

Estudio de los requisitos para el uso de la Concha de Mejillón como estabilizador de caminos no pavimentados y como subbase y base de caminos por pavimentar en la Isla de Chiloé

Study of the requirements for the use of the Mussel Shell as a stabilizer of the unpaved roads and as a subbase and base of the roads to be paved on the Island of Chiloé

Ing. Nazario Antonio Garay Oñate ¹, Mg. Agustín Rodríguez Guzmán ² (Q.E.P.D.)
¹ Ministerio de Obras Públicas (MOP), Chile, nazario.garay@mop.gov.cl, ² Universidad de Santiago de Chile, agustin.rodriguez@usach.cl

Resumen. Este estudio nace de la necesidad de resolver un problema medioambiental en la Isla de Chiloé. Éste surge del procesamiento del mejillón (*Mytilus chilensis*), alimento que produce grandes cantidades de conchas, no reciclables. El Ministerio de Obras Públicas recibió una solicitud para aprobar el uso de las conchas de mejillón molidas como material en rellenos granulares en la reparación y mantenimiento de caminos de tierra y en la preparación de caminos para pavimentar. En general, las conchas de moluscos tienen lenta degradación debido a su composición física y química. Este problema es antiguo, explorándose alternativas de reutilización de las conchas, sin resultados satisfactorios. En la Isla de Chiloé existe déficit de caminos pavimentados, especialmente en sectores rurales, con caminos ripiados o de tierra que, por las condiciones climáticas, requieren un mantenimiento constante, que no siempre ocurre. Esta situación ofrece una excelente oportunidad para reutilizar conchas de mejillón, como árido estabilizador en el mantenimiento y mejoramiento de caminos de tierra o de ripio y como material granular en la preparación de las capas de base y sub base.

Palabras clave: concha de mejillón, residuo, árido, manual de carreteras, ensayos.

Abstract. This study was born out of the need to solve an environmental problem on the Chiloé Island. This emerges from the seashells (*Mytilus chilensis*) processing, a food that produces large quantity of shells, considered waste that is currently not recycled. Ministerio de Obras Públicas received a request to approve the use of ground mejillón shells as a material to be incorporated into granular soils in the reparation and maintenance of gravel roads and in the preparation of roads for their subsequent paving with hormigón or asphalt. In

general, mollusk shells have slow biological degradation due to their physical and chemical composition. This problem is not recent, alternatives for reusing shells have been explored, without satisfactory results. In Chiloé Island there is a deficit of paved roads, especially in rural sectors, where roads are torn up or degraded and due to the climatic conditions of the area, with intense rains, requiring constant maintenance, which does not always occur. This situation offers an excellent opportunity to reuse mejillon shells, incorporating them as a stabilizing arid in the maintenance and improvement of ground or ripio roads and as granular material in the preparation of base and subbase layers in sidewalk paving or in the replacement of pavements. Keywords: Mejillón shell, Waste, Arid, Carreteras Manual, Essays.

Keywords: mussel shell, residue, arid, highway, manual, essays

1 Introducción

Uno de los elementos de este estudio son los caminos. Una definición genérica, simple y clara es que camino es una faja de terreno plana, limitada transversalmente por sus orillas y destinada al tránsito de vehículos, personas y animales. La construcción de caminos es esencial en la infraestructura de transporte, involucrando procesos como planificación, diseño, construcción y mantenimiento. Una carretera segura garantiza un transporte eficiente, reflejando el compromiso con la seguridad de las usuarias y usuarios, por ello, tanto los materiales de construcción, como los procesos constructivos y sus respectivos controles deben cumplir altos estándares de calidad. Hoy, Chile cuenta con carreteras y autopistas que permiten desplazamientos seguros y rápidos en poco tiempo, gracias a las políticas estatales para mejorar y modernizar la infraestructura vial, sin embargo, esta realidad no alcanza a todo el país, como ocurre en la Isla de Chiloé. El otro elemento del estudio es el mejillón chileno y puntualmente su concha. Este es un molusco filtrador bivalvo, de 2 valvas o conchas, formando su esqueleto exterior, cuyas dimensiones son alrededor de 7 cm. de largo y 3 cm. de ancho, en estado adulto. Las valvas tienen estrías concéntricas de crecimiento, recubiertas por un perióstraco pardo-negruzco a violáceo. El manto es amarillo anaranjado. En Chile, el mejillón se encuentra en la costa desde la I a la XII regiones. En la región de Los Lagos se ha desarrollado con mucha fuerza el cultivo del molusco denominado científicamente como *Mytilus chilensis*. [1]

2 Objetivos

Estudiar los requerimientos de ensayos y los parámetros requeridos para determinar la eficacia del uso de conchas molidas como estabilizador de caminos sin pavimentar y como agregado como base de relleno en caminos pavimentados de bajo tráfico en la isla de Chiloé. Específicamente, estudiar los caminos existentes en Chile y su estructura, determinar la composición de las conchas de mejillón y su capacidad para

ser utilizadas como un árido estabilizador, determinar la aplicabilidad de las conchas molidas como agregado en la preparación de subbases y bases de caminos en la Isla de Chiloé, definir y especificar las pruebas y ensayos de laboratorio necesarios para aplicar a las conchas de mejillón y elaborar una tabla de procedimientos a aplicar en un orden de ejecución y los rangos o bandas de valores establecidos en el Manual de Carreteras [2], que se aspira obtener en cada prueba.

3 Metodología

Este trabajo es un estudio exploratorio, descriptivo de antecedentes, documentos e información cuantitativa y cualitativa obtenida de referencias bibliográficas y del Manual de Carreteras del MOP. La investigación genera una propuesta de desarrollo de diseño experimental para usar la concha molida como material estabilizador en caminos de tierra y agregados para base de relleno de pavimentos, según las normas y recomendaciones técnicas establecidas en el señalado documento. Recopilación de información sobre la tipificación de los caminos en Chile y en la Isla de Chiloé, en particular, donde es factible usar las conchas molidas como estabilizador. Investigar las propiedades químicas, físicas y de resistencia de las conchas de mejillón para conocer la composición química de la misma y su aporte estructural en la construcción y mantenimiento de caminos para proponer el uso de las conchas como estabilizador del suelo en caminos de tierra y como base y sub-base de caminos a pavimentar. Revisión de los resultados de los ensayos de laboratorio establecidos en el Manual de Carreteras para determinar si las conchas son un aporte al mejoramiento del suelo que otorgarán mayor durabilidad al camino. Determinar mediante los resultados obtenidos de los ensayos, cuáles son las muestras más óptimas para su aplicación y confeccionar una Tabla-guía para su aplicación en las pruebas y ensayos de laboratorio.

4 Desarrollo.

Según el informe “Red Nacional Vial, Dimensionamiento y Características”, edición 2023, del MOP, hasta el año 2022, la red vial de Chiloé suma 2.294,5 km, de los cuales 511,45 Km. son pavimentados. La oportunidad para usar la concha molida de mejillón como un árido estabilizador, en caminos no pavimentados existentes en la Isla, que representan un 65,24% del total, distribuyéndose entre caminos de ripio (1.485,5 Km.) y de tierra (11,56 Km).

4.1 Generalidades de la concha de mejillón. Un estudio relevante de reutilización de la concha de mar, enfatiza medir las propiedades físico-mecánicas del material compuesto, como los ensayos de densidad y el contenido de humedad, debido a la absorción de agua por la ubicación geográfica de la Isla de Chiloé, entre otros. La utilización de la concha de mar tiene usos como la generación de agregados para la construcción y el desarrollo de ingeniería en otros materiales [3]. El residuo de la concha de mejillón debe someterse a rigurosos procedimientos para crear productos con

un estándar de calidad que cumplan las normativas. En la construcción hay ejemplos importantes del uso del mejillón como fabricación de hormigón con conchas de bígaro en Nigeria, producción de materiales para la construcción [4], como hormigones y morteros con conchas de mejillón, almeja, berberecho y otros moluscos, estudio realizado por la Universidad de La Coruña en España. La Universidad Católica del Norte ha desarrollado un nuevo material constructivo a base de conchas de moluscos, que posee propiedades ignífugas, característica muy adecuada para la construcción de viviendas. Estas iniciativas dan cuenta de posibilidades de valorización de la concha como recurso renovable y sostenible, que contribuye a la economía circular y al cuidado del medio ambiente.

4.2 Composición de la concha de mejillón. La concha es una protección contra sus depredadores y punto de anclaje de sus músculos y órganos, es decir, soporte anatómico. Según la ACI (American Concrete Institute), las conchas de berberecho y bígaro están dentro de los valores de la densidad aparente que poseen los agregados comunes (1.280 – 1.920 kg/m³) [5]. Además, se establece que “el tamaño de las conchas de moluscos influye en algunas propiedades físicas, partículas de tamaño más fino tienden a mayor absorción de agua y gravedad específica”. También se afirma que, en comparación con los agregados convencionales, las conchas poseen una densidad aparente y gravedad específica similar o un poco inferior.

Químicamente, están compuestas en un 95% a 97% por carbonato de calcio (CaCO₃) [6] y trazas de otros elementos. El contenido de CaO varía entre 51,1% y 87,2% [7]. La pérdida por descomposición del carbonato de calcio a altas temperaturas (600°C y 800°C), es entre 23,2% a 45,6% [8]. El CaO permite ser un aditivo o agregado para el cemento; esto se enmarca en que posee un exoesqueleto compuesto de aragonito y calcita, que contiene 95% de carbonato cálcico [8], cuyas composiciones minerales polimorfas se diferencian en el orden que toman las moléculas de sus redes cristalinas. Investigaciones de la Universidad César Vallejo del Perú [9], indican que “la presencia de polisacáridos (quitina) en las partículas de concha de mejillón atrasa la hidratación del cemento y, de esta manera, reduce la unión entre las partículas de concha de mejillón con el aglutinante, disminuyendo la resistencia mecánica a medida que aumente el contenido de arena de concha de mejillón”.

5 Propuesta de utilización de las conchas de mejillón en caminos

El Laboratorio Nacional de Vialidad (LNV) del MOP es el organismo técnico que controla la calidad en la ejecución de obras viales, aplicando normas y procedimientos establecidos en el Manual De Carreteras y las normas que el Instituto Nacional de Normalización establece para la construcción de caminos y carreteras en Chile. Además, el LNV investiga y desarrolla nuevas tecnologías, forma y capacita a

profesionales en el ámbito vial. El LNV designó a uno de sus ingenieros expertos para el desarrollo de este trabajo.

5.1 Utilización de la concha de mejillón en caminos no pavimentados.

La estabilización del suelo es un procedimiento para aumentar su resistencia al unir partículas de manera más eficiente y asegurar que las condiciones de humedad estén dentro de los rangos normados para garantizar buena estabilidad de carga, variación volumétrica mínima y durabilidad de camino [10]. Suelos con poca capacidad de carga deben estabilizarse cuando sus condiciones de equilibrio presentan fallas en resistencia y estabilidad. Este estudio propone someter las conchas de mejillón a ensayos del instructivo, de tal forma que, una vez obtenidos los resultados, se pueda validar o descartar su uso para los fines perseguidos. La concha de mejillón ha sido usada otrora, para “emparejar” o “nivelar” caminos básicos, rurales, cercanos a las costas donde este material se encuentra en abundancia y es barato de obtener para mejorar las malas condiciones de caminos afectados por las inclemencias del clima, como ocurre en la Isla de Chiloé [11]. Con los antecedentes expuestos, este estudio entregará un instructivo que facilite aprobar, la efectividad de las conchas como un material granular eficiente para mejorar el comportamiento de caminos no pavimentados [12] [13] [14].

5.1.1 Instructivo para la Validación de un Estabilizador de Suelos.

Las solicitudes de validación de materiales para la estabilización de suelos son analizadas e investigadas por el LNV; esto consta de dos etapas, una de laboratorio, para evaluar mecánicamente el producto con un suelo en particular y la otra, de evaluación de desempeño del estabilizador en terreno; esto es válido para caminos sin pavimentar ya sean excavados en el terreno natural o ripiaduras. El proveedor deberá especificar el tipo de camino, con el fin de definir el suelo objetivo del estabilizador, presentará una evaluación de toxicidad y nivel de riesgo al medioambiente junto con las de tipo técnico, ya que estos antecedentes no están dentro del alcance del LNV y la evaluación podría ser rechazada en aquellos casos en que no se cumpla o existan observaciones de este tipo. La información mínima que el proveedor debe acompañar junto a la presentación del producto estabilizador es la identificación del producto con la dosis recomendada por el fabricante o proveedor y la hoja de seguridad asociada, literatura del producto acorde con la rotulación, los tipos de suelos en que es aplicable el producto y la información de facturación. Si hubiere inconsistencia, el proceso se detendrá hasta su resolución. También deberá informar la aptitud para suelos granulares limpios, indicando tipo y principio de funcionamiento del producto: si usa o no algún aglomerante, si es polimérico o no, si disminuye la permeabilidad, si es hidrófugo, reductor de IP y si tiene aporte estructural significativo a la capa tratada. Como referencia, se considera que un estabilizador tiene un aporte estructural significativo si es capaz de elevar la curva índice CBR del suelo con inmersión en 10 unidades o más. En términos de resistencia a la compresión no confinada (CNC), este incremento debe

ser de por lo menos 10 kgf/cm² en estado seco. Los procedimientos que se describen en la guía son válidos para productos estabilizadores que se aplican por revoltura con la capa tratada; quedan excluidos los productos aplicados por riego tópico o que actúen por infiltración a espesor variable. Para validar el estabilizador de un proyecto particular, el interesado deberá contemplar el suelo del proyecto como insumo para la confección de probetas en laboratorio; el informe técnico final será específico para esa aplicación.

5.1.2 Prueba de Resistencia y Fragilidad del producto. Los ensayos específicos de compresión no confinada (CNC) están diseñados para suelos finos, cohesivos; no existe normativa específica para ensayar la resistencia de suelos granulares; cuando se requiere probar este tipo de suelos, se toman especificaciones de la norma NCh 3134:2007 “Determinación de la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos”, que no incluye obligatoriamente la medición de la deformación del árido. Para un material granular es absolutamente necesario medir el acortamiento producido en la probeta por compresión. Las pruebas de resistencia y fragilidad están orientadas a evaluar el aporte del producto a la resistencia y flexibilidad del suelo tratado comparadas con el suelo sin tratar. Para ello se usará el ensayo de compresión no confinada con formato Base Tratada con Cemento (BTC), midiendo la deformación en los ensayos. Si la muestra es ripio, esta será la muestra a ensayar; si es de otro tipo ésta deberá ser representativa del suelo; en ambos casos, el proveedor proporcionará al LNV los materiales, el producto estabilizador y cualquier otro insumo requerido para las pruebas, indicando la dosis del estabilizador recomendada, su forma de aplicación, tiempo y tratamiento de curado y cualquier otro detalle. Como criterio general, atendiendo al tiempo de puesta en servicio de los caminos básicos tratados con estabilizador, el tiempo de curado puede variar entre 7, 14 y 21 días en ambiente de sala. A mayor tiempo de curado, mayor resistencia de la probeta. Al mismo tiempo, se medirá la sensibilidad del suelo tratado a la humedad, para evaluar la aptitud del estabilizador en clima húmedo, ensayándose dos series gemelas de muestras: la primera con humedad remanente al final del tiempo de curado y la segunda será rehumectada, antes del ensayo, a la máxima humedad que la muestra pueda retener por capilaridad.

5.1.3 Estabilizadores con aporte estructural significativo a la capa tratada. Las pruebas consistirán en ensayos de CNC a muestras de suelo con formato de base tratada con cemento (BTC), con diferentes dosis del estabilizador (referencia la dosis recomendada por el proveedor). En este caso, se reemplazará el cemento por las conchas molidas. En este estudio se someterán al ensayo CNC conchas de mejillón molidas con 3 granulometrías recomendadas: 1) Polvo de conchas, 2) Menores o iguales a 4 mm y 3) Menores o iguales a 5 mm. El material tratado debe cumplir en cualquier condición de humedad con los siguientes requisitos de resistencia (δf) y deformación unitaria a la falla (ϵf):

δf Suelo Estabilizado \geq 5 kgf/cm²; εf Suelo Estabilizado \geq εf Suelo Patrón

Para la modelación, se considerará la carga de un camión, aplicada a un camino con capa de rodado de concha de mejillón molida. La presión de los neumáticos de un camión es del orden de 100 psi o 7 kg/cm². Luego, si se obtiene un testigo para ensayo a la compresión, a partir de una capa de material estabilizador puesta en el camino, aplicando las ecuaciones de cuñas de Rankine en el ensayo, ese testigo arrojará como resultado aproximadamente 1/3 de la resistencia que tendría el material in-situ, entonces si se obtiene una resistencia a la compresión de 5 kg/cm² como resultado esperado, en el terreno se debería obtener 15 kg/cm². Con este valor, se tendrá un factor de seguridad mayor a 2. Esto significa que la capa de rodado soportará la carga del camión, por lo tanto, el material cumplirá como estabilizador. Se debe tener en cuenta que la capa de subrasante no debe ser demasiado delgada, pues podría ser esta la que falle ante la carga. Otro requisito es la fragilidad del material, que se mide por la deformación al punto de falla. Para ello se toma como referencia un material frágil como el hormigón. Al ensayar el hormigón a la compresión, la probeta se mantiene indeformable hasta que revienta en forma brusca. La deformación a la falla es del orden del 0,1%. Este valor significa que, si la probeta es de 100 mm de longitud, la deformación justo antes de la falla es de 1 mm. La deformación se vuelve más suave a partir de valores de 0,5 a 0,7%. Ya con un valor de 1% se está en una zona de falla dúctil. Se espera que el estabilizador no forme baches. Si el estabilizador es frágil, cuando falle, el suelo va a formar baches. La condición más favorable es que los baches no sean filosos, sino con bordes redondeados, esto ocurre cuando el material no es tan frágil. Una capa de estabilizado, tipo suelo-cemento, con 5% de cemento, forma baches filosos; bajando la dosis de cemento, se obtienen fallas dúctiles. Estas observaciones surgieron de la campaña de seguimiento a estabilizadores químicos entre los años 1990–2000 en tramos de prueba, probándose sólo los estabilizadores en terreno. Se determinó que la estabilización con cemento falló, por ser alta la dosis de cemento (mínimo 5% o más) Actualmente, la dosis es de 2%, evitando la formación de baches agresivos. Con dosis de cemento más bajas la estabilización es más durable.

La conclusión obtenida en el seguimiento de los estabilizadores es que la resistencia tiene que ser balanceada, la mínima necesaria, sin llegar a la fragilidad. De esta forma se explica por qué se toma como patrones para los ensayos los valores de resistencia de 5 kgf/cm² y de deformación unitaria de 0,1%. Las conchas deberían tener buenos resultados en forma automática porque su composición química es mayor al 90% de cal y estas son de menor resistencia, cumpliendo sobradamente la prueba de fragilidad. Para el estudio del estabilizador deberá considerarse la confección de al menos 8 probetas: 2 probetas con la dosis recomendada por el proveedor, 2 probetas con la mitad de la dosis, 2 probetas con el doble de la dosis y 2 probetas sin estabilizador. Si el proveedor no indica la dosis de producto a usar con el suelo patrón, el LNV definirá el

rango y sus valores respectivos. Desde el punto de vista del tipo de suelo se distinguen dos casos:

5.1.3.1 Suelo objetivo semejante a una carpeta de rodado granular. Las pruebas se realizarán en un suelo de referencia reconstituido en el laboratorio, con materiales proporcionados por el proveedor, los cuales deberán venir separados por mallas según la graduación indicada en la Tabla 1, el material sobre la malla # 200 debe estar lavado y seco.

Tabla 1. Granulometría.

Tamiz		% Pasa	% Ret	Peso/malla (g)
US	mm			
3/4 "	19,1	100	0	0
3/8 "	9,5	73	27	17280
# 4	4,85	54	19	12160
# 10	2	36	18	11520
# 40	0,5	19	17	10880
# 200	0,075	8	11	7040
			8	5120
			100	64000

Fuente: Laboratorio Nacional de Vialidad, 2022.

El IP de los finos de este material debe ser menor o igual a 6%.

5.1.3.2 Suelo objetivo distinto a una carpeta de rodado granular. La muestra debe ser de un peso seco mínimo de 160 kg, cuarteada y repartida en sacos identificados, de 20 kg cada uno. La muestra deberá venir con un corte simple, bajo la malla 3/4". El proveedor deberá hacer en forma independiente la clasificación de la muestra para verificar el cumplimiento de los requisitos de aplicabilidad del producto y aportar estos resultados como antecedentes.

5.1.4 Estabilizadores con poco aporte estructural a la capa tratada. El proveedor deberá definir y aportar 160 kg de suelo para el estudio, repartidos en bolsas de 20 kg cada una. El estudio consistirá en: ensayos de granulometría, Límite de Consistencia, Proctor, densidad de partículas (con y sin producto) y CBR con inmersión (con y sin producto). Se verificará que las densidades compactadas secas (DMCS) sean superiores con producto, la curva del CBR con producto sea mayor o igual a la curva del CBR sin producto y el valor del CBR mínimo del suelo sea compactado con producto al 95% de la DMCS y con producto sea de 20%. Las pruebas de resistencia y

de Fragilidad, Proctor y CBR no aseguran el buen desempeño ni durabilidad del producto en terreno. Prueba en terreno. Si el informe del LNV es favorable, el proveedor podrá participar en propuestas públicas o aplicar el producto en tramos de caminos públicos o privados. Las primeras aplicaciones se usarán como tramos de prueba. El interesado coordinará la ejecución de las pruebas, informando al LNV, que programará inspecciones bimensuales, por un mínimo de seis meses, fotografiando varios puntos kilométricos fijos, puntos singulares, deterioros y otras observaciones relevantes. Terminado el seguimiento, el LNV emitirá un Informe Técnico, que será enviado al interesado.

Tabla 2. Resumen de requisitos y procedimientos para probar las conchas de mejillón como estabilizador.

Resumen de requisitos y procedimientos para aprobar las conchas de mejillón como estabilizador del suelo	
1	Documentación del Producto que debe ser entregada por el proveedor (En caso de inconsistencia, el proceso se detendrá hasta su resolución)
1.1	Identificación del producto
1.2	Dosis recomendada por el fabricante o proveedor
1.3	Hoja de seguridad del producto
1.4	Literatura acorde con la rotulación
1.5	Fecha de caducidad
1.6	Tipo y principio de funcionamiento
1.7	Tipos de suelo en que es aplicable
1.8	Evaluación de toxicidad y de riesgo al medioambiente
1.9	Información de facturación del producto
2	Informe del producto, que indique si es o no es:
2.1	Apto para suelos granulares limpios
2.2	Es o utiliza algún aglomerante
2.3	Polimérico
2.4	Disminuye la permeabilidad
2.5	Hidrófugo
2.6	Reductor de IP
2.7	Aportante estructural significativo a la capa tratada
PROCEDIMIENTOS	
1	Conchas:
1.1	Extracción y acopio (80 kg)
1.2	Lavado
1.3	Secado
1.4	Envasado para envío al laboratorio (4 sacos de 20 kg)
1.5	Transporte al laboratorio
1.6	Recepción del material en laboratorio
2	Suelo:
2.1	Extracción de la muestra (160 kg)

2.2	Lavado
2.3	Secado
	Resumen de requisitos y procedimientos para aprobar las conchas de mejillón como estabilizador del suelo (continuación)
2.4	Preparación de la muestra (cuarteo y corte simple bajo malla 3/4")
2.5	Envasado de la muestra (repartida en 8 sacos de 20 kg separados e identificados)
2.6	Transporte de la muestra al laboratorio
3	Ensayos:
3.1	Confeción de probetas según instructivo del LNV
3.2	Granulometría
3.3	Límites de consistencia (Atterberg)
3.4	Proctor y Densidad de Partículas (con y sin producto)
3.5	CBR con Inmersión (con y sin producto)
3.6	CNC a muestra de polvo de concha
3.7	CNC a muestra de conchas menores o iguales a 4 mm.
3.8	CNC a muestra de conchas menores o iguales a 5 mm.
3.9	Medición de la deformación unitaria de la probeta mediante un extensómetro
4	Verificaciones - Se verificará que:
4.1	Las DMCS sean superiores en el caso con producto conchas.
4.2	La curva CBR del suelo con conchas sea mayor o igual que la del suelo sin conchas.
4.3	El valor de CBR mínimo del suelo compactado con conchas al 95% de la DMCS (también con conchas), sea de un 20%.

Fuente: Propia, 2024.

5.2 Utilización de la concha de mejillón en caminos a pavimentar. El procedimiento a aplicar para probar y determinar si las conchas son aptas para usar en la preparación de las distintas fases que soportan la capa de rodado o pavimento de un camino, fue elaborado en el MOP; se definieron pruebas y ensayos de laboratorio a las conchas de mejillón y al árido, solas o en diferentes porcentajes, con el fin de determinar si alguna mezcla presenta resultados superiores comparados con valores patrones.

5.2.1 Procedimiento de validación para el uso de conchas de mejillón en la preparación de subbases y bases de caminos a pavimentar. Este procedimiento fue elaborado para validar la utilización de conchas molidas en la preparación de mezclas con áridos para formar las capas de subbase y base de caminos a pavimentar en la Isla de Chiloé. Los requisitos básicos para la entrega de muestras al laboratorio son los mismos que se describen en el Instructivo para la Validación de un Estabilizador de Suelos. Se detallarán los ensayos de laboratorio cuyos resultados se espera superen los valores establecidos de CBR y se construirá un tramo de pruebas, con específicas características de tránsito y por un periodo de tiempo que permita extraer testigos para nuevos ensayos de control para verificar si las muestras cumplen con las especificaciones establecidas.

5.2.2 Ensayes de laboratorio. Los ensayos de laboratorio se ejecutarán de acuerdo a lo establecido en el Manual de Carreteras, versión actualizada a junio de 2023, volumen 8, capítulo 8.100 – Suelos, Sección 8.101 Especificaciones para suelos, acápite 8.101.1 Especificaciones para subbases, bases y capas de rodadura.

5.2.2.1 Ensayos estándares. Granulometrías a utilizar. Estas deben ceñirse a lo especificado en la Sección 8.102 Métodos para suelos, acápite 8.102.1 Método para determinar la granulometría.

Tabla 3: Bandas granulométricas para subbases, bases y capas de rodadura.

Tamiz (mm)	TM-50a	TM-50b	TM-50c	TM-40a	TM-40b	TM-40c	TM-25
50	100	100	100				
40	-	70 – 100	-	100	100	100	
25	55 – 100	55 – 85	70 – 100	70 – 100	80 – 100	80 – 100	100
20	-	45 – 75	60 – 90	50 – 80	-	-	70 – 100
10	30 – 75	35 – 65	40 – 75	25 – 50	50 – 80	50 – 80	50 – 80
5	20 – 65	25 – 55	30 – 60	10 – 30	35 – 65	35 – 65	35 – 65
2.5	-	-	-	5 – 15	-	-	-
2	10 – 50	15 – 45	15 – 45	-	25 – 50	25 – 50	25 – 50
0.5	5 – 30	5 – 25	10 – 30	0 – 5	10 – 30	15 – 30	10 – 30
0.08	0 - 20	0 - 10	0 - 15	0 - 3	5 - 15	5 - 20	0 - 15

Fuente: Manual de Carreteras, 2023.

Definición de los tipos de áridos: A1= Granulometría 1 de árido, A2= Granulometría 2 de árido, C1= Granulometría 1 concha, C2= Granulometría 2 de conchas C3= Granulometría 3 de conchas.

Definición de las muestras (M): M1= 100% árido Ax, M2= 80% árido Ax, 20% concha, Cx, M3= 60% árido Ax, 40% concha Cx, M4= 40% árido Ax, 60% concha Cx, M5= 20% árido Ax, 80% concha Cx y M6= 100% concha Cx.

Ensayos: Granulometría a M1, M2, M3, M4, M5, M6, Prueba de Desgaste de Los Ángeles a M1 y M6, Densidad relativa a M1, M2, M3, M4, M5 y M6, CBR a M1, M2, M3, M4, M5 y M6.

5.2.2.2 Ensayos no estándares: CBR Cíclico a M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Mide módulo resiliente, resistencia a la deformación por carga repetida (Ahuellamiento). Ángulo de Roce (o Fricción) Interno, triaxial o Corte Directo a M1, M2, M3, M4, M5 y M6. El objetivo del ensayo es demostrar que no importa si la concha se utiliza entera o molida y Límites de Consistencia (Atterberg) a M1, M2, M3, M4, M5 y M6. La arena de concha podría usarse para corregir la plasticidad en subbases y bases granulares. Cantidad de material para realizar los ensayos de laboratorio y condiciones de entrega. Las conchas se entregarán en sacos de 25 kg., sin restos de materia orgánica, lavadas y secadas para su total limpieza. 500 kg de concha y 1.000 kg de áridos.

5.2.2.3 Tramo de pruebas: Construcción y ensayos. Se construirá un tramo de pruebas en un camino característico cuya construcción esté en etapa inicial para aplicar las conchas mezcladas con el árido en la base y sub-base, de acuerdo a las especificaciones descritas en la definición de las muestras (M). La ejecución de esta actividad que no ha sido considerada en el presente estudio, es fundamental para validar y certificar el uso del material propuesto [13]

5.2.2.4 Definición de la estructura. Se propone un loop de prueba consistente en un camino de unos 3,5 m de ancho promedio, por unos 400 m de longitud.

5.2.2.5 Construcción del tramo de pruebas. Se construirán 5 tramos con porcentajes variables de conchas (0% a 100%). Se pondrán las siguientes capas: como subbase, el terreno natural de sitio previamente perfilado para eliminar las imperfecciones y dejar un terreno plano medianamente nivelado, luego una capa base de 10 cm del material de Muestra (Mx). De acuerdo a las especificaciones de compactado del LNV, se debe definir si se dejará el paquete estructural sin sello o con sello. Para eso se debe definir el espesor y el tipo de material de sello.

5.2.2.6 Ensayes en tramo de pruebas. Se harán circular camiones tolva cargados hasta completar un poco más de 100.000 Ejes Equivalentes (E.E.) y se medirá el ahuellamiento y alguna variable adicional que estime el LNV.

Tabla 4. Resumen de requisitos y procedimientos para probar las conchas de mejillón como subbases y bases de caminos pavimentados.

1	Documentación que debe entregar el solicitante. (En caso de inconsistencia en la información entregada, el proceso se detendrá hasta su resolución)
1.1	Identificación del material origen
1.2	Literatura acorde con la rotulación
1.3	Tipo y principio de funcionamiento del material
1.4	Tipo de suelo en que es aplicable
1.5	Evaluación de toxicidad y de riesgo al medioambiente

1.6	Información de facturación del material
2	Informe del material en que se indique:
2.1	Apto para suelos granulares limpios
2.2	¿Es o utiliza algún aglomerante?
2.3	Disminuye la permeabilidad
2.4	Hidrófugo
2.5	Reductor de IP
2.6	Aportante estructural significativo a la capa tratada
	Procedimientos
1.1	Extracción y acopio (500kg)
1.2	Lavado
1.3	Secado
1.4	Envasado para envío al laboratorio (20 sacos de 25 kg c/u)
1.5	Transporte al laboratorio
1.6	Recepción del material en laboratorio
2	Árido
2.1	Extracción del árido (1.000 kg)
2.2	Lavado
2.3	Secado
2.4	Preparación del árido para envío al laboratorio
2.5	Envasado para envío al laboratorio (40 sacos de 25 kg c/u)
2.6	Transporte al laboratorio
2.7	Recepción del material en laboratorio
3	Ensayos Estándares
3.1	Definición de los tipos de árido. Granulometría A1, A2, C1, C2 y C3
3.2	Definición de las muestras: M1= 100% árido; M2= 80% árido, 20% conchas;
	M3= 60% árido, 40% conchas; M4= 40% árido, 60% conchas;
3.3	M5= 20% árido 80% conchas y M6= 100% conchas
	Granulometría a M1, M2, M3, M4, M5 y M6
	Documentación que debe entregar el solicitante. (Si hay inconsistencia en la información, el proceso se detendrá hasta su resolución) (Continuación)
3.4	Prueba de desgaste Los Ángeles a M1 y M6
3.5	Densidad Relativa a M1, M2, M3, M4, M5, y M6
3.6	CBR a M1, M2, M3, M4, M5 y M6
4	Ensayos No Estándares
4.1	CBR cíclico a M1, M2, M3, M4, M5 y M6
4.2	Ángulo de Roce o Fricción Interno triaxial o corte directo a M1, M2,
4.2	M3, M4, M5 y M6
4.3	Límite de Consistencia o Atterberg a M1, M2, M3, M4, M5 y M6

Fuente: Propia 2024.

Conclusiones

Desde los tiempos de los Incas hasta hoy, el hombre ha necesitado desplazarse entre distintos territorios, buscando formas de subsistencia, para alimentarse y realizar el comercio e intercambio de sus productos. De ello se concluye que dicha necesidad de las comunidades humanas ha requerido un desarrollo sistemático en la construcción de nuevos caminos y rutas de interconexión con sus distintos asentamientos.

La revisión del material bibliográfico relacionado con las leyes y decretos dictados por las entidades gubernamentales para la clasificación de caminos, permite concluir que dicha clasificación no ha sido sencilla, pues ha sido necesario primeramente definir los tipos de caminos para clasificarlos, desde los aspectos legal y administrativo e incluso estableciendo facultades para que el Presidente de la República sea quien determine en forma directa y sin consulta, cuáles caminos son declarados como nacionales y qué caminos nacionales pueden adquirir el carácter de Internacionales, dada su función de integración del territorio a nivel internacional.

Se puede concluir que la utilización de las conchas de mejillón molidas como material granular de aporte al mejoramiento de los caminos, ayudará a bajar las emisiones de gases de efecto invernadero generadas en los procesos productivos del mejillón y facilitará su comercialización en los mercados internacionales que condicionan la compra de productos con altos índices de emisión CO₂.

El problema de la contaminación en la región de Los Lagos se ve agravado por la saturación de sus vertederos, por lo tanto, es concluyente que, si se otorga utilidad práctica a las conchas de mejillón en el mejoramiento de los caminos de la misma región, habrá alrededor de 400 mil toneladas anuales que no será necesario transportar a otra región y no irán a parar a un basural.

Determinar si las conchas de mejillón molidas, de acuerdo a ciertas granulometrías sirven o no para utilizarlas como un material granular estabilizador para caminos no pavimentados y como subbases y bases de caminos que serán pavimentados, dependerá fundamentalmente de los resultados de ensayos como el CBR, arrojan valores notoriamente superiores a los preestablecidos en el Manual de Carreteras.

Se puede concluir que hay requisitos procedimentales y requerimientos de rangos de resultados de ensayos preestablecidos, que deben ser considerados como un marco de referencia para comparar los resultados obtenidos en ensayos de laboratorio y determinar la utilidad de materiales como las conchas de mejillón molidas.

Los procedimientos descritos paso a paso en el Manual de Carreteras para la realización de los distintos ensayos de laboratorio deben ser aplicados rigurosamente en su preparación y aplicación, ya que sólo cumpliéndolos en forma ordenada se asegura la obtención de resultados confiables y válidos.

Para una propuesta de esta magnitud no basta con una simple reunión de los actores, ya que se requiere contar con la participación activa de los profesionales más calificados y de mayor experiencia que, trabajando en conjunto y después de diversas

reuniones, realizando los análisis técnicos adecuados van a lograr definir los procedimientos correctos para dar respuesta a la entidad solicitante.

Referencias Bibliográficas

1. Santiago, F., Gordillo, S., Salemme, M. (2015) Moluscos en contextos arqueológicos de la costa atlántica de Tierra del Fuego: consumo prehistórico e implicancias de su distribución actual. *Revista Chilena de Antropología*, (29)
<https://revistadeantropologia.uchile.cl/index.php/RCA/article/view/36204>
2. Ministerio de Obras Públicas (2022). Manual de Carreteras. Especificaciones de muestreo, ensaye y control, DGOP-Dirección de Vialidad-Chile, Vol 1 y 8.
3. Godoy Henríquez, J. (2020) Reutilización de la concha de mar: desde un mar de residuos, a la valorización de un objeto cotidiano
<https://scholar.google.cl/scholar?hl=es&assdt=0%2C5&q=REUTILIZACI%C3%93N+DE+LA+CONCHA+DE+MAR&btnG>
4. Pérez Romero, D. W., Rojas Siesquen, W. A. (2021) Diseño de adoquín de concreto 380 kgf/cm² sustituyendo agregado fino por concha de abanico triturado
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/80974>
5. Yusof, M., Ujai, S. J. J., Sahari, F., Taib, S. N. L., Mohamed, N, H. N. (2011). Aplicación de la concha de almeja. *Acta de EnCon*, 4^a Conferencia de Ingeniería, 2011.
https://www-startupwala-com.translate.goog/trademarks-registration/search-CHENNAI-encon-2011-NATIONAL-ENERGY-CONGRESS-2193651?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc
6. Martínez-García, C. (2016) Estudio del comportamiento de la concha de mejillón como árido para la fabricación de hormigones en masa: aplicación de la cimentación de un módulo experimental (Módulo Biovalvo). Recuperado de <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/17489>
7. Felipe-Sesse, M., Eliche Quesada, D., Corpas-Iglesias, F.A. (2011) El aprovechamiento de residuos sólidos derivados de diferentes actividades industriales para la obtención de silicatos cálcicos para su uso como materiales aislantes de construcción. *Cerámica Industrial*, 37(8), 3019-3028
8. Djobo, J. N. Y., Tchakoute, H. K., Ranjbou, N., Elimki, A., Tchadjie, L. N., Njopwouo, D. (2006). Gel composition and Strength Properties of Alkali-Activated Oyster Shell-Volcanic Ash: Effect of Synthesis Condition. *Journal of Ceramic Society*, 99, 3159-3166
<https://doi.org/10.1111/jace.14332>
9. Hernández Vásquez, E. B., Muro Sandoval, R.O. (2021) Efecto de concha de mejillón y puzolana en la resistencia a la compresión y flexión del concreto de 210 kgf/cm².
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/90008>

10. Quezada Osoria, S. E. (2018) Estudio comparativo de la estabilización de suelos arcillosos con valvas de moluscos para pavimentación.
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3207>
11. Apac Jesús, J. S, (2020). Estabilización de suelos blandos con valva de concha de abanico para la subrasante tramo 0+0.6 km Cañete
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/64395>
12. Carnero Chávez, D. O., Martos Chávez, J. F. (2019) Influencia de las partículas granulares de la valva del molusco bivalvo en el CBR de subrasantes arcillosas del pueblo Chepate, Distrito de Casas, La Libertad.
<https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4618>
13. Camacho Miñano, N. M., Villanueva Enríquez, P. S. (2022) Estabilización de suelo arenoso usando conchas de abanico en la vía hacia Playa Anconcillo, Distrito de Nuevo Chimbote, Ancash.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/96467>
14. Farfán, Raimundo, P.R. (2016) Uso de concha de abanico triturada para el mejoramiento de subrasantes arenosas.
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2333>