

## **Fabricación de recubrimientos reforzados mediante la adición de nanopartículas de silicato de plata**

*S. Campos del Pino<sup>1</sup>, P. Salgado Mendoza<sup>2</sup>, M. Villagrán Valenzuela<sup>3</sup>*

### **Resumen:**

El objetivo de esta investigación es evaluar el impacto de las NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> cuando se incorporan a una pintura al óleo utilizada como recubrimiento en superficies de madera, fibrocemento y adocretos. Se analizó el comportamiento de las nanopartículas mezcladas con la pintura una vez que esta fue aplicada en las superficies seleccionadas. Se examinaron la respuesta de los recubrimientos ante condiciones climáticas costeras y cordilleranas, la presencia de propiedades autolimpiantes, anti-fúngicas y térmicas en los recubrimientos. La investigación también tiene como objetivo realizar una comparación exhaustiva entre los recubrimientos que incorporan nanopartículas y aquellos que carecen de ellas, con el fin de identificar y evaluar las posibles diferencias entre ambos en términos de rendimiento y características.

**Palabras Claves** NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, *síntesis, fibrocemento, madera, adocretos, pintura al óleo.*

### **Abstract**

The objective of this research is to assess the impact of silver silicate nanoparticles (NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) when incorporated into an oil paint used as a coating on wood, fibercement, and adobe surfaces. The behavior of the nanoparticles mixed with the paint was analyzed once it was applied to the selected surfaces. The response of the coatings to coastal and mountainous climatic conditions, as well as the presence of self-cleaning, antifungal, and thermal properties in the coatings, was examined. The research also aims to conduct a comprehensive comparison between coatings that incorporate nanoparticles and those that lack them, in order to identify and evaluate potential differences between them in terms of performance and characteristics.

**Keywords:** Silver silicate nanoparticles, Fibercement, Wood, Adobe blocks, Oil paint.

---

<sup>1</sup> Estudiante Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, CHILE.  
scamposd@ing.ucsc.cl

<sup>2</sup> Profesor Guía, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, CHILE.  
psalgado@ucsc.cl

<sup>3</sup> Profesor Informante, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, CHILE.  
mvillagran@ucsc.cl

## **1. Introducción**

Desde tiempos inmemoriales, la pintura ha desempeñado un papel crucial, especialmente en el ámbito de la construcción, donde su función inicial radicaba en la decoración de las paredes de diversas estructuras históricas (1). Sin embargo, en la actualidad, su aplicación se ha diversificado, destacándose su empleo como recubrimiento multifuncional (2). Los recubrimientos, capas protectoras aplicadas a las superficies de diversos materiales de construcción, tienen la misión de resguardar dichos materiales de agentes químicos, naturales y factores climáticos desde su superficie (3). Los recubrimientos se clasifican en metálicos, no metálicos y orgánicos, siendo la pintura parte del último grupo (4). Al aplicar un recubrimiento en una superficie, confiere propiedades tales como resistencia a la corrosión, antihongos, autolimpieza, hidrofobicidad y anti-graffiti, entre otras (5) (6) (7) (8) (9). En la construcción, coexisten varios tipos de pinturas, como aquellas al óleo de secado lento, esmalte con plomo o zinc, emulsión fácil de aplicar y secado rápido, y la de cemento para exteriores y pisos de concreto, entre otras (2).

El reconocimiento de diversas problemáticas en el campo de la construcción, como la falta de durabilidad, olores desagradables, tiempos de secado prolongados y susceptibilidad a la suciedad, condujo a la reflexión sobre la posibilidad de mejorar estas propiedades inherentes a los recubrimientos. Los avances científicos a la fecha revelan que se está explorando gradualmente el uso de nanopartículas para abordar estas necesidades, siendo la nanotecnología la disciplina central en este enfoque (10).

La nanotecnología se define como la manipulación de materiales y artefactos a una escala molecular, integrando conocimientos de disciplinas científicas como química, orgánica, semiconductores, microfabricación y ciencia de superficies. Esta tecnología se basa en la construcción de nanomateriales mediante la modificación de las moléculas de los materiales existentes, prometiendo una nueva revolución industrial y científico-tecnológica (11).

Enmarcado en el concepto de nanotecnología es posible encontrar el uso frecuente del concepto de nanopartículas, las que se entienden como materiales extremadamente pequeños que varían entre 1 y 100 nanómetros. Su relevancia radica en que, a escala nanométrica, las propiedades de los materiales experimentan cambios significativos, otorgando a las nanopartículas propiedades únicas en comparación con los materiales a granel. La adición de nanopartículas a la pintura al óleo, por ejemplo, podría conferir propiedades antifúngicas y mejorar la absorción de calor, entre otros aspectos a considerar (12)(13).

Ejemplos prácticos de recubrimientos con nanopartículas incluyen el Smart Coating, creado por la ingeniera civil de materiales Patricia Barros, que ofrece mayor protección contra la corrosión y durabilidad. Este recubrimiento detecta interrupciones en su película, desencadenando cambios en su pH y permitiendo que las nanopartículas de zinc llenen esos espacios vacíos, restaurando la protección anticorrosiva a la estructura metálica (14). Otro estudio, llevado a cabo por científicos de la University College London (15), investigó pinturas con recubrimiento a base de nanopartículas de dióxido de titanio, conocidas por su no toxicidad, estabilidad en soluciones acuosas, resistencia a la humedad y propiedades autolimpiantes. Este estudio concluyó que estas nanopartículas mejoraban la resistencia de los recubrimientos a los rayos UV, ya sea absorbiéndolos o reflejándolos. En este mismo sentido, el uso de nanopartículas en pinturas no solo puede mejorar significativamente sus propiedades existentes, sino también agregar nuevas características, como mayor resistencia a la abrasión, al rayado, reducción de la degradación del sustrato ante los rayos UV, incremento de la adherencia, estabilidad térmica, resistencia al fuego y propiedades antimicrobianas, antivirales y fungicidas, así como la formulación de pinturas fotocatalíticas, anti-olor y anti-graffiti (16).

Cada nanopartícula tiene propiedades específicas. Por ejemplo, las NP de plata, con propiedades antimicrobianas y capacidad para mejorar la conductividad eléctrica, encuentra aplicaciones en la fabricación de productos textiles y en la síntesis de biosensores (17). Otro nanomaterial relevante para esta investigación es el silicato, constituyente mayoritario de la corteza terrestre, con propiedades físicas y químicas variables según su composición química (18).

En síntesis, esta investigación se enfocará en la síntesis de NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ , elegida por su eficacia en la degradación de contaminantes mediante radiación (fotocatálisis) (19), así como por sus propiedades autolimpiantes y antibacterianas (8) (6) (17). Algunas aplicaciones de la NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  pinturas autolimpiantes, recubrimientos antibacterianos, filtros de agua, entre otros. Además de lo anterior, se explorará cómo reacciona la NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  al incorporarse en pinturas al óleo, evaluando su impacto en la resistencia a distintas condiciones climáticas, limpieza, absorción de calor y propiedades fungicidas en diversas superficies.

## **2. Objetivo general**

Estudiar el efecto de las nanopartículas de silicato de plata en la pintura de oleo aplicada como un recubrimiento en cuanto a propiedades autolimpiantes y anti hongos. Además de cómo se comporta frente a diferentes condiciones climáticas en superficies de maderas, fibrocementos y adocretos.

### **2.1 Objetivos específicos:**

- Sintetizar NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ .
- Evaluar el comportamiento de la pintura luego de realizar el proceso de limpieza con y sin NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ .
- Estudiar cómo se comportan las probetas de madera, fibrocemento y adocreto, con y sin NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  frente a climas costeros y cordilleranos.
- Estudiar propiedades autolimpiantes al aplicar tintes y rayas con distintos lápices a probetas con y sin NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ .
- Para probetas con y sin NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  se analizaron las propiedades anti-hongo y capacidad térmica.

### 3. Metodología

#### 3.1 Síntesis y procedimiento posterior a la síntesis

Para la realización de la síntesis de la NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> nos basamos en el procedimiento establecido por Lou et al. Este artículo nos indica que se tiene que mezclar 0,284 g de Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> con 70 ml de agua desionizada bajo agitación constante. Luego, la solución se agregó lentamente a 30 ml de solución de AgNO<sub>3</sub> 0,1 M para generar precipitados de color marrón rojizo. Después de 30 minutos de agitación, las muestras (es decir, los precipitados) se separaron de la solución mediante filtración. Los polvos de color marrón rojizo se obtuvieron después de lavar con agua desionizada y etanol tres veces, y se secaron a temperatura ambiente durante 6 h (20). Después del tiempo de secado especificado, se realizó la extracción de las NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> al raspar el papel filtro Whatman grado 1 de tamaño de poro 11 μm utilizado durante el proceso de filtrado en una bomba de vacío R-300 de la mezcla de reactivos, obteniendo así las NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> en forma de polvo anaranjado (Figura 1). La obtención exitosa de estas NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> es un paso crítico en la preparación de la pintura, ya que su incorporación precisa influye directamente en las propiedades finales del recubrimiento.

La mezcla de la pintura con las NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> requirió un cálculo detallado de la proporción de pintura necesaria. Este cálculo se basó en el rendimiento especificado en la ficha técnica de la pintura, considerando una aplicación de dos capas en lugar de una. Además, se tuvieron en cuenta el área específica de la superficie a cubrir y la densidad de la pintura, lo que permitió determinar la cantidad necesaria en gramos. Para una sola probeta de 10x10 cm, se obtuvo una masa de 3,02 g de pintura, y para las 24 probetas requeridas (12 con pintura sin nanopartículas y 12 con pintura con nanopartículas), la cantidad total fue de 72,48 g. La proporción de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> en la pintura se abordó mediante pruebas en probetas de 3x3 cm. Después de pruebas iniciales con un 2% de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> con respecto al peso total de la pintura, que mostraron cambios poco significativos en cuanto al cambio de color, se realizaron pruebas con un 5% de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, revelando diferencias más notables en cuanto al cambio de color con respecto al inicial (Figura 2) (21). En la Figura 2, la probeta superior representa la pintura sin NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, la del medio con un 2% de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> y, finalmente, la inferior con un 5% de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. Debido a la visibilidad de los cambios con el 5%, se decidió trabajar con esta proporción, equivalente a 0,15 g de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> por probeta y un total de 1,82 g de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> para las 12 probetas con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

Las proporciones previamente calculadas de pintura y nanopartículas se combinan en un vaso precipitado (Figura 7). La mezcla se realiza con un pincel hasta lograr una homogeneidad evidente, asegurándose de una integración uniforme de ambas sustancias. Posteriormente, esta mezcla se aplica a las probetas, las cuales se cubren inmediatamente para evitar la exposición a la luz y prevenir posibles cambios de color inducidos por la plata (22).

#### 3.2 Ensayo de espectroscopía de reflectancia difusa (DRS)

Se llevó a cabo un ensayo de espectroscopía de reflectancia difusa, el cual se utiliza para medir la reflectancia de una muestra en función de la longitud de onda de la luz incidente (23). La reflectancia difusa representa la cantidad de luz que se refleja en todas las direcciones después de interactuar con una superficie (23). Este

procedimiento se realizó utilizando un espectrofotómetro (Figura 1), en el cual es posible seleccionar la longitud de onda de la luz que atraviesa una solución o material y medir la cantidad de luz absorbida por la muestra (23).



**Figura 1.** Espectrofotómetro.

### **3.3 Probetas expuestas a distintas condiciones climáticas**

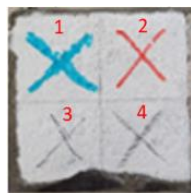
Posteriormente de las 24 probetas 6 se trasladaron a un sector costero para que se encuentre expuesto a las condiciones climáticas de esta zona, 12 probetas hacia sectores cordilleranos, las otras 6 se dejaron en la universidad en el Laboratorio de Procesos Químicos Aplicados, para poder ir observando como el clima de las distintas zonas va afectando a nuestras probetas con pintura con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> y sin NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

Todas las ubicaciones de las zonas donde se dejaron las probetas se encuentran en el anexo A.

### **3.4 Ensayos de rayado y limpieza**

Las probetas ubicadas en el Laboratorio de Procesos Químicos Aplicados de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, se dividieron en cuatro secciones para ser rayadas con diferentes lápices: destacador celeste en la parte superior izquierda, lápiz tinta rojo en la parte superior derecha, lápiz tinta negro en la parte inferior izquierda y lápiz grafito en la parte inferior derecha (Figura 2). Esta diversidad de colores se empleó para determinar si alguno de ellos favorecía la degradación. La prueba se llevó a cabo tanto en probetas con

NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, las cuales se aprecian de un tono más, como en probetas sin NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, que mantienen su color original, con el objetivo de observar las diferencias al ser colocadas en un ambiente cerrado (cámara oscura) con luz blanca utilizando como fuente de radiación un foco led durante cuatro días.



**Figura 2.** Distribución de rayados en forma de X, 1 (destacador celeste), 2 (lápiz tinta rojo), 3 (lápiz tinta negro), 4 (lápiz grafito).

Posteriormente, se aplicaron tintes en las mismas áreas donde se realizaron las rayas en la prueba anterior, aprovechando la presencia de agua en estos para evaluar si estos contribuían al proceso de degradación. Los tintes utilizados fueron azul de metileno, violeta de pyrocateolo, Rb5 y naranja de metilo (Figura 4). Esta prueba se llevó a cabo con el mismo propósito de estudiar si alguno de estos tintes se degradaba al dejarlos en un ambiente cerrado, el ambiente cerrado como cámara oscura, consiste en una luz blanca aplicando mediante un foco led por tres días, pero esta vez la luz estaba siendo aplicada más cerca de las probetas. En la Figura 3 se encuentra la disposición de los tintes al ser aplicados en las probetas.



**Figura 3.** Distribución de los tintes, A (azul de metileno), N (naranja de metileno), V (Violeta de pyrocateolo), Rb5 (Reactive black 5).

Finalmente, a las probetas expuestas a distintas condiciones climáticas también se les aplicaron estos tintes, con el propósito de investigar si llegaban a borrarse debido a estas condiciones.



**Figura 4.** Tintes usados sobre las probetas.

Después de realizar las pruebas mencionadas anteriormente, se sometieron estas mismas probetas a una prueba de limpieza con el objetivo de verificar la facilidad con la que se podían remover los tintes o los rayados, en caso de que fuera posible. Para llevar a cabo esta prueba, se utilizó un paño humedecido con agua, con el cual

se frotó la superficie de la probeta con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> durante un minuto y la probeta sin NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> también durante un minuto.

### 3.5 Ensayos de proliferación fungí

Ensayo 1:

Se llevaron a cabo pruebas con hongos extraídos de la pared de una casa localizada en el Portal de San Pedro de la Paz mediante un hisopo de algodón húmedo, el cual se frotó en la superficie de la pared. Posteriormente, los hongos fueron colocados en un vaso con agua con el propósito de observar su proliferación en probetas destinadas a determinar las proporciones de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. Estas probetas incluyeron una solo con pintura blanca, otra con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> al 2%, y la última con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> al 5%. Todas fueron colocadas junto con el vaso de hongos en una pecera, creando un ambiente cerrado con la parte superior sellada y en completa oscuridad (Figura 16). Además, se agregó una gota de agua con hongos a cada probeta para evaluar su proliferación en estas condiciones.

Ensayo 2:

Después de 22 días desde la ejecución de esta prueba, se extrajeron nuevamente hongos de la pared, pero esta vez utilizando un algodón húmedo. Se emplearon tres algodones, que se colocaron en el ambiente cerrado, junto con tres mondadientes simulando ser maderas sin recubrimiento. Cada día, se roció agua sobre ellos para mantener el ambiente húmedo. Se realizo este segundo ensayo con proliferación de hongos para poder observar si tenía una mayor eficacia.

### 3.6 Ensayo de absorción de calor

Se dispusieron probetas de fibrocemento, adocreto y madera con y sin nanopartículas (NP), las cuales fueron expuestas a la radiación solar. El objetivo era estudiar si las muestras con NP lograban retener mejor el calor que aquellas sin NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. Este proceso se llevó a cabo utilizando una cámara termográfica (Figura 5). Se registraron las temperaturas de las probetas en intervalos de 1 a 5 minutos hasta que la temperatura dejó de experimentar variaciones significativas con respecto a la medición anterior.



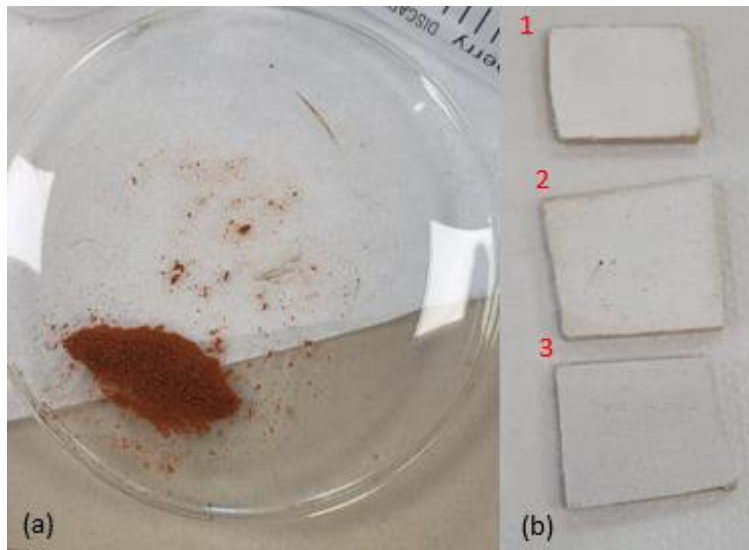
**Figura 5.** Cámara termográfica.

Fuente. <https://www.fluke.com/es-mx/producto/camaras-termicas/ti400>.

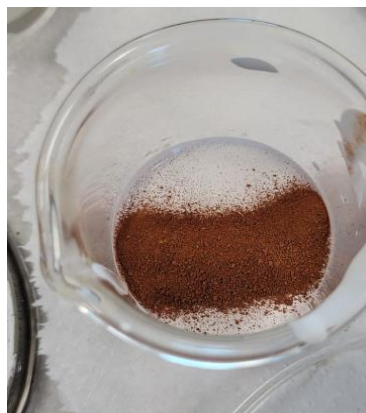
## 4. Resultados

### 4.1 Resultados de la síntesis de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> / proporciones

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la síntesis de la NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> y las probetas ocupadas para decidir la proporción de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> a ocupar.



**Figura 6.** (a) NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. (b) Probetas de prueba, 1 (probeta sin NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), 2 (probeta con el 2% de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), 3 (probeta con el 5% de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>).

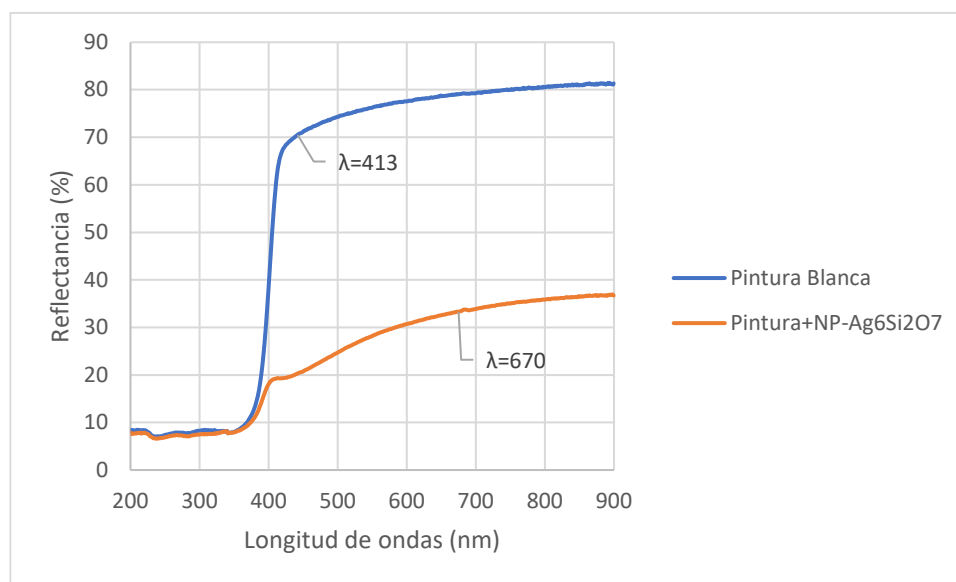


**Figura 7.** Vaso precipitado con la pintura y las NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

Al analizar los resultados de la Figura 6, observamos que el polvo obtenido durante la síntesis de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> presentaba un color anaranjado, coincidiendo con la información proporcionada en el artículo científico de Lou et al. (20) En base a esta concordancia, llegamos a la conclusión de que la síntesis se llevó a cabo de manera correcta.

#### 4.2 Resultados ensayo de espectroscopía de reflectancia difusa (DRS)

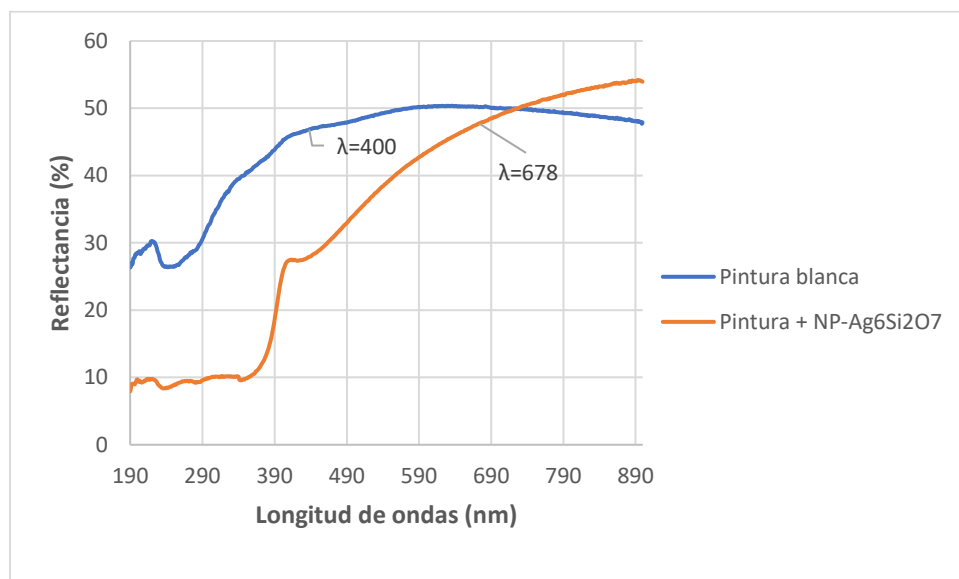
A continuación, se presentan los gráficos de reflectancia v/s longitud de las probetas de madera (Figura 8) y fibrocemento (Figura 9), comparando la capacidad de reflectancia de las probetas con y sin NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.



**Figura 8.** Gráfico reflectancia/longitud de ondas de madera con pintura blanca sin NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (línea azul) y con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (línea naranja).

Al analizar el gráfico del ensayo (Figura 8), se observa que, en la pintura blanca una vez que alcanza el valor de 413 nm de longitud de onda, prácticamente refleja toda la luz. En cuanto a la pintura con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, se aprecia que el porcentaje de reflectancia, en comparación con la pintura blanca, es significativamente menor, indicando que la NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> está reduciendo la reflectancia de la pintura blanca, lo que lleva a una mayor absorción de luz.

En relación al band gap, en la pintura blanca, este ocurre a los 413 nm, lo que implica que, estaría dejando fuera a gran parte de la luz visible, por lo que sería difícil que se generara un movimiento de los electrones de la banda de valencia a la de conducción. Esto sugiere que la degradación sería escasa, ya que la pintura blanca apenas absorbe luz o lo hace en un rango de longitudes de onda muy limitado. Por otro lado, el band gap de la pintura blanca con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> se produce a los 670 nm, lo que indica que sería más fácil que se generara una excitación de los electrones al absorber luz en un rango más amplio. También podría reaccionar con una mayor variedad de longitudes de onda, lo que facilitaría la degradación de contaminantes.



**Figura 9.** Gráfico reflectancia/longitud de ondas de fibrocemento con pintura blanca sin NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (línea azul) y con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (línea naranja).

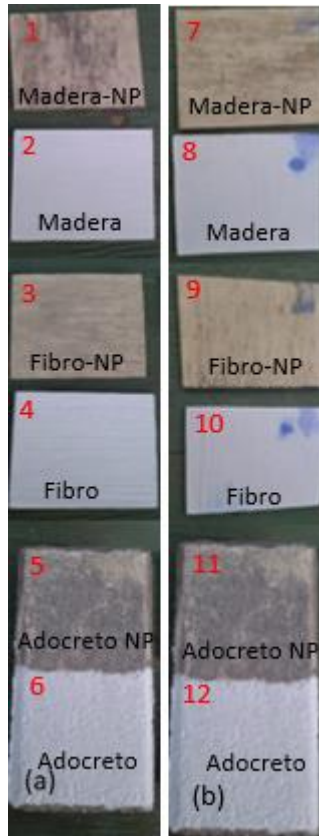
Al analizar el gráfico del ensayo (Figura 9), se observa que, debido al color más oscuro del material, a pesar del aumento de la longitud de onda, este no presenta un gran porcentaje de reflectancia en comparación con el gráfico de la madera. En cuanto a la pintura con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, se puede apreciar que el porcentaje de reflectancia se mantiene bajo, pero luego comienza a aumentar llegando a sobrepasar al % de la pintura blanca, de igual forma en este punto que sobrepasa no tan importante debido a que esas longitudes de ondas (infrarrojas) no producen radiación. La razón de este fenómeno puede atribuirse a la falta de uniformidad en la distribución de las NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> en la superficie de la probeta, lo que posiblemente resulta en áreas sin presencia de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. Comparando con la pintura blanca, se observa que el porcentaje de reflectancia en general es similar, pero la NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> comienza a absorber luz a longitudes de onda más grandes.

En cuanto al band gap de la pintura blanca, este ocurre en los 400 nm, lo que significa que el rango de absorción de luz es muy limitado, y no se generaría un movimiento de los electrones de la banda de valencia a la de conducción utilizando radiación visible. Esto implica que la fotocatalisis apenas se produciría, ya que la pintura blanca prácticamente no absorbe luz visible o lo hace en un rango de longitudes de onda muy reducido. Por otro lado, el band gap de la pintura blanca con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ocurre a los 678 nm, lo que indica que tiene un rango más amplio para absorber luz. Esto facilitaría la excitación de los electrones al absorber luz en un rango más extenso, lo que podría reaccionar con una mayor variedad de longitudes de onda y, por lo tanto, tener una mayor capacidad para degradar contaminantes.

### 4.3 Resultados de las probetas expuestas a distintas condiciones climáticas

#### 4.3.1 Zona costera

Estas probetas se dejaron a la interperie aproximadamente durante un mes (13/10/2023 al 17/11/2023).



**Figura 10.** (a) Probetas de la zona costera día n°1, (b) Probetas de la zona costera al día n°37). Donde las probetas que no dicen NP es debido a que en la pintura no tienen NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> y las que tienen NP la pintura si tiene NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

Las probetas del lado b se encuentran manchadas con el colorante azul de metileno, ya que se realizó el mismo ensayo propuesto en la metodología 3.2 con los mismos tintes. Debido a que entre esos días llovió, los demás tintes se borraron, y solo queda el azul de metileno. En la probeta 7 y 8 se puede ver que en la probeta con NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  se perdió un más la intensidad del tinte azul de metileno. En cuanto a las probetas 11 y 12, se borraron todos los tintes. Respecto a las diferencias presentadas en probetas con y sin NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ , solo en la probeta 9 con la 10 se puede observar que en la probeta 9 solo quedó la mancha del azul de metileno en la esquina superior derecha, mientras que en la probeta 10, a diferencia de la 9, quedaron rastros del tinte Rb5 black en la esquina inferior izquierda. Esto se debe a que la NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  debió haber ayudado a degradar el tinte Rb5 black en la probeta 9 por acción de la radiación solar, otra razón por la que se pudieran haber borrado los tintes es que la NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  evita que los tintes se adhieran de buena forma a la superficie.

Al comparar ambas imágenes del primer y último día, no se observan cambios; el color sigue siendo el mismo tanto en las zonas pintadas con NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  como en las sin NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ . No se ha perdido intensidad en el color de la pintura, posiblemente debido a que el período de estudio fue muy corto y, por lo tanto, no se evidencian cambios significativos a pesar de que estas probetas se dejaron a la interperie.

#### 4.3.2 Zona Cordillerana San Carlos

Estas probetas se dejaron un mes a la interperie (20/10/2023 al 20/11/2023).



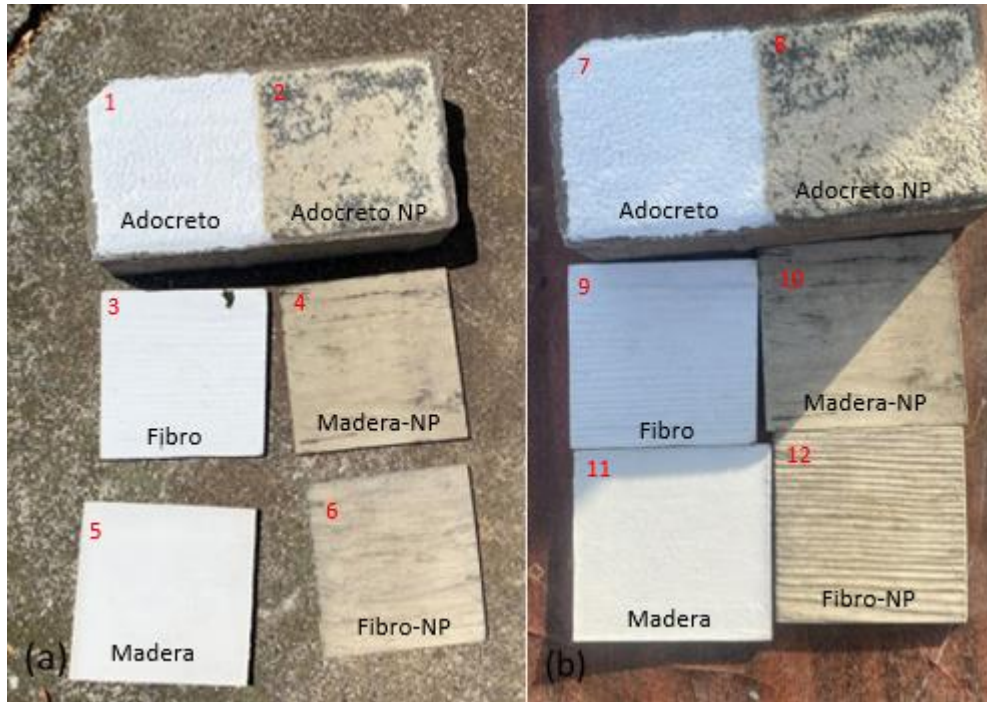
**Figura 11.** (a) Probetas en zona cordillerana San Carlos día n°1, (b) Probetas en zona cordillerana San Carlos día n°19, (c) Probetas en zona cordillerana San Carlos día n°30. Donde las probetas que no dicen NP es debido a que en la pintura no tienen NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  y las que tienen NP la pintura si tiene NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ .

Al analizar (a) con (c) de la Figura 11, se puede observar cómo varía el color de las probetas con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, notándose que se vuelven más oscuras en (c). La razón más probable es que estas zonas más oscuras son donde quedaron más concentradas las NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> debido a que no se realizó una mezcla homogénea con la pintura. Esta conclusión se basa en lo mencionado en la investigación de Mancini. S.I (2021) (24). Lo importante que se destaca en esta investigación en cuanto a este tema es que se dejaron pinturas con distintas proporciones de NP-Ag por varios meses para observar qué ocurría con su textura y color. Se comenzó a observar que, con el paso del tiempo, las pinturas con una mayor proporción de NP-Ag se iban oscureciendo, cambiando a un color más marrón claro a oscuro con el tiempo ocurría esto al estar en contacto con la radiación de las ampollitas, de igual forma que ocurre esto con nuestras probetas, pero al estar en contacto con la radiación del sol lo cual influía mucho en cuanto exposición al sol por día tenían ya que las que más contacto con el sol tenían más oscuras quedaron.

Al analizar las subfiguras (b) y (c) de la figura 11 se aprecia que los tintes que no desaparecieron en (c) en las probetas 13, 16, 17 son el azul de metileno y el violeta de pyrocatecol, mientras que en las probetas 14, 15, 18 solo queda el tinte azul de metileno. El hecho de que hayan desaparecido en la pintura sin NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> se debe a que los tintes fueron aplicados después de que llovió, por lo que la superficie de las probetas estaba húmeda, lo que hizo que los tintes, al ser a base de agua, no se lograran adherir a la superficie de las distintas probetas. Además, la pintura al óleo ya tiene propiedades hidrofóbicas, lo que estaría impidiendo la adherencia de los tintes. El hecho de que en las probetas con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> hayan desaparecido en mayor proporción los tintes, es porque esta ayuda a la degradación de los tintes. Las NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> actúan como fotocatalizador, y al estar en contacto con la luz del sol, reaccionan haciendo que los electrones de su banda de valencia se exciten, saltando a la de conducción y generando electrones libres y huecos, los cuales contribuyen a degradar o eliminar los contaminantes, en este caso, los tintes (25).

### **4.3.3 Zona Cordillerana San Fabian de Alico**

Estas probetas se dejaron un mes a la intemperie (20/10/2023 al 20/11/2023).



**Figura 12.** (a) Probetas en zona cordillerana San Fabian de Alico día n°1, (b) Probetas en zona cordillerana San Fabian de Alico día n°30. Donde las probetas que no dicen NP es debido a que en la pintura no tienen NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  y las que tienen NP la pintura si tiene NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ .

Analizando la subfigura (a) con (b) de la figura 12, no se aprecian cambios significativos; sin embargo, mantienen su color durante el tiempo de duración del ensayo, en este ensayo no se analizó la degradación de tintes debido a que no siempre se podía ir a la localización de estas probetas al estar muy lejos. Lo que puede estar ocurriendo en estas probetas, al ser de un color más claro que las probetas de los otros ensayos realizados, es debido a que no quedaron tantas NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  presentes en la superficie y en los lugares más oscuros es porque hay una mayor presencia de NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ . Otro factor importante es que no fue un periodo de tiempo largo en el cual estuvieron expuestas a la radiación solar.

Conclusiones generales a las que se llegaron en cuanto a los ensayos de condiciones climáticas son que el cambio de color de las probetas con NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  es netamente por la presencia de NP-Ag, como se menciona en la investigación de Mancini. S.I (2021) (8). Esto puede ocurrir debido a que al momento de lavar mientras se filtraban, no se realizó de una buena manera, quedando las NP-Ag y haciendo que algunas probetas con la reacción a la radiación del sol se tornen más oscuras que otras. Las probetas que no tienen tanta presencia de NP-Ag quedan de un color más claro, incluso después de la exposición a la radiación solar. De igual forma, este cambio de color puede deberse a que la mezcla de la pintura más las NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  no se realizó correctamente, por lo que las NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  quedaron más expuestas a la radiación, generando un cambio más drástico, la razón es que puede estar ocurriendo es que a partir de la NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  se están formando NP-Ag las cuales al reaccionar con la radiación del sol hacen que se oscurezcan más esas zonas. Aquellas que no quedaron bien mezcladas y se dejaron en las zonas cordilleranas recibieron mayor radiación, lo que intensifica su color.

#### 4.4 Ensayos de rayado y limpieza

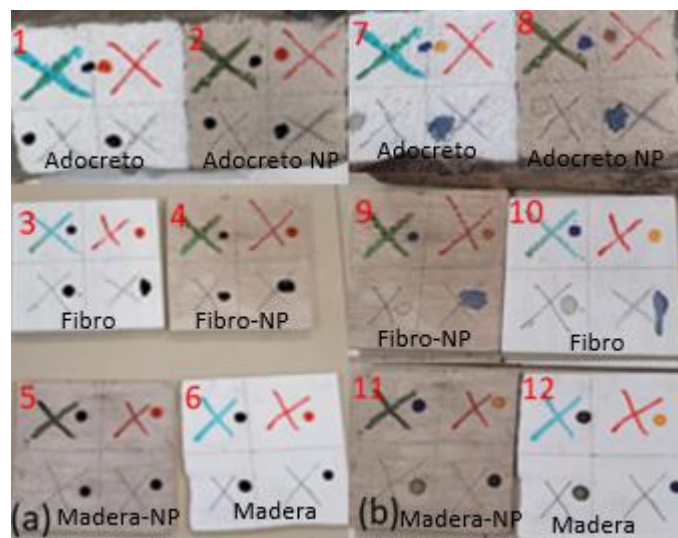
En la Figura 13 se exhiben las probetas dejadas en el laboratorio de química de la universidad Católica de la Santísima Concepción, las cuales se rayaron con distintos lápices como se explicó en metodología.



**Figura 13.** (a) Probetas rayadas antes de dejarlas en la cámara oscura con luz blanca, (b) Probetas rayadas luego de la aplicación de radiación mediante un foco led. Donde las probetas que no dicen NP es debido a que en la pintura no tienen NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> y las que tienen NP la pintura si tiene NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

La subfigura (b) de la figura 13 corresponde a los resultados obtenidos después de 4 días dentro de la cámara oscura con la aplicación de radiación mediante un foco led. Al comparar (a) y (b), se puede apreciar la diferencia en las rayas en forma de X de color celeste, que en (b), en las superficies con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, cambia a un tono verdoso. Esto probablemente se debe a que la longitud de onda con la que reacciona el color celeste está dentro del rango de absorción de la NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, a diferencia de los otros lápices, y esto hace que se realice el proceso de fotocatalisis con la ayuda de la NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, logrando que en parte se degrade este color.

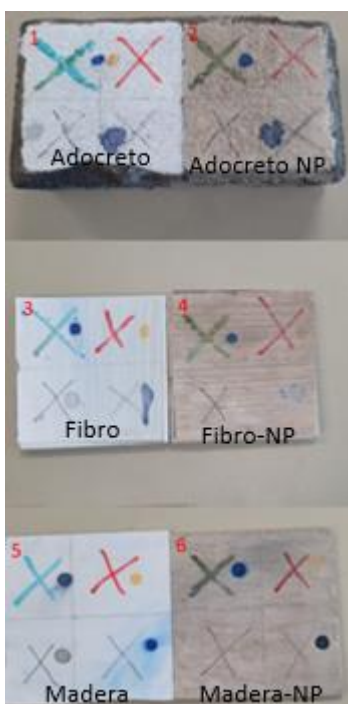
A continuación, se presentan los resultados obtenidos al aplicar los tintes y tras su exposición a radiación visible (Figura 14), la disposición de los tintes se encuentra en la figura 2.



**Figura 14.** (a) Probetas rayadas antes de dejarlas en la cámara oscura con luz blanca, (b) Probetas rayadas luego de la aplicación de radiación mediante un foco led. Donde las probetas que no dicen NP son debido a que en la pintura no tienen NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  y las que tienen NP la pintura si tiene NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ .

En las mismas probetas utilizadas para el ensayo de rayado anterior, se aplicaron tintes, como se muestra en la Figura 14. En la Figura 14. (b) se presentan los resultados obtenidos en las probetas después de exponerlas durante 3 días en una cámara oscura con la aplicación de radiación mediante un foco led, esta vez con el foco más cercano a las probetas. Al comparar (a) y (b), se observa que el tinte violeta de pyrocateolo en las probetas con NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  pierde intensidad, al igual que el naranja de metileno. La pérdida de intensidad se debe a que estos dos tintes tienen su longitud de onda en la zona de absorción de que se pudo observar en los ensayos de reflectancia difusa, por lo cual, con la ayuda de la NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  la cual actúa como fotocatalizador absorbe la luz, llevando a cabo el proceso de fotocatalisis, el cual degrada el tinte. A su vez, estos tintes que presentan una pérdida de color se deben a que su longitud de onda es mayor que el band gap, por lo que reflejan la luz en lugar de absorberla.

A continuación se presentan los resultados obtenidos tras el proceso de limpieza de probetas.



**Figura 15.** Probetas luego de limpiarlas, donde las probetas que no dicen NP es debido a que en la pintura no tienen NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  y las que tienen NP la pintura si tiene NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ .

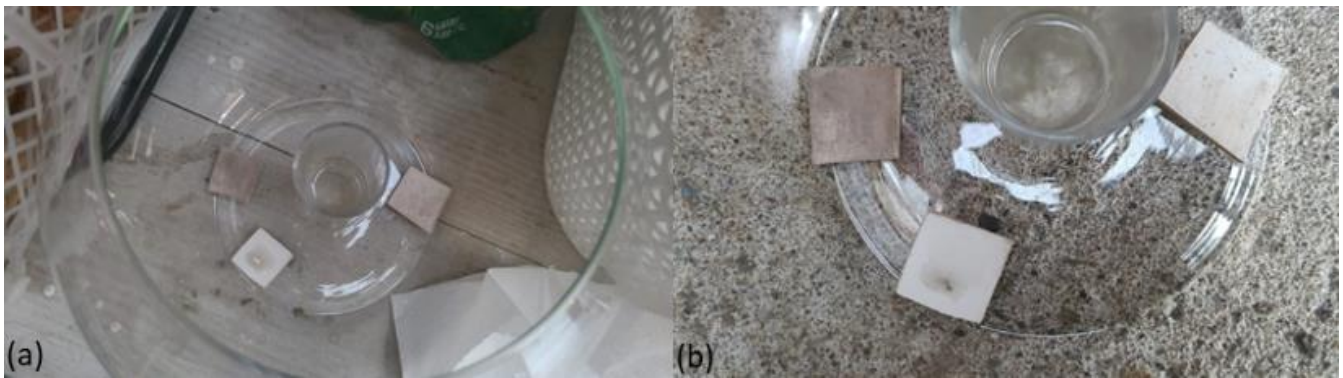
En la Figura 15, se presentan las muestras después de llevar a cabo el proceso de limpieza, manteniendo la disposición previa de los ensayos. Al comparar las superficies con NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  y sin NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ , se observa que, en el caso de las muestras 3 sin NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  y 4 con NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ , se eliminó completamente el violeta de pyrocateolo junto con la marca de lápiz grafito; además, en este material, la intensidad de color del Rb5

disminuyó notablemente en comparación con las demás. Respecto a la muestra 2 con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, experimentó una pérdida considerable de intensidad en el color naranja de metileno, así como en el violeta de pyrocateolo. Por último, comparando las muestras 5 con 6 con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, solo se observa una disminución en la intensidad del color violeta de pyrocateolo. La limpieza en fibrocemento borró completamente el grafito y parte del Rb5 black, indicando impermeabilidad del material a este tipo de tintes.

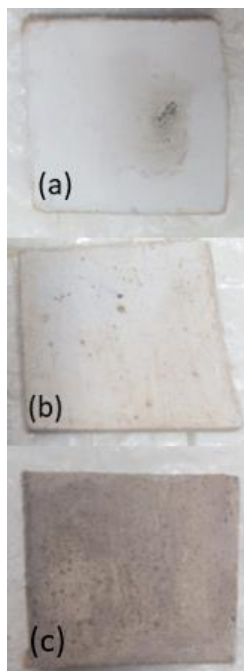
Lo que pudo haber ocurrido para que algunos tintes se borraran y otros no, puede estar asociado a que la NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> no tiene buena interacción con el tinte Rb5 black, por lo que hace que no se adhiera de buena forma a la superficie y al momento de limpiar, se borra con mayor facilidad. Esto se compara con el estudio de Viveros et al., en el cual utilizan silicato como NP y llegan a la misma conclusión de que esta NP ayuda a degradar de mejor forma el tinte mediante fotocatalisis (26).

#### 4.5 Ensayos de proliferación de hongos

A continuación en la Figura 16 se presentaran los resultados obtenidos sobre las probetas a la proliferación de hongos.



**Figura 16.** (a) Probetas de madera con una gota de agua con hongos. (b) Probetas de madera 4 días de la aplicación de la gota.

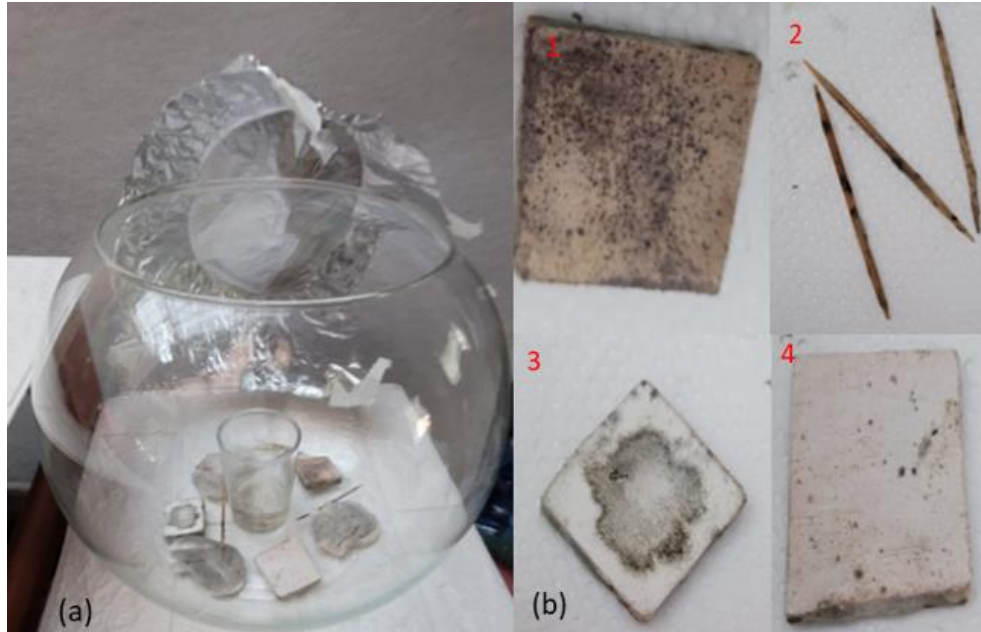


**Figura 17.** Probetas de madera 14 días después, (a) probeta sin NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, (b) probeta al 2% de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, (c) probeta al 5% de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

En la Figura 17, en la subfigura (a), se evidencia la presencia de hongos en la zona donde se aplicó la gota de agua con hongos. En la subfigura (b), correspondiente a la probeta con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> al 2%, se observa significativamente menos presencia de hongos en comparación con las otras dos probetas. Por último, en la subfigura (c), se aprecian zonas en la parte intermedia hacia abajo con una mayor cantidad de hongos en comparación con la muestra con 2%.

Es posible que en la probeta con 5% de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, al ser una mayor cantidad de nanopartículas, no se haya logrado una mezcla homogénea con la pintura. Como resultado, no toda la superficie de esta probeta cuenta con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, lo que genera la presencia de hongos en las zonas sin nanopartículas. En cambio, en la probeta con 2% de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (b), al ser una menor cantidad de nanopartículas, se logró una mezcla más homogénea, distribuyendo de manera efectiva las NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> en la superficie de la probeta y reduciendo la proliferación de hongos.

A continuación se muestran los resultados al realizar el segundo experimento de proliferación de hongos que se realiza siguiendo los descrito en la metodología.



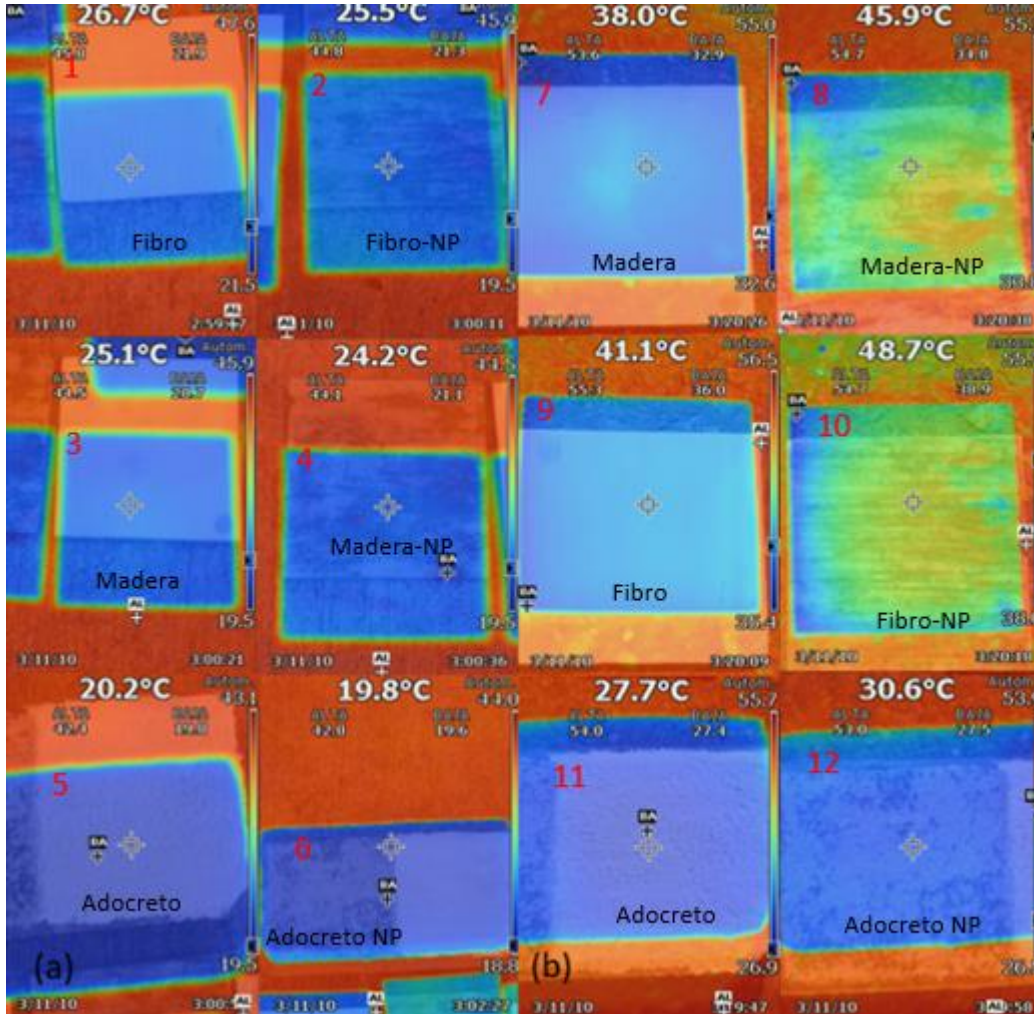
**Figura 18.** (a) Ambiente cerrado ensayo n°2. (b) Probetas de madera 13 días después de realizar el ensayo, 1 (probeta al 5% de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), 2 (mondadientes simulando madera sin pintura ni NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), 3 (madera solo con pintura), 4 (probeta al 2% de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>).

Analizando la Figura 18, se evidencia que la tendencia del ensayo anterior persiste, siendo la probeta número 4 la que presenta la menor proliferación de hongos. Este resultado se atribuye a la proporción de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, la cual se mezcló de manera más efectiva con la pintura, distribuyéndose de forma dispersa sobre toda la superficie de la probeta y evitando la proliferación de hongos. Por otro lado, las probetas 2 y 3 muestran la mayor proliferación de hongos. La probeta 1, a pesar de tener la mayor cantidad de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> en la superficie, presenta una cantidad considerable de hongos. Esto se debe a la falta de mezcla efectiva entre las NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> y la pintura, lo que ocasionó su acumulación en ciertos puntos, siendo estas las zonas sin proliferación de hongos. La probeta sin NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> exhibe la presencia de hongos en la parte central.

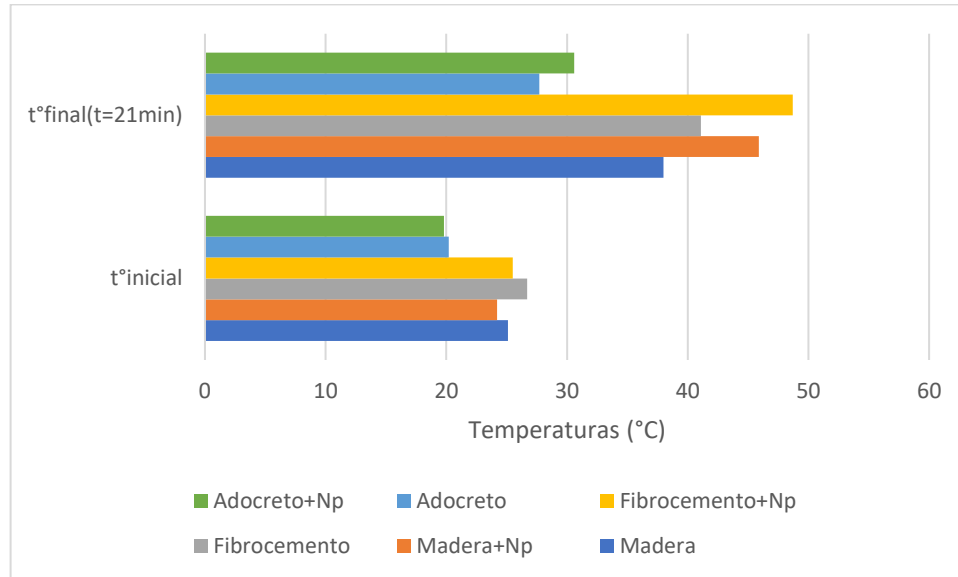
Al contrastar estos resultados con la investigación de Mancini, S.I (2021) sobre la síntesis de nanopartículas de plata y desarrollo de soportes antimicrobianos (24), es importante considerar que la proliferación de hongos en su investigación se llevó a cabo en un ambiente más controlado, con proporciones de NP-Ag mucho más pequeñas (entre el 0,05% y 0,005%) y probetas de menor tamaño. En nuestros resultados, la presencia de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> no se correlacionó directamente con una menor proliferación de hongos, indicando que la mezcla de pintura+ NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> no se realizó de manera efectiva en nuestro estudio.

#### 4.6 Ensayos de absorción de calor

A continuación, se presenta los datos obtenidos en las mediciones de temperatura de las distintas probetas considerando el lado (a) como las temperaturas iniciales y el lado (b) como las temperaturas finales.



**Figura 19.** (a) Probetas en exposición a la radiación del sol temperatura inicial, 1 (fibrocemento sin NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ ), 2 (fibrocemento con NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ ), 3 (madera sin NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ ), 4 (madera sin NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ ), 5 (adocreto sin NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ ), 6 (adocreto con NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ ). (b) Probetas en exposición a la radiación del sol temperatura final, 7 (madera sin NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ ), 8 (madera con NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ ), 9 (fibrocemento sin NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ ), 10 (fibrocemento con NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ ), 11 (adocreto sin NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ ), 12 (adocreto con NP- $\text{Ag}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ ).



**Figura 20.** Gráfico de temperaturas iniciales y finales de las probetas.

En la Figura 19, la subfigura (a) muestra las temperaturas iniciales registradas en las probetas, considerando un tiempo inicial de 1 minuto. En ambas subfiguras, las probetas de la izquierda no contienen NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, mientras que las de la derecha sí la contienen.

La subfigura (b) presenta las temperaturas finales registradas a los 21 minutos, evidenciando las diferencias térmicas entre las probetas con y sin NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que la NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> mejora la absorción de radiación solar, elevando la temperatura en comparación con la superficie sin NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

Comparando estos hallazgos con lo presentado en la investigación de Campos, C. sobre el efecto de distintivos nanofluidos en la absorción de radiación solar (27), se puede inferir que la NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> efectivamente confiere una mejor conductividad térmica al recubrimiento, facilitando la propagación eficiente de la energía a través de este.

## 5. Comparativa de resultados con trabajo de investigación realizado en conjunto.

La diferencia fundamental con el trabajo de investigación conjunto radica en el tipo de pintura utilizado; mientras que en ese estudio se empleó pintura a base de agua, en nuestro caso utilizamos pintura al óleo. Sin embargo, los procedimientos y ensayos realizados fueron muy similares.

En relación a la síntesis de las NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, obtuvimos resultados bastante parecidos, observando el mismo tono anaranjado característico.

Las reflectancias presentan una discrepancia notoria. En el otro trabajo, tanto para el fibrocemento como para la madera con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, se registró una menor reflectancia. En particular, para el fibrocemento, la diferencia es significativa, ya que la pintura al agua no supera el 20% de reflectancia, mientras que la pintura al óleo supera el 50%.

Las probetas expuestas a la intemperie en diferentes ubicaciones muestran similitudes notables. Ambas experimentan un cambio de color, pasando de blanco a gris debido a la influencia de la NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. La intensidad del gris varía según la exposición al sol, siendo ligeramente más claro en las probetas con pintura al óleo.

Una pequeña disparidad se observa en la intensidad de los tintes al comparar ambas investigaciones. En cuanto a la limpieza, se evidenció que la pintura al óleo presenta una mayor resistencia, ya que, en la pintura al agua, tras la limpieza, hubo áreas sin pintura, llegando a dañar ligeramente el material. En cambio, en la pintura al óleo, solo ocurre la pérdida de intensidad de los tintes o rayas sin afectar la integridad de la pintura.

En el ensayo de proliferación de hongos, se concluyó que las probetas con un 2% de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> fueron las menos propensas a la proliferación de hongos, mientras que las que presentaban pintura blanca y aquellas sin pintura (mondadientes) fueron las más afectadas.

En cuanto a los resultados de capacidad térmica no se evidencia una gran disparidad en los valores obtenidos para las temperaturas finales de cada material. En ambos casos, los valores son muy similares, indicando que la presencia de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> contribuye de manera consistente a la absorción de calor en ambos casos.

## **6. Conclusiones**

En esta investigación se logró llevar a cabo de manera exitosa la síntesis de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, ya que simplemente fue necesario seguir el procedimiento establecido. En relación con la evaluación del impacto de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> en la pintura, se observó que el aspecto más afectado era su color, transformándose de un blanco a un tono gris o gris claro.

Al analizar el rendimiento de la pintura con y sin NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, observamos que en la presencia de NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, los tintes naranja de metileno y violeta de pyrocatecol experimentan una pérdida de intensidad. Este fenómeno se atribuye a la interferencia de la NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, que dificulta la adherencia efectiva de los tintes a la superficie de la probeta, mejorando así la facilidad de limpieza.

Respecto al análisis frente a diferentes condiciones climáticas, en la mayoría de las probetas no se observaron cambios significativos debido al período de exposición relativamente breve. No obstante, algunas probetas se vieron afectadas por las condiciones climáticas cordilleranas, lo que provocó un cambio adicional en el color debido a una mayor exposición a la radiación solar.

En cuanto a las propiedades autolimpiantes, si bien se pudo confirmar su presencia en las probetas, se constató que su eficacia estaba limitada a ciertos tipos de contaminantes y longitudes de onda específicas, lo que dificultaba la degradación de contaminantes más diversos.

Respecto a la propiedad anti-hongo, se observó que su eficacia dependía de la distribución uniforme de las NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> en la superficie de la probeta. Cuando estaban distribuidas de manera homogénea, se evitaba o minimizaba la proliferación de hongos; sin embargo, una distribución desigual propiciaba el crecimiento de hongos.

En relación con la capacidad térmica, se destacó positivamente, ya que mejoró la conductividad térmica de las probetas.

En cuanto a la otra investigación realizada en conjunto se puede decir que los resultados mostraban que tenían una mayor capacidad de absorción de luz por lo que sería mejor degradando, además comparando nos dimos cuenta de que la pintura al óleo era mejor al realizar la limpieza ya que evitaba que se saliera la pintura, algo

negativo que nos pudimos dar cuenta es que la pintura al óleo puede tener un brillo mayor al de la pintura al agua lo que generaría un % de reflectancia mayor.

Se plantea la interrogante de qué cambios se habrían observado si la mezcla de pintura con NP-Ag<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> se hubiera realizado de manera adecuada, realizando la mezcla en una centrifuga y sugiriendo un área de exploración para futuras investigaciones.

## 7. Agradecimientos

Agradecer al proyecto de ANID FONDECYT de Iniciación N° 11230671 por financiar parte de esta investigación.

## 8. Referencias

(1) *Pintura: origen, historia, características y representantes*. (s/f). Recuperado el 28 de noviembre de 2023, de <https://humanidades.com/pintura/>

(2) Por, N. (2021, noviembre 22). Tipos de pintura utilizada en la construcción. *Pintupedia.org*. <https://pintupedia.org/tipos-de-pintura-utilizada-en-la-construccion/>

(3) Recubrimientos ¿Cuál es su importancia? (2021, December 4). *Pochteca Colombia | Venta de materias primas para la Industria*. <https://colombia.pochteca.net/recubrimientos-que-son-y-cual-es-su-importancia/>

(4) ¿Por qué los recubrimientos protectores son tan útiles? Lubrizol. (n.d.). Lubrizol.com. Retrieved December 8, 2023, from <https://espanol.lubrizol.com/Coatings/Blog/2021/03/Why-Are-Protective-Coatings-So-Useful>

(5) (N.d.-d). Zonadepinturas.com. Retrieved December 29, 2023, from <https://www.zonadepinturas.com/202101097077/articulos/pinturas-y-recubrimientos/pinturas-hidrofobas.html>

(6) Zhuangyuan, L., Zhuangchao, L., Yizeng, L., Qiongtao, H., Jiaqun, L., & Zichao, W. (2019). Nano-antibacterial and mouldproof composition and preparation method thereof. <https://typeset.io/papers/nano-antibacterial-and-mouldproof-composition-and-14v1scy1r4>

(7) Recubrimientos superficiales: DLC, PTFE, teflón, cerámica | GGB. (n.d.). Ggbearings.com. Retrieved December 29, 2023, from <https://www.ggbearings.com/es/tribou/recubrimientos-de-superficie>.

(8) Análisis de la hidrofobicidad del recubrimiento antiincrustante RTV. (2021, November 17). Fujian Ruisen New Materials Co., Ltd. <https://es.cnruisen.com/analysis-of-hydrophobicity-in-rtv-antipollution-flashover-coating.html>.

(9) Lobo, D. (2004, November 3). Pinturas antigrafiti. Consumer |; Eroski Consumer. <https://www.consumer.es/bricolaje/pinturas-antigrafiti.html>

(10) Romero, E. (2018, December 9). ¿Qué son las nanopartículas? Nanotec. <https://www.nanotec.es/que-son-las-nanopartículas/>

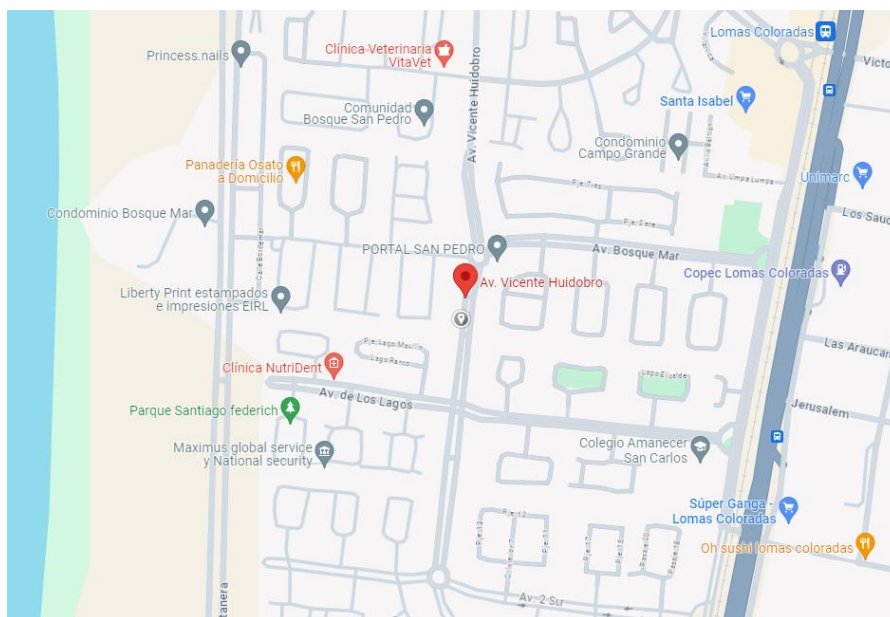
- (11) *Mundo Nano Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 6(10), 101–108.  
<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2013.10.50967>
- (12) Corporativa, I. (2021, April 22). Nanotecnología: una pequeña solución a los grandes problemas. Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/innovacion/aplicaciones-nanotecnologia>
- (13) Cruzito. (2020, octubre 30). *Nanopartículas: definición, propiedades y clasificación*. Estudyando. <https://estudyando.com/nanoparticulas-definicion-propiedades-y-clasificacion/>
- (14) NOS. (2020, August 11). Investigadora penquista crea pionero recubrimiento con nanopartículas. Revista Nos - Revista de tipo magazine digital. <https://revistanos.cl/investigadora-penquista-crea-pionero-recubrimiento-con-nanoparticulas/>
- (15) *Nanorecubrimientos ¿qué son y para qué se usan?* (2020, November 4). Contexto UDLAP; UDLAP. <https://contexto.udlap.mx/nanorecubrimientos-que-son-y-para-que-se-usan/>
- (16) (N.d.-c). Zonadepinturas.com. Retrieved December 17, 2023, from <https://www.zonadepinturas.com/202101142260/articulos/pinturas-y-recubrimientos/nanotecnologia-en-pinturas-una-realidad.html>
- (17) Diaz Acosta, E. M. (2018). Nanopartículas de plata: un enfoque en aplicaciones biológicas. *Mundo Nano Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 12(22), 1. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2019.22.60758>
- (18) (N.d.-b). Geologiaweb.com. Retrieved December 8, 2023, from <https://geologiaweb.com/minerales/silicatos>
- (19) Jiménez Villar, E., Fuertes Vives, G., Villalmanzo, E. P., & Salgado, J. (s/f). *Uso de nuevas nanopartículas de plata recubiertas de sílice como*. Wwww.uv.es. Recuperado el 29 de noviembre de 2023, de [https://www.uv.es/otri/buscador-de-oct/RESULTADOS/FN\\_OCT%20200809R-Jimenez%2C%20E.pdf](https://www.uv.es/otri/buscador-de-oct/RESULTADOS/FN_OCT%20200809R-Jimenez%2C%20E.pdf)
- (20) LOU, Z., HUANG, B., WANG, Z., MA, X., ZHANG, R., ZHANG, X., QIN, X., DAI, Y., & WHANGBO, M.-H. (2014). AG6Si2O7: A SILICATE PHOTOCATALYST FOR THE VISIBLE REGION. *CHEMISTRY OF MATERIALS: A PUBLICATION OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY*, 26(13), 3873–3875. [HTTPS://DOI.ORG/10.1021/CM500657N](https://doi.org/10.1021/cm500657n)
- (21) Aquino, Pablo. (2016). Síntesis y caracterización de nanopartículas de óxido de zinc obtenidas por el método de precipitación para su aplicación en pintura esmalte comercial. [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/5656/Aquino\\_gp.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/5656/Aquino_gp.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- (22) Martínez, F. M., Zuñiga G., E., & Sanchez Lafarga, A. K. (2015). Método de síntesis de nanopartículas de plata adaptable a laboratorios de docencia relacionado con la nanotecnología.
- (23) Díaz, N. A., Antonio Bárcena Ruiz, J., Reyes, E. F., Cejudo, A. G., Novo, J. J., Peinado, J. P., Meléndez-Valdés, F. T., & Fiñana, I. T. (n.d.). 8. Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Uco.Es. Retrieved December 19, 2023, from [https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biolmol/pdfs/08\\_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf](https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biolmol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf)
- (24) Mancini, S.I (2021). Síntesis de nanopartículas de plata. Desarrollo de soportes antimicrobianos. [Tesis de doctorado]. Universidad nacional del litoral. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/6578>

(25) Fotocatálisis. (n.d.). Laguia2000.com. Retrieved January 4, 2024, from <https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/fotocatalisis>

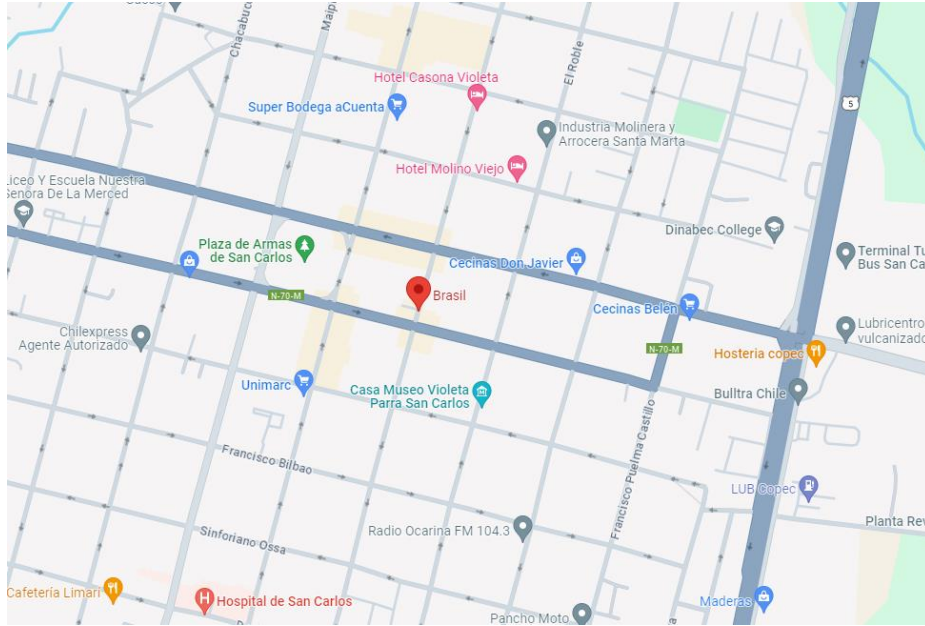
(26) Viveros, S., Manuel, J., Tapia, E., César, J., Luna, C., Antonio, J., Gregorio, Z. T., Rivas, C., Pérez, H., Junio, & Julio. (n.d.). Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química. Uam.Mx. Retrieved January 2, 2024, from [http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/8472/Degradacion\\_fotocatalitica\\_del\\_colorante\\_negro\\_2016.pdf](http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/8472/Degradacion_fotocatalitica_del_colorante_negro_2016.pdf)

(27) Andrés, C., & Leyton, C. (n.d.). EFECTO DE DISTINTOS NANOFLUIDOS EN LA ABSORCIÓN DE RADIACIÓN SOLAR. Uchile.Cl. Retrieved January 2, 2024, from <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151584/Efecto-de-distintos-nanofluidos-en-la-absorcion-de-radiacion-solar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

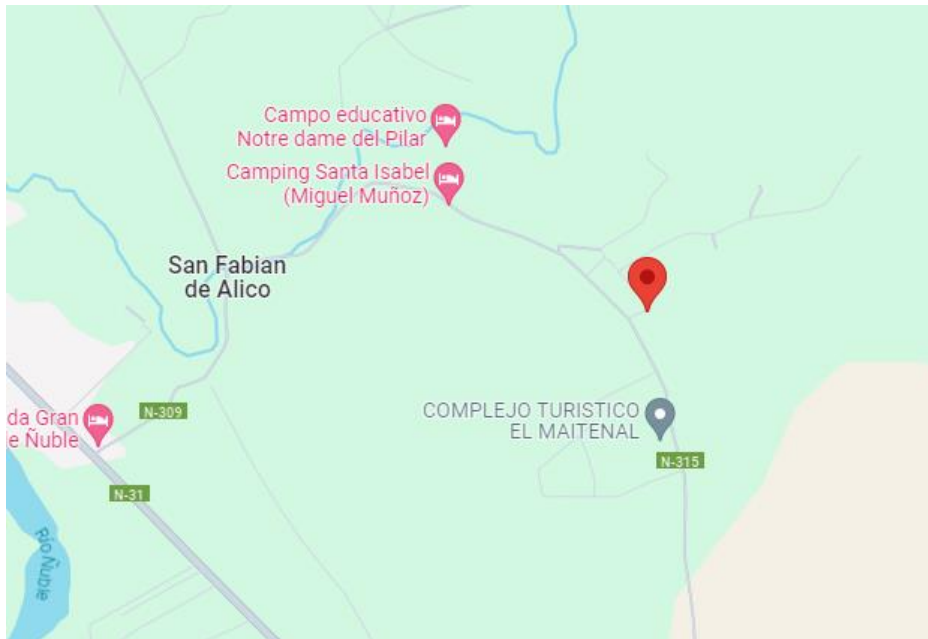
## 7. Anexo A



**Figura A-1.** Zona costera Portal de San Pedro ( $36^{\circ}53'13.7''S$   $73^{\circ}08'44.5''W$ ).



**Figura A-2.** Zona Cordillerana San Carlos (36°25'19.6"S 71°57'17.0"W).



**Figura A-3.** Zona Cordillerana San Fabian de Alico (36°31'13.4"S 71°34'08.5"W).



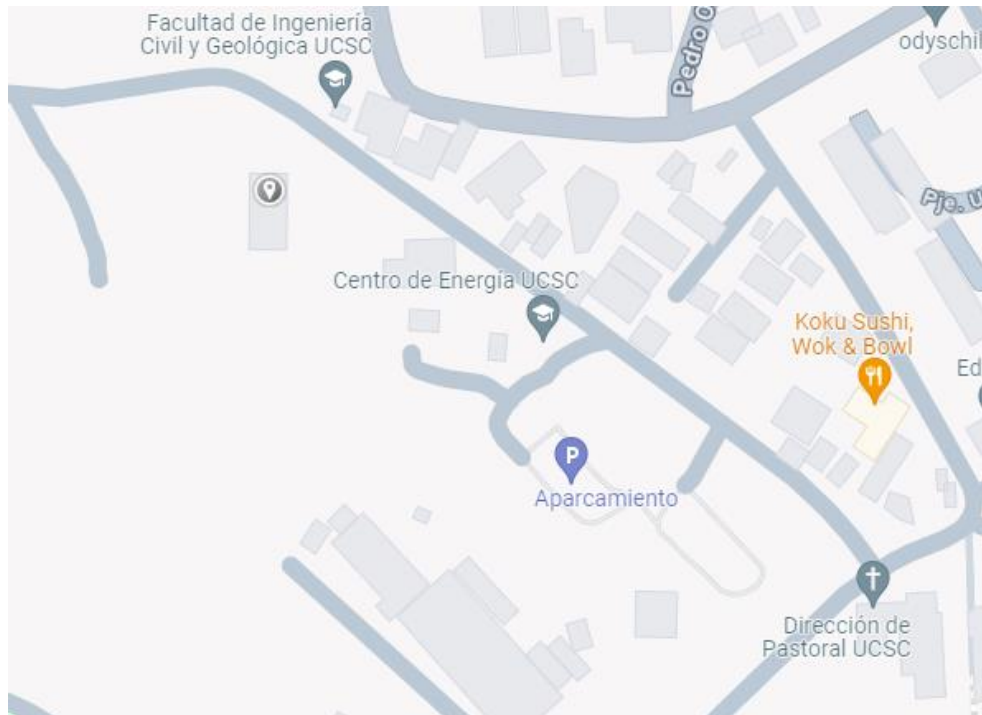
**Figura A-4.** Probetas dejadas en zona costera.



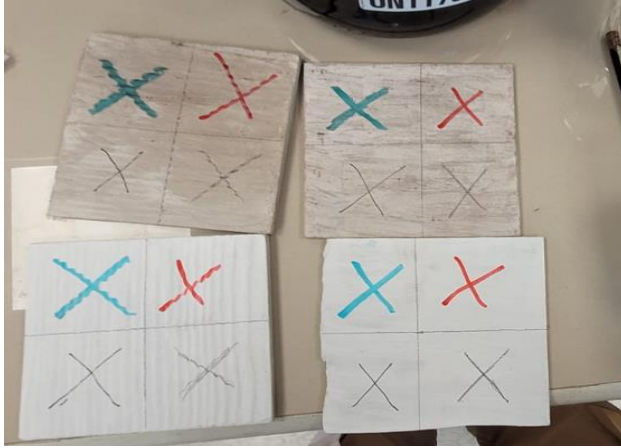
**Figura A-5.** Probetas dejadas en zona cordillerana San Carlos.



**Figura A-6.** Probetas dejadas en zona cordillerana San Fabian de Alico.



**Figura A-7.** Laboratorio de química Universidad Católica de la Santísima Concepción ( $36^{\circ}47'46.6''S$   $73^{\circ}03'29.5''W$ ).



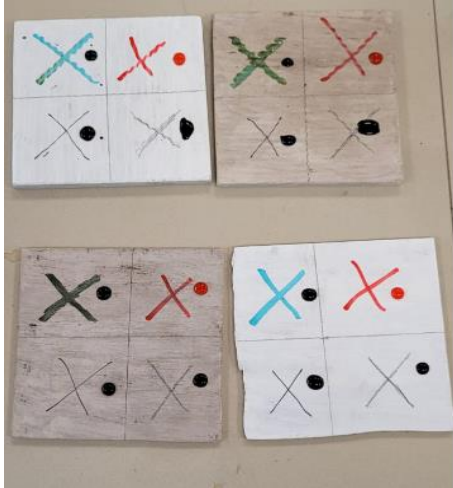
**Figura A-8.** Probetas rayadas de madera y fibrocemento.



**Figura A-9.** Probetas rayadas de adocreto



**Figura A-10.** Ambiente cerrado con las probetas rayadas y radiación visible.



**Figura A-11.** Probetas de madera y fibrocemento con tintes.

**Figura A-12.** Probetas de adocreto con tintes.

**Fuente.** Elaboración propia.

**Fuente.** Elaboración propia.



**Figura A-13.** Ambiente cerrado con las probetas con tintes.



**Figura A-14.** Vaso con agua con hongos.



**Figura A-15.** Ambiente cerrado con las probetas.



**Figura A-16.** Probetas con una gota de agua con hongos. **Figura A-16.1.** Probetas con una gota de agua con hongos.



**Figura A-17.** Ambiente cerrado agregando mondadientes y algodones con hongos.