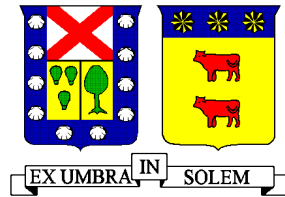


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

VALPARAISO - CHILE



**METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS A
TRAVÉS DE UN SISTEMA DE CÁMARAS DE BAJO COSTO**

Memoria de titulación presentada por:

CRISTÓBAL ANDRÉS CHAVARRÍA FLORES

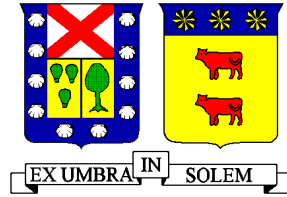
Como requisito parcial para optar al título de:

INGENIERO CIVIL

Profesor Guía: Álvaro González Vacarezza

Febrero 2019

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE



METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE CÁMARAS DE BAJO COSTO

Memoria de titulación presentada por
CRISTÓBAL ANDRÉS CHAVARRÍA FLORES

Como requisito parcial para optar al título de
INGENIERO CIVIL

Profesor Guía
Álvaro González Vacarezza
Rodrigo Delgadillo Sturla

Febrero 2019

“La infraestructura es causa y no consecuencia del desarrollo”

RESUMEN

Al año 2016, la red nacional administrada por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas (MOP) se contabilizaba en 82.133,78 km, de los cuales 48.971,00 km corresponden a vías no pavimentadas de (tierra y ripio), equivalentes al 59,6% de la red. Estas vías no pavimentadas tienen una gran importancia en la conectividad nacional, además de tener un gran uso en tres de las principales actividades económicas del país (minera, forestal y agrícola), por lo que su estado superficial repercute en gran medida en la conectividad y en los costos globales de la economía nacional.

En el año 2014, el Ministerio de Obras Públicas estableció una metodología para la evaluación superficial del estado de vías no pavimentadas que se plasmó en el desarrollo del indicador “Índice de Condición de Caminos No Pavimentado” (ICNP), con el que se podría clasificar objetivamente el estado del camino considerando la evaluación en terreno de sus seis deterioros/factores más preponderantes. Pero, debido a la gran cantidad de km de vías no pavimentadas, surgió la idea de hacer la inspección aún más expedita, segura y confiable. Es por esta razón que se elaboró una metodología alternativa de inspección utilizando un sistema de cámaras georreferenciadas de alta definición.

Se realizaron 60 mediciones de ICNP repartidos en cuatro regiones centrales del país, obteniendo los deterioros/factores medidos en terreno junto con la grabación de la unidad de muestra (U.M.). Con esta información, se elaboró la metodología para la determinación de valores de deterioros/factores a partir de la visualización de las imágenes mejoradas en su calidad de brillo y contraste. Posteriormente, se desarrolló un completo análisis estadístico comparativo entre los resultados de ambas metodologías (ICNP_{MOP} vs ICNP_{CAM}) evaluando que existiera una relación “1-1”, para luego realizar pruebas de reproducibilidad y repetitividad para su validación estadística.

Finalmente, se presentó el uso del ICNP_{CAM} para la determinación de “macroacciones” de mantención/rehabilitación necesarias a realizar a 12 U.M. medidas en esta investigación, con la finalidad de mejorar su condición actual a una idónea para un correcto tránsito vehicular.

Palabras claves: Caminos no pavimentados, sistema de gestión vial, patrimonio vial, inspección de caminos, ICNP, deterioros, actividades de mantención/rehabilitación, sistema de cámaras.

ABSTRACT

By 2016, the Chilean national network managed by the Roads Department of the Ministry of Public Works (MOP, by its acronym in spanish) was 82,133.78 km, of which 48,971.00 km correspond to unpaved roads (earth and gravel), equivalent to 59.6% of the network. These unpaved roads have a great importance in national connectivity, besides having a great use in three of the main economic activities of the country (mining, forestry and agricultural), so their performance has a huge impact on connectivity and in the global costs of the national economy.

In 2014, the Ministry of Public Works established a methodology for the superficial evaluation of the condition of unpaved roads that was reflected in the development of the indicator "Unpaved Road Condition Indicator" (ICNP, by its acronym in spanish), where the condition could be objectively classified considering the evaluation in the field of its six most important deteriorations / factors. But, due to the large number of kilometers of unpaved roads, the main goal was to carry out the inspection even more expeditious, safe and reliable arose. For this reason, an alternative inspection methodology was developed using a system of georeferenced high definition cameras.

Sixty ICNP measurements were made in four central regions of Chile, obtaining the deteriorations / factors measured in the field together with the recording of the sample unit (U.M.). With this information, methodology was used to determinate objective values of deterioration / factors based on the visualization of the improved images in their brightness and contrast quality. Furthermore, a complete comparative statistical analysis was developed between the results of both methodologies (ICNP_{MOP} vs ICNP_{CAM}) evaluating the existence of a "1-1" relationship, and then performing reproducibility and repeatability tests for statistical validation.

Finally, the use of the ICNP_{CAM} was presented for the determination of maintenance / rehabilitation "macroactions" needed to be performed at 12 U.M. measures in this investigation, in order to improve the current condition to an ideal for proper vehicular traffic.

Keywords: Unpaved roads, road management system, road patrimony, road inspection, ICNP, deterioration, maintenance / rehabilitation activities, camera system.

AGRADECIMIENTOS

Creo firmemente que estas palabras deben nacer del sentimiento puro de ver todo el recorrido plasmado en este evento que es el termino de mi etapa universitaria. Reconozco que nunca pensé que esté último proceso de elaboración de memoria de título lo valorase tanto, ya que fue un crecimiento personal en todas mis áreas pues como nunca tuve que luchar contra todo tipo de adversidad, hasta en los últimos días.

Agradezco con amor a la crianza que me brindaron mis padres: mi mamá Mercedes, mi papá Juan Emilio y mi tía Gema, que es mi segunda madre; camino lleno de amor y enseñanzas que transmitiré a mis futuras generaciones, sin lugar alguna. Declaro mi infinito amor por mis hermanos: María Ignacia, Camila y Juan Pablo, a los que sumo a mi cuñado Blas, a quienes siempre estaré junto a ellos sin importar las circunstancias. A mi familia mi más merecida admiración por siempre confiar en mí incluso en los momentos más oscuros.

Doy gracias de haber tenido a un instructor de Tae Kwon Do como Jorge Cristi, que sin duda es parte del desarrollo de persona que soy hoy en día, quien me enseñó este arte marcial junto con todo el esfuerzo que tiene el aprendizaje de toda disciplina oriental, sin contar con la competitiva vida deportiva que pude experimentar.

Admiro toda la labor realizada por los profesores que tuve en mi enseñanza preescolar, básica, media y universitaria, quienes siempre confiaron en mis capacidades, y cuya educación me ayuda a entender mi forma de ver las cosas en el día a día. Punto aparte fue haber conocido al profesor Álvaro González en esta última etapa de mi formación profesional, le seré siempre muy agradecido por sus palabras, consejos y ánimos que me brindo en estos últimos años.

Agradezco la gran cantidad de personas que conocí en la universidad: mis compañeros de la rama de Tae Kwon Do quienes me guiaron en mis primeros pasos la casa de estudio; a mis compañeros de carrera con los quienes tantas veces pasamos de largo estudiando y haciendo trabajos de los que siempre salimos victoriosos y a mis amigos del CIAC, en especial a Paulino, en cuya institución pude ejercer unas de las actividades que más me gusta que es la pedagogía hacia los más necesitados y con hambres de saber.

Valoro de sobre manera a todos aquellos que me ayudaron a la elaboración de mi memoria, a mis amigos que me colaboraron con las mediciones, con el desarrollo del análisis y a los que siempre estuvieron acompañándome y motivándome hasta que terminara con este proceso. A mis amigos Juan Nieto, José Molina, Diego Perelli, Nacho Lopez, Rudy Segura, David Vattuone, Camilo Flores, Javier Valdivia, Javier González, Juan Manuel Yañez, Pablo Daneris, Felipe Pinochet, Felipe Silva, Rodrigo Machuca, Nicolas Flores, Joaquín Meza, Ignacio Morales, Blas Larraín, Paz Varas, Catalina Machicao, Gabriela Chocobar, Javier Andrade, Eduardo Cornejo, Jordan Schananier, Cesar Saavedra, Paulino Gallardo, y otros más que en estos momentos de ansiedad se me pudiese haber ido. Muchas gracias por todo.

Doy gracias a todos mis jefes y compañeros de trabajo que he tenido en mis experiencias laborales: en la cosecha de duraznos y choclos a todo sol de verano que realicé en el campo de San Vicente de T.T., mi práctica operaria con Don Juan Manuel, mi trabajo como monitor de temporeros en un fundo con Don Gino y Don Hugo, mi desempeño como instructor de Tae Kwon Do de alumnos de prebásica y básica en una institución educacional de Valparaíso y Viña del Mar, mi pasada por la empresa Agrosuper en su sucursal de distribución de Viña del Mar con Don Claudia Sandoval y en la planta de San Vicente T.T. en el área de despacho con Don Mauricio Zúñiga, y finalmente a los que tengo actualmente en la oficina de ingeniería en que ya llevo más de dos años ejerciendo esta hermosa disciplina que es la ingeniería civil, de la que nunca dejaré de aprender.

Quiero destacar a mi compañera, Tamara Vega, quien me ha acompañado incondicionalmente en todo lo que es mi vida diaria y que me enseñó a que puedo volver a querer.

Agradezco a mis sobrinos Gaspar, Blasito y María Antonieta, a los que verlos crecer me dan la fuerza para luchar por nuestra felicidad como familia.

Finalmente, doy las gracias de tener a Santiago como mi motor de vida, mi amor no se puede plasmar en palabras, pero sí puedo afirmar que es mi Sol, mi estrella en la noche y mi razón de seguir creciendo en este proceso llamado vida.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
GLOSARIO	XVI
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES GENERALES CAMINOS NO PAVIMENTADOS	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3 HIPÓTESIS	4
1.4 OBJETIVOS DE LA MEMORIA	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	4
1.6 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.7 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	6
2 REVISIÓN DE LA LITERATURA	8
RESUMEN DEL CAPITULO	8
2.1 RED NACIONAL DE CAMINOS - PATRIMONIO VIAL	8
2.1.1 RED NACIONAL DE CAMINOS.....	8
2.1.2 PATRIMONIO VIAL.....	10
2.2 CAMINOS NO PAVIMENTADOS	13
2.2.1 PROBLEMAS PARTICULARES DE LOS CAMINOS NO PAVIMENTADOS.....	16
2.3 CAMINOS NO PAVIMENTADOS EN LA INDUSTRIA NACIONAL	18
2.3.1 MINERÍA	18
2.3.2 FORESTAL	19
2.3.3 AGRÍCOLA	21
2.4 SISTEMA DE GESTIÓN DE CAMINOS.....	22
2.4.1 OBJETIVOS DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CAMINOS.....	23
2.4.2 ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CAMINOS.....	24
2.4.3 LOS NIVELES DE PROYECTO Y RED EN GESTIÓN DE CAMINOS.....	25

2.4.4	GESTIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS	28
2.5	EVALUACIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS.....	30
2.5.1	Características de la evaluación de caminos no pavimentados.....	30
2.5.2	Principales deterioros a evaluar.....	31
2.5.3	Principales metodologías de inspección existente en la literatura.....	32
2.6	ÍNDICE DE CONDICIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS ICNP- CHILE	36
2.6.1	Expresiones del ICNP.....	38
2.6.2	Límites de Estado del ICNP.....	40
2.6.3	Macroacciones de Conservación según el Estado del Camino	41
2.7	USO DE GRABACIONES EN INSPECCION DE CAMINOS.....	42
2.8	TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN/MEJORAMIENTO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS	45
2.8.1	ACTIVIDADES RUTINARIAS	46
2.8.2	ACTIVIDADES PERIODICAS.....	47
2.8.3	ACTIVIDADES MAYORES.....	50
3	DISEÑO EXPERIMENTAL	51
	RESUMEN DEL CAPITULO	51
3.1	VARIABLE DEPENDIENTE	52
3.2	VARIABLES INDEPENDIENTES Y SUS NIVELES.....	53
3.3	ESPACIO DE INFERENCIA – CANTIDAD DE MUESTRAS RECOLECTADAS.....	54
3.4	METODOLOGÍA DE TOMA DE DATOS.....	56
3.5	RESULTADOS DE LOS ICNP	58
3.6	METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LOS DATOS	58
3.7	VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL ICNP _{CAM}	60
3.8	APLICACIÓN DEL ICNPCAM PARA LA ASIGNACIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENCIÓN PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS	60
3.9	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES GENERALES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	61
4	RECOLECCIÓN DE DATOS Y SUS RESULTADOS	62
	RESUMEN DEL CAPITULO	62
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA RED EVALUADA Y DEFINICIÓN DE NIVEL DE INSPECCIÓN A UTILIZAR	62
4.2	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE OBTENCIÓN DATOS DE DETERIOROS SEGÚN METODOLOGÍA DEL MOP.....	66
4.3	GRABACIONES DE LAS ZONAS DE MUESTRAS MEDIDAS UTILIZANDO EL SISTEMA DE CÁMARAS	70

4.4	MÉTODO EMPLEADO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS DETERIOROS UTILIZANDO EL SISTEMA DE CAMARAS.....	75
4.5	OBTENCIÓN DEL ICNP _{CAM}	84
4.6	RESULTADOS OBTENIDOS	86
4.6.1	ICNP _{MOP}	87
4.6.2	DETERIOROS _{CAM} Y SUS VALORES RESPECTO A LOS DETERIOROS _{MOP}	88
4.6.3	RESULTADOS ICNP _{CAM}	96
5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.....	98
	RESUMEN DEL CAPÍTULO	98
5.1	CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS	98
5.2	PODER DE ANALISIS DE LOS DATOS RECOLECTADOS.....	98
5.3	ANÁLISIS INICIAL.....	100
5.4	MODELO DE REGRESIÓN LINEAL ICNP _{CAM} VS ICNP _{MOP}	102
5.5	ELIMINACIÓN DATOS ATÍPICOS.....	104
5.6	VERIFICACIÓN NORMALIDAD DE LOS ERRORES.....	105
5.7	VERIFICACIÓN HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS.....	107
5.8	MODELO FINAL.....	109
6	VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA PLANTEADA PARA EL ICNP _{CAM}	112
	RESUMEN CAPÍTULO	112
6.1	UNIDADES DE MUESTRAS CONSIDERADAS PARA LA VALIDACIÓN DEL ICNP _{CAM}	112
6.2	PRUEBAS DE REPRODUCIBILIDAD	113
6.2.1	RESULTADOS ICNP _{CAM} DE LAS PRUEBAS DE REPRODUCIBILIDAD	113
6.2.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PRUEBAS DE REPRODUCCIÓN.....	115
6.3	PRUEBAS DE REPETITIVIDAD	118
6.3.1	RESULTADOS ICNP _{CAM} DE LAS PRUEBAS DE REPETITIVIDAD	118
6.3.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PRUEBAS DE REPETITIVIDAD.....	120
6.4	COMENTARIOS SOBRE LA VALIDACIÓN	123
7	APLICACIÓN DEL ICNP _{CAM} PARA LA ASIGNACIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENCIÓN PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS	124
	RESUMEN CAPITULO	124
7.1	MODELO DE ASIGNACIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENCIÓN ESTABLECIDOS EN “LAS POLÍTICAS DE CONSERVACIÓN - ETAPA III CAMINOS NO PAVIMENTADOS”	124
7.2	RESULTADOS PARA LOS 12 CAMINOS NO PAVIMENTADOS SELECCIONADOS ...	128
8	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES GENERALES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN...	129
8.1	CONCLUSIONES GENERALES	129

8.2	RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA	133
8.3	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	134
	BIBLIOGRAFÍA.....	137
9	ANEXOS	139
	ANEXO A “LISTADO Y UBICACIÓN ESPACIAL DE LOS CAMINOS NO PAVIMENTADOS MEDIDOS”	140
	ANEXO B “RESULTADOS RECOLECCIÓN MANUAL DE DATOS E ICNP _{MOP} ”	148
	ANEXO C “GUÍA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DETERIOROS CONTINUOS”	151
	ANEXO D “MANUAL DE USO PARA EL CÁLCULO DEL ICNP _{CAM} ”	153
	ANEXO E “Hoja de Trabajo ICNP”	159
	ANEXO F “RESULTADOS DE DETERIOROS _{CAM} E ICNP _{CAM} UTILIZANDO METODOLOGÍA DEL SISTEMA DE CÁMARAS”	160
	F.1. RESULTADOS “DETERIOROS CONTINUOS _{CAM} ”	160
	F.2. RESULTADOS ICNP _{CAM}	163
	ANEXO G “RESULTADOS DE PRUEBAS ESTADÍSTICA Y ANÁLISIS REGRESIÓN LINEAL DE LOS DATOS RECOLECTADOS”	166
	ANEXO H “RESULTADOS DE PRUEBAS ESTADÍSTICA Y ANÁLISIS REGRESIÓN LINEAL DE LA VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA”	174
	H.1 PRUEBAS DE REPRODUCIBILIDAD.....	174
	H.2 PRUEBAS DE REPEPETITIVIDAD.....	180
	ANEXO I PRESUPUESTO ESTIMATIVO PAVIMENTACIÓN ASFALTO (CRISTÓBAL CHAVARRÍA)....	186

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Longitud de caminos de la red vial nacional, según región y capa de rodadura - dic. 2016 (Departamento Gestión Vial, RED VIAL NACIONAL, 2016).....	9
Tabla 2-2: Valores del patrimonio vial nacional, 2013 (Departamento Gestión Vial, Valor del Patrimonio de la Red Vial Nacional - Año 2013, 2016).	11
Tabla 2-3: Frecuencia de inspecciones anuales mínimas recomendadas según clima y TMDA (Namur Y., 2008).	31
Tabla 2-4: Límites de asignación de Estado de caminos de ripio (Ministerio de Obras Públicas, 2014).	40
Tabla 2-5: Límites de asignación de Estado de caminos de tierra (Ministerio de Obras Públicas, 2014).	40
Tabla 2-6: Estados definidos para valores máximos extremos de deterioros (Ministerio de Obras Públicas, 2014).	41
Tabla 2-7: “Macroacciones” de conservación asociadas a los distintos estados (Ministerio de Obras Públicas, 2014).	41
Tabla 3-1: Niveles de variación originales de las variables independientes (fuente: propia)	54
Tabla 3-2: Niveles de variación de las variables independientes finalmente considerados (fuente: propia).	55
Tabla 3-3: Matriz Factorial de Escenarios Posibles (fuente: propia).	55
Tabla 4-1: Clasificación de los caminos utilizados para este estudio.	63
Tabla 4-2: “Deterioros Discretos_{CAM}” (fuente: propia).....	76
Tabla 4-3: Valores a registrar en “Calamina_{CAM}” (fuente: propia).....	78
Tabla 4-4: Valores a registrar en “Ahuellamiento_{CAM}” (fuente: propia).....	80
Tabla 4-5: Ventajas y desventajas del uso de misma expresión de ICNP_{MOP}	85
Tabla 4-6: Ventajas y desventajas de obtener de una nueva expresión de ICNP_{CAM}	85
Tabla 4-7: Resultados Estadísticos ICNP_{MOP} (fuente: propia)	87
Tabla 4-8: Resultados Estadísticos “Bombeo-Drenaje_{CAM}”	89
Tabla 4-9: Resultados Estadísticos “Superficie-Pedregosa_{CAM}”	90
Tabla 4-10: Resultados Estadísticos “Erosión_{CAM}”	91
Tabla 4-11: Resultados Estadísticos “Calamina_{CAM}”	93
Tabla 4-12: Resultados Estadísticos “Ahuellamiento_{CAM}”	94
Tabla 4-13: Resultados Estadísticos N° “Baches_{CAM}” y “Baches_{CAM}”	96
Tabla 4-14: Resultados Estadísticos ICNP_{CAM}	97
Tabla 5-1: Estados definidos valores extremos de deterioros (Ministerio de Obras Públicas, 2014)	102
Tabla 6-1: Resultados ICNP_{CAM} e ICNP_{CAMter} pruebas de reproducibilidad (fuente: propia).	114
Tabla 6-2: Resultados ICNP_{CAM} e ICNP_{CAM2} pruebas de repetitividad (fuente: propia)	119
Tabla 7-1: Umbrales de intervención caminos de tierra (Ministerio de Obras Públicas, 2014). ..	126
Tabla 7-2: Umbrales de intervención caminos de ripio (Ministerio de Obras Públicas, 2014).	126
Tabla 7-3: Macroacciones de Conservación (Ministerio de Obras Públicas, 2014).	127
Tabla 7-4: Resultados de las “macroacciones” de las 12 U.M. seleccionas (fuente: propia).	128
Tabla 9-1: Valores a registrar en Calamina_{CAM} (fuente: propia).	151
Tabla 9-2: Valores a registrar en Ahuellamiento_{CAM} (fuente: propia)	152
Tabla 9-3: Simbología demarcación Deterioros Continuos_{CAM} (fuente: propia).	155
Tabla 9-4: Distancias de Cook ICNP_{CAM} vs ICNP_{MOP} (fuente: propia).....	168
Tabla 9-5: Valores de ICNP_{CAM} vs ICNP_{MOP} base muestral final (fuente: propia).....	171
Tabla 9-6: Resultados ICNP_{CAM} e ICNP_{CAMter} pruebas de reproducibilidad (fuente: propia).	175

Tabla 9-7: Distancias de Cook $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAMter}$ (fuente: propia).....	176
Tabla 9-8: Resultados $ICNP_{CAM}$ e $ICNPC_{AM2}$pruebas de reproducibilidad (fuente: propia).	181

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Dificultades y aspectos negativos metodología MOP obtención del ICNP (Fuente: Propia).	3
Figura 2-1: Distribución de la red vial nacional según tipo de capa de rodadura (Departamento Gestión Vial, RED VIAL NACIONAL, 2016).	9
Figura 2-2: Evolución de la red vial pavimentada v/s no pavimentada, periodo 1990-2016 (Departamento Gestión Vial, RED VIAL NACIONAL, 2016).	10
Figura 2-3: Imágenes de caminos no pavimentados (Fuente: Propia)	14
Figura 2-4: Camión 797B CATERPILLAR completamente cargado en faenas de la mina Collahuasi, región de Tarapacá (MINERÍA CHILE, 2014).	19
Figura 2-5: Camión completamente cargado de troncos circulando a través de caminos forestales (fuente: propia).	20
Figura 2-6: Camino agrícola en plantación de cerezos, comuna de Pichidegua sexta región (fuente: propia).	21
Figura 2-7: Curva de comportamiento del estado de un camino sin y con realización de actividades de mantención/rehabilitación (SHAHIN, 2005).	23
Figura 2-8: Estructura general de un sistema de gestión vial (De Solminihac T., 1998).	24
Figura 2-9: Esquemas de Nivel de Red y Nivel de Proyecto (De Solminihac T., 1998).	25
Figura 2-10: Niveles de severidad del polvo en suspensión (Eaton & Beaucham, 1987).	33
Figura 2-11: Obtención final del URCl (Eaton & Beaucham, 1987).	34
Figura 2-12: Escala de clasificación según valor del URCl (Eaton & Beaucham, 1987).	34
Figura 2-13: Esquema unidades y zonas de muestreo a nivel de Red (DDQ Ingeniero Consultor, 2007).	36
Figura 2-14: Esquema unidades y zonas de muestreo a nivel de proyecto (DDQ Ingeniero Consultor, 2007).	36
Figura 2-15: Principales actores involucrados en la conservación de los caminos no pavimentados (Ministerio de Obras Públicas, 2014).	37
Figura 2-16: Resultados PCI manuales y automatizados del estudio “Automated pavement condition index survey” (Cline, Shahin, & Burkhalter, 2002).	43
Figura 2-17: Interfaz del software ADA3D, resolución 3D de deterioros (Wang, Joshua Li, & Yang, 2015).	44
Figura 2-18: Interfaz del software ADA3D, demarcación de grietas en 2D (Wang, Joshua Li, & Yang, 2015).	44
Figura 2-19: Motoniveladora realizando trabajos de reperfilados en caminos rurales de la comuna de Pucón, IX región (fuente: propia).	47
Figura 2-20 :Uso de geotextiles para reforzar subrasante en zonas específicas de caminos no pavimentados (Ministerio de Obras Públicas, 2014).	49
Figura 3-1: Diagrama de Flujo de las actividades empleadas para esta investigación (fuente: propia).	51
Figura 3-2: Sistema de Cámaras BlackVue Modelo DR750LW-2CH 16	57
Figura 4-1: Distribución de los caminos utilizados como espacio muestral (fuente: propia).	63
Figura 4-2: Camino Estero Marga Marga, Viña del Mar V Región (fuente: propia).	64
Figura 4-3: Cuesta Lo Prado, Curacaví Región Metropolitana (fuente: propia).	64
Figura 4-4: Camino interior Viña Ureta, Pichidegua VI Región (fuente: propia).	64
Figura 4-5: Esquema unidades y zonas de muestreo a nivel de Red (DDQ Ingeniero Consultor, 2007).	65

Figura 4-6: Selección de la U.M. a inspeccionar (fuente: propia)	67
Figura 4-7: Conteo de Baches, junto con la medición de sus profundidades y diámetros (fuente: propia)	67
Figura 4-8: Medición profundidad Calaminas y Ahuellamientos (fuente: propia)	68
Figura 4-9: Presencia de superficie pedregosa (fuente: propia)	68
Figura 4-10: Calidad del bombeo y presencia de erosión (fuente: propia)	68
Figura 4-11: Dificultad medición deterioros en terreno (fuente: propia)	70
Figura 4-12: Cámara principal N°1 y cámara secundaria N°2	71
Figura 4-13: Ubicación del sistema de cámaras en el vehículo (referencia: propia)	71
Figura 4-14: Bosquejo de la ubicación y ángulos de grabación de las cámaras N°1 y N°2 (referencia: propia)	72
Figura 4-15: Vista de la ubicación espacial utilizando GPS del camino grabado	72
Figura 4-16: Grabación con la dirección de la luz solar directa al lente de la cámara (fuente: propia)	73
Figura 4-17: Reproducción de la grabación de un camino con poca presencia de luz solar durante la medición (fuente: propia)	74
Figura 4-18: Registro de tránsito durante la grabación del camino (fuente: propia)	74
Figura 4-19: “Bombeo-Drenaje_{CAM}” (fuente: propia)	76
Figura 4-20: “Superficie-Pedregosa_{CAM}” (fuente: propia)	77
Figura 4-21: “Erosión_{CAM}” (fuente: propia)	77
Figura 4-22: “Calamina_{CAM}” detectada como de nivel “Leve” con valor 1 cm de profundidad (fuente: propia)	79
Figura 4-23: “Calamina_{CAM}” detectada como de nivel “Medio” con valor 2 cm de profundidad (fuente: propia)	79
Figura 4-24: “Calamina_{CAM}” detectada como de nivel “Alta” con valor 5 cm de profundidad (fuente: propia)	79
Figura 4-25: “Ahuellamiento_{CAM}” detectada como de nivel “Leve” con valor 1 cm de profundidad (fuente: propia)	81
Figura 4-26: “Ahuellamiento_{CAM}” detectada como de nivel “Medio” con valor 3 cm de profundidad (fuente: propia)	81
Figura 4-27: “Ahuellamiento_{CAM}” detectada como de nivel “Alto” con valor 6 cm de profundidad (fuente: propia)	82
Figura 4-28: “Baches_{CAM}” en un camino de tierra, los que se deben identificar y contabilizar dentro de una imagen de video (fuente: propia)	83
Figura 4-29: “Baches_{CAM}” en un camino de grava, los que se deben identificar y contabilizar dentro de una imagen de video (fuente: propia)	83
Figura 4-30: Confusión entre Baches_{CAM} y Calaminas_{CAM}, (fuente: propia)	84
Figura 4-31: Resultados de los ICNP_{MOP} (fuente: propia)	87
Figura 4-32: Resultados de los “Bombeo-Drenaje_{CAM}” (fuente: propia)	89
Figura 4-33: Resultados del registro de “Superficie-Pedregosa_{CAM}” (fuente: propia)	90
Figura 4-34: Resultados del registro de “Erosión_{CAM}” (fuente: propia)	91
Figura 4-35: Resultados “Calaminas_{CAM}” (fuente: propia)	92
Figura 4-36: Resultados “Ahuellamiento_{CAM}” (fuente: propia)	94
Figura 4-37: Resultados del “N°Baches_{CAM}” (fuente: propia)	95
Figura 4-38: Resultados “Baches_{CAM}” (fuente: propia)	95
Figura 4-39: Resultados de los ICNP_{CAM} (fuente: propia)	97
Figura 5-1: Resultados potencia del tamaño de muestra (fuente: GPower V3.1)	99
Figura 5-2: Gráfico de dispersión ICNP_{CAM} v/s ICNP_{MOP} (60 U.M.) (fuente: propia)	100

Figura 5-3: Test Normalidad Residuos Estandarizados Kolmogórov-Smirnov (57 U.M) (fuente: propia).....	106
Figura 5-4: Test Normalidad Residuos Estandarizados Kolmogórov-Smirnov Final (44 U.M) (fuente: propia).....	106
Figura 5-5 Gráfico de dispersión del Modelo Auxiliar dódima White (fuente: propia)	108
Figura 5-6: Análisis gráfico de residuos Modelo Regresión Lineal Final (44 U.M.) (fuente: propia).....	110
Figura 5-7: Gráfico de dispersión $ICNP_{CAM}$ v/s $ICNP_{MOP}$ de la base de datos final (fuente: propia).....	111
Figura 6-1: Gráfico de dispersión $ICNP_{CAMter}$ v/s $ICNP_{CAM}$ pruebas de reproducibilidad (fuente: propia).....	114
Figura 6-2: Análisis gráfico de residuos Modelo Regresión pruebas de reproducibilidad (fuente: propia).....	118
Figura 6-3: Gráfico de dispersión $ICNPCAM$ v/s $ICNPCAM2$ pruebas de repetitividad (fuente: propia).....	119
Figura 6-4: Análisis gráfico de residuos Modelo Regresión pruebas de repetitividad (fuente: propia).....	122
Figura 7-1: Concepto de Umbral de Intervención para el ICNP (Ministerio de Obras Públicas, 2014).....	125
Figura 7-2: Concepto de Umbral de Intervención para Deterioro en específico (Ministerio de Obras Públicas, 2014).	125
Figura 8-1: Predicción de la sección de pavimento en relación con el modelo familiar (SHAHIN, 2005).	136
Figura 9-1: Ubicación U.M. VII Región (fuente: propia).....	143
Figura 9-2: Ubicación U.M. VI Región - 1 (fuente: propia).....	143
Figura 9-3: Ubicación U.M. VI Región - 2 (fuente: propia).....	144
Figura 9-4: Ubicación U.M. VI Región - 3 (fuente: propia).....	144
Figura 9-5: Ubicación U.M. VI Región - 4 (fuente: propia).....	145
Figura 9-6: Ubicación U.M. VI Región - 5 (fuente: propia).....	145
Figura 9-7: Ubicación U.M. Región Metropolitana (fuente: propia).....	146
Figura 9-8: Ubicación U.M. V Región - 1 (fuente: propia).....	146
Figura 9-9: Ubicación U.M. V Región - 2 (fuente: propia).....	147
Figura 9-10: Ubicación U.M. V Región - 3 (fuente: propia).....	147
Figura 9-11: “Hoja de Trabajo $ICNP_{CAM}$” (fuente: propia).	154
Figura 9-12: Hoja de Trabajo “Pantallazos-$ICNP_{CAM}$” (fuente: propia).	155
Figura 9-13: Demarcación Sup. Pedregosa (fuente: propia).....	156
Figura 9-14: Demarcación Erosión (fuente: propia).....	156
Figura 9-15: Modo de ingreso valores asignados Deterioros Continuos$_{CAM}$ “Hoja de Trabajo $ICNP_{CAM}$” (fuente: propia).	157
Figura 9-16: Modo de ingreso valores asignados Deterioros Discretos$_{CAM}$ “Hoja de Trabajo $ICNP_{CAM}$” (fuente: propia).	157
Figura 9-17: Hoja de Trabajo “Cálculo $ICNP_{CAM}$” (fuente: propia).	158
Figura 9-18: Gráfico Calaminas$_{CAM}$ v/s Calaminas$_{MOP}$ original (fuente: propia).	160
Figura 9-19: Gráfico Calamina$_{CAM}$ v/s Calamina$_{MOP}$ sin outliers (fuente: propia).....	160
Figura 9-20: Gráfico Ahuellamiento$_{CAM}$ v/s Ahuellamiento$_{MOP}$ original (fuente: propia).	161
Figura 9-21: Gráfico Ahuellamiento$_{CAM}$ v/s Ahuellamiento$_{MOP}$ sin outliers (fuente: propia).	161
Figura 9-22: Gráfico Baches$_{MOP}$ v/s N°Baches$_{CAM}$ original (fuente: propia).....	162
Figura 9-23: Gráfico Baches$_{MOP}$ v/s N°Baches$_{CAM}$ sin outliers (fuente: propia).	162

Figura 9-24: Gráfico de dispersión ICNP_{CAM} v/s ICNP_{MOP} (60 U.M.) (fuente: propia).	166
Figura 9-25: Análisis gráfico de residuos Modelo Regresión Lineal (60 U.M.) (fuente: propia).	167
Figura 9-26: Test Normalidad Residuos Estandarizados Kolmogórov-Smirnov (57 U.M) (fuente: propia).	167
Figura 9-27: Test Normalidad Residuos Estandarizados Kolmogórov-Smirnov Final (44 U.M) (fuente: propia).	170
Figura 9-28: Gráfico de dispersión del Modelo Auxiliar dócima White (fuente: propia).	170
Figura 9-29: Análisis gráfico de residuos Modelo Regresión Lineal Final (44 U.M.) (fuente: propia).	172
Figura 9-30: Gráfico de dispersión ICNP_{CAM} v/s ICNP_{MOP} de la base de datos final (fuente: propia).	173
Figura 9-31: Gráfico de dispersión ICNP_{CAMter} v/s ICNP_{CAM} pruebas de reproducibilidad (fuente: propia).	175
Figura 9-32: Análisis gráfico de residuos Modelo Regresión Lineal Reproducibilidad (fuente: propia).	177
Figura 9-33: Test Normalidad Residuos Estandarizados Shapiro Wilk prueba reproducibilidad (fuente: propia).	178
Figura 9-34: Gráfico de dispersión del Modelo Auxiliar dócima White reproducibilidad (fuente: propia).	179
Figura 9-35: Gráfico de dispersión ICNP_{CAM2} v/s ICNP_{CAM} pruebas de reproducibilidad (fuente: propia).	181
Figura 9-36: Análisis gráfico de residuos Modelo Regresión Lineal Repetitividad (fuente: propia).	182
Figura 9-37: Test Normalidad Residuos Estandarizados Shapiro Wilk prueba repetitividad (fuente: propia).	183
Figura 9-38: Gráfico de dispersión del Modelo Auxiliar dócima White repetitividad (fuente: propia).	184

GLOSARIO

“Ahuellamiento_{CAM}”: son deformaciones longitudinales permanentes en la huella de las ruedas de los vehículos. Durante la estación seca el ahuellamiento se produce en materiales no cohesivos tales como arenas o gravas con pocos finos, en cambio en climas húmedos, se produce en materiales arcillosos. Este deterioro es identificado mediante el sistema de cámaras asignando su profundidad promedio en cm.

“Baches_{CAM}”: son depresiones de forma circular u ovalada en la superficie del camino, usualmente no superan los 100 cm de diámetro y 10 cm de profundidad. Tienen un efecto adverso en la comodidad y seguridad de los usuarios del camino. El resultado de este deterioro es función de la cantidad *“N°Baches_{CAM}”* identificados mediante el sistema de cámaras dentro de una U.M.

“Calamina_{CAM}” (o corrugaciones): deterioro propio de los caminos no pavimentados. Deformaciones transversales de la calzada que presentan cierta frecuencia y profundidad que depende de: el tipo de material que compone el camino no pavimentado, el clima predominante y la frecuencia de los motores de los vehículos que la transitan. Este deterioro es identificado mediante el sistema de cámaras asignando su profundidad promedio en cm.

Camino No Pavimentado: camino que no posee una carpeta de pavimento que protege el paquete estructural. Como carpeta de rodadura puede tener una capa de grava, maicillo, o simplemente suelo natural del sector.

“Baches_{MOP}”: deterioro baches obtenido mediante la contabilización de los baches dentro de una U.M., junto con la medición de sus diámetros y alturas.

“Bombeo-Drenaje_{CAM}”: calidad del bombeo-drenaje identificado en cierta U.M. mediante el sistema de cámaras.

Deterioros/factores: corresponden a los deterioros (calamina, ahuellamiento y baches) y factores (bombeo-drenaje, superficie pedregosa y erosión) que definen el estado superficial de un camino no pavimentado.

“Deterioros_{CAM}”: deterioros de caminos no pavimentados obtenidos mediante la asignación de valores establecidos por la metodología del sistema de cámaras.

“Deterioros_{MOP}”: deterioros de caminos no pavimentados obtenidos mediante mediciones en terreno siguiendo la metodología de inspección establecido por el MOP.

“Deterioros Continuos_{CAM}”: deterioros de caminos no pavimentados de resultados continuos obtenidos mediante la metodología del sistema de cámaras. En este grupo se encuentran la *“Calamina_{CAM}”*, *“Ahuellamiento_{CAM}”* y *“Baches_{CAM}”*.

“Deterioros Discretos_{CAM}”: deterioros de caminos no pavimentados de resultados discretos obtenidos mediante la metodología del sistema de cámaras. En este grupo se encuentran la *“Bombeo-Drenaje_{CAM}”*, *“Sup. Pedregosa_{CAM}”* y *“Erosión_{CAM}”*.

Deterioros/factores: como su nombre lo indican, corresponden a los deterioros y factores que inciden directamente en el valor del indicador ICNP según su expresión matemática. Estos serían: calaminas, ahuellamiento, baches, bombeo-drenaje, superficie pedregosa y erosión.

Dirección de Vialidad, MOP: Departamento del Ministerio de Obras Pública encargada de la administración de la red de caminos nacionales.

“Erosión_{CAM}”: detección de erosión en un camino no pavimentado producto del paso del agua sobre la superficie. Su identificación se debe registrar a lo largo de toda la Z.M. (de 1 km de longitud), siendo identificada mediante su visualización con el sistema de cámaras.

Estación de trabajo: Lugar físico en donde se procesa la información de deterioros recolectadas a través de grabaciones de caminos.

ICNP: Índice de la condición de un camino no pavimentado.

ICNP_{CAM}: Índice de la condición de un camino no pavimentado medido utilizando la metodología del uso del sistema de cámaras planteada en esta investigación.

ICNP_{CAMter} : resultados de ICNP_{CAM} realizados por el evaluador externo para las pruebas de reproducibilidad de la metodología del sistema de cámaras.

ICNP_{CAM2}: resultados de ICNP_{CAM} vueltos a realizar para las pruebas de repetitividad de la metodología del sistema de cámaras.

ICNP_{MOP}: Índice de la condición de un camino no pavimentado medido utilizando la metodología de inspección visual propuesta por el MOP.

Mantenimiento/rehabilitación: técnicas constructivas de mantenimiento y rehabilitación utilizadas para mantener o restaurar la condición de un camino no pavimentado.

MDS: “Maintenance and Design System”, sistema de gestión de caminos no pavimentados utilizado en Sudáfrica.

Metodología: grupo de mecanismos o procedimientos racionales, empleados para el logro de un objetivo, o serie de objetivos, que dirige una investigación científica.

MOP: Ministerio de Obras Públicas del Estado de Chile.

MRL: Modelo de regresión lineal.

“N°Baches_{CAM}”: número de baches identificados dentro de una U.M. mediante la metodología del sistema de cámaras.

Pavimento: capa de material constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos.

PCI : Pavement condition index, indicador de condición de pavimentos generado por el cuerpo de ingenieros militares de EEUU. Indicador aceptado y muy utilizado en diversas metodologías de inspección de caminos existentes en la literatura.

TMDA: Tránsito medio diario anual.

SGV: Sistema de Gestión Vial.

“Superficie-Pedregosa_{CAM}”: material suelto en la superficie o que aflora en la calzada, condición identificada mediante la metodología del sistema de cámaras

U.M.: Unidad de Muestra, lo que corresponde a 50 metros de caminos

Z.M.: Zona de Muestra, lo que corresponde a 1.000 metros de caminos

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES GENERALES CAMINOS NO PAVIMENTADOS

Los caminos no pavimentados son vías cuya superficie de rodadura está conformada por grava, suelos estabilizados, o simplemente, terreno natural, que no cuentan con una capa de material (hormigón o asfalto) que proteja sus capas inferiores, no poseyendo una resistencia considerable que soporte al mediano plazo las solicitudes de tráfico y clima. Estos caminos “expuestos” pueden ser clasificados según su tipo de capa de rodadura: de “Tierra” (calzada de suelo natural) o de “Grava” (calzada de capa granular con material importado); que tienen en común que generalmente son vías de bajo tránsito (TMDA<400 veh/día) (Douglas, 2016) . Estos caminos tienen una gran importancia para el país, destacándose tres ítems: conectividad nacional (soberanía, acceso a movilización, evacuación y ayuda en caso de desastres y conflictos), social (acceso salud, educación y comercio para localidades rurales) y económica (gran uso de estos caminos en el sector agropecuario-silvícola, minero y forestal)¹.

La extensión de la red vial nacional administrada por la Dirección de Vialidad al año 2016 correspondió a 82.134 km, siendo 48.971 km vías no pavimentadas, correspondientes al 59,62% de la red total (Departamento Gestión Vial, RED VIAL NACIONAL, 2016). Este gran porcentaje de km de vías de este tipo es común en países en desarrollo ya que no siempre se justifica ni se puede pavimentar un camino, debido a limitaciones técnicas y económicas. Un criterio técnico para la pavimentación de una vía es que esta posea un TMDA mayor a 300 veh/día (Thenoux Z., Vera, & Halles A., 2004), condición que no es suficiente en muchos casos debido a los altos costos que tiene la pavimentación de una vía², por lo que nuestro país no está en condición de aumentar significativamente su red pavimentada. Esto se ve reflejado en el volumen de caminos no pavimentados que ha tenido en su red en el tiempo, en donde, desde el año 1990 al 2013 pasó de un 86,48% a un 77,66%³ del total de las vías administradas por la Dirección de Vialidad, reflejando cierta estabilización en su cantidad. Este gran número de caminos hace necesario que los

¹ Banco Central 2016 - Sector Agropecuario-Silvícola: US\$ 8.971 millones (3,22% PIB); Minería: US\$ 22.560 millones (8,09% PIB); Forestal y Asociados: US\$ 4.765 millones (1,71% PIB) (Banco Central de Chile, 2016).

² Utilizando la lista de precios unitarios, se estimo en \$84.000.000 la pavimentación en asfalto de una vía de 100 metros lineales de 7 metros de ancho (ver ANEXO I).

³ En estos datos se incluyen los caminos con solución básica como caminos no pavimentados.

organismos estatales realicen estudios sobre la depreciación económica que se tiene en el tiempo ya que, al considerarse como un activo, va disminuyendo su valor patrimonial a lo largo de su vida útil, situación que se ve acelerada con la falta de actividades de mantención/rehabilitación necesaria para entregar cierto nivel de servicio para una adecuada y segura conducción sobre ellos. Estas actividades de mantención/rehabilitación son mucho más requeridas en los caminos no pavimentados que en los pavimentados, debido a la gran variación que tiene su superficie en el corto plazo.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a las condiciones particulares que presentan los caminos no pavimentados, es que se hace necesario contar con un proceso continuo de inspección de su estado superficial, con el propósito de saber **¿el dónde?, ¿el cuándo? y ¿el cómo? se deben realizar las actividades de mantención (rutinaria, periódica, o mayor)** necesarias para conservar, y en lo posible mejorar, estas vías. De esta forma, se podrá minimizar los costos económicos que significa para la sociedad el tener caminos en mal estado (Schliessler & Bull, 1994) determinando y asignando en el tiempo preciso la actividad de conservación que se deben realizar, pues una tardanza de estos puede producir un mayor desembolso económico que el presupuestado inicialmente para la rehabilitación de un camino. Para dimensionar la cantidad de recursos comprometidos, los caminos no pavimentados de la red nacional están valorizados en US\$ 8.185 millones, correspondiente al 30,56% de todo el patrimonio vial administrado por la Dirección de Vialidad⁴ (Departamento Gestión Vial, Valor del Patrimonio de la Red Vial Nacional - Año 2013, 2016).

Es por ello, que en el año 2014 el Ministerio de Obras Públicas (MOP) publicó el documento “Políticas de Conservación Vial Etapa 3 - Caminos No Pavimentados” (Ministerio de Obras Públicas, 2014), en donde se establece el uso del indicador ICNP (índice de condición caminos no pavimentados) para definir el estado de una vía no pavimentada, además de dar a conocer umbrales de intervención para las posteriores acciones de conservación de acuerdo con estos límites propuestos. El valor de este indicador corresponde a una clasificación continua que va de 1 a 10 (1: muy malo; 10: muy bueno), que proviene de la medición de ciertos deterioros/factores propios de los caminos no pavimentados, que son medidos en terreno a lo largo de una Unidad de Muestra

⁴ Considera todos los caminos (pavimentados y no pavimentados), túneles, puentes, pasarelas y ciclovías.

(U.M.⁵), y cuyo valor de ICNP es representativo del estado de una Zona de Muestra (Z.M.⁶). El resultado del ICNP, junto con el tipo de superficie del camino (tierra o grava) y el clima predominante en que se encuentra (seco, mediterráneo o húmedo), asigna un estado superficial a la vía (Muy Malo, Malo, Regular, Bueno, Muy Bueno), y que tomando en cuenta los umbrales de intervención propuestos por este documento, se hacen recomendaciones sobre el tipo de conservación que se debiese realizar (rutinaria, periódica o mayor). El problema/oportunidad que se evidenció en esta metodología para la obtención de este indicador planteada por el MOP, es que está consiste en una medición de los deterioros de forma manual realizada en terreno, la que tiene los ciertas dificultades y aspectos negativos que se deben tomar en cuenta, las que son presentados en la Figura 1-1.

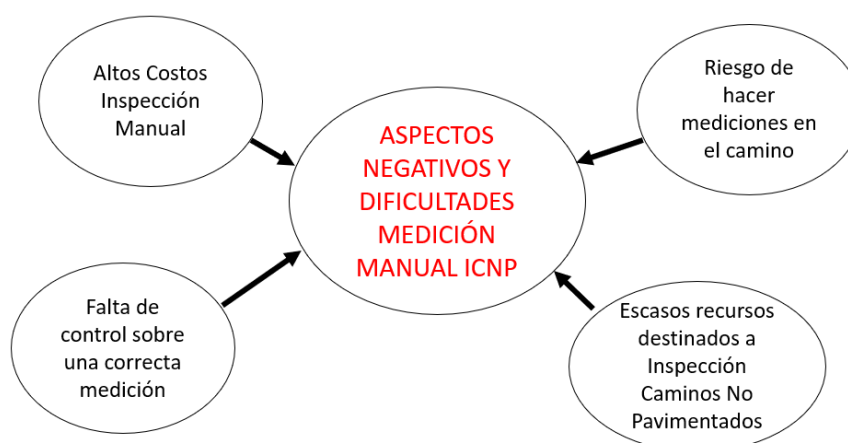


Figura 1-1: Dificultades y aspectos negativos metodología MOP obtención del ICNP (Fuente: Propia).

Dadas estas dificultades de medición de este indicador, es que esta memoria de título tiene por objetivo plantear una metodología alternativa para la obtención del ICNP, utilizando un sistema de cámaras de alta definición de bajo costo como apoyo para la identificación y estimación de las magnitudes de los deterioros presentes dentro de una U.M., necesarios para el posterior cálculo del ICNP y asignación de estado de una vía no pavimentada. Todo esto con el objetivo final de generar un proceso cercano a una automatización objetiva para la obtención del ICNP.

⁵ U.M. corresponde al ancho total de la calzada por un largo de 50 metros.

⁶ Z.M. corresponde al ancho total de la calzada por un largo de 1.000 metros.

1.3 HIPÓTESIS

“Existe una relación significativa estadísticamente entre los indicadores $ICNP_{MOP}$ ⁷ y el $ICNP_{CAM}$ ⁸ con un 95% de confiabilidad (5% de error estadístico)”.

1.4 OBJETIVOS DE LA MEMORIA

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

“Elaborar una metodología para la obtención alternativa del ICNP, utilizando la grabación de caminos con un sistema de cámaras de alta definición, junto con el desarrollo de directrices para la identificación y asignación de valores estimados de los deterioros/factores presentes en vías no pavimentadas”.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar concepto de Gestión de la Infraestructura Vial, características y comportamiento de los caminos no pavimentados, junto con su indicador de condición ICNP.
2. Desarrollar una metodología para evaluar deterioros de caminos no pavimentados a través de imágenes obtenidas en terreno de 60 U.M. para determinar valores de $ICNP_{CAM}$.
3. Validar la metodología desarrollada del $ICNP_{CAM}$ a través de análisis estadísticos comparativo $ICNP_{MOP}$ v/s $ICNP_{CAM}$ (análisis de regresión lineal: R^2 , Varianza, Residuos), pruebas de repetitividad y reproducibilidad.

1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para elaborar una metodología de obtención del ICNP utilizando la grabación de los caminos a través de un sistema de cámaras de alta definición, el primer paso fue familiarizarse con el ICNP, midiendo deterioros en dos tramos de caminos no pavimentados de prueba (uno de tierra y otro de grava), luego se procedió a definir el espacio muestral (60 U.M.), inspeccionando en terreno y grabándolos

⁷ $ICNP_{MOP}$: Índice de la condición de un camino no pavimentado medido utilizando la metodología de inspección visual propuesta por el MOP.

⁸ $ICNP_{CAM}$: Índice de la condición de un camino no pavimentado medido utilizando la metodología del uso del sistema de cámaras planteada en esta investigación.

con el sistema de cámaras; después se procesó la información de campo obteniendo los deterioros/factores de las 60 U.M. junto con sus $ICNP_{MOP}$; posteriormente se continuó con la reproducción de las grabaciones, definiendo el cómo extraer la información de los deterioros/factores a partir de sus imágenes; posteriormente se definió el uso de la misma expresión del $ICNP_{MOP}$ para el $ICNP_{CAM}$, que junto con las directrices de evaluación de deterioros/factores ya definidas se calcularon los $ICNP_{CAM}$. Se analizaron los resultados mediante la comparación de los $ICNP_{MOP}$ vs $ICNP_{CAM}$ a través de un gráfico de dispersión “1-1”, definiendo el estadístico a evaluar como el valor de la pendiente de los resultados de ambos indicadores igual a 1, llegando a resultados satisfactorios cumpliendo las pruebas estadísticas, validando que la expresión del $ICNP_{CAM}$ presenta resultados similares a los del $ICNP_{MOP}$ con una confiabilidad del 95%. Posteriormente se realizaron pruebas de reproducibilidad y repetitividad para validar la metodología propuesta. Ya validado el $ICNP_{CAM}$, se utilizó su expresión para recomendar que tipos de acciones de conservación/rehabilitación (rutinaria, periódicas o mayores) se deberían realizar en 12 U.M. ya medidas en este estudio. Finalizando con un listado de conclusiones, recomendaciones y de futuras acciones investigativas que se podrían seguir realizando relacionadas al tema de los caminos no pavimentados.

1.6 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Este estudio surgió como la necesidad de utilizar herramientas tecnológicas de apoyo para evaluar la condición de caminos no pavimentados, sobre todo considerando la magnitud de kilómetros y la valorización que representan dentro de la red nacional. Sabiendo las limitaciones que tiene el sistema de cámaras utilizado, en cuanto a la identificación y dimensionamiento de ciertos deterioros, como lo son las calaminas, ahuellamiento y baches, es que se propone el uso del $ICNP_{CAM}$ a nivel de inspección de red, entregando información rápida, segura y respaldada en el tiempo, para que los responsables de la administración de caminos no pavimentados puedan tomar decisiones sobre acciones de conservación/mejoramiento necesarias para restaurar/mejorar estos caminos, además de estimar la asignación de sus recursos respectivos.

Dado a lo restringido del presupuesto y de los recursos humanos con que se dispuso para este estudio, la base de muestra utilizada sólo consideró caminos repartidos en cuatro regiones ubicadas en el centro del país (V, RM, VI y VII), por lo que se debería seguir ampliando la base de datos,

añadiendo mediciones en caminos no pavimentados ubicados en las regiones extremas del país (norte y zona austral principalmente) para que esta metodología pueda ser avalada a nivel nacional. De todos modos, los caminos medidos tuvieron una gran variabilidad de material superficial (granulares, finos y arcillosos), de tráfico (bajo y mediano), de orografía (llano y de pendientes fuertes), así como de ubicaciones geográfica dentro de las regiones (precordillera, valle central y costa), por lo que su validación nacional no debiese modificar considerablemente la metodología propuesta.

1.7 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

Este estudio está compuesto por ocho capítulos, cuyos nombres, junto con una pequeña descripción de ellos se presentan a continuación.

Capítulo 1 “INTRODUCCIÓN”: Se describen características propias de los caminos no pavimentados, junto con su importancia política, nacional y económica. Se menciona en que consiste esta investigación, describiendo la problemática que se desea resolver, junto con la hipótesis y objetivos generales y específicos de esta investigación.

Capítulo 2 “REVISIÓN DE LA LITERATURA”: Se mencionan los principales antecedentes del concepto de gestión de infraestructura vial, junto a otros aspectos técnicos y de importancia económica que tienen los caminos no pavimentados. Se nombran los principales indicadores para la calificación de vías no pavimentadas existentes en la literatura. También se describen algunas de las actividades de mantenimiento/rehabilitación más utilizadas en el país, finalizando con la descripción del uso de sistemas de cámaras para la medición de deterioros en vías pavimentadas halladas en la literatura.

Capítulo 3 “DISEÑO EXPERIMENTAL”: Se señalan en detalle las principales acciones que se tuvieron que realizar para obtener la metodología final de uso para el ICNP_{CAM}. Actividades que partieron desde la definición de la base muestral, hasta las pruebas de validación realizadas para respaldar este estudio.

Capítulo 4 “RECOLECCIÓN DE DATOS Y SUS RESULTADOS”: Se nombran todas las actividades realizadas para la recolección de datos de deterioro/factores en terreno para las 60 U.M. medidas

en este estudio. Se describe la metodología que se utilizó para la obtención de deterioros/factores de estas U.M. a partir de las imágenes capturadas por el sistema de cámaras. Se presentan los resultados de los ICNP_{MOP}, “*Deterioros_{CAM}*” e ICNP_{CAM} junto con un análisis de estos.

Capítulo 5 “ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS”: En este capítulo se menciona en detalle el análisis estadístico comparativo que se realizó para lograr determinar que el ICNP_{CAM} entrega resultados similares con un 95% de confiabilidad a los arrojados por el ICNP_{MOP}. Obteniendo un modelo de correlación lineal entre ambos indicadores, evaluando estadísticamente que su pendiente fuese igual a “1,0”.

Capítulo 6 “VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA PLANTEADA PARA EL ICNP_{CAM}”: Se describen las pruebas de repetitividad y reproducibilidad realizadas para la validación de la metodología del ICNP_{CAM}. Se presentan los resultados de dichas pruebas junto con su análisis estadístico.

Capítulo 7 “APLICACIÓN DEL ICNP_{CAM} PARA LA ASIGNACIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENCIÓN PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS”: Ya con la metodología validada del ICNP_{CAM}, se aprovecharon los resultados de 12 U.M. medidos en este estudio para ver qué tipo de actividades de mantención (rutinarias, periódicas o mayores) se les debiese realizar para mejorar su condición actual a una “Muy Bueno”. Para ello se utilizaron los umbrales descritos en “Las Políticas de Conservación Vial Etapa 3 - Caminos No Pavimentados” (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

Capítulo 8 “CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES GENERALES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN”: Se presentan las conclusiones generales del estudio, junto con recomendaciones generales y futuras líneas de investigación que se pudiesen seguir realizando relacionadas al tema de los caminos no pavimentados en el país.

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

RESUMEN DEL CAPITULO

Se describen la red de caminos existente administradas por la Dirección de Vialidad junto con información del patrimonio de activos viales que maneja este organismo; además, se mencionan los caminos no pavimentados junto a sus características e importancia en términos de conectividad nacional, ámbito social y de uso en tres de las principales actividades económicas del país (minera, forestal y agrícola). Después, se procede a mencionar la definición, objetivos y características que tienen los sistemas de gestión de caminos, junto con sus ventajas en su aplicación en una extensa red de vías como lo es en el caso de Chile. Se describen algunas metodologías de evaluación de caminos no pavimentadas más utilizadas en la literatura junto con el uso de indicadores que consideran sus principales deterioros para la calificación funcional de este tipo de vías. Se describe en detalle el ICNP junto con sus límites de estado y de valor máximo por deterioro. También, se menciona el uso de sistemas de cámaras para la medición de deterioros en vías pavimentadas encontradas en la literatura, finalizando con la descripción de algunas de las actividades de mantenimiento/rehabilitación para caminos no pavimentados más utilizadas en el país junto con algunos de sus precios unitarios.

2.1 RED NACIONAL DE CAMINOS - PATRIMONIO VIAL

2.1.1 RED NACIONAL DE CAMINOS

Chile posee una gran red de caminos, necesaria para conectar el país debido a su extensa geografía. Al año 2016, se contabilizaron 82.133,78 km de caminos administrados por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas (Departamento Gestión Vial, RED VIAL NACIONAL, 2016), datos que no consideran los caminos privados (mineros, agrícolas o forestales) ni los administrados por entidades urbanas como el SERVIU y los Municipios. Si se incluyeran estos últimos, es muy probable que la longitud total de los caminos no pavimentados sea superior a los 100.000 km (Thenoux Z., Halles A., & González V., 2002). Se presentan en la Tabla 2-1 y en la Figura 2-1 el total de kilometrajes de red distinguiéndolos por el tipo de superficie de rodadura y con sus porcentajes respecto al total de la red nacional.

Tabla 2-1: Longitud de caminos de la red vial nacional, según región y capa de rodadura - dic. 2016 (*Departamento Gestión Vial, RED VIAL NACIONAL, 2016*).

Total Km	Red Vial Pavimentada ⁹				Soluciones Básicas		Red Vial No Pavimentada		Total Km
	Asfalto	Hormigón	Asf./Horm.	Caminos Básicos Intermedios	Capa Protectora	Granular Estabilizado	Ripio	Tierra	
	17.545,49	1.874,17	533,06	366,67	7.255,33	5.588,06	32.836,87	16.134,13	
%	21,4%	2,3%	0,6%	0,4%	8,8%	6,8%	40,0%	19,6%	100%
	24,7%				15,6%		59,6%		100%

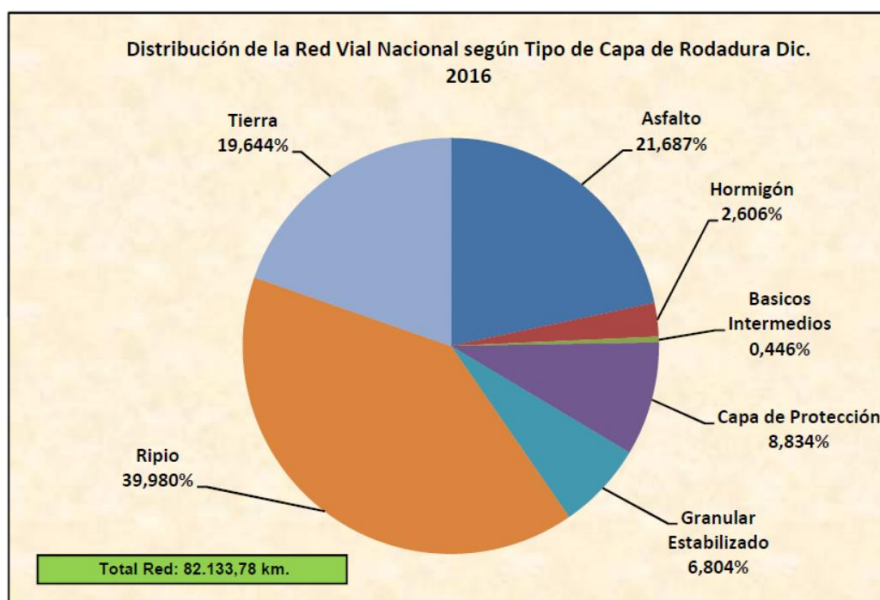


Figura 2-1: Distribución de la red vial nacional según tipo de capa de rodadura (*Departamento Gestión Vial, RED VIAL NACIONAL, 2016*).

Se destaca que los caminos no pavimentados representan casi el 60% de la red total e incluso pudiese ser mayor considerando los caminos municipales, de tuición del SERVIU y privados, estos últimos utilizados masivamente en las industrias minera, forestal y agrícola; los cuales son vitales para las actividades de extracción y transporte de productos. Esta información a primera vista causa cierta sorpresa, ya que los habitantes en general tienen la percepción de que la mayoría de los caminos en el país son pavimentados, lo que se debe a que estos absorben casi un 80% del tránsito nacional (Thenoux Z., Halles A., & González V., 2002), pero debido a la forma geográfica del país sería casi imposible tener una gran red pavimentada dado los altos costos que se incurren en la pavimentación, así como en los bajos volúmenes de tránsito que existen en ciertas zonas remotas

⁹ En donde los Caminos Pavimentados son aquellos que se realizan mediante proyectos específicos y/o poseen diseño de ingeniería.

del país. Para comprender mejor la idea de cómo los caminos no pavimentados tienen una presencia asegurada en el país, se presenta en la Figura 2-2 la evolución que ha tenido la red pavimentada y no pavimentada administrada por la Dirección de Vialidad desde el año 1990 hasta el 2016.

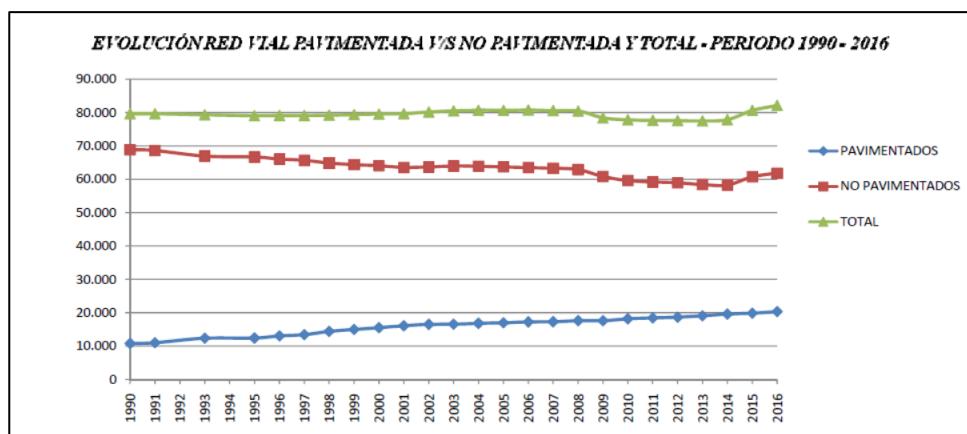


Figura 2-2: Evolución de la red vial pavimentada v/s no pavimentada, periodo 1990-2016 (Departamento Gestión Vial, RED VIAL NACIONAL, 2016).

Se puede constatar que la red pavimentada ha aumentado casi un doble en los últimos 26 años, pero aun así no alcanza un porcentaje mayoritario en la red nacional pasando de un 13,5% a un 24,7% del total de caminos. Por lo que la utilización de los caminos no pavimentados esta ratificada en el país y es por esta razón que surge la necesidad de contar con herramientas de medición de su condición superficial para determinar las acciones de mantención/rehabilitación que se les debe realizar en los tiempos precisos, considerando los recursos disponibles y el impacto que tienen estos caminos en las comunidades rurales y en la soberanía nacional.

2.1.2 PATRIMONIO VIAL

En el año 1994, un estudio realizado para la CEPAL llamado “CAMINOS, UN NUEVO ENFOQUE PARA LA GESTIÓN Y CONSERVACIÓN DE REDES VIALES” por parte de Schliessler y Bull (1994), proponía un reenfoque en la gestión de conservación de redes viales, sobre todo en materias de organización y financiamiento. Entre otros, propusieron adoptar métodos y herramientas similares a los que se emplean en las empresas privadas; una de esas herramientas es la evaluación periódica de los activos de la empresa, o en este caso, del patrimonio nacional de caminos. Definieron al Patrimonio Vial como el “conjunto de caminos públicos y existentes en el país, cuyo valor puede ser calculado en términos monetarios” (Schliessler & Bull, 1994). El valor depende de la magnitud de las obras

ejecutadas en la construcción del camino y de su estado de conservación, en este último punto es en donde toma fuerza el uso de indicadores objetivos para evaluar el estado actual de los caminos.

Al año 2013, según los resultados del estudio “Metodología para la Determinación del Patrimonio Vial” elaborado por la empresa consultora Dusan Dujisin y Compañía limitada (terminada a fines del 2015), se concluyó que el total del patrimonio vial administrado por la Dirección de Vialidad (la que incluye red vial nacional pavimentada y no pavimentada, además de los puentes, túneles, ciclovías y pasarelas, excluyendo la red concesionada) fue de US\$26.783 millones (Departamento Gestión Vial, Valor del Patrimonio de la Red Vial Nacional - Año 2013, 2016). Valores que se distribuyen de la forma presentada en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Valores del patrimonio vial nacional, 2013 (Departamento Gestión Vial, Valor del Patrimonio de la Red Vial Nacional - Año 2013, 2016).

	Caminos Pavimentados	Ciclovías	Pasarelas	Túneles	Puentes	No Pavimentados	Total General
Monto en US\$MM ¹⁰	16.079	37	38	242	2.202	8.185	26.783
% activo del total	60,04%	0,14%	0,14%	0,90%	8,22%	30,56%	100%

En particular, para los caminos no pavimentados se destaca la gran cantidad de recursos fiscales que están depositados, las que son de aproximadamente US\$8.185 millones equivalente al 30,56% del patrimonio total vial administrado por la Dirección Nacional. Es decir, casi 4 veces el valor de todos los puentes fiscales que existen en el país. Para comprender el orden de magnitud de esta cifra es importante destacar que el patrimonio de caminos no pavimentados equivale al 3,1% del PIB nacional del año 2016 (Banco Central de Chile, 2016).

El procedimiento de cálculo para determinar el valor del patrimonio en el caso de los caminos pavimentados consistió en el costo de construcción de un camino nuevo menos el valor de las actividades mantención/rehabilitaciones necesarias para llevar este camino desde su situación actual a una condición como nuevo, tal como se expresa en la formula II-1.

¹⁰ Considerando un valor del dólar del 31 de diciembre del 2013 (1 dólar = 524 pesos chilenos, al octubre del año 2018 bordea los 670 pesos chilenos).

$$V_C = CN - C_{Rehabt} \quad (II-1)$$

Donde:

- V_C : Valor del camino en el momento de la evaluación del Patrimonio Vial.
- CN : Costo de camino nuevo (costo de reemplazo).
- C_{Rehabt} : Costo necesario para llevar al activo a la condición inicial “como nuevo en el tiempo “t”.

En este mismo estudio se describe que para el caso particular de cálculo del patrimonio de los caminos pavimentados, se debe obtener la condición del camino utilizando el indicador “Índice de Condición del Pavimento” (ICP) y con ello estimar los montos asociados a su mejoramiento/rehabilitación (C_{Rehabt}). Es decir, *el valor del patrimonio queda definido por el estado actual en que se encuentre el camino* (Departamento Gestión Vial, Valor del Patrimonio de la Red Vial Nacional - Año 2013, 2016).

En cambio, para el caso de los caminos no pavimentados no se utilizó algún indicador para su condición (como el ICNP) debido a que en el año 2013 aún no se había establecido algún indicador de uso oficial, por lo que *para el cálculo del patrimonio de caminos de grava se consideró la pérdida de espesor granular y para los caminos de tierra sólo se tomó en cuenta los valores de movimientos de tierra y preparación de la faja* (Departamento Gestión Vial, Valor del Patrimonio de la Red Vial Nacional - Año 2013, 2016). Con estos antecedentes, queda claro que los 8.185 millones de dólares a que equivale el patrimonio de los caminos no pavimentados pueden variar utilizando el verdadero costo de rehabilitación asociado al estado que indique un indicador de su superficie, como lo es el ICNP. Este es otro motivo para tener un método más rápido, económico y confiable de obtención del ICNP, como lo sería a través del uso de un sistema de cámaras georreferenciada de bajo costo propuesto en esta memoria de título, ya que permitiría contar con una nueva herramienta para la inspección, la que se hace necesaria dado los altos montos de patrimonio que representan los caminos no pavimentados, siendo su depreciación una pérdida económica de grandes magnitudes para el país.

2.2 CAMINOS NO PAVIMENTADOS

Los caminos no pavimentados corresponden a vías que su superficie de rodadura está conformada por gravas o por el terreno natural simplemente, es decir, no poseen capa protectora que permita disminuir considerablemente los efectos del tránsito sobre la subrasante. Estos caminos se encuentran en la categoría más baja en cuanto a la jerarquía de la red vial debido a que poseen bajos volúmenes de tráfico ($TMDA < 400$ veh/día) y es por esta razón que su importancia pasa inadvertida para la población en general (Douglas, 2016). Se describen dos tipos de caminos no pavimentados más utilizados en el país:

- **CAMINOS DE TIERRA:** consisten en vías que fueron formándose en el suelo natural mediante el paso de los vehículos, marcando huellas que dan origen a las pistas del camino. En estos caminos se suele retirar su capa vegetal y reemplazarla por material proveniente de fuentes cercanas que poseen alto contenido de fino (material bajo malla N°200). En su mayoría no presentan estándar de diseño geométrico, por lo que son muy susceptible a problemas de inundación de calzada, lo que produce un acelerado deterioro. En la Figura 2-3 (a) se muestra el camino de tierra del estero Marga Marga, ciudad de Viña del Mar, el que es muy utilizado por los conductores como vía alternativa a la transitada calle 1 Norte.
- **CAMINOS DE RIPIO (O GRAVA):** son caminos que poseen una capa superficial de 10 a 20 cm de espesor compuesta de material granular importado, la que tiene una granulometría específica (principalmente grava con una cantidad reducida de finos), entregando cierta resistencia al corte para el paso de los vehículos, lo que disminuye los efectos de carga de tránsito sobre la subrasante. Estos caminos, por lo general, poseen un mínimo de estándar de diseño de ingeniería, referido específicamente al diseño geométrico con alineamientos horizontales y verticales, una determinada sección transversal, señalización y un sistema de drenaje que asegure cierta durabilidad del camino (Figura 2-3 (b)).



(a)



(b)

Figura 2-3: Imágenes de caminos no pavimentados (Fuente: Propia)

(a) Camino de tierra en estero Marga Marga, Viña del Mar (V Región). (b) Camino de Grava del sector rural “A la Puente Alta”, Quinta de Tilcoco (VI Región).

Sin embargo, la Dirección de Vialidad en las últimas dos décadas ha impulsado la construcción de los denominados “Caminos Básicos”, los que son vías no pavimentadas que son mejoradas para obtener mayores niveles de serviciabilidad. El principal objetivo que tienen estos caminos es en contribuir al desarrollo del país, a la superación de la pobreza, y apoyar a la economía productiva rural (Dirección de Vialidad, PROGRAMA CAMINOS BASICOS 5000, 2003). Estos caminos se dividen en dos tipos: caminos estabilizados químicamente y caminos con capas de protección. Estos son descritos a continuación.

- **CAMINOS ESTABILIZADOS:** son caminos que poseen una capa superficial de 10 a 20 cm de espesor compuesta de material granular importado que es estabilizado físicamente (compactación principalmente) y químicamente. La estabilización química se utiliza como complemento a la estabilización mecánica, consistiendo en mejorar las propiedades físicas y/o mecánicas del suelo y bases granulares mediante la adición de un producto químico, produciendo un cambio en las propiedades moleculares superficiales de los granos del suelo y/o de las bases, mejorando la cohesión entre las partículas. Existen tres categorías principales agentes estabilizadores químicos: cementantes (cemento y cal), asfálticos (emulsión asfáltica o espumada y agentes) y químicos (Cloruro de Magnesio y Cloruro de Sodio¹¹) (Thenoux Z., Vera, & Halles A., 2004). Todos estos agentes se utilizan en conjunto

¹¹ Tanto el Cloruro de Magnesio (Bischofita) y el Cloruro de Sodio (Sal) tiene muy buenos resultados en los caminos no pavimentados de la zona norte, ya que son escasas las precipitaciones. Estos beneficios se ven incrementados considerando sus menores costos respecto a los otros agentes estabilizadores químicos.

con agua, ya sea mezclando los agentes con la base granular o a esparcidos en la superficie a través de riego, donde todos ellos permiten reducir la conservación rutinaria al mínimo (Dirección de Vialidad, PROGRAMA CAMINOS BASICOS 5000, 2003).

- CAMINOS CON CAPAS DE PROTECCIÓN: corresponden a caminos a los que se le aplica un recubrimiento a la carpeta granular. Este recubrimiento es en base a emulsiones asfálticas que tienen como objetivo proteger la estructura de las deformaciones (afloramiento del material granular), así como impedir la generación de polvo en suspensión (Dirección de Vialidad, PROGRAMA CAMINOS BASICOS 5000, 2003). El método más utilizado de capa de protección es el doble tratamiento superficial, el que consiste en la adición de una capa de gravilla sobre la carpeta granular al que se aplica un riego de emulsión asfáltica (primer tratamiento), para una posterior aplicación de arena gruesa finalizando con otro riego de emulsión (segundo tratamiento)¹² (Dirección de Vialidad, Manual de Carreteras Volumen 5, 2018).

El objetivo básico de los caminos no pavimentados es cubrir la accesibilidad nacional durante todas las estaciones del año, teniendo gran importancia el poder unir localidades rurales con zonas urbanas, permitiendo el tránsito de distintos tipos de vehículos. Las grandes extensiones de este tipo de caminos se deben fundamentalmente al gran costo que tiene la pavimentación de vías. A modo de ejemplificar esta situación, utilizando un listado de precios unitarios de partidas de pavimentación, se obtuvo que la pavimentación de 100 metros lineales en asfalto (espesor 7 cm y de 7 metros de calzada, incluyendo bermas y movimientos de tierra) es de aproximadamente 65 millones de pesos chilenos¹³ (U.S. \$100.000 aproximadamente), valores que son coherentes con los entregados por la Dirección de Vialidad en que cifra como patrimonio vial de caminos pavimentados en U.S. \$1.004.472,02 por kilómetro (Departamento Gestión Vial, Valor del Patrimonio de la Red Vial Nacional - Año 2013, 2016).

Otro objetivo de estos caminos es su utilización en su uso en la explotación en ciertas actividades económicas como lo es la minera, forestal y agrícola. En dichos usos, estas vías deben garantizar una

¹² Sección 5.407 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES, VOLUMEN 5 MANUAL DE CARRETERAS 2018

¹³ Para mayor detalle ver el ANEXO I "PRESUPUESTO ESTIMATIVO PAVIMENTACIÓN ASFALTO (CRISTÓBAL CHAVARRÍA)"

mínima movilidad o velocidad de recorrido ya que es un factor que impacta en la producción y, por consecuencia, en los ingresos de estas actividades económicas.

2.2.1 PROBLEMAS PARTICULARES DE LOS CAMINOS NO PAVIMENTADOS

Mencionada varias de las características de los caminos no pavimentados, es importante señalar las mayores dificultades/problemas a los que se ven sometidos. Ya que, aunque su uso original sea el de vías para bajo tráfico, debido al crecimiento económico y al cada vez mayor parque automotriz que ha experimentado el país en los últimos años, y que junto con la escasa conservación que reciben, estos caminos en su gran mayoría presentan un elevado estado de deterioro superficial, que es visible por la gran cantidad de: baches, ahuellamientos, calaminas (corrugaciones), superficie pedregosa, y la constante generación de polvo en suspensión que es común en las vías no pavimentadas del país.

Es sabido, que una mala condición de los caminos al largo plazo produce un aumento en los costos de la economía nacional (Schliessler & Bull, 1994), por lo que es importante identificar los principales problemas que conlleva tener en mala condición los caminos no pavimentados y que muchos de estos son propios de este tipo de vías, inclusive pueden llegar a dejarlos intransitables. Las principales condiciones particulares de los caminos no pavimentados, junto con los problemas asociados al estar en un mal estado son los siguiente (Thenoux Z., Vera, & Halles A., 2004) (Thenoux Z., Halles A., & González V., 2002):

- Debido a la falta de una capa de rodadura de calidad, la condición de serviciabilidad de los caminos no pavimentados varía drásticamente en cortos períodos de tiempo a causa de las sollicitaciones de tránsito y clima.
- Los procesos constructivos tienden a ser de baja calidad, en particular cuando se utilizan técnicas constructivas semi-artesanales (errado diseño geométrico, uso de material no chancado, compactación no adecuada, entre otras).
- Generalmente, no se consideran adecuados sistemas de drenaje.
- Presentan alta incertidumbre respecto de los datos de tránsito. Casi nulo control de pesos de camiones, produciéndose deterioros acelerados en períodos de invierno (suelos saturados).

- Requieren una mayor cantidad de actividades de conservación a lo largo de su vida útil, generando restricciones al tránsito produciendo un continuo impacto al usuario.
- Su vida útil es relativamente corta en comparación a los caminos pavimentados, llegando a tener entre 5 o 10 años, dependiendo de la calidad del diseño estructural (si es que existe) y de los materiales de construcción utilizados. Al término de su vida útil, requieren ser reconstruidos perdiendo gran parte de la inversión realizada.
- Un mal estado produce graves problemas de integración social, ya que afecta la accesibilidad que tienen las comunidades rurales a la salud, educación, comercio, cultura y turismo, ubicados generalmente en los centros urbanos.
- El paso de los vehículos sobre un camino no pavimentado que tenga su material superficial suelto, con falta de humedad y de cohesión, produce generación de polvo, el que afecta a la salud de las personas ya que pueden ingerir partículas PM10 y PM100. Este polvo en suspensión también produce daños a bienes e instalaciones privadas y públicas reduciendo su vida útil y desempeño.
- Un mal estado en los caminos no pavimentados provoca un incremento de los costos de operación de los vehículos en relación con un camino pavimentado. Mientras el camino tenga un peor estado superficial (gran presencia de deterioros), mayor será el costo operacional, además de producir mayores consumos de combustibles y ocasionar mayores tiempos de viajes.
- La presencia de deterioros superficiales, junto con la falta de visibilidad debido al polvo, producen problemas de seguridad vial, aumentando el riesgo de accidentes en los usuarios.

Dicho esta gran cantidad de particularidades y problemas asociados al mal estado general de los caminos no pavimentados, es que se agruparon sus principales alternativas de solución, las cuales son (Thenoux Z., Halles A., & González V., 2002):

- I. Pavimentar los caminos, lo cual involucra una alta inversión de recursos económicos que no se justifica para caminos de bajo volumen de tránsito.
- II. Aplicar tratamientos superficiales asfálticos, los cuales se pueden considerar un pavimento más económico, pero también requiere una alta inversión de recursos económicos.
- III. [Implementar un programa de gestión y conservación de los caminos no pavimentados para restablecer periódicamente su estándar.](#)

IV. Mejorar las propiedades físicas y/o mecánicas del suelo que conforma la carpeta de rodado mediante la utilización de la técnica de estabilización química del suelo.

Las últimas dos alternativas (de color azul) son las que tienen mayor consenso de su eficacia en termino de costo/beneficio. El uso de un sistema de cámaras de apoyo para evaluar los caminos no pavimentados responde a la alternativa III, en donde conocer el estado de las vías es una información crítica requerida para cualquier sistema de gestión de caminos; inspección que puede llegar a utilizarse para identificar las áreas en que se requiera una intervención mayor, como lo sería un mejoramiento del suelo, tal como se señala en la alternativa IV.

2.3 CAMINOS NO PAVIMENTADOS EN LA INDUSTRIA NACIONAL

Los caminos no pavimentados son ampliamente utilizados en tres de las principales industrias económicas del país: la minera, forestal y agrícola. Se describen algunas características propias de estos caminos en torno a dichos usos privados.

2.3.1 MINERÍA

La minería es la principal industria del país, representando el 8,09% del PIB nacional (Banco Central de Chile, 2016). El uso de los caminos no pavimentados es crucial para las faenas de movimiento de material provenientes desde las zonas de tronadura. Este material es transportado por camiones de gran tonelaje, como lo son los 797B CATERPILAR (Figura 2-4), que tienen un peso de 254 toneladas sin carga y de 624 toneladas cuando están completamente cargados de material (MINERÍA CHILE, 2014). Dada la gran magnitud de cargas, es que no se usan caminos pavimentados para la explotación minera en superficie, ya que en el caso en que fueran pavimentados al poco tiempo se agrietaría toda su superficie perdiéndose toda la inversión. Estos camiones tienen un costo aproximado de cuatro millones de dólares, teniendo una vida útil de 15 años (MINERÍA CHILE, 2014). Las empresas mineras tardan en promedio dos años en que un camión de este tipo este operativo desde el momento en que se realiza la orden de compra a menos que arrienden este vehículo (MINERÍA CHILE, 2014).



Figura 2-4: Camión 797B CATERPILLAR completamente cargado en faenas de la mina Collahuasi, región de Tarapacá (MINERÍA CHILE, 2014).

Al año 2014 se estimaba que en el país había 1.592 camiones de este tipo identificados (MINERÍA CHILE, 2014). Debido a las características de estos camiones, así como de otros vehículos de grandes dimensiones que operan en las faenas mineras, es entendible la gran cantidad de recursos que destinan las empresas mineras para tener sus caminos en buen estado, ya que vías en malas condiciones repercuten en una disminución de la productividad de las maquinarias, así como en su vida útil. Además, se debe considerar a nivel mundial que los vehículos utilizados son cada vez más grandes y que están en proceso de automatización (MINERÍA CHILE, 2014), es decir, que ya ni si quiera un conductor a control remoto las dirigirá, si no que tendrán recorridos programados, disminuyendo las opciones de esquivar deterioros presentes en estos caminos no pavimentados. Es por ello por lo que nace la importancia de contar con nuevas metodologías de inspección de caminos, que sean económicas y confiables, además de que entreguen una mayor seguridad para el equipo que realiza las mediciones de deterioros, y en donde el uso de un sistema de cámaras para grabar la superficie del camino corresponde a una nueva opción de inspección que puede ser muy útil para esta industria.

2.3.2 FORESTAL

Los caminos forestales son otras de las vías no pavimentadas que se usan en gran extensión, siendo críticas en el proceso de cosecha de bosques. Considerando las reglamentaciones medioambientales que prohíben el uso de material no autóctono de la zona de faena para el mejoramiento de vías (Ley de Bases del Medio Ambiente N°19300, Reglamento del Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental) (Gayoso & Acuña, 1999), se considera el uso de sistema de gestión de caminos como una herramienta necesaria para tener vías en buen estado, ya que ayuda

a minimizar los costos operacionales de transporte, alarga la vida útil de los camiones de transporte de troncos, disminuye los tiempos de viaje incurridos en la ida y vuelta de transporte de productos y ayuda a mantener siempre operativas las vías. El uso de un sistema de gestión de caminos logra una minimización de las pérdidas de productividad que se pudiesen tener debido a caminos que estén en un estado intransitable. Además, se debe considerar que, en su mayoría los suelos en donde se construyen estos caminos forestales son arcillosos y altamente expansivos, lo que el uso de técnicas de mejoramiento como son la estabilización química y que junto a una frecuente inspección del estado de los caminos permite tener caminos confiables y en buen estado que puedan soportar las altas cargas de tráfico que se producen debido al transporte de la cosecha de bosques (Figura 2-5). En torno al impacto económico que tiene la industria forestal en nuestro país, en el año 2016 según cifras del Banco Central tuvo movimientos económicos de 4.538 millones de dólares, equivalentes al 1,71% del PIB nacional del mismo año (Banco Central de Chile, 2016), industria que además es una de las principales actividades económicas que existen en la zona centro-sur del país, entregando una gran cantidad de empleos para los habitantes del sector.



Figura 2-5: Camión completamente cargado de troncos circulando a través de caminos forestales (fuente: propia).

2.3.3 AGRÍCOLA

Otra actividad económica que demanda una gran cantidad de caminos no pavimentados es la agrícola. Estos son de gran uso para el acceso a las zonas de cultivo y al transporte de los productos agrícolas a sus lugares de procesamiento. Pero, es sabido que los problemas de suspensión de polvo son permanentes en estas vías, afectando la producción de cultivos cercanos a los caminos agrícolas; pero igual de importante son los altos costos operaciones producidos en los vehículos en situaciones en que las calzadas (tierra o de grava) se encuentran en mal estado. Incluso, las calaminas, baches y ahuellamientos son deterioros que en ocasiones pueden llegar a ser causante de accidentes. La industria agropecuario-silvícola tiene un gran impacto en la economía nacional, teniendo al año 2016, según cifras del Banco Central, movimientos económicos evaluados en 8.544 millones de dólares correspondientes al 3,22% del PIB nacional (Banco Central de Chile, 2016). Se espera que esta industria tenga un crecimiento sostenido en el tiempo, debido fundamentalmente al estatus de potencia agroalimentaria que está teniendo Chile en el mundo que es favorecida por su condición de aislamiento de plagas debido a sus fronteras naturales (desierto de Atacama y la cordillera de Los Andes), que, junto a reservas de aguas, posee suelos con buen contenido orgánico y una buena radiación solar hacen cada vez más atractiva a la industria para futuras inversiones. Por lo que este crecimiento de la industria debe ir de la mano con la construcción de una gran red de caminos no pavimentados de buena calidad (Figura 2-6), que permitan una correcta explotación de frutas y hortalizas, en donde la implementación de sistemas de gestión de caminos será fundamental para tener una red sostenible en el tiempo, optimizando los siempre escasos recursos disponibles.



Figura 2-6: Camino agrícola en plantación de cerezos, comuna de Pichidegua sexta región (fuente: propia).

2.4 SISTEMA DE GESTIÓN DE CAMINOS

El concepto de gestión hace referencia a la acción y a la consecuencia de administrar algún proceso. Gestionar es llevar a cabo acciones que tienen como propósito resolver una situación o materializar un proyecto, mejorando su rendimiento y competitividad.

Un sistema de gestión vial (denominado SGV por sus siglas) es el conjunto de operaciones que tienen como objetivo conservar por un periodo de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación de caminos, soportando las condiciones climáticas y de entorno de la zona en que se ubica la vía en cuestión. Todo lo anterior minimizando los costos monetarios, social y ecológico (De Solminihac T., 1998). Los caminos tienen por propósito servir al tránsito en forma segura, confortable y de manera eficiente, por tal motivo es importante realizar labores de conservación adecuadas y oportunas en ellos, y es por su importancia que surge la necesidad de contar con sistema de administración de los caminos en general. Un sistema de gestión de caminos proporciona un método sistemático y consistente para seleccionar las necesidades de ejecutar actividades de mantención y rehabilitación, y de determinar sus prioridades y el tiempo de reparación óptimo utilizando predicciones futuras del estado del camino. Estas acciones de mantención/rehabilitación aplicadas en el tiempo mantienen un nivel de servicio adecuado, tanto en el aspecto funcional como estructural.

En la Figura 2-7, al costado izquierdo se presenta un gráfico que representa el comportamiento general de los caminos para los casos en que no se realizan actividades de mantención/rehabilitación en el tiempo, en donde se puede observar que en un determinado momento ocurre un acelerado deterioro de la calidad de la vía. En cambio, en el gráfico del costado derecho de la Figura 2-7 se presenta la prolongación de la vida útil que se tiene en un camino producto de la aplicación de actividades de mantención/rehabilitación en los momentos oportunos minimizando los costos funcionales que tienen que sufrir los conductores y los administradores de caminos, públicos como privados (SHAHIN, 2005).

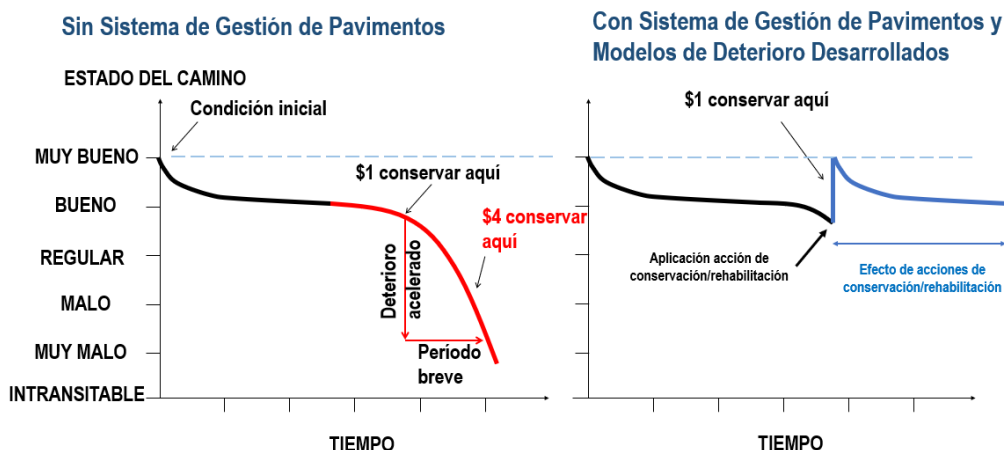


Figura 2-7: Curva de comportamiento del estado de un camino sin y con realización de actividades de mantención/rehabilitación (SHAHIN, 2005).

Puesto que los caminos son diseñados para tener una duración determinada, la no realización de una mantención adecuada significará que en el corto plazo el camino entregará un servicio de menor calidad al esperado. Esta situación incentiva la creación e implementación de sistemas de gestión de caminos.

La gestión de caminos no es solamente un mecanismo para seleccionar actividades de mantención/rehabilitación, sino que es un proceso global que incluye todas aquellas actividades involucradas en proporcionar caminos de buena calidad, entre las que se cuentan: adquisición de información inicial, planificación y programación de mantención, rehabilitación y nueva construcción, diseño de detalles de proyectos individuales y de seguimiento periódico de caminos existentes. La gestión identifica las mejores estrategias priorizándolas para su implementación (SHAHIN, 2005).

2.4.1 OBJETIVOS DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CAMINOS

El objetivo básico de un SGV es usar información segura y consistente para desarrollar criterios de decisión, otorgar alternativas realistas y contribuir a la eficiencia en la toma de decisiones, para así conseguir un programa de acción económicamente óptimo, en el cual se provea una retroalimentación de las consecuencias de las decisiones tomadas, como medio de asegurar su efectividad (SHAHIN, 2005). El propósito final de un SGV es poder manejar todos estos elementos a través de un conjunto complementario de actividades que permitan un funcionamiento armónico de la infraestructura. Para tales efectos el sistema debe ser actualizable, permitir comparación de

alternativas e identificar la óptima, basando sus decisiones en atributos, criterios y restricciones cuantificables, además de usar información de retroalimentación para evaluar las consecuencias de decisiones tomadas. Es en este punto en donde el contar con una metodología de inspección objetiva, eficiente y confiable es crucial.

2.4.2 ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CAMINOS

Una típica estructura general de un SGV debe contar con los siguientes ítems: planificación, diseño, construcción, mantenimiento, evaluación, base de datos e investigación (Figura 2-8) (De Solminihac T., 1998).

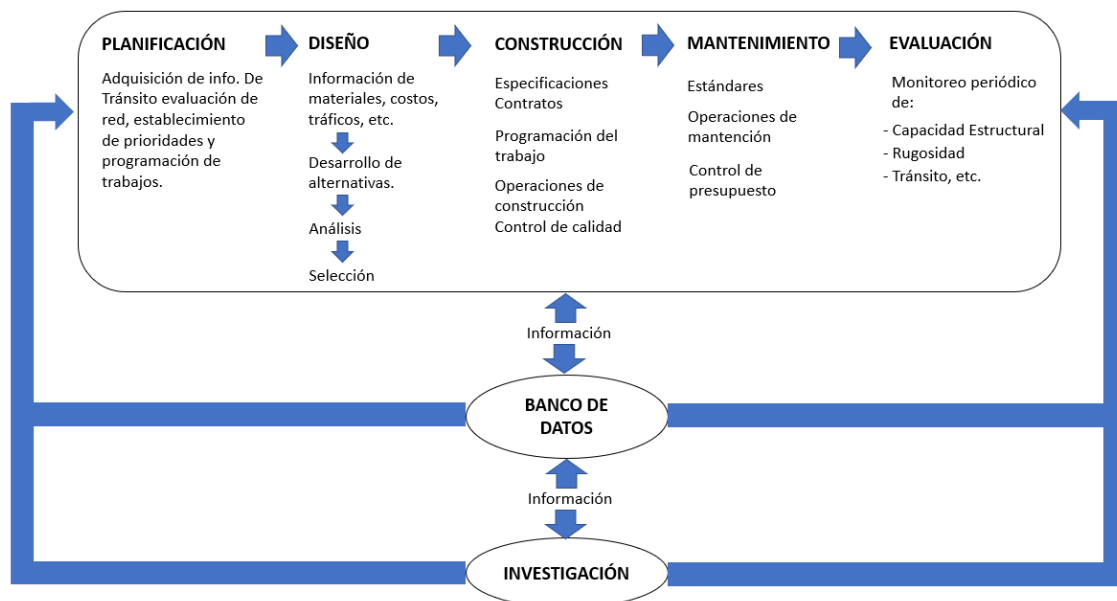


Figura 2-8: Estructura general de un sistema de gestión vial (De Solminihac T., 1998).

Como el proceso de elaboración del diseño y construcción de un camino corresponden a un periodo breve respecto del total del tiempo esperado de su operación (en la práctica, es en estas etapas en donde se concentra la mayor parte de los recursos técnicos y económicos, obviando todo el periodo de operación del camino), es el mantenimiento y la evaluación de los caminos los que requieren un mayor tiempo destinado en el tiempo por parte de los administradores de una red a lo largo de toda su vida útil. Es por ello por lo que cualquier esquema de conservación que piense implementar en un SGV debe garantizar los siguientes puntos (De Solminihac T., 1998):

- Adecuada conservación de los caminos de la red a un costo apropiado.

- Que la red vial sea mantenida siguiendo un programa de largo plazo.
- Que se optimice el costo y beneficios del sistema, racionalizando el uso de recursos.
- Que exista un permanente control de los efectos sobre el medio ambiente.
- Que se implemente un control de la efectividad de la conservación.

2.4.3 LOS NIVELES DE PROYECTO Y RED EN GESTIÓN DE CAMINOS

La gestión de caminos opera en dos niveles principales, conocidos como nivel de proyecto (un camino en particular) y nivel de red (por ejemplo, una ciudad, una región, etc.), que se consideran como las instancias más importantes para la toma de decisiones. Ya que decisiones globales afectan a la red caminera como un todo (gestión a nivel de red) y decisiones más específicas afectan a los proyectos individuales (gestión a nivel de proyecto). En la Figura 2-9 se presenta esquemáticamente los conceptos de nivel de red y nivel de proyecto.

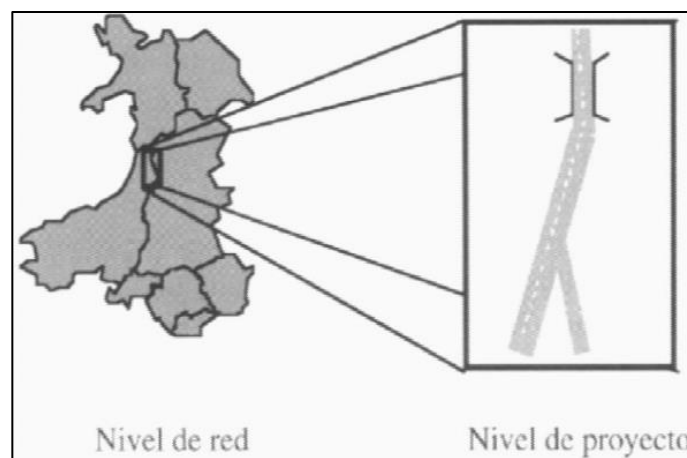


Figura 2-9: Esquemas de Nivel de Red y Nivel de Proyecto (De Solminihac T., 1998).

Para una mayor comprensión sobre estos dos niveles de administración de caminos, se describen algunas de sus principales características:

Gestión a Nivel de Red

El nivel de red incluye fundamentalmente un proceso de observación de un conjunto de pavimentos que conforman una red de caminos, que con dicha información se deben planificar decisiones para grandes grupos de proyectos o una red de caminos completa a fin de optimizar la asignación de recursos. Los principales componentes que se tienen a nivel de red son (De Solminihac T., 1998):

1. Programación.
2. Planificación.
3. Definición de presupuestos para todos los programas.

La gestión a nivel de red tiene por propósito el desarrollo de un programa prioritario y organizado de rehabilitación, mantención o construcción de nuevos caminos teniendo en cuenta la restricción de presupuestos correspondientes. En donde esta priorización de los proyectos que podrían ser llevados a cabo en el ámbito de la gestión de la red, se enmarcan en la disponibilidad presupuestaria de los administradores en cada período (de un año, por ejemplo). Para tales efectos, se debe considerar la condición de los caminos en cuanto a su serviciabilidad o de su clasificación de estado superficial que existe en la red, la que se hace mediante la recolección periódica de datos que permita determinar esas características.

Las principales actividades que se realizan cuando se gestionan caminos a nivel de red son las siguientes (De Solminihaç T., 1998):

- Identificación de necesidades y “vías candidatas” a ser mejoradas dentro de la red de caminos. Dentro de la identificación futura se contempla la aplicación de modelos de comportamiento y de deterioro de caminos.
- Generación de alternativas para cada proyecto candidato o sección a mantener.
- Selección de períodos de análisis, tasa de descuento, niveles de calidad mínimos de caminos, etc. Definiciones necesarias para realizar el análisis técnico-económico e identificación de las bases para la decisión.
- Análisis técnico de cada alternativa en función del comportamiento esperado del camino.
- Análisis económico de cada alternativa en función de los costos y beneficios esperados para el ciclo de vida del camino.
- Desarrollo de un programa para nuevas construcciones, mantención y rehabilitación de los caminos de la red en estudio.

Gestión a Nivel de Proyecto

Es el proceso de observación de un proyecto o pavimento en particular que tiene por propósito determinar el momento oportuno en que se debe realizar la mantención y/o rehabilitación. Usa datos específicos de cada proyecto y otorga varias opciones de acuerdo con los objetivos; los modelos usados a este nivel requieren la información detallada en secciones individuales de un camino. La gestión a nivel de proyecto define claramente los requerimientos de un proyecto en particular, haciendo caso omiso del estado de los caminos contiguos, por lo que se toman decisiones detalladas requiriendo información detallada de secciones específicas de un camino. Estas decisiones específicas corresponden básicamente a la definición de actividades de conservación, reconstrucción o de construcción de un nuevo camino. Los principales aspectos que componen la gestión a nivel de proyecto son (De Solminihac T., 1998):

1. Diseño que realizar para cada camino en específico.
2. Construcción de un camino en específico.
3. Selección de actividades de mantención y rehabilitación que realizar en un camino en específico.

La principal información que se requiere para realizar un estudio a nivel de proyecto se puede agrupar en los siguientes ítems (De Solminihac T., 1998).

- i. Cargas que recibe el camino.
- ii. Factores ambientales que lo afectan.
- iii. Características de los materiales que lo constituyen.
- iv. Propiedades de su base, subbase y subrasante.
- v. Variables de construcción y mantención.
- vi. Costos.

Información que, para el caso de los caminos no pavimentados, dada su gran extensión, es muy difícil disponer de manera permanente, lo que hace más dificultosa su administración a nivel específico. Finalmente, las principales actividades que se realizan en una gestión a nivel de proyecto son (De Solminihac T., 1998):

- Toma de datos precisos tanto en terreno, laboratorio (u otros) y procesamiento de estos.
- Análisis técnico y económico de las alternativas de acción para el proyecto en específico.
- Selección de la mejor alternativa: detallando el plan de acción, los costos, etc.
- Implementación del plan de mantención previamente planteado en la administración a nivel de red.

En general, un sistema de gestión completo y eficiente de caminos debe producir la información necesaria para apoyar las decisiones que toman las distintas personas, sean administradores, ingenieros, legisladores, etc., tanto a nivel de red como de proyecto, pues el sistema por sí sólo no es quien toma las decisiones, pero si puede allanar el camino a las autoridades encargadas.

2.4.4 GESTIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS

La gestión de caminos no pavimentados presenta ciertas diferencias respecto a su homólogo de caminos pavimentados, las que corresponden principalmente a la escasa información útil que se tiene sobre ellos, como lo es: el volumen y tipo de tránsito que las transitan, acciones climáticas, y el estado estructural y funcional que se tienen en cierto instante (debido a la alta variación en el tiempo que se tiene en estos caminos). Una explicación es que se debe a la gran extensión de la red no pavimentada que posee nuestro país, situación compartida con países como Sudáfrica, Australia, entre otros. Al igual que en Chile, en dichos países han realizado investigaciones sobre el tema, teniendo como objetivo contar con un sistema de gestión de caminos que abarque la mayor cantidad de vías, siempre considerando las restricciones presupuestarias. A continuación, se describen algunas características del sistema de gestión de caminos no pavimentados utilizado en Sudáfrica y el que actualmente realiza la Dirección de Vialidad de Chile.

i. “Maintenance and Design System” MDS

En Sudáfrica, desde los años 80 que se está utilizando el sistema de gestión “Maintenance and Design System” (MDS), en el que se utilizan modelos que permiten evaluar posibles estrategias de mantención de una red de caminos no pavimentados, determinando la asignación de recursos de mantención que minimicen el costo total del transporte. El sistema MDS ayuda a las autoridades respondiendo preguntas como (Gaete P. & Visser, 1990):

- ¿Cuánto dinero debería gastarse en gravillado y qué volumen de material será requerido anualmente, para mantener un equilibrio entre gastos de colocación?
- ¿Qué presupuesto se requiere para efectuar una mantención rutinaria?
- ¿Cuál debería ser el presupuesto de mantención óptimo para la red?
- ¿Cuántas motoniveladoras se requieren para efectuar la mantención de la red de acuerdo con el presupuesto seleccionado?
- ¿Cuál debe ser la frecuencia con que cada tramo debe ser perfilado para asegurar una óptima asignación de recursos de mantención?
- ¿Qué caminos requieren una mantención especial para no comprometer su integridad estructural?
- ¿Qué caminos son adecuados para justificar su pavimentación y qué fondos se requieren para ello?

Para poder responder estas preguntas, el sistema MDS está compuesto de las siguientes etapas (Gaete P. & Visser, 1990).

1. Cálculo de un ranking de las distintas estrategias de perfilado para un determinado tramo uniforme de una ruta, en términos del costo total.
2. Evaluación técnica en base a la inspección visual de la red¹⁴.
3. Optimización de la estrategia para la red de carreteras no pavimentadas, sujeta a restricciones presupuestarias y a otros criterios como ser la necesidad de asegurar la transitabilidad de un tramo durante todo el año.
4. Determinar para algunos tramos en particular, las prioridades de pavimentación, en base a criterios económicos y técnicos¹⁵.

¹⁴ En esta etapa se podría utilizar la metodología de inspección del ICNP_{CAM} si es que se desea implementar la metodología MDS en el país (en organismos públicos como privados).

¹⁵ El modelo utilizado por el MDS considera dos criterios que se deben cumplir por separado para la pavimentación de un camino. Criterio N°1 “*Valor presente neto en todo el periodo de evaluación*”; y el criterio N°2 “*Beneficios del primer año*” (Gaete P. & Visser, 1990).

ii. Subdirección de Mantenimiento, Dirección de Vialidad - Chile

Para el caso nacional, la Subdirección de Mantenimiento de la Dirección de Vialidad es la encargada de llevar a cabo el mantenimiento de la red vial a través de las Direcciones Regionales de Vialidad en conjunto con el Nivel Central (Ministerio de Obras Públicas, 2014). Para el caso de los caminos pavimentados, parte importante de su gestión se realiza utilizando el software HDM-4 elaborado por el Banco Mundial, herramienta computacional que permite realizar evaluaciones técnico-económicas de redes viales con el objetivo de administrarlas. Para el caso de las vías no pavimentadas, el uso de este software no es óptimo para evaluar su comportamiento, ya que sólo tiene incorporado un modelo de predicción de la pérdida de espesor de la superficie de rodadura, no considerando los deterioros/factores que describen de mejor forma el verdadero estado del camino. Esta desventaja del uso del software HDM-4 está siendo suplida mediante la elaboración del indicador Índice de Condición de Estado de Caminos no Pavimentados (ICNP por sus siglas) y de umbrales de intervención definidos en las “Políticas de Conservación Vial, Etapa 3 Caminos No Pavimentados” (Ministerio de Obras Públicas, 2014). Con este indicador se posee una metodología establecida a nivel gubernamental, determinando el estado de los caminos no pavimentados considerando una serie de deterioros/factores que no toma en cuenta el HDM-4, haciendo muy poco utilizable este software para la gestión de este tipo de caminos.

De todas formas, en todos estos sistemas de administración de caminos que existen en la literatura, uno de sus aspectos críticos es contar con una metodología de inspección de caminos que sea de uso simple pero que entregue resultados confiables del verdadero estado de un camino, ya que a partir de esta información es que se proponen las actividades de mantención/rehabilitación, y de ellos la designación de recursos a las unidades locales de administración.

2.5 EVALUACIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS

2.5.1 Características de la evaluación de caminos no pavimentados

Los principales factores que afectan el deterioro de un camino, pavimentado o no pavimentado, son el tránsito y el clima. En caminos no pavimentados el tránsito contribuye al deterioro del camino por dos motivos, las cargas de tránsito aplicadas y la acción abrasiva de los neumáticos de los vehículos (Thenoux Z., Vera, & Halles A., 2004). En el caso del clima, éste afecta principalmente debido a las lluvias, las que pueden erosionar la superficie del camino, acumulándose en las

deformaciones de la superficie formando puntos de debilidad, o saturar las capas granulares del suelo, reduciendo su capacidad de soporte.

Los caminos no pavimentados son susceptibles a un rápido deterioro, el cual es gobernado principalmente por el comportamiento del material de la superficie y de la subrasante bajo la acción combinada del tránsito y condiciones climáticas. Tal deterioro es también influenciado por los estándares de construcción y las obras de drenaje adoptadas. Es por ello que la inspección debe ser más frecuente que en caminos pavimentados, dada la alta variabilidad del estado de calzada ante solicitudes de tránsito y de clima. El procedimiento para detectar acciones de conservación debiera repetirse entre 1 a 4 veces cada año, intensificando la inspección en tramos donde el tránsito y el clima evidencien un cambio más rápido en la condición de los caminos (en base a registros históricos). Aunque la inspección está sujeta al presupuesto que tiene la administración para aquello, idealmente se podrían realizar las siguientes cantidades de inspecciones que se presentan en la Tabla 2-3 (Namur Y., 2008) con las siguientes frecuencias:

Tabla 2-3: Frecuencia de inspecciones anuales mínimas recomendadas según clima y TMDA (Namur Y., 2008).

CLIMA	TMDA		
	Bajo	Medio	Alto
Seco	1	1	2
Húmedo	2	3	3
Lluvioso	3	4	4

De todos modos, la frecuencia de inspección debe ser fijada con antelación y debe ser ajustada según la variación real que tenga la condición de cada camino particular en el tiempo.

2.5.2 Principales deterioros a evaluar

Los deterioros en los caminos no pavimentados tienen como particularidad que se pueden permitir su presencia en dimensiones que son relativamente visibles a simple vista, sin necesitar de equipos sofisticados para su identificación y dimensionamiento aproximado. Los principales deterioros superficiales que se pueden evidenciar son los siguientes (Thenoux Z., Vera, & Halles A., 2004) (Ministerio de Obras Públicas, 2014):

- Baches
- Corrugaciones (Calaminas)

- Ahuellamiento
- Pérdida de material - Material suelto
- Surcos de erosión
- Deformación de la sección transversal
- Ablandamiento de la superficie
- Generación de polvo

2.5.3 Principales metodologías de inspección existente en la literatura

Maintenance and Design System (MDS) - Sudáfrica MDS

En esta metodología de inspección principalmente considera el espesor de la carpeta de grava, su granulometría y la rugosidad que posee el camino. A partir de estos valores evaluados y utilizando modelos de predicción de la pérdida de grava (espesor), del avance de la rugosidad y de los efectos del repavimentado en la rugosidad, se pueden proyectar las necesidades de mantención necesarias además de entregar un ranking de actividades de mantención/rehabilitación a incurrir por camino (Gaete P. & Visser, 1990). Pero, los modelos que contiene que posee el MDS, en una primera instancia no podrían ser utilizados en nuestro país ya que deberían calibrarse a la realidad de los caminos nacionales, siendo necesario ver cómo sería su implementación. Otra dificultad que tiene la implementación de esta metodología en el país es la falta de equipos de medición de rugosidad para la obtención del IRI, ya que, debido a sus altos costos, el Laboratorio Nacional de Vialidad del MOP sólo cuenta con dos rugosímetros tipo respuesta (Medidor de Irregularidad Superficial, SMIS-4, correspondiente a un rugosímetro clase 3); equipos que requieren de constantes calibraciones. Todas estas dificultades técnicas, de material y de recurso humano se agudizan por la gran extensión de la red no pavimentada existente en el país que se debe administrar.

Unsurfaced Road Maintenance Management - EEUU

En el año 1987 el Cuerpo de Ingeniero Militares de Estados Unidos presento el documento “Unsurfaced Road Maintenance Management” (Eaton & Beaucham, 1987), el que es un método simple de inspección de caminos no pavimentados para ser utilizado en las agencias de carreteras locales para administrar sus carreteras no pavimentadas, en la que se determina la condición de la superficie y calidad del drenaje de caminos no pavimentados de manera objetiva, confiable y

repetible. Se utiliza el indicador URCl¹⁶ (Unsurfaced Road Condition Index), el que representa el estado global del camino y en donde cuyo patrón numérico varía entre 0 y 100 puntos, siendo 0 la representación del camino en un estado “fallido” (condición de falla) y 100 puntos con un estado “Excelente” (camino nuevo bien construido).

En esta metodología considera la inspección en terreno de los siguientes deterioros/factores propios de los caminos no pavimentados: sección transversal inadecuada, drenaje inadecuado en la carretera, corrugaciones (calaminas), el polvo en suspensión, baches, ahuellamiento y el agregado suelto.

Es importante mencionar que esta metodología si toma en cuenta el polvo en suspensión generado por el tránsito de un vehículo, a diferencia de otras metodologías de inspección existentes en la literatura. Esta prueba consiste en la circulación de un vehículo a 25 mph (40 km/h) en que se estima el tamaño de la nube generada a través de la altura de baja visibilidad (Baja-menor a 90 cm / Media-entre 90 y 180 cm / Alta-mayor a 180 cm) (Figura 2-10).

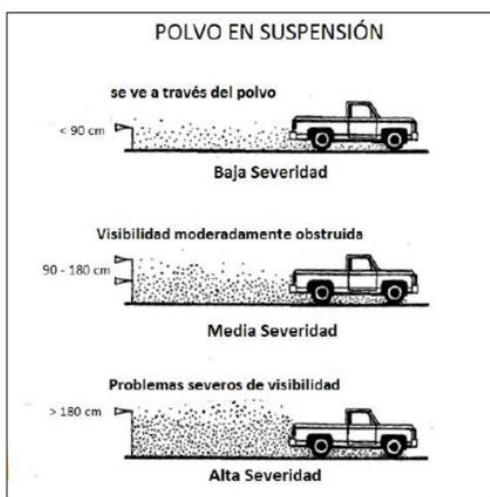


Figura 2-10: Niveles de severidad del polvo en suspensión (Eaton & Beaucham, 1987).

En cuanto a la obtención del URCl, este consigue registrando los deterioros/factores existentes dentro de una sección de muestra de 100 pies largo (30,48 m) por el ancho de la calzada, la que será

¹⁶ De obtención similar al PCI (pavement condition index), en el que se utiliza el mismo procedimiento de obtención del valor del indicador final de la unidad de muestra inspeccionada.

representativa del estado global de cierto camino. Los deterioros/factores registrados se clasifican por su nivel de severidad (Baja, Media o Alta) y por su densidad dentro de la sección inspeccionada. Con dicha información, se procede al cálculo de los valores deducibles (Deduct Value) por deterioro/factor mediante la utilización de curvas calibradas obtenidas para la realidad de los caminos no pavimentados de EEUU. Con ya todos los valores deducibles obtenidos de los deterioros, junto con la cantidad de distintos deterioros registrados y utilizando un último gráfico (Figura 2-11), se obtiene el valor final del URCI de la sección inspeccionada (Eaton & Beaucham, 1987).

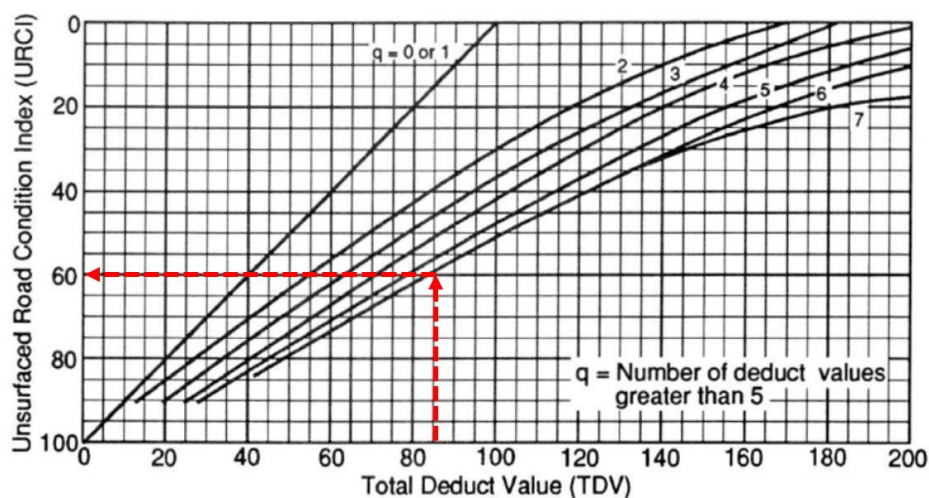


Figura 2-11: Obtención final del URCI (Eaton & Beaucham, 1987).

Finalmente, dado el valor del URCI y siguiendo el ranking de la Figura 2-12 se clasifica el estado del camino no pavimentado inspeccionado.

100	Excellent
85	Very Good
70	Good
55	Fair
40	Poor
25	Very Poor
10	Failed
0	

Figura 2-12: Escala de clasificación según valor del URCI (Eaton & Beaucham, 1987).

La metodología de inspección de deterioros de caminos no pavimentados oficial en Chile es la descrita en el documento “Instructivo de Inspección Visual de Caminos No Pavimentados” (2007) elaborado por DDQ Consultores por encargo de la Dirección de Vialidad del MOP (DDQ Ingeniero Consultor, 2007). Los deterioros/factores que considera son los siguientes¹⁷: bombeo (perfil transversal), calidad del drenaje, calaminas, ahuellamiento, afloramiento e incrustación de partículas gruesas (superficie pedregosa), baches y la erosión (presencia de surcos).

En este documento se definen los conceptos de zona de muestra (Z.M.) y de unidad de muestra (U.M.) de un camino no pavimentado, los que se utilizan para definir sus zonas de evaluación, ya que sería altamente dificultoso y costoso el poder recolectar información de la totalidad de kilómetros que componen la red no pavimentada nacional (DDQ Ingeniero Consultor, 2007). Se define como zona de muestra (Z.M.) a la subdivisión de un camino en una longitud de 1 km por el ancho de toda su calzada; Z.M. que a su vez se divide en áreas más pequeñas de 50 metros de longitud denominadas unidades de muestra (U.M.). Es en esta U.M. en donde se recolectan los deterioros/factores en terreno, a excepción de la erosión en que se debe evaluar su existencia a lo largo de toda la Z.M. (DDQ Ingeniero Consultor, 2007).

El instructivo hace diferencia de la inspección dependiendo del nivel de gestión que se desea realizar, ya sea a nivel de red o a nivel de proyecto. Se establece que para el caso de inspección a nivel de red la Z.M. deberá contar con una sola U.M., la que será ubicada desde el metro 0 al 50 (al comienzo del kilometraje); y para el caso de la inspección a nivel de proyecto, debido al mayor nivel de detalle de deterioros/factores que se necesita conocer, se establecen dos U.M. para cada Z.M., la primera ubicada al principio (0 al 50 metro) y la segunda en su mitad (del 500 al 550 metro). En las Figuras 2-13 y 2-14 se representan las Z.M. y U.M. que se deben considerar para las inspecciones a nivel de red y de proyecto respectivamente.

¹⁷ No señala al polvo en suspensión como deterioro/factor a medir.

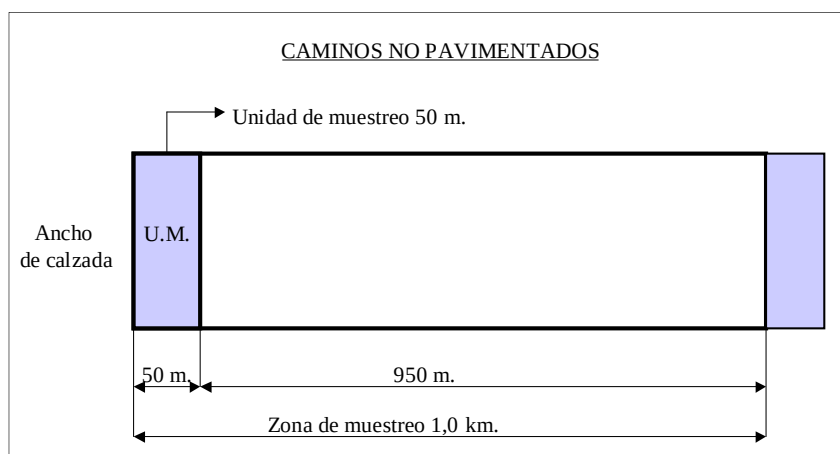


Figura 2-13: Esquema unidades y zonas de muestreo a nivel de Red (DDQ Ingeniero Consultor, 2007).

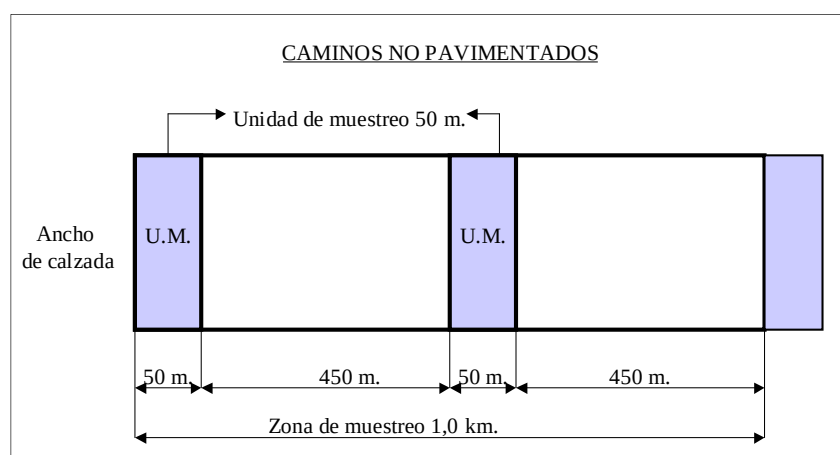


Figura 2-14: Esquema unidades y zonas de muestreo a nivel de proyecto (DDQ Ingeniero Consultor, 2007).

2.6 ÍNDICE DE CONDICIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS ICNP- CHILE

El ministerio de obras públicas en el año 2014 publicó el documento “Políticas de Conservación Vial Etapa 3 - Caminos No Pavimentados” (Ministerio de Obras Públicas, 2014). En él se describe el actual modelo de gestión utilizado en el país para la administración de los caminos no pavimentados¹⁸, como es que operan las distintas direcciones regionales de vialidad respecto a la conservación de aquellos caminos y se describen las principales actividades de conservación y rehabilitación que se ejecutan en los caminos no pavimentados según la experiencia nacional recolectada en el tiempo. También se mencionan las cuatro modalidades de conservación (tipos de contratos) que utiliza la

¹⁸ Llevado a cabo por las Direcciones Regionales en conjunto con el Nivel Central de la Dirección de Vialidad (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

Dirección de Vialidad para la gestión de conservación de la red nacional bajo su administración¹⁹. En el actual modelo de gestión de caminos no pavimentados, son varios los actores que son considerados para programar los planes de conservación/mejoramiento de las vías, los que entregan información necesaria del estado de los caminos junto con el requerimiento de su uso expresado por la ciudadanía²⁰. Para un mejor entendimiento, en la Figura 2-15 se presentan los actores que son considerados en la elaboración de los planes anuales de conservación/mejoramiento de los caminos no pavimentados.



Figura 2-15: Principales actores involucrados en la conservación de los caminos no pavimentados (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

En este documento, se realizó un diagnóstico de la situación actual de la gestión de los caminos no pavimentados utilizado para ese entonces, recogiendo una serie de dificultades presentadas de manera jerarquizada (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

- (1) Falta de presupuesto.
- (2) Falta de recursos para detectar necesidades proactivamente.
- (3) Falta de recursos para elaborar los proyectos de conservación.
- (4) Desconocimiento o debilidad en el uso de herramientas que permitan optimizar el uso de los recursos en conservación.
- (5) Requerimiento de mayores recursos para inspeccionar las obras de conservación.

¹⁹ Conservación por Administración Directa; Contratos Globales de Conservación; Contratos Globales Mixtos de Conservación y Conservación por Contratos Individuales – Tradicionales o Periódicos (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

²⁰ Aunque la conservación de los caminos no pavimentados está a cargo principalmente de los departamentos de conservación, apoyada por las oficinas provinciales, los usuarios tienen el rol de directos beneficiarios o perjudicados por el estado en que se encuentran las vías no pavimentadas. Por esta razón, es que su opinión y requerimientos diarios son tomados en cuenta por las autoridades en la conformación de lista de priorización de los caminos que necesitan intervenciones más frecuentes en el tiempo.

- (6) Uso no sistematizado de criterios de priorización.
- (7) Falta mayor capacitación.
- (8) Baja gestión regional para conseguir otros recursos de aporte con empresas privadas, municipios, gobiernos regionales, entre otros.

De dichas dificultades, es que surgieron medidas que ayudarían a disminuirlas. Una de esas fue el establecimiento de una metodología objetiva para la inspección de deterioros, junto con el desarrollo del parámetro ICNP (Índice de Condición de Caminos no pavimentados) para caminos de ripio y tierra.

2.6.1 Expresiones del ICNP

La metodología de identificación y valorización de los de deterioros está descrita en el documento “Instructivo de Inspección Visual de Caminos no Pavimentados” (DDQ Ingeniero Consultor, 2007), el que permite contar con una valoración cualitativa de los daños presentes en cada uno de los tramos homogéneos que componen el camino objeto de evaluación. Ya con las valorizaciones de los deterioros, se utilizan las ecuaciones matemáticas (II-2 o II-3, según sea el caso²¹) de obtención del indicador ICNP obteniendo una calificación continua del camino que va desde un valor de 10,0 (camino nuevo en buen estado) a un 1,0 (camino en estado fallido, intransitable).

i. Ecuación con equipos de auscultación

$$ICNP = 11,64 - 0,41 * IRI - 1,60 * Erosión - 0,40 * Ahuellamiento - 1,79 * Camino Pedregoso \\ \dots - 1,57 * Bombeo) \quad (II-2)$$

ii. Ecuación sin equipos de auscultación

$$ICNP = 10 - 1,15 * (1,01 * Calamina + 1,96 * Baches + 1,28 * Erosión + 0,29 * Ahuellamiento + .. \\ \dots + 1,36 * Camino Pedregoso + 1,37 * Bombeo) \quad (II-3)$$

²¹ La ecuación II-2 se utiliza para los casos en que se realizaron mediciones de rugosidad (IRI) mediante equipos de auscultación, las que son recomendables para inspección a nivel de proyecto; y la ecuación II-3 que se utiliza para los casos en que no se cuenta con estos equipos, las que son recomendables para inspección a nivel de red (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

En donde:

- Calamina : Se ingresa la profundidad media, en cm.
- Baches : Se ingresa el resultado del siguiente cálculo: Baches = profundidad media (m)*diámetro medio (m)*N° de baches en U.M.
- Erosión²² : Se ingresa 1 si la erosión es importante y 0 si no lo es.
- Ahuellamiento : Se ingresa la profundidad media, en cm.
- Bombeo (Drenaje) : Se cuantifica con 0 si el bombeo es bueno (perfil transversal convexo), con 0,5 si es regular y con 1 si es malo (perfil transversal cóncavo y/o con irregularidades).
- Camino Pedregoso : Se ingresa 1 si el deterioro se detecta y 0 si no.
- IRI : Si existen valores de IRI, se ingresan en m/km.

Este último parámetro, el IRI, es el indicador internacional que mide la rugosidad de un camino, es decir, mide la variación que tiene el terreno respecto a una trayectoria uniforme. Este indicador proviene de un modelo teórico que consiste en un conjunto de masas que se mueven en forma vertical al avanzar por el camino y sus irregularidades. El valor final dependerá de los desplazamientos verticales de las masas inferior y superior respectivamente divididos por el incremento de la longitud recorrida, es decir, la pendiente instantánea del movimiento de masas. Esta es la razón de que su unidad de medida es m/km. En cuanto a la medición del IRI, se puede realizar de manera directa con equipos Clase 1 y Clase 2 (miden el perfil longitudinal de la huella, con 4 o más mediciones por metro, que tienen una precisión de 0,3-0,5 m/km), o a través de equipos de respuesta que serían los Clase 3 (MIS-2, MIS-4²³, que tienen una precisión de 0,5-1,0 m/km), siendo estos últimos más económicos que los Clase 1 y Clase 2, pero necesitan constantes calibraciones lo que limita la cantidad de mediciones que se pueden realizar en un determinado lapso de tiempo (Pradena M., 2001).

Estas ecuaciones de ICNP se obtuvieron a utilizando información de estado de caminos no pavimentados procedentes de una serie de encuestas realizadas por un panel de expertos nacionales, los que los calificaron con una nota de 1 a 10, caminos a los que a su vez se les midieron

²² Este deterioro debe identificarse su presencia a lo largo de toda la zona de muestra del camino (1 km),

²³ Equipos MIS-4 que el Laboratorio Nacional de Vialidad del MOP tan sólo cuenta con dos unidades, los que son utilizados solamente para medir rugosidad en caminos pavimentados.

sus principales deterioros/factores presentes según lo señalado el instructivo de inspección establecido por el ministerio (DDQ Ingeniero Consultor, 2007). Con esta información se realizó un estudio estadístico mediante una regresión lineal múltiple entre la calificación realizada por el panel de experto y los resultados de los deterioros/factores de los caminos obtenidos por mediciones de campo, análisis de regresión lineal múltiple que contó con posteriores análisis ANOVA (análisis de significancia de los parámetros), obteniendo finalmente las dos expresiones para el ICNP (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

2.6.2 Límites de Estado del ICNP

Ya con el resultado del ICNP de una determinada Z.M.²⁴, junto con el clima predominante en que se encuentra el camino y el tipo de capa de rodadura (ripio o tierra), se puede asignar el “Estado Superficial”²⁵ da la vía según los límites de estado establecidos en las Tablas 2-4 y 2-5.

Tabla 2-4: Límites de asignación de Estado de caminos de ripio (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

ESTADO	SECO	MEDITERRÁNEO	HÚMEDO
MUY BUENO	10,0 a 8,0	10,0 a 8,0	10,0 a 8,0
BUENO	7,9 a 5,0	7,9 a 5,5	7,9 a 7,0
REGULAR	4,9 a 4,0	5,4 a 4,5	6,9 a 5,0
MALO	3,9 a 2,0	4,4 a 2,5	4,9 a 3,5
MUY MALO	1,9 a 1,0	2,4 a 1,0	3,4 a 1,0

Tabla 2-5: Límites de asignación de Estado de caminos de tierra (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

ESTADO	SECO	MEDITERRÁNEO	HÚMEDO
MUY BUENO	10,0 a 7,5	10,0 a 8,0	10,0 a 8,0
BUENO	7,4 a 4,5	7,9 a 5,5	7,9 a 6,5
REGULAR	4,4 a 3,0	5,4 a 4,0	6,4 a 4,5
MALO	2,9 a 2,0	3,9 a 2,0	4,4 a 3,0
MUY MALO	1,9 a 1,0	1,9 a 1,0	2,9 a 1,0

La metodología también define estados dada la presencia de deterioros con valores extremos, en la Tabla 2-6 se presentan dichos valores límites (Ministerio de Obras Públicas, 2014). Estos límites se utilizan en los casos en que los deterioros medidos en las U.M. tengan valores superiores a los establecidos en la Tabla 2-6, llevando a que la calzada sea clasificada automáticamente con un

²⁴ Para los casos de inspección a nivel de proyecto, el ICNP representativo de la Z.M. corresponde al promedio de los dos ICNP medidos.

²⁵ Los estados son: “Muy Malo”, “Malo”, “Regular”, “Bueno” y “Muy Bueno”. Esta clasificación de estado de caminos no pavimentados es la misma utilizada para los caminos pavimentados mediante el indicador ICP (índice condición del camino pavimentado) utilizado en el país (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

estado “Muy Malo” con valor ICNP de 1,0 independiente del resultado arrojado por la expresión matemática respectiva²⁶ (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

Tabla 2-6: Estados definidos para valores máximos extremos de deterioros (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

Deterioro	Valor	Estado del Camino
IRI (m/km)	Mayor a 12	Muy Malo
IRI (m/km)	Menor a 4	Muy Bueno
Calamina (cm)	Mayor a 3	Muy Malo
Baches (m*m totales por km)	Mayor a 2	Muy Malo
Ahuellamiento (cm)	Mayor a 4	Muy Malo
Erosión	Ancho mayor a 5 cm	Muy Malo

2.6.3 Macroacciones de Conservación según el Estado del Camino

Finalmente, la metodología propone ciertas “macroacciones” que se deberían realizar dado el estado del camino no pavimentado, las que son presentadas en la Tabla 2-7 (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

Tabla 2-7: “Macroacciones” de conservación asociadas a los distintos estados (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

Estado del Camino	Macroacción	Tipo de Conservación	Ejemplo Acciones Asociadas
Muy Bueno	Rutinaria	Rutinaria	Limpieza de faja y fosos. Reperfilado.
Bueno	Rutinaria		
Regular	Rehabilitación	Periódica	Reperfilado, Bacheo, Recebo, Corrección perfil transversal.
Malo	Rehabilitación		
Muy Malo	Reconstrucción	Mayor	Reemplazo suelo fundación, Recebo, Corrección perfil transversal

De estas últimas recomendaciones se puede proyectar un valor aproximado del costo de estas acciones, por lo que se podría obtener el valor patrimonial que tiene el camino en el instante de la medición. Algunos valores de acciones de conservación más utilizadas por la Dirección de Vialidad (Ministerio de Obras Públicas, 2014) en términos de precios unitarios son los siguientes:

- Bacheo granulares simple (sin compactación): \$9.000-\$13.000 / m³
- Reperfilado simple (sin compactación): \$39.000 - \$70.000 / Km

²⁶ A excepción del caso en que se haya medido la rugosidad y está sea de un valor menor a 4 m/km, sin considerar los deterioros presentes la vía debe ser clasificada como “Muy Buena”.

- Reperfilado con compactación: \$250.000 - \$750.000 / Km
- Recebo granular simple (esparcimiento capa de grava en toda la calzada): \$8.000-\$24.000 / m³
- Reparación calzada con material integral: \$9.000-\$11.000 / m³

2.7 USO DE GRABACIONES EN INSPECCION DE CAMINOS

En la literatura existe registro del uso técnicas semiautomatizadas para la evaluación de caminos, concentrándose su uso principalmente en las vías pavimentados. Estas técnicas surgieron de la necesidad de abordar los varios inconvenientes que tienen las mediciones manuales de deterioros en caminos, las que principalmente son (De Solminihac T., 1998):

- Riesgo de hacer mediciones en el camino (accidentes en evaluadores)
- Alto costo de la inspección manual por su dificultad y rendimiento
- Variabilidad entre diferentes auscultadores
- Tamaño inadecuado de las muestras

Estas técnicas semiautomatizadas, hoy en día, consisten en su gran mayoría en la recolección automatizada de datos de deterioro por medio de videos o fotografías de la superficie de un pavimento. Necesitan del uso de computadoras portátiles y de “Estaciones de Trabajo”²⁷ para procesar la información, pues se deben identificar y cuantificar los tipos de falla (De Solminihac T., 1998).

En el año 2002, durante la conferencia “Pavement Evaluation Conference, 2002, Roanoke, Virginia, USA” se publicó el artículo llamado “Automated pavement condition index survey”, elaborado por Cline, G D, Shahin, M Y y Burkhalter, J A (Cline, Shahin, & Burkhalter, 2002), en donde en respuesta a la solicitud del Centro de conocimientos de pavimentos naval de Estados Unidos y respaldado por Tri-Service Pavements Group, se realizaron investigaciones sobre nuevas tecnologías de obtención de datos de campo de deterioros para pavimentos, con el fin de aumentar la seguridad y reducir los

²⁷ Lugares físicos en donde procesar la información de deterioros.

riesgos laborales que se tienen durante la recopilación de datos para calles, carreteras y estacionamientos.

Como resultado de este estudio, se desarrollaron metodologías de inspección rápida para carreteras y caminos locales mediante el uso de equipos de inspección automatizados tales como: un conjunto de *cámaras de video*, *dispositivos de generación de perfiles* y *sensores láser*. Con estas tecnologías se realizaron mediciones de deterioros mediante estos equipos en pistas de prueba, junto con la obtención manual de estos últimos, para posteriormente calcular un PCI manual y otro PCI automático. Y con dicha información, se realizó un análisis estadístico comparativo de los resultados (Figura 2-16).

	Manual PCI	Automated PCI
TARAWA 01	83	81
TARAWA 02	38	39
TARAWA 03	67	72
WASP 04	84	85
SINGLETON 06	59	79 (61) ¹
TICONDEROGA 01	40 (38) ²	35

¹PCI if severity of distresses were M as they were for the manual survey.
²PCI when an additional sample unit was added.

Figura 2-16: Resultados PCI manuales y automatizados del estudio “Automated pavement condition index survey”
(Cline, Shahin, & Burkhalter, 2002).

Los resultados de este estudio indicaron que, en general, el tipo y la cantidad de deterioros registrados tanto manual como a través de estas tecnologías fueron consistentes, pero que en cuanto a las dimensiones (severidad) de los deterioros medidos no lograron igual consistencia. Sin embargo, la severidad resultó típicamente menor por el sistema automatizado. También se mencionan las ventajas que se tienen con el uso de estas tecnologías, pues se pueden volver a realizar las mediciones desde la estación de trabajo, junto con aumentar las imágenes para tener mayor precisión en cuanto a las dimensiones de los deterioros.

Los esfuerzos por desarrollar nuevas tecnologías de inspección automatizada de pavimentos continuaron, siendo “PaveVision3D Ultra” una de las últimas versiones implementada en varios estados de EEUU (Wang, Joshua Li, & Yang, 2015). El “PaveVision3D Ultra” consiste en un equipo

que permite obtener datos tridimensionales reales de 1 mm de resolución (Figura 2-17) a plena cobertura en las 3 direcciones a una velocidad de carretera de hasta 60 mph (97 km/h). Este equipo fue avalado a través del estudio *“Network level pavement evaluation with 1 mm 3D survey system”* (Wang, Joshua Li, & Yang, 2015) realizado en el estado de Oklahoma (EE. UU.), en donde se desarrolló una rápida medición de deterioros de pavimento a nivel de red en aproximadamente 1.280 millas (2.060 km) de autopistas interestatales. Esta nueva tecnología automatizada junto con su software *“ADA3D”* (Figura 2-18) permiten obtener de la superficie del pavimento el perfil longitudinal, la rugosidad (IRI) existente, perfiles transversales (bombeo), predicción de velocidad de hidropiano para seguridad de análisis y las severidad y densidad de grietas (piel de cocodrilo, longitudinales) y diversos defectos superficiales de deformaciones (ahuellamiento, entre otros) existente en las vías pavimentadas (Wang, Joshua Li, & Yang, 2015).

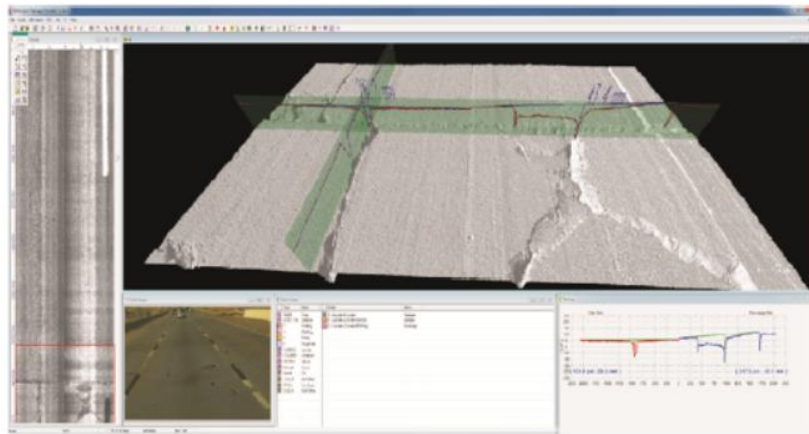


Figura 2-17: Interfaz del software ADA3D, resolución 3D de deterioros (Wang, Joshua Li, & Yang, 2015).

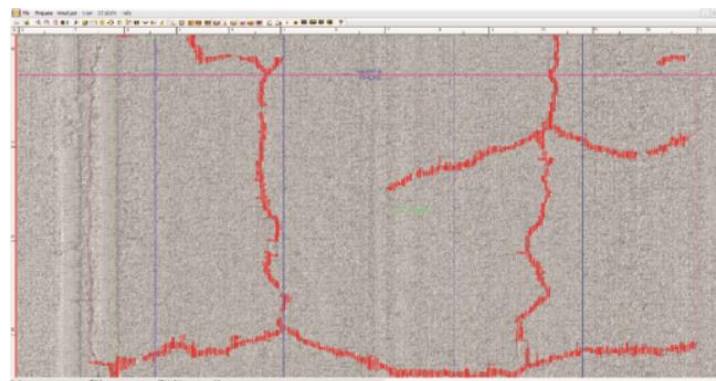


Figura 2-18: Interfaz del software ADA3D, demarcación de grietas en 2D (Wang, Joshua Li, & Yang, 2015).

Como se ha visto, la tecnología se ha ido utilizando para la obtención de deterioros en caminos, sobre todo considerando el creciente flujo vehicular al que cada vez están más sujetos los caminos en el mundo. Pero la mayoría de estos esfuerzos por obtener información de deterioros se ha realizado para vías pavimentadas, en donde el nivel de detalle que se necesita para determinar su real estado exige una gran cantidad de recursos tecnológicos, económicos y de capital humano, debidos principalmente a la dificultad que se tiene al medir al milímetro las grietas de pavimentos tanto asfálticos como de hormigón, así como las dimensiones de otros deterioros. Esta situación no se experimenta en los caminos no pavimentados, en donde por características propias de sus deterioros, se pueden permitir en mayor envergadura haciendo más fácil su identificación y dimensionamiento. Este es uno de los principales motivos que impulsó este estudio de evaluación de caminos no pavimentados a través de un sistema de cámaras georreferenciada de bajo costo.

2.8 TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN/MEJORAMIENTO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS

La conservación de caminos puede ser definida como “las actividades rutinarias y periódicas necesarias para mantener la estructura del pavimento, bermas, terrenos adyacentes, taludes, sistema de drenaje y puentes en un estado lo más cercano posible a la condición del camino recién construido” (Thenoux Z., Vera, & Halles A., 2004). Su principal objetivo es prolongar la calidad de servicio de determinado camino durante cierto tiempo requerido, por lo que implica un esfuerzo de preocupación de los encargados y un desembolso de recursos importantes por parte de la agencia responsable (De Solminihac T., 1998).

Dependiendo de los tipos de deterioros presentes y de sus magnitudes, volúmenes de tránsito, calidad de los materiales que conforman la estructura y subrasante, condiciones climáticas, presupuesto disponible y del nivel de servicio al que se requiere mantener el camino, es que se define la actividad de conservación óptima que se debe realizar teniéndose en cuenta la gran variación que tienen en el tiempo el estado superficial de los caminos no pavimentados. En general, existen tres tipos de conservación/mejoramiento, las que se presentan a continuación junto con la descripción de algunas de las técnicas más utilizadas en el país²⁸.

²⁸ Estas técnicas se pueden ver en detalle en el capítulo 7.306 “Caminos de grava y suelos naturales” del Manual de Carreteras Volumen 7 (Dirección de Vialidad M. , 2018).

2.8.1 ACTIVIDADES RUTINARIAS

Corresponde a todas las operaciones destinadas a reparar o reponer situaciones de deterioro que se producen a lo largo de todo el año, cualquiera sea el nivel de tránsito y condiciones meteorológicas (Ministerio de Obras Públicas, 2014). Estas acciones cunden efecto cuando la calzada no tiene un gran nivel de deterioros presentes en su superficie, por lo que un retraso en la aplicación de estas acciones podría llevar a una situación en que el camino ya requiera acciones de mayor orden debido principalmente a la alta variación que tienen en su calidad superficial los caminos no pavimentados.

Algunas de las acciones que se encuentran en esta categoría serían: limpieza de la faja y de obras de drenaje, repavimentado de capas de rodadura granulares, rebacheos, reparación y reemplazo de señales camineras, reemplazo de barreras de contención, despeje de la nieve y remoción de derrumbes, entre otras. Para más información se describen algunas de las más utilizadas en el país (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

LIMPIEZA DE LA FAJA Y DE OBRAS DE DRENAJE

Consiste en la limpieza de bordes y de áreas laterales y de estructuras de drenaje, eliminación de piedras grandes de la calzada, etc. Estas acciones tienen como efecto: mantener en funcionamiento las estructuras de drenaje, previniendo la formación de empozamientos de agua laterales y sobre la calzada que afecten a la circulación vehicular y a la plataforma del camino . Estos últimos efectos son vitales para que un camino no pavimentado extienda a su máxima su buena condición superficial, pues el agua es uno de los principales agentes nocivos que afecta a este tipo de caminos (reduce sus módulos, produce el bombeo de material granular, entre otros) (Thenoux Z., Vera, & Halles A., 2004).

REPAVIMENTADO

El repavimentado consiste en reconformar la plataforma del camino, incluyendo las cunetas, a condiciones similares a las originales de diseño o a un diseño mínimo. Incluye la restitución de bombeos y peraltes, reacondicionamientos de las cunetas, eliminación de las deformaciones longitudinales (ahuellamientos y acumulación de materiales), de las deformaciones transversales

(calamina) y el emparejamiento de baches. El trabajo incluye los eventuales escarificados de las zonas consolidadas que impidan lograr la sección transversal propuesta. Este escarificado se debe ejecutar sólo hasta una profundidad que permita obtener los propósitos deseados, sin comprometer los suelos subyacentes. Estas acciones de reperfilado se realizan mediante motoniveladoras (Figura 2-19), maquinaria que es de las más demandadas para las actividades de conservación de caminos no pavimentados.



Figura 2-19: Motoniveladora realizando trabajos de reperfilados en caminos rurales de la comuna de Pucón, IX región
(fuente: propia).

BACHEO DE CAPAS DE RODADURA GRANULARES

Esta actividad consiste en la eliminación de los baches aislados o de las zonas de baches, con el objetivo de restablecer las condiciones originales de la superficie, entregando una capa de rodadura con menor rugosidad y eliminando la presencia de pozos de agua superficial que aceleran el proceso de deterioro de las calzadas. En el caso en que los baches se presenten con cierta frecuencia en el tiempo, se recomienda realizar antes un diagnóstico que dé cuenta de las posibles causas de dicho fenómeno, con el propósito de solucionar el problema desde su origen. Para la identificación de estas zonas es fundamental tener una inspección constante y respaldada en el tiempo.

2.8.2 ACTIVIDADES PERIODICAS

En esta categoría se encuentran todas aquellas operaciones que pueden, en cierta medida, programarse con alguna anticipación, pues son determinadas por el tránsito y/o las condiciones

meteorológicas (Ministerio de Obras Públicas, 2014). Son repetitivas cada cierto tiempo que puede predefinirse, para aquello es crítico tener un respaldo de información sobre el historial de estos caminos, lo que ayudaría bastante el uso de un indicador objetivo respaldado con grabaciones en el tiempo. Los caminos que requieren este tipo de acciones son generalmente los que presentan una condición “Regular” en cuanto a algún indicador que describa su calidad superficial. El propósito de estas actividades es restaurar y mantener los estándares estructurales y funcionales del camino.

Algunas acciones que se incluyen en esta categoría, entre otras, son: la reparación de áreas inestables, el recebo de capas granulares, reparación de la calzada con material integral y la reparación de defensas fluviales. A continuación, se describen algunas de las actividades más realizadas en el país (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

REPARACIÓN DE ÁREAS INESTABLES

Consiste en la reposición de áreas inestables de una capa de rodadura granular, incluye: las excavaciones para remover los estratos superficiales requeridos, la preparación del sello de fundación y los rellenos con material apropiado para capas de rodadura, así como cualquier otra actividad o trabajo necesario para cumplir con lo especificado. Estas operaciones están orientadas a reparar las zonas que han experimentado las fallas anteriormente señaladas. Sin embargo, es muy importante identificar las posibles causas del por qué ocurren estos debilitamientos de áreas de caminos. Para aquello se debe evaluar las propiedades mecánicas de la subrasante, la capacidad de evacuación de aguas que tiene el camino, tipo de tráfico que recibe y la topografía del sector. Todo con el propósito de realizar una evaluación de distintas alternativas de solución, considerando sus costos, pero también el periodo de duración de estas soluciones, para elegir la más rentable tomando en cuenta los recursos disponibles. Un ejemplo es el uso de geotextiles para reforzar subrasantes en cuanto a su capacidad de soporte (Figura 2-20), pues toda acción que se realice en las capas granules y en la superficie no tendrá un efecto duradero si es que el problema se encuentra en la subrasante (suelos plásticos, rellenos, entre otros).



Figura 2-20 :Uso de geotextiles para reforzar subrasante en zonas específicas de caminos no pavimentados (*Ministerio de Obras Públicas, 2014*).

RECEBO DE CAPAS DE RODADURA Y BERMAS GRANULARES

Esta acción consiste en reconformar la plataforma de una calzada no pavimentada, incluyendo las cunetas, a una condición cercana a la original de diseño, en cuanto a dimensiones y características. Considera la adición de material de reemplazo del perdido en el tiempo (disminución del espesor). El objetivo es devolver a la capa de rodadura las condiciones de transitabilidad y de geometrías originales. En este sentido existen varios tipos de recebo según el tamaño máximo del árido considerado, como lo son: con adición de material chancado, con incorporación de suelo plástico, con adición de estabilizador, recebo de carpetas de maicillo y recebo con provisión externa de material, entre otros.

REPARACIÓN DE LA CALZADA CON MATERIAL INTEGRAL

Estas actividades consisten en el relleno de los reventones profundos que se producen en la calzada, utilizando material integral de calidad conocida (relleno estructural con determinada capacidad de soporte). También puede emplearse para levantar la rasante cuando se requiera, principalmente en lugares en que existen puntos bajos. El sector que se desea reparar debe ser preparado en lo posible extrayendo el agua o barro acumulado, nivelando el terreno cuando corresponda, para entregar las condiciones óptimas para la aplicación del material integral.

2.8.3 ACTIVIDADES MAYORES

Estas acciones corresponden a una rehabilitación completa o inclusive a un mejoramiento de las capas granulares y subrasante que tenga un camino no pavimentado en particular (Ministerio de Obras Públicas, 2014). Están asociados a vías en que su estado superficial se puede clasificar como “Malo” o “Muy Malo”, evidenciando la urgencia de aplicación de acciones que mejoren su condición superficial, pues existe el riesgo de que el tránsito llegue a interrumpirse produciendo graves problemas de conectividad, e incluso, deteniendo explotaciones agrícolas, forestales y minera, llevando a graves pérdidas sociales y económicas. De hecho, el estado de un camino puede ser tal que se debiese reconstruir nuevamente, situación que se pudo ver acelerada por la falta de mantenciones rutinarias y periódicas en el tiempo, reduciendo la vida útil del camino no pavimentado y con ello aumentando los costos económicos que se tienen que destinar.

Se pueden aplicar distintas técnicas para el mejoramiento de los caminos no pavimentados, los que van desde: la reconstrucción de la carpeta de rodado con mejoramiento del trazado geométrico, cambio de estándar de un camino de tierra a uno de ripio, así como el uso de estabilizaciones químicas de suelos (cemento, cal, bischofita-cloruro de magnesio, cenizas, entre otros). Estas tecnologías de mejoramiento de suelos tienen como grandes ventajas que entregan capas estructurales de mejor calidad, con mejores capacidades de soporte y mejores comportamientos ante las inclemencias del clima, todo esto sin la necesidad de traer material granular desde otros sectores (ríos, canteras).

En resumen, independiente de las acciones de conservación, reposición y mejoramiento que existen para los caminos no pavimentados, es vital contar con una metodología objetiva y confiable de inspección de la condición superficial de estos caminos, pues por sus características estos se ven muy afectados en su condición ante solicitaciones de tráfico e inclemencias del clima. Por lo que contar con una técnica de inspección más rápida, segura, confiable y económica permitiría tener una mayor cantidad de evaluaciones, identificando las zonas que deben ser intervenidas, así como el momento específico en que se debiesen realizar estas acciones minimizando los costos de conservación en el tiempo.

3 DISEÑO EXPERIMENTAL

RESUMEN DEL CAPITULO

En este capítulo se nombrarán todas las actividades que se realizaron para alcanzar el objetivo de esta investigación, que es lograr elaborar una metodología alternativa para la obtención del ICNP apoyándose a través de un sistema de cámaras. Este diseño experimental se realizó siguiendo, en parte, la metodología presentada en el documento *“Metodología estadística para el estudio y evaluación de aspectos técnicos en la construcción”* (de Solminihaq, 1987), así como la inclusión de etapas propias dadas las características de este estudio. Este capítulo de diseño experimental consta principalmente de la definición de una variable dependiente, definición de variables independientes y sus niveles, su espacio de inferencia, metodología de toma de datos, presentación de los resultados de los ICNP_{MOP} e ICNP_{CAM}, finalizando con la obtención de la metodología utilizada para el análisis de datos y su posterior validación estadística. Las actividades realizadas se muestran a través del siguiente diagrama de flujos de la Figura 3-1.

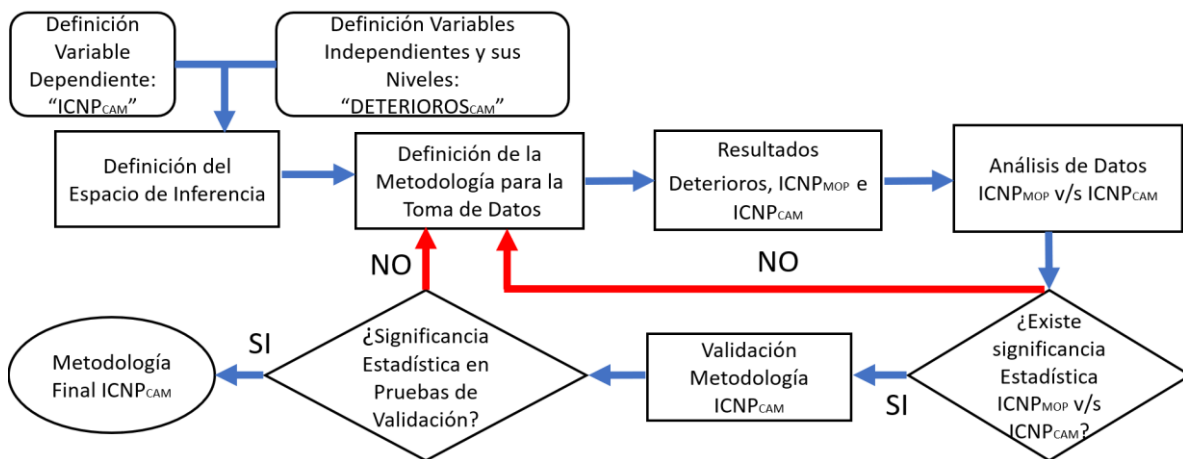


Figura 3-1: Diagrama de Flujo de las actividades empleadas para esta investigación (fuente: propia).

3.1 VARIABLE DEPENDIENTE

Se define como variable dependiente al $ICNP_{CAM}$ medido para el estudio de caminos no pavimentados a nivel de red. Este indicador tendrá como propósito cuantificar el estado superficial de un camino no pavimentado apoyándose en las grabaciones realizadas mediante un sistema de cámaras de alta definición, obteniendo valores similares a los conseguidos por el $ICNP_{MOP}$ propuesto por la Dirección de Vialidad.

Se utilizará como expresión matemática para el cálculo de $ICNP_{CAM}$ la misma planteada por el MOP para situaciones en que no se cuente con instrumentos de medición de la rugosidad para un camino, es decir, “sin equipos de auscultación” (sin IRI) (III-1). El uso de esta expresión y no la que considera “equipos de auscultación” (IRI) tiene como justificación los elevados costos que tienen estos equipos (ya sean Clase 1-2 o Clase 3 tipo respuesta), lo que se combina con la dificultad que se tiene en abarcar con la inspección la gran cantidad de caminos no pavimentados que existen en la red nacional, tanto pública como privada. Y, aunque se han hecho estudios en donde se ha propuesto la determinación del resultado de la conservación para caminos no pavimentados a través del IRI (Pradena M., 2001), la poca cantidad de estos equipos de medición hace muy difícil utilizar el IRI como parámetro para determinar las actividades de conservación para caminos no pavimentados por lo menos en la inspección a nivel de red. Sin embargo, siguiendo los esfuerzos de utilizar el IRI como umbral de intervención, es que en el año 2008 se publicó el estudio “Metodología simplificada para la detección de necesidades de mantenimiento en caminos no pavimentados” (Namur Y., 2008), en el cual se obtuvieron expresiones de IRI en función de los deterioros/factores típicos que describen el estado de un camino no pavimentado, pero cuyos resultados no tuvieron buenas correlaciones estadísticas, haciendo que la fórmula del $ICNP$ “sin equipos de auscultación” sea la utilizada en esta investigación como la expresión para el $ICNP_{CAM}$ como variable dependiente.

$$ICNP_{CAM} = ICNP_{MOP} = 10 - 1,15 * (1,01 * Calamina_{CAM} + 1,96 * Baches_{CAM} + 1,28 * Erosión_{CAM} + \dots 0,29 * Ahuellamiento_{CAM} + 1,36 * Camino Pedregoso_{CAM} + 1,37 * Bombeo_{CAM}) \quad (III-1)$$

3.2 VARIABLES INDEPENDIENTES Y SUS NIVELES

La definición de las variables independientes no resultó muy compleja, pues son todos los parámetros de los que depende la expresión del $ICNP_{MOP}$. Como ya se definió que la expresión del $ICNP_{CAM}$ será la misma utilizada por la metodología MOP para mediciones *“sin equipos de auscultación”*, las variables independientes serán las siguientes: *“Baches_{CAM}”*, *“Ahuellamiento_{CAM}”*, *“Calaminas_{CAM}”*, *“Bombeo-Drenaje_{CAM}”*, *“Supe.Pedregosa_{CAM}”* y *“Erosión_{CAM}”*.

Para esta investigación, como desarrollo de una metodología para la inspección de caminos no pavimentados apoyándose con imágenes de grabaciones de caminos, es que se planteó la asignación de los valores de los deterioros/factores observados en la U.M. (primeros 50 metros) de cada camino estudiado, a excepción del deterioro *“Erosión_{CAM}”* en donde se debe observar la Z.M. en su totalidad (1 Km) para detectar su presencia, siguiendo las mismas indicaciones establecidas por la inspección manual establecidos por el MOP. No obstante, ya estando implementada y mejorada esta metodología de inspección, se debería continuar con la adquisición de la información de toda la grabación de la Z.M. (1 km de extensión) con el propósito de tener una valorización más real del verdadero estado superficial en que se encuentra un camino no pavimentado.

Para la definición de los niveles de variación de estos deterioros se consideró la dificultad que se tiene en su valorización a través de la grabación de un camino. Estos niveles de variación de los deterioros considerados serán explicados en detalle en el punto *“4.4. MÉTODO EMPLEADO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS DETERIOROS UTILIZANDO EL SISTEMA DE CAMARAS”* de esta memoria, y en donde, a grandes rasgos, se considera como guía el *Instructivo de Inspección Visual de Caminos No Pavimentados* (DDQ Ingeniero Consultor, 2007) y el *ANEXO C “GUÍA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DETERIOROS CONTINUOS”* elaborado para este estudio. Los valores promedios de deterioros considerados como niveles de variación con que se trabajaron para clasificar el estado de las calzadas evaluadas se presentan en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Niveles de variación originales de las variables independientes (fuente: propia)

DETERIORO	NIVEL			
	AUSENCIA	PRESENCIA		
		LEVE	MEDIA	ALTA
"BACHES _{CAM} " [N°Baches*m*m] ²⁹	-- ³⁰	--	--	--
"AHUELLAMIENTO _{CAM} " [cm]	0	]0;2]	]2;4[	[4;∞[
"CALAMINA _{CAM} " [cm]	0	]0;1,5]	]1,5;3[	[3;∞[
		Malo	Regular	Bueno
"BOMBEO-DERNAJE _{CAM} "	--	1.0	0.5	0.0
"SUP. PEDREGOSA _{CAM} "	0	1		
"EROSION _{CAM} "	0	1		

Como resultado de esta definición de niveles de deterioros, se tienen un total 15 niveles individuales de deterioro por separado, lo que da una matriz factorial total de 192 escenarios posibles (4x4x3x2x2). Esta matriz factorial se completó en la medida de lo posible, con la combinación de resultados de deterioros recolectados a través de la reproducción de las grabaciones. La matriz factorial es presentada en el siguiente punto de este capítulo junto con los escenarios medidos en terreno.

3.3 ESPACIO DE INFERENCIA – CANTIDAD DE MUESTRAS RECOLECTADAS

Debido a que los recursos siempre son limitados y escasos, se realizaron 60 mediciones de deterioros en terreno (referidos a U.M.) pertenecientes a 44 caminos repartidos en cuatro regiones, en mismas instancias en que se realizaron las grabaciones de las Z.M. utilizado el sistema de cámaras, todo esto con el propósito de conformar una base de datos para esta investigación. Con dicha información recolectada en terreno se calcularon los ICNP_{MOP} para cada Z.M. medida; y con las grabaciones de cada Z.M., junto con su posterior asignación de valores de deterioros, se calcularon las 60 mediciones de ICNP_{CAM}. Con dichas mediciones se pudieron cubrir 30 combinaciones de deterioros medidos, en donde se pudo observar que en ninguna U.M. se contó con "ausencia" del deterioro ahuellamiento, por lo que este nivel de severidad se eliminó de la matriz factorial para representar de mejor forma las combinaciones reales posibles de escenarios a

²⁹ No se consideran niveles variación para el deterioro Baches debido a su gran variabilidad de resultados que se observaron en las mediciones.

³⁰ No se considere este nivel de severidad para el deterioro respectivo.

obtener. Se presenta en la Tabla 3-2 los niveles de deterioros finalmente utilizados, además de la Tabla 3-3 con la matriz factorial de 144 escenarios (3x4x3x2x2) posibles junto con las 30 combinaciones de escenarios encontrados en terreno.

Tabla 3-2: Niveles de variación de las variables independientes finalmente considerados (fuente: propia).

DETERIORO	NIVEL			
	AUSENCIA	PRESENCIA		
		LEVE	MEDIA	ALTA
"BACHES _{CAM} " [N°Baches*m*m]	--	--	--	--
"AHUELLAMIENTO _{CAM} " [cm]	--	]0;2]	]2;4[	[4;∞[
"CALAMINA _{CAM} " [cm]	0	]0;1,5]	]1,5;3[	[3;∞[
		Malo	Regular	Bueno
"BOMBEO-DERNAJE _{CAM} "	--	1.0	0.5	0.0
"SUP. PEDREGOSA _{CAM} "	0	1		
"EROSION _{CAM} "	0	1		

Tabla 3-3: Matriz Factorial de Escenarios Posibles (fuente: propia).

"Erosión _{CAM} "		Presencia						Ausencia					
"Ahuellamiento _{CAM} "		Leve		Media		Alta		Leve		Media		Alta	
Sup. Pedregosa _{CAM}		Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia
"Bombeo-Drenaje _{CAM} "	"Calamina _{CAM} "												
Malo	Ausencia			1						3			
	Leve									1			
	Media			1									
	Alta										1		
Regular	Ausencia	1		1				2	1	3			
	Leve	2						6		2			
	Media	1		2	1	1		1		4		1	
	Alta							1					1
Bueno	Ausencia		1					1	3				
	Leve							8	2	4			
	Media									2		1	
	Alta												

Las 30 combinaciones de escenarios medidos en terreno corresponden al 20,8% del total de posibles escenarios de deterioros presentados en la matriz factorial. Este 20,8% se puede ver como un valor no tan significativo, pero se debe considerar que la totalidad de combinaciones de deterioros

posibles es poco probable que se den en la realidad, por ejemplo: un camino con buen bombeo es muy difícil que presente calaminas y ahuellamientos de grandes dimensiones (“alta”), pues la casi totalidad de los deterioros característicos de los caminos no pavimentados se ven altamente influenciado por la calidad del bombeo que presente la calzada, por lo que un camino con buen sistema de drenaje y bombeo es prácticamente imposible que se vea afectado por calaminas y ahuellamientos de consideración. De todos modos, en el capítulo 5 se obtuvo el Poder de Análisis que tiene la muestra utilizada, lo que sumado a la cantidad de combinaciones posibles de escenarios que faltaron por medir, se propone que en investigaciones futuras se deban seguir realizando mediciones de $ICNP_{CAM}$ para otras U.M. pertenecientes a otros caminos no pavimentados con el propósito de abarcar una mayor cantidad de escenarios de combinación de deterioros y mejorar el Poder de Análisis de la muestra utilizada.

3.4 METODOLOGÍA DE TOMA DE DATOS

Para la conformación de la base de datos de esta investigación necesaria para cumplir su objetivo, se tomaron mediciones de los deterioros que considera el ICNP tanto en terreno (“*Deterioros_{MOP}*”), como a través de la reproducción de la grabación del camino (“*Deterioros_{CAM}*”).

La medición de los “*Deterioros_{MOP}*” se realizó siguiendo la *Metodología de Inspección Visual de Caminos No Pavimentados* utilizada por la Dirección de Vialidad (DDQ Ingeniero Consultor, 2007), así como las indicaciones planteadas en las “*Políticas de Conservación Vial - Etapa 3 Caminos No Pavimentados*” (Ministerio de Obras Públicas, 2014). En cuanto a la obtención de los valores de “*Deterioros_{CAM}*”, se utilizaron dos cámaras de alta definición BlackVue Modelo DR750LW-2CH 16 (Figura 3-2) para la grabación de las Z.M.; equipo que cuenta con un software especial para la reproducción de los videos. Estos “*Deterioros_{CAM}*” se dividieron en dos grupos, los que se diferenciaban principalmente en la dificultad que se tiene para identificarlos y asignar su valor de magnitud. El primer grupo denominado “*Deterioros Discretos_{CAM}*” contempla a los deterioros: *bombeo, superficie pedregosa y erosión*, cuya obtención a través de la reproducción de la grabación de la Z.M. no resultó complicada. Situación que no fue similar para el otro grupo de deterioros, los denominados “*Deterioros Continuos_{CAM}*”, que corresponden a los baches, ahuellamiento y calamina; dificultad evidenciada para la asignación de sus valores debido a la incertidumbre en la determinación de las dimensiones que se puede obtener a partir de una visualización de una imagen

(reproducción) de una sección de la U.M. Para resolver este problema se elaboró un documento guía para la asignación de valores de estos deterioros, que se presenta en el ANEXO C “GUÍA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DETERIOROS CONTINUOS”, en donde se acotan las dimensiones que pueden tomar estos deterioros mediante su simple visualización, utilizando como apoyo una serie de imágenes de estos deterioros relacionados con sus valores medidos en terreno. Este documento tiene como propósito familiarizar al usuario con este método de asignación de valores de deterioros: baches, ahuellamiento y calamina, mediante la visualización de imágenes obtenidas por el sistema de cámaras .



Figura 3-2: Sistema de Cámaras BlackVue Modelo DR750LW-2CH 16

Es importante mencionar que antes de realizar las mediciones de deterioros que conformaron la base muestral (“*Deterioros_{MOP}*” y “*Deterioros_{CAM}*”), se realizaron dos mediciones en terreno para distintas U.M.: una medición en superficie de grava y la otra en una superficie de material predominantemente fino (tierra), caminos ubicados en las comunas de Las Cabras y San Vicente, sexta región. Estas mediciones previas se realizaron con el propósito de familiarizarse en terreno con lo estudiado sobre la metodología planteada por el MOP para la obtención del indicador ICNP.

3.5 RESULTADOS DE LOS ICNP

Con los resultados de los “*Deterioros_{MOP}*” así como de los “*Deterioros_{CAM}*”, se calcularon los $ICNP_{MOP}$ y $ICNP_{CAM}$ respectivamente para el total de U.M. conformando la base de datos. Se procedió a presentar los resultados en un gráfico de dispersión “1-1” ($ICNP_{CAM}$ v/s $ICNP_{MOP}$) en donde cada punto mostrado corresponde al valor del ICNP de una U.M. en específico, por un lado, el arrojado por la metodología del sistema de cámaras propuesto, y por el otro el obtenido mediante las mediciones en terreno (MOP). Este gráfico permitió comparar los valores obtenidos mediante ambas metodologías, mostrando gráficamente sus similitudes y/o diferencia para cada U.M. que conformo la base de datos. Además, se realizaron gráficos adicionales del mismo estilo para cada deterioro continuo (ahuellamiento, calaminas y baches) que son presentados en el ANEXO F “RESULTADOS DE DETERIOROS E ICNP UTILIZANDO METODOLOGÍA DEL SISTEMA DE CÁMARAS”, que tuvieron el propósito de avalar la metodología de asignación de valores de deterioros continuos utilizando como apoyo las imágenes de la U.M. obtenidas mediante la grabación de la calzada. Finalmente, se mostraron los resultados de los $ICNP_{CAM}$ v/s $ICNP_{MOP}$ por tipo de superficie de camino, tierra o grava.

3.6 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LOS DATOS

Ya con la base de datos conformada, se realizó un completo análisis estadístico los resultados de los $ICNP_{MOP}$ e $ICNP_{CAM}$. Este consistió en una primera instancia en el cálculo del poder de análisis que representan las 60 U.M. utilizadas como base muestral para el desarrollo de la metodología; posteriormente se continuo con el ordenamiento de los resultados de los $ICNP_{MOP}$ e $ICNP_{CAM}$ para realizar un gráfico de dispersión “ $ICNP_{CAM}$ v/s $ICNP_{MOP}$ ” que permitió analizar gráficamente la posible relación “1-1” que debiesen tener los resultados, evaluando la representatividad de las mediciones realizadas e identificando preliminarmente posibles outliers que influirían negativamente en la equivalencia entre ambos métodos de obtención del ICNP. Después se generó un primer modelo de regresión lineal (MRL) del $ICNP_{MOP}$ en función del $ICNP_{CAM}$, con dichos resultados del MRL se realizó un test estadístico de prueba de hipótesis para evaluar el nivel de significancia que tiene los valores del $ICNP_{CAM}$ respecto al $ICNP_{MOP}$, en donde la hipótesis nula consistió en aseverar que la pendiente del modelo es igual a “1” (pendiente de la recta de 45°) con un 95% de confiabilidad, utilizando como valor estadístico el obtenido por la expresión (III-2) en el que se toma en cuenta la pendiente

y el error estadístico arrojado por el MRL; estadístico que se compara con el valor tabla asociado al número de grados de libertad y al nivel de confiabilidad de la T-student, llegando al resultado de que el estadístico obtenido fue menor al valor tabla aceptando la hipótesis nula (pendiente del MRL igual a “1” con un 95% de confiabilidad).

$$E = \frac{\widehat{\beta}_k - \beta_k}{\sqrt{VAR(\widehat{\beta}_k)}} \quad (III-2)$$

Siendo:

β_k : Igual a 1, según lo indicado en la hipótesis nula.

$\widehat{\beta}_k$: Valor del coeficiente entregado por el análisis de regresión lineal para β_1 .

$\sqrt{VAR(\widehat{\beta}_k)}$: Error típico de la variable β_1

Esta forma que se utilizó para analizar los datos tiene como particularidad que la hipótesis a evaluar es que la relación entre el ICNP_{MOP} y el ICNP_{CAM} sea igual a “1-1”, considerando el efecto de las U.M. medidas que conformaron el espacio muestral a lo largo de los posibles valores de ICNP que pueden tomar (de 1,0 a 10,0), ya que otra técnica de hipótesis de comparación de resultados, como son las Pruebas T, comparan las medias de ambos grupos de datos, obviándose información de las U.M. que se encuentran alejadas a las medias obtenidas de ICNP_{MOP} e ICNP_{CAM}.

Posteriormente, se procedió con la identificación de los outliers utilizando la técnica de las distancias de Cook y de los residuales estandarizados, eliminando estas mediciones de la base de datos. Luego se procedió a verificar los supuestos de normalidad del error y de homogeneidad de las varianzas del MRL obtenido, utilizando las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de White respectivamente. Ya con la base de datos final y los supuestos de MRL cumplidos se obtuvo el modelo final que relaciona a los dos ICNP, presentando todas las gráficas de residuos estandarizados y cumpliendo con la equivalencia de relación “1-1” de los ICNP_{MOP} e ICNP_{CAM} con un 95% de confiabilidad estadística.

Finalmente, se interpretaron los resultados estadísticos obtenidos, mencionando algunas recomendaciones y aspectos que se deben considerar para el buen entendimiento del análisis estadístico desarrollado.

3.7 VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL ICNP_{CAM}

Para validar la investigación realizada, se desarrollaron pruebas de reproducibilidad y de repetitividad utilizando la metodología del ICNP_{CAM}.

En el caso de las pruebas de reproducibilidad, las que miden la variabilidad de las mediciones respecto a diferentes evaluadores considerando las mismas condiciones de medición, se contó con la participación de un evaluador externo que realizó las mediciones de ICNP_{CAM} para 12 U.M. ya consideradas en la base muestral definida en el punto anterior. Con anterioridad a las mediciones de reproducibilidad, al evaluador se le hicieron sesiones de inducción de conceptos de ingeniería vial, sistema de gestión de caminos, inspecciones y de las principales actividades de mantención que se realizan a las vías no pavimentadas. Además, se le realizarán sesiones guiadas de “entrenamiento” sobre el uso de la metodología de medición del ICNP mediante el sistema de cámaras. Ya con los resultados de los ICNP_{CAM} del evaluador externo, se realizó un análisis estadístico comparativo similar al del punto anterior respecto a los resultados originales utilizados en la base muestral.

Respecto a las pruebas de repetitividad, las que tienen como finalidad medir la variabilidad de las mediciones realizadas con las mismas condiciones, se realizaron una repetición de medición de ICNP_{CAM} para las mismas 12 U.M. ya medidas utilizadas en las pruebas de reproducibilidad, para luego realizar el análisis estadístico comparativo de sus resultados con respecto a los originales de ICNP_{CAM}.

Con ambos tipos de pruebas realizadas, se hicieron comentarios y sugerencias de cómo hacer más amigable el uso de esta metodología, los que se apoyaron principalmente en el registro de los comentarios que realizó el evaluador externo.

3.8 APLICACIÓN DEL ICNPCAM PARA LA ASIGNACIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENCIÓN PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS

Ya con la metodología validada y a modo de ejemplo, se utilizaron los resultados de los 12 ICNP_{CAM} de las U.M. utilizadas en las pruebas de validación para determinar las “macroacciones” necesarias que se debiesen realizar para mejorar la condición de los caminos desde su situación actual (del

momento de la medición) a un estado “Muy Bueno”. Para la definición de estas “macroacciones” de mantenimiento/reposición se utilizaron los umbrales descritos en “LAS POLÍTICAS DE CONSERVACIÓN ETAPA III CAMINOS NO PAVIMENTADOS” (Ministerio de Obras Públicas, 2014) designados para cada tipo de “Estado” superficial de la calzada. Los resultados de los ICNP_{CAM} junto con los umbrales de intervención asociados se presentaron gráficamente.

3.9 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES GENERALES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Finalmente, se presentaron conclusiones generales y particulares de todas las actividades que se realizaron durante esta investigación. Detallando recomendaciones sobre el uso de la metodología propuesta y señalando futuras líneas de investigación asociadas a la inspección de caminos no pavimentados.

4 RECOLECCIÓN DE DATOS Y SUS RESULTADOS

RESUMEN DEL CAPITULO

En este capítulo se describirá la red de caminos que se consideró como base de datos de esta investigación. Se mencionarán las actividades de medición de deterioros en terreno, junto con la grabación de los caminos y definición de parámetros para la obtención de los deterioros a través de la visualización de la grabación, así como la expresión utilizada del indicador de condición de caminos no pavimentados obtenido a partir del sistema de cámaras ($ICNP_{CAM}$). Finalmente, se presentarán los resultados de los $ICNP_{MOP}$, $Deterioros_{SCAM}$ y posteriores $ICNP_{CAM}$ de las 60 unidades de muestras evaluadas.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA RED EVALUADA Y DEFINICIÓN DE NIVEL DE INSPECCIÓN A UTILIZAR

La red seleccionada para la elaboración y validación de la metodología para la obtención del ICNP a través del sistema de cámaras comprendió la medición de deterioros en un total de 60 U.M.³¹, tanto en terreno como a través del sistema de cámaras, repartidos en 26 superficie de ripio y 36 de tierra.

Estas 60 U.M. corresponden a caminos repartidos en cuatro regiones, la V, Metropolitana, VI y VII, es decir, regiones que conforma la zona central del país (Figura 4-1). Esta base muestral tiene como característica que abarcan una gran cantidad de condiciones propias en que se utilizan vías no pavimentadas, tales como: caminos de acceso a comunidades rurales, caminos de zonas montañosas, vías alternativas de conexión entre distintas comunas y caminos de explotación en industrias agrícolas y forestales. Cualidades que resaltan la importancia que tienen las vías no pavimentados dentro de la red nacional, entregando conexión vial de manera regional, nacional e incluso internacional.

³¹ En el ANEXO A “LISTADO Y UBICACIÓN ESPACIAL DE LOS CAMINOS NO PAVIMENTADOS MEDIDOS” se presentan características de las U.M. utilizadas.

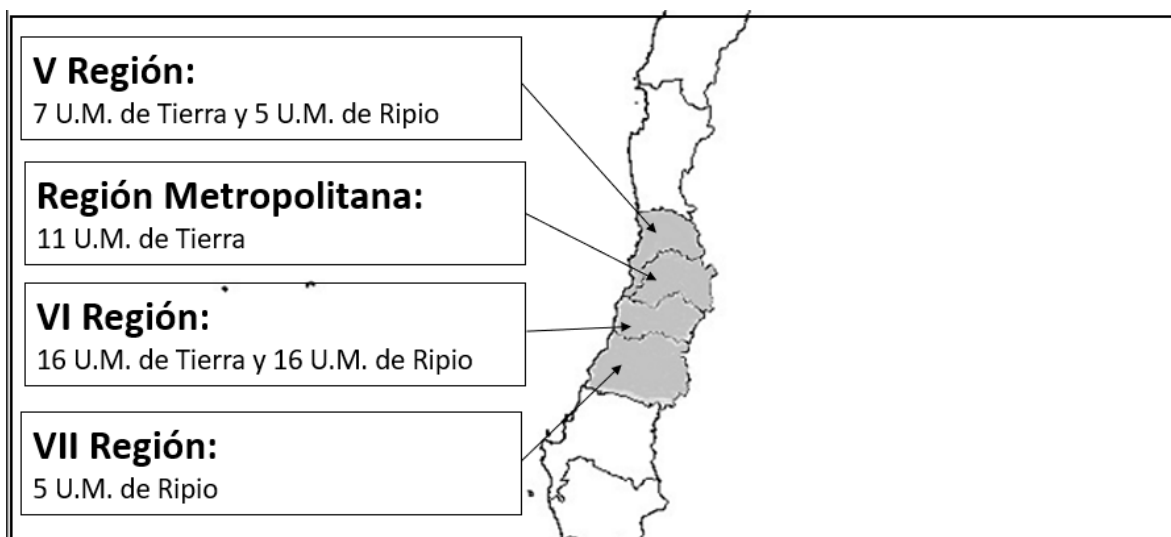


Figura 4-1: Distribución de los caminos utilizados como espacio muestral (fuente: propia).

En la Tabla 4-1 se presentan la clasificación de los caminos por: tipo de superficie, según su uso, perfil longitudinal predominante y por ubicación geográfica.

Tabla 4-1: Clasificación de los caminos utilizados para este estudio.

Clasificación de Caminos Estudiados		N° de Caminos
I. Tipo de Superficie	Grava	26
	Tierra	34
II. Según su uso	Vía de Acceso	29
	Vecinal Rural	8
	Explotación Agrícola	23
III. Perfil Longitudinal Predominante	Horizontal	44
	Pendientes Pronunciadas	16
IV. Ubicación Geográfica	Precordillera	7
	Valle Central	41
	Costa	12

Se presentan en las Figuras 4-2, 4-3 y 4-4 fotografías de tres caminos evaluados junto con la imagen vista desde el software BlackVue del sistema de cámaras utilizados para esta investigación.



(a)



(b)

Figura 4-2: Camino Estero Marga Marga, Viña del Mar V Región (fuente: propia).

(a) Vía de uso como acceso alternativo en pleno centro de la ciudad; (b) Vista desde sistema de cámaras.



(a)



(b)

Figura 4-3: Cuesta Lo Prado, Curacaví Región Metropolitana (fuente: propia)

(a) Camino con presencia de pendientes pronunciadas; (b) Vista desde sistema de cámaras.



(a)



(b)

Figura 4-4: Camino interior Viña Ureta, Pichidegua VI Región (fuente: propia)

(a) Clasificado como de explotación agrícola; (b) Vista desde sistema de cámaras.

En cuanto a las U.M. utilizadas para las pruebas de reproducibilidad y repetitividad se consideraron 12 U.M. pertenecientes a las 60 U.M. utilizadas para la elaboración de la metodología de inspección mediante el sistema de cámaras.

Otro aspecto importante que se definió al comienzo de esta investigación tuvo que ver con el nivel de inspección en que se desarrollaría la metodología. Se consideró la inspección a nivel de red, lo que en palabras simples considera la medición de todos los deterioros presentes al interior de una U.M. (de 50 metros de largo por el ancho completo del camino) ubicada al comienzo de la Z.M. (representativo de un tramo de un kilómetro de un camino) (Figura 4-5). En donde el resultado de la medición es representativo de esta zona de muestra.

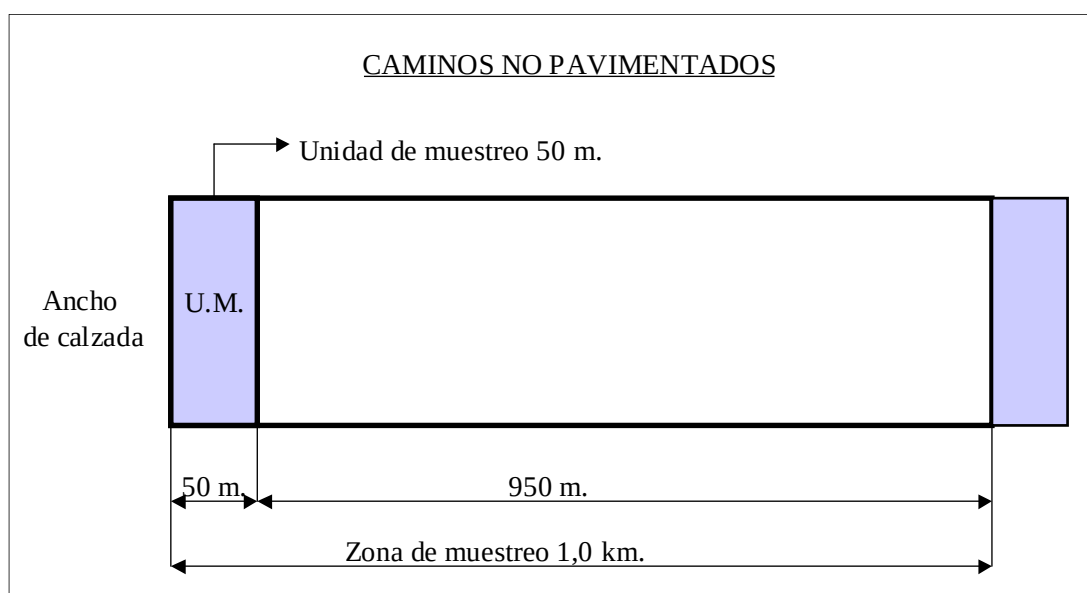


Figura 4-5: Esquema unidades y zonas de muestreo a nivel de Red (DDQ Ingeniero Consultor, 2007).

Tal como se indica en el documento "Políticas de Conservación Vial Etapa 3 - Caminos No Pavimentados" (Ministerio de Obras Públicas, 2014), la evaluación del camino puede ser a nivel de proyecto como de red. Pero se consideró la inspección a nivel de red debido a su propia definición en cuanto a la gestión, pues en este enfoque se considera la descripción del estado del camino de manera general, debido a que la evaluación de este tipo "incluye fundamentalmente en un proceso de observación de un conjunto de vías que conforman una red de caminos, para planificar decisiones dirigidas a grandes grupos de proyectos o una red de caminos completa con el fin de optimizar la asignación de recursos" (De Solminihaç T., 1998). Definición que se ajusta a uno de los objetivos de

esta memoria que es la adquisición de información del estado general de una red de caminos no pavimentados, ampliando su frecuencia más que aumentar la precisión de la medición. Gestión que se diferencia con el de nivel de proyecto, principalmente en que esta última está más enfocada en definir los planes de mantención y/o rehabilitación específicos (cantidad de materiales, horas hombres, intervenciones de las calzadas, otros) para cada camino en particular. Y, como esta implementación del sistema de cámaras en la evaluación de los caminos no pavimentados comienza con este estudio, se elige que su uso será a nivel de red, pero de todas maneras se quiere dejar en claro que la metodología propuesta debería seguir siendo estudiada y perfeccionada, para su implementación a nivel de proyecto en un futuro cercano.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE OBTENCIÓN DATOS DE DETERIOROS SEGÚN METODOLOGÍA DEL MOP

Para la medición de los deterioros en terreno se utilizó la metodología establecida en el “Instructivo de Inspección Visual de Caminos No Pavimentados” (DDQ Ingeniero Consultor, 2007) y en “Las Políticas de Conservación Vial Etapa 3 - Caminos No Pavimentados” (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

A modo de resumen, se explicará el procedimiento secuencial realizado para la medición de los deterioros en terreno.

Como primera acción se procedió a definir un punto de partida para la U.M. y Z.M. seleccionada a inspeccionar, demarcando 50 metros de longitud de la vía que definen a la U.M. junto con realizar el registro del ancho completo de la calzada. Para aquello se utilizó un odómetro y se enmarco la zona a medir con cal (Figura 4-6).



(a)



(b)

Figura 4-6: Selección de la U.M. a inspeccionar (fuente: propia)
(a) Demarcación de la sección a medir con Cal; (b) Medición de longitud de la U.M. con odómetro.

Posteriormente, se realizan las mediciones de los deterioros dentro de la U.M. (Figuras 4-7, 4-8, 4-9 y 4-10). Se debe tener en claro que sólo en la erosión su presencia debe ser registrada a lo largo de toda la Z.M. (1 km). Los valores de los deterioros se ingresan en la “*Hoja de Registro de Datos de Deterioros Manuales*” que se muestra en el ANEXO E “*Hoja de Trabajo ICNP*”.



(a)



(b)

Figura 4-7: Conteo de Baches, junto con la medición de sus profundidades y diámetros (fuente: propia)
(a) Medición profundidad; (b) Medición diámetro.



(a)



(b)

Figura 4-8: Medición profundidad Calaminas y Ahuellamientos (fuente: propia)
(a) Calaminas; (b) Ahuellamiento.



(a)



(b)

Figura 4-9: Presencia de superficie pedregosa (fuente: propia)
(a) Bolones; (b) Roca de gran dimensión (50 cm).



(a)



(b)

Figura 4-10: Calidad del bombeo y presencia de erosión (fuente: propia)
(a) Evaluación calidad bombeo-drenaje; (b) Identificación presencia de erosión.

Es importante identificar y describir las principales complicaciones y dudas que surgen al momento de medir los deterioros en terreno, pues serán las mismas a las que deberán someterse el personal de agencias públicas como privadas que realizan estas mediciones en terreno utilizando la metodología de inspección planteada por el MOP. Estas situaciones, factores y complicaciones, así como sus recomendaciones que se deben considerar al momento de realizar la medición de los deterioros y en definitiva del ICNP_{MOP} son los siguientes:

- Condición climática: La luz solar cumple un rol muy importante en la detección visual de los deterioros, tanto dentro de la U.M como a lo largo de la Z.M. Se constato que las condiciones climáticas ideales para realizar las mediciones son en días despejados y en horario de entre las 10 y las 17 horas, aunque este lapso puede variar dado la estación climática en que se esté al momento de realizar las mediciones (la cantidad de luz solar no es la misma a lo largo de todo el año).
- Medición de Baches: Fue la complicación con mayor frecuencia registrada. Generalmente se debió a que a simple vista existen baches que no son fáciles de identificar. Esto ocurre, generalmente, cuando se está en presencia de un camino con una superficie pedregosa pronunciada (afloramiento e incrustación de partículas gruesas), en los cuales se producen depresiones (baches) que son rodeadas por estas partículas que surgen de la superficie, lo que a simple vista hace difícil su identificación e individualización. Mayoritariamente se produce la confusión con los baches de menores dimensiones, que se superponen entre sí, lo que puede inducir en errores en cuanto a la determinación del valor de este deterioro para el posterior cálculo del ICNP (Figura 4-11 (a)).
- Calaminas v/s Baches: En ocasiones estos dos deterioros se encontraban superpuestos o era difícil distinguir uno del otro, por lo que se tuvo que asignar como criterio que estando en presencia de *tres o más baches que se encuentran equidistantes con dimensiones similares, el deterioro sería considerado como calamina y no como bache*. De todas formas, se aclara que la aplicación de este criterio puede variar dependiendo de la pericia del personal que se encuentra en terreno realizando la medición (Figura 4-11 (b)).



Figura 4-11: Dificultad medición deterioros en terreno (fuente: propia)

(a) Presencia de Superficie Pedregosa en donde no es fácil distinguir los baches entre sí; (b) Situación en donde es fácil confundir Baches por Calaminas.

4.3 GRABACIONES DE LAS ZONAS DE MUESTRAS MEDIDAS UTILIZANDO EL SISTEMA DE CÁMARAS

Durante la misma jornada de la medición manual de los deterioros de las U.M. inspeccionadas se realizó la grabación de los caminos a lo largo de toda la Z.M. (1 km) seleccionada utilizando el sistema de cámaras.

Para la grabación de los caminos, se utilizó el equipo de sistema de cámaras de la marca “BlackVue” modelo DR750LW-2CH 16. Este equipo consiste en dos cámaras de alta definición (Figura 4-12), una instalada al interior y otra en la parte exterior frontal del vehículo (denominadas cámara principal N°1 y cámara secundaria N°2 respectivamente), una antena GPS y una fuente de poder. El registro de datos de grabación incluye: dirección de circulación, velocidad, fecha/hora, tiempo de grabación, ubicación (GPS), sensor de impacto (relacionado con niveles de aceleración del vehículo), unidad y usuario.

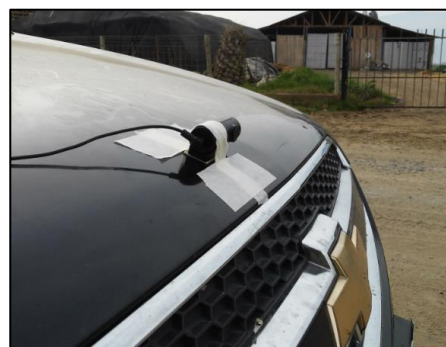


Figura 4-12: Cámara principal N°1 y cámara secundaria N°2.

En cuanto a la implementación y uso del sistema de monitoreo, la cámara principal N°1 se instaló en la zona superior central al interior del parabrisas (Figura 4-13 (a)). Esta ubicación de la cámara principal N°1 resultó bastante favorable, pues de este modo se graban elementos adicionales a la misma calzada, cómo es el tipo de drenaje existente y condiciones de borde, además de entregar una vista más global del camino respecto a la entregada por la grabación de la cámara secundaria (N°2). Esta cámara principal permite tener el control del sistema de grabación al alcance del copiloto dentro del automóvil, ya que está posee una pantalla táctil con la que se puede tener acceso a las distintas funciones que presenta este sistema de cámaras BlackVue. La ubicación de la cámara secundaria N°2 fue la que presento una mayor variabilidad de ubicaciones posibles. De las cuales, dado el paso de las mediciones, se ubicó en la parte frontal-central del capó del automóvil (Figura 4-13 (b)), con un ángulo de visión de entre los 0° y -30° con respecto al eje longitudinal de circulación (Figura 4-14), que varía dada la altura del vehículo utilizado para la grabación. Finalmente, se establece que la velocidad de circulación para realizar una correcta grabación es de 5 a 10 km/h.



(a)



(b)

Figura 4-13: Ubicación del sistema de cámaras en el vehículo (referencia: propia)
(a) Cámara principal N°1; (b) Cámara secundaria N°2.

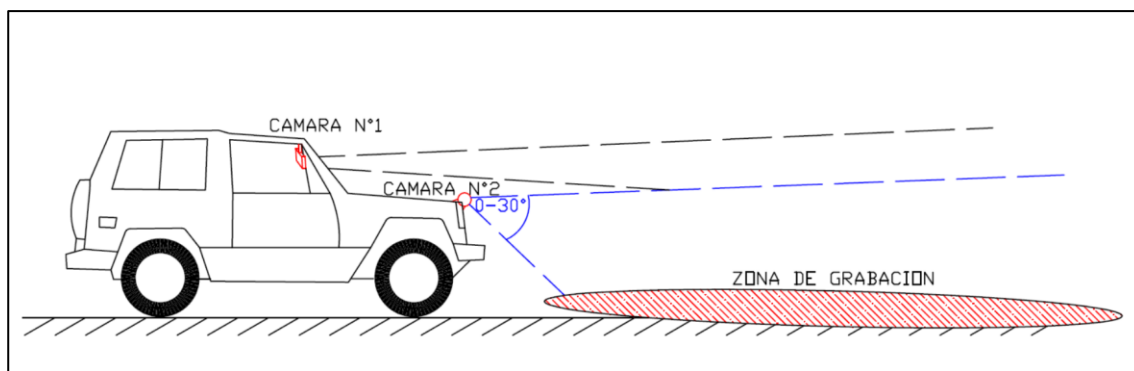


Figura 4-14: Bosquejo de la ubicación y ángulos de grabación de las cámaras N°1 y N°2 (referencia: propia).

Otra de las ventajas que presenta el sistema de cámaras, es que el software arroja un archivo de ubicación GPS (Figura 4-15) con el que se puede ver espacialmente la ubicación de la U.M. que se está grabando, ayudando a realizar una gestión de caminos georreferenciada.

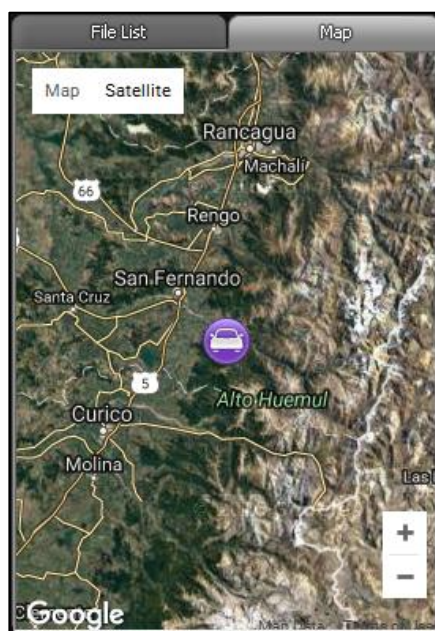


Figura 4-15: Vista de la ubicación espacial utilizando GPS del camino grabado Camino Termas del Flaco, San Fernando, VI Región (fuente: propia).

Es importante destacar las mayores complicaciones y factores que se pudieron constatar durante las jornadas de medición utilizando este sistema de cámaras. Estos tienen gran influencia en un buen proceso de grabación de los caminos, por lo que se nombran algunos factores, así como sus respectivas recomendaciones de buen uso que se deben tomar en cuenta al momento de realizar la grabación de un tramo de camino.

- Sentido de grabación con respecto a la dirección de la luz solar: Existen horas del día en que el sol se encuentra a cierto ángulo de inclinación en los que los rayos solares proyectados llegan de manera directa al lente de la cámara, llegando a enneguecer o quitar cierta visibilidad a la grabación (Figura 4-16). Por lo que se debe tener cierta consideración en que el sentido de circulación de la grabación de cierto camino a medir nunca sea de frente al amanecer o de la puesta del sol, según sea el caso de la hora en que se esté realizando la medición, con el propósito de disminuir este efecto.



Figura 4-16: Grabación con la dirección de la luz solar directa al lente de la cámara (fuente: propia).

- Poca presencia de luz solar: Este factor también afecta a la medición del estado del camino utilizando el equipo de cámaras. Pues como se sabe, la luz es fundamental para obtener el nivel de detalle mínimo necesario para identificar los deterioros en los caminos no pavimentados, sobre todo si es que sea hace desde la reproducción de una grabación. La poca presencia de luz solar es un factor clave que se debe considerar para poner término a las jornadas de grabación de los caminos a medir (Figura 4-17). Como la presencia de la luz solar varía según las estaciones del año, claramente en estaciones como otoño e invierno se cuentan con menos horas del día para poder medir los caminos en comparación con las estaciones de primavera y verano, afectando la cantidad de mediciones de ICNP que se pudiesen realizar en una sola jornada.



Figura 4-17: Reproducción de la grabación de un camino con poca presencia de luz solar durante la medición (fuente: propia).

- Tránsito vehicular existente: Es muy difícil estar en una situación de nulo tránsito vehicular en el momento de realizar la grabación de un camino. Por lo que la aparición de un móvil en el instante en que se realiza la grabación crea una situación poco favorable al momento de analizar las imágenes obtenidas, pues su presencia quita una parte del registro del camino. Suceso que puede ocasionar discrepancias entre los valores de los deterioros obtenidos por el sistema de cámaras con respecto a los obtenidos mediante la metodología del MOP (Figura 4-18), debido al no registro de la totalidad de los deterioros presentes en una U.M. Por esta razón, se aconseja realizar las mediciones en días y horarios en que se sepa que el tránsito vehicular es el mínimo posible (por ejemplo, el domingo en la mañana).



Figura 4-18: Registro de tránsito durante la grabación del camino (fuente: propia).

- Condición Climática: Otro aspecto que se debe tener en cuenta, son las condiciones climáticas que existan al momento de realizar las grabaciones de los caminos. En condiciones de tormenta, precipitaciones, neblina, nevazones y otros fenómenos, se debe postergar la salida a terreno para la grabación de vías ya que en esas condiciones la visibilidad de grabación de la cámara se reduce a tal manera que no se pueden identificar y valorizar los deterioros. Por esta razón, las salidas de grabación de caminos deben ir respaldada con información climatológica que asegure un clima despejado para unas buenas grabaciones.

4.4 MÉTODO EMPLEADO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS DETERIOROS UTILIZANDO EL SISTEMA DE CAMARAS

Dada las características de los deterioros/factores que se consideran para el cálculo del ICNP_{CAM}, se distinguen dos grupos: el de los “*Deterioros Discretos_{CAM}*” y los “*Deterioros Continuos_{CAM}*”.

En los “*Deterioros Discretos_{CAM}*” se consideran al “*Bombeo-Drenaje_{CAM}*”, “*Superficie-Pedregosa_{CAM}*” y “*Erosión_{CAM}*”. El término de discreto se debe a que estos deterioros/factores sólo pueden tomar valores acotados para el cálculo del ICNP. Estos deterioros/factores por sí mismo no producen graves efectos negativos en los vehículos que circulan a los caminos no pavimentados, pero sí aceleran la aparición de los deterioros que sí lo hacen (calaminas, ahuellamiento y baches), por lo que su identificación da señales simples y claras del estado en que se encuentra un camino no pavimentado. Los valores y condiciones que se consideraron para estos “*Deterioros Discretos_{CAM}*” se presentan en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: “Deterioros Discretos_{CAM}” (fuente: propia).

Deterioro/Factor	Valor que seleccionar en la expresión de ICNP _{CAM} junto con su descripción		
Bombeo- Drenaje_{CAM}	0,0 Presencia de un buen bombeo (convexo) y un buen sistema de drenaje (cunetas y fosos despejados, otros).	0,5 Presencia de bombeo regular (plano) y/o de un sistema de drenaje en regular estado (falta de saneamiento de cunetas, fosos, otros).	1,0 Presencia de un pésimo Bombeo (cóncavo) y/o ausencia de un sistema de drenaje (no tiene adonde evacuar las aguas lluvias de la calzada).
“Superficie- Pedregosa_{CAM}”	0,0 No hay presencia de sup. pedregosa.	1,0 Existe presencia de sup. pedregosa (afloramiento de agregados y/o agregados sueltos en la superficie).	
“Erosión_{CAM}” (Identificado a lo largo de toda la Z.M.)	0,0 No hay presencia de Erosión.	1,0 Existe presencia de Erosión (evidente surco de agua).	

Se presenta una serie de imágenes de deterioros/factores discretos (Figuras 4-19, 4-20 y 4-21) identificados a partir de las imágenes de las grabaciones de caminos no pavimentados mediante el sistema de cámaras.



(a)



(b)

Figura 4-19: “Bombeo-Drenaje_{CAM}” (fuente: propia)

(a) Mal Bombeo (sección cóncava) sin despeje de zonas laterales del camino (valor 1,0); (b) Buen Bombeo (sección convexa) con cunetas despejadas y bien definidas (valor 0,0).

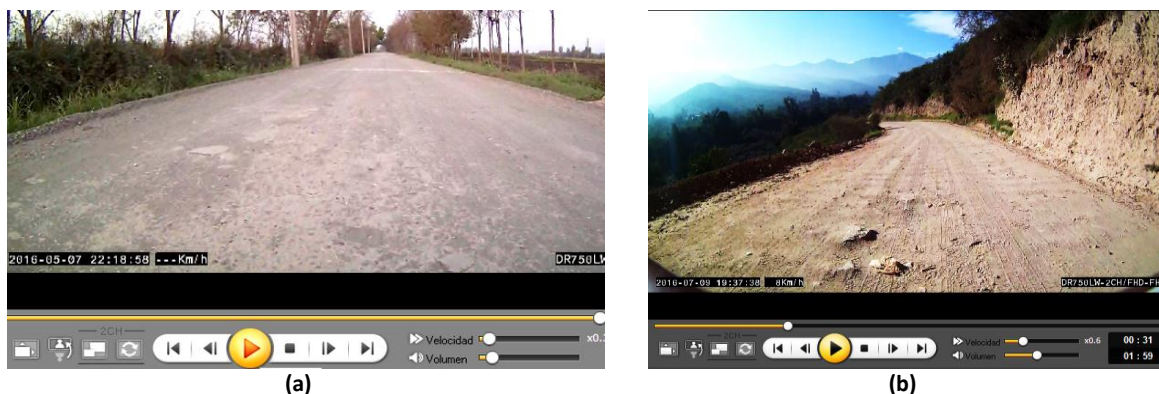


Figura 4-20: “Superficie-Pedregosa_{CAM}” (fuente: propia)
(a) Camino sin presencia (valor 0); (b) Camino con afloramiento de agregados y rocas de consideración (valor 1).

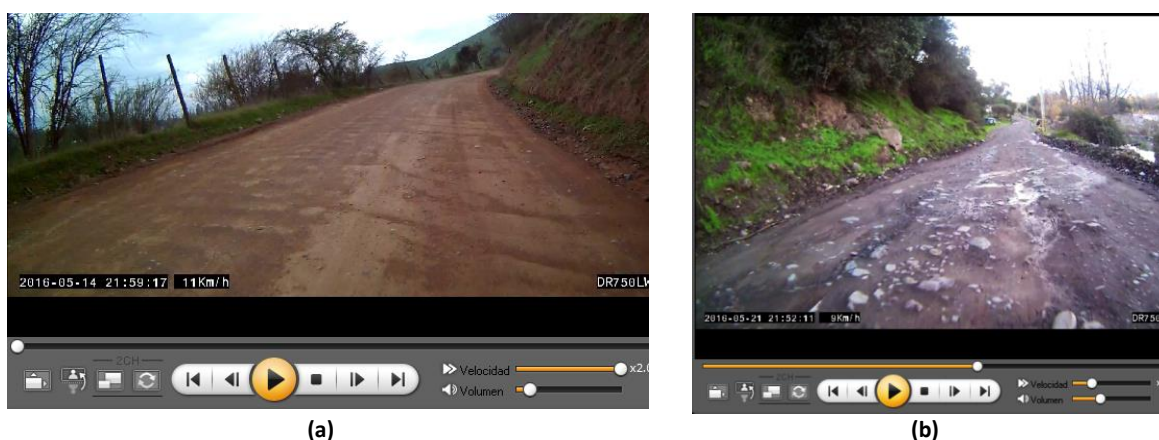


Figura 4-21: “Erosión_{CAM}” (fuente: propia)
(a) Surcos en donde escurrió aguas lluvias (valor 1); (b) Camino con circulación de flujos de aguas lluvias que producen la erosión de la superficie (valor 1).

En cuanto al segundo grupo de deterioros/factores a considerar para el ICNP_{CAM}, son los denominados “*Deterioros Continuos_{CAM}*”, los que tienen como característica que los resultados que pueden tomar son continuos, produciendo una infinita variabilidad de valores. En este grupo se encuentran las “*Calamina_{CAM}*”, “*Ahuellamiento_{CAM}*” y “*Baches_{CAM}*”, los que justamente son los deterioros que producen una mayor rugosidad de la superficie, afectando directamente el nivel de servicio de vías no pavimentadas. Es por esto por lo que sus dimensiones, generalmente, son los aspectos que se evalúan para asignar tipos de mantenimiento/rehabilitación específica a realizar para cierto tramo de camino no pavimentado.

La determinación del modo de asignación de estos deterioros mediante el sistema de cámaras se explica en cada uno.

a. “Calamina_{CAM}”

En la metodología establecida por el MOP, este deterioro se evalúa midiendo su profundidad. Luego, se obtiene el promedio de todos los valores registrados en cierto U.M., resultado que se ingresa a la expresión del ICNP. Debido a la gran dificultad que tiene valorizar su profundidad desde una imagen, pero en que sí es posible su identificación, es que se establece que la valorización puntual por calamina evidenciada será a partir de la elección de 4 niveles de deterioro: “No se detecta”, “Leve”, “Media”, “Alta”; los que tienen asignado los siguientes valores de profundidad en centímetro (Tabla 4-3).

Tabla 4-3: Valores a registrar en “Calamina_{CAM}” (fuente: propia)

“CALAMINA _{CAM} ”				
Clasificación	“No se Detecta”	Leve	Media	Alta
h [cm]	0	1	2	5

La clasificación “No se Detecta”, tal como su nombre lo indica es que no se visualiza presencia de calaminas en la imagen tomada por la cámara. En cambio, para la clasificación “Leve” se toma en cuenta desde la presencia de pequeñas depresiones frecuentes (3 o más) en el terreno que tienen una misma trayectoria longitudinal al camino, las que se pueden identificar como manchas consecutivas; hasta depresiones en que se diferencian claramente las ondas transversales que definen a una calamina (Figura 4-22). El estado “Medio” consiste en estas calaminas identificadas claramente hasta llegar a ondulaciones que a simple vista hacen entender que la conducción del vehículo se ve afectada, teniéndose que reducir la velocidad del recorrido (Figura 4-23). Finalmente, el estado “Alta” está asociada a las calaminas anteriormente descritas en que el tránsito vehicular a velocidades superiores de 50 km/h llega a ser peligroso (perdida de estabilidad en la conducción) (Figura 4-24).

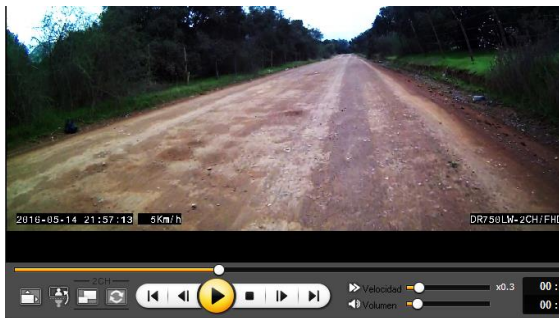


(a)



(b)

Figura 4-22: “Calamina_{CAM}” detectada como de nivel “Leve” con valor 1 cm de profundidad (fuente: propia)
(a) Imagen sin demarcar calamina; (b) Imagen con calamina demarcada.



(a)



(b)

Figura 4-23: “Calamina_{CAM}” detectada como de nivel “Medio” con valor 2 cm de profundidad (fuente: propia)
(a) Imagen sin demarcar calamina; (b) Imagen con calamina demarcada.



(a)



(b)

Figura 4-24: “Calamina_{CAM}” detectada como de nivel “Alta” con valor 5 cm de profundidad (fuente: propia)
(a) Imagen sin demarcar calamina; (b) Imagen con calamina demarcada.

Ya registrada todas las profundidades de calaminas, se considera el promedio de estos valores como el representativo de las calaminas dentro de una U.M.

La justificación de los valores de profundidad de calaminas considerados en los niveles de deterioro se debe a la experiencia evidenciada en terreno. En el caso específico del valor “Alta”, que es de 5 centímetro, se tomó en cuenta lo establecido “Las Políticas de Conservación Vial Etapa 3 - Caminos No Pavimentados” (Ministerio de Obras Públicas, 2014), en donde se indica que el umbral de intervención inmediata de la vía en el caso de la calamina sería para deterioros superiores a 3 cm en promedio, siendo el valor “Alta” un dato puntual de cierta calamina ubicada dentro de una U.M. que reduce los efectos negativos que se tienen al considerar el valor promedio de calaminas para los casos de graves deterioros superficiales puntuales en calzadas.

b. “Ahuellamiento_{CAM}”

Al igual que en la calamina, para el ahuellamiento se considera su profundidad promedio como parámetro de entrada para la expresión del ICNP. Por lo que también se plantea la discretización de los valores que puede tomar este deterioro dependiendo de la magnitud observada a partir de las imágenes capturadas por el sistema de cámaras. Para este caso, se consideran los valores de profundidad en centímetro de este deterioro mostrados en la Tabla 4-4 para cada ahuellamiento registrado dentro de una U.M.

Tabla 4-4: Valores a registrar en “Ahuellamiento_{CAM}” (fuente: propia)

“AHUELLAMIENTO _{CAM} ”				
Clasificación	“No se Detecta”	Leve	Medio	Alto
h [cm]	0	1	3	6

La clasificación “No se Detecta”, tal como su nombre lo indica es que no se visualiza presencia de ahuellamiento en la imagen tomada por la cámara, en otras palabras, no se ve marcada la huella de los neumáticos en la superficie del camino. Para la clasificación “Leve” se toma en cuenta desde la marca de la huella de los neumáticos en la superficie hasta llegar a ver deformada la superficie de la calzada en la forma del neumático (Figura 4-25). El estado “Medio” consiste en ahuellamiento que ya se ven claramente en la superficie hasta llegar a deformaciones longitudinales de la calzada que ya afectan hasta el mismísimo bombeo (pendiente transversal) del camino (Figura 4-26). Finalmente, el estado “Alto” se asocia a ahuellamientos en que se ve material que desborda de los lados laterales en donde circula la huella de los neumáticos y en donde la conducción sobre la

calzada se vuelve entorpecida ya que la pista “restringe” en cierta medida el libre movimiento transversal del vehículo sobre el camino (Figura 4-27).



Figura 4-25: “Ahuellamiento_{CAM}” detectada como de nivel “Leve” con valor 1 cm de profundidad (fuente: propia)
 (a) Imagen sin demarcar ahuellamiento; (b) Imagen con ahuellamiento demarcado.

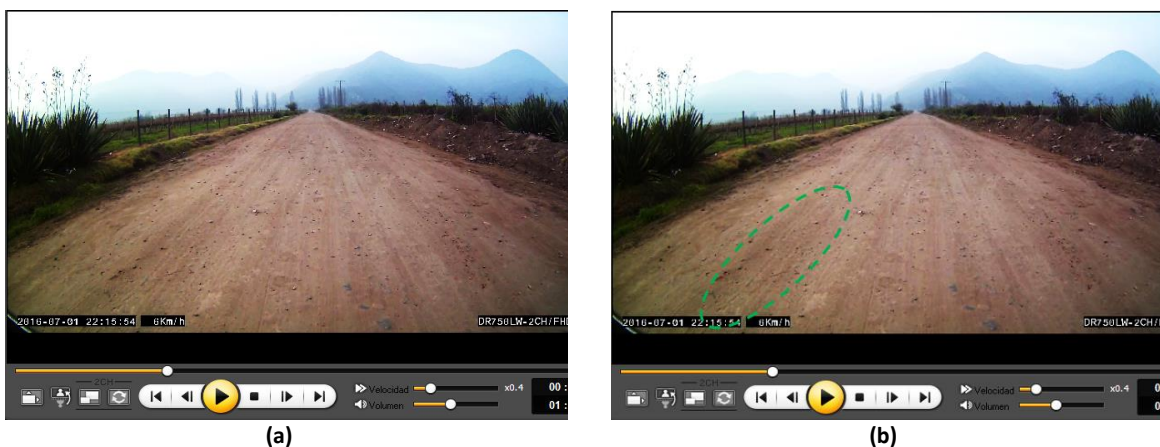


Figura 4-26: “Ahuellamiento_{CAM}” detectada como de nivel “Medio” con valor 3 cm de profundidad (fuente: propia)
 (a) Imagen sin demarcar ahuellamiento; (b) Imagen con ahuellamiento demarcado.

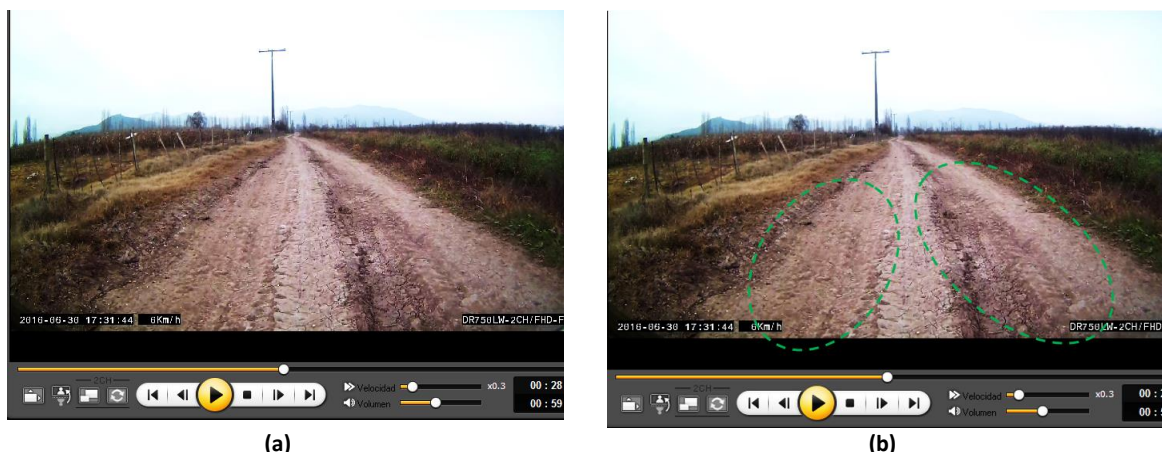


Figura 4-27: “Ahuellamiento_{CAM}” detectada como de nivel “Alto” con valor 6 cm de profundidad (fuente: propia)
(a) Imagen sin demarcar ahuellamiento; (b) Imagen con ahuellamiento demarcado.

Ya registrada todas las profundidades de ahuellamiento, se considera el promedio de estos valores como el representativo de los ahuellamientos dentro de una U.M.

Al igual que con la calamina, se toma en cuenta el valor de umbral de intervención propuesto por el manual del ICNP que es de 4 cm de profundidad promedio de ahuellamiento, medidos dentro de una U.M. El valor de 6 cm para el ahuellamiento “Alto” se eligió para corregir los problemas asociados al uso de un valor promedio de este deterioro ante grandes valores registrados en una superficie, los cuales son los verdaderamente críticos en la elección de qué tipo de actividades de mantención/rehabilitación se deben realizar para cierto camino.

c. “Baches_{CAM}”

El deterioro “Baches_{CAM}” fue el que más presento variabilidad en la asignación de su valor para ingresarlo a la expresión del ICNP_{CAM}, debido a que en la expresión original del ICNP la variable “Baches” se obtiene al multiplicar la cantidad de baches registrados dentro de la U.M., por la altura y diámetro promedios de estos en unidad de metro. Como se mencionó anteriormente, es muy difícil obtener una medición exacta de dimensiones de deterioros a través de esta tecnología, por lo que se propuso que el parámetro “Baches_{CAM}” sería una función dependiente de la cantidad de baches registrados dentro de la U.M. utilizando el sistema de cámaras. Se utilizaron las expresiones IV-1 y IV-2 para el cálculo de “Baches_{CAM}”, en donde la expresión IV-1 es una regresión lineal

obtenida a partir de la relación “ $N^{\circ}Baches_{CAM}$ ” con “ $Baches_{MOP}$ ” de los datos obtenidos de las 60 U.M. medidas consideradas como base muestral de este estudio.

$$Baches_{MOP} = Baches_{CAM} = 0,0057 * N^{\circ}Baches_{CAM} + 0,0201 ; \text{ si } “N^{\circ}Baches_{CAM}” > 0 \text{ (IV-1)}$$

$$Baches_{MOP} = Baches_{CAM} = 0 ; \text{ si } “N^{\circ}Baches_{CAM}” = 0 \text{ (IV-2)}$$

Se presenta en las Figuras 4-28 y 4-29 imágenes de baches captados en imágenes provenientes de la grabación del sistema de cámaras utilizado.



Figura 4-28: “ $Baches_{CAM}$ ” en un camino de tierra, los que se deben identificar y contabilizar dentro de una imagen de video (fuente: propia)

(a) Imagen sin demarcar baches; (b) Imagen con baches demarcado.



Figura 4-29: “ $Baches_{CAM}$ ” en un camino de grava, los que se deben identificar y contabilizar dentro de una imagen de video (fuente: propia)

(a) Imagen sin demarcar baches; (b) Imagen con baches demarcado.

Para identificar un bache a través de la imagen, se puede considerar zonas puntuales con cambio de color respecto a la superficie general como depresiones, es decir, se está en presencia de baches.

De todos modos, se debe tener cuidado de confundirlos con calaminas, estos últimos se consideran cuando existen tres depresiones, o más, seguidas en un mismo eje (Figura 4-30).

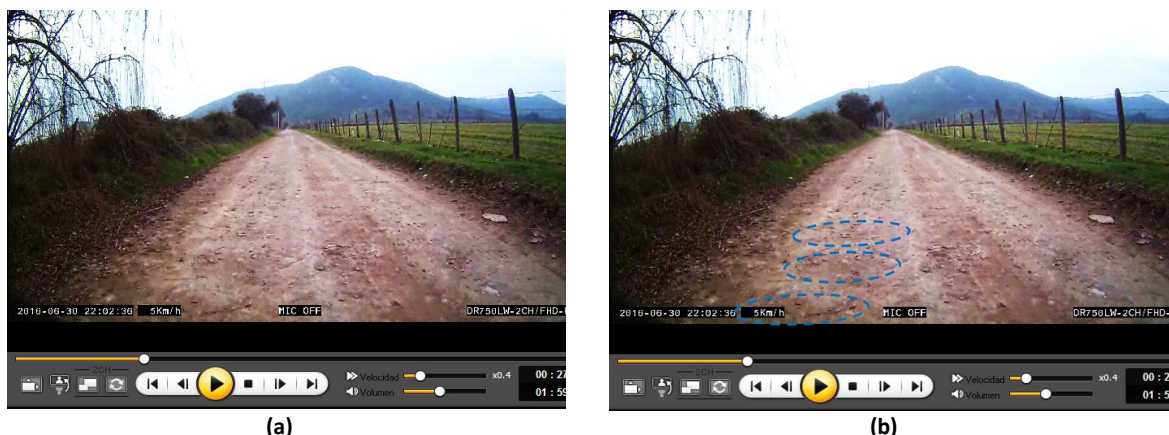


Figura 4-30: Confusión entre Baches_{CAM} y Calaminas_{CAM}, (fuente: propia)
(a) Imagen sin demarcar calamina; (b) Imagen con calamina demarcada.

Para mayor detalle sobre el uso de esta metodología para la obtención de los valores de los deterioros continuos, ver el ANEXO C “GUÍA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DETERIOROS CONTINUOS”.

4.5 OBTENCIÓN DEL ICNP_{CAM}

Ya definidas las expresiones de los seis deterioros/factores que se necesitan conocer para obtener el ICNP_{CAM}, se definen cómo será el procedimiento de obtención de este indicador. Se barajaron dos posibilidades de acción, las que se nombran a continuación.

- (1) Utilizar la misma expresión de ICNP para mediciones sin equipos de auscultación definidas por la metodología del MOP.
- (2) Obtener una nueva expresión de ICNP_{CAM} mediante la realización de un análisis de regresión lineal múltiple, relacionando los Deterioros_{CAM} con los valores de ICNP registrados siguiendo la metodología del MOP.

Dadas estas dos posibilidades se analizaron sus pros y los contras, las que se presentan en las Tablas 4-5 y 4-6.

Tabla 4-5: Ventajas y desventajas del uso de misma expresión de ICNP_{MOP}

Uso de misma expresión de ICNP _{MOP}	
Ventajas	Desventajas
- Al utilizar la misma expresión, se sigue atribuyendo la misma importancia que tiene cierto deterioro en específico en el resultado final de la condición del camino (ICNP.) - Al ser la misma expresión, se puede utilizar las mismas planillas de calculo que se utilizan para la obtención del ICNP_{MOP}. - Como se utilizaría la misma expresión del ICNP, los términos de está no están en discusión, y con ello se seguirían los mismos alineamientos base que se tomaron en cuenta para el desarrollo del estudio del indicador descrito en el documento de “Las Políticas de Conservación Vial Etapa 3 - Caminos No Pavimentados” (Ministerio de Obras Públicas, 2014), que es el documento oficial del MOP. - Se pueden seguir realizando mediciones sobre U.M. y Z.M., para posteriormente ajustar las definiciones de valores de los Deterioros_{CAM}.	- Se podrían tener mayores diferencias entre los ICNP_{MOP} con los ICNP_{CAM}, dificultando el proceso de análisis de datos. - Dicha diferencia entre los valores de ICNP debe ser considerada al momento de utilizar la metodología del sistema de cámaras.

Tabla 4-6: Ventajas y desventajas de obtener de una nueva expresión de ICNP_{CAM}

Uso de nueva expresión de ICNP _{CAM}	
Ventajas	Desventajas
- Al obtener una nueva expresión para el ICNP_{CAM} mediante un análisis de regresión lineal múltiple, se deberían obtener menores diferencias de los ICNP_{MOP} registrados en terreno con los ICNP_{CAM} durante las pruebas de validación de la metodología. - Se puede seguir realizando mediciones de U.M. y Z.M. para ir mejorando el modelo de ICNP_{CAM} obtenido.	- Se podría perder la importancia que tiene cierto deterioro/factor sobre el resultado final de la condición superficial de un camino no pavimentado. - Durante el proceso de análisis de regresión, dado los datos obtenidos tanto en terreno del ICNP como de los deterioros mediante la reproducción de las grabaciones, existe la posibilidad de que se eliminen ciertos deterioros/factores de la nueva expresión de ICNP al considerarse como no significativos mediante un análisis ANOVA. - Para que se obtenga un buen análisis de regresión lineal múltiple se requiere tener una gran base muestral, que considere la mayoría de las condiciones locales de los caminos no pavimentados que hay en el país para que se obtenga una nueva expresión universal para el ICNP_{CAM}. - Se requiere de un consumo adicional de recursos humanos y computacionales para realizar el análisis de regresión lineal múltiple.

Mencionadas las ventajas y desventajas que se tendrían al utilizar una u otra alternativa de obtención para el $ICNP_{CAM}$, se establece que se seguirá en esta investigación utilizando la misma expresión del $ICNP_{MOP}$ planteada por la Dirección de Vialidad. Expresión que quedaría de la siguiente manera.

$$ICNP_{CAM} = 10 - 1,15 * (1,01 * Calamina_{CAM} + 1,96 * Baches_{CAM} + 1,28 * Erosión_{CAM} + \dots 0,29 * Ahuellamiento_{CAM} + 1,36 * Camino Pedregoso_{CAM} + 1,37 * Bombeo_{CAM}) \quad (IV-3)$$

Uno de los factores que se consideraron como gravitantes para la elección de utilizar la misma expresión del ICNP en vez de obtener una nueva expresión, fue que la planteada por el MOP ya está considerada como oficial para la determinación de la condición superficial de los caminos no pavimentados. También se tomó en cuenta que la obtención de los $Deterioros_{CAM}$ debería ir mejorando en sus expresiones a través de futuras investigaciones; las que podrían considerar el uso de nuevos sistemas de cámaras con mayor cantidad de herramientas gráficas respecto a la usada para este estudio.

Para facilitar el entendimiento y uso de esta metodología de obtención del ICNP mediante el uso del sistema de cámaras, se elaboró un manual de uso presentado en el ANEXO D “MANUAL DE USO PARA EL CÁLCULO DEL $ICNP_{CAM}$ ”, en donde se explica en detalle el procedimiento de manera “Paso a Paso” para su correcta utilización. En este manual se señala claramente la manera de obtención de los valores de los deterioros/factores que deberá definir el usuario según su criterio y expertise.

4.6 RESULTADOS OBTENIDOS

Se presentan los resultados obtenidos de los $ICNP_{MOP}$, $Deterioros_{CAM}$ e $ICNP_{CAM}$ de las 60 U.M. que conformaron la base muestral de este estudio.

4.6.1 ICNP_{MOP}

Los resultados de los ICNP_{MOP} diferenciándolos por superficie de tierra y de grava se presentan en la Figura 4-31.

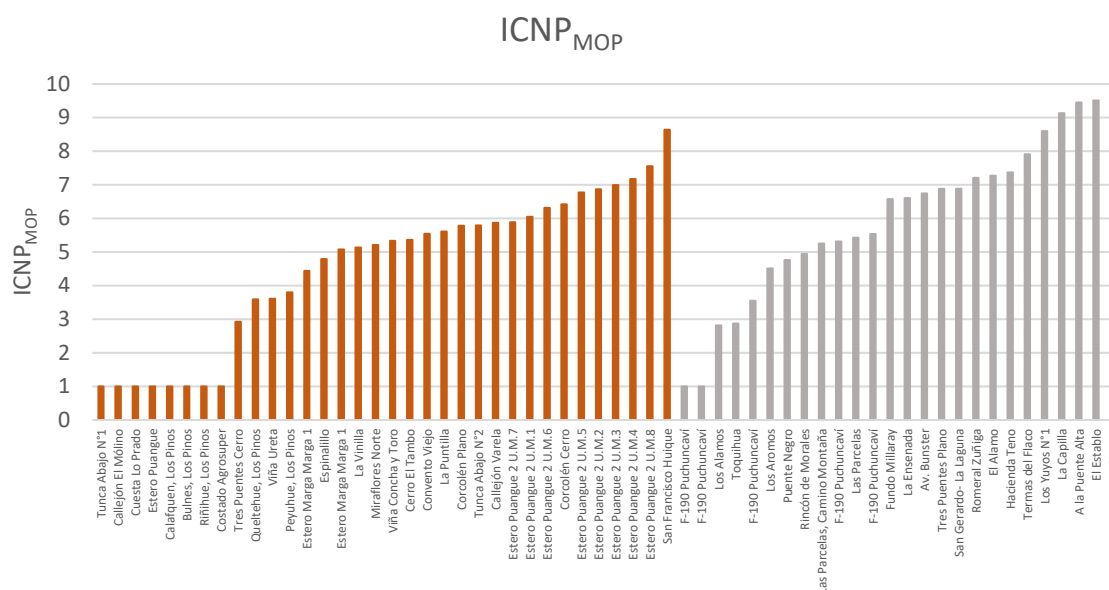


Figura 4-31: Resultados de los ICNP_{MOP} (fuente: propia)

En donde:

■ : Caminos de Tierra

■ : Caminos de Grava

Algunos indicadores estadísticos sobre los resultados de los ICNP_{MOP} se presentan en la Tabla 4-7.

Tabla 4-7: Resultados Estadísticos ICNP_{MOP} (fuente: propia)

ICNP _{MOP}						
Superficie	Mín.	Máx.	Prom.	Mediana	Desv. Est.	Coef. Variación
Tierra	1,0	8,6	4,5	5,3	2,3	50,6%
Grava	1,0	9,7	6,0	6,6	2,4	40,4%

Analizando el gráfico y los resultados estadísticos, se puede decir que las U.M. medidas consideradas como base muestral para este estudio presenta una gran variabilidad de resultados, lo que se ve con los 50,6% y 40,4% de coeficiente de variación que se tuvo para los caminos de tierra y grava

respectivamente. Estos valores de coeficiente de variación, junto con la cercanía entre los promedios y medianas, indican que la elección de las 60 U.M. utilizadas como base muestral para este estudio fue correcta, sobre todo considerando los limitados recursos económicos y humanos con que se contaron. En cuanto a los valores de $ICNP_{MOP}$ entre los caminos de superficie de tierra y grava, los resultados mayores se obtuvieron en los caminos de gravas como era de esperar, registrando una mayor cantidad de caminos en estado “Muy malo” en los de superficie de tierra, dando a notar que estos necesitan una mayor frecuencia de inspección de sus calzadas. En el ANEXO B “RESULTADOS RECOLECCIÓN MANUAL DE DATOS E $ICNP_{MOP}$ ” se encuentran los resultados detallados de los deterioros y de los $ICNP$ registrados siguiendo la metodología del MOP de las 60 U.M.

4.6.2 DETERIOROS_{CAM} Y SUS VALORES RESPECTO A LOS DETERIOROS_{MOP}

Debido a que las dimensiones y repetitividad en que se presenta cierto deterioro en específico determinan en gran medida la técnica de mantención-mejoramiento-rehabilitación que se debería realizar en un camino no pavimentado en particular, se procede a mostrar los resultados de los “*Deterioros_{CAM}*” de las 60 U.M. obtenidos en este estudio. Para mayor detalle de esta información se adjunta el ANEXO F “RESULTADOS DE DETERIOROS E $ICNP$ UTILIZANDO METODOLOGÍA DEL SISTEMA DE CÁMARAS”, en donde aparecen ciertos gráficos de dispersión de comparación entre los “*Deterioros_{MOP}*” y “*Deterioros_{CAM}*” que avalan los criterios utilizados para la elección de estos últimos (*Ahuellamiento_{CAM}*, *Calaminas_{CAM}* y *Baches_{CAM}*). Los resultados de los “*Deterioros_{CAM}*” se presentan diferenciándolos en dos grupos, los “*Deterioros Discretos_{CAM}*” y los “*Deterioros Continuos_{CAM}*”, en donde se muestran distintos gráficos y tablas con información estadística de las 60 U.M. medidas a través del sistema de cámaras.

i. “Deterioros Discretos_{CAM}”

“Bombeo-Drenaje_{CAM}”

Se presenta en la Figura 4-32 y la Tabla 4-8 información de la calidad del bombeo-drenaje registrado mediante el sistema de cámaras.

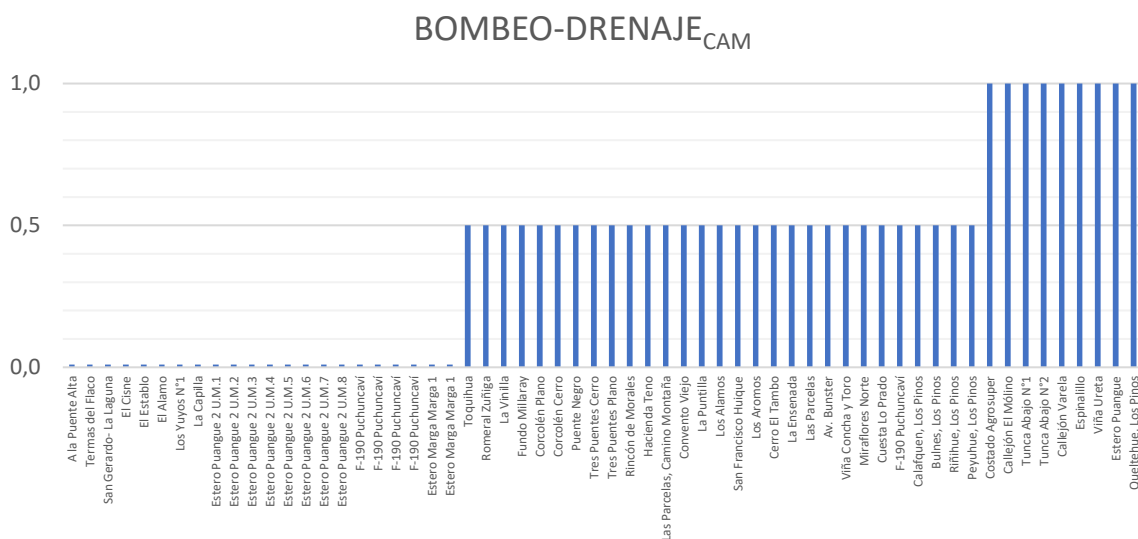


Figura 4-32: Resultados de los “Bombeo-Drenaje_{CAM}” (fuente: propia)

Tabla 4-8: Resultados Estadísticos “Bombeo-Drenaje_{CAM}”

“Bombeo-Drenaje _{CAM} ”	Frecuencia	Porcentaje
Bueno (0,0)	22	37%
Regular (0,5)	29	48%
Malo (1,0)	9	15%

La calidad del bombeo-drenaje presenciado en las 60 U.M. en su mayoría fue de estado “Regular”, siguiéndolo en estado “Bueno” y en último lugar con calidad “Malo”. Es importante evaluar rápidamente la calidad del bombeo-drenaje que tiene cierto camino no pavimentado, pues es uno de los primeros indicios del nivel de servicio que puede tener una vía ya que la falla en la evacuación de las aguas lluvias produce una acelerada aparición de los deterioros que, si afectan a la rugosidad de un camino, como lo son el ahuellamiento, calaminas y baches principalmente.

“Superficie-Pedregosa_{CAM}”

En la Figura 4-33 y en la Tabla 4-9 se presentan los resultados de la presencia, o ausencia, de superficie pedregosa de las 60 U.M. medidas a través del sistema de cámaras.

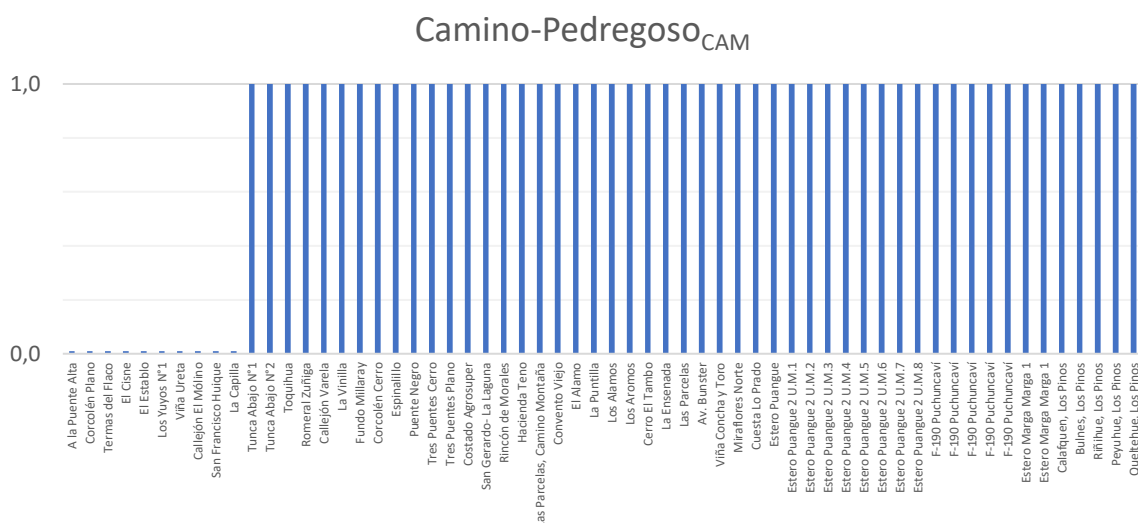


Figura 4-33: Resultados del registro de “Superficie-Pedregosa_{CAM}” (fuente: propia).

Tabla 4-9: Resultados Estadísticos “Superficie-Pedregosa_{CAM}”

<i>“Superficie-Pedregosa_{CAM}”</i>	Frecuencia	Porcentaje
Ausencia (0,0)	10	16,7%
Presencia (1,0)	50	83,3%

No resultó difícil la identificación de superficie pedregosa mediante el sistema de cámaras, encontrándose en la mayor cantidad de las 60 U.M. presencia de material granular suelto en su superficie y/o con afloramiento de rocas de dimensiones considerables. Presencia que puede llegar a producir una disminución en la resistencia al deslizamiento que tienen los vehículos que transitan las vías no pavimentadas, así como generar mayores costos operacionales de circulación para sus usuarios, aumentando la pérdida económica que ocasionan los caminos en mal estado en la sociedad.

“Erosión_{CAM}”

En la Figura 4-34 y en la Tabla 4-10 se presentan los resultados del registro de la presencia, o ausencia, de erosión mediante el sistema de cámaras evidenciado a lo largo de toda la zona de muestra (1 km) registrada de los 60 tramos de caminos medidos en este estudio.

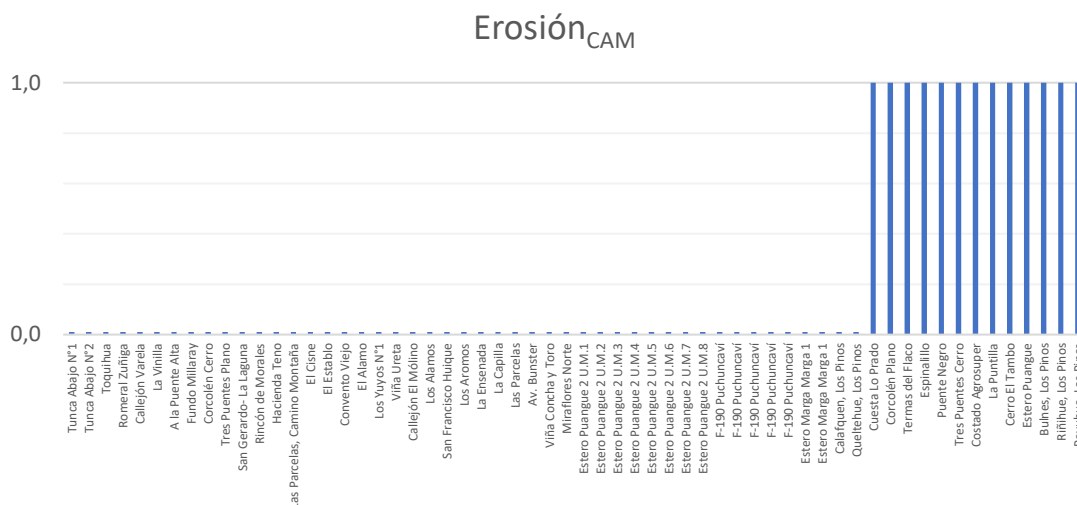


Figura 4-34: Resultados del registro de “Erosión_{CAM}” (fuente: propia).

Tabla 4-10: Resultados Estadísticos “Erosión_{CAM}”

“Erosión _{CAM} ”	Frecuencia	Porcentaje
Ausencia (0,0)	13	21,7%
Presencia (1,0)	47	78,3%

La erosión fue registrada principalmente en caminos que se encontraban en faldas de cerro (cuestas) y en vías que tenían un “Mal” sistema de bombeo-drenaje. Aunque la presencia de erosión fue evidenciada en tan sólo un 21,7% de los caminos medidos, es importante destacar que su presencia es una señal clara del mal sistema de bombeo-drenaje que tiene un camino, lo que genera un debilitamiento del material de la superficie de la calzada cuando ocurren precipitaciones, generando una aceleración de los deterioros; efectos negativos que se amplían con la pérdida de material granular producto de su arrastre por los flujos de aguas, llevando a que los caminos requieran una mayor cantidad de actividades de mantención/rehabilitación.

En resumen, se puede decir que aunque estos tres “Deterioros Discretos_{CAM}” usualmente no son tomados en cuenta por los usuarios de los caminos no pavimentados para definir la calidad de la vía

(ya que su efecto no los aprecian a simple vista), son muy relevantes para comprender el estado real de la calzada ya que su presencia es una señal clara del cada vez mayor aumento de deterioros superficiales que afectarán gravemente al tránsito operación vehicular, tanto en términos de costos de operación como referidos a la seguridad vial.

ii. “Deterioros Continuos_{CAM}”

“Calamina_{CAM}”

En la Figura 4-35 se presentan los resultados de las Calaminas_{CAM} obtenidos de las 60 U.M. medidas, en donde se demarcan los niveles de severidad (ausencia, leve, media y alta) definidos en el punto “3.3. ESPACIO DE INFERENCIA – CANTIDAD DE MUESTRAS RECOLECTADAS”, específicamente en la tabla 3-2. También se destacan en color rojos las U.M. que resultaron con valores de “Calaminas_{CAM}” superiores a 3 cm, lo que define a toda la Z.M. en un estado “Muy Malo” según lo definido en “Las Políticas de Conservación Vial Etapa 3 - Caminos No Pavimentados” (Ministerio de Obras Públicas, 2014), por lo que requerirían una intervención inmediata para mejorar su superficie.

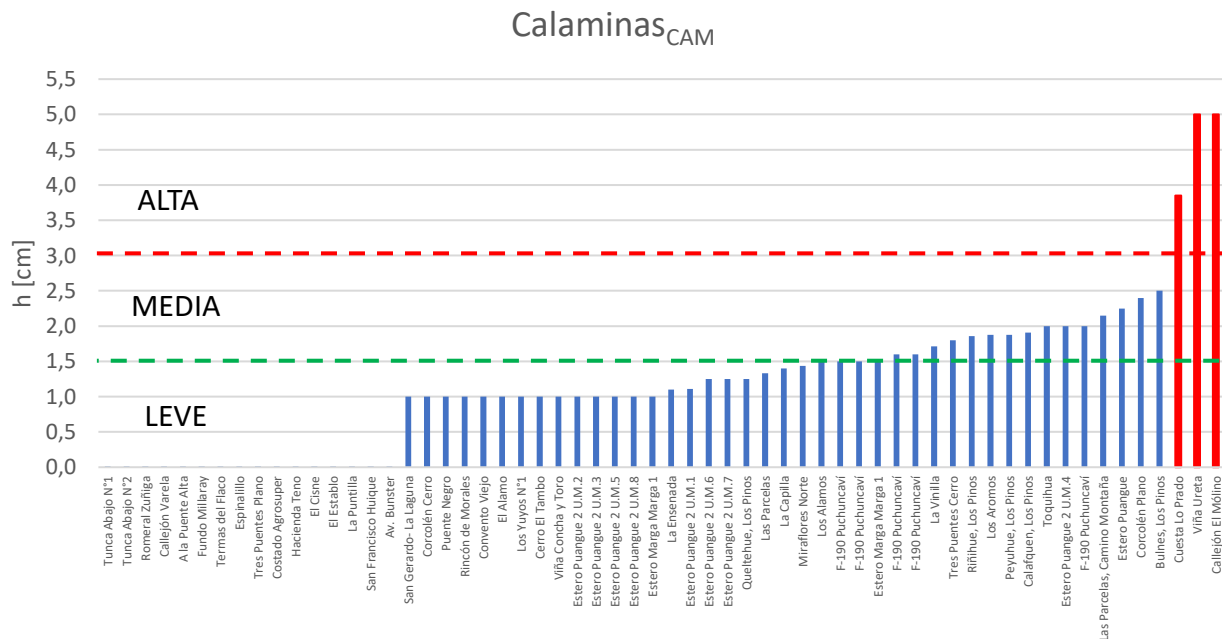


Figura 4-35: Resultados “Calaminas_{CAM}” (fuente: propia)

Se presenta información estadística de los resultados de “Calamina_{CAM}”.

Tabla 4-11: Resultados Estadísticos “Calamina_{CAM}”

“Calamina _{CAM} ”	Frecuencia	Porcentaje	Promedio	Mediana	Desv. Estándar	Coef. Variación
Ausencia	16	26,7%	1,2	1,1	1,08	88,3%
Leve	26	43,3%				
Media	15	25,0%				
Alta	3	5,0%				

Tanto con el gráfico como en la tabla presentada, se puede decir que se detectaron Calaminas_{CAM} en un 73,3% de las U.M., registrando en tan sólo tres U.M. calaminas superiores al umbral de intervención establecido por la metodología de inspección (Ministerio de Obras Públicas, 2014). Es importante destacar, que dada esta gran cantidad de caminos registrados con este deterioro, es muy útil el uso de esta metodología de inspección del sistema de cámaras ya que permite volver a ver las imágenes de la U.M. evidenciando el momento de ocurrencia de las calaminas.

“Ahuellamiento_{CAM}”

En la Figura 4-36 y Tabla 4-12 se presentan los resultados de los “Ahuellamiento_{CAM}” medidos de las 60 U.M. En la Figura 4-37, al igual que con las Calaminas_{CAM}, se segmentan las zonas por nivel de severidad del deterioro considerado en el punto 3.3 de este estudio, destacando las U.M. que tienen “Ahuellamiento_{CAM}” superiores a los 4 cm de profundidad en promedio, pues estos arrojarían a la Z.M. a una condición “Muy Mala” asignando la aplicación inmediata de actividades de mejoramiento para subir el estado del camino no pavimentado detectado en esta condición.

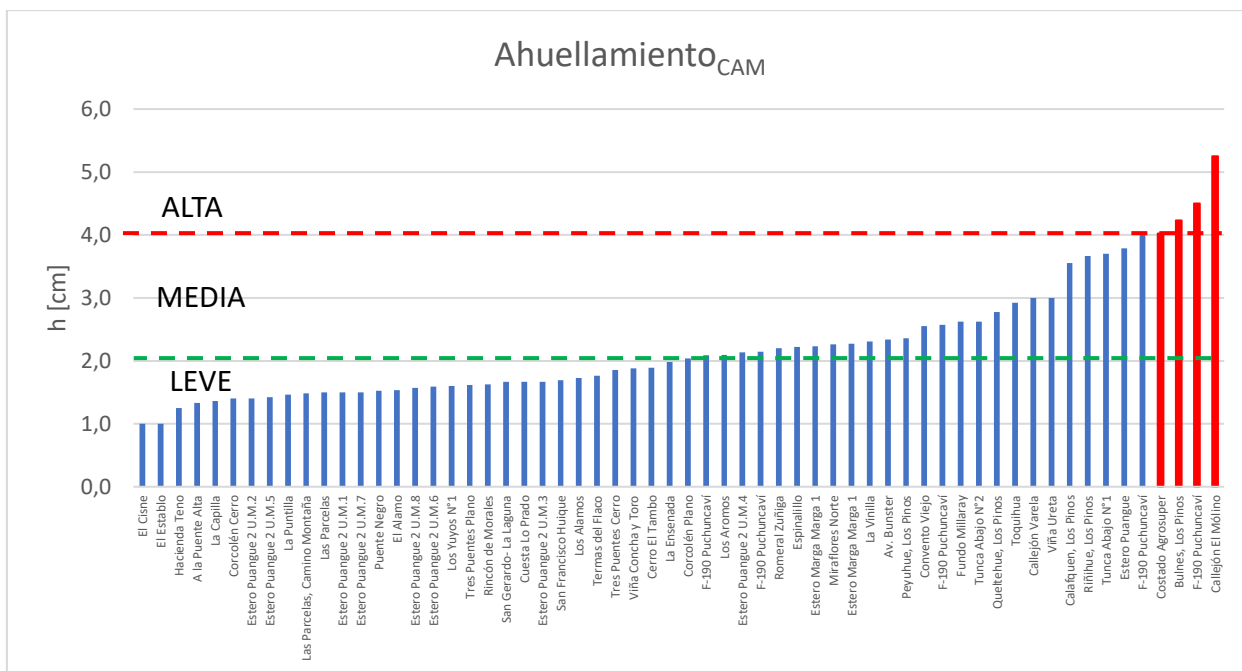


Figura 4-36: Resultados “Ahuellamiento_{CAM}” (fuente: propia)

Tabla 4-12: Resultados Estadísticos “Ahuellamiento_{CAM}”

“Ahuellamiento _{CAM} ”	Frecuencia	Porcentaje	Promedio	Mediana	Desv. Estándar	Coef. Variación
Ausencia	0	0,0%	2,2	2,0	0,93	41,7%
Leve	30	50,0%				
Media	26	43,3%				
Alta	4	6,7%				

A diferencia de la “Calamina_{CAM}”, el “Ahuellamiento_{CAM}” presento resultados no tan dispersos, concentrándose en una presencia en nivel leve y media, obteniendo valores exagerados de ahuellamiento en tan sólo tres U.M. Es importante mencionar que en todas las U.M. se registró la presencia del ahuellamiento, siendo muy destacable la ventaja que tiene registrar los ahuellamientos a través de una grabación, pues permite ver la calzada en más de una ocasión y concentrando sus evaluaciones en personal experto en la materia.

“Baches_{CAM}”

Como se mencionó en el punto 4.4. de este capítulo, el deterioro “Baches_{CAM}” resultó el más difícil de dimensionar mediante la sola observación de una imagen de camino, pues no se puede medir de forma precisa los diámetros y profundidades de cada bache con la tecnología utilizada del sistema

de cámaras, pero sí se pueden identificar y con ello contabilizar los existentes dentro de una U.M. Por esta razón, es que mediante este sistema se registraron la cantidad de baches observados dentro de una U.M. (“ $N^{\circ}\text{Baches}_{\text{CAM}}$ ”), los que se relacionaron con los resultados “ $\text{Baches}_{\text{MOP}}$ ” ($N^{\circ} \cdot m \cdot m$) generando una expresión de regresión lineal (IV-1 y IV-2) de “ $\text{Baches}_{\text{CAM}}$ ”. Los resultados del número de baches (“ $N^{\circ}\text{Baches}_{\text{CAM}}$ ”) y de los “ $\text{Baches}_{\text{CAM}}$ ” de las 60 U.M. se presentan en las Figuras 4-37, 4-38 y en la Tabla 4-13.

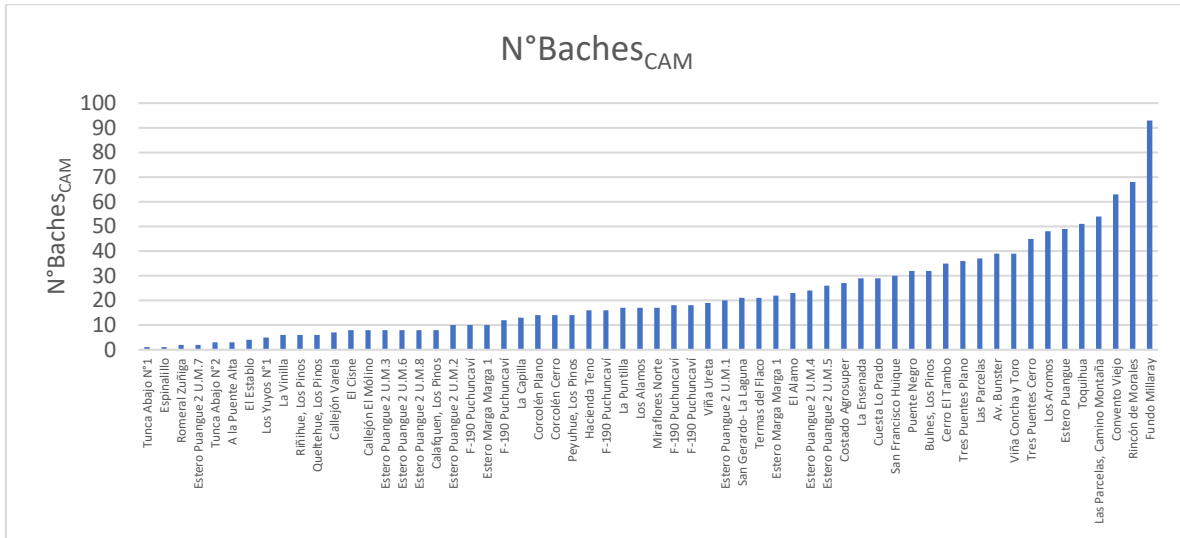


Figura 4-37: Resultados del “ $N^{\circ}\text{Baches}_{\text{CAM}}$ ” (fuente: propia)

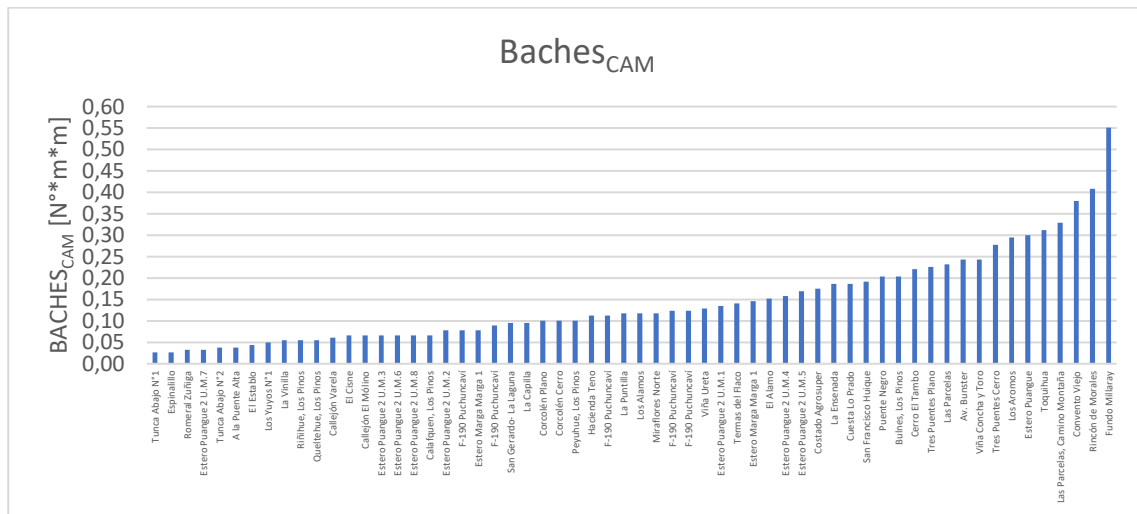


Figura 4-38: Resultados “ $\text{Baches}_{\text{CAM}}$ ” (fuente: propia).

Tabla 4-13: Resultados Estadísticos $N^{\circ}Baches_{CAM}$ y $Baches_{CAM}$

	Promedio	Mediana	Desv. Estándar	Coef. Variación
$N^{\circ}Baches_{CAM}$	22,0	17,0	18,6	84,4%
$Baches_{CAM}$	0,146	0,117	0,106	72,7%

Tal como se puede deducir mirando los resultados estadísticos, estos claramente no tienen una distribución homogénea considerando la base muestral utilizada en este estudio. Deben existir variables que no se consideraron al momento de obtener una expresión para parámetro $Baches_{CAM}$ ($N^{\circ}m^*m$), ya que con los $N^{\circ}Baches_{CAM}$ no basta. Se debería realizar un análisis exclusivo para modelar el comportamiento del parámetro $Baches$ ($N^{\circ}m^*m$) en futuras investigaciones, en donde se consideraría el tipo de superficie con definiciones más específicas, el TMDA, topografía local, entre otros. Aun así, se procedió a realizar los posteriores análisis de los resultados de los $ICNP_{MOP}$ e $ICNP_{CAM}$ considerando esta problemática del parámetro $Baches_{CAM}$ ($N^{\circ}m^*m$), pero también poniendo en la balanza que es tan sólo uno de los seis factores que influyen en el resultado del índice de la condición de un camino no pavimentado.

4.6.3 RESULTADOS $ICNP_{CAM}$

Se presentan los valores de los $ICNP_{CAM}$ de las 60 U.M. que componen la base estadística. Estos se obtuvieron al ingresar los resultados de los $Deterioros_{CAM}$ a la expresión del $ICNP_{CAM}$ (IV-3). Los valores se presentan en la Figura 4-39, en donde se pueden diferenciar los resultados de los $ICNP_{CAM}$ dependiendo del tipo de superficie de rodadura que tenían los caminos no pavimentados medidos.

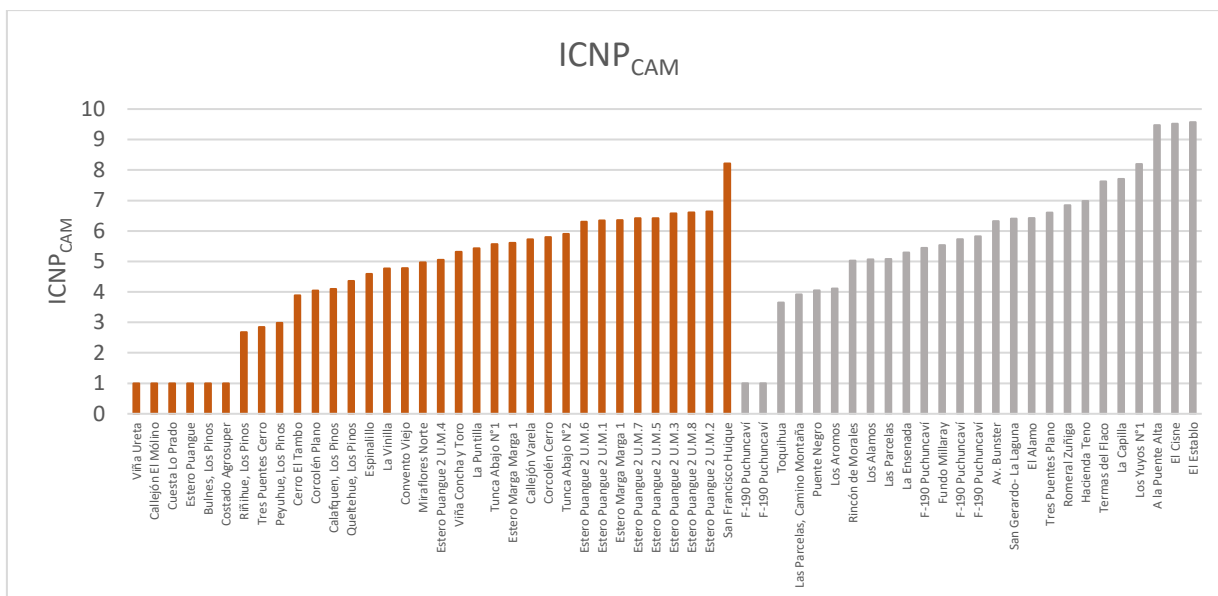


Figura 4-39: Resultados de los ICNP_{CAM} (fuente: propia).

En donde:

■ : Caminos de Tierra

■ : Caminos de Grava

En la Tabla 4-14 se presentan resultados de indicadores estadísticos de los ICNP_{CAM}.

Tabla 4-14: Resultados Estadísticos ICNP_{CAM}

ICNP _{CAM}						
Superficie	Mín.	Máx.	Prom.	Mediana	Desv. Est.	Coef. Variación
Tierra	1,0	8,2	4,5	5,0	2,0	44,9%
Grava	1,0	9,6	5,9	5,8	2,2	37,5%

Respecto a los resultados por tipo de calzada, los de superficie de grava fueron mayores a los de tierra, lo que es coherente. Pero, a diferencia de los ICNP_{MOP}, estos valores de ICNP_{CAM} presentaron una menor variabilidad en general, lo que se explica dada la discretización de resultados que se utilizó para definir los “*Deterioros Continuos_{CAM}*”. Otro aspecto importante que analizar es que en promedio se tuvieron menores resultados de ICNP_{CAM} respecto a los ICNP_{MOP}, dando señales que la metodología del sistema de cámaras planteada es a cierto nivel más conservador respecto a la valorización del estado de las calzadas. Este último aspecto se analizará en más detalle en el siguiente capítulo.

5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

RESUMEN DEL CAPÍTULO

En este capítulo se realizaron diversos análisis estadísticos sobre los datos de ICNP_{MOP} e ICNP_{CAM} con el objetivo de validar objetivamente que la relación existente entre ambos indicadores es equivalente a una igualdad. Para aquello, se procedió a conformar una base de datos (ordenamiento) estimándose su poder de análisis, para posteriormente realizar un análisis inicial mediante la descripción del gráfico de dispersión ICNP_{MOP} vs ICNP_{CAM}; luego se generó un primer modelo de regresión lineal (MRL) relacionando ambos indicadores, siendo el ICNP_{CAM} la variable independiente y el ICNP_{MOP} la variable dependiente; después se continuó con la eliminación de datos atípicos; para pasar a la verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas; y finalmente se llegó al MRL final que cumple con la hipótesis estadística de que los ICNP_{CAM} son equivalentes a los ICNP_{MOP} con un 95% de confiabilidad.

5.1 CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Se generó una base de datos con los resultados de los ICNP_{MOP} e ICNP_{CAM} de las 60 U.M. medidas, actividades que fueron descritas en los puntos 4.2 y 4.4 del capítulo anterior. El detalle de los resultados de los deterioros obtenidos por ambas metodologías se presenta en el ANEXO B “RESULTADOS RECOLECCIÓN MANUAL DE DATOS E ICNP_{MOP}” y ANEXO F “RESULTADOS DE DETERIOROS E ICNP UTILIZANDO METODOLOGÍA DEL SISTEMA DE CÁMARAS”.

5.2 PODER DE ANALISIS DE LOS DATOS RECOLECTADOS

Se realizó la estimación de la potencia de los datos procesados para el análisis de regresión que se desarrolló entre los ICNP_{MOP} e ICNP_{CAM}. Su objetivo es garantizar cierta precisión y exactitud de los coeficientes de regresión que se obtendrán, los que se utilizarán para realizar las pruebas de hipótesis de comparación entre ambos indicadores.

En este análisis se utilizó el método Post Hoc, que determina la potencia ($1-\beta$) del tamaño de la muestra con el número de muestras (n), un error de probabilidad (α) y un tamaño de efecto (f). Se

utilizó el análisis de potencia estadística de Cohen (Cohen, 1988), utilizando para ello el software GPower V3.1.

Los valores asumidos para el análisis de potencia fueron:

- Error de probabilidad (α) = 0,05
- $n = 60$ U.M.
- Tamaño de efecto (f) = 0.15^{32}
- Numeradores y Predictores = 1^{33}

Como resultado de este análisis, se obtuvo una potencia de 0,2038 (Figura 5-1) que se puede definir como bajo, considerando que un buen número de potencia debe ser superior a 0,7 (Cohen, 1988) (Osorio Lird, 2015). Por lo que en un futuro próximo es necesario realizar mediciones adicionales para garantizar un mejor poder de la muestra en las relaciones $ICNP_{MOP} \equiv ICNP_{CAM}$.

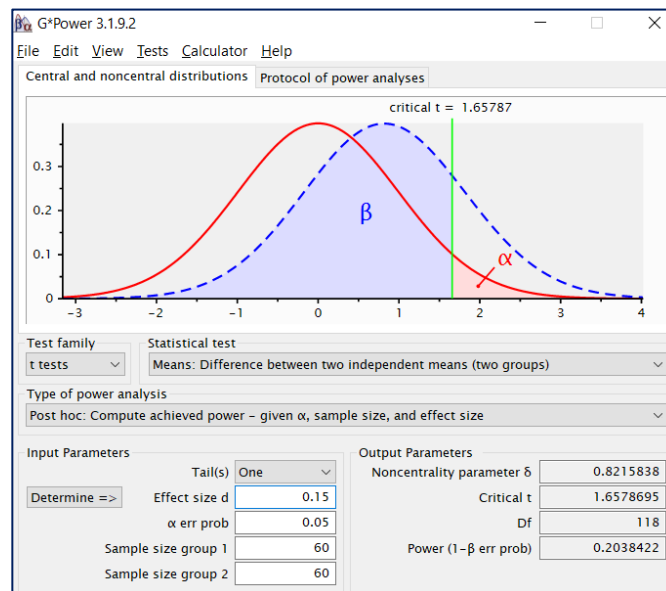


Figura 5-1: Resultados potencia del tamaño de muestra (fuente: GPower V3.1)

³² Tamaño del efecto medio por convención (Cohen, 1988) (Osorio Lird, 2015).

³³ En este caso, las correlaciones poseen solo un predictor que sería el $ICNP_{CAM}$.

5.3 ANÁLISIS INICIAL

Como en todo análisis estadístico, es muy importante ver gráficamente el comportamiento de los datos. Para este caso, se evaluó a grandes rasgos qué relación existe entre los resultados de los $ICNP_{MOP}$ e $ICNP_{CAM}$. Se presenta la Figura 5-2 en que se muestra al gráfico de dispersión del resultado de los 60 U.M. de $ICNP_{MOP}$ e $ICNP_{CAM}$, junto con una línea segmentada de color naranja que simboliza la correcta relación “1-1” que debiesen tener ambos indicadores.

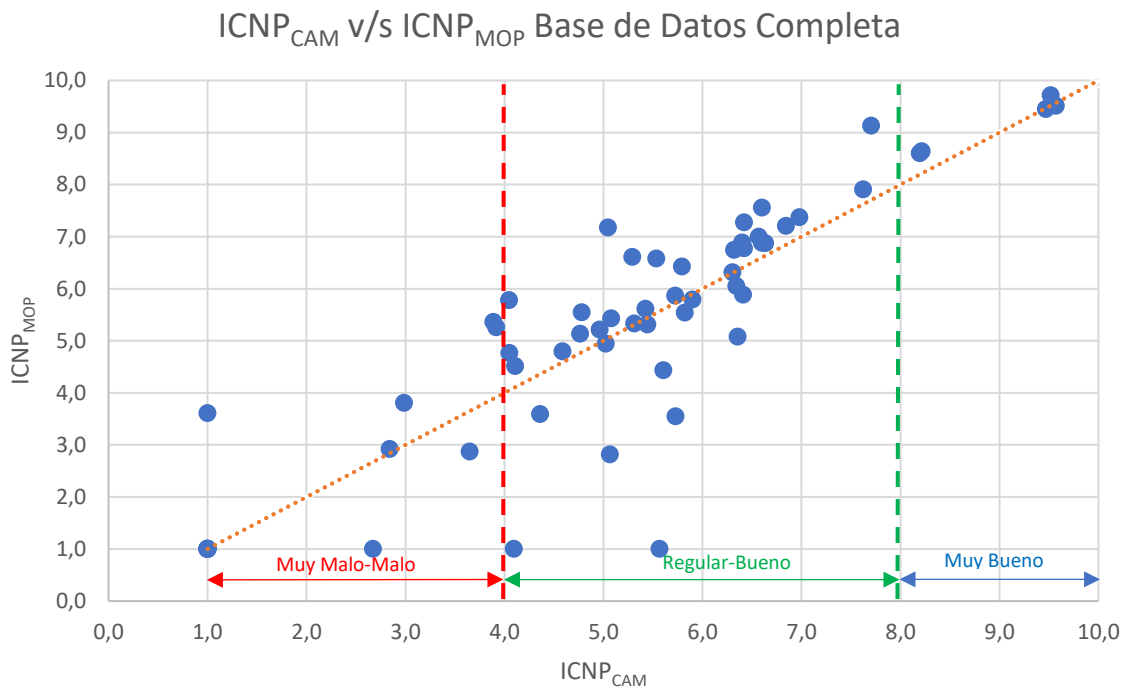


Figura 5-2: Gráfico de dispersión $ICNP_{CAM}$ v/s $ICNP_{MOP}$ (60 U.M.) (fuente: propia)

A partir de dicho gráfico se pueden realizar los siguientes comentarios:

- (a) Se observa que la mayor aglomeración de los resultados de ICNP se encuentran en el rango $[4,0; 7,0]$, viéndose que los puntos, en general, no se encuentran muy alejados de la recta segmentada “1-1” a excepción de unos cuantos de los que posteriormente se explicara lo sucedido. También se puede señalar que en este rango medio de ICNP se nota una leve tendencia a mayores valores de $ICNP_{MOP}$ respecto a los $ICNP_{CAM}$ (en cantidad), con lo que se puede inferir que el método de obtención de deterioros mediante el sistema de cámaras

entrega resultados menores en general respecto a las mediciones de campo. En cuanto al estado de las calzadas medidas, la elevada aglomeración de resultados de ICNP en el rango medio de valores indica que una gran cantidad de U.M. evaluadas poseen estados “REGULAR” – “BUENO”, dando a conocer la existencia de varios deterioros en las calzadas medidas pero que aún no se poseen dimensiones considerables, estando la mayor cantidad de caminos evaluados en condiciones de “aceptable” para la condición de manejo.

- (b) En cuanto al grupo de altos valores de ICNP que se tienen en la base de datos, tampoco se observa una gran dispersión entre los resultados en cuanto a su relación “1-1”, pero se evidencia una leve tendencia a mayores valores de $ICNP_{MOP}$ respecto a los $ICNP_{CAM}$.
- (c) El último grupo por describir es el rango de los “MUY MALOS” – “MALOS” y es en dicha zona en donde se ven las mayores discrepancias entre los resultados de ambos indicadores. Una explicación simple pero muy importante tiene que ver con los *“Estados definidos para valores máximos extremos de deterioros”*³⁴ (Tabla 5-1), presentados en el documento “Política de Conservación Vial – Etapa 3 – Caminos No Pavimentados” (Ministerio de Obras Públicas, 2014), en donde se señala que ante la presencia de elevados valores de cierto deterioro a la Z.M. en estudio se le debe asignar un estado de “Muy Malo” valorizándolo con nota mínima 1.0, omitiendo el resultado entregado por las ecuaciones de los ICNP. Esta es la causa de lo ocurrido en las U.M. que presentan diferencias de consideración entre los valores de sus indicadores, por ejemplo, en la U.M. medida “Calafquén, Los Pinos” se tienen un 4,1 de $ICNP_{CAM}$ y un 1,0 de $ICNP_{MOP}$, gran discrepancia explicado por los 3,5 cm de ahuellamiento obtenido siguiendo la metodología del sistema de cámaras entregando el valor del $ICNP_{CAM}$ que arroja su fórmula; situación que no ocurre en la medición en terreno dado que al tener 4,5 cm de ahuellamiento medido, este valor supera el umbral máximo de 4 cm que se tiene para el deterioro, por lo que se le asigna un estado “Muy malo” a la U.M. con valor de 1.0 de $ICNP_{MOP}$.

³⁴ Tabla ya presentada en el punto en el punto 2.6.2 “Límites de Estado del ICNP” de esta memoria.

Tabla 5-1: Estados definidos valores extremos de deterioros (Ministerio de Obras Públicas, 2014)

Deterioro	Valor	Estado del Camino
IRI (m/km)	Mayor a 12	Muy Malo
IRI (m/km)	Menor a 4	Muy Bueno
Calamina (cm)	Mayor a 3	Muy Malo
Baches (m*m totales por km)	Mayor a 2	Muy Malo
Ahuellamiento (cm)	Mayor a 4	Muy Malo
Erosión	Ancho mayor a 5 cm	Muy Malo

5.4 MODELO DE REGRESIÓN LINEAL $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{MOP}$

Ya descrito el comportamiento gráfico de los resultados obtenidos, se procedió a realizar un primer modelo de regresión lineal (MRL), siendo el $ICNP_{CAM}$ la única variable independiente y el $ICNP_{MOP}$ la variable dependiente.

Debido a que el objetivo de este capítulo es validar estadísticamente la relación “1-1” entre ambos $ICNP$, se presenta el siguiente MRL junto con sus hipótesis a evaluar.

Modelo:

$$ICNP_{MOP} = \beta_0 + \beta_1 * ICNP_{CAM} \quad (V-1)$$

Donde:

β_0 : Parámetro de intercepto del modelo

β_1 : Parámetro explicativo del modelo, pendiente de la recta.

Test- Estadístico:

Se realizaron las dúcimas estadísticas referidas a la igualdad del parámetro $\beta_1 = 1$ para validar que la relación “1-1” sea correcta. Por esta razón, las hipótesis a evaluar son las siguientes:

- H_0 : $\beta_1 = 1$; con un 95% de confiabilidad. // 5% de significancia
 $|E| < \text{Valor tabla (valor t-student)} // p > 0,05$
- H_1 : $\beta_1 \neq 1$; con un 95% de confiabilidad. // 5% de significancia
 $|E| > \text{Valor tabla (valor t-student)} // p < 0,05$

El estadístico que se utilizará para evaluar las hipótesis se obtiene a través de la siguiente expresión para MRL.

$$E = \frac{\widehat{\beta}_k - \beta_k}{\sqrt{VAR(\widehat{\beta}_k)}} \quad (V-2)$$

Siendo:

β_k : Igual a 1, según lo indicado en la hipótesis nula.

$\widehat{\beta}_k$: Valor del coeficiente entregado por el análisis de regresión lineal para β_1 .

$\sqrt{VAR(\widehat{\beta}_k)}$: Error típico de la variable β_1

Se utilizó el software Minitab para generar el MRL que relaciona a los resultados de los $ICNP_{MOP}$ con los $ICNP_{CAM}$ de las 60 U.M. medidas que conforman la base de datos. Se obtuvo el siguiente MRL (V-3).

$$ICNP_{MOP} = 0,115 + 0,9931 * ICNP_{CAM} \quad (V-3)$$

$$R^2 = 0,78$$

Aun considerando todas las mediciones (presencia de datos atípicos), se ve que el modelo presenta un buen valor de bondad de ajuste (R^2), indicando que existe un 78% de posibilidades de que este MRL prediga correctamente el resultado de un $ICNP_{MOP}$ a partir del valor de un $ICNP_{CAM}$.

En cuanto al valor del estadístico de este MRL fue el siguiente:

$$E = \frac{\widehat{\beta}_k - \beta_k}{\sqrt{VAR(\widehat{\beta}_k)}} = \frac{0,9931 - 1}{0,0682}$$

$$E = 0,1012$$

El valor tabla de la T-student asociado a una significancia de 0.05 y de 60-2 grados de libertad, es de:

$$VtMRL_{\alpha;g.l.} = VtMRL_{0.05;60-2} = 2,0017$$

Entonces, se tiene que:

$$E < VtMRL_{0.05;60-2}$$
$$0,1012 < 2,0017$$

Concluyendo que en una primera instancia se acepta la hipótesis nula H_0 , en la que se señala que el valor de β_1 se puede considerar igual a 1 con un 95% de confiabilidad para este MRL. Es decir, la equivalencia $ICNP_{MOP} \equiv ICNP_{CAM}$ es inicialmente válida estadísticamente con una significancia de 0.05.

5.5 ELIMINACIÓN DATOS ATÍPICOS

Ya obtenido el MRL, se eliminarán las observaciones influyentes mediante dos métodos:

(1) Método de las distancias de Cook

- Se elimina el dato sí:

$$D_i > \frac{4}{n-p} \quad (V-4)$$

Donde:

D_i : Dato atípico

n : cantidad de datos

p : número variables entrada

Utilizando esta técnica de identificación de outliers, se procedió a eliminar inicialmente tres mediciones. Con la base de datos resultante, se prosiguió a verificar las suposiciones de modelos de regresión lineal (normalidad y homogeneidad de los residuos).

(2) Residuales estandarizados

Esta técnica consiste en la detección de datos que presentan grandes valores de residuos, siendo considerados como atípicos los que tengan un residuo estandarizado mayor a 2.

- Se elimina el dato sí:

$$|Resid. Student.i| > 2 \quad (V-5)$$

Donde:

Resid. Student.i: Residuo estandarizado del i-ésimo dato.

Esté método fue utilizado en el momento en que se procedía a verificar los supuestos de normalidad de los residuales y homogeneidad de las varianzas de los errores del modelo.

En ambas formas de identificación de outliers utilizadas, las U.M. eliminadas junto con su procedimiento en detalle son presentados en el ANEXO G “RESULTADOS DE PRUEBAS ESTADÍSTICA Y ANÁLISIS REGRESIÓN LINEAL DE LOS DATOS RECOLECTADOS”.

5.6 VERIFICACIÓN NORMALIDAD DE LOS ERRORES

Para verificar si es que los residuos arrojados en el MRL tienen un comportamiento acorde con una distribución normal, se utilizó el software MINITAB. Se optó por la dócima Kolmogórov-Smirnov para su evaluación ya que el número de muestras es superior a 30. Con este software se procedió a obtener el valor-p de esta prueba para verificar las siguientes hipótesis.

- Ho: Errores se distribuyen normalmente; con un 95% de confiabilidad. // 5% de significancia

$$p > 0,05$$

- H1: Errores NO se distribuyen normalmente; con un 95% de confiabilidad. // 5% de significancia

$$p < 0,05$$

Utilizando la base de datos restante luego de la eliminación de datos atípicos utilizando la técnica de las distancias de Cook (quedando 57 datos), se obtuvo el siguiente resultado para la dócima Kolmogórov-Smirnov (Figura 5-3).

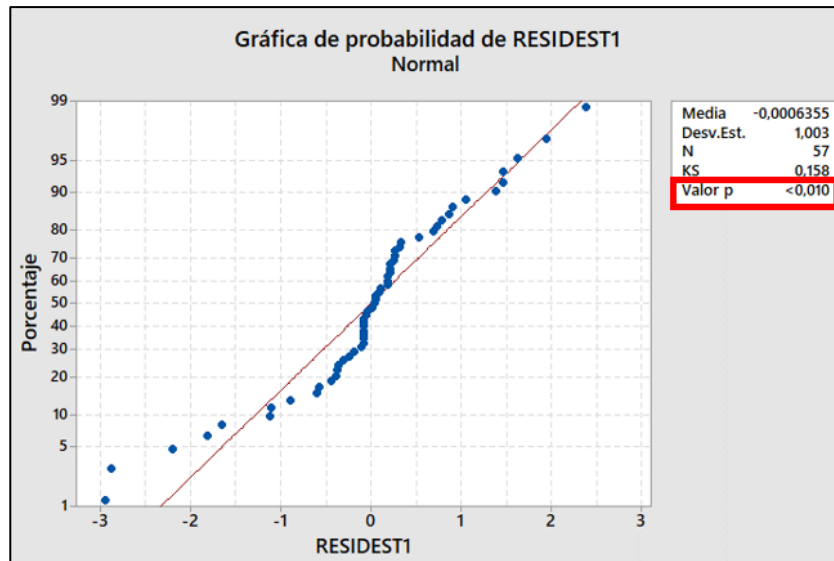


Figura 5-3: Test Normalidad Residuos Estandarizados Kolmogórov-Smirnov (57 U.M) (fuente: propia).

Se observa un valor-p de 0,01, menor a los 0,05 necesarios para que se cumpla el supuesto de normalidad de los errores. Por lo que se procedió a la eliminación de los datos que arrojaron residuales estandarizados mayores a 2. Este proceso de detección y eliminación de datos atípicos continuó hasta llegar a una base de datos que cumpliera con el supuesto de normalidad. Finalmente, con una base de 44 datos se obtuvo la distribución de residuales presentada en la Figura 5-4.

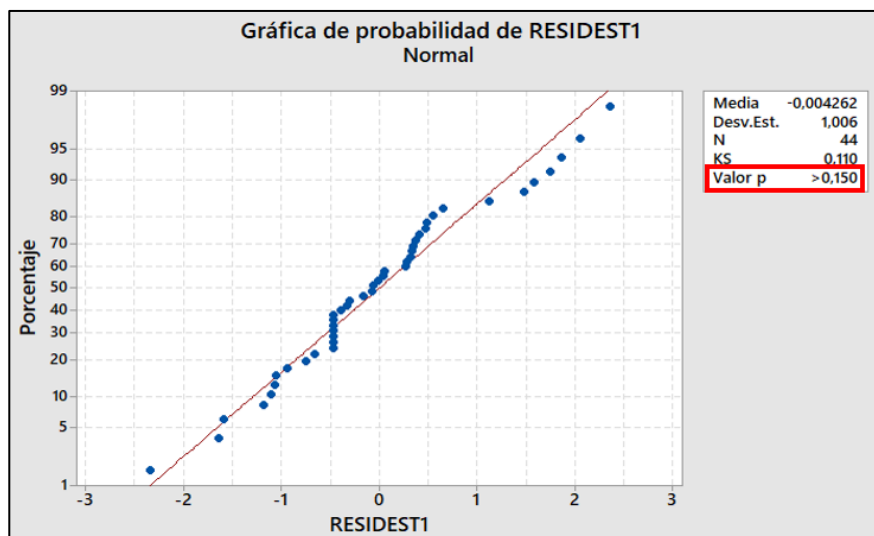


Figura 5-4: Test Normalidad Residuos Estandarizados Kolmogórov-Smirnov Final (44 U.M) (fuente: propia).

Con esta base de datos, se obtuvo un valor-p de 0,150 mayor al 0,05 necesario para afirmar que los residuos del MRL tienen una distribución normal con un 95% de confiabilidad según la Dócima Kolmogórov-Smirnov.

5.7 VERIFICACIÓN HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS

Para evaluar el supuesto de que la varianza del error debe ser constante en un MRL, se utilizó la dócima de White. Esta técnica utiliza un modelo auxiliar que relaciona el cuadrado de los valores de los residuos del MRL con combinaciones lineales en pares de los valores de las variables exógenas. A partir de este modelo, se obtiene el estadístico que se compara con un valor tabla Chi-cuadrado³⁵ para evaluar la existencia de homogeneidad en las varianzas de los errores.

Para utilizar esta dócima se plantean las siguientes hipótesis:

- Ho: Varianza de los errores es constante (homogeneidad) - con un 95% de confiabilidad.
// 5% de significancia

$$E_{White} < Vtchi - cuadrado_{\alpha;g.l.}$$

$$p > 0,05$$

- H1: Varianza de los errores no es constante (heterogeneidad) - con un 95% de confiabilidad. // 5% de significancia

$$E_{White} > Vtchi - cuadrado_{\alpha;g.l.}$$

$$p < 0,05$$

El modelo auxiliar para este caso, en donde se dispone de una sola variable exógena es el siguiente:

$$e^2 = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 * ICNPcam + \varepsilon_2 * ICNPcam^2 \quad (V-6)$$

Obteniendo el siguiente gráfico de dispersión para el modelo auxiliar, junto con su regresión cuadrática mostrada en la Figura 5-5.

³⁵ El modelo White tiene un comportamiento de Chi-cuadrado.

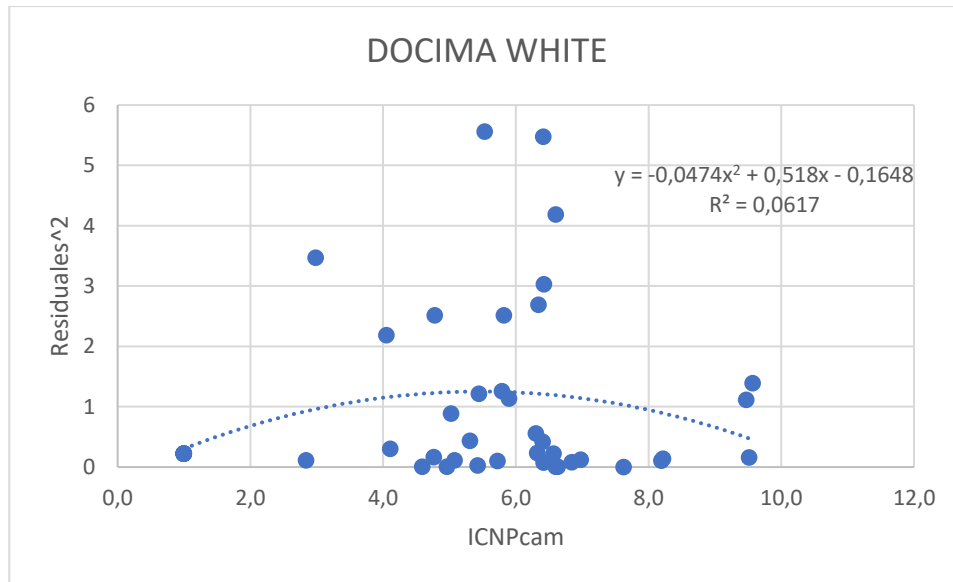


Figura 5-5 Gráfico de dispersión del Modelo Auxiliar dócima White (fuente: propia)

El estadístico para la dócima White proviene de la siguiente expresión:

$$E_{White} = n * R^2$$

En donde,

n: número de datos de la base estadística.

R²: valor del coeficiente de regresión cuadrática del modelo auxiliar asociado.

Llegando a un valor del Estadístico de:

$$E_{White} = 44 * 0,0617$$

$$E_{White} = 2,7148$$

Y en cuanto al valor tabla Chi-cuadrado, este depende del grado de significancia (0.05) y de los grados de libertad que se tienen en el modelo auxiliar, que sería el número de parámetros que se tiene en su ecuación. Para este caso se tendrían dos grados de libertad, entregando el siguiente valor tabla Chi-cuadrado:

$$Vtchi - cuadrado_{\alpha;g.l.} = Vtchi - cuadrado_{0,05; 2} = 5,9915$$

Comparando el Estadístico con el valor tabla se tiene la siguiente relación:

$$E_{White} < Vtchi - cuadrado_{0,05;2}$$

$$2,7148 < 5,9915$$

Por lo tanto, con la base de datos resultante luego de la eliminación de datos atípicos mediante la técnica de distancias de Cook y la de valores residuales utilizadas para la verificación de la normalidad de los errores, se tiene que el valor estadístico de la prueba White es menor al valor tabla de Chi-cuadrado asociado, arrojando a la hipótesis nula (H_0) como válida estadísticamente. Finalmente, se concluyendo que se cumple con el supuesto de homogeneidad de los residuales con un 95% de confiabilidad.

5.8 MODELO FINAL

Ya con la eliminación de datos atípicos y verificación ya realizada de los supuestos de normalidad y homogeneidad de los residuos, se presenta el resultado del análisis de regresión lineal del modelo final. Este fue realizado con el software Minitab utilizando los resultados de los 44 U.M. considerados como base de datos final, así como también se presentan los gráficos para el análisis visual de los residuos asociados a este MRL (Figura 5-6).

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,342182	98,09%	98,04%	97,94%

Coeficientes:

Término	Coef.	Coef. EE	Valor T	Valor p	VIF
Constante	0,132	0,127	1,04	0,304	
ICNP _{CAM}	1,0203	0,0220	46,39	0,000	1,00

Ecuación de regresión:

$$\text{ICNP}_{\text{MOP}} = 0,132 + 1,0203 \cdot \text{ICNP}_{\text{CAM}} \quad (\text{V-7})$$

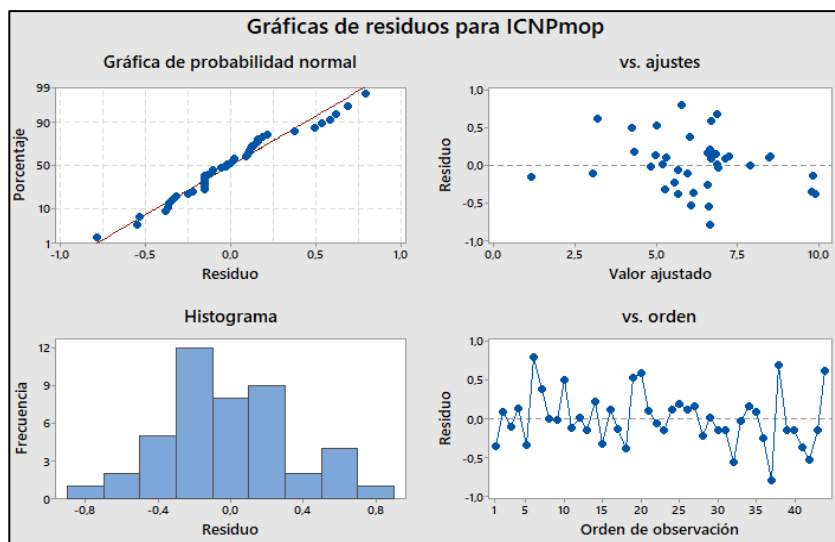


Figura 5-6: Análisis gráfico de residuos Modelo Regresión Lineal Final (44 U.M.) (fuente: propia).

Los resultados de R^2 son del 98%, indicando que este MRL describe casi exactamente los valores de $ICNP_{MOP}$ a partir de los $ICNP_{CAM}$. Analizando el valor-p del término constante del MRL, se ve que es muy elevado, siendo 0,304 mayor a 0,05, por lo que se puede decir que este término no explica significadamente a este MRL. En cuanto al análisis gráfico de residuos del MRL resultante, se puede apreciar que su comportamiento sigue una distribución normal y que tienen cierta varianza homogénea, cumpliendo con los supuestos necesarios para validar cierto MRL.

Dicho esto, es que se concluye que el modelo lineal que relaciona los $ICNP_{CAM}$ con los $ICNP_{MOP}$ es su equivalencia “1-1”, es decir.

$$ICNP_{MOP} \equiv ICNP_{CAM} \quad (V-8)$$

Se presentan en la Figura 5-7 el gráfico de dispersión $ICNP_{CAM}$ v/s $ICNP_{MOP}$ de la base de datos final utilizada en el análisis de MRL, siendo la línea naranja segmentada la que indica la relación “1-1” entre ambos indicadores.

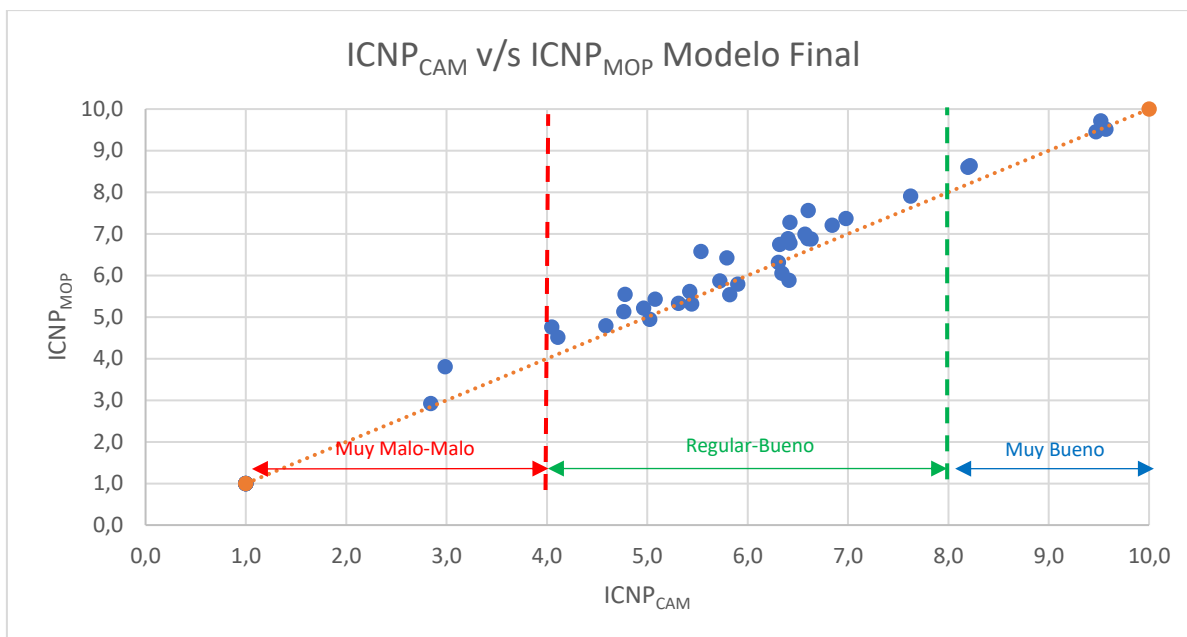


Figura 5-7: Gráfico de dispersión ICNP_{CAM} v/s ICNP_{MOP} de la base de datos final (fuente: propia).

En este gráfico de dispersión se ve claramente la concentración de los datos a lo largo de la recta “1-1”, describiendo visualmente la equivalencia entre los resultados de ICNP_{CAM} con los del ICNP_{MOP}. Respecto a las zonas de estado de las calzadas, se observa al igual que en la situación inicial, que la mayor aglomeración de datos se encuentra en los valores de estado “Regular” y “Bueno”; seguido en cantidad los datos ubicados en el rango de “Muy bueno”, dejando en último lugar la concentración de datos ubicados en los rangos “Muy malo” y “Malo”. En este último grupo de datos, la evidente disminución se relaciona con que en esta zona de valores de ICNP fue en donde se eliminaron la mayor cantidad de datos atípicos, debido principalmente a la sensibilidad que se tiene en los valores finales de ICNP en las situaciones de presencia de deterioros que poseen dimensiones que se acercan a los umbrales máximos por deterioro, situación descrita en el punto 5.2. de este capítulo.

En conclusión, la relación de equivalencia “1-1” de los ICNP_{CAM} e ICNP_{MOP} se puede considerar válida para los rangos de resultados desde “Regular” a “Muy bueno”, quedando la asignación de nota mínima para los ICNP_{CAM} de bajo valor (“Muy malo” – “Malo”) a criterio del especialista que evalúa la calzada mediante la reproducción del video y con ello definir las actividades de rehabilitación necesarias para volver el camino a una condición transitable.

6 VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA PLANTEADA PARA EL ICNP_{CAM}

RESUMEN CAPÍTULO

En este capítulo se desarrollarán las dos principales pruebas de validación para la metodología del ICNP_{CAM}, que son las de reproducibilidad y repetitividad. Para ambas pruebas se utilizaron 12 U.M. ya utilizadas para la elaboración de esta metodología del ICNP_{CAM} y en que se obtuvieron resultados similares a los del ICNP_{MOP}. En el caso de las pruebas de reproducibilidad se contó con la participación de un tercero que desarrollo por su cuenta 12 nuevas mediciones de ICNP_{CAM}, resultados que se compararon estadísticamente con los obtenidos originalmente; proceso similar se realizó para las pruebas de repetitividad, pero en donde se compararon 12 ICNP_{CAM} ya obtenidos con nuevos 12 ICNP_{CAM} vueltos a realizar para esta parte del estudio. Se desarrolla un análisis de comparación “ICNP_{CAM} v/s ICNP_{CAMI}³⁶” para ambos tipos de pruebas, evaluando que su pendiente sea igual a 1,0 (de 45°) para una confiabilidad del 95%, verificando los supuestos de normalidad del error y homogeneidad de las varianzas de los errores. Finalmente, se mencionan algunas conclusiones sobre los resultados obtenidos, señalando ciertas características que se experimentaron del proceso de reproducción y repetitividad de la metodología del ICNP_{CAM}.

6.1 UNIDADES DE MUESTRAS CONSIDERADAS PARA LA VALIDACIÓN DEL ICNP_{CAM}

Se escogieron 12 U.M. de caminos no pavimentados para su medición en las pruebas de reproducibilidad y repetitividad a desarrollar. Estas 12 U.M. presentaron resultados de ICNP_{CAM} significativamente similares a los ICNP_{MOP} respectivos (no fueron considerado atípicos en la base de datos utilizadas en el capítulo 5), dividiéndose en seis calzadas de tierra y seis de grava. Dentro de estas U.M. vueltas a estudiar hay casos de ICNP_{CAM} mínimos (igual a 1.0) relacionados a deterioros que superan a los umbrales establecidos (calaminas y ahuellamiento), hasta otras U.M. que arrojan un estado “Muy Buena” de condición del camino, abarcando la mayor cantidad de resultados posibles.

³⁶ Referido a ICNP_{CAMI} de las pruebas de reproducibilidad y repetitividad

6.2 PRUEBAS DE REPRODUCIBILIDAD

Las mediciones de reproducibilidad tienen el propósito de poner a prueba la variabilidad de las mediciones respecto a diferentes evaluadores, considerando las mismas condiciones de medición. Para esta ocasión se contó con la participación de un tercero, el que no desempeña actividades relacionadas al estudio de caminos ni en la construcción (es un ingeniero comercial), pero es capaz de realizar correctamente las mediciones de $ICNP_{CAM}$, siendo considerado como el escenario más adverso posibles como elección de evaluador externo.

En primera instancia, al evaluador externo se le realizó una clase introductoria sobre ingeniería vial y el efecto que tiene la implementación de un sistema de gestión en una red de caminos. Luego, se mencionó algunas características de los caminos no pavimentados junto con las maneras de identificar y describir sus principales deterioros superficiales. Ya con esta información procesada por el evaluador externo, se le explicó la metodología de inspección en terreno establecido por el MOP junto con el proceso de obtención del $ICNP_{MOP}$, para luego detallarle la metodología del sistema de cámaras del $ICNP_{CAM}$ realizando tres ejemplos de esta metodología (demarcación y valorización “ $Deterioros_{CAM}$ ”, además del resultado de $ICNP_{CAM}$). Posteriormente, el evaluador externo desarrolló tres mediciones de $ICNP_{CAM}$, que posteriormente fueron revisados en conjunto con el tutor, comentando los aciertos y desaciertos en la asignación de los “ $Deterioros_{CAM}$ ” y de los resultados de $ICNP_{CAM}$. Finalmente, se presentaron al evaluador externo las 12 U.M. que debía medir siguiendo la metodología del $ICNP_{CAM}$, llegando a los resultados que a continuación se mostrarán.

6.2.1 RESULTADOS $ICNP_{CAM}$ DE LAS PRUEBAS DE REPRODUCIBILIDAD

Se presentan la Tabla 6-1 los siguientes resultados de $ICNP_{CAMter}$ ³⁷, así como en su representación gráfica en la Figura 6-1.

³⁷ $ICNP_{CAMter}$: resultados de $ICNP_{CAM}$ realizados por el evaluador externo.

Tabla 6-1: Resultados ICNP_{CAM} e ICNP_{CAMter} pruebas de reproducibilidad (fuente: propia).

	Nombre Camino	ICNP _{CAM}	ICNP _{CAMter}
1	La Vinilla	4,76	2,96
2	A la Puente Alta	9,47	8,00
3	Corcolén Cerro	5,79	6,03
4	Termas del Flaco	7,62	6,57
5	Costado Agrosuper	1,00	3,50
6	San Gerardo- La Laguna	6,40	6,53
7	Callejón El Mólino	1,00	1,00
8	Los Aromos	4,11	4,24
9	Las Parcelas	5,08	5,95
10	Cuesta Lo Prado	1,00	1,00
11	Estero Puangue	1,00	1,00
12	F-190 Puchuncaví U.M.1	1,00	6,32

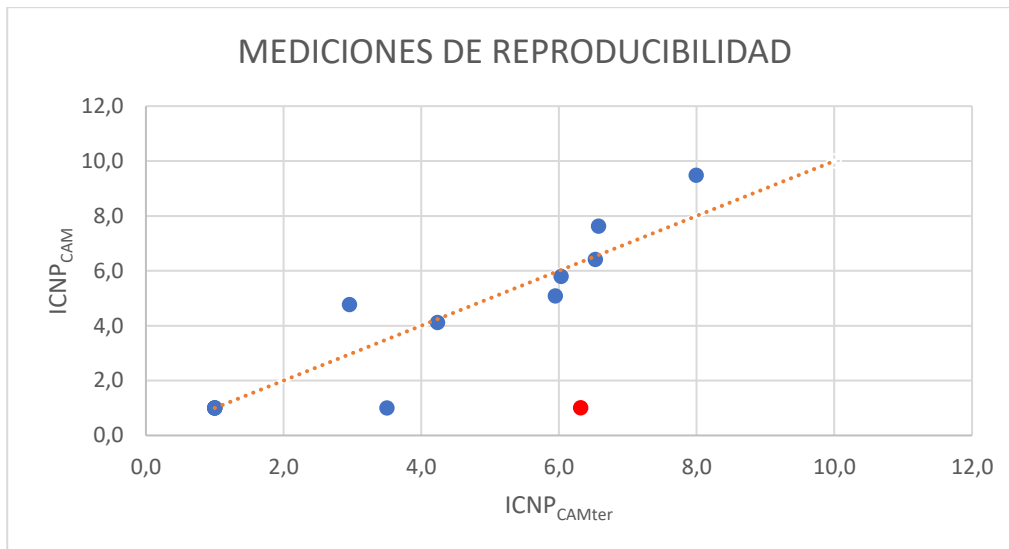


Figura 6-1: Gráfico de dispersión ICNP_{CAMter} v/s ICNP_{CAM} pruebas de reproducibilidad (fuente: propia).

En el gráfico de dispersión de la figura 6-1 la línea de color naranja representa la relación “1-1” que idealmente debería existir en los resultados de estas mediciones de reproducibilidad. Se ve que la mayoría de los puntos siguen la tendencia de la recta “1-1”, llegando a tener cierta simetría de los resultados respecto a valores abajo y sobre dicha recta. Pero, claramente se ve que hay una medición en donde la relación “1-1” no se cumple, que es la medición del ICNP_{CAM} de la U.M. “F-190 Puchuncaví U.M.1” (punto de color rojo), en donde se presenta el problema de la sensibilidad que tiene la asignación de estado del ICNP respecto a ciertos valores de deterioros extremos, que en este caso sería la NO superación del valor umbral de 4 cm de profundidad del ahuellamiento que el

evaluador externo, situación opuesta a la obtenida en la medición original del $ICNP_{CAM}$, es por esta razón la gran diferencia de resultados en esta U.M. específica. Para más detalle sobre los resultados de los “ $Deterioros_{CAM}$ ”, ver el ANEXO H “RESULTADOS DE PRUEBAS ESTADÍSTICA Y ANÁLISIS REGRESIÓN LINEAL DE LA VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA”.

6.2.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PRUEBAS DE REPRODUCCIÓN.

Se realizará un detallado análisis estadístico de los resultados de la relación $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAMter}$. Se siguió el procedimiento de análisis estadístico descrito en el capítulo 5 de esta memoria. Para una mayor información sobre los resultados de los “ $Deterioros_{CAM}$ ” obtenidos, así como de los Test, modelos auxiliares y gráficos utilizados para el análisis, dirigirse al ANEXO H.

6.2.2.1 Modelo de Regresión Lineal $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAMter}$.

Utilizando el software Minitab 17, se obtuvo el siguiente modelo de regresión lineal de $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAMter}$ junto con su valor de R^2 .

Ecuación de regresión:

$$ICNP_{CAM} = \beta_0 + \beta_1 * ICNP_{CAMter} \quad (VI-1)$$

$$ICNP_{CAM} = -0,09 + 0,930 * ICNP_{CAMter} \quad (VI-2)$$

$$R^2 = 5,92\%$$

El 59.92% de R^2 da primeros indicios de que el modelo obtenido considerando todos los puntos no tiene muy buena correlación lineal. Esta situación se estudiará en detalle en los siguientes puntos.

6.2.2.2 Datos Atípicos

Se utilizó la técnica de las distancias de Cook para la identificación de outliers. Para este caso, se obtuvo que la U.M. N°12 “Ruta F-190 Puchuncaví” resultó atípica, con valor de distancia de Cook de 0,523 que es superior a los 0,3636 definidos como límite, siendo el mismo punto identificado visualmente en el gráfico de dispersión de la Figura 6-1. Por lo que se procedió a su eliminación para el análisis.

6.2.2.3 Hipótesis relación "1-1" $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAMter}$

Ya con la base de datos resultante de 11 U.M., se volvió a realizar la regresión lineal obteniéndose el siguiente modelo.

Ecuación de regresión:

$$\begin{aligned} ICNP_{CAM} &= \beta_0 + \beta_1 * ICNP_{CAMter} \\ ICNP_{CAM} &= -0,308 + 1,082 * ICNP_{CAMter} \quad (VI-3) \\ R^2 &= 85,17\% \end{aligned}$$

Con esta información, se procede a verificar que el modelo tenga una relación de "1-1" entre los resultados $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAMter}$, definiéndose las siguientes hipótesis:

- Ho: $\beta_1^{38} = 1$; con un 95% de confiabilidad. // 5% de significancia
 $|E| < \text{Valor Tabla (valor t-student)} // p > 0.05$
- H1: $\beta_1 \neq 1$; con un 95% de confiabilidad. // 5% de significancia
 $|E| > \text{Valor Tabla (valor t-student)} // p < 0.05$

Finalmente, se obtuvo que el estadístico asociado a la igualdad de β_1 con 1 a un 95% de confiabilidad es menor al valor tabla de la T-student.

$$\begin{aligned} E &< VtMRL_{0.05;11-2} \\ 0,543 &< 1,833 \end{aligned}$$

Por lo que se acepta la hipótesis de que si existe la equivalencia $ICNP_{CAM} \equiv ICNP_{CAMter}$ con una significancia de 0.05.

³⁸ β_1 : pendiente del modelo de regresión lineal obtenido.

6.2.2.4 NORMALIDAD DEL ERROR

Para verificación de la distribución normal de los errores arrojados del MRL se utilizó el software MINITAB 17 junto con la dística Shapiro Wilk para su evaluación (número de datos menor a 30). Con este software se obtuvo un valor-p de 0.10, siendo mayor al 0.05 asociado a una confiabilidad del 95%. Por lo que los errores del modelo obtenido tienen una distribución normal, cumpliéndose con esta suposición de MRL.

6.2.2.5 HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS

En cuanto a la verificación de la homogeneidad de las varianzas de los residuos del MRL, se utilizó la dística de White. Se obtuvo un valor del estadístico White de 2.1879, siendo inferior al valor tabla de chi-cuadrado 5.9915.

$$E_{White} < V_{tchi - cuadrado}_{0.05;2}$$
$$2,0845 < 5,9915$$

Por lo tanto, el modelo obtenido del “ $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAMter}$ ” también cumple con el supuesto de homogeneidad de varianzas de los errores. Por lo que la hipótesis de que la pendiente de la recta del modelo obtenido sea igual a 1 es válida, es decir:

$$ICNP_{CAM} \equiv ICNP_{CAMter} \quad (VI-4)$$

Con ello las pruebas de reproducibilidad resultan satisfactorias considerando las 11 U.M. medidas para estas pruebas. Finalmente se presenta en la Figura 6-2 un resumen de cuatro gráficos sobre el análisis de residuos del MRL obtenido con las pruebas de reproducibilidad.

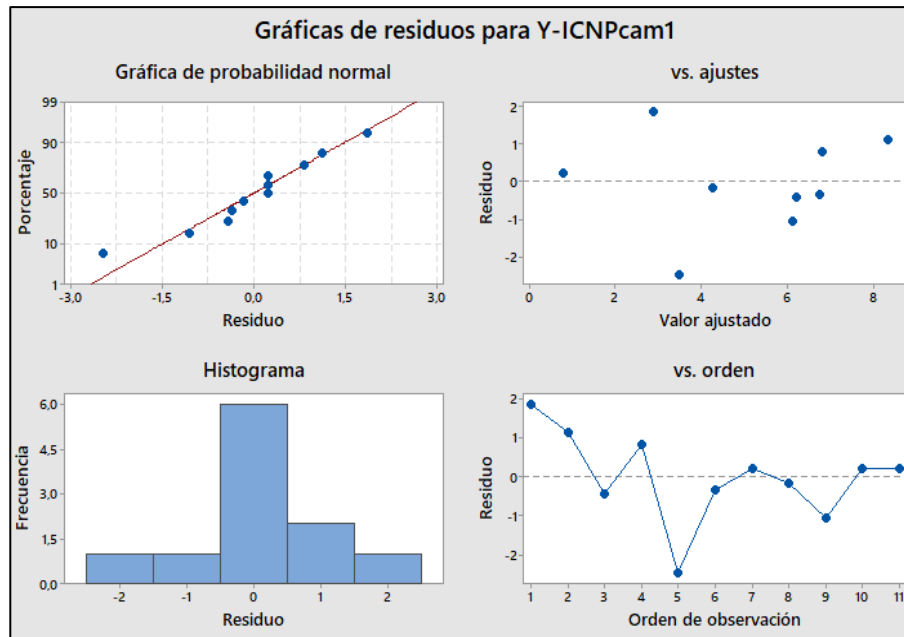


Figura 6-2: Análisis gráfico de residuos Modelo Regresión pruebas de reproducibilidad (fuente: propia).

6.3 PRUEBAS DE REPETITIVIDAD

Se realizaron 12 nuevas mediciones de $ICNP_{CAM}$ de las U.M. mencionadas en el punto 6.1. de este capítulo, las que se denominaron $ICNP_{CAM2}$. Estas nuevas mediciones fueron realizadas con las mismas grabaciones que las originales, solo que el evaluador las volvió a procesar un par de meses después de hechas las mediciones originales de $ICNP_{CAM}$ utilizadas para la conformación de la base de datos original. Las pruebas de repetitividad tienen como propósito medir la variabilidad de las mediciones realizadas con las mismas condiciones, siendo otro conjunto de evaluaciones necesarias para la validación de la metodología del $ICNP_{CAM}$.

6.3.1 RESULTADOS $ICNP_{CAM}$ DE LAS PRUEBAS DE REPETITIVIDAD

Se presenta en la Tabla 6-2 los resultados de $ICNP_{CAM2}$, así como en su representación gráfica en la Figura 6-3.

Tabla 6-2: Resultados ICNP_{CAM} e ICNP_{CAM2} pruebas de repetitividad (fuente: propia)

	Nombre Camino	ICNP _{CAM}	ICNP _{CAM2}
1	La Vinilla	4,76	4,11
2	A la Puente Alta	9,47	8,88
3	Corcolén Cerro	5,79	5,52
4	Termas del Flaco	7,62	7,09
5	Costado Agrosuper	1,00	1,00
6	San Gerardo- La Laguna	6,40	6,26
7	Callejón El Molino	1,00	1,00
8	Los Aromos	4,11	4,77
9	Las Parcelas	5,08	5,44
10	Cuesta Lo Prado	1,00	1,00
11	Estero Puangue	1,00	1,00
12	F-190 Puchuncaví	1,00	1,00

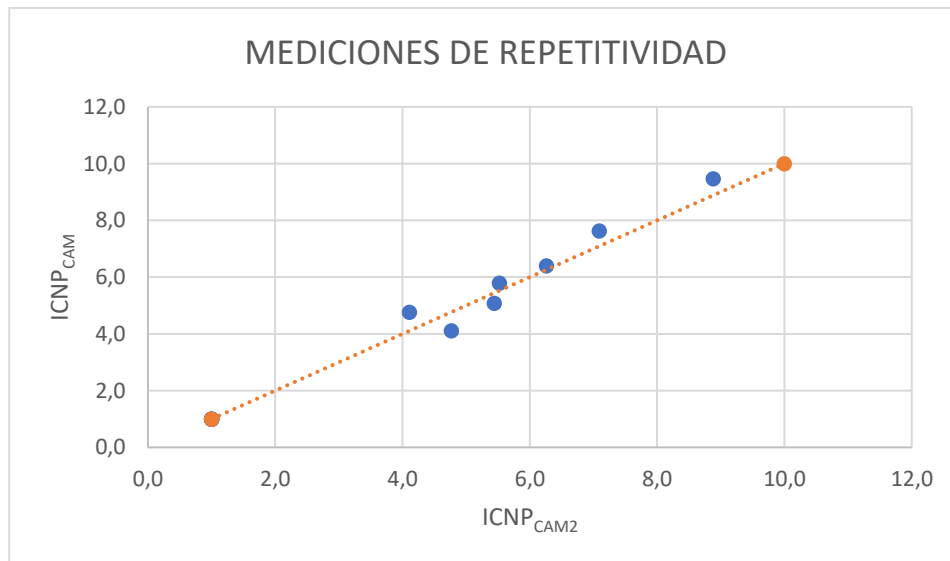


Figura 6-3: Gráfico de dispersión ICNPCAM v/s ICNPCAM2 pruebas de repetitividad (fuente: propia).

En el gráfico de dispersión de la Figura 6-3 la línea de color naranja representa la relación “1-1” que idealmente debería existir en los resultados de estas mediciones de reproducibilidad. Se ve una muy buena relación “1-1” entre los resultados los ICNP_{CAM} y los ICNP_{CAM2} obtenidos en las pruebas de repetitividad de las 12 U.M., lo que en cierto sentido da muestra de la repetitividad que tiene la metodología del ICNP_{CAM} en mediciones realizadas en distintos tiempos para un mismo estado de camino. Para más detalle sobre los resultados de los “*Deterioros_{CAM}*” obtenidos para estas pruebas

ver el ANEXO H “RESULTADOS DE PRUEBAS ESTADÍSTICA Y ANÁLISIS REGRESIÓN LINEAL DE LA VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA”.

6.3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PRUEBAS DE REPETITIVIDAD.

Al igual que en el caso de las mediciones de reproducibilidad, se realizará un detallado análisis estadístico de los resultados de la relación $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAM2}$.

6.3.2.1 Modelo de Regresión Lineal $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAM2}$.

Utilizando el software Minitab 17, se obtuvo el siguiente modelo de regresión lineal de $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAM2}$ junto con su valor de R^2 .

Ecuación de regresión:

$$ICNP_{CAM} = \beta_0 + \beta_1 * ICNP_{CAM2} \quad (VI-5)$$

$$ICNP_{CAM} = -0,097 + 1,0495 * ICNP_{CAM2} \quad (VI-6)$$

$$R^2 = 98,60\%$$

El 98.60% de R^2 es un muy buen indicador sobre la relación lineal existente entre los resultados de $ICNP_{CAM}$ e $ICNP_{CAM2}$, demostrando una buena correlación de resultados de las pruebas de repetitividad.

6.3.2.2 Datos Atípicos – Distancias de Cook

Visualmente no se ven datos atípicos, pero de todas formas se utiliza la técnica de las distancias de Cook para la identificación de outliers. Se obtuvo que ningún dato fue considerado como outliers ya que ningún valor de distancia de Cook fue superior a los 0.3636 establecidos como límite. Por lo que se procede a verificar los supuestos que debe cumplir el MRL de la relación “1-1” entre los $ICNP_{CAM}$ y $ICNP_{CAM2}$.

6.3.2.3 Hipótesis relación “1-1” $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAM2}$

Ya con el MRL definido, se procede a verificar que el modelo tenga una relación de “1-1” entre los resultados $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAM2}$, definiéndose las siguientes hipótesis:

- Ho: $\beta_1^{39} = 1$; con un 95% de confiabilidad. // 5% de significancia
 $|E| < \text{Valor Tabla (valor t-student)} // p > 0.05$
- H1: $\beta_1 \neq 1$; con un 95% de confiabilidad. // 5% de significancia
 $|E| > \text{Valor Tabla (valor t-student)} // p < 0.05$

Finalmente, se obtuvo que el estadístico asociado a la igualdad de β_1 con 1 a un 95% de confiabilidad es menor al valor tabla de la T-student.

$$E < VtMRL_{0.05;12-2}$$

$$1,250 < 1,8125$$

Por lo que se acepta la hipótesis de que si existe la equivalencia $ICNP_{CAM} \equiv ICNP_{CAM2}$ con una significancia de 0.05.

6.3.2.4 NORMALIDAD DEL ERROR

Para verificación de la distribución normal de los errores arrojados del MRL se utilizó el software MINITAB 17 junto con la dócima Shapiro Wilk para su evaluación (número de datos menor a 30). Con este software se obtuvo un valor-p de 0.09 siendo mayor al 0.05 asociado a una confiabilidad del 95%. Por lo que los errores del modelo obtenido tienen una distribución normal, cumpliéndose con esta suposición de MRL.

6.3.2.5 HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS

En cuanto a la verificación de la homogeneidad de las varianzas de los residuos del MRL, se utilizó la dócima de White. Se obtuvo un valor del estadístico White de 4,3668, siendo inferior al valor tabla de chi-cuadrado 5.9915.

$$E_{White} < Vtchi - cuadrado_{0.05;2}$$

$$4,3668 < 5,9915$$

³⁹ β_1 : pendiente del modelo de regresión lineal obtenido.

Por lo tanto, el modelo obtenido del “ $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAM2}$ ” también cumple con el supuesto de homogeneidad de varianzas de los errores. Por lo que la hipótesis de que la pendiente de la recta del modelo obtenido sea igual a 1 es válida, es decir:

$$ICNP_{CAM} \equiv ICNP_{CAM2} \quad (VI-7)$$

Con ello las pruebas de repetitividad resultan satisfactorias considerando las 12 U.M. medidas para estas pruebas. Finalmente se presenta en la Figura 6-4 un resumen de cuatro gráficos sobre el análisis de residuos del MRL obtenido con las pruebas de repetitividad.

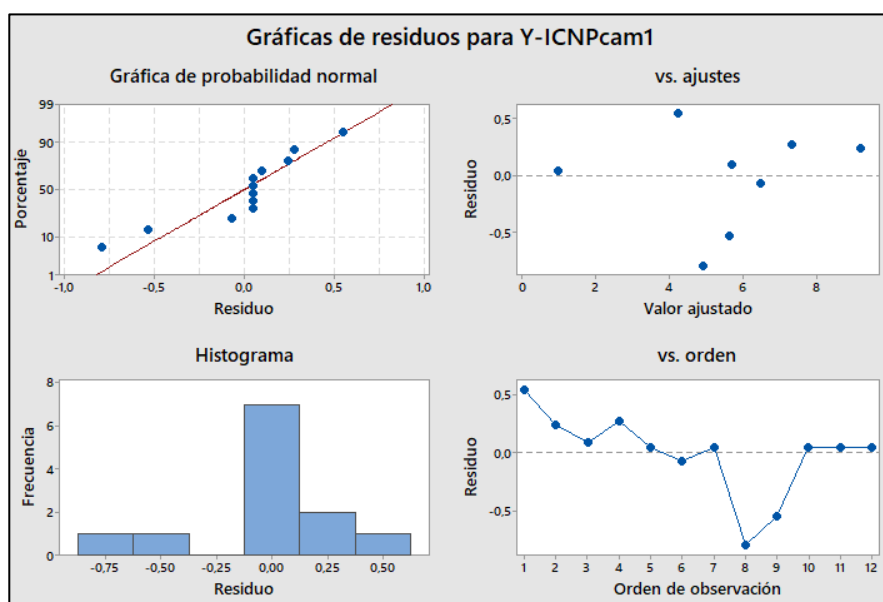


Figura 6-4: Análisis gráfico de residuos Modelo Regresión pruebas de repetitividad (fuente: propia).

6.4 COMENTARIOS SOBRE LA VALIDACIÓN

Para ambos tipos de pruebas se obtuvieron resultados satisfactorios en términos de comparación estadística. Se realizaron modelos de regresión lineal para cada prueba, cumpliendo con los supuestos de normalidad del error y homogeneidad de la varianza de residuos. Es importante destacar la rápida familiarización que tuvo el evaluador externo respecto al uso de la metodología del ICNP_{CAM} propuesta en esta memoria, ya que con una inducción integral respecto al concepto de ingeniería de caminos, sistema de gestión vial, caminos no pavimentados e indicadores de evaluación de estado de caminos, se consiguió que un evaluador no perteneciente al área de la ingeniería civil pudiese lograr buenos resultados de ICNP_{CAM}, lo que demuestra la reproducibilidad de la metodología. De todos modos, es recomendable seguir realizando mediciones de reproducibilidad y repetitividad en el tiempo para hacer más robusta la validación de la metodología.

Con estos resultados de reproducibilidad y repetitividad se puede llegar a la conclusión que la metodología de inspección de caminos a través del apoyo de grabaciones de caminos cuenta con una validación estadística, cumpliendo con el último proceso necesario para la obtención del resultado final de esta memoria, presentado en el diagrama de flujo del capítulo 3 (Figura 3-1).

7 APLICACIÓN DEL ICNP_{CAM} PARA LA ASIGNACIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENCIÓN PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS

RESUMEN CAPITULO

En este capítulo se presenta de manera breve la aplicación que tiene el uso del ICNP_{CAM} para la determinación de actividades de conservación/rehabilitación que se deben realizar a caminos no pavimentados para mejorar su condición superficial. Estas acciones están asociadas al valor del ICNP_{CAM}, pero en mayor medida a dimensiones de los principales deterioros que se generan en los caminos no pavimentados. Se presentan los umbrales de intervención establecidos por “Políticas de Conservación Vial Etapa 3 - Caminos No Pavimentados” (Ministerio de Obras Públicas, 2014), así como valores de precios unitarios de algunas de las acciones de conservación/rehabilitación más utilizadas en el país. Finalmente, utilizando 12 ICNP_{CAM} obtenidos de igual número de U.M. pertenecientes a la base de datos realizada en esta memoria, se establecen las “macroacciones” que se debiesen en dichas U.M. seleccionadas para mejorar su condición de estado superficial.

7.1 MODELO DE ASIGNACIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENCIÓN ESTABLECIDOS EN “LAS POLÍTICAS DE CONSERVACIÓN - ETAPA III CAMINOS NO PAVIMENTADOS”.

DEFINICIÓN UMBRALES DE INTERVENCIÓN

Los umbrales de intervención se definen como los valores límites (máximos o mínimos) de parámetros de deterioro (de estado funcional o estructural) o del índice de calificación de estado (ICNP), por sobre o bajo los cuales se entenderá necesario realizar una acción de conservación sobre la calzada no pavimentada (ripio y tierra) para restablecer el estado de cumplimiento del respectivo parámetro o indicador. Estas acciones corresponden a acciones rutinarias y periódicas (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

Desde el punto de vista de las acciones de conservación/rehabilitación, conceptualmente se establecen umbrales tanto para acciones rutinarias, periódicas y mayores. Estos umbrales de intervención son establecidos tanto para el ICNP como para los principales deterioros que se

producen en calzadas no pavimentadas. En las Figuras 7-1 y 7-2 se presentan esquemáticamente los conceptos de umbrales de intervención relacionados al ICNP y a los deterioros respectivamente.

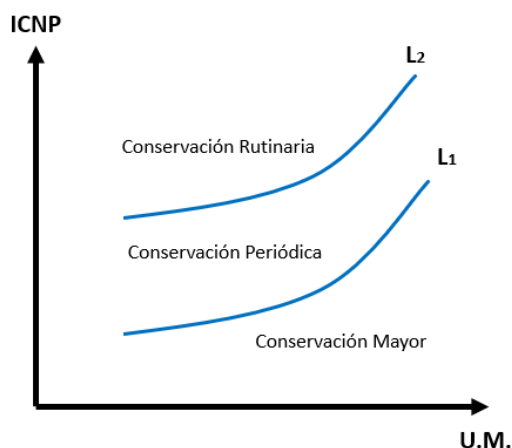


Figura 7-1: Concepto de Umbral de Intervención para el ICNP (*Ministerio de Obras Públicas, 2014*)

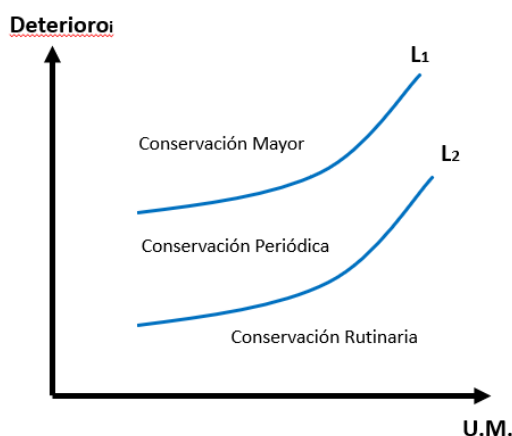


Figura 7-2: Concepto de Umbral de Intervención para Deterioro en específico (*Ministerio de Obras Públicas, 2014*).

Las curvas L1 y L2 simbolizan los umbrales de intervención, las que tienen los siguientes significados:

- L1: Umbral que divide entre la aplicación de actividades de conservación/rehabilitación mayores y periódicas, asociadas a estado de calzadas mala y regular respectivamente.
- L2: Umbral que divide entre la aplicación de actividades de conservación/rehabilitación periódicas y rutinarias, asociadas a estado de calzadas regular y buena respectivamente.

Con esta definición, considerando el valor del ICNP y de algunos deterioros se puede establecer qué tipo de actividad de conservación/rehabilitación se debe realizar a determinado camino y, con ello, tener un monto aproximado de cuanto saldría la ejecución de esa actividad. Estos umbrales de intervención también pueden llegar a utilizarse para determinar el valor patrimonial que presenta un determinado camino no pavimentado, entregando valores más reales a los obtenidos en el estudio de Patrimonio Vial de la red nacional de este tipo de caminos realizado en el año 2016 por el Departamento de Gestión Vial del MOP (Departamento Gestión Vial, Valor del Patrimonio de la Red Vial Nacional - Año 2013, 2016), ya que en dicho estudio se consideró que la disminución del valor patrimonial de un camino de ripio depende del espesor de la capa granular que posea y para el caso de los caminos de tierra dependería del movimiento de tierra asociado a su construcción, dejando omiso el resultado de algún indicador de su condición o de valores de deterioros presentes en el camino. A continuación, se presenta en las Tablas 7-1 y 7-2 los valores de umbrales L1 y L2 para caminos de tierra y de ripio para los valores de ICNP y de los principales deterioros de vías no pavimentadas.

Tabla 7-1: Umbrales de intervención caminos de tierra (*Ministerio de Obras Públicas, 2014*).

Indicador o Deterioro	Límites	
	L1	L2
ICNP	4,0	6,0
Calamina (cm)	6,0	4,0
Ahuellamiento (cm)	6,0	4,0
Baches (N°*m*m)	3,0	2,5
IRI (m/km)	máx. 12	

Tabla 7-2: Umbrales de intervención caminos de ripio (*Ministerio de Obras Públicas, 2014*).

Indicador o Deterioro	Límites	
	L1	L2
ICNP	4,5	5,5
Calamina (cm)	5,0	3,0
Ahuellamiento (cm)	5,0	3,5
Baches (N°*m*m)	2,5	2,0
IRI (m/km)	máx. 12	

En la Tabla 7-3 se presentan algunas “macroacciones” de conservación asociadas al estado de los caminos no pavimentados, clasificación que depende del valor del ICNP resultante luego de su evaluación.

Tabla 7-3: Macroacciones de Conservación (Ministerio de Obras Públicas, 2014).

Estado del Camino	Macroacción	Ejemplo Acciones Asociadas
Muy Bueno	Rutinaria	Limpieza de faja y fosos, reperfilado.
Bueno	Rutinaria	
Regular	Rehabilitación	Reperfilado, Bacheo, Recebo, corrección perfil transversal.
Malo	Rehabilitación	
Muy Malo	Reconstrucción	Reemplazo suelo fundación, Recebo, corrección perfil transversal.

Estas “macroacciones” son recomendaciones a priori, ya que el resultado final de la acción de conservación/rehabilitación a realizar debe ser determinada por un profesional competente que debe evaluar caso a caso el estado de un determinado camino. Es en este punto en donde cobra relevancia el uso del ICNP_{CAM} ya que, a parte del valor propio del indicador, al grabar el camino el evaluador puede volver a ver las imágenes del camino y así percatarse de algún detalle que pudiese pasar por alto; además tiene una mejor visión global del verdadero estado del camino, ya que puede observar aspectos que el indicador por sí sólo no considera, como lo es la topografía del sector, entre otras características.

Costos de las Acciones de Conservación

Algunos de los precios unitarios de las acciones de conservación sobre las calzadas no pavimentadas que la Dirección de Vialidad se presentan en el estudio de las “Políticas de Conservación Vial Etapa 3 - Caminos No Pavimentados” (Ministerio de Obras Públicas, 2014), siendo los siguientes:

- Bacheo granulares simple (sin compactación): \$9.000-\$13.000 / m³
- Repafilado simple (sin compactación): \$39.000 - \$70.000 / Km
- Repafilado con compactación: \$250.000 - \$750.000 / Km
- Recebo granular simple (esparcimiento capa grava en toda la calzada): \$8.000-\$24.000 / m³
- Reparación calzada con material integral: \$9.000-\$11.000 / m³

Estos valores son referenciales pudiendo variar de acuerdo con el lugar geográfico en que se desarrollen estas actividades.

7.2 RESULTADOS PARA LOS 12 CAMINOS NO PAVIMENTADOS SELECCIONADOS

A modo de ejemplo se seleccionaron 12 U.M. de las medidas para esta memoria utilizando el valor de $ICNP_{CAM}$ que se obtuvo de ella. Se presenta en la Tabla 7-4 los resultados de las “macroacciones” tentativas que se debiesen realizar para mejorar su condición de calzada de estas 12 U.M.

Tabla 7-4: Resultados de las “macroacciones” de las 12 U.M. seleccionas (fuente: propia).

	Camino	Tipo Calzada	$ICNP_{CAM}$	Estado	Macroacción
1	La Vinilla	T	4,76	Regular	Rehabilitación
2	A la Puente Alta	R	9,47	Muy Bueno	Rutinaria
3	Corcolén Cerro	T	5,79	Bueno	Rutinaria
4	Termas del Flaco	R	7,62	Bueno	Rutinaria
5	Costado Agrosuper	T	1,00	Muy Malo	Reconstrucción
6	San Gerardo- La Laguna	R	6,40	Bueno	Rutinaria
7	Callejón El Molino	T	1,00	Muy Malo	Reconstrucción
8	Los Aromos	R	4,11	Malo	Rehabilitación
9	Las Parcelas	R	5,08	Regular	Rehabilitación
10	Cuesta Lo Prado	T	1,00	Muy Malo	Reconstrucción
11	Estero Puangue	T	1,00	Muy Malo	Reconstrucción
12	F-190 Puchuncaví U.M.1	R	1,00	Muy Malo	Reconstrucción

Aunque se haya determinado la “macroacción” de conservación/rehabilitación en base al valor del $ICNP_{CAM}$ solamente, la metodología del $ICNP_{CAM}$ puede llegar a su máximo potencial de uso a través de evaluadores con experiencia que pueden determinar específicamente el tipo de acción de conservación/rehabilitación concreta que se debiese realizarse en una determinada U.M. dada su pericia en el tema y a la gran cantidad de imágenes de la vía (junto con sus alrededores) que se pueden obtener mediante el sistema de cámaras. Además, se debe considerar que el evaluador puede realizar la medición desde una estación de trabajo (oficina) ubicada a cientos de kilómetros del camino a evaluar, representando una gran ventaja respecto a la medición de campo de los deterioros y posterior definición del estado del camino.

8 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES GENERALES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

8.1 CONCLUSIONES GENERALES

A lo largo de la realización de este estudio se logró cumplir con el objetivo general, que era la elaboración de una metodología para la obtención alternativa del ICNP utilizando la grabación de caminos no pavimentados con un sistema de cámaras de alta definición, georreferenciadas. En donde se pudo establecer directrices claras para la identificación y valorización de los principales deterioros/factores que se presentan en las vías no pavimentadas.

Para lograr este objetivo, se tuvo que familiarizar con los conceptos de sistema de gestión de caminos, con las características propias de los caminos no pavimentados y sobre todo de la importancia que tienen este tipo de vías en la conectividad nacional y su gran uso en tres de las mayores actividades económicas del país.

Posteriormente, se continuo con el estudio del uso de indicadores para la calificación del estado de una vía no pavimentada, estudiándose el uso del URCl (PCI) en la literatura, así como en detalle al ICNP, indicador propuesto por el MOP como el oficial para valorizar el estado de los caminos no pavimentados en Chile. También, se estudiaron las principales actividades de mantención/restauración más utilizadas en las actividades de conservación rutinaria, periódica y mayor.

Ya con cierto manejo de la información que refiere a la valorización de estado y de actividades de mantención/restauración en caminos no pavimentados, se comenzó a realizar mediciones de ICNP_{MOP} de prueba para después establecer una base muestral de caminos a medir necesarios para la elaboración y validación de la metodología del ICNP_{CAM}. Se establecieron 60 U.M. repartidas en cuatro regiones del país como base de datos, en las que se les midieron los deterioros/factores en terreno junto con la grabación de sus Z.M.

Se calcularon los 60 ICNP_{MOP}, destacándose los siguientes aspectos:

Mediciones en Terreno

- Se evidenció la dificultad física y la gran variabilidad de tiempo que se dedica a la medición de ICNP_{MOP} de una U.M.
- La gran cantidad de población aledaña a los caminos que se quejan del mal estado de las vías, pidiendo una mayor mantención o, en el mejor de los casos, la pavimentación.
- Debido a la extensa geografía nacional, es muy difícil controlar que las mediciones de ICNP_{MOP} realizadas en terreno fuesen verídicas.
- Existe un peligro real a sufrir atropellos durante la etapa de recolección de deterioros/factores en un camino no pavimentado, sobre todo considerando la nula presencia de autoridades de orden en sectores remotos (ocurrencia de excesos de velocidad), así como el tránsito de vehículos y de maquinarias de grandes dimensiones.

En cuanto a la grabación de las 60 U.M., realizadas en las mismas jornadas de medición de los ICNP_{MOP}, se procedieron sin muchas complicaciones llegando a la obtención de la metodología del ICNP_{CAM} luego de un proceso de comparación de dimensiones de deterioros/factores registrados en terreno respecto a las imágenes registradas mediante el sistema de cámaras. De todos modos, las mediciones a través del sistema de cámaras presentaron ventajas en comparación a la medición del ICNP_{MOP} que muy rápidamente llamaron la atención, las que principalmente fueron las siguientes:

Mediciones con el sistema de cámara

- Permite mediciones más expeditas y confortables por parte del evaluador.
- La metodología propuesta, se convierte más amigable a medida que el usuario adquiere más experiencia en la medición del ICNP_{CAM}.
- La metodología no tiene una elevada dificultad de entendimiento por parte de los usuarios, lo que se vio reflejado en las pruebas de reproducibilidad realizadas para la validación de la metodología.
- A las autoridades encargadas de la gestión vial de caminos no pavimentados, ya sean estos privados o públicos, esta metodología del sistema de cámaras les permite tener un mayor control sobre la real y correcta medición de los deterioros/factores de caminos no

pavimentados y por ende del correcto valor del ICNP y del estado de los caminos no pavimentados medidos.

- Al tener un registro audiovisual de calidad del estado del camino, así como valores estimados de las magnitudes de los deterioros que los afecta, los expertos de organismos de gestión vial pueden asignar que técnica de mantención y/o reparación necesita la vía, así como designar la destinación de sus recursos respectivos para mejorar la calidad superficial del camino sin la necesidad de haber visto presencialmente el camino. Este punto es muy importante debido a la gran cantidad de vías no pavimentadas existentes en el país.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizó un exhaustivo análisis estadístico de comparación de los resultados de las 60 U.M. medidas por el método de inspección en terreno y el propuesto por el sistema de cámaras. Se generó un gráfico de dispersión entre ambos resultados de ICNP para ver la relación que pudiesen tener, en donde se pudo identificar a priori algunos datos atípicos de las mediciones. Posteriormente se desarrolló un modelo de regresión lineal en donde la variable independiente fue el $ICNP_{CAM}$ y la dependiente el $ICNP_{MOP}$, verificándose la hipótesis de que la pendiente de la recta generada del modelo fuese igual a 1 con una confiabilidad del 95%, llegando a resultados satisfactorios. Posteriormente, se utilizó la técnica de las distancias de Cook y el criterio de los residuales estandarizados para la eliminación de datos atípicos, procesos que fueron necesarios para obtener la base de datos final que cumpliera con los dos supuestos de los modelos de regresión lineal, los que son la normalidad del error y la homogeneidad de las varianzas de sus residuos, utilizándose las dócima de Kolmogorov-Smirnov y White respectivamente. De las 60 U.M. que conformaban la base de datos original, 44 U.M. fueron las que finalmente se utilizaron para satisfacer que la relación entre $ICNP_{MOP}$ y $ICNP_{CAM}$ fuese de “1-1” con una pendiente de la recta generada fuese de 45° con un 95% de confiabilidad. Esta eliminación de U.M. fueron en su mayoría explicadas debido a la sensibilidad que tiene la metodología del ICNP a valores de deterioros extremos que superan ciertos umbrales, situación en que independiente del resultado matemático del ICNP que arrojará una determinada U.M., está sería penalizada con nota mínima ($ICNP=1.0$) y con un estado superficial “Muy Malo”⁴⁰. De todas formas, para estos casos extremos es importante destacar que el $ICNP_{CAM}$ al ser esta metodología planteada originalmente su uso para una inspección

⁴⁰ Esta situación ocurre tanto para el $ICNP_{CAM}$ como para el $ICNP_{MOP}$, aunque en la primera es en donde ocurrió más este fenómeno de los valores extremos de deterioro.

a nivel de red, el resultado del indicador por sí sólo no es suficiente para asignar la técnica específica de conservación/rehabilitación de un determinado camino no pavimentado (situación similar ocurre con el $ICNP_{MOP}$), aunque la grabación del camino permite tener un registro más completo de su estado y entorno, por lo que un evaluador experto viendo las imágenes y analizando los resultados de $ICNP_{CAM}$ sí podría establecer que técnica de mantenimiento/conservación es la más necesaria realizar a determinado camino.

PRUEBAS DE VALIDACIÓN

Ya establecida la metodología del $ICNP_{CAM}$, se procedió a realizar un conjunto de pruebas de reproducibilidad y repetitividad con el propósito de validar la metodología.

Se contó con la participación de un tercero no experto en el tema para realizar las mediciones de $ICNP_{CAM}$ de reproducibilidad, al cual se le realizó toda una charla previa sobre la ingeniería de caminos, sistema de gestión vial, caminos no pavimentados y técnicas de inspección superficial de dichos caminos y en especial la metodología del $ICNP_{MOP}$. Se le explicó detalladamente el modo de uso del $ICNP_{CAM}$, así como el por qué surgía la necesidad de contar con esta herramienta de inspección, realizando ejemplos y ejercicios acompañados del tutor de la metodología. Todo aquello para que el evaluador externo realizara 12 mediciones de $ICNP_{CAM}$ para igual número de U.M. escogidas por la variabilidad de resultados y de tipo de material que conformaba sus superficies (seis de tierra y seis de grava). Estos resultados de inspección se denominaron $ICNP_{CAMter}$ y se compararon los resultados de los $ICNP_{CAM}$ ya obtenidos para la elaboración de la base de datos utilizada para la conformación de la metodología. Se realizó un análisis estadístico comparativo “1-1” entre los $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAMter}$ de las 12 U.M. similar al realizado para la conformación de la metodología (generación modelo regresión lineal, evaluación de la hipótesis de que la pendiente de la recta fuese igual a 1 con un 95% de confiabilidad, identificación y eliminación datos atípicos – distancias de Cook, verificación de normalidad del error y de la homogeneidad de las varianzas de los residuos), llegando a buenos resultados. Aunque se deja en claro que para dar una mayor robustez a la validación de la metodología se debiesen seguir realizando mediciones de reproducibilidad considerando una mayor cantidad de U.M. y de evaluadores externos.

Para las pruebas de repetitividad, se volvieron a medir el $ICNP_{CAM}$ de 12 U.M. (llamados $ICNP_{CAM2}$) ya medidas para la conformación de la metodología del sistema de cámaras (mismas U.M. utilizadas

para la prueba de reproducibilidad), realizando el mismo análisis estadístico utilizado para las pruebas de reproducibilidad llegando a resultados de que se cumple la relación “1-1” entre los $ICNP_{CAM}$ y $ICNP_{CAM2}$, validando la repetitividad en el tiempo de la metodología.

Finalmente, se concluye que la metodología del $ICNP_{CAM}$ es válida para la inspección de caminos no pavimentados a nivel de red, teniendo siempre presente que la experiencia de los evaluadores es el principal factor de disidencia entre una correcta o incorrecta elección de determinada acción de conservación/mejoramiento para el caso de las vías no pavimentadas.

8.2 RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Aunque la elaboración de la metodología y sus posteriores pruebas de validación dieron buenos resultados de correlación estadística entre los valores de los $ICNP_{CAM}$ respecto a los $ICNP_{MOP}$ medidos en terreno, es necesario tener conciencia que en ambas actividades se contó con que los usuarios de la metodología tenían conocimientos de ingeniería, pero por sobre todo tenían claro el objetivo que hay de atrás de la inspección de vías no pavimentadas. Por lo que todo futuro usuario de la metodología debe pasar por sesiones de inducción, tanto para mediciones de deterioros en terreno ($ICNP_{MOP}$) como para mediciones obtenidas mediante el sistema de cámaras ($ICNP_{CAM}$). Estas sesiones de entrenamiento deberían ser guiadas por un profesional con conocimientos aplicados en el tema de inspección de vías, debiendo entregar sus conocimientos y generando confianza en el futuro usuario. Se deberían contar como mínimo de cinco sesiones de entrenamiento tanto de $ICNP_{MOP}$ como $ICNP_{CAM}$, para posteriormente hacer un análisis de reproducibilidad de la medición (modelo de regresión lineal y cumplimiento los supuestos de normalidad del error y homogeneidad de la varianza de los residuales), que sería como la prueba que debería aprobar el futuro usuario para poder utilizar la metodología del $ICNP_{CAM}$ de manera segura. De todos modos, la lectura y estudio del material de apoyo ANEXO C “GUÍA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DETERIOROS CONTINUOS” y ANEXO D “MANUAL DE USO PARA EL CÁLCULO DEL $ICNP_{CAM}$ ” resulta muy útil para formar a un futuro usuario de la metodología del $ICNP_{CAM}$.

Respecto a la base de datos recolectada para la elaboración de la metodología, aunque se consideraron sólo caminos con clima mediterráneo (zona centro), la puesta en marcha del $ICNP_{CAM}$ no debería tener mayores complicaciones en ser realizada en zonas de climas secos y húmedos ya

que el efecto del clima está asociado a la asignación del estado del camino, que tienen que ver con los límites de valores de ICNP (varían según el tipo de clima) y NO con la forma de obtención de los “*Deterioros_{CAM}*” presentes en una determinada U.M.. De todos modos, se sugiere continuar con las mediciones, tanto en terreno (ICNP_{MOP}) como mediante grabaciones (ICNP_{CAM}) de caminos no pavimentados cubriendo otras regiones del país de clima predominante Seco (Zona Norte) y Húmedo (Zona Sur).

8.3 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Como se mencionó anteriormente, una de las siguientes acciones a seguir es realizar mediciones en caminos ubicados en zonas de clima seco (norte) y húmedo (sur), con el propósito de aumentar el espectro de escenarios posibles que tome en cuenta esta metodología.

Sería recomendable ver el uso de esta metodología de inspección de caminos no pavimentados en plena explotación de zonas mineras, forestales y agrícolas. Ya que este método de inspección es mucho más seguro para sus usuarios en comparación a la medición de campo, siendo esta uno de los mayores beneficios de esta metodología, sobre todo considerando los altos niveles de tonelaje y de frecuencia de vehículos que transitan por estas vías en plena etapa de explotación. Ya en una segunda etapa de su uso, sería implementar esta metodología de inspección como en una de las herramientas de adquisición de información utilizada en un sistema de gestión de caminos.

En cuanto a caminos públicos, ya sean administrados por la Dirección de Vialidad o Municipios, se podría llegar a un acuerdo mutuo para la puesta en marcha de un plan de prueba para el control del estado de vías de cierta red de caminos, considerando que la inspección de vías es una de las primeras herramientas con que se debe contar para implementar un sistema de gestión vial a escala real. Se deberían evaluar los tiempos óptimos en que se debiesen aplicar las distintas actividades de mantenimiento rutinarias, periódicas o mayores dependiendo del estado. Sería útil valorar los efectos positivos (sociales y económicos) que tendrían los usuarios de las vías el hecho de notar una preocupación constante de las autoridades sobre las vías rurales no pavimentadas específicamente, siempre considerando las limitaciones económicas que se disponen.

También se podría utilizar el sistema de cámaras para una estimación de la altura de polvo generada por el tránsito de vehículos en caminos no pavimentados. La evaluación de este deterioro es muy importante ya que produce problemas de salud para las personas que transitan por estas vías (peatones), además de que generan mayores costos de operación en los vehículos, menores niveles de producción agrícola en zonas aledañas y una disminución de la seguridad vial dada a la falta de visibilidad producida por el polvo en suspensión. Esta estimación de la altura puede ser en rangos (por ejemplo 0-1 m; 1-2 m; 2-4 m) para facilitar su medición y debiese ser realizada con una cámara adicional puesta en la parte trasera del vehículo de operación. Es importante mencionar que este deterioro no es considerado en el cálculo del ICNP, pero que sí se utiliza para la obtención del URCI (Eaton & Beaucham, 1987).

Otra de las futuras líneas de investigación sería la realización de estudios de campo para la generación de modelos de curvas de desempeño de caminos no pavimentados, con las que se podría estimar la condición del camino en el tiempo junto con los efectos que tienen la aplicación de técnicas de conservación/rehabilitación en el camino (Figura 8-1). Para la elaboración de estas curvas se deberían realizar mediciones de $ICNP_{CAM}$ en el tiempo en varios caminos no pavimentados tipos⁴¹, considerando distintos tipos de superficie (tierra, grava, maicillo), de clima (seco, mediterráneo, húmedo), de tránsito predominante (bajo, medio, alto), de perfil longitudinal predominante (horizontal, pendientes pronunciadas), de planimetría (recto, muchas curvas, orilla cerro), de funcionalidad (conexión rural, minera, forestal, agrícola, otras), entre otras características. En donde las ventajas que presenta el $ICNP_{CAM}$ respecto al $ICNP_{MOP}$ son muy útiles ya que se podrían realizar grabaciones de caminos en todo el país sin la necesidad de que el personal más experto estuviese en terreno, para que después dicha información sea procesada por profesionales altamente capacitados desde una oficina central. Sí es que se pudiese lograr producir curvas de rendimiento con una determinada precisión, se avanzaría en un gran paso para la elaboración e implementación de sistemas de gestión vial de caminos no pavimentados para distintas realidades nacionales, concentrando los esfuerzos en tener vías de mejor calidad y así disminuyendo los costos que tienen los caminos en mal estado en la economía en general.

⁴¹ Podrían ser acorde a los propuestos en la “GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO” (Thenoux Z., Halles A., & González V., 2002).

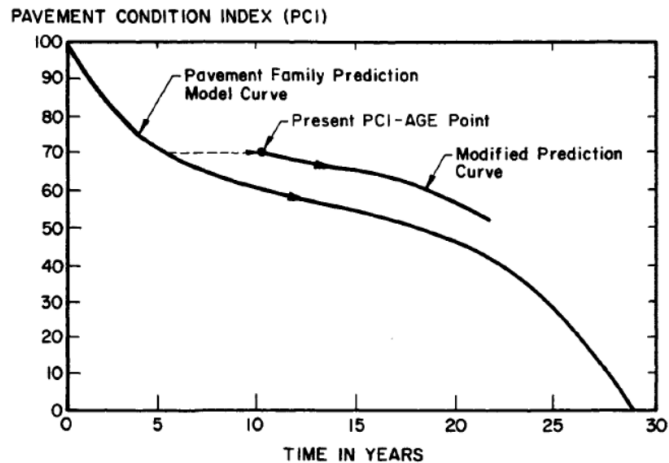


Figura 8-1: Predicción de la sección de pavimento en relación con el modelo familiar (SHAHIN, 2005).

También a través de la implementación y masificación del ICNP_{CAM} se podrían realizar estudios en que se generen recomendaciones de mantenimiento para caminos no pavimentados para ciertos casos “tipo”. Además, el ICNP_{CAM} podría ser utilizado para ver el impacto que tienen las actividades de mantención/rehabilitación en una calzada no pavimentada, es decir, utilizarse como medida de control, ya que se puede medir el estado del camino justo en el momento anterior y posterior de la aplicación de actividades de mantención/rehabilitación pudiendo cuantificar el aumento de la calidad superficial del camino debido a una determinada técnica y situación en particular.

Finalmente, esta memoria da a conocer los buenos resultados que tiene el uso de esta tecnología del sistema de cámaras para la estimación de los deterioros presentes en calzadas no pavimentadas. Se recomienda seguir con el uso de nuevas tecnologías para la obtención de información de deterioros y, por ende, del estado superficial de los caminos, como lo sería la utilización de otros medios tecnológicos para la inspección de caminos, como: otros sistemas de cámaras de mejor calidad, uso de técnicas de fotogrametría, teledetección (remote sensing), sistemas láser, uso de drones, entre otros, de tal manera de hacer más objetiva la valorización de los deterioros. Es claro que estas tecnologías tienen mayores costos económicos y de recursos humanos que el sistema de cámaras utilizado para esta memoria de título, pero también se es consciente que la tecnología avanza y que los valores de los equipos tienden a disminuir en el tiempo haciéndolos más accesibles a las distintas entidades de gestión de caminos. La tecnología esta para ser utilizada, siendo una herramienta al servicio de la humanidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Banco Central de Chile. (31 de Diciembre de 2016). <http://www.bcentral.cl/>. Obtenido de <https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/Excel/CCNN/trimestrales/excel.html>
- Cline, G., Shahrin, M., & Burkhalter, J. (2002). *Automated pavement condition index survey*. Roanoke, Virginia, USA: Pavement Evaluation Conference, 2002, Roanoke, Virginia, USA.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. New York, USA: LA Associates. USA.
- DDQ Ingeniero Consultor. (2007). *Instructivo de Inspección Visual de Caminos No Pavimentados*. Santiago, Chile: Ministerio de Obras Públicas.
- De Solminihaq T., H. (1998). *Gestión de Infraestructura Vial*. Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- de Solminihaq, H. (1987). Metodología estadística para el estudio y evaluación de aspectos técnicos en la construcción. *Revista de Ingeniería de Construcción*, N°2,, 21-33.
- Departamento Gestión Vial, D. M. (2016). *RED VIAL NACIONAL*. Santiago, Chile: Ministerio de Obras Públicas.
- Departamento Gestión Vial, D. M. (2016). *Valor del Patrimonio de la Red Vial Nacional - Año 2013*. Santiago, Chile: Ministerio de Obras Públicas.
- Dirección de Vialidad. (2003). PROGRAMA CAMINOS BASICOS 5000. *PROGRAMA CAMINOS BASICOS 5000* (pág. 1 a la 46). Santiago, Chile: Dirección de Vialidad, MOP.
- Dirección de Vialidad. (2018). *Manual de Carreteras Volumen 5*. Santiago, Chile: Ministerio de Obras Públicas.
- Dirección de Vialidad, M. (2018). *MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN N°7 MANTENIMIENTO VIAL*. Santiago, Chile: MOP-DGOP-Dirección de Vialidad.
- Douglas, R. A. (2016). *Low-Volume Road Engineering - Design, Construction and Maintenance*. Boca Raton: CRC Press.
- Eaton, R., & Beauchamp, R. (1987). *Unsurfaced Road Maintenance Management*. California, EEUU: U.S. Army Corps. of Engineers.
- Gaete P., R., & Visser, A. (1990). Un sistema de gestión para la mantención de caminos no pavimentados. *Ingeniería de Construcción*, N°9, 1-26.
- Gayoso, J., & Acuña, M. (1999). *Mejores Prácticas de Manejo Forestal*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- MINERÍA CHILE. (Noviembre de 2014). Camiones mineros. Gigantes en tamaño y relevancia. *MINERÍA CHILENA*, 128-131.
- Ministerio de Obras Públicas. (2014). *Política de Conservación Vial Etapa 3 - Caminos No Pavimentados*. Santiago, Chile: Ministerio de Obras Públicas.
- Namur Y., E. (2008). *Metodología simplificada para la detección de necesidades de mantenimiento en caminos no pavimentados*. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Osorio Lird, A. (2015). *Development of Performance Models and Maintenance Standards of Urban Pavement for Network Management*. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería.

- Pradena M., M. (2001). *Auscultación en caminos no pavimentados. Medición de la Rugosidad como parámetro determinante del resultado de la conservación*. Concepción: UC.
- Schliessler, A., & Bull, A. (1994). *CAMINOS: Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales*. Santiago, Chile: CEPAL.
- SHAHIN, M. Y. (2005). *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*. New York, USA: Springer Science + Business Media, LLC.
- Thenoux Z., G., Halles A., F., & González V., Á. (2002). *Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito*. Santiago, Chile: Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas.
- Thenoux Z., Vera, S., & Halles A., F. (2004). *Generalidades Caminos No Pavimentados*. Santiago, Chile: CIIV Centro de Ingeniería e Investigación Vial DICTUC S.A.
- Wang, C., Joshua Li, Q., & Yang, G. (2015). *Network level pavement evaluation with 1 mm 3D*. Oklahoma: Journal of Traffic and Transportation Engineering.

9 ANEXOS

ANEXO A “LISTADO Y UBICACIÓN ESPACIAL DE LOS CAMINOS NO PAVIMENTADOS MEDIDOS”

ANEXO B “RESULTADOS RECOLECCIÓN MANUAL DE DATOS E $ICNP_{MOP}$ ”

ANEXO C “GUÍA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DETERIOROS CONTINUOS”

ANEXO D “MANUAL DE USO PARA EL CÁLCULO DEL $ICNP_{CAM}$ ”

ANEXO E “HOJA DE TRABAJO $ICNP$ ”

ANEXO F “RESULTADOS DE DETERIOROS $_{CAM}$ E $ICNP_{CAM}$ UTILIZANDO METODOLOGÍA DEL SISTEMA DE CÁMARAS”

ANEXO G “RESULTADOS DE PRUEBAS ESTADÍSTICA Y ANÁLISIS REGRESIÓN LINEAL DE LOS DATOS RECOLECTADOS”

ANEXO H “RESULTADOS DE PRUEBAS ESTADÍSTICA Y ANÁLISIS REGRESIÓN LINEAL DE LA VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA”

ANEXO I “PRESUPUESTO ESTIMATIVO PAVIMENTACIÓN EN ASFALTO (CRISTÓBAL CHAVARRÍA)”.

ANEXO A “LISTADO Y UBICACIÓN ESPACIAL DE LOS CAMINOS NO PAVIMENTADOS MEDIDOS”

N° Caminos	Nombre Camino	Fecha Medición	Superficie (T, R, E)	COMUNA	REGIÓN	Estrato Geográfico	Uso	Pendiente Longitudinal
1	Tunca Abajo N°1	03-05-2016	T	San Vicente de T.T.	VI	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
2	Tunca Abajo N°2	03-05-2016	T	San Vicente de T.T.	VI	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
3	Toquihua	03-05-2016	R	San Vicente de T.T.	VI	Valle Central	Vía de acceso	Horizontal
4	Romeral Zuñiga	03-05-2016	R	San Vicente de T.T.	VI	Valle Central	Vía de acceso	Horizontal
5	Callejón Varela	03-05-2016	T	San Vicente de T.T.	VI	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
6	La Vinilla	07-05-2016	T	San Vicente de T.T.	VI	Valle Central	Vía de acceso	Pendientes Pronunciadas
7	A la Puente Alta	07-05-2016	R	Quinta de Tilcoco	VI	Valle Central	Vía de acceso	Horizontal
8	Fundo Millaray	07-05-2016	R	Quinta de Tilcoco	VI	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
9	Corcolén Plano	14-05-2016	T	San Vicente de T.T.	VI	Valle Central	Vía de acceso	Pendientes Pronunciadas
10	Corcolén Cerro	14-05-2016	T	San Vicente de T.T.	VI	Valle Central	Vía de acceso	Horizontal
11	Termas del Flaco	21-05-2016	R	San Fernando	VI	Precordillera	Vía de acceso	Horizontal
12	Espinalillo	21-05-2016	T	San Fernando	VI	Precordillera	Vecinal Rural	Horizontal
13	Puente Negro	21-05-2016	R	San Fernando	VI	Precordillera	Vecinal Rural	Horizontal
14	Tres Puentes Cerro	21-05-2016	T	San Fernando	VI	Precordillera	Vía de acceso	Pendientes Pronunciadas
15	Tres Puentes Plano	21-05-2016	R	San Fernando	VI	Precordillera	Explotación Agrícola	Horizontal
16	Costado Agrosuper	27-06-2016	T	San Vicente de T.T.	VI	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
17	San Gerardo- La Laguna	27-06-2016	R	San Vicente de T.T.	VI	Valle Central	Vía de acceso	Horizontal
18	Rincón de Morales	29-06-2016	R	Teno	VII	Valle Central	Vecinal Rural	Horizontal
19	Hacienda Teno	29-06-2016	R	Teno	VII	Valle Central	Vecinal Rural	Horizontal
20	Las Parcelas, Camino Montaña	29-06-2016	R	Teno	VII	Valle Central	Vía de acceso	Pendientes Pronunciadas
21	El Cisne	29-06-2016	R	Teno	VII	Precordillera	Vecinal Rural	Horizontal
22	El Establo	29-06-2016	R	Teno	VII	Precordillera	Explotación Agrícola	Horizontal
23	Convento Viejo	29-06-2016	T	Chimbarongo	VI	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
24	El Alamo	29-06-2016	R	Chimbarongo	VI	Valle Central	Vía de acceso	Horizontal
25	Los Yuyos N°1	30-06-2016	R	Pichidegua	VI	Valle Central	Vía de acceso	Horizontal

26	Viña Ureta	30-06-2016	T	Pichidegua	VI	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
27	La Puntilla	30-06-2016	T	Pichidegua	VI	Valle Central	Vecinal Rural	Horizontal
28	Callejón El Molino	30-06-2016	T	Pichidegua	VI	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
29	Los Alamos	30-06-2016	R	Pichidegua	VI	Valle Central	Vía de acceso	Horizontal
30	San Francisco Huique	30-06-2016	T	Palmilla	VI	Valle Central	Vecinal Rural	Horizontal
31	Los Aromos	30-06-2016	R	Pichidegua	VI	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
32	Cerro El Tambo	01-07-2016	T	San Vicente de T.T.	VI	Valle Central	Vía de acceso	Pendientes Pronunciadas
33	La Ensenada	01-07-2016	R	Malloa	VI	Valle Central	Vía de acceso	Horizontal
34	La Capilla	01-07-2016	R	Malloa	VI	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
35	Las Parcelas	01-07-2016	R	Las Cabras	VI	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
36	Av. Bunster	01-07-2016	R	Las Cabras	VI	Valle Central	Vía de acceso	Horizontal
37	Viña Concha y Toro	01-07-2016	T	Peumo	VI	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
38	Miraflores Norte	09-07-2016	T	Curacaví	RM	Valle Central	Vecinal Rural	Pendientes Pronunciadas
39	Cuesta Lo Prado	09-07-2016	T	Curacaví	RM	Valle Central	Vía de acceso	Pendientes Pronunciadas
40	Estero Puangue	10-07-2016	T	Maria Pinto	RM	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
41	Estero Puangue 2 U.M.1	30-09-2016	T	Maria Pinto	RM	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
42	Estero Puangue 2 U.M.2	30-09-2016	T	Maria Pinto	RM	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
43	Estero Puangue 2 U.M.3	30-09-2016	T	Maria Pinto	RM	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
44	Estero Puangue 2 U.M.4	30-09-2016	T	Maria Pinto	RM	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
45	Estero Puangue 2 U.M.5	30-09-2016	T	Maria Pinto	RM	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
46	Estero Puangue 2 U.M.6	30-09-2016	T	Maria Pinto	RM	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
47	Estero Puangue 2 U.M.7	30-09-2016	T	Maria Pinto	RM	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
48	Estero Puangue 2 U.M.8	30-09-2016	T	Maria Pinto	RM	Valle Central	Explotación Agrícola	Horizontal
49	F-190 Puchuncaví U.M.1	19-10-2017	R	Puchuncaví	V	Costa	Vía de acceso	Pendientes Pronunciadas
50	F-190 Puchuncaví U.M.2	19-10-2017	R	Puchuncaví	V	Costa	Vía de acceso	Pendientes Pronunciadas
51	F-190 Puchuncaví U.M.3	19-10-2017	R	Puchuncaví	V	Costa	Vía de acceso	Pendientes Pronunciadas
52	F-190 Puchuncaví U.M.4	19-10-2017	R	Puchuncaví	V	Costa	Vía de acceso	Pendientes Pronunciadas
53	F-190 Puchuncaví U.M.5	19-10-2017	R	Puchuncaví	V	Costa	Vía de acceso	Pendientes Pronunciadas
54	Estero Marga Marga 1 U.M.1	03-11-2017	T	Viña del Mar	V	Costa	Vía de acceso	Horizontal

55	Estero Marga Marga 1 U.M.2	03-11-2017	T	Viña del Mar	V	Costa	Vía de acceso	Horizontal
56	Calafquen, Los Pinos	03-03-2018	T	Viña del Mar	V	Costa	Vía de acceso	Pendientes Pronunciadas
57	Bulnes, Los Pinos	03-03-2018	T	Viña del Mar	V	Costa	Vía de acceso	Pendientes Pronunciadas
58	Riñihue, Los Pinos	03-03-2018	T	Viña del Mar	V	Costa	Vía de acceso	Pendientes Pronunciadas
59	Peyuhue, Los Pinos	03-03-2018	T	Viña del Mar	V	Costa	Vía de acceso	Pendientes Pronunciadas
60	Queltehue, Los Pinos	03-03-2018	T	Viña del Mar	V	Costa	Vía de acceso	Horizontal

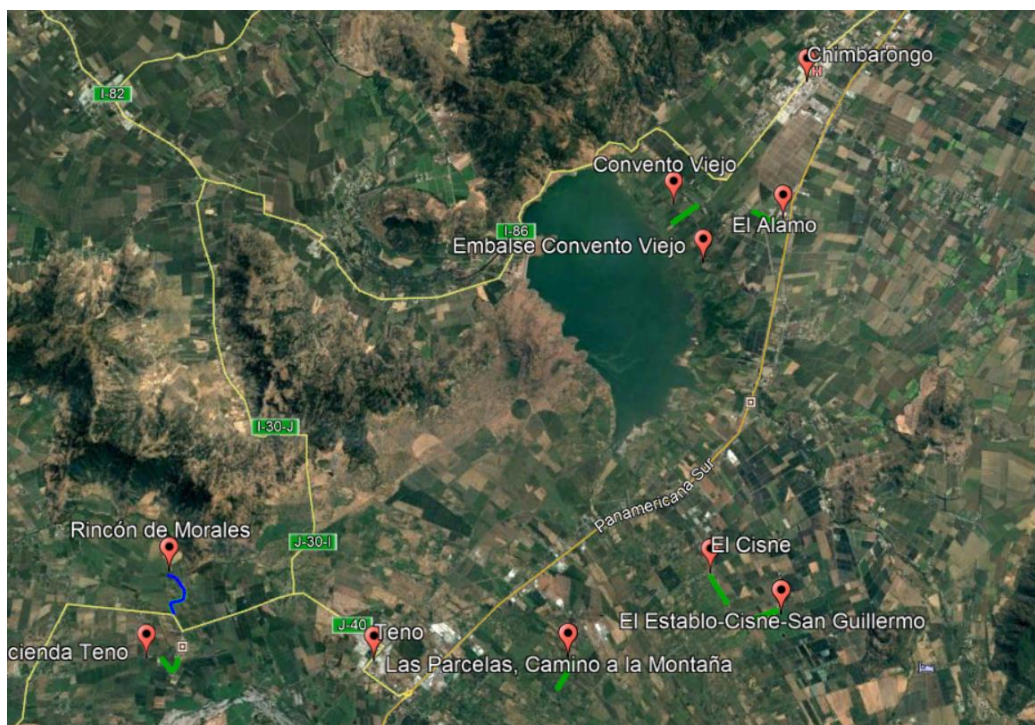


Figura 9-1: Ubicación U.M. VII Región (fuente: propia).

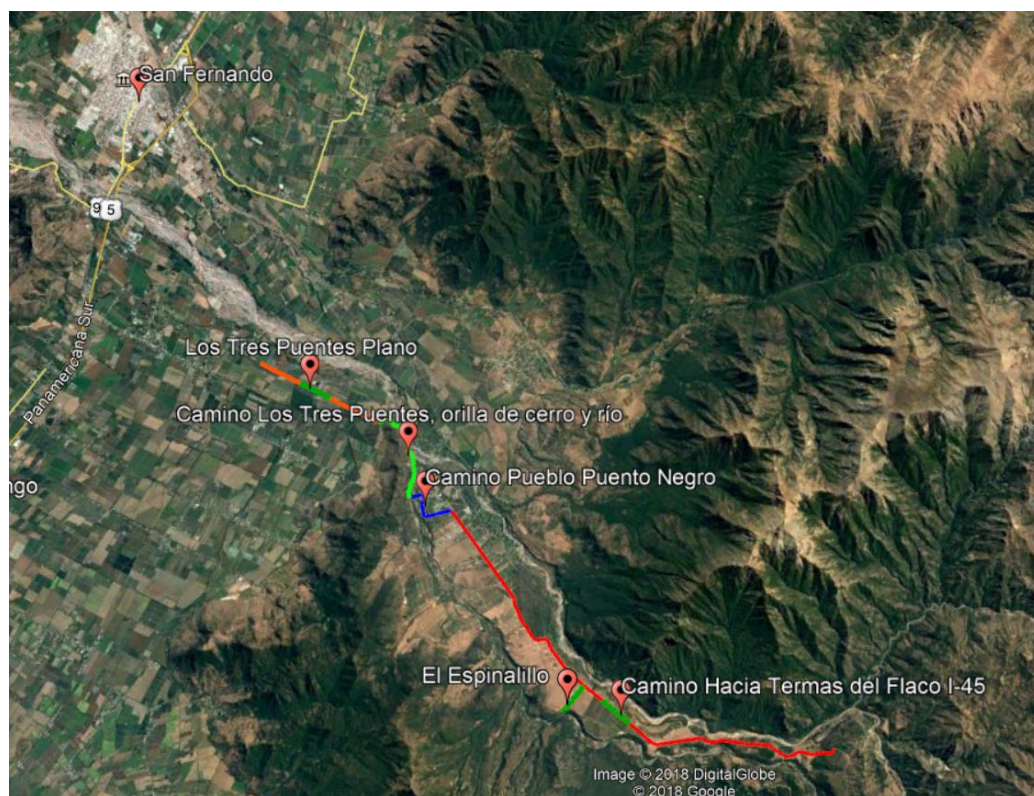


Figura 9-2: Ubicación U.M. VI Región - 1 (fuente: propia).

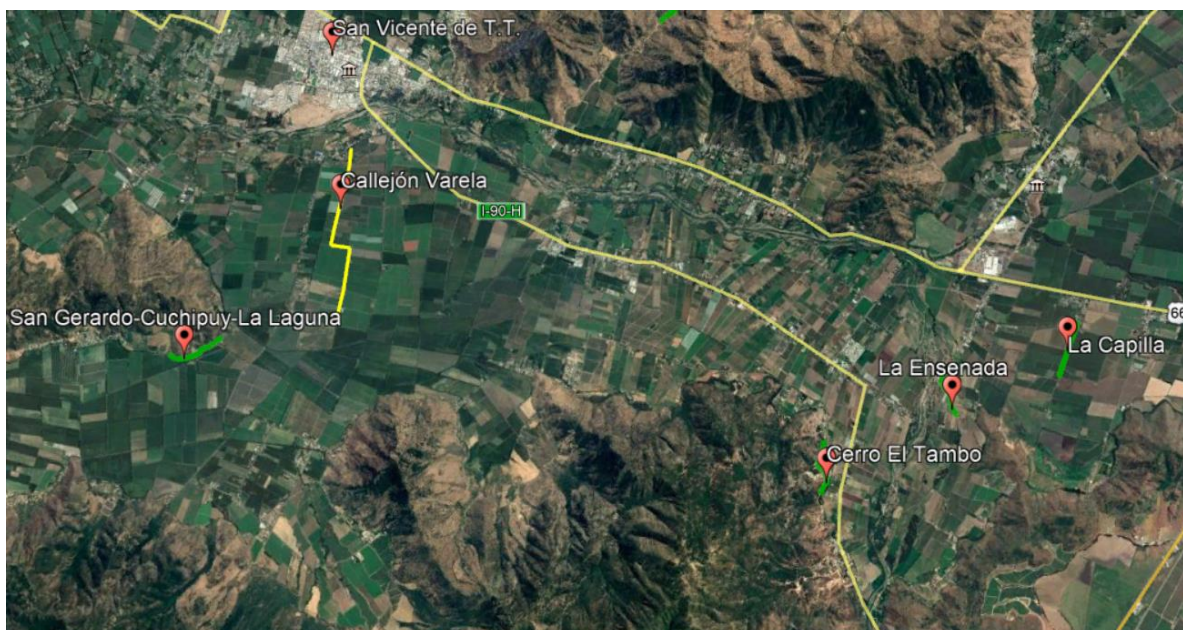


Figura 9-3: Ubicación U.M. VI Región - 2 (fuente: propia).

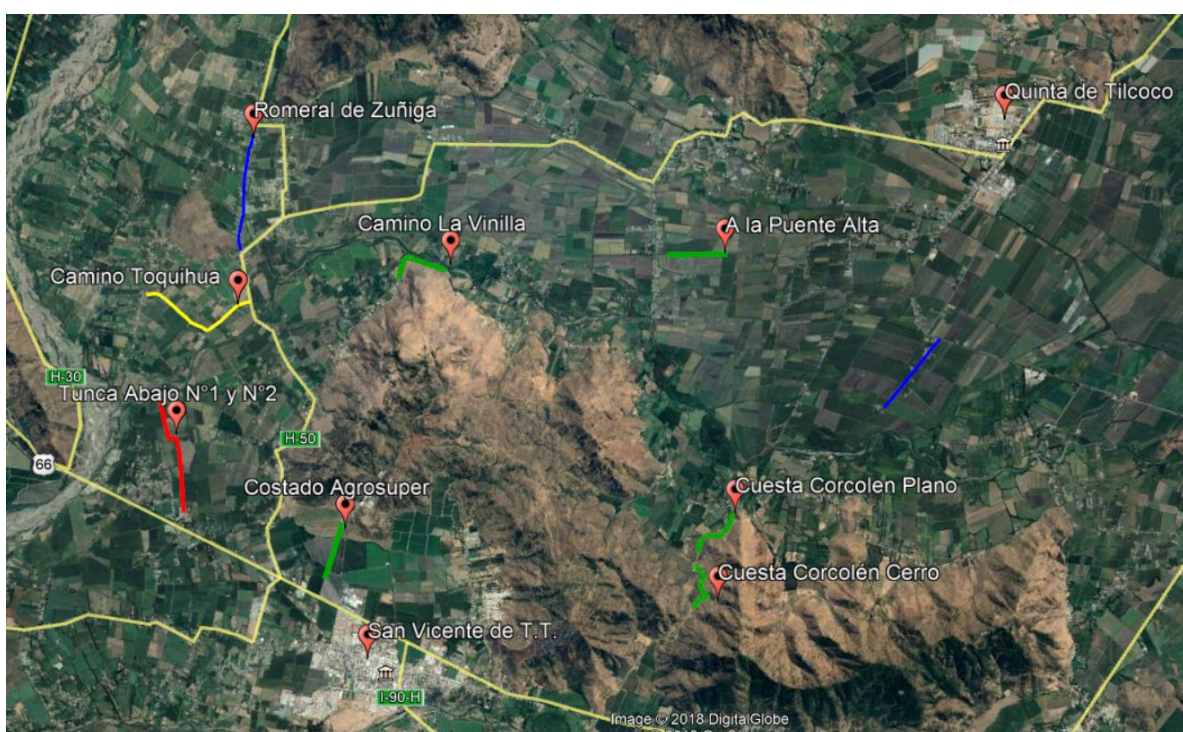


Figura 9-4: Ubicación U.M. VI Región - 3 (fuente: propia).

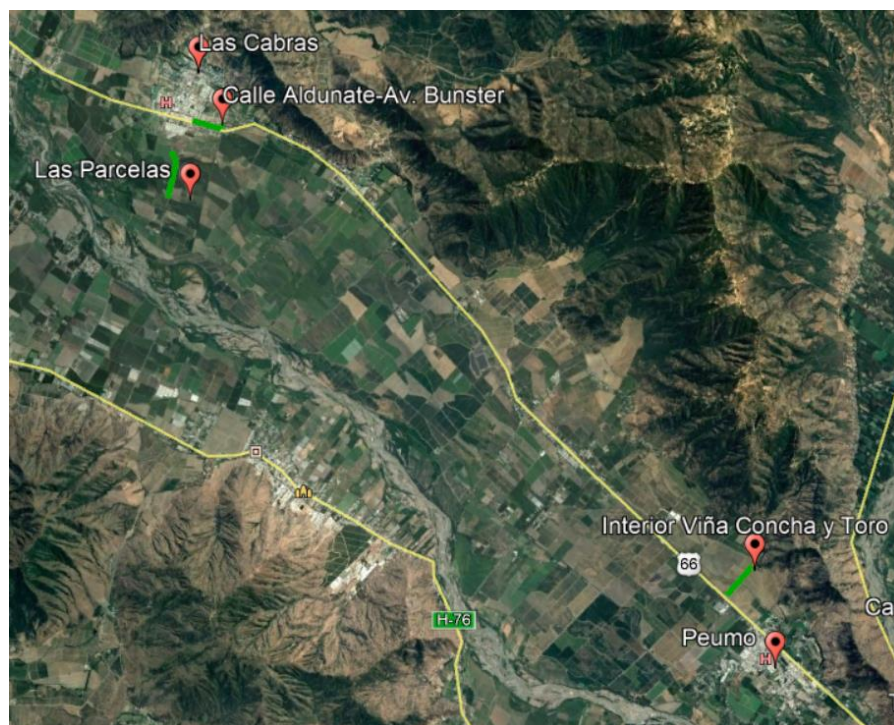


Figura 9-5: Ubicación U.M. VI Región - 4 (fuente: propia).

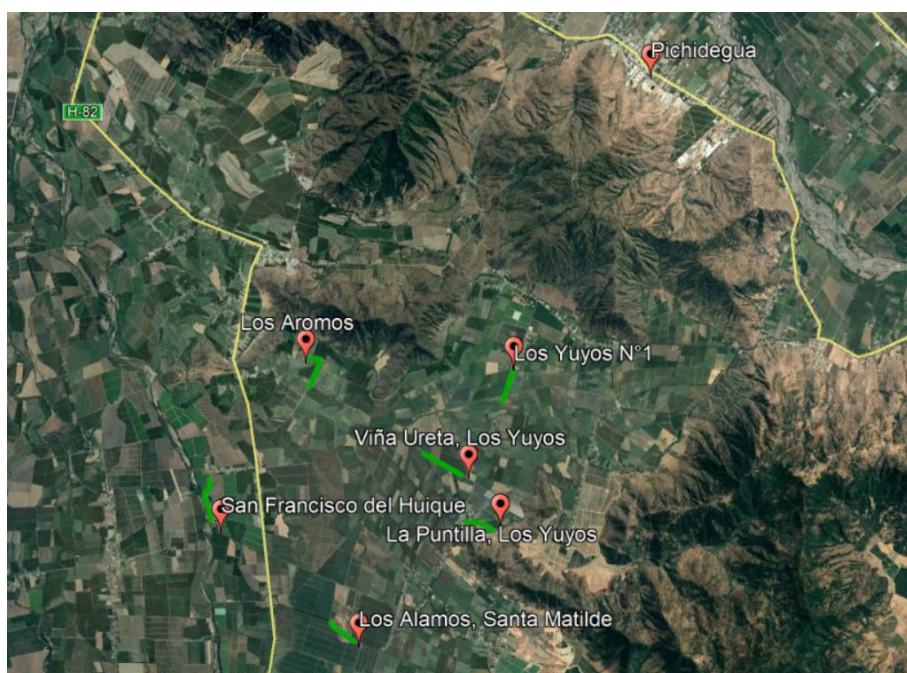


Figura 9-6: Ubicación U.M. VI Región - 5 (fuente: propia).

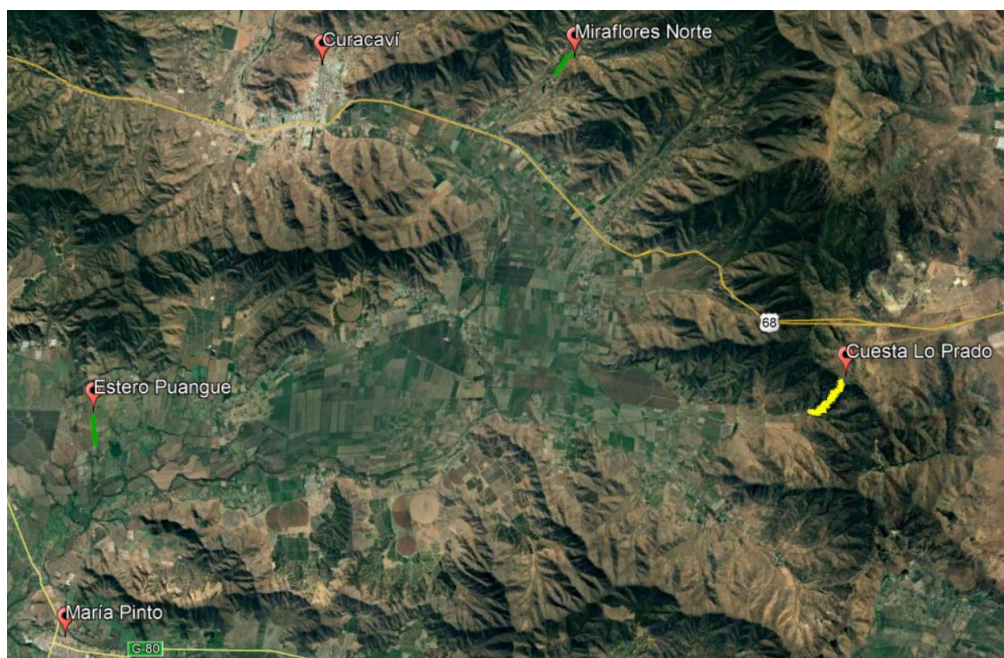


Figura 9-7: Ubicación U.M. Región Metropolitana (fuente: propia).



Figura 9-8: Ubicación U.M. V Región - 1 (fuente: propia).



Figura 9-9: Ubicación U.M. V Región - 2 (fuente: propia).

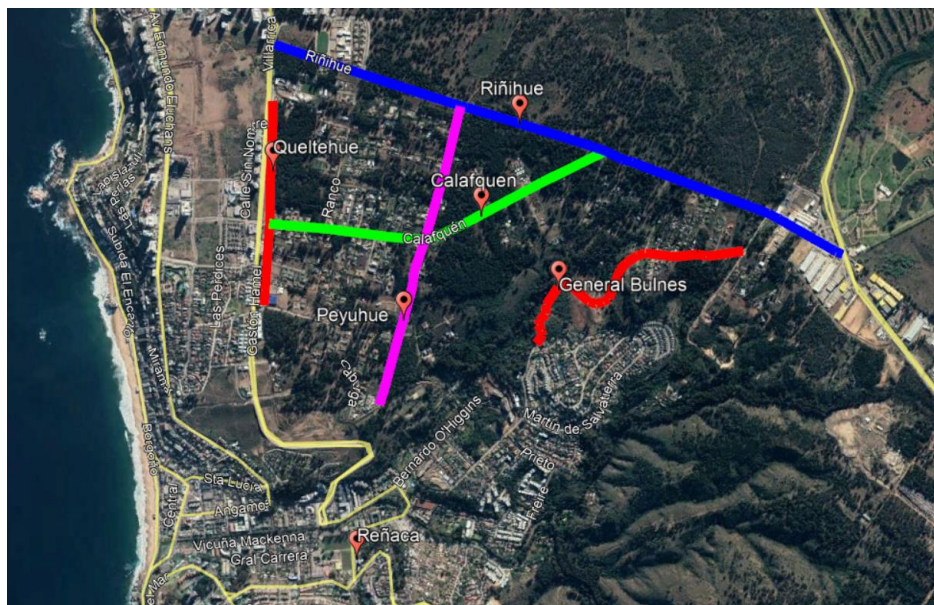


Figura 9-10: Ubicación U.M. V Región - 3 (fuente: propia).

ANEXO B “RESULTADOS RECOLECCIÓN MANUAL DE DATOS E ICNP_{MOP}”

ICNP MOP

Día	N° Caminos	Nombre Camino		Fecha Medición	Código	Rol	k.i.	k.f.	Superficie (T, R, E)	Con o Sin equipos (C o S)	Clima (S, M, H)	Drenaje (0.5 ó 1)	Calaminas (cm)	Ahuellamiento (cm)	IRI (m/km)	Camino Pedregoso (0 ó 1)	Baches (m*m*N°)	Erosión (0 ó 1)	Coef. de fórmulas	ICNPmop	ESTADO
1	1	1	Tunca Abajo N°1	03-05-2016	11-TA001				T	S	M	1,0	0,00	8,30	0,0	1,0	0,028	0,0	4,0	1,00	Muy Malo
		2	Tunca Abajo N°2	03-05-2016	11-TA002				T	S	M	1,0	0,00	3,20	0,0	1,0	0,000	0,0	5,8	5,79	Bueno
	2	3	Toquihua	03-05-2016	11-TQ001				R	S	M	0,5	2,64	3,50	0,0	1,0	0,241	0,0	2,9	2,87	Malo
	3	4	Romeral Zuñiga	03-05-2016	11-RZ001				R	S	M	0,5	0,00	1,25	0,0	1,0	0,010	0,0	7,2	7,21	Bueno
	4	5	Callejón Varela	03-05-2016	11-CA001				T	S	M	1,0	0,00	2,55	0,0	1,0	0,063	0,0	5,9	5,87	Bueno
2	5	6	La Vinilla	07-05-2016	11-VI001				T	S	M	0,5	1,56	1,75	0,0	1,0	0,054	0,0	5,1	5,13	Regular
		7	A la Puente Alta	07-05-2016	09-PA001				R	S	M	0,0	0,00	1,55	0,0	0,0	0,014	0,0	9,5	9,45	Muy Bueno
		8	Fundo Millaray	07-05-2016	09-FM001				R	S	M	0,5	0,00	2,05	0,0	1,0	0,172	0,0	6,6	6,58	Bueno
3	8	9	Corcolén Plano	14-05-2016	11-CC001				T	S	M	0,5	0,80	2,55	0,0	0,0	0,080	1,0	5,8	5,78	Bueno
		10	Corcolén Cerro	14-05-2016	11-CC002				T	S	M	0,5	0,40	1,53	0,0	1,0	0,111	0,0	6,4	6,42	Bueno
4	9	11	Termas del Flaco	21-05-2016	10-TF001				R	S	M	0,0	0,00	0,77	0,0	0,0	0,161	1,0	7,9	7,91	Bueno
		12	Espinalillo	21-05-2016	10-EP001				T	S	M	1,0	0,00	1,74	0,0	1,0	0,006	1,0	4,8	4,79	Regular
		13	Puente Negro	21-05-2016	10-PN001				R	S	M	0,5	0,95	0,78	0,0	1,0	0,023	1,0	4,8	4,76	Regular
		12	Tres Puentes Cerro	21-05-2016	10-TP001				T	S	M	0,5	2,11	1,76	0,0	1,0	0,095	1,0	2,9	2,92	Malo
			Tres Puentes Plano	21-05-2016	10-TP002				R	S	M	0,5	0,00	1,26	0,0	1,0	0,153	0,0	6,9	6,88	Bueno
5	13	16	Costado Agrosuper	27-06-2016	11-CA001				T	S	M	1,0	0,00	4,12	0,0	1,0	0,122	1,0	3,7	1,00	Muy Malo
	14	17	San Gerardo- La Laguna	27-06-2016	11-GC001				R	S	M	0,0	0,93	1,05	0,0	1,0	0,053	0,0	6,9	6,88	Bueno
6	15	18	Rincón de Morales	29-06-2016	12-RM001				R	S	M	0,5	1,23	1,79	0,0	1,0	0,304	0,0	4,9	4,94	Regular
		19	Hacienda Teno	29-06-2016	12-HT001				R	S	M	0,5	0,00	0,80	0,0	1,0	0,005	0,0	7,4	7,37	Bueno
		20	Las Parcelas, Camino Montaña	29-06-2016	12-CM001				R	S	M	0,5	1,48	1,40	0,0	1,0	0,091	0,0	5,3	5,25	Regular
		21	El Cisne	29-06-2016	12-CI001				R	S	M	0,0	0,00	0,82	0,0	0,0	0,006	0,0	9,7	9,71	Muy Bueno
		22	El Establo	29-06-2016	12-EC001				R	S	M	0,0	0,00	1,46	0,0	0,0	0,000	0,0	9,5	9,51	Muy Bueno

	20	23	Convento Viejo	29-06-2016	03-CV001				T	S	M	0,5	1,15	1,49	0,0	1,0	0,120	0,0	5,5	5,55	Bueno
	21	24	El Alamo	29-06-2016	03-EA001				R	S	M	0,0	0,73	0,82	0,0	1,0	0,018	0,0	7,3	7,27	Bueno
7	22	25	Los Yuyos N°1	30-06-2016	08-YU001				R	S	M	0,0	0,78	1,38	0,0	0,0	0,015	0,0	8,6	8,60	Muy Bueno
	23	26	Viña Ureta	30-06-2016	08-UR001				T	S	M	1,0	2,78	3,31	0,0	0,0	0,215	0,0	3,6	3,61	Malo
	24	27	La Puntilla	30-06-2016	08-PU001				T	S	M	0,5	0,00	1,66	0,0	1,0	0,004	1,0	5,6	5,61	Bueno
	25	28	Callejón El Molino	30-06-2016	08-MO001				T	S	M	1,0	4,48	6,23	0,0	0,0	0,216	0,0	0,7	1,00	Muy Malo
	26	29	Los Alamos	30-06-2016	08-AL001				R	S	M	0,5	2,92	1,92	0,0	1,0	0,355	0,0	2,8	2,82	Malo
	27	30	San Francisco Huique	30-06-2016	06-HU001				T	S	M	0,5	0,00	1,11	0,0	0,0	0,090	0,0	8,6	8,64	Muy Bueno
	28	31	Los Aromos	30-06-2016	11-AR001				R	S	M	0,5	1,90	1,90	0,0	1,0	0,132	0,0	4,5	4,51	Regular
8	29	32	Cerro El Tambo	01-07-2016	11-TA001				T	S	M	0,5	0,00	1,93	0,0	1,0	0,076	1,0	5,4	5,36	Regular
	30	33	La Ensenada	01-07-2016	05-EN001				R	S	M	0,5	0,50	1,09	0,0	1,0	0,043	0,0	6,6	6,61	Bueno
	31	34	La Capilla	01-07-2016	05-CP001				R	S	M	0,0	0,30	1,46	0,0	0,0	0,014	0,0	9,1	9,13	Muy Bueno
	32	35	Las Parcelas	01-07-2016	04-PL001				R	S	M	0,5	1,36	1,44	0,0	1,0	0,072	0,0	5,4	5,43	Regular
	33	36	Av. Bunster	01-07-2016	04-AB001				R	S	M	0,5	0,00	1,56	0,0	1,0	0,171	0,0	6,7	6,74	Bueno
	34	37	Viña Concha y Toro	01-07-2016	07-CT001				T	S	M	0,5	1,35	1,38	0,0	1,0	0,129	0,0	5,3	5,33	Regular
9	35	38	Miraflores Norte	09-07-2016	01-MI001				T	S	M	0,5	1,53	1,55	0,0	1,0	0,063	0,0	5,2	5,21	Regular
	36	39	Cuesta Lo Prado	09-07-2016	01-LP001				T	S	M	0,5	3,25	2,40	0,0	1,0	0,046	1,0	1,5	1,00	Muy Malo
10	37	40	Estero Puangue	10-07-2016	02-PM001				T	S	M	1,0	2,41	3,13	0,0	1,0	0,601	1,0	0,2	1,00	Muy Malo
		41	Estero Puangue 2 U.M.1	30-09-2016	02-PM001				T	S	M	0,0	1,5	1,58	0,0	1,0	0,051	0,0	6,1	6,05	Bueno
		42	Estero Puangue 2 U.M.2	30-09-2016	02-PM001				T	S	M	0,0	0,78	1,54	0,0	1,0	0,067	0,0	6,9	6,87	Bueno
		43	Estero Puangue 2 U.M.3	30-09-2016	02-PM001				T	S	M	0,0	0,73	1,64	0,0	1,0	0,019	0,0	7,0	6,99	Bueno
		44	Estero Puangue 2 U.M.4	30-09-2016	02-PM001				T	S	M	0,0	0,63	1,50	0,0	1,0	0,012	0,0	7,2	7,17	Bueno
		45	Estero Puangue 2 U.M.5	30-09-2016	02-PM001				T	S	M	0,0	0,95	1,29	0,0	1,0	0,056	0,0	6,8	6,78	Bueno
		46	Estero Puangue 2 U.M.6	30-09-2016	02-PM001				T	S	M	0,0	1,30	1,56	0,0	1,0	0,041	0,0	6,3	6,31	Bueno
		47	Estero Puangue 2 U.M.7	30-09-2016	02-PM001				T	S	M	0,0	0,40	1,55	0,0	1,0	0,043	1,0	5,9	5,89	Bueno
48	Estero Puangue 2 U.M.8	30-09-2016	02-PM001				T	S	M	0,0	0,40	1,13	0,0	1,0	0,017	0,0	7,6	7,56	Bueno		
11	38	49	F-190 Puchuncaví U.M.1	19-10-2017		F-190			R	S	M	0,0	2,30	4,62	0,0	1,0	0,368	0,0	3,4	1,00	Muy Malo
		50	F-190 Puchuncaví U.M.2	19-10-2017		F-190			R	S	M	0,5	2,38	7,82	0,0	1,0	0,392	0,0	1,4	1,00	Muy Malo
		51	F-190 Puchuncaví U.M.3	19-10-2017		F-190			R	S	M	0,0	2,00	2,27	0,0	1,0	0,019	0,0	5,3	5,31	Regular

		52	F-190 Puchuncaví U.M.4	19-10-2017		F-190			R	S	M	0,0	1,84	2,22	0,0	1,0	0,010	0,0	5,5	5,54	Bueno
		53	F-190 Puchuncaví U.M.5	19-10-2017		F-190			R	S	M	0,0	2,26	2,08	0,0	1,0	0,043	1,0	3,5	3,55	Malo
12	39	54	Estero Marga Marga 1 U.M.1	03-11-2017					T	S	M	0,0	1,71	2,82	0,0	1,0	0,477	0,0	4,4	4,44	Malo
		55	Estero Marga Marga 1 U.M.2	03-11-2017					T	S	M	0,0	2,15	2,20	0,0	1,0	0,056	0,0	5,1	5,08	Regular
13	40	56	Calafquen, Los Pinos	03-03-2018					T	S	M	0,5	1,8	4,5	0,0	1,0	0,000	0,0	4,1	1,00	Muy Malo
	41	57	Bulnes, Los Pinos	03-03-2018					T	S	M	0,5	1,875	5,25	0,0	1,0	0,024	1,0	2,2	1,00	Muy Malo
	42	58	Rifihue, Los Pinos	03-03-2018					T	S	M	0,5	2,36	4,2	0,0	1,0	0,26	1,0	1,4	1,00	Muy Malo
	43	59	Peyuhue, Los Pinos	03-03-2018					T	S	M	0,5	2,25	3,32	0,0	1,0	0,06	0,0	3,8	3,80	Malo
	44	60	Queltehue, Los Pinos	03-03-2018					T	S	M	1,0	1,83	3,25	0,0	1,0	0,024	0,0	3,6	3,59	Malo

ANEXO C “GUÍA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DETERIOROS CONTINUOS”

Tabla 9-1: Valores a registrar en Calamina_{CAM} (fuente: propia).

CALAMINA _{CAM}				
Clasificación	“No se Detecta”	Leve	Media	Alta
h [cm]	0	1	2	5

La clasificación “No se Detecta”, tal como su nombre lo indica es que no se visualiza presencia de calaminas en la imagen tomada por la cámara. En cambio, para la clasificación “Leve” se toma en cuenta desde la presencia de pequeñas depresiones frecuentes (3 o más) en el terreno que tienen una misma trayectoria longitudinal al camino, las que se pueden identificar como manchas consecutivas; hasta depresiones en que se diferencian claramente las ondas transversales que definen a una calamina. El estado “Medio” consiste en estas calaminas identificadas claramente hasta llegar a ondulaciones que a simple vista hacen entender que la conducción del vehículo se ve afectada, teniéndose que reducir la velocidad del recorrido. Finalmente, el estado “Alta” está asociada a las calaminas anteriormente descritas en que el tránsito vehicular a velocidades superiores de 50 km/h llega a ser peligroso (pérdida de estabilidad en la conducción).

Tabla 9-2: Valores a registrar en Ahuellamiento_{CAM} (fuente: propia)

AHUELLAMIENTO _{CAM}				
Clasificación	“No se Detecta”	Leve	Medio	Alto
h [cm]	0	1	3	6

La clasificación “No se Detecta”, tal como su nombre lo indica es que no se visualiza presencia de ahuellamiento en la imagen tomada por la cámara, en otras palabras, no se ve marcada la huella de los neumáticos en la superficie del camino. Para la clasificación “Leve” se toma en cuenta desde la marca de la huella de los neumáticos en la superficie hasta llegar a ver deformada la superficie de la calzada en la forma del neumático. El estado “Medio” consiste en ahuellamiento que ya se ven claramente en la superficie hasta llegar a deformaciones longitudinales de la calzada que ya afectan hasta el mismísimo bombeo (pendiente transversal) del camino. Finalmente, el estado “Alto” se asociada a ahuellamientos en que se ve material que desborda de los lados laterales en donde circula la huella de los neumáticos y en donde la conducción sobre la calzada se vuelve entorpecida ya que la pista “restringe” en cierta medida el libre movimiento transversal del vehículo sobre el camino.

[ANEXO C CALAMINA Y ANEXO C AHUELLAMIENTO SE ADJUNTAN COMO ARCHIVOS EXTERNOS DADO SU TAMAÑO]

ANEXO D “MANUAL DE USO PARA EL CÁLCULO DEL ICNP_{CAM}”.

Ahora ya establecido los criterios de asignación para los distintos deterioros y factores en que depende el ICNP, se presenta un “Paso a Paso” para la obtención del ICNP_{CAM}.

- *Paso N°1:*

Grabación de la Zona de Muestra del camino a estudiar utilizando el sistema de cámaras.

- *Paso N°2:*

Reproducir del kilómetro de grabación mediante el Software *BlackVue*, prestando mayor atención a los primeros 50 metros (Unidad de Muestra). Esta primera reproducción se realiza para que el usuario se forme una primera idea del estado global en que se encuentra la calzada a medir.

- *Paso N°3:*

Reproducir nuevamente la grabación, pero a una velocidad de entre x0.3-0.6 para los 50 metros de pista (ajustar en el reproductor). Al disminuir la velocidad de reproducción se puede prestar más detalle sobre los deterioros evidenciados en la superficie. Luego de haber visto los 50 metros, una vez como mínimo, a la velocidad estipulada anteriormente, se procede a realizar capturas de imágenes de la grabación de manera continua tomando un punto fijo del video como referencia. Estos pantallazos deben cubrir en imágenes todo el recorrido de la Unidad de Muestra en lo ideal, permitiéndose obviar partes del recorrido en donde lo visto en pantalla no varía en demasía entre un cuadro de imagen y otro. A medida que se realizan estos pantallazos deben ser copiados a la “Hoja de Trabajo ICNP_{CAM}” (Figura 9-11) en la cual se trabajara y se obtendrán los valores finales de ICNP_{CAM}.

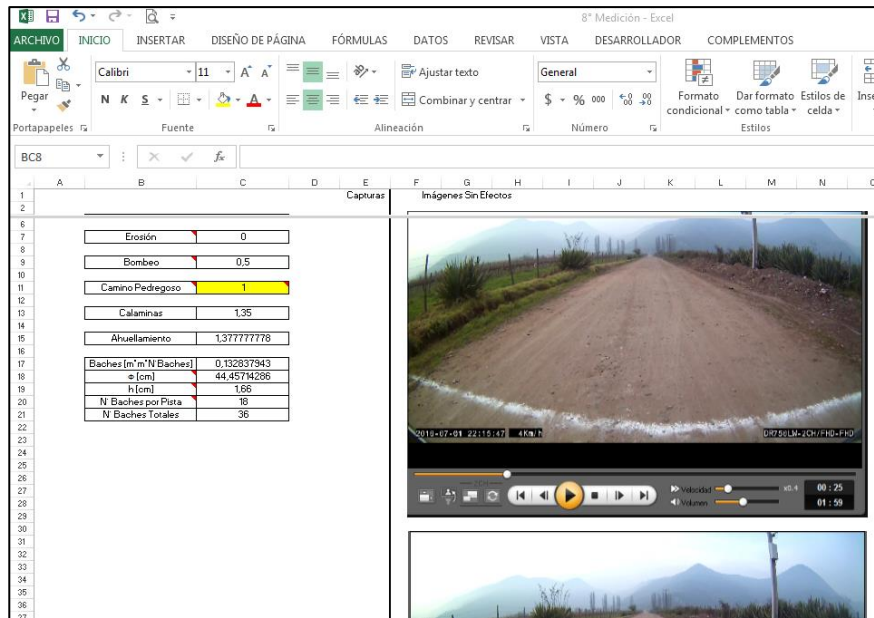


Figura 9-11: “Hoja de Trabajo ICNP_{CAM}” (fuente: propia).

- Paso N°4:

Luego de haber capturado las imágenes que describen el estado de la U.M., se procede a mejorar la calidad de éstas con el propósito de facilitar la identificación de los deterioros. Para aquello se utiliza el archivo de Power Point “Pantallazos-ICNP_{CAM}” (Figura 9-12) en donde se mejora el brillo y el contraste de la imagen.

- Paso N°5

Ya mejorada la calidad de las imágenes, en el mismo archivo de trabajo “Pantallazos-ICNP_{CAM}” se comienza a enmarcar los deterioros continuos (baches, ahuellamiento y calaminas) como se aprecia en la Figura 9-12 y se describe en la Tabla 9-3.



Figura 9-12: Hoja de Trabajo “Pantallazos-ICNP_{CAM}” (fuente: propia).

Tabla 9-3: Simbología demarcación Deterioros Continuos_{CAM} (fuente: propia).

Símbolo	Deterioro Continuo
	Baches
	Ahuellamiento
	Calaminas

En tanto para los deterioros clasificados como discretos, en el caso de la Superficie Pedregosa se saca un pantallazo adicional en la primera zona en que aparezca dentro de la U.M. y se enmarca en color café (Figura 9-13); para el tipo de Bombeo, se saca un pantallazo que sea representativo de lo visto en la U.M. Y finalmente, para el caso de la Erosión se busca su aparición a lo largo del kilómetro grabado de camino (zona de muestra), sacando un pantallazo en el caso de identificar el surco ocasionado por el paso del agua (Figura 9-14).

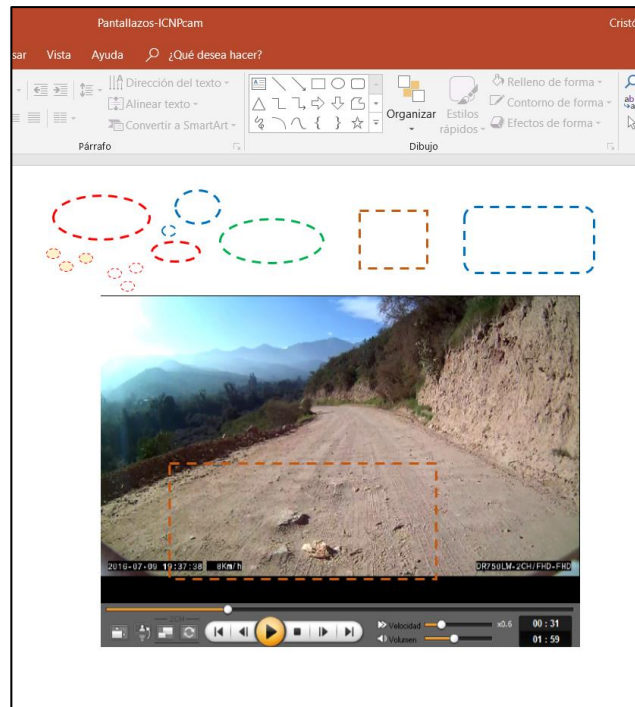


Figura 9-13: Demarcación Sup. Pedregosa (fuente: propia).

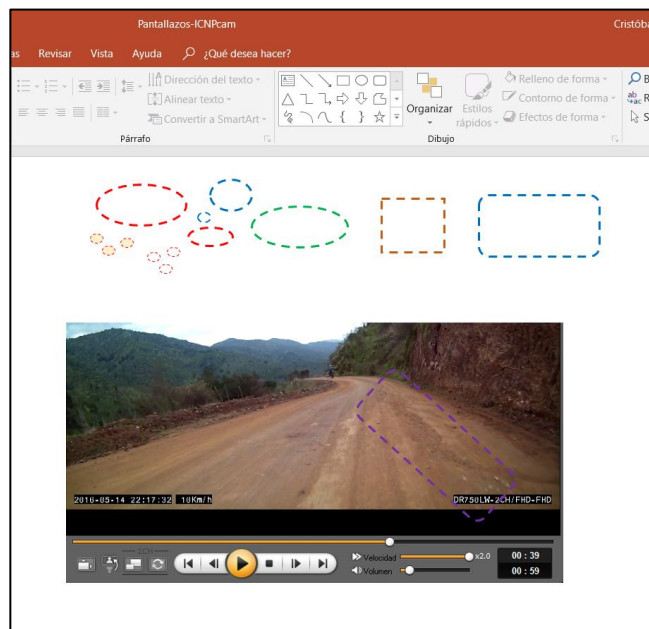


Figura 9-14: Demarcación Erosión (fuente: propia).

- Paso N°6

Ya identificado y demarcados todos los deterioros presentes en el camino estudiado, se procede a asignar el valor de los deterioros continuos evidenciados en cada pantallazo en la “Hoja de Trabajo ICNP_{CAM}” como se muestra en la Figura 9-15.

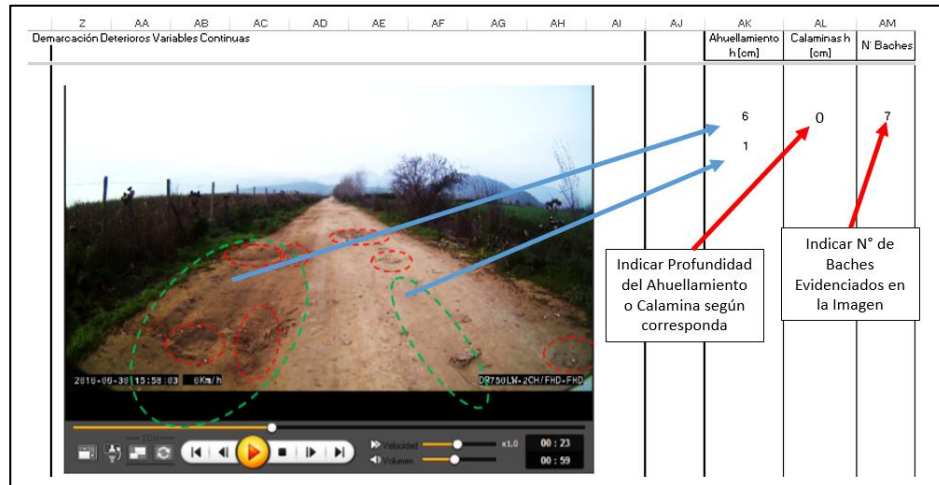


Figura 9-15: Modo de ingreso valores asignados Deterioros Continuos_{CAM} “Hoja de Trabajo ICNP_{CAM}” (fuente: propia).

Ya asignado los valores de los deterioros continuos, se procede a asignar los valores de los deterioros Discretos (bombeo, superficie pedregosa y erosión) como se muestra en la Figura 9-16.



Figura 9-16: Modo de ingreso valores asignados Deterioros Discretos_{CAM} “Hoja de Trabajo ICNP_{CAM}” (fuente: propia).

- Paso N°7:

Ya obtenidos todos los valores de las variables que considera el $ICNP_{CAM}$, se calcula el valor de este indicador llenando la Hoja de Trabajo “Cálculo $ICNP_{CAM}$ ” (Figura 9-17) que a su vez entrega la clasificación del estado superficial de la vía según el valor de este último. Como se mencionó anteriormente, para el cálculo del $ICNP_{CAM}$ se utilizará la misma expresión matemática utilizada por el $ICNP_{MOP}$ (IV-3).

$$ICNP_{CAM} = 10 - 1,15 * (1,01 * CalaminaCAM + 1,96 * BachesCAM + 1,28 * ErosiónCAM + 0,29 * AhuellamientoCAM + 1,36 * Camino PedregosoCAM + 1,37 * BombeoCAM) \quad (IV-3)$$

ICNP CAM																		
Nombre Camino	Fecha Medición	Código	Rol	k.i.	k.f.	Superficie (T, R, E)	Con o Sin equipos (C o S)	Clima (S, M, H)	Drenaje (0 0.5 ó 1)	Calaminas (cm)	Ahuellamiento (cm)	IRI (m/km)	Camino Pedregoso (0 ó 1)	Baches (m²m³N³)	Erosión (0 ó 1)	Coef. de fórmulas	ICNP	ESTADO
Tunca Abajo N°1	03-05-2016	11-TA001				T	S	M	1	0,00	4,00	0,0	1,0	0,005	0,0	5,5	1,0	Muy Malo
Tunca Abajo N°2	03-05-2016	11-TA002				T	S	M	0,5	0,00	1,88	0,0	1	0,025	0	7,0	7,0	Bueno
Toquihua	03-05-2016	11-TQ001				R	S	M	0,5	0,00	1,92	0	1	0,535	0	5,8	5,8	Bueno
Romeral Zúñiga	03-05-2016	11-RZ001				R	S	M	0,5	0,00	1,60	0	1	0,015	0	7,1	7,1	Bueno
Caltejón Varela	03-05-2016	11-CA001				T	S	M	1	0,00	2,63	0	1	0,065	0	5,8	5,8	Bueno
La Vinilla	07-05-2016	11-VI001				T	S	M	0,5	1,57	1,69	0	1	0,060	0	5,1	5,1	Regular
A la Puente Alta	07-05-2016	09-PA001				R	S	M	0	0,00	1,17	0	0	0,025	0	9,6	9,6	Muy Bueno
Fundo Millaray	07-05-2016	09-FM001				R	S	M	0,5	0,00	1,69	0	1	0,925	0	5,0	5,0	Regular
Corcolén Plano	14-05-2016	11-CC001				T	S	M	0,5	0,00	1,42	0	1	0,270	1	5,1	5,1	Regular
Corcolén Cerro	14-05-2016	11-CC002				T	S	M	0,5	2,00	1,30	0	1	0,140	1	3,1	3,1	Malo
Termas del Placo	21-05-2016	10-TP001				R	S	M	0	0,00	1,28	0	0	0,210	0	9,1	9,1	Muy Bueno
Espinalillo	21-05-2016	10-EP001				T	S	M	0,5	0,00	2,00	0	1	0,010	1	5,5	5,5	Regular
Puente Negro	21-05-2016	10-PN001				R	S	M	0,5	1,00	1,42	0	1	0,315	1	3,8	3,8	Malo
Tres Puentes Cerro	21-05-2016	10-TP001				T	S	M	0,5	0,00	1,43	0	1	0,510	1	4,6	4,6	Regular
Tres Puentes Plano	21-05-2016	10-TP002				R	S	M	0	0,00	1,15	0	1	0,360	0	7,2	7,2	Bueno
Costado Agrosuper	27-06-2016	11-CA001				T	S	M	1	0,00	3,19	0	1	0,265	1	3,7	3,7	Malo

Figura 9-17: Hoja de Trabajo “Cálculo $ICNP_{CAM}$ ” (fuente: propia).

ANEXO E “Hoja de Trabajo ICNP”

FECHA															
01-07-2016															
Camino															
Cerro El Tambo															
Superficie (T, R, E)															
T															
Ancho Pista [m]															
3.55															
Deterioros															
			<table border="1"> <tr><td>Φ [cm]</td></tr> <tr><td>24.1842105</td></tr> <tr><td>h [cm]</td></tr> <tr><td>1.66052632</td></tr> </table>	Φ [cm]	24.1842105	h [cm]	1.66052632			<table border="1"> <tr><td>λ [cm]</td></tr> </table>	λ [cm]				
Φ [cm]															
24.1842105															
h [cm]															
1.66052632															
λ [cm]															
U.M.	Baches [m*m*N°Baches]			Calaminas		Ahuellamiento		Erosión	Bombeo	Camino Pedregoso					
1	Φ [cm]	h [cm]	0.07630118	h [cm]	0	h [cm]	1.93	1	0.5	1					
	20	1.3	Recuento	0		1.5	Recuento								
	25	0.7	38			0.6	20								
	16	0.9	Por Pista			3									
	10	1	19			1.2									
	8	0.9				2.2									
	22	1.3				1.8									
	11	0.7				3.2									
	19	1.2				2									
	40	1				1.8									
	30	1.8				2.6									
	15	1.6				1.9									
	29	1.5				1.6									
	18	1.4				1.8									
	26	1				2.5									
	40	1.7				2.2									
	36	2.6				2.8									
	22	1.7				1.2									
	31	1.8				2.3									
	13	2.8				2									
	25	1.8				0.4									
	25	2													
	12	1.8													

ANEXO F “RESULTADOS DE DETERIOROS_{CAM} E ICNP_{CAM} UTILIZANDO METODOLOGÍA DEL SISTEMA DE CÁMARAS”

F.1. RESULTADOS “DETERIOROS CONTINUOS_{CAM}”

CALAMINAS_{CAM}

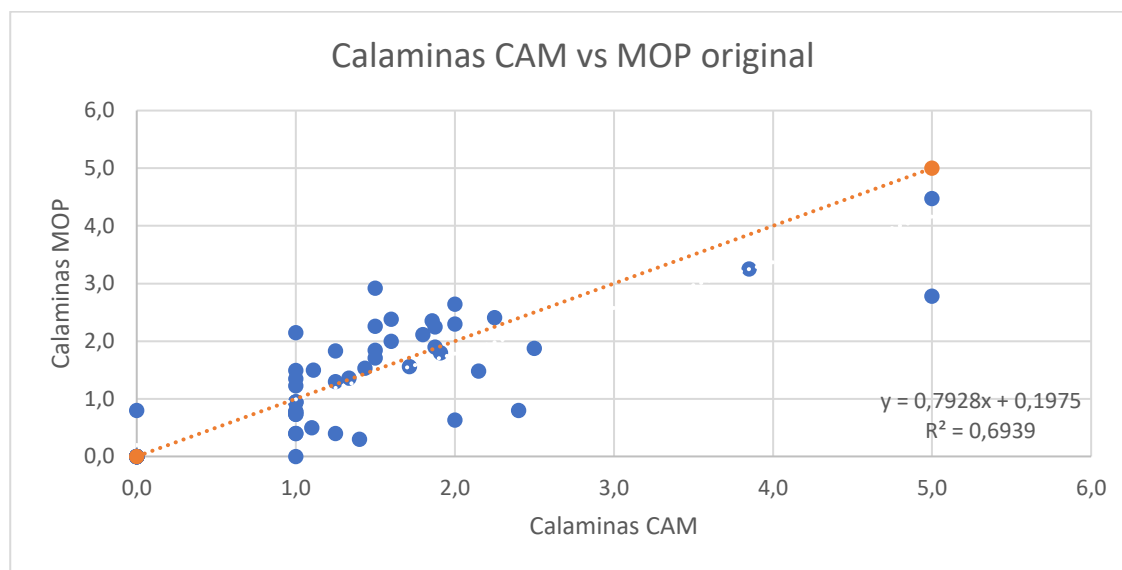


Figura 9-18: Gráfico Calaminas_{CAM} v/s Calaminas_{MOP} original (fuente: propia).

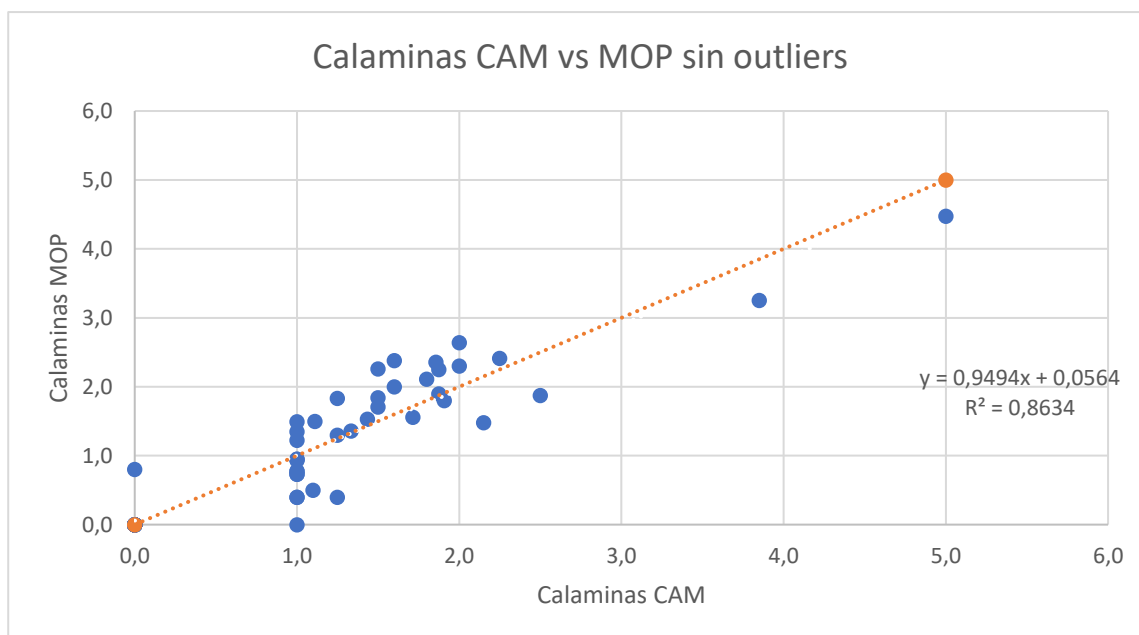


Figura 9-19: Gráfico Calamina_{CAM} v/s Calamina_{MOP} sin outliers (fuente: propia).

“AHUELLAMIENTOCAM”

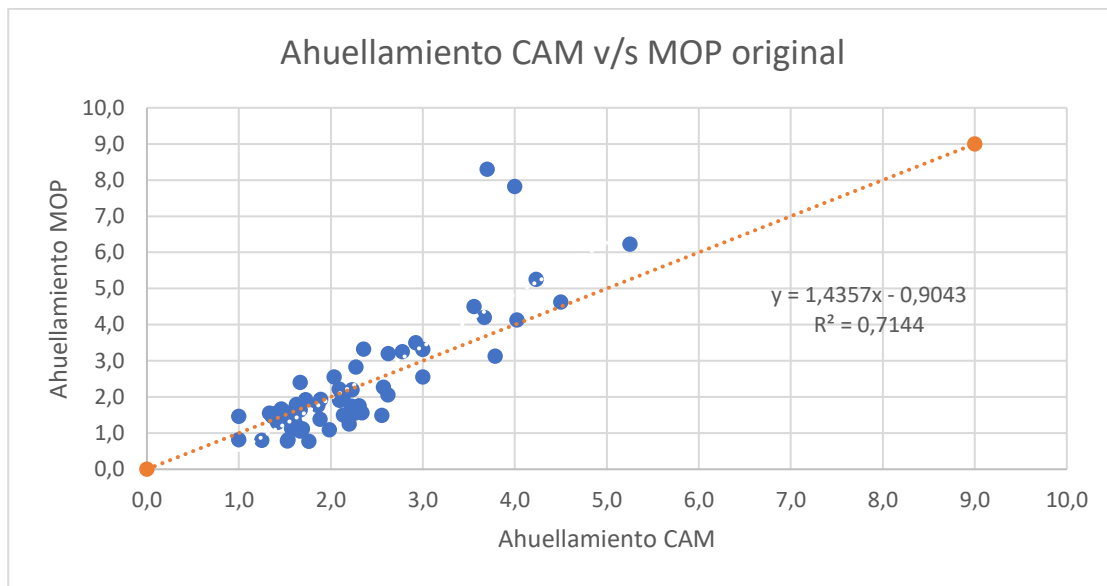


Figura 9-20: Gráfico Ahuellamiento_{CAM} v/s Ahuellamiento_{MOP} original (fuente: propia).

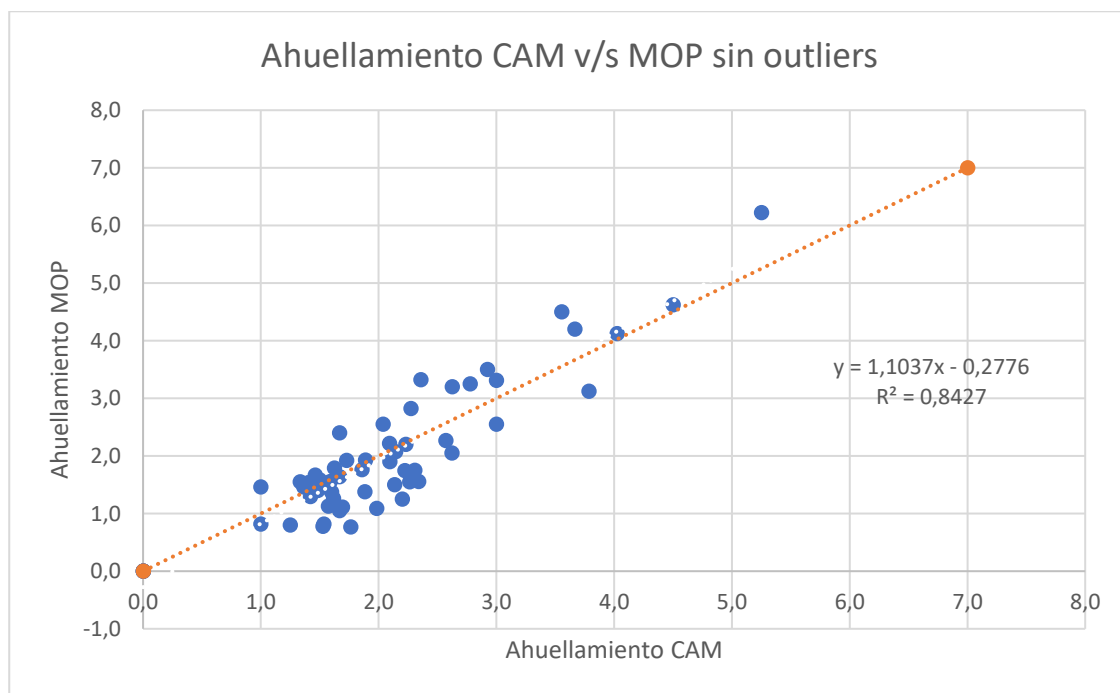


Figura 9-21: Gráfico Ahuellamiento_{CAM} v/s Ahuellamiento_{MOP} sin outliers (fuente: propia).

BACHES_{MOP} V/S N°"BACHESCAM"

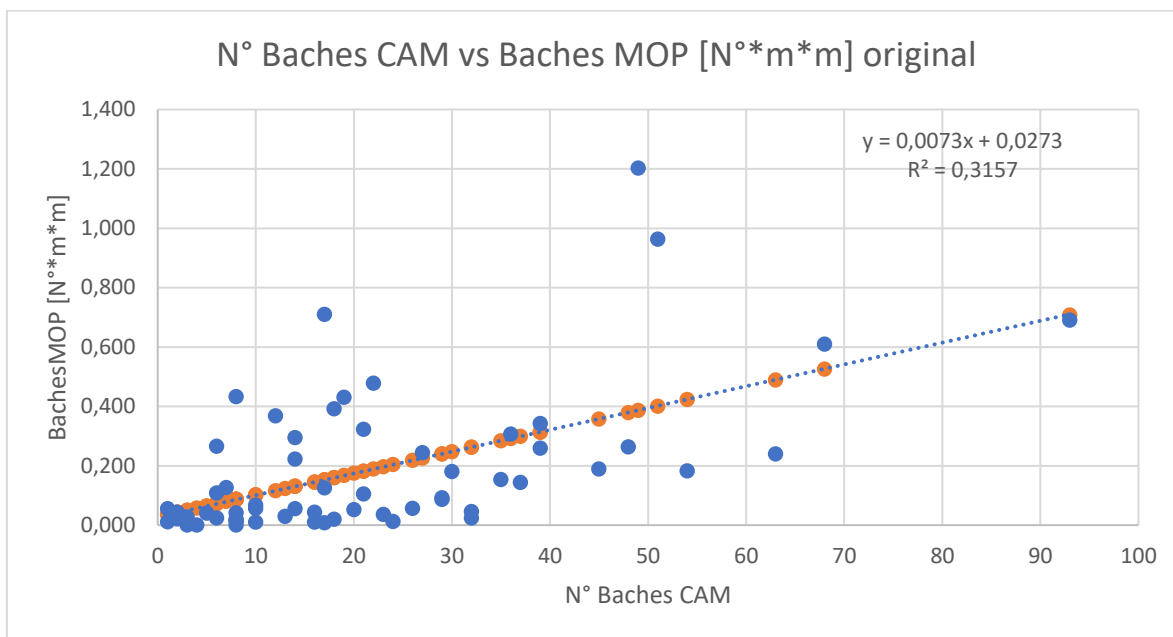


Figura 9-22: Gráfico Baches_{MOP} v/s N°Baches_{CAM} original (fuente: propia).

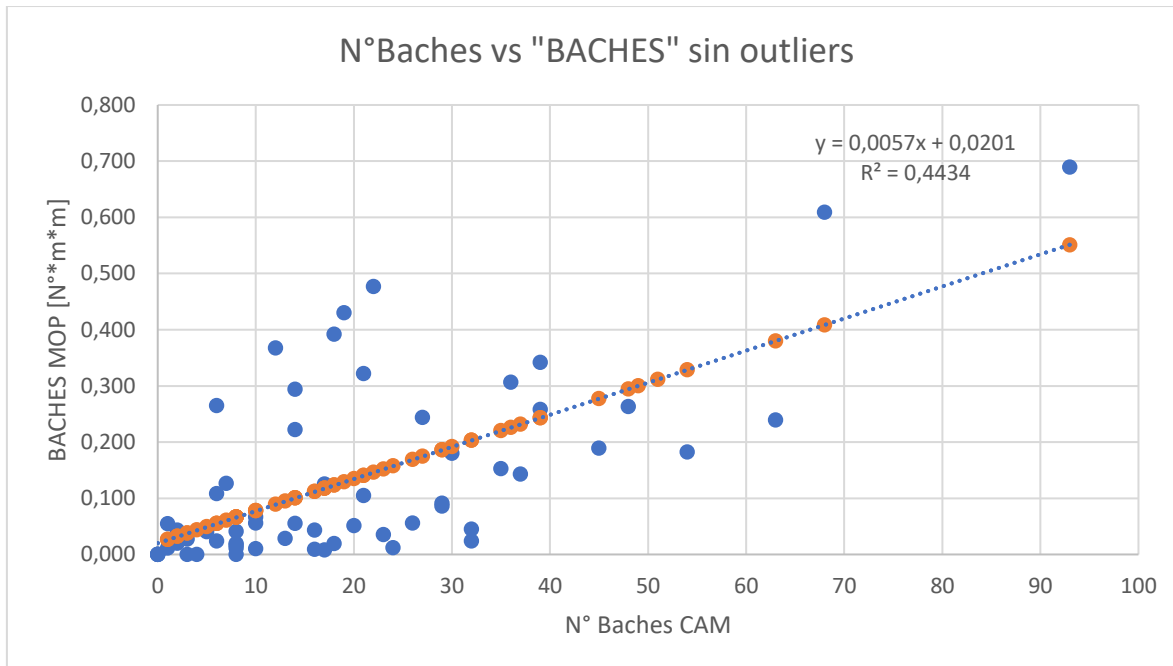


Figura 9-23: Gráfico BachesMOP v/s N°BachesCAM sin outliers (fuente: propia).

F.2. RESULTADOS ICNP_{CAM}

ICNP CAM

Día	Nombre Camino		Fecha Medición	Superficie (T, R, E)	Con o Sin equipos (C o S)	Clima (S, M, H)	Drenaje (0.5 ó 1)	N° Det. Calaminas Extremos	Calaminas (cm)	N° Det. Ahuellamientos Extremos	Ahuellamiento (cm)	IRI (m/km)	Camino Pedregoso (0 ó 1)	N° Baches	Baches (m²m²N°)	Erosión (0 ó 1)	Coef. de fórmulas	ICNPcam	ESTADO
1	1	Tunca Abajo N°1	03-05-2016	T	S	M	1,0	0	0,00	6	3,70	0,0	1,0	1	0,026	0,0	5,6	5,57	Bueno
	2	Tunca Abajo N°2	03-05-2016	T	S	M	1,0	0	0,00	1	2,63	0,0	1,0	3	0,037	0,0	5,9	5,90	Bueno
	3	Toquihua	03-05-2016	R	S	M	0,5	1	2,00	1	2,92	0,0	1,0	51	0,311	0,0	3,6	3,65	Malo
	4	Romeral Zuñiga	03-05-2016	R	S	M	0,5	0	0,00	0	2,20	0,0	1,0	2	0,032	0,0	6,8	6,84	Bueno
	5	Callejón Varela	03-05-2016	T	S	M	1,0	0	0,00	4	3,00	0,0	1,0	7	0,060	0,0	5,7	5,72	Bueno
2	6	La Vinilla	07-05-2016	T	S	M	0,5	0	1,71	0	2,31	0,0	1,0	6	0,054	0,0	4,8	4,77	Regular
	7	A la Puente Alta	07-05-2016	R	S	M	0,0	0	0,00	0	1,33	0,0	0,0	3	0,037	0,0	9,5	9,47	Muy Bueno
	8	Fundo Millaray	07-05-2016	R	S	M	0,5	0	0,00	5	2,62	0,0	1,0	93	0,550	0,0	5,5	5,53	Bueno
3	9	Corcolén Plano	14-05-2016	T	S	M	0,5	0	2,40	0	2,04	0,0	0,0	14	0,100	1,0	4,0	4,05	Malo
	10	Corcolén Cerro	14-05-2016	T	S	M	0,5	0	1,00	0	1,40	0,0	1,0	14	0,100	0,0	5,8	5,79	Bueno
4	11	Termas del Flaco	21-05-2016	R	S	M	0,0	0	0,00	0	1,76	0,0	0,0	21	0,140	1,0	7,6	7,63	Bueno
	12	Espinalillo	21-05-2016	T	S	M	1,0	0	0,00	1	2,22	0,0	1,0	1	0,026	1,0	4,6	4,59	Regular
	13	Puente Negro	21-05-2016	R	S	M	0,5	0	1,00	0	1,53	0,0	1,0	32	0,203	1,0	4,0	4,05	Malo
	14	Tres Puentes Cerro	21-05-2016	T	S	M	0,5	0	1,80	0	1,86	0,0	1,0	45	0,277	1,0	2,8	2,84	Malo
	15	Tres Puentes Plano	21-05-2016	R	S	M	0,5	0	0,00	0	1,62	0,0	1,0	36	0,225	0,0	6,6	6,60	Bueno
5	16	Costado Agrosuper	27-06-2016	T	S	M	1,0	0	0,00	13	4,02	0,0	1,0	27	0,174	1,0	3,7	1,00	Muy Malo
	17	San Gerardo- La Laguna	27-06-2016	R	S	M	0,0	0	1,00	0	1,67	0,0	1,0	21	0,140	0,0	6,4	6,40	Bueno
6	18	Rincón de Morales	29-06-2016	R	S	M	0,5	0	1,00	0	1,63	0,0	1,0	68	0,408	0,0	5,0	5,03	Regular
	19	Hacienda Teno	29-06-2016	R	S	M	0,5	0	0,00	0	1,25	0,0	1,0	16	0,111	0,0	7,0	6,98	Bueno
	20	Las Parcelas, Camino Montaña	29-06-2016	R	S	M	0,5	4	2,15	0	1,48	0,0	1,0	54	0,328	0,0	3,9	3,92	Malo
	21	El Cisne	29-06-2016	R	S	M	0,0	0	0,00	0	1,00	0,0	0,0	8	0,066	0,0	9,5	9,52	Muy Bueno
	22	El Establo	29-06-2016	R	S	M	0,0	0	0,00	0	1,00	0,0	0,0	4	0,043	0,0	9,6	9,57	Muy Bueno

	23	Convento Viejo	29-06-2016	T	S	M	0,5	0	1,00	5	2,55	0,0	1,0	63	0,379	0,0	4,8	4,78	Regular
	24	El Alamo	29-06-2016	R	S	M	0,0	0	1,00	0	1,53	0,0	1,0	23	0,151	0,0	6,4	6,42	Bueno
7	25	Los Yuyos N°1	30-06-2016	R	S	M	0,0	0	1,00	0	1,60	0,0	0,0	5	0,049	0,0	8,2	8,20	Muy Bueno
	26	Viña Ureta	30-06-2016	T	S	M	1,0	1	5,00	4	3,00	0,0	0,0	19	0,128	0,0	1,3	1,00	Muy Malo
	27	La Puntilla	30-06-2016	T	S	M	0,5	0	0,00	0	1,46	0,0	1,0	17	0,117	1,0	5,4	5,43	Regular
	28	Callejón El Molino	30-06-2016	T	S	M	1,0	3	5,00	27	5,25	0,0	0,0	8	0,066	0,0	0,7	1,00	Muy Malo
	29	Los Alamos	30-06-2016	R	S	M	0,5	0	1,50	0	1,73	0,0	1,0	17	0,117	0,0	5,1	5,07	Regular
	30	San Francisco Huique	30-06-2016	T	S	M	0,5	0	0,00	0	1,69	0,0	0,0	30	0,191	0,0	8,2	8,22	Muy Bueno
	31	Los Aromos	30-06-2016	R	S	M	0,5	0	1,88	1	2,09	0,0	1,0	48	0,294	0,0	4,1	4,11	Malo
	32	Cerro El Tambo	01-07-2016	T	S	M	0,5	0	1,00	0	1,89	0,0	1,0	35	0,220	1,0	3,9	3,89	Malo
8	33	La Ensenada	01-07-2016	R	S	M	0,5	0	1,10	0	1,98	0,0	1,0	29	0,185	0,0	5,3	5,29	Regular
	34	La Capilla	01-07-2016	R	S	M	0,0	0	1,40	0	1,36	0,0	0,0	13	0,094	0,0	7,7	7,71	Bueno
	35	Las Parcelas	01-07-2016	R	S	M	0,5	0	1,33	0	1,50	0,0	1,0	37	0,231	0,0	5,1	5,08	Regular
	36	Av. Bunster	01-07-2016	R	S	M	0,5	0	0,00	1	2,34	0,0	1,0	39	0,242	0,0	6,3	6,32	Bueno
	37	Viña Concha y Toro	01-07-2016	T	S	M	0,5	0	1,00	0	1,88	0,0	1,0	39	0,242	0,0	5,3	5,31	Regular
9	38	Miraflores Norte	09-07-2016	T	S	M	0,5	0	1,43	2	2,26	0,0	1,0	17	0,117	0,0	5,0	4,96	Regular
	39	Cuesta Lo Prado	09-07-2016	T	S	M	0,5	13	3,85	0	1,67	0,0	1,0	29	0,185	1,0	0,7	1,00	Muy Malo
	40	Estero Puangue	10-07-2016	T	S	M	1,0	1	2,25	10	3,79	0,0	1,0	49	0,299	1,0	0,8	1,00	Muy Malo
10	41	Estero Puangue 2 U.M.1	30-09-2016	T	S	M	0,0	0	1,11	0	1,50	0,0	1,0	20	0,134	0,0	6,3	6,34	Bueno
	42	Estero Puangue 2 U.M.2	30-09-2016	T	S	M	0,0	0	1,00	0	1,40	0,0	1,0	10	0,077	0,0	6,6	6,63	Bueno
	43	Estero Puangue 2 U.M.3	30-09-2016	T	S	M	0,0	0	1,00	0	1,67	0,0	1,0	8	0,066	0,0	6,6	6,57	Bueno
	44	Estero Puangue 2 U.M.4	30-09-2016	T	S	M	0,0	0	2,00	1	2,14	0,0	1,0	24	0,157	0,0	5,0	5,05	Regular
	45	Estero Puangue 2 U.M.5	30-09-2016	T	S	M	0,0	0	1,00	0	1,42	0,0	1,0	26	0,168	0,0	6,4	6,42	Bueno
	46	Estero Puangue 2 U.M.6	30-09-2016	T	S	M	0,0	0	1,25	0	1,59	0,0	1,0	8	0,066	0,0	6,3	6,31	Bueno
	47	Estero Puangue 2 U.M.7	30-09-2016	T	S	M	0,0	0	1,25	0	1,50	0,0	1,0	2	0,032	0,0	6,4	6,41	Bueno
	48	Estero Puangue 2 U.M.8	30-09-2016	T	S	M	0,0	0	1,00	0	1,57	0,0	1,0	8	0,066	0,0	6,6	6,60	Bueno
11	49	F-190 Puchuncaví	19-10-2017	R	S	M	0,0	0	2,00	9	4,50	0,0	1,0	12	0,089	0,0	4,4	1,00	Muy Malo
	50	F-190 Puchuncaví	19-10-2017	R	S	M	0,5	0	1,60	12	4,00	0,0	1,0	18	0,123	0,0	4,2	1,00	Muy Malo
	51	F-190 Puchuncaví	19-10-2017	R	S	M	0,0	0	1,60	0	2,57	0,0	1,0	18	0,123	0,0	5,4	5,44	Regular

	52	F-190 Puchuncaví	19-10-2017	R	S	M	0,0	0	1,50	0	2,09	0,0	1,0	10	0,077	0,0	5,8	5,82	Bueno
	53	F-190 Puchuncaví	19-10-2017	R	S	M	0,0	0	1,50	0	2,14	0,0	1,0	16	0,111	0,0	5,7	5,73	Bueno
12	54	Estero Marga Marga 1 U.M.1	03-11-2017	T	S	M	0,0	0	1,50	0	2,27	0,0	1,0	22	0,146	0,0	5,6	5,61	Bueno
	55	Estero Marga Marga 1 U.M.2	03-11-2017	T	S	M	0,0	0	1,00	0	2,23	0,0	1,0	10	0,077	0,0	6,4	6,36	Bueno
13	56	Calafquen, Los Pinos	03-03-2018	T	S	M	0,5	1	1,91	4	3,56	0,0	1,0	8	0,066	0,0	4,1	4,10	Malo
	57	Bulnes, Los Pinos	03-03-2018	T	S	M	0,5	2	2,50	6	4,23	0,0	1,0	32	0,203	1,0	1,4	1,00	Muy Malo
	58	Riñihue, Los Pinos	03-03-2018	T	S	M	0,5	0	1,86	2	3,67	0,0	1,0	6	0,054	1,0	2,7	2,67	Malo
	59	Peyuhue, Los Pinos	03-03-2018	T	S	M	0,5	0	1,88	1	2,36	0,0	1,0	14	0,100	1,0	3,0	2,99	Malo
	60	Queltehue, Los Pinos	03-03-2018	T	S	M	1,0	0	1,25	2	2,78	0,0	1,0	6	0,054	0,0	4,4	4,36	Malo

ANEXO G “RESULTADOS DE PRUEBAS ESTADÍSTICA Y ANÁLISIS REGRESIÓN LINEAL DE LOS DATOS RECOLECTADOS”

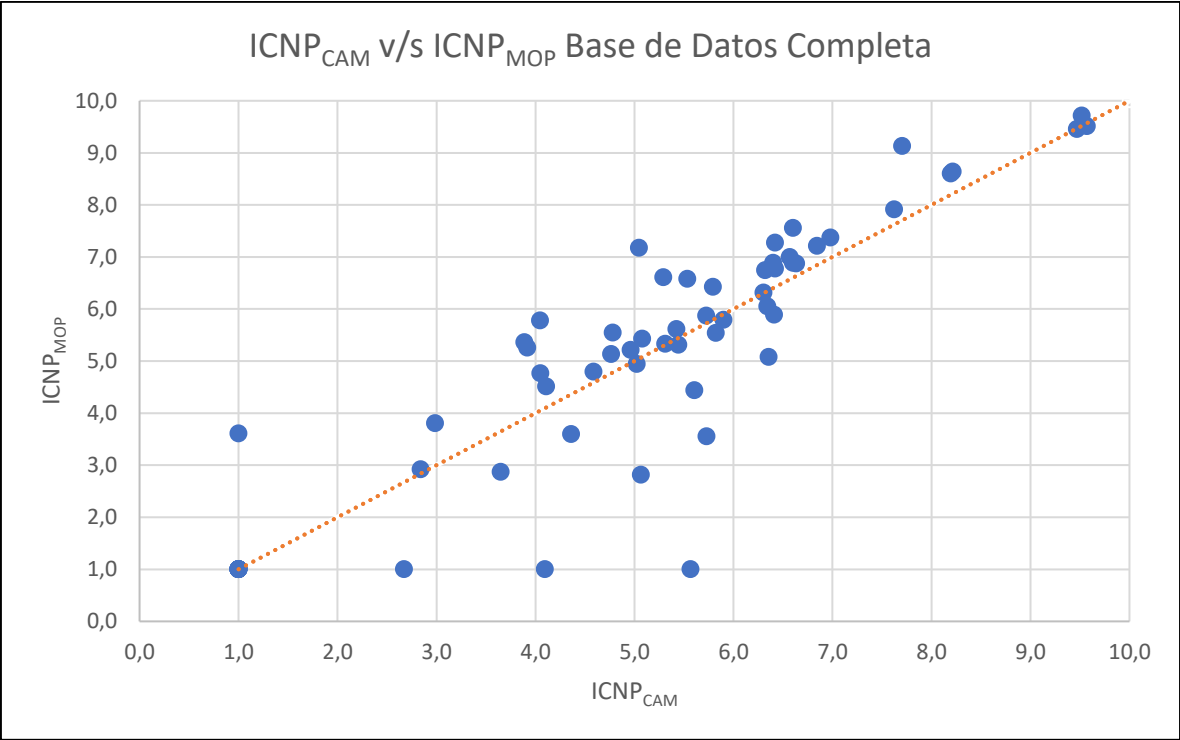


Figura 9-24: Gráfico de dispersión ICNP_{CAM} v/s ICNP_{MOP} (60 U.M.) (fuente: propia).

Resumen del modelo

		R-cuad.	R-cuad.
S	R-cuad.	(ajustado)	(pred)
0,827991	88,08%	87,87%	87,50%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	0,037	0,286	0,13	0,896	
ICNPcam	1,0261	0,0509	20,16	0,000	1,00

Ecuación de regresión

$$\text{ICNP}_{\text{mop}} = 0,037 + 1,0261 \text{ ICNP}_{\text{cam}}$$

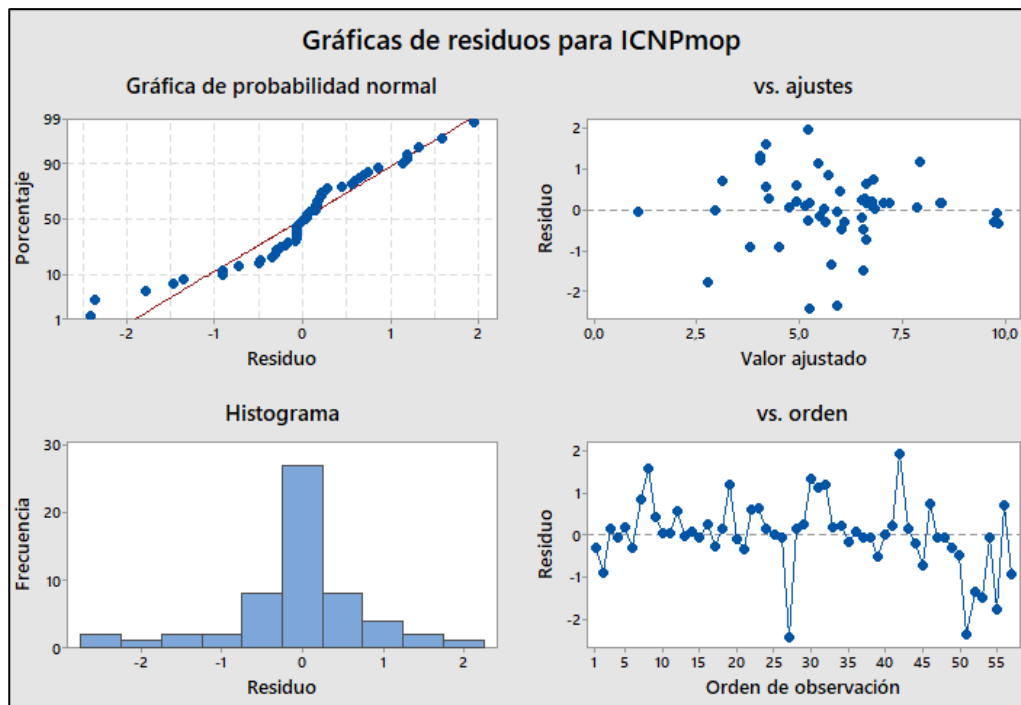


Figura 9-25: Análisis gráfico de residuos Modelo Regresión Lineal (60 U.M.) (fuente: propia).

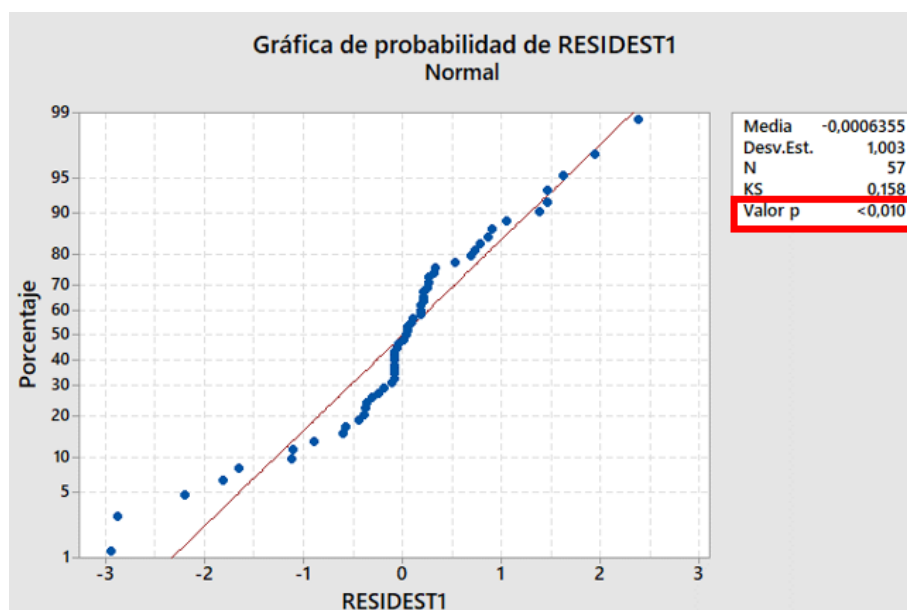


Figura 9-26: Test Normalidad Residuos Estandarizados Kolmogórov-Smirnov (57 U.M) (fuente: propia).

Método de las distancias de Cook

- Se elimina el dato sí:

$$D_i > \frac{4}{n-p} = \frac{4}{60-2}$$

$$D_i > 0,0689$$

Donde:

D_i : Dato atípico

n: cantidad de datos

p: número variables entrada – determinar

Tabla 9-4: Distancias de Cook ICNP_{CAM} vs ICNP_{MOP} (fuente: propia).

IDENTIFICACIÓN OUTLIERS – DISTANCIAS DE COOK					
	Nombre Camino	ICNPmop	ICNPcam	COOK1	Limite COOK
1	Tunca Abajo N°1	1,00	5,57	0,14757431	0,06896552
2	Tunca Abajo N°2	5,79	5,90	0,00024694	0,06896552
3	Toquihua	2,87	3,65	0,00725347	0,06896552
4	Romeral Zuñiga	7,21	6,84	0,000968	0,06896552
5	Callejón Varela	5,87	5,72	3,2153E-05	0,06896552
6	La Vinilla	5,13	4,77	0,00053976	0,06896552
7	A la Puente Alta	9,45	9,47	0,00017858	0,06896552
8	Fundo Millaray	6,58	5,53	0,00632972	0,06896552
9	Corcolén Plano	5,78	4,05	0,02209844	0,06896552
10	Corcolén Cerro	6,42	5,79	0,00221193	0,06896552
11	Termas del Flaco	7,91	7,63	0,00078782	0,06896552
12	Espinalillo	4,79	4,59	0,00010213	0,06896552
13	Puente Negro	4,76	4,05	0,00319419	0,06896552
14	Tres Puentes Cerro	2,92	2,84	3,9445E-06	0,06896552
15	Tres Puentes Plano	6,88	6,60	0,00043734	0,06896552
16	Costado Agrosuper	1,00	1,00	0,0003977	0,06896552
17	San Gerardo- La Laguna	6,88	6,40	0,00149872	0,06896552
18	Rincón de Morales	4,94	5,03	0,00017743	0,06896552
19	Hacienda Teno	7,37	6,98	0,00122176	0,06896552
20	Las Parcelas, Camino Montaña	5,25	3,92	0,01342265	0,06896552
21	El Cisne	9,71	9,52	0,00083351	0,06896552
22	El Establo	9,51	9,57	0,00044063	0,06896552
23	Convento Viejo	5,55	4,78	0,00312213	0,06896552
24	El Alamo	7,27	6,42	0,00548242	0,06896552
25	Los Yuyos N°1	8,60	8,20	0,0025452	0,06896552
26	Viña Ureta	3,61	1,00	0,21174216	0,06896552

27	La Puntilla	5,61	5,43	8,0021E-05	0,06896552
28	Callejón El Molino	1,00	1,00	0,0003977	0,06896552
29	Los Alamos	2,82	5,07	0,03551495	0,06896552
30	San Francisco Huique	8,64	8,22	0,00282029	0,06896552
31	Los Aromos	4,51	4,11	0,0007887	0,06896552
32	Cerro El Tambo	5,36	3,89	0,01662039	0,06896552
33	La Ensenada	6,61	5,29	0,01007799	0,06896552
34	La Capilla	9,13	7,71	0,03101585	0,06896552
35	Las Parcelas	5,43	5,08	0,00047252	0,06896552
36	Av. Bunster	6,74	6,32	0,00106932	0,06896552
37	Viña Concha y Toro	5,33	5,31	2,4828E-05	0,06896552
38	Miraflores Norte	5,21	4,96	0,0001916	0,06896552
39	Cuesta Lo Prado	1,00	1,00	0,0003977	0,06896552
40	Estero Puangue	1,00	1,00	0,0003977	0,06896552
41	Estero Puangue 2 U.M.1	6,05	6,34	0,00115616	0,06896552
42	Estero Puangue 2 U.M.2	6,87	6,63	0,00028622	0,06896552
43	Estero Puangue 2 U.M.3	6,99	6,57	0,00120922	0,06896552
44	Estero Puangue 2 U.M.4	7,17	5,05	0,02739404	0,06896552
45	Estero Puangue 2 U.M.5	6,78	6,42	0,00072856	0,06896552
46	Estero Puangue 2 U.M.6	6,31	6,31	3,4364E-05	0,06896552
47	Estero Puangue 2 U.M.7	5,89	6,41	0,00321502	0,06896552
48	Estero Puangue 2 U.M.8	7,56	6,60	0,00767698	0,06896552
49	F-190 Puchuncaví U.M.1	1,00	1,00	0,0003977	0,06896552
50	F-190 Puchuncaví U.M.2	1,00	1,00	0,0003977	0,06896552
51	F-190 Puchuncaví U.M.3	5,31	5,44	0,00028917	0,06896552
52	F-190 Puchuncaví U.M.4	5,54	5,82	0,00094572	0,06896552
53	F-190 Puchuncaví U.M.5	3,55	5,73	0,03600941	0,06896552
54	Estero Marga Marga 1 U.M.1	4,44	5,61	0,01075708	0,06896552
55	Estero Marga Marga 1 U.M.2	5,08	6,36	0,01599455	0,06896552
56	Calafquen, Los Pinos	1,00	4,10	0,08129723	0,06896552
57	Bulnes, Los Pinos	1,00	1,00	0,0003977	0,06896552
58	Riñihue, Los Pinos	1,00	2,67	0,04831649	0,06896552
59	Peyuhue, Los Pinos	3,80	2,99	0,00687502	0,06896552
60	Queltehue, Los Pinos	3,59	4,36	0,00533072	0,06896552

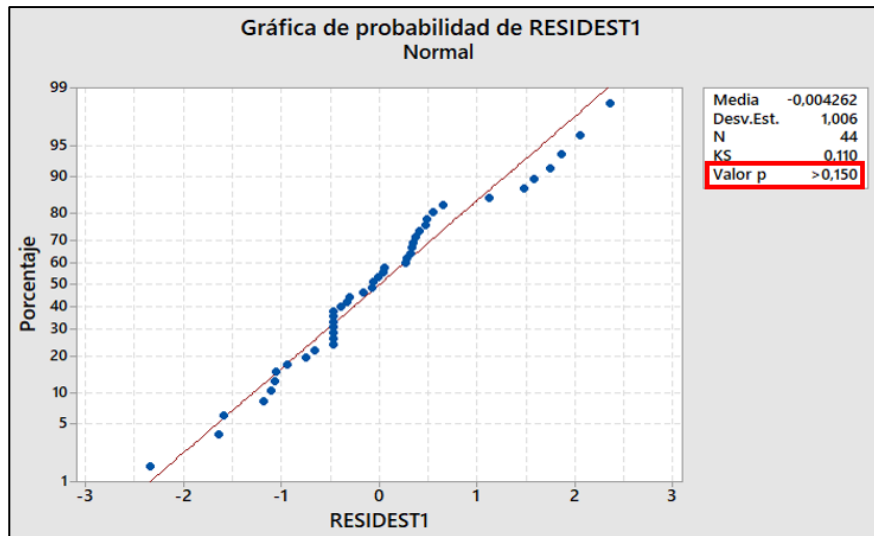


Figura 9-27: Test Normalidad Residuos Estandarizados Kolmogórov-Smirnov Final (44 U.M) (fuente: propia).

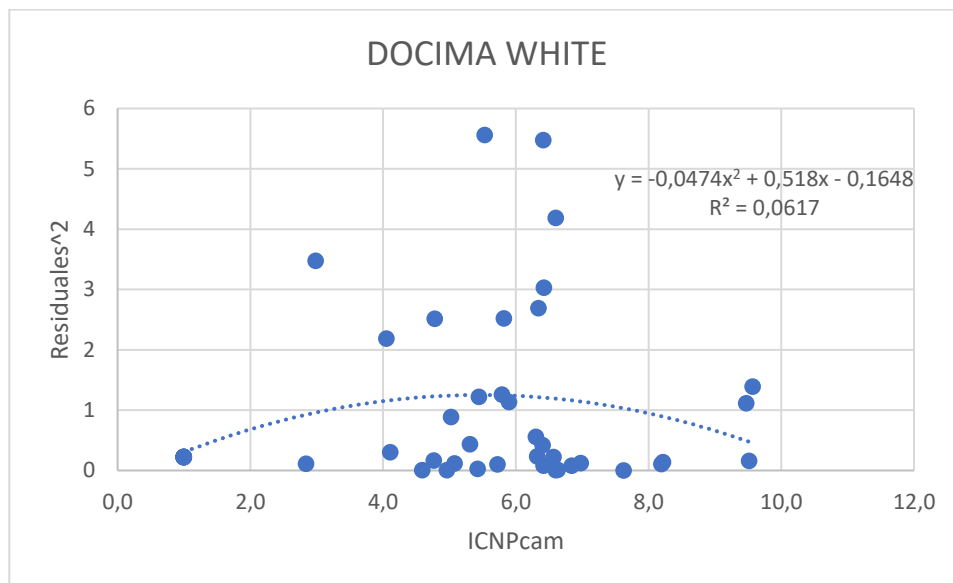


Figura 9-28: Gráfico de dispersión del Modelo Auxiliar dócima White (fuente: propia).

Tabla 9-5: Valores de ICNP_{CAM} vs ICNP_{MOP} base muestral final (fuente: propia).

U.M. FINALMENTE UTILIZADAS PARA MODELO FINAL				
	Nombre Camino	ICNPmop	ICNPcam	RESID1
1	Tunca Abajo N°2	5,8	5,9	-1,064523561
2	Romeral Zuñiga	7,2	6,8	0,280183626
3	Callejón Varela	5,9	5,7	-0,311785664
4	La Vinilla	5,1	4,8	0,404996816
5	A la Puente Alta	9,5	9,5	-1,054864614
6	Fundo Millaray	6,6	5,5	2,357695001
7	Corcolén Cerro	6,4	5,8	1,121317085
8	Termas del Flaco	7,9	7,6	-0,008201668
9	Espinalillo	4,8	4,6	-0,060711882
10	Puente Negro	4,8	4,0	1,477726675
11	Tres Puentes Cerro	2,9	2,8	-0,332673961
12	Tres Puentes Plano	6,9	6,6	0,044074777
13	Costado Agrosuper	1,0	1,0	-0,469617604
14	San Gerardo- La Laguna	6,9	6,4	0,645105984
15	Rincón de Morales	4,9	5,0	-0,941392897
16	Hacienda Teno	7,4	7,0	0,346579091
17	El Cisne	9,7	9,5	-0,397158555
18	El Establo	9,5	9,6	-1,178738045
19	Convento Viejo	5,5	4,8	1,584716374
20	El Alamo	7,3	6,4	1,740645656
21	Los Yuyos N°1	8,6	8,2	0,321975317
22	La Puntilla	5,6	5,4	-0,16324213
23	Callejón El Molino	1,0	1,0	-0,469617604
24	San Francisco Huique	8,6	8,2	0,369576636
25	Los Aromos	4,5	4,1	0,54983345
26	Las Parcelas	5,4	5,1	0,335713307
27	Av. Bunster	6,7	6,3	0,480931942
28	Viña Concha y Toro	5,3	5,3	-0,659077251
29	Miraflores Norte	5,2	5,0	0,05521354
30	Cuesta Lo Prado	1,0	1,0	-0,469617604
31	Estero Puangue	1,0	1,0	-0,469617604
32	Estero Puangue 2 U.M.1	6,1	6,3	-1,639720091
33	Estero Puangue 2 U.M.2	6,9	6,6	-0,082090216
34	Estero Puangue 2 U.M.3	7,0	6,6	0,469790256
35	Estero Puangue 2 U.M.5	6,8	6,4	0,273561119
36	Estero Puangue 2 U.M.6	6,3	6,3	-0,746040642
37	Estero Puangue 2 U.M.7	5,9	6,4	-2,33949773
38	Estero Puangue 2 U.M.8	7,6	6,6	2,045457678
39	F-190 Puchuncaví	1,0	1,0	-0,469617604

40	F-190 Puchuncaví	1,0	1,0	-0,469617604
41	F-190 Puchuncaví	5,3	5,4	-1,10255078
42	F-190 Puchuncaví	5,5	5,8	-1,58606006
43	Bulnes, Los Pinos	1,0	1,0	-0,469617604
44	Peyuhue, Los Pinos	3,8	3,0	1,863033356

Resumen del modelo

	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
	0,342182	98,09%	98,04%	97,94%

Coeficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	0,132	0,127	1,04	0,304	
ICNPcam	1,0203	0,0220	46,39	0,000	1,00

Ecuación de regresión

ICNPmop = 0,132 + 1,0203 ICNPcam

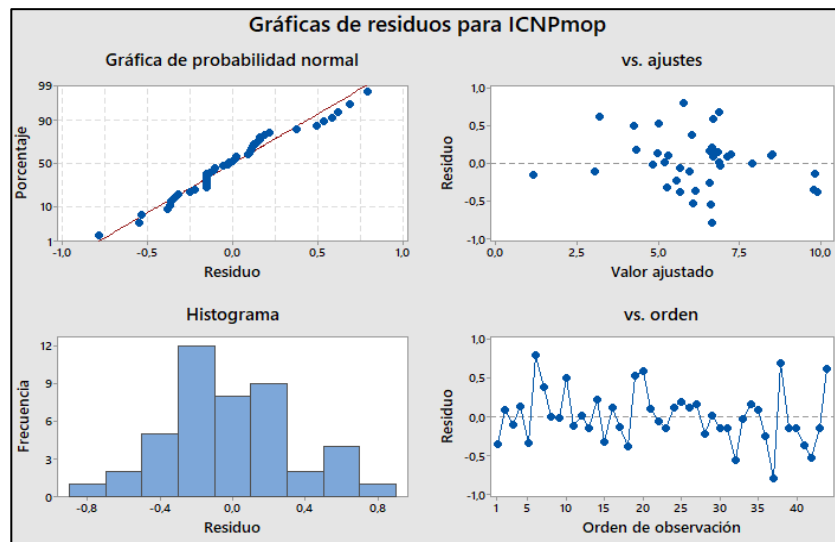


Figura 9-29: Análisis gráfico de residuos Modelo Regresión Lineal Final (44 U.M.) (fuente: propia).

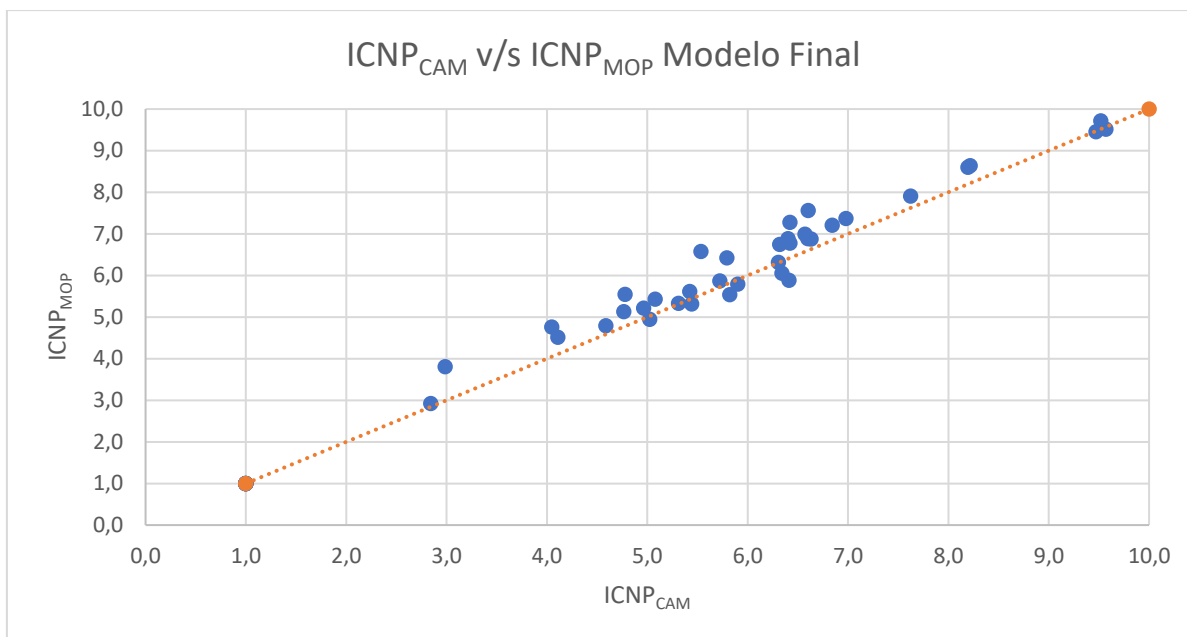


Figura 9-30: Gráfico de dispersión ICNP_{CAM} v/s ICNP_{MOP} de la base de datos final (fuente: propia).

ANEXO H “RESULTADOS DE PRUEBAS ESTADÍSTICA Y ANÁLISIS REGRESIÓN LINEAL DE LA VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA”

H.1 PRUEBAS DE REPRODUCIBILIDAD

H.1.1 Resultados “Deterioros_{CAM}” pruebas de reproducibilidad

	Nombre Camino	ICNPcam	ESTADO	Superficie (T, R, E)	Con o Sin equipos (C o S)	Clima (S, M, H)	Drenaje (0 0.5 ó 1)	N° Det. Calaminas Extremos	Calaminas (cm)	N° Det. Ahuellamientos Extremos	Ahuellamiento (cm)	IRI (m/km)	Camino Pedregoso (0 ó 1)	N° Baches	Baches (m*m*N°)	Erosión (0 ó 1)	Coef. de fórmulas	ICNPcam	ESTADO	ΔICNPcam
1	La Vinilla	4,77	Regular	T	S	M	0,5	0	1,70	1	2,20	0,0	1,0	36	0,226	1,0	3,0	2,96	Malo	1,81
2	A la Puente Alta	9,47	Muy Bueno	R	S	M	0,0	0	1,00	0	1	0,0	0,0	36	0,226	0,0	8,0	8,00	Bueno	1,48
3	Corcolén Cerro	5,79	Bueno	T	S	M	0,0	0	0,00	2	2,5	0,0	1,0	4	0,044	1,0	6,0	6,03	Bueno	0,24
4	Termas del Flaco	7,63	Bueno	R	S	M	0,0	0	0,00	0	2,9	0,0	1,0	66	0,397	0,0	6,6	6,57	Bueno	1,05
5	Costado Agrosuper	1,00	Muy Malo	T	S	M	1,0	0	2,00	3	2,2	0,0	1,0	20	0,135	0,0	3,5	3,50	Malo	2,50
6	San Gerardo- La Laguna	6,40	Bueno	R	S	M	0,0	0	1,00	0	1,4	0,0	1,0	18	0,124	0,0	6,5	6,53	Bueno	0,13
7	Callejón El Molino	1,00	Muy Malo	T	S	M	1,0	0	0,00	26	6	0,0	0,0	40	0,249	1,0	4,4	1,00	Muy Malo	0,00
8	Los Aromos	4,11	Malo	R	S	M	0,5	0	1,80	0	2,2	0,0	1,0	42	0,260	0,0	4,2	4,24	Malo	0,13
9	Las Parcelas	5,08	Regular	R	S	M	0,5	0	0,00	5	3,8	0,0	1,0	30	0,192	0,0	5,9	5,95	Bueno	0,87
10	Cuesta Lo Prado	1,00	Muy Malo	T	S	M	0,5	3	3,00	0	1,8	0,0	1,0	38	0,238	1,0	1,6	1,00	Muy Malo	0,00
11	Estero Puangue	1,00	Muy Malo	T	S	M	1,0	5	4,50	0	3	0,0	1,0	86	0,511	1,0	-2,0	1,00	Muy Malo	0,00
12	F-190 Puchuncavi U.M.1	1,00	Muy Malo	R	S	M	0,5	0	0,00	0	3,5	0,0	1,0	8	0,067	0,0	6,3	6,32	Bueno	5,32

H.1.2. Análisis resultados pruebas de reproducibilidad

Tabla 9-6: Resultados ICNP_{CAM} e ICNP_{CAMter} pruebas de reproducibilidad (fuente: propia).

	Nombre Camino	Y-ICNPcam1	X-ICNPcamter
1	La Vinilla	4,77	2,96
2	A la Puente Alta	9,47	8,00
3	Corcolén Cerro	5,79	6,03
4	Termas del Flaco	7,63	6,57
5	Costado Agrosuper	1,00	3,50
6	San Gerardo- La Laguna	6,40	6,53
7	Callejón El Molino	1,00	1,00
8	Los Aromos	4,11	4,24
9	Las Parcelas	5,08	5,95
10	Cuesta Lo Prado	1,00	1,00
11	Estero Puangue	1,00	1,00
12	F-190 Puchuncaví U.M.1	1,00	6,32

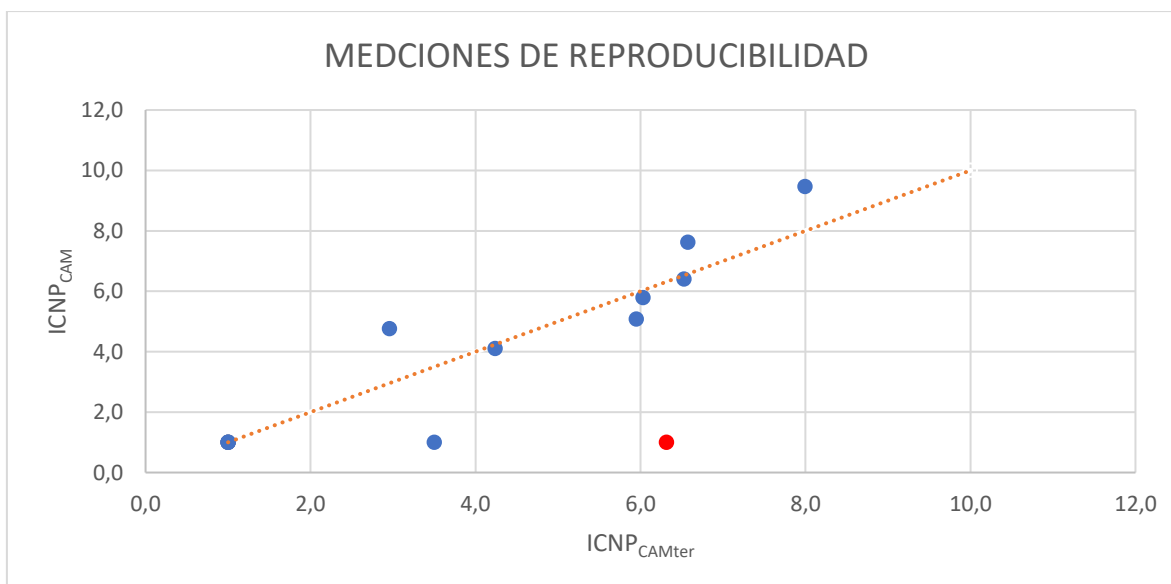


Figura 9-31: Gráfico de dispersión ICNP_{CAMter} v/s ICNP_{CAM} pruebas de reproducibilidad (fuente: propia).

- Modelo Original**

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1,99025	59,92%	55,91%	44,58%

Coeficientes

EE del

Término	Coef	coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	-0,09	1,21	-0,08	0,940	
X-ICNPcamter	0,930	0,240	3,87	0,003	1,00

Ecuación de regresión

$$Y\text{-ICNPcam1} = -0,09 + 0,930 X\text{-ICNPcamter}$$

- Datos Atípicos – Distancias de Cook

- Se elimina el dato sí:

$$D_i > \frac{4}{n - p} = 0,3636$$

Donde:

D_i : Dato atípico

n: cantidad de datos

p: número variables entrada – determinar

Tabla 9-7: Distancias de Cook ICNP_{CAM} vs ICNP_{CAMter} (fuente: propia).

IDENTIFICACIÓN OUTLIERS – DISTANCIAS DE COOK			
ICNPcam1	ICNPcamter	COOK1	OUTLIERS
4,77	2,96	0,08198442	DATO NO ATIPICO
9,47	8,00	0,28950562	DATO NO ATIPICO
5,79	6,03	0,00153888	DATO NO ATIPICO
7,63	6,57	0,06808123	DATO NO ATIPICO
1,00	3,50	0,06908153	DATO NO ATIPICO
6,40	6,53	0,00465859	DATO NO ATIPICO
1,00	1,00	0,00154012	DATO NO ATIPICO
4,11	4,24	0,00086943	DATO NO ATIPICO
5,08	5,95	0,00245884	DATO NO ATIPICO
1,00	1,00	0,00154012	DATO NO ATIPICO
1,00	1,00	0,00154012	DATO NO ATIPICO
1,00	6,32	0,52320449	DATO ATIPICO

- Hipótesis relación “1-1” ICNP_{CAM} vs ICNP_{CAMter}

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1,21024	85,17%	83,52%	79,84%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	-0,308	0,737	-0,42	0,686	
X-ICNPcamter	1,082	0,151	7,19	0,000	1,00

Ecuación de regresión

$$Y\text{-ICNPcam1} = -0,308 + 1,082 X\text{-ICNPcamter}$$

$$E = \frac{\widehat{\beta}_k - \beta_k}{\sqrt{VAR(\widehat{\beta}_k)}}$$

$$E = \frac{1 - 1,082}{0,151} = 0,54$$

$$E < VtMRL_{0.05;11-2}$$

$$0,543 < 1,833$$

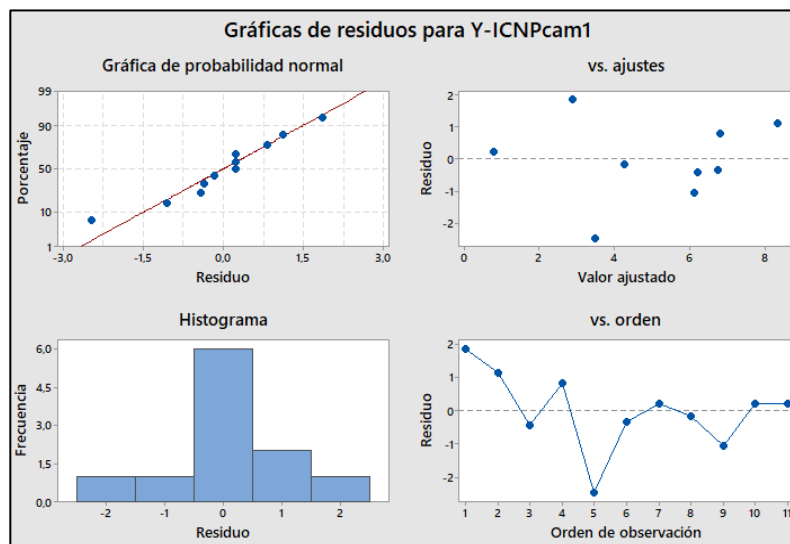


Figura 9-32: Análisis gráfico de residuos Modelo Regresión Lineal Reproducibilidad (fuente: propia).

- VERIFICACIÓN NORMALIDAD DE LOS ERRORES

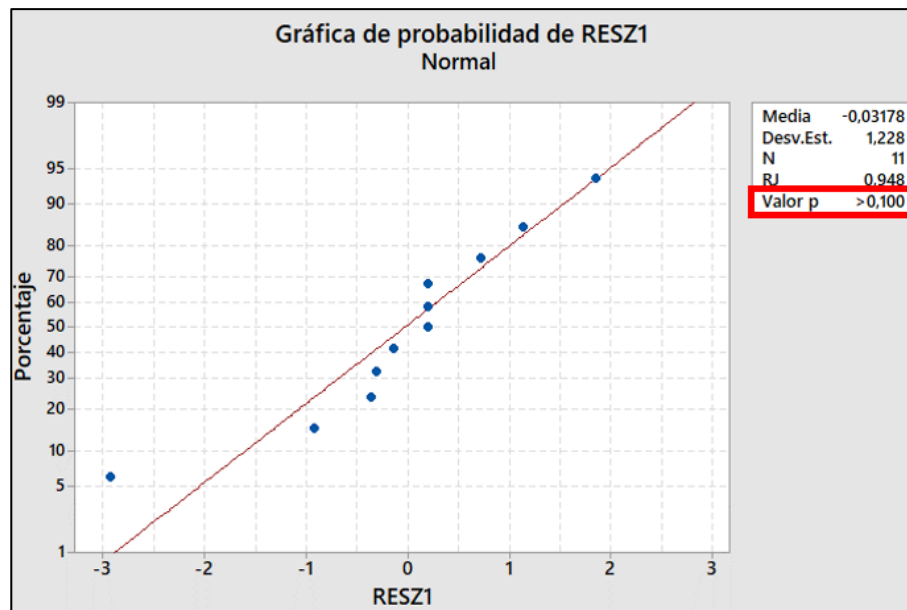


Figura 9-33: Test Normalidad Residuos Estandarizados Shapiro Wilk prueba reproducibilidad (fuente: propia).

- HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS

Hipotesis:

- Ho: Varianza de los errores es constante (homogeneidad) - con un 95% de confiabilidad. // 5% de significancia

$$E_{White} < Vtchi - cuadrado_{\alpha;g.l.}$$

$$p > 0.05$$

- H1: Varianza de los errores no es constante (heterogeneidad) - con un 95% de confiabilidad. // 5% de significancia

$$E_{White} < Vtchi - cuadrado_{\alpha;g.l.}$$

$$p < 0.05$$

El modelo auxiliar,

$$e^2 = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 * ICNP_{CAMter} + \varepsilon_2 * ICNPcam_{CAMter}^2$$

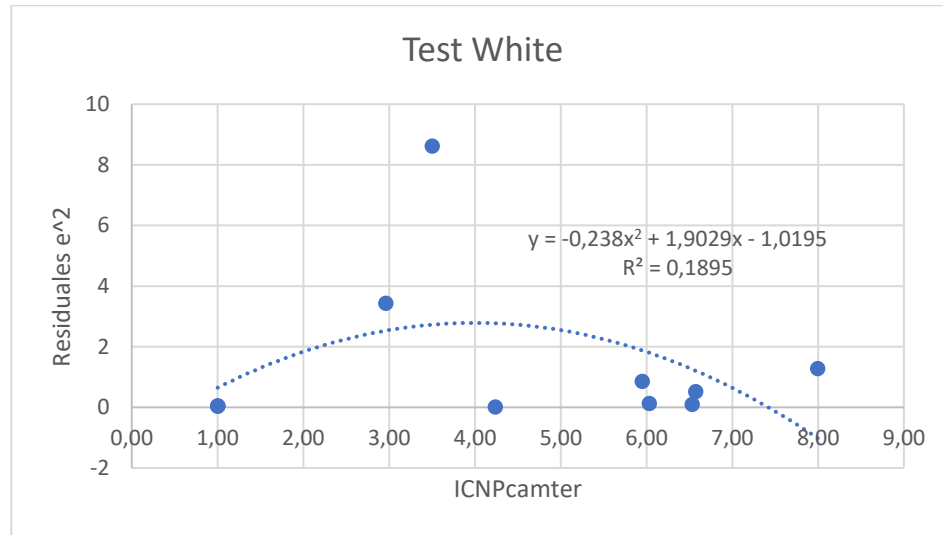


Figura 9-34: Gráfico de dispersión del Modelo Auxiliar dódima White reproducibilidad (fuente: propia).

El estadístico para la dódima White proviene de la siguiente expresión:

$$E_{White} = n * R^2$$

$$E_{White} = 11 * 0,1895$$

$$E_{White} = 2,0845$$

$$Vtchi - cuadrado_{\alpha;g.l.} = Vtchi - cuadrado_{0,05; 2} = 5,9915$$

$$E_{White} < Vtchi - cuadrado_{0,05;2}$$

$$2,1879 < 5,9915$$

Hipótesis indica que la pendiente de la recta del modelo obtenido sea igual a 1 es válida, es decir:

$$ICNP_{CAM} \equiv ICNP_{CAMter}$$

Por lo que la hipótesis de que la pendiente de la recta del modelo obtenido sea igual a 1 es válida, con ello las pruebas de reproducibilidad resultan satisfactorias considerando las 11 U.M. medidas para estas pruebas.

H.2 PRUEBAS DE REPEPETITIVIDAD

H.2.1 Resultados “Deterioros_{CAM}” pruebas de repetitividad

	Nombre Camino	ICNPcam	ESTADO	Superficie (T, R, E)	Con o Sin equipos (C o S)	Clima (S, M, H)	Drenaje (0 0.5 ó 1)	N° Det. Calaminas Extremos	Calaminas (cm)	N° Det. Ahuellamientos Extremos	Ahuellamiento (cm)	IRI (m/km)	Camino Pedregoso (0 ó 1)	N° Baches	Baches (m*m*N°)	Erosión (0 ó 1)	Coef. de fórmulas	ICNPcam2	ESTADO	ΔICNPcam
1	La Vinilla	4,77	Regular	T	S	M	0,5	0	1,67	4	3,20	0,0	1,0	38	0,238	0,0	4,1	4,11	Malo	0,66
2	A la Puente Alta	9,47	Muy Bueno	R	S	M	0,0	0	0,00	0	2,05263158	0,0	0,0	30	0,192	0,0	8,9	8,88	Muy Bueno	0,59
3	Corcolén Cerro	5,79	Bueno	T	S	M	0,5	0	1,20	0	1,82352941	0,0	1,0	6	0,055	0,0	5,5	5,52	Bueno	0,27
4	Termas del Flaco	7,63	Bueno	R	S	M	0,0	0	0,00	0	1,92307692	0,0	0,0	58	0,352	1,0	7,1	7,09	Bueno	0,53
5	Costado Agrosuper	1,00	Muy Malo	T	S	M	1,0	0	2,00	12	4,54545455	0,0	1,0	8	0,067	1,0	1,4	1,00	Muy Malo	0,00
6	San Gerardo- La Laguna	6,40	Bueno	R	S	M	0,0	0	1,25	0	1,63636364	0,0	1,0	10	0,078	0,0	6,3	6,26	Bueno	0,14
7	Callejón El Molino	1,00	Muy Malo	T	S	M	1,0	1	5,00	15	5	0,0	0,0	12	0,089	0,0	0,7	1,00	Muy Malo	0,00
8	Los Aromos	4,11	Malo	R	S	M	0,5	0	1,56	0	2	0,0	1,0	28	0,181	0,0	4,8	4,77	Regular	0,66
9	Las Parcelas	5,08	Regular	R	S	M	0,5	0	1,08	0	2	0,0	1,0	18	0,124	0,0	5,4	5,44	Regular	0,37
10	Cuesta Lo Prado	1,00	Muy Malo	T	S	M	0,5	6	4,00	1	2	0,0	1,0	40	0,249	1,0	0,3	1,00	Muy Malo	0,00
11	Esterio Puangue	1,00	Muy Malo	T	S	M	1,0	3	4,25	8	4,71428571	0,0	1,0	56	0,340	1,0	-1,9	1,00	Muy Malo	0,00
12	F-190 Puchuncaví	1,00	Muy Malo	R	S	M	0,0	0	1,00	10	4,04347826	0,0	1,0	12	0,089	0,0	5,7	1,00	Muy Malo	0,00

H.2.2. Análisis resultados pruebas de repetitividad

Tabla 9-8: Resultados ICNP_{CAM} e ICNP_{CAM2} pruebas de reproducibilidad (fuente: propia).

	Nombre Camino	ICNP _{CAM}	ICNP _{CAM2}
1	La Vinilla	4,77	4,11
2	A la Puente Alta	9,47	8,88
3	Corcolén Cerro	5,79	5,52
4	Termas del Flaco	7,63	7,09
5	Costado Agrosuper	1,00	1,00
6	San Gerardo- La Laguna	6,40	6,26
7	Callejón El Molino	1,00	1,00
8	Los Aromos	4,11	4,77
9	Las Parcelas	5,08	5,44
10	Cuesta Lo Prado	1,00	1,00
11	Estero Puangue	1,00	1,00
12	F-190 Puchuncaví	1,00	1,00

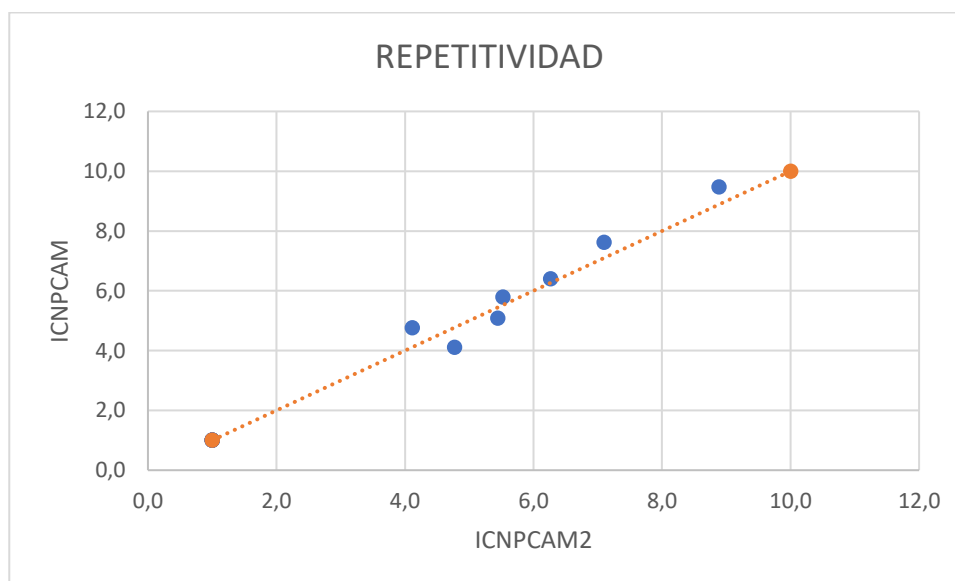


Figura 9-35: Gráfico de dispersión ICNP_{CAM2} v/s ICNP_{CAM} pruebas de reproducibilidad (fuente: propia).

- **Modelo**

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,372586	98,60%	98,45%	98,18%

Coeficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	-0,097	0,189	-0,51	0,619	
X-ICNPcam2	1,0495	0,0396	26,49	0,000	1,00

Ecuación de regresión

$$Y\text{-ICNPcam1} = -0,097 + 1,0495 X\text{-ICNPcam2}$$

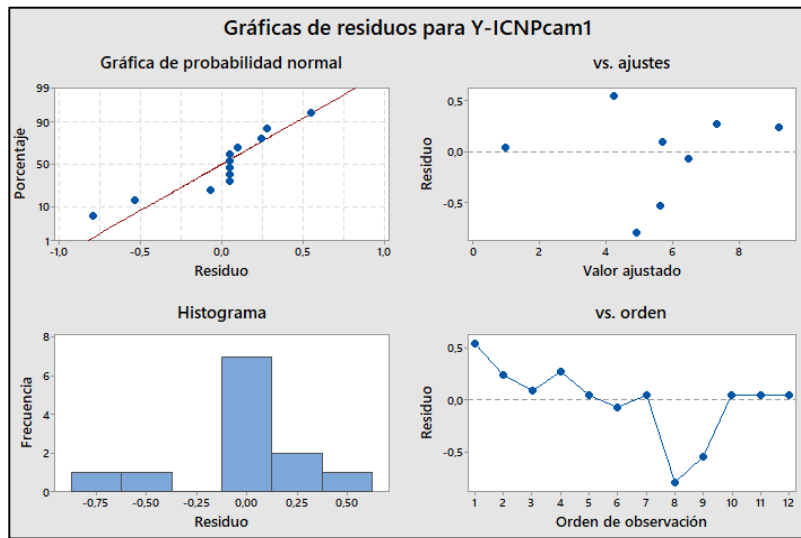


Figura 9-36: Análisis gráfico de residuos Modelo Regresión Lineal Repetitividad (fuente: propia).

- **Datos Atípicos – Distancias de Cook**

No se identificaron datos atípicos, ya que ningún dato tuvo un valor de distancias de Cook mayor a los 0.3636 establecidos como límite.

- Hipótesis relación “1-1” $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAM2}$

$$E = \frac{\widehat{\beta}_k - \beta_k}{\sqrt{VAR(\widehat{\beta}_k)}}$$

$$E = \frac{1 - 1,0495}{0,0396} = 1,25$$

$$VtMRL_{\alpha;g.l.} = VtMRL_{0.05;12-2} = 1,8125$$

$$E < VtMRL_{0.05;12-2}$$

$$1,25 < 1,8125$$

- NORMALIDAD DEL ERROR

Se obtuvo el siguiente resultado para la dócima Shapiro Wilk.

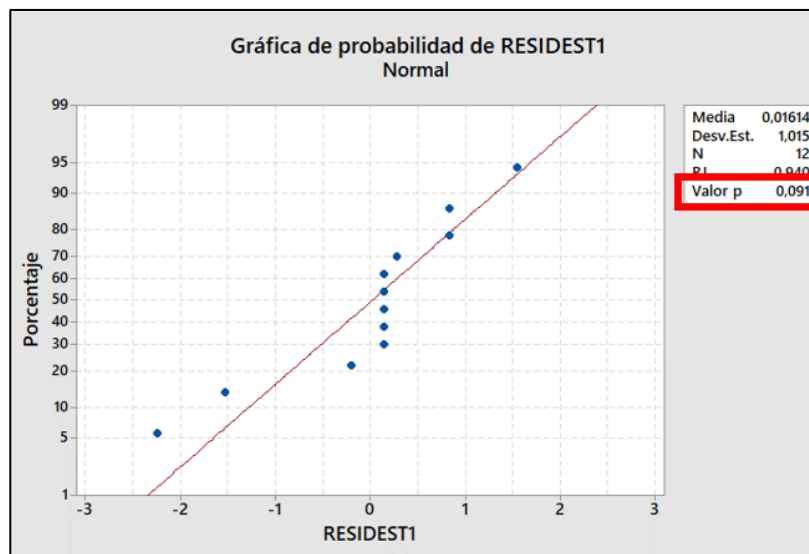


Figura 9-37: Test Normalidad Residuos Estandarizados Shapiro Wilk prueba repetitividad (fuente: propia).

- HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS

En esta dócima se plantean las siguientes hipótesis:

- H_0 : Varianza de los errores es constante (homogeneidad) - con un 95% de confiabilidad.
// 5% de significancia

$$E_{White} < Vtchi - cuadrado_{\alpha;g.l.}$$

$$p > 0.05$$

- H1: Varianza de los errores no es constante (heterogeneidad) - con un 95% de confiabilidad. // 5% de significancia

$$E_{White} < Vtchi - cuadrado_{\alpha;g.l.}$$

$$p < 0.05$$

El modelo auxiliar para este caso, en donde se dispone de una sola variable exógena es el siguiente:

$$e^2 = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 * ICNP_{CAM2} + \varepsilon_2 * ICNP_{CAM2}^2$$

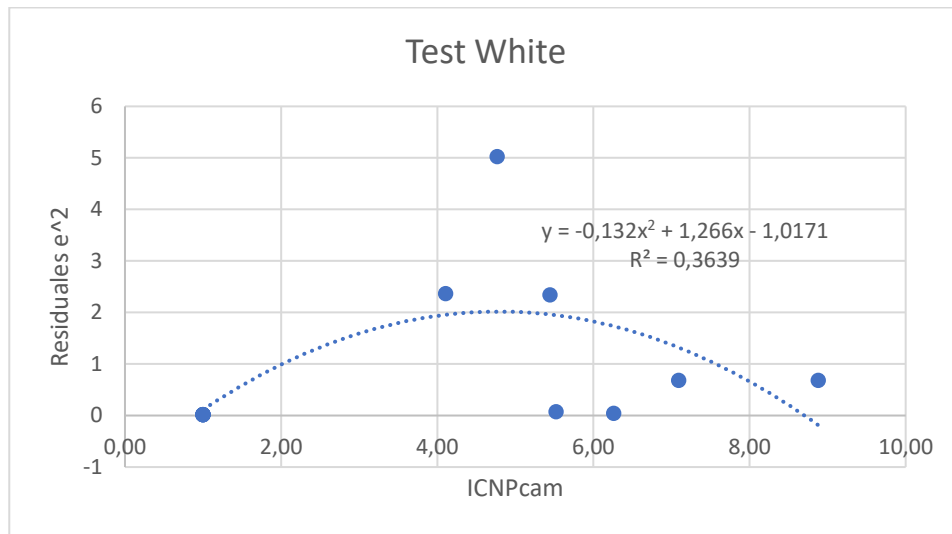


Figura 9-38: Gráfico de dispersión del Modelo Auxiliar dócima White repetitividad (fuente: propia).

El estadístico para la dócima White proviene de la siguiente expresión:

$$E_{White} = n * R^2$$

$$E_{White} = 12 * 0,3639$$

$$E_{White} = 4,3668$$

$$Vtchi - cuadrado_{\alpha;g.l.} = Vtchi - cuadrado_{0,05; 2} = 5,9915$$

$$E_{White} < Vtchi - cuadrado_{0,05; 2}$$

$$4,3668 < 5,9915$$

Por lo tanto, el modelo obtenido del “ $ICNP_{CAM}$ vs $ICNP_{CAM2}$ ” también cumple con el supuesto de homogeneidad de varianzas de los errores. Por lo que la hipótesis indica que la pendiente de la recta del modelo obtenido sea igual a 1 es válida, es decir:

$$ICNP_{CAM} \equiv ICNP_{CAM2}$$

Por lo que la hipótesis de que la pendiente de la recta del modelo obtenido sea igual a 1 es válida, con ello las pruebas de reproducibilidad resultan satisfactorias considerando las 12 U.M. medidas para estas pruebas.

ANEXO I PRESUPUESTO ESTIMATIVO PAVIMENTACIÓN ASFALTO (CRISTÓBAL CHAVARRÍA)

ITEM	DESIGNACION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT. U.F.	TOTAL U.F.
I.	INICIO DE FAENAS				
1.1	INSTALACION DE FAENAS	GL	1,0	4,20%	90,524
1.2	ENSAYES DE LABORATORIO	GL	1,0	2,00%	43,107
1.3	SEÑALIZACION PROVISORIA	GL	1,0	1,00%	21,553
1.4	ASESORIA DE INSPECCION	GL	1,0	5,00%	107,766
1.5	DERECHOS	GL	1,0	1,00%	21,553
SUB-TOTAL I UF :					284,503
II.	MOVIMIENTOS DE TIERRAS				
2.1	EXCAVACION EN CORTE Y TRANSPORTE A BOTADERO	M3	1.000,0	0,406	406,000
2.2	MATERIAL DE RELLENO ESTRUCTURAL	M3	500,0	1,011	505,500
2.3	COMPACTACION Y PERFILADO DE SUELO NATURAL	M2	1.000,0	0,136	136,000
SUB-TOTAL II UF :					1.047,500
III.	BASES Y SUB-BASES GRANULARES				
3.1	BASE ESTABILIZADA e=15[cm] CBR 100% PARA ASFALTO	M2	700,0	0,266	186,200
3.2	SUBBASE ESTABILIZADA e=15[cm] CBR 40% PARA ASFALTO	M2	700,0	0,245	171,290
SUB-TOTAL III UF :					357,490
IV.	OBRAS DE PAVIMENTACION				
4.1	CARPETA ASFÁLTICA e=7 [cm]	M2	700,0	0,930	651,000
4.2	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA	M2	700,0	0,058	40,600
4.3	BERMA ESTABILIZADA	M3	45,0	0,882	39,690
SUB-TOTAL IV UF :					731,290
V.	OBRAS DE SEÑALIZACION Y DEMARCACION				
5.1	DEMARCAACION DE PAVIMENTOS (Pintura Termoplástica Autorreflectante)	M2	12,0	0,928	11,136
5.2	SUMINISTRO Y COLOCACION DE SEÑALETICA, a) Señalética Direccional	U	2,0	3,955	7,910
SUB-TOTAL V UF :					19,046

TOTAL UF :	2.439,829
-------------------	------------------

Nota: El presupuesto total contempla 19% de IVA y un 25% de Gastos Generales y Utilidades.

Viña del Mar, junio de 2018

CRISTOBAL CHAVARRIA F.

Ingeniero Civil