma análisis ángulo de contacto latex natural. Elaboración propia

Figura N°56,57,58. Toma análisis ángulo de contacto latex natural secado en camara UV. Elaboración propia

Figura N°59,60,61. Toma análisis ángulo de contacto latex natural secado en-horno. Elaboración propia

	Toma N1	Toma N2	Toma N3
Latex N. Horno	Ángulo 90°	Ángulo 98°	Ángulo 68°
Latex N. UV	Ángulo 35°	Ángulo 41°	Ángulo 36°
Latex N. Aire	Ángulo 57°	Ángulo 61°	Ángulo 50°

Figura N°62. Tabla resultados análisis de contactolatex natural con distintos proceso de secado. Elaboración propia.

	Toma N1	Toma N2	Toma N3
Aceite de Linaza	Ángulo 70°	Ángulo 83°	Ángulo 85°
Cera de Abeja	Ángulo 75°	Ángulo 65°	Ángulo 85°
Colofonia	Ángulo 19°	Ángulo 61°	Ángulo 59°
Latex Natural	Ángulo 57°	Ángulo 61°	Ángulo 50°
Latex Horno	Ángulo 90°	Ángulo 98°	Ángulo 68°
Latex UV	Ángulo 35°	Ángulo 41°	Ángulo 36°
Parafina Sólida	Ángulo 103°	Ángulo 97°	Ángulo 100°

Figura N°63. Tabla resultados análisis de contacto. Elaboración propia.

Conclusión

Tras realizar el análisis de ángulo de contacto de las superficies cerosas y resinas pudimos observar cómo, a pesar que muchos de los materiales analizados comprenden características impermeables, solo uno de ellos cumplía con los parámetros físicos de las superficies hidrológicas. Fue el látex natural secado en horno el único material que logró obtener un ángulo de contacto igual o superior a 90° grados, lo cual lo convierte en un material 100% puro y ecológico, con propiedades antibacterianas y antifúngicas, apto para ser utilizado como revestimiento en las placas para la captación y recolección pasiva de rocío.

Siguiendo con el desarrollo del problema solución, se decidió tomar la estructura del escarabajo de Namibia como referente para el diseño para la creación de un patrón que forme valles y protuberancias, para ello se estudió detalladamente su microestructura.

Análisis de Superficie:

El mecanismo por el cual el agua de niebla se transforma en grandes gotas en una superficie se ha descrito a partir del estudio de los élitros de los escarabajos de Namibia. Se cree que las superficies que subyacen en este proceso son picos hidrofílicos rodeados de zonas hidrofóbicas; el agua transportada por la niebla se deposita en los picos hidrofílicos de las protuberancias de los élitros del escarabajo y forman gotas de rápido crecimiento que - una vez que son lo suficientemente grandes como para moverse contra el viento - ruedan hacia la cabeza. La universidad de Lund (Suecia) realizó estudios a nivel laboratorio para analizar el comportamiento del escarabajo en condiciones de niebla, donde se concluyó que la alta humedad, y no la baja temperatura, es la condición crítica bajo la cual los escarabajos adoptan su característica posición de cabeza para recoger agua. Sin embargo, la combinación de niebla y bajas temperaturas son el factor que más desencadenan este comportamiento.

Eficacia de captación de agua por los élitros de escarabajo

A escala macroscópica, los élitros de escarabajo están cubiertos por una matriz casi aleatoria de protuberancias separadas entre 0,5 y 1,5 mm, cada una de aproximadamente 0,5 mm de diámetro. A nivel microscópico, los picos de estas protuberancias son lisos, sin recubrimiento, mientras que los valles, incluidos sus lados inclinados, están cubiertos por una microestructura recubierta de cera. La microestructura consta de hemisferios aplanados, 10 micrometros de diámetro y dispuestos en una matriz hexagonal regular, creando un sistema superhidrofóbico que recuerda a la hoja de loto. El sistema de producción de gotas funciona mediante el "crecimiento" de gotas en los puntos de siembra hidrofílicos de los picos. El agua de la niebla se deposita en los picos, formando gotitas de rápido crecimiento que se unen a los élitros; El agua que golpea las

laderas hidrofóbicas también se puede recolectar como puede rebotar o volar a una región hidrófila. Cada gota adherida finalmente alcanza un tamaño en el que su área de contacto cubre toda la isla hidrofílica. Más allá de este tamaño, la relación entre su masa y su área de contacto superficial aumenta rápidamente hasta que se supera la fuerza capilar que lo une a la superficie (esta fuerza está dictada por el área de la isla hidrofílica). En este punto, la gota se desprende y rueda por la superficie inclinada del escarabajo, guiada por el ligero agarre que ofrecen otros picos a lo largo de su camino. Es por esto que se concluye que la combinación de puntos hidrofílicos e hidrofóbicos fue la mejor para recolectar agua de la niebla. (Andrew R. Parker*Chris R. Lawrence† , Captura de agua por un escarabajo del desierto, 2001).

Para la condensación de agua, la superficie exterior de los élitros (valles y protuberancias) es la más importante. A partir de micrografías electrónicas realizadas por xxx, se observó que la superficie de los valles sólo revela un patrón periódico hexagonal con un período de aproximadamente 6µm, y tanto los valles como las protuberancias muestran algunas microestructuras.

La superficie está cubierta de cera pero es difícil estimar si el grosor de la capa varía. La cera del exoesqueleto de los insectos cumple una función protectora y reduce la desecación. Las propiedades de humectación de la cera dependen tanto de las propiedades químicas de la cera, como de las propiedades geométricas (rugosidad) de la superficie. (J. Guadarrama - Cetina, A. Mongruel, M.-G Medici, E. Baquero, A.R Parker, et al. Dew condensation on desert beetle skin. The European Physical Journal, 2014).

Por último, los científicos de la Universidad de Navarra, Pamplona (España) realizaron distintas pruebas sobre la superficie del escarabajo de Namibia y se concluyó que la mayor tasa de nucleación de la gota se genera en los valles debido a su microestructura hexagonal, ya que proporciona más sitios de nucleación que la protuberancia, la cual tiene una superficie lisa, por otro lado, el patrón favorece la nucleación. Las propiedades de recolección de rocío se deben a la alta emisividad infrarroja de la cera, ya que generan una radiación eficiente.

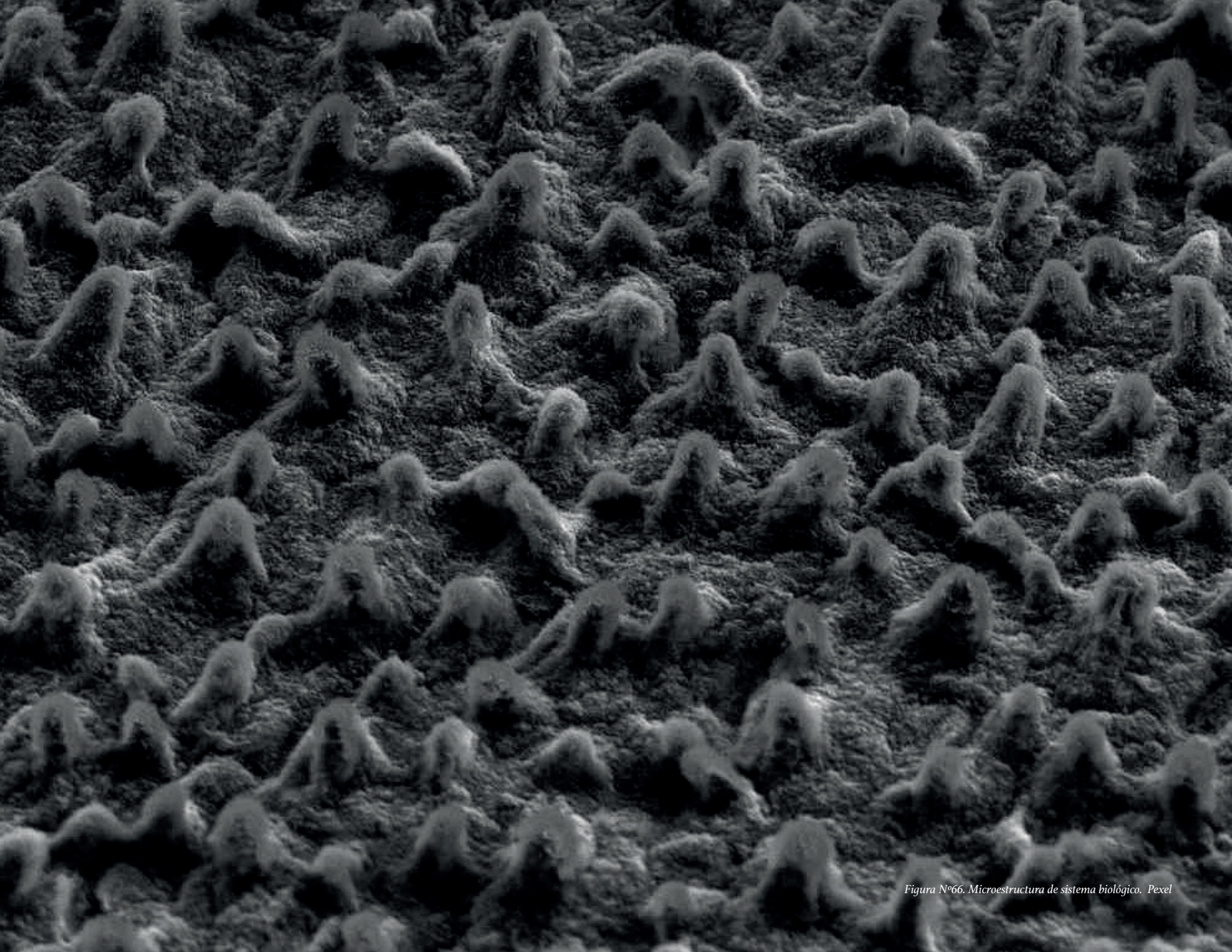


Figura N°66. Microestructura de sistema biológico. Pexel

Comprendiendo esta particularidad de la superficie del escarabajo de Namibia es que se decide realizar un diseño paramétrico hexagonal, el cual presenta variaciones que permiten observar la diferencia de condensación que generan los distintos tamaños entre núcleos de condensación y canales.

Para revestir la placa y generar los patrones de valles y protuberancias sobre la superficie del acero galvanizado, se decidió aplicar el diseño de patrón a través de la técnica de stencil, donde el patrón será realizado de manera laminar a través de una impresora 3D para que éste sirva como plantilla. La lámina de acero galvanizado será revestida en un principio por pintura acrizinc y caolín, para luego ser pintada con una capa de látex y luego, sobre el látex se pondrá la plantilla del patrón, con el objetivo de generar protuberancias hidrofóbicas de caolín, agregando más capas de pinturas sobre éste.

Para el desarrollo del patrón, se utilizó un software de diseño digital como Rhinoceros 7.0, complementado por el plugin Grasshopper donde se creó un rectángulo, un margen en base a un plano conocido con distancias en x, y conocidas (10x10cm).

Para entender la lógica del diseño paramétrico con el cual se está trabajando, se debe entender que se está trabajando en base a superficies y curvas. Mediante estas dos herramientas se trabajará para formar el parámetro final. A esa superficie se le aplicó un Boundary Surfaces, convirtiendo el rectángulo en una superficie plana. A eso se le aplicó un patrón hexagonal (herramienta Lunchbox). En base a las celdas hexagonales, se subdividió la superficie inicial en un parámetro que oscila entre 20 y 40 unidades hexagonales, tomando como punto de referencia el centro de cada hexágono, evitando que éstos se deformen. (fig. 67 y 68) Además, de esta manera tenemos la misma cantidad de centros que de hexágonos, lo cual permite que al escalar, todo calce. Una vez teniendo la malla creada, fue que se comenzó a variar la cantidad de hexágonos sobre la superficie. Se comenzó dejando 20 hexágonos por lado, luego 30, 35 y 40. (fig.69) Sin embargo, variando la cantidad de hexágonos se transforma también el grosor de los canales. Estos comienzan siendo de 0.8mm y luego pasan a ser de 2mm en las superficies de 35 y 40 hexágo-

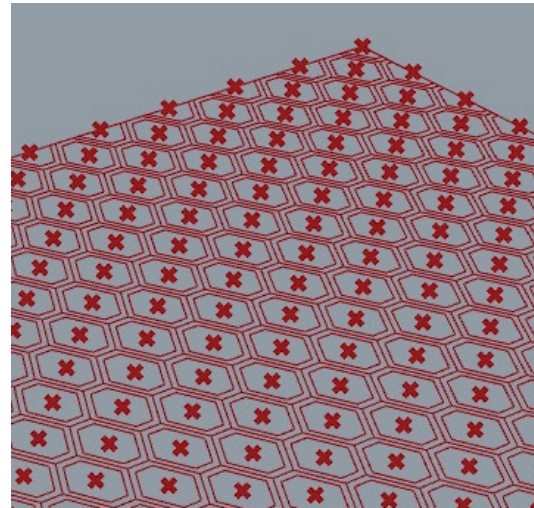
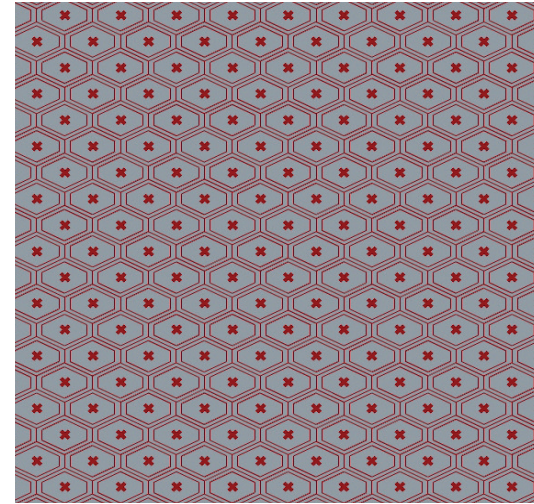


Figura N°67 y 68. Superficie subdividida en hexágonos, con el centroide como pto de referencia. Elaboración propia.

nos (fig.69). La modificación de estos parámetros permite observar cómo se comportan las partículas de agua sobre las distintas superficies que presentan picos de caolín y acrizinc de distintas medidas. Se hace interesante realizar este análisis ya que permitirá saber si los diferentes parámetros entregan más núcleos de condensación. De ser así, esto permitiría que aumente el volumen de condensación de agua recolectada.

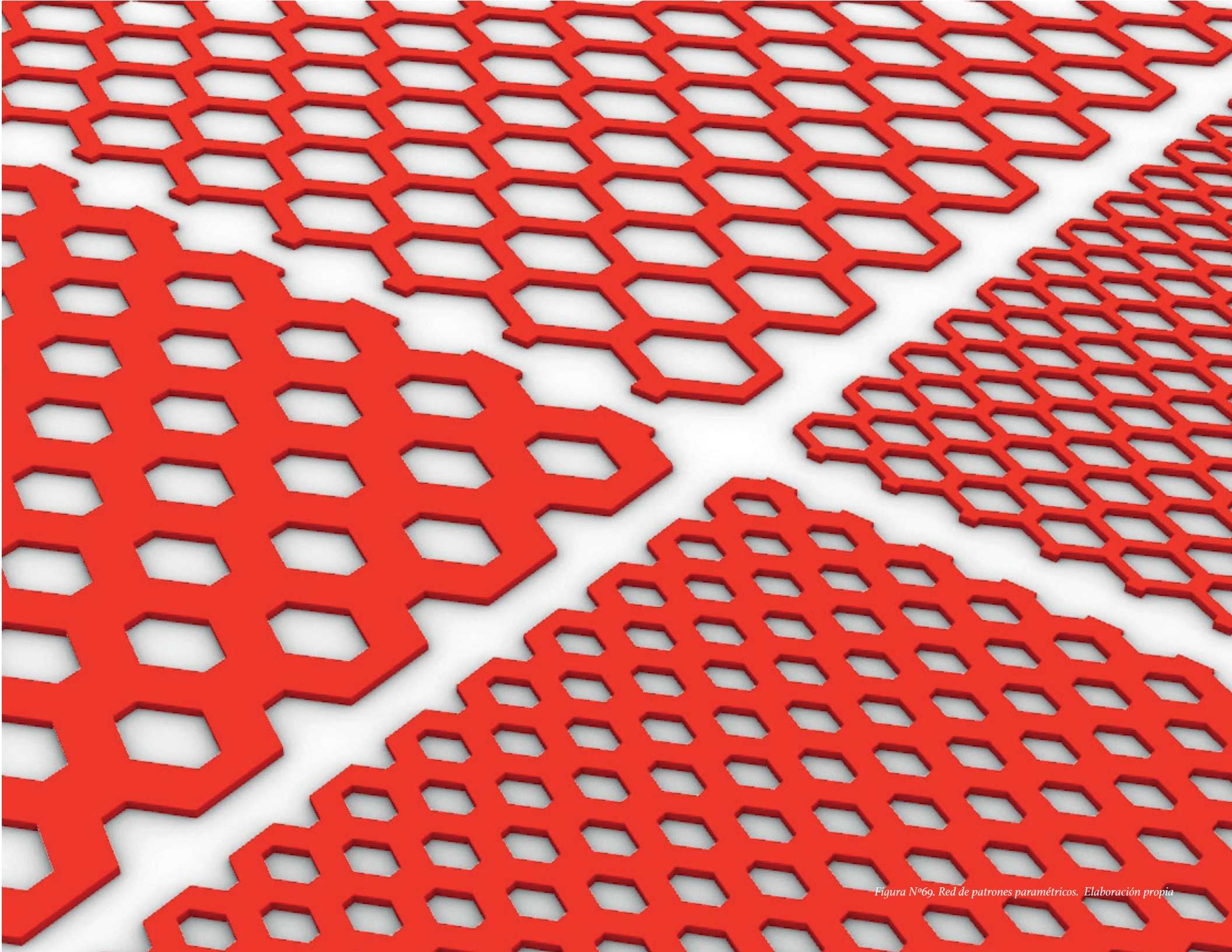
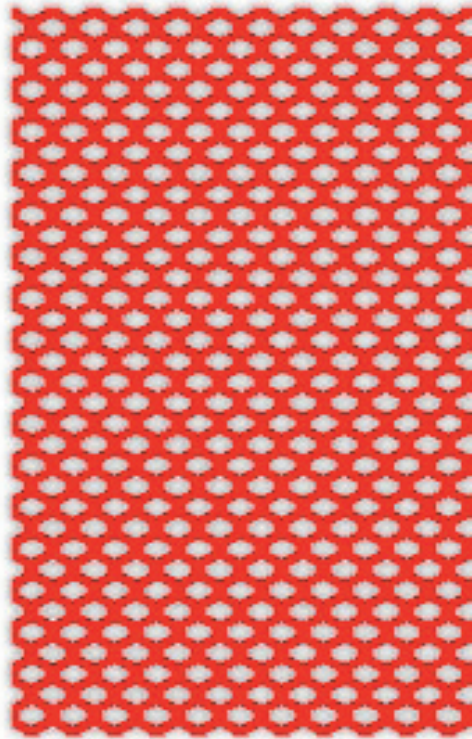
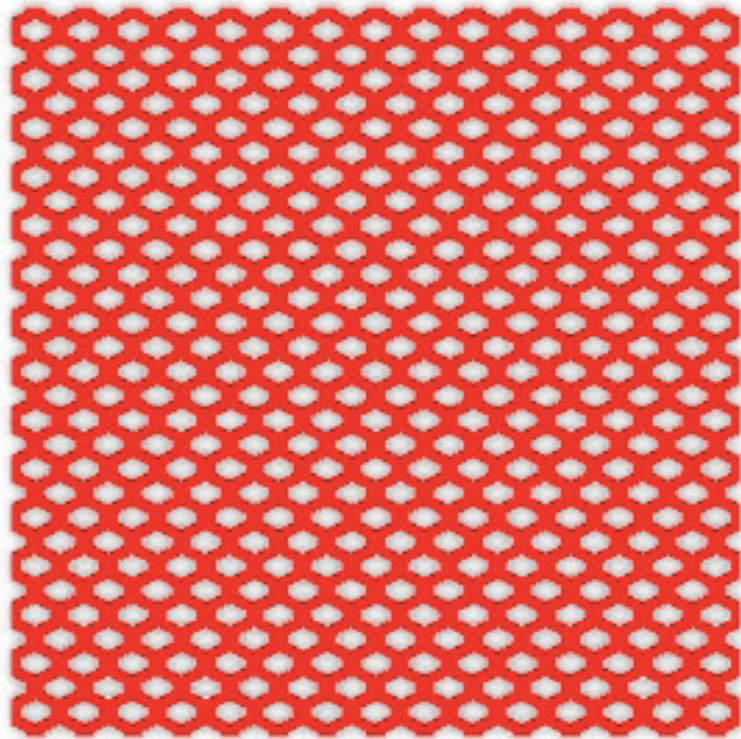
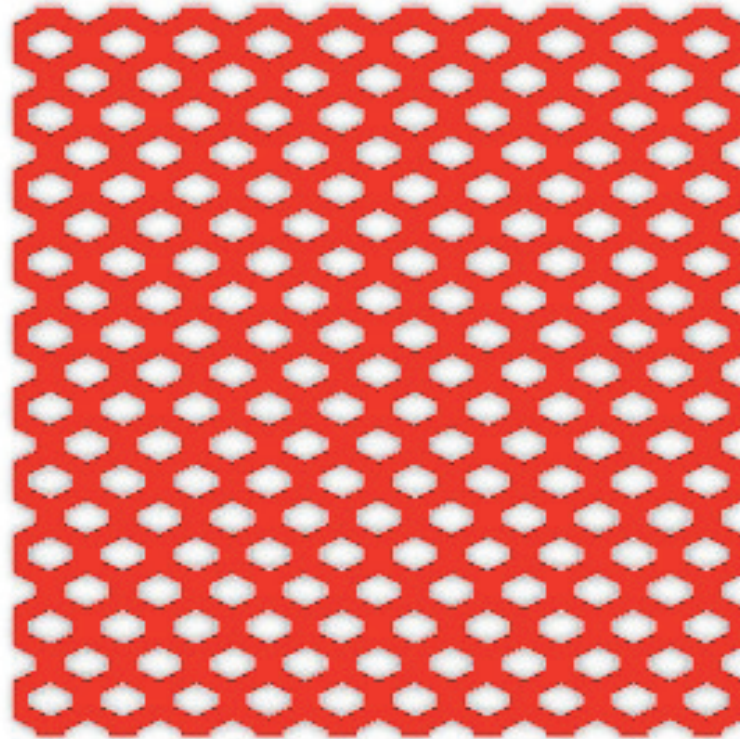
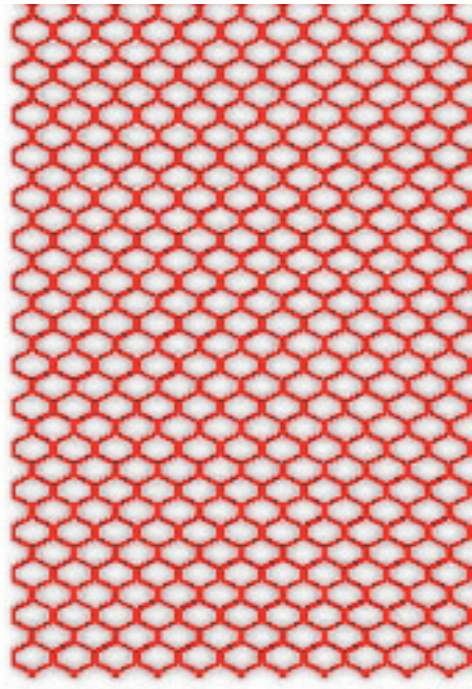
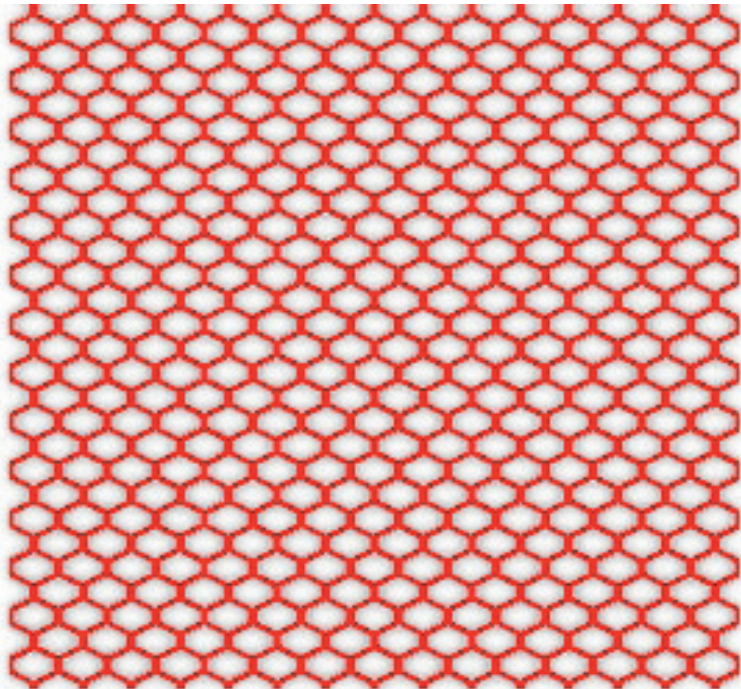
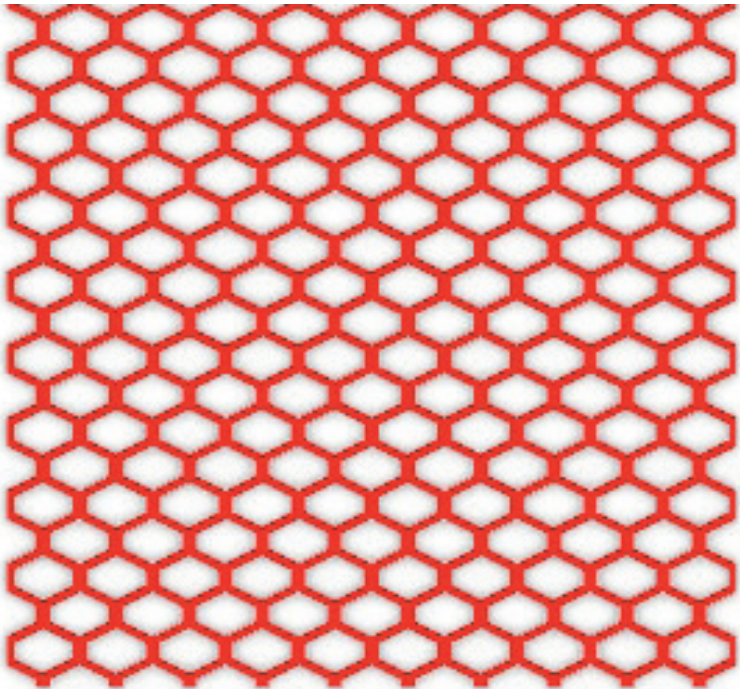


Figura N°69. Red de patrones paramétricos. Elaboración propia



Siguiendo el análisis de superficie, se llevó a cabo pruebas preliminares que permitieron observar cómo sería el resultado de la aplicación de caolín y acrizinc sobre la malla paramétrica con la técnica stencil.

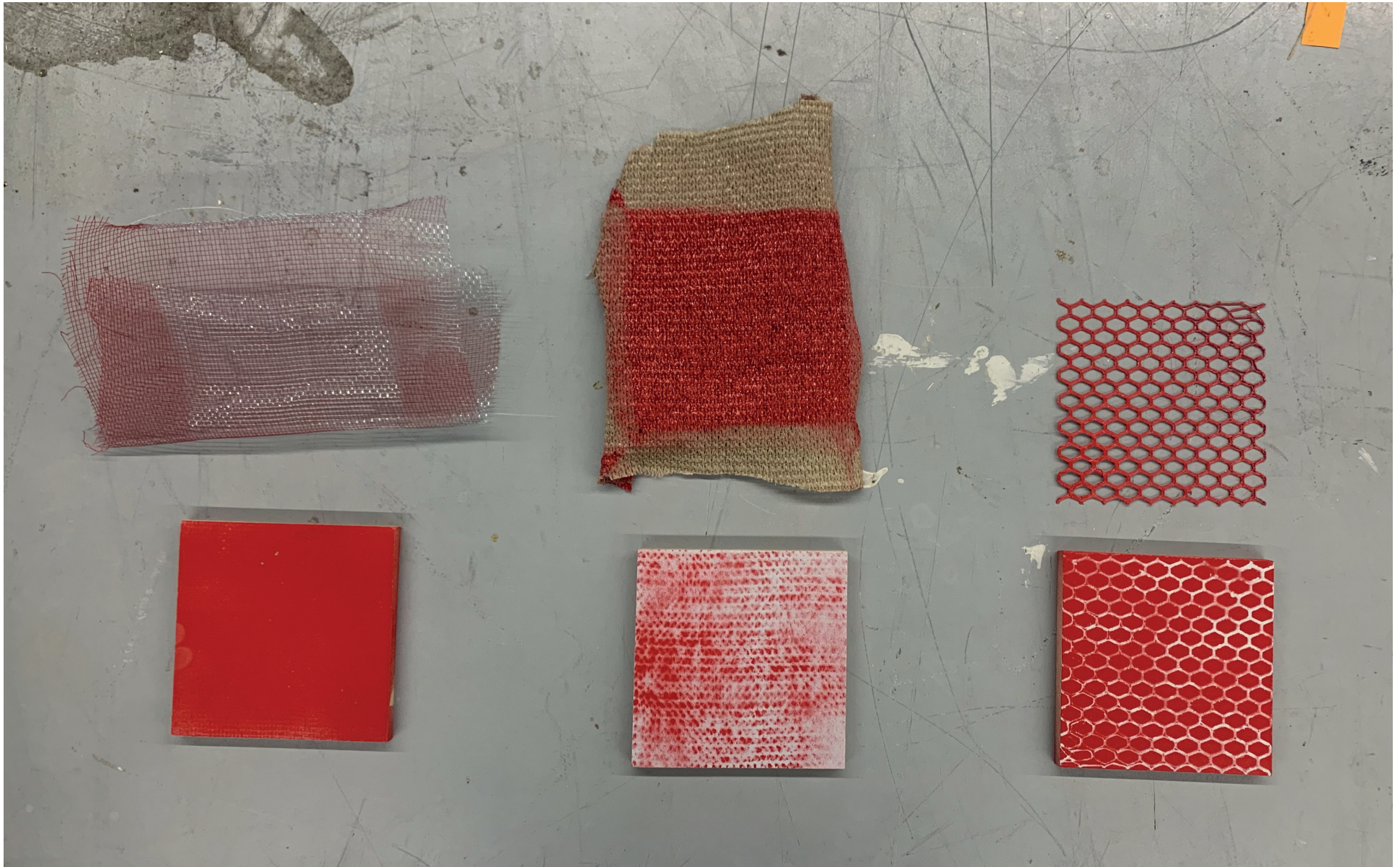


Figura N°71. Primeras pruebas aplicando técnica stencil. Elaboración propia

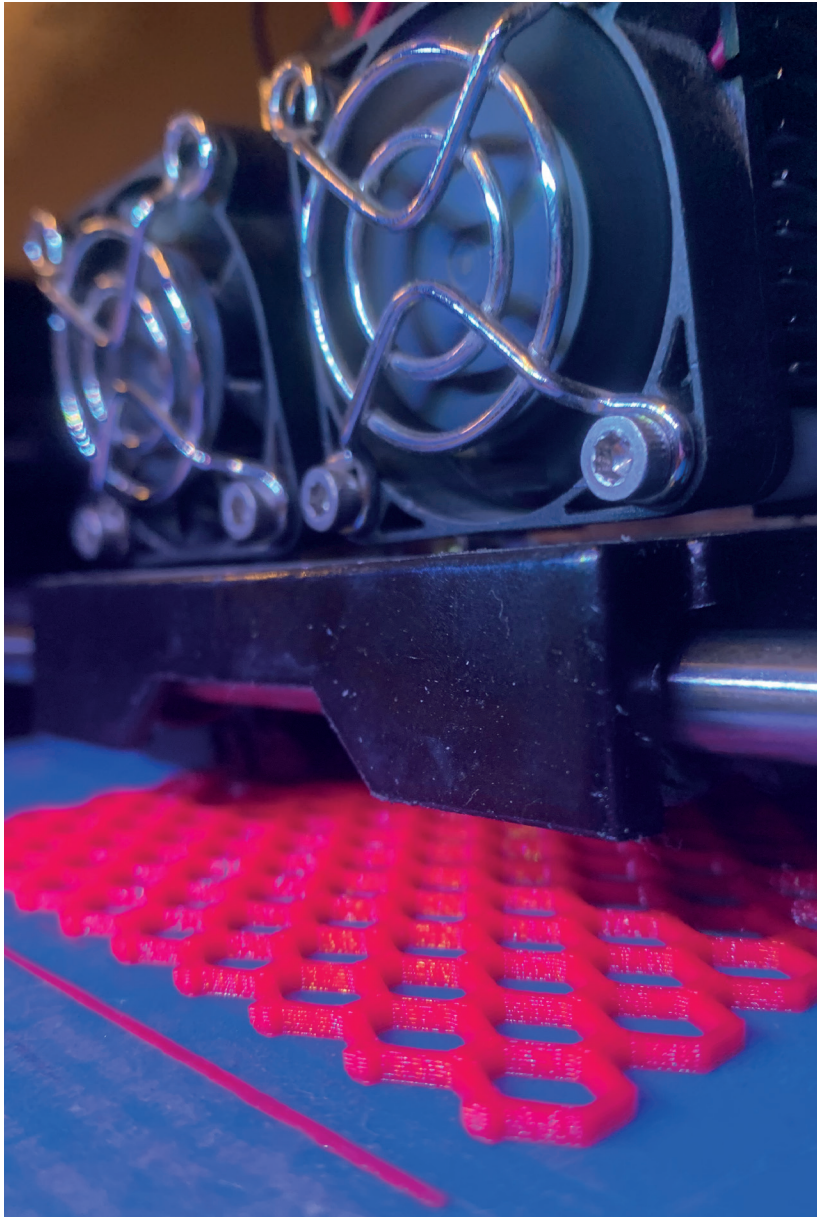


Figura N°72. Impresión 3d de las mallas paramétricas. Elaboración propia

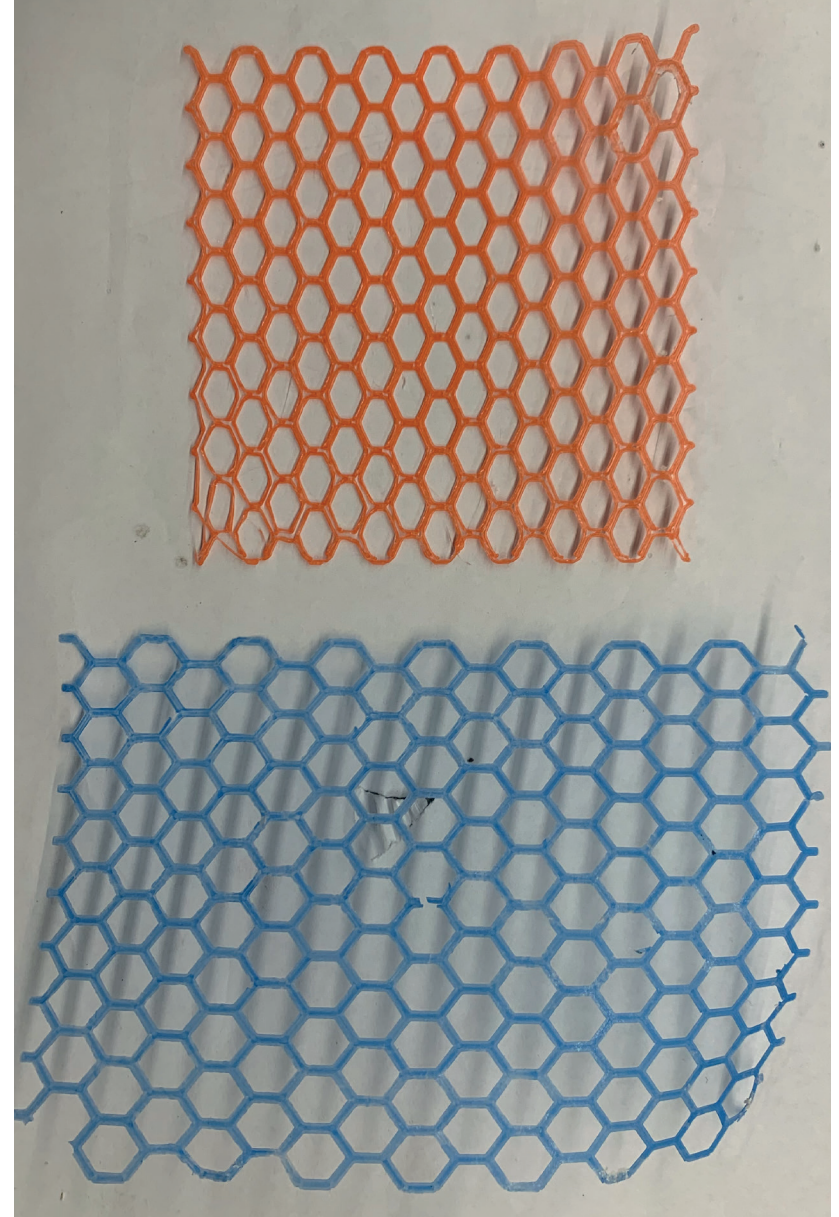


Figura N°72. Mallas paramétricas impresas en 3d. Análisis de grosor y altura. Elaboración propia

Tomando la investigación material realizada por el proyecto Onyma respecto a la captación de rocío a través de la implementación de caolín como revestimiento hidrofóbico sobre placas de acero galvanizado, se decidió replicar su procedimiento con el objetivo de seguir analizando y experimentando con el Caolín aprovechando sus propiedades físicas en conjunto con nuevos materiales estudiados con la finalidad de optimizar y mejorar parámetros de captación y recolección pasiva de rocío para optimizar el volumen de condensación alcanzado previamente por Onyma. Para ello se cubrirán las placas con Acrizinc y Caolín, y luego se les incorporará Latex (caucho natural en formato líquido) ya que presenta buenas propiedades impermeables y una gran resistencia a las radiaciones uv, convirtiéndolo en un buen recubrimiento.

1. Preparación Placas

A partir de una plancha de acero galvanizado liso (100 x 200cm) se generaron placas (16 x 16cm) con una tijera hojalateras. En un lado de la placa se cortan triángulos homogéneos (1 x 0.5cm) para favorecer la caída del agua a través de las puntas.

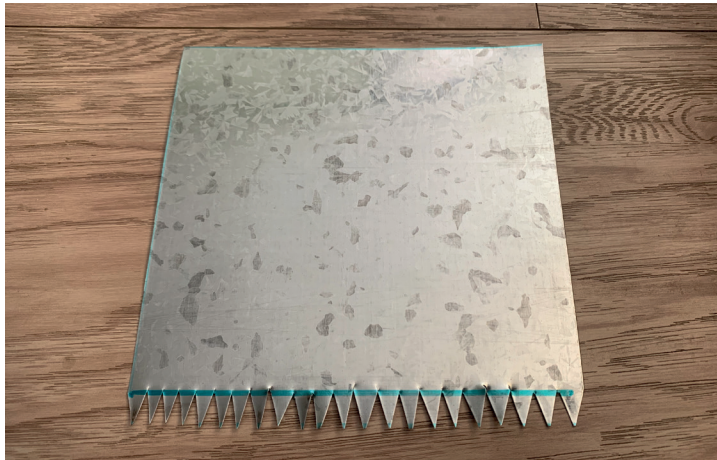


Figura N°73. Placa de acero galvanizado liso. Elaboración propia

2. Preparación del revestimiento

El revestimiento está constituido por una pintura de látex acrílico blanco (Acrizinc, Sipa) y un soluto de caolín al 15% p/p. Se prepararon 50g de revestimiento para cubrir la placa. (42,5g de pintura con 7,5g de caolín). La mezcla se mantuvo en agitación constante utilizando un agitador

magnético durante 1.5hrs.

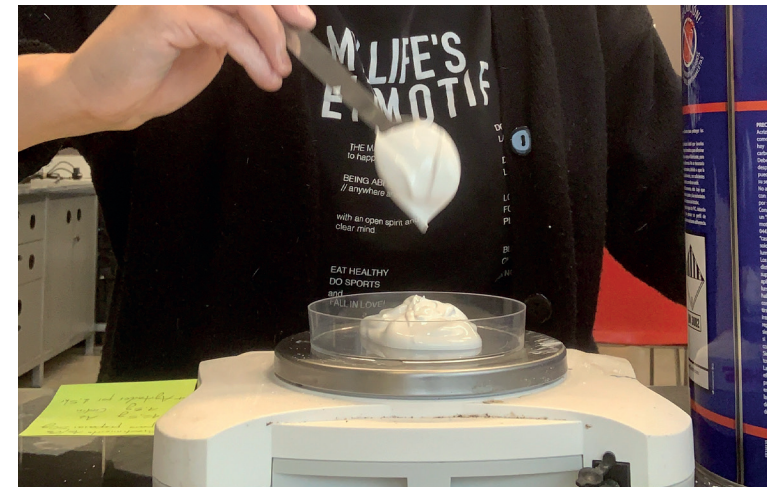
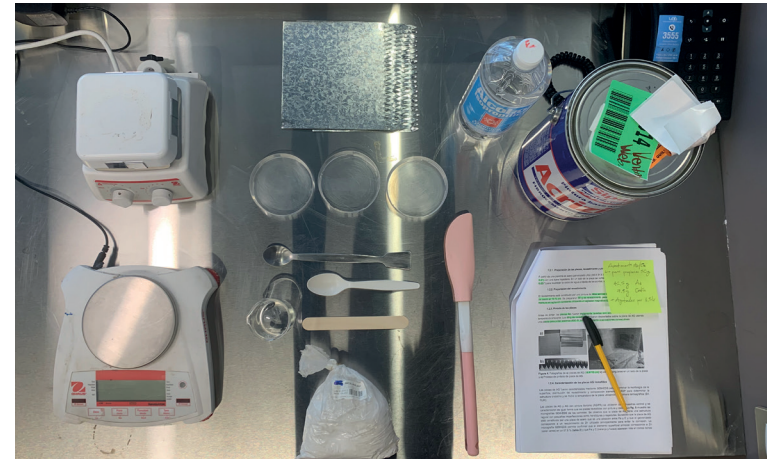


Figura N°74, 75. Proceso de preparación del revestimiento.. Elaboración propia

3. Pintado de Placas Az/Caolín

Antes de pintar, las placas de acero galvanizado fueron triplemente lavadas con alcohol isopropílico y secadas a temperatura ambiente. Los 50g de revestimiento fueron depositados sobre la placa de AG usando una pistola para pintar eléctrica (600W Air, Indura) mediante 3 aplicaciones consecutivas que generan un acabado poroso sobre la superficie, propiciando los espacios para generar núcleos de condensación para las partículas de agua.

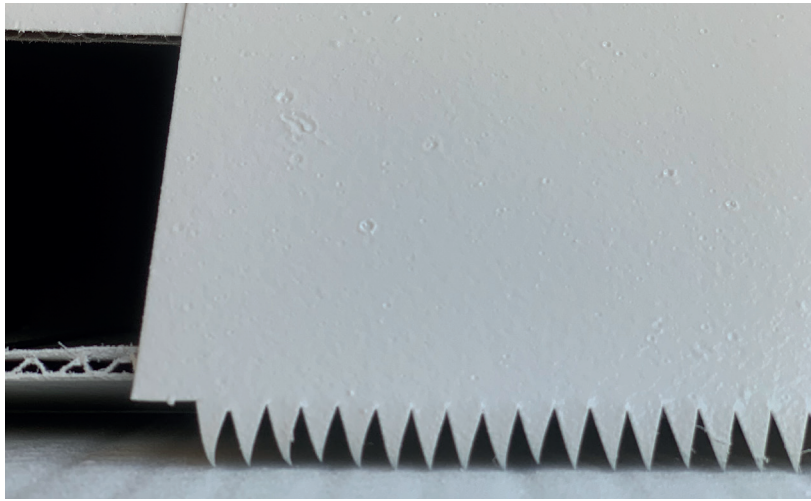


Figura N°76. Proceso de pintado de placas.. Elaboración propia

4. Revestimiento Latex Natural

Con la finalidad de generar una red de canales hidrofóbicos, se decide incorporar látex natural para revestir la totalidad de la placa, entregándole una terminación más lisa en la superficie que facilite el flujo del agua por la placa. Para ello se utilizó una pistola para pintar eléctrica (600W Air, Indura) mediante 4 aplicaciones consecutivas. Luego se dejó secar la placa a temperatura ambiente.

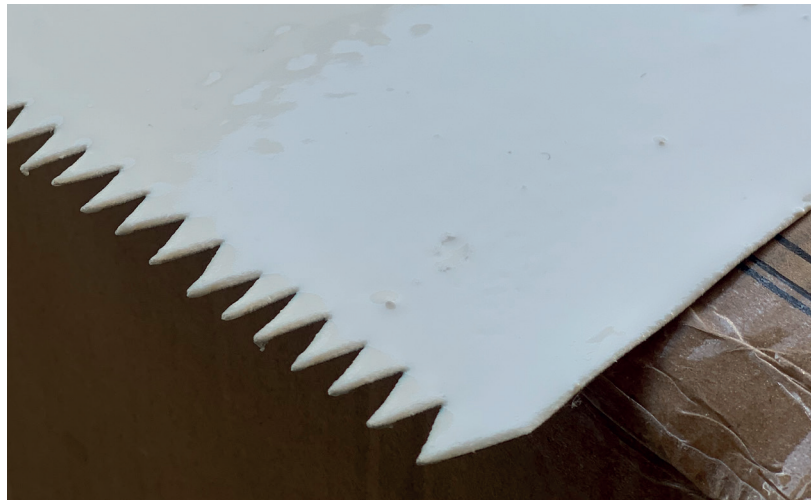


Figura N°77. Revestimiento de placas con latex natural. Elaboración propia

5. Patrón de hidrofobicidad

Una vez lista la placa con AZ/C3/Látex se dispone sobre su superficie una malla impresa en 3d que, mediante técnica stencil, permite crear la red de patrones hidrofóbicos a través de 3 aplicaciones consecutivas de Acrizinc y Caolín usando pistola para pintar eléctrica (600W Air, Indura). Una vez lista, se deja secar a temperatura ambiente. Este proceso aún no ha finalizado, se siguen probando las diversas mallas paramétricas para saber cual de ellas permite un mayor volumen de agua condensada.



Figura N°78. Revestimiento de placas con Caolín y acrizinc. Generan un acabado poroso gracias a la pistola electrica. Elaboración propia

Análisis y evaluación de resultados
capítulo 6

El análisis y evaluación de las placas se realizará a través de la estación meteorológica que posee la facultad de ingeniería udd, la cual permite obtener data en tiempo real de temperatura, viento, humedad, punto de rocío, presión atmosférica, índice de precipitación entre otros. Esta estación permitirá determinar bajo qué condiciones la placa logra condensar. Para saber cuánto rocío se recolectó se pesará la pipeta antes y después del análisis, lo que permitirá saber el volumen de rocío recolectado. Por otro lado, la temperatura de cada placa se revisará manualmente cada 4 horas utilizando una cámara térmica, que permitirá saber cuánta diferencia de temperatura hay entre el ambiente y la placa.

Para estos análisis se utilizarán unos pedestales que presentan dos alturas, una a los 50cm y otra al 1.90cm, con ello se busca conocer si existe alguna diferencia con respecto al volumen de condensación según la altura a la que se encuentre la placa.

Todo este análisis será anexado a la memoria una vez se termine su procedimiento.

Conclusión
capítulo 9

Teniendo en cuenta la necesidad de crear estrategias de adaptación y mitigación para gestionar y reducir los efectos del cambio climático en Chile. En términos de innovación tecnológica, gestión del conocimiento, investigación y desarrollo de capacidad los retos son promover la creación de nuevas herramientas y enfoques por medio de la investigación avanzada y el desarrollo, y en el mismo orden de importancia, acelerar la implantación del conocimiento y la tecnología existentes en todos los países y regiones.

Sin embargo, el real desafío está en buscar soluciones tecnológicas ecológicas a la hora de investigar estrategias de adaptabilidad y mitigación sostenibles en el tiempo aprovechando el potencial que nos entregan las nuevas condiciones atmosféricas para convertirlas en oportunidades, entendiendo el cambio climático como una realidad inevitable.

DEWater nace como un avance en términos de investigación, donde se desarrolló un sistema biomimético capaz de captar y recolectar pasivamente el rocío. Lo interesante de este avance investigativo es la particularidad de revestir un material ya existente con el objetivo de entregarle más y mejores condiciones que le permitan condensar partículas de agua en su superficie. Las observaciones e investigaciones acerca de sistemas biológicos permitieron concluir que una estructura con patrones paramétricos permite analizar y observar el comportamiento del agua sobre dicha superficie, permitiendo analizar cuál de ellas es la más adecuada para la condensación pasiva de rocío. En términos de objetivos, se puede mencionar que sí se realizó un análisis de estructuras biológicas y biomiméticas, el cual permitió entregar la información necesaria para saber cómo debía ser la estructura de la superficie, y por otro lado, la exploración material permitió encontrar los materiales adecuados para la condensación de rocío teniendo en cuenta parámetros de porosidad, rugosidad y emisividad. Con esto se concluye exitosamente que el caolín y el látex natural, en conjunto con una estructura de canales hidrofóbicos (patrones) logran condensar un mayor volumen de agua condensada, respecto a tecnologías actuales de captación de rocío.

Entendiendo la necesidad actual de generar soluciones tecnológicas basadas en la naturaleza, es que se proyecta continuar con el desarrollo del

proyecto DEWater, con el objetivo de seguir avanzando en su análisis y composición para lograr un revestimiento ecológico y sustentable, capaz de condensar agua atmosférica.





Bibliografía

1. Infinita industrial consulting: Sustancias hidrofóbicas ¿Qué son y para qué se utilizan?. Recuperado el 12 de mayo 2022 desde: <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/sustancias-hidrofobicas-que-son-y-uso/>
2. Revista de Física Aplicada 117, 033103 (2015); doi: 10.1063/1.4905616 Ver en línea: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4905616>
3. Plan Sequía, Gobierno de Chile. Recuperado el 26 de mayo de 2022, desde: <https://www.gob.cl/plansequia/>
4. Emol, Gobierno respalda la desalinización del agua para combatir la sequía: “Llegó la hora de mirarla en serio para dar una real solución”, 2019
5. iAgua, M., Respuestas, i. y Agua, C., 2022. ¿Qué es la condensación del agua? . [en línea] iAgua. Disponible en: <<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-condensacion-agua>> [Consultado el 16 de abril de 2022].
6. ecologiaverde.com. 2022. PARTES de una HOJA y sus FUNCIONES - Resumen con esquemas . [en línea] Disponible en: <<https://www.ecologiaverde.com/partes-de-una-hoja-y-sus-funciones-2776.html>> [Consultado el 18 de julio de 2022].
7. National Geographic. 2022. National Geographic España . [en línea] Disponible en: <<https://www.nationalgeographicla.com/animales/2021/08/estos-animales-se-mantienen-hidratados-empleando-tecnicas-muy-ingeniosas>> [Consultado el 18 de julio de 2022].
8. Infinitia Consultoría Industrial. 2022. Sustancias hidrofóbicas: Qué son y qué aplicaciones tienen . [en línea] Disponible en: <<https://www.infinitiaresearch.com/noticias/sustancias-hidrofobicas-que-son-y-uso/>> [Consultado el 18 de julio de 2022].
9. Recolección de agua atmosférica: una revisión de los diseños de materiales y estructuras
Xingyi Zhou, Hengyi Lu, Fei Zhao y Guihua Yu
Cartas de materiales de ACS 2020 2 (7), 671-684
DOI: 10.1021/acsmaterialslett.0c00130
10. Desarrollo reciente de materiales de recolección de agua atmosférica: una revisión
An Feng, Nawshad Akther, Xiaofei Duan, Shuhua Peng, Casey Onggowarsito, Shudi Mao, Qiang Fu y Spas D. Kolev
Materiales ACS Au 0, 0 , págs.
DOI: 10.1021/acsmaterialsau.2c00027
11. UNESCO, ONU-Agua, 2020: Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático, París, UNESCO.
12. Guo, Y., Guan, W., Lei, C. et al. Películas de polímero súper higroscópicas escalables para la recolección sostenible de humedad en ambientes áridos. *Nat Comun* 13, 2761 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30505-2>
13. Stehr A., C. Álvarez, P. Álvarez, J. L. Arumí, C. Baeza, R. Barra, C. A. Berroeta, Y. Castillo, G. Chiang, D. Cotoras, S. A. Crespo, V. Delgado, G. Donoso, A. Dussaillant, F. Ferrando, R. Figueroa, C. Frêne, R. Fuster, A. Godoy, T. Gómez, E. Holzapfel, C. Huneeus, M. Jara, C. Little, K. Lizama, M. Musalem, M. Olivares, O. Parra, R. D. Ponce, D. Rivera, I. Rodríguez, A. Sepúlveda, M. Somos, F. Ugalde, R. Urrutia, M. Valenzuela, C. Vargas, X. Vargas, S. Vásquez, I. L. Vera, S. Vicuña, G. Vidal y M. Yévenes (2019). Recursos hídricos en Chile: Impactos y adaptación al cambio climático. Informe de la mesa Agua. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.
14. J. Guadarrama - Cetina, A. Mongruel, M.-G Medici, E. Baquero, A.R Parker, et al. Dew condensation on desert beetle skin. *The European Physical Journal*, 2014)
15. Andrew R. Parker*Chris R. Lawrence† , Captura de agua por un escarabajo del desierto, 2001.
16. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. París, UNESCO.
17. Recolección de agua atmosférica: una revisión de los diseños de materiales y estructuras. Xingyi Zhou, Hengyi Lu, Fei Zhao,*y Guihua Yu* Mayo 2020.
18. Hamilton WJ III, Seely MK: Fog Basking by the Namib Desert Beetle, *Onymacris unguicularis*. *Nature* 1976, 262:284-285.
19. “Fog - Basking” (2: Hamilton WJ III, Seely MK: Fog Basking by the Namib Desert Beetle, *Onymacris unguicularis*. *Nature* 1976, 262:284-285.
20. Pietruzka RD, Seely Mk: Previsibilidad de dos fuentes de humedad en el desierto de Namib. *S Afr J Sci* 1982, 81:682-685.



Universidad del Desarrollo
Universidad de Excelencia

deWater

Sistema biomimético para captación y recolección pasiva de rocío

Proyecto de Título mediante Exploración Tecnológica
Josefina Antonia Guerraty Riquelme