

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL -
HUANCABELICA**



TESIS :

**INFLUENCIA DE HELADAS EN LAS FALLAS DEL
TRATAMIENTO SUPERFICIAL SLURRY SEAL EN EL
TRAMO LACHOCC- VILLA DE ARMA ESTIMADA POR
PERCEPCIÓN REMOTA**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN :

TRANSPORTES

PRESENTADO POR :

Bach. HUAMAN PEÑA, Jair Edgar

Bach. ANTICONA GUILLEN, Miguel Angel

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

Huancavelica - Perú

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA



ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Huancavelica, a los treinta días (30) del mes de julio del año 2021, siendo las diecisiete horas (17:00), se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los docentes: M.Sc. Marco Antonio López Barrantes (Presidente), Arq. Abdón dante Olivera Quintanilla (Secretario), M.Sc. Hugo Rubén Lujan Jeri (Asesor), reestructurado con Resolución de Decano N° 127-2021-FCI-UNH, de fecha 16 de junio del 2021, a fin de proceder con la sustentación y calificación virtual mediante el aplicativo MEET del informe final de tesis titulado: "INFLUENCIA DE HELADAS EN LAS FALLAS DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL SLURRY SEAL EN EL TRAMO LACHOCC-VILLA DE ARMA ESTIMADA POR PERCEPCIÓN REMOTA", presentado por los Bachilleres Miguel Angel ANTICONA GUILLEN y Jair Edgar HUAMAN PEÑA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. Finalizada la sustentación virtual a horas..18.00.....; se comunicó a los sustentantes y al público en general que los Miembros del Jurado abandonará el aula virtual para deliberar el resultado:

Miguel Angel ANTICONA GUILLEN

APROBADO POR ... UNANIMIDAD ...

DESAPROBADO

Jair Edgar HUAMAN PEÑA

APROBADO POR ... UNANIMIDAD ...

DESAPROBADO

En señal de conformidad, firmamos a continuación:



Presidente



Secretario



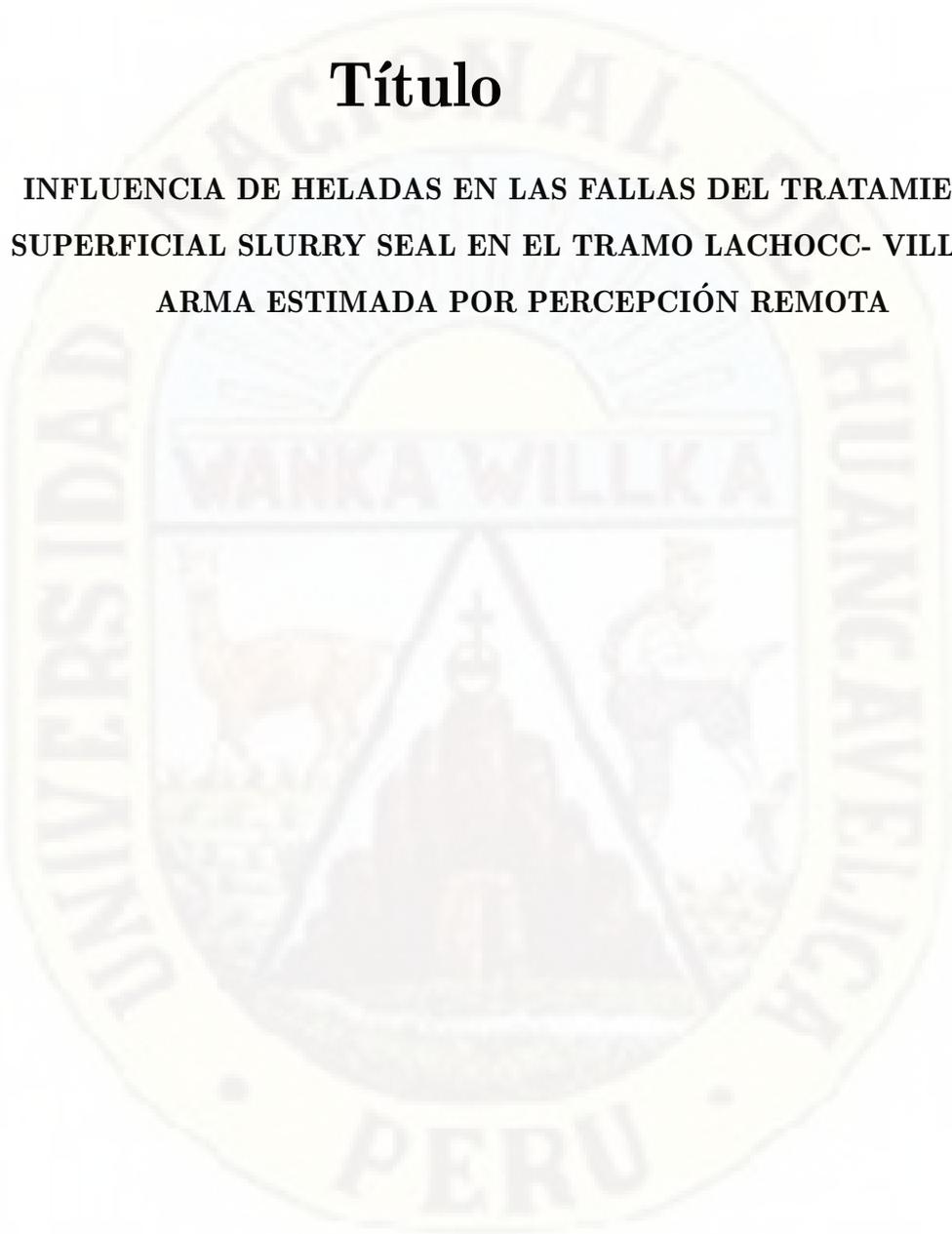
Vocal



Vº Bº Decano

Título

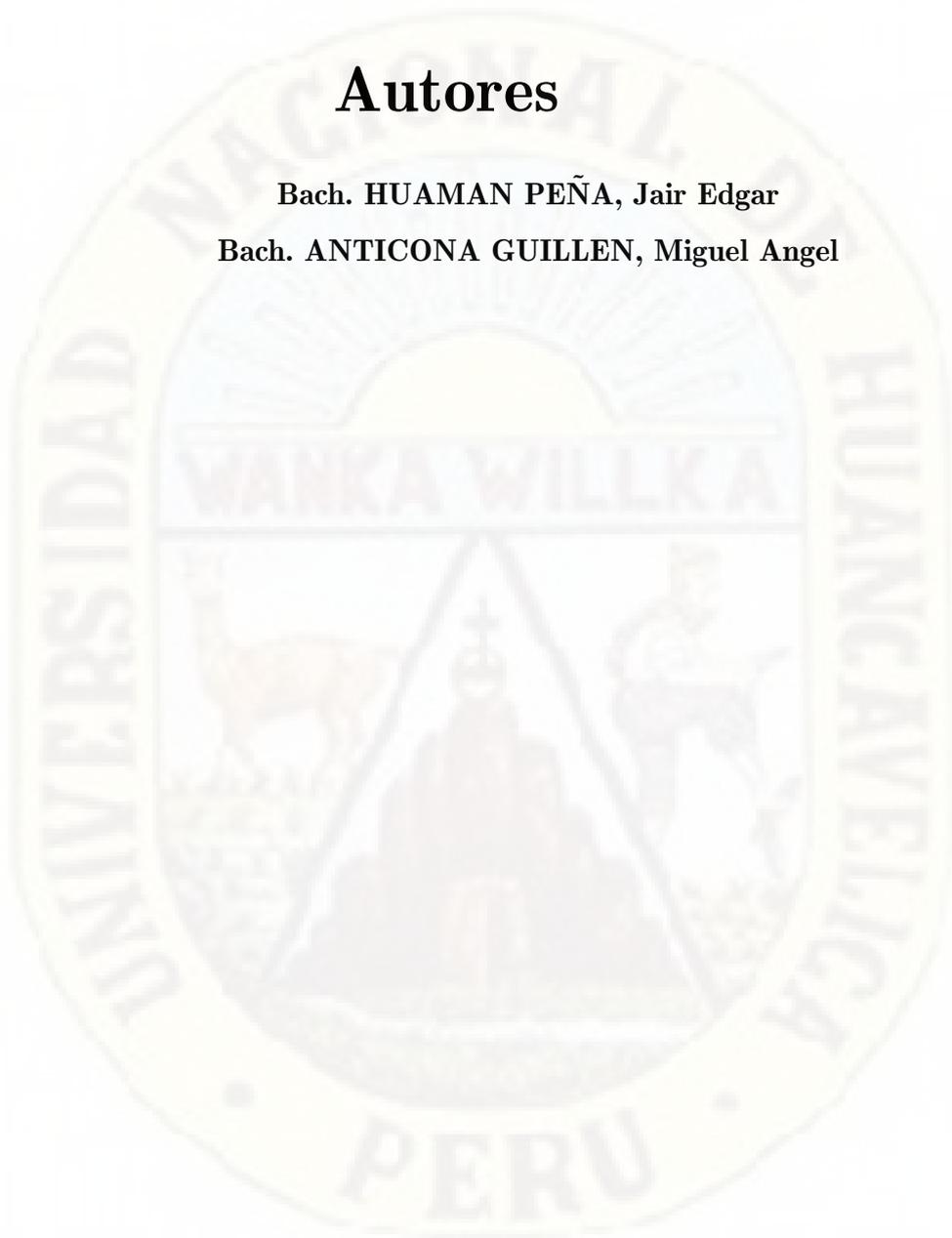
**INFLUENCIA DE HELADAS EN LAS FALLAS DEL TRATAMIENTO
SUPERFICIAL SLURRY SEAL EN EL TRAMO LACHOCC- VILLA DE
ARMA ESTIMADA POR PERCEPCIÓN REMOTA**



Autores

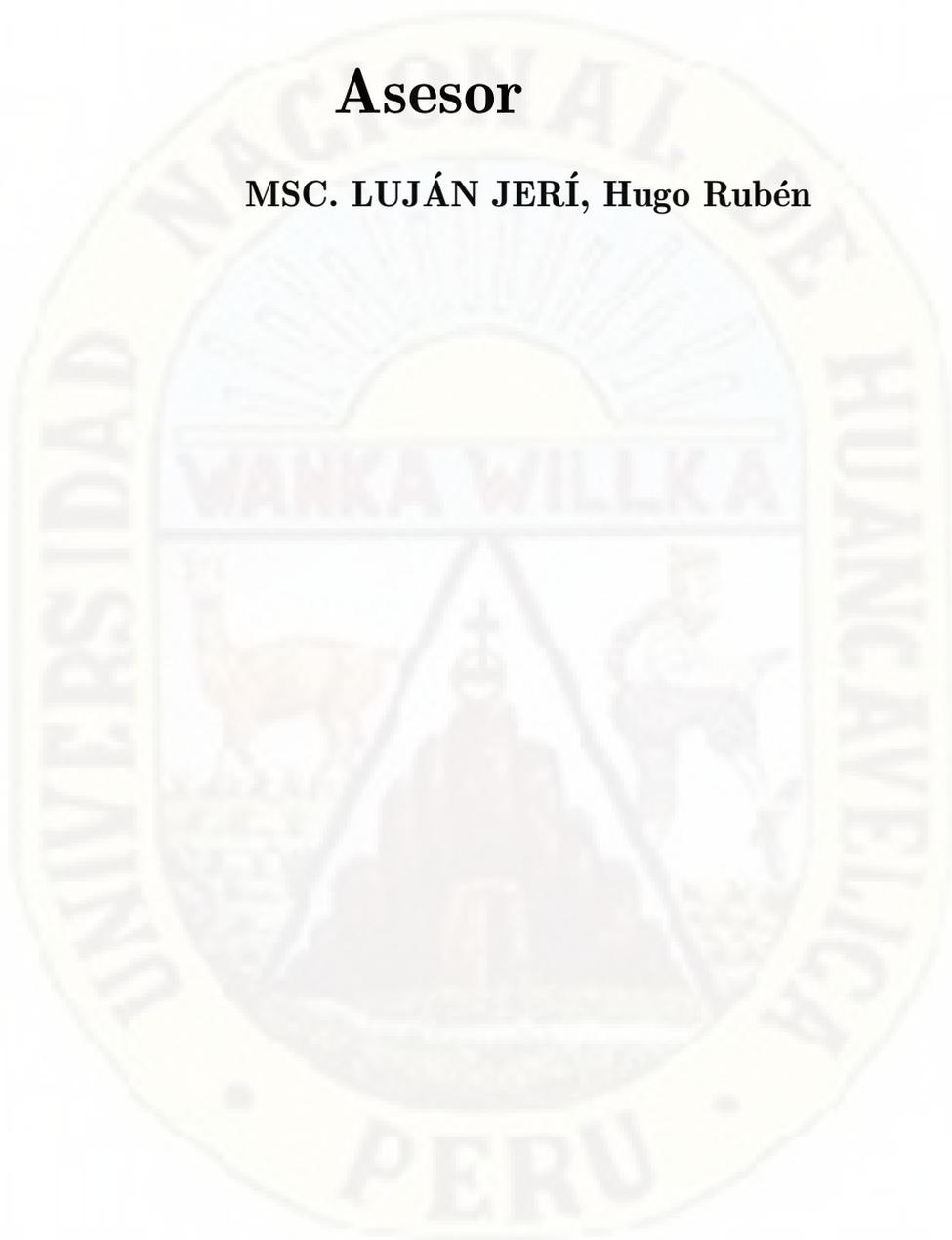
Bach. HUAMAN PEÑA, Jair Edgar

Bach. ANTICONA GUILLEN, Miguel Angel



Asesor

MSC. LUJÁN JERÍ, Hugo Rubén



Dedicatoria

A mis queridos padres: María y Edgar, como una pequeña muestra de retribución en una deuda infinita; a mis hermanos por su apoyo incondicional y a la gran Mariana, por ser mi razón.

Jair Edgar Huaman Peña

A mi Dios, quien guía mi camino día a día, a mis queridos padres quienes me dieron la vida; a mis hermanos por su apoyo constante y a mi esposa e hijo Gareth, ya que sin ellos no hubiese logrado ser todo lo que soy ahora.

Miguel Angel Anticona Guillen

Agradecimientos

A Dios, por darnos la vida, por darnos la salud, por iluminar nuestros caminos y por darnos la oportunidad de seguir escalando en la consecución de nuestras metas.

A los docentes de la Universidad Nacional de Huancavelica de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica por compartir sus conocimientos, experiencias y gratos momentos durante nuestra etapa de formación profesional.

A nuestro asesor de tesis, Msc. Luján Jerí Hugo Rubén, excelente persona y profesional, quien a pesar de sus muchas ocupaciones, confió e impulsó esta investigación.

A nuestros padres y familiares , por su apoyo incondicional.

A nuestros amigos y todas las personas que estuvieron durante el proceso de formación y desarrollo de esta tesis, a todos ellos. ¡Muchas Gracias!

Índice general

| | |
|--|----------|
| Dedicatoria | VI |
| Agradecimientos | VII |
| Índice general | VIII |
| Índice de tablas | XIII |
| Índice de figuras | XV |
| Resumen | XVIII |
| Abstract | XX |
| Introducción | XXII |
| 1. CAPÍTULO I : PROBLEMA | 1 |
| 1.1. Planteamiento del problema. | 1 |
| 1.2. Formulación del problema. | 2 |
| 1.2.1. Problema general | 2 |
| 1.2.2. Problemas específicos | 3 |
| 1.3. Objetivos | 3 |
| 1.3.1. Objetivo general | 3 |
| 1.3.2. Objetivo específico | 3 |
| 1.4. Justificación | 3 |
| 1.4.1. Justificación teórica | 3 |
| 1.4.2. Justificación práctica | 4 |
| 2. CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1. Antecedentes | 5 |
| 2.1.1. Internacional | 5 |
| 2.1.2. Nacional | 7 |

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|----------|---|----|
| 2.1.3. | Local | 7 |
| 2.2. | Bases teóricas | 8 |
| 2.2.1. | Heladas | 8 |
| 2.2.1.1. | Clasificación de las Heladas | 9 |
| 2.2.1.2. | Elementos meteorológicos que infuyen en la formación de heladas. | 9 |
| 2.2.1.3. | Temperatura. | 10 |
| 2.2.2. | Pavimentos | 11 |
| 2.2.2.1. | Tipos de pavimentos | 12 |
| 2.2.2.2. | Tratamiento superficial | 13 |
| 2.2.2.3. | Tratamiento superficial slurry seal | 14 |
| 2.2.2.4. | Materiales empleados en el slurry seal | 16 |
| 2.2.2.5. | Aplicación del slurry seal | 17 |
| 2.2.3. | Tipos de fallas en pavimentos flexibles | 18 |
| 2.2.3.1. | Mecanismos de deterioro | 18 |
| 2.2.3.2. | Clasificación de los deterioros o fallas | 20 |
| 2.2.3.3. | Niveles de servicio | 22 |
| 2.2.4. | Metodología PCI | 23 |
| 2.2.4.1. | Índice de condición de pavimento PCI | 24 |
| 2.2.4.2. | Unidades de muestreo | 25 |
| 2.2.4.3. | Tipos de fallas superficiales en pavimentos asfálticos. | 26 |
| 2.2.5. | Sensoramiento remoto | 46 |
| 2.2.5.1. | Definición de sensoramiento remoto | 46 |
| 2.2.5.2. | Resolución de sensores | 47 |
| 2.2.5.3. | Producto MOD11A2 - MODIS | 49 |
| 2.2.5.4. | Temperatura de superficie terrestre (Land Surface temperature - LST) | 50 |
| 2.2.5.5. | PISCO temperatura (PISCOt v1.1) | 52 |
| 2.2.5.6. | Imputación de datos faltantes | 54 |
| 2.2.5.7. | Índice de heladas | 56 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.3. | Hipótesis | 57 |
| 2.3.1. | Hipótesis general | 57 |
| 2.3.2. | Hipótesis específica | 57 |
| 2.4. | Definición De términos | 57 |
| 2.5. | Definición operativa de variables. | 60 |
| 2.5.1. | Variable independiente. | 60 |
| 2.5.2. | Variable dependiente | 61 |
| 2.6. | Operacionalización de variables | 61 |
| 3. | CAPÍTULO III : MATERIALES Y MÉTODOS | 62 |
| 3.1. | Ámbito de temporal y espacial | 62 |
| 3.1.1. | Ámbito temporal | 62 |
| 3.1.2. | Ámbito espacial | 62 |
| 3.1.2.1. | Ubicación política a la zona de estudio | 62 |
| 3.2. | Tipo de investigación | 64 |
| 3.3. | Nivel de investigación | 64 |
| 3.4. | Método de investigación | 64 |
| 3.5. | Diseño de investigación. | 64 |
| 3.6. | Población, muestra, muestreo. | 65 |
| 3.6.1. | Población | 65 |
| 3.6.2. | Muestra | 65 |
| 3.6.3. | Muestreo | 65 |
| 3.7. | Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 65 |
| 3.7.1. | Técnicas | 65 |
| 3.7.1.1. | La observación | 66 |
| 3.7.1.2. | La medición | 66 |
| 3.7.1.3. | La descripción | 66 |
| 3.7.2. | Instrumentos | 66 |
| 3.7.2.1. | Instrumentos de observación | 67 |
| 3.7.2.2. | Instrumentos de medición | 67 |
| 3.7.2.3. | Instrumentos de descripción | 67 |
| 3.7.3. | Procedimiento de recolección de datos | 67 |

| | |
|---|------------|
| 3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos. | 68 |
| 3.8.1. Técnicas de procesamiento | 68 |
| 3.8.2. Análisis de datos | 71 |
| 3.9. Esquema metodológico. | 71 |
| 4. CAPÍTULO IV : PRESENTACIÓN DE RESULTADOS | 73 |
| 4.1. Análisis de información | 73 |
| 4.1.1. Área de estudio | 73 |
| 4.1.2. Características geométricas de la vía | 75 |
| 4.1.3. Generación de unidades de estudio a partir del producto Modis11a2 | 77 |
| 4.1.4. Proceso de recolección de datos | 82 |
| 4.1.5. Índice de condición de pavimento | 83 |
| 4.1.6. Ubicación de estaciones metereológicas. | 97 |
| 4.1.7. Información de sensores remotos | 104 |
| 4.1.8. Índice de heladas | 114 |
| 4.2. Estadística inferencial | 120 |
| 4.2.1. Prueba de normalidad | 120 |
| 4.2.1.1. Prueba de Shapiro-Wilk | 120 |
| 4.2.2. Prueba de hipótesis | 133 |
| 4.3. Discusión de resultados | 138 |
| Conclusiones | 140 |
| Recomendaciones | 141 |
| Referencias | 142 |
| Anexos | 145 |
| Anexo A: Registro de daños superficiales | 146 |
| Anexo B: Cálculo del índice de condición superficial del pavimento | 157 |
| Anexo C: Curvas para determinar el VD y VDC | 171 |
| Anexo D: Formato para recolección de datos de campo | 183 |
| Anexo E: Planos | 185 |
| Anexo F: Índice de heladas a escala mensual-2016 | 189 |
| Anexo G: Índice de heladas a escala mensual-2017 | 191 |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----|
| Anexo H: Índice de heladas a escala mensual-2018 | 193 |
| Anexo I: Imagen MOD11A2 LST night re proyectado | 195 |
| Anexo J: Imagen MOD11A2 LST night re proyectado recortado en ámbito de estudio | 196 |
| Anexo K: Imagen del producto PISCOt en ámbito nacional | 197 |
| Anexo L: Imagen del producto PISCOt recortado en ámbito de estudio | 198 |
| Anexo M: Completacion de datos de Pixeles correspondientes a fallas | 199 |
| Anexo N: Matriz de correlaciones cruzadas en Pixeles correspondien- tes a fallas | 200 |
| Anexo O: Panel fotográfico | 201 |
| Anexo P: Certificado de originalidad turnitin | 208 |
| Anexo Q: Certificado de lingüística | 209 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| 2.1. Funciones del slurry seal | 15 |
| 2.2. Deterioro en pavimentos asfaltados | 22 |
| 2.3. Niveles de servicio para calzada (tratamiento superficial) | 23 |
| 2.4. Rango de clasificación - metodología PCI | 25 |
| 2.5. Tipos de fallas superficiales | 26 |
| 2.5. Tipos de fallas superficiales | 27 |
| 2.6. Valor deducido - piel de cocodrillo | 28 |
| 2.7. Valor deducido - exudación | 29 |
| 2.8. Valor deducido - agrietamiento en bloque | 30 |
| 2.9. Valor deducido - abultamiento y hundimientos | 31 |
| 2.10. Valor deducido - corrugación | 32 |
| 2.11. Valor deducido - depresión | 32 |
| 2.12. Valor deducido - grieta de borde | 33 |
| 2.13. Valor deducido - Grieta de reflexión de junta | 35 |
| 2.14. Valor deducido - desnivel carril/berma | 36 |
| 2.15. Valor deducido - grietas longitudinales/transversales | 37 |
| 2.16. Valor deducido - parcheo | 38 |
| 2.17. Valor deducido - agregado pulido | 39 |
| 2.18. Nivel de seguridad para baches | 39 |
| 2.19. Valor deducido - huecos | 40 |
| 2.20. Valor deducido - cruce de la vía férrea | 41 |
| 2.21. Valor deducido - ahuellamiento | 41 |
| 2.22. Valor deducido - desplazamiento | 42 |
| 2.23. Valor deducido - grieta parabólica | 43 |

| | |
|--|-----|
| 2.24. Valor deducido - hinchamiento | 44 |
| 2.25. Valor deducido - desprendimiento de agregados | 45 |
| 2.26. resúmen del producto MOD11A2 | 49 |
| 2.26. resúmen del producto MOD11A2 | 50 |
| 2.27. resúmen de bandas empleadas del producto MOD11A2.V6 | 51 |
| 2.28. resúmen de la información de sensores remotos | 52 |
| 2.29. Operacionalización de variables. | 61 |
| 2.29. Fuente: elaboración propia | 61 |
| 3.1. Valores del coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) | 69 |
| 4.1. ubicación del centro poblado de Lachoc | 74 |
| 4.1. ubicación del centro poblado de Lachoc | 75 |
| 4.2. ubicación de la ciudad de Villa de Arma | 75 |
| 4.3. Características geométricas de la vía | 76 |
| 4.4. daños focalizados en la carretera | 78 |
| 4.4. daños focalizados en la carretera | 79 |
| 4.4. daños focalizados en la carretera | 80 |
| 4.5. Pixeles de estudio | 81 |
| 4.6. área de influencia y unidades de muestra por pixeles | 82 |
| 4.6. área de influencia y unidades de muestra por pixeles | 83 |
| 4.7. índice de condición de pavimento por pixeles de estudio | 96 |
| 4.7. índice de condición de pavimento por pixeles de estudio | 97 |
| 4.8. resúmen de estaciones meteorológicas en zona de intervención | 97 |
| 4.9. índice de heladas correspondiente al Año 2016 en falla-pixel | 115 |
| 4.9. índice de heladas correspondiente al Año 2016 en falla-pixel | 116 |
| 4.10. índice de heladas correspondiente al Año 2017 en falla-pixel | 116 |
| 4.10. índice de heladas correspondiente al Año 2017 en falla-pixel | 117 |
| 4.11. índice de heladas correspondiente al Año 2018 en falla-pixel | 117 |
| 4.11. índice de heladas correspondiente al Año 2018 en falla-pixel | 118 |
| 4.12. índice de heladas correspondiente al período de análisis falla-pixel | 118 |
| 4.12. índice de heladas correspondiente al período de análisis falla-pixel | 119 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| 2.1. Cápas típicas de un pavimento | 13 |
| 2.2. Tipos de slurry seal | 15 |
| 2.3. Máquina para riego de slurry seal | 18 |
| 2.4. Causas que originan el deterioro en pavimentos | 19 |
| 2.5. Escala para el índice de condición de pavimento | 24 |
| 2.6. Unidades de muestreo | 26 |
| 2.7. Diferentes materiales reflejan y absorben diferentes radiaciones electromagnéticas. Debido a esto, pueden ser detectadas por un sensor y determinar el tipo de material del que se refleja. | 47 |
| 2.8. Resolución espacial | 48 |
| 2.9. Resolución temporal | 48 |
| 2.10. MOD11A2.006 Terra Land Surface Temperature | 51 |
| 2.11. Distribución espacial de estaciones de Tx y Tn disponibles (684, anaranjado) y usadas (178, negro) para la construcción de PIS- COt v1.1. | 53 |
| 2.12. Distribución espacial de estaciones de Tx y Tn disponibles (684, anaranjado) y usadas (178, negro) para la construcción de PIS- COt v1.1. | 54 |
| 2.13. el área sombreada representa el índice de heladas correspondien- te al período invernal | 57 |
| 3.1. Ubicación geográfica del ámbito de estudio | 63 |
| 3.2. Carretera Lachocc - Villa de Arma | 63 |
| 3.3. Esquema metodológico de la investigación | 72 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| 4.1. ubicación y localización geográfica del ámbito de estudio | 74 |
| 4.2. geometría de la vía | 76 |
| 4.3. perfil longitudinal del tramo Lachocc - Villa de Arma | 77 |
| 4.4. exploración de daños superficiales en la carretera | 78 |
| 4.5. distribución espacial de los pixeles de estudio | 80 |
| 4.6. series PCI para unidades de muestra del pixel 1 | 84 |
| 4.7. series PCI para unidades de muestra del pixel 2 | 85 |
| 4.8. series PCI para unidades de muestra del pixel 3 | 85 |
| 4.9. series PCI para unidades de muestra del pixel 4 | 86 |
| 4.10. series PCI para unidades de muestra del pixel 5 | 86 |
| 4.11. series PCI para unidades de muestra del pixel 6 | 87 |
| 4.12. series PCI para unidades de muestra del pixel 7 | 87 |
| 4.13. series PCI para unidades de muestra del pixel 8 | 88 |
| 4.14. series PCI para unidades de muestra del pixel 9 | 88 |
| 4.15. series PCI para unidades de muestra del pixel 10 | 89 |
| 4.16. series PCI para unidades de muestra del pixel 11 | 89 |
| 4.17. series PCI para unidades de muestra del pixel 12 | 90 |
| 4.18. series PCI para unidades de muestra del pixel 13 | 90 |
| 4.19. series PCI para unidades de muestra del pixel 14 | 91 |
| 4.20. series PCI para unidades de muestra del pixel 15 | 91 |
| 4.21. series PCI para unidades de muestra del pixel 16 | 92 |
| 4.22. series PCI para unidades de muestra del pixel 17 | 92 |
| 4.23. series PCI para unidades de muestra del pixel 18 | 93 |
| 4.24. series PCI para unidades de muestra del pixel 19 | 93 |
| 4.25. series PCI para unidades de muestra del pixel 20 | 94 |
| 4.26. series PCI para unidades de muestra del pixel 21 | 94 |
| 4.27. series PCI para unidades de muestra del pixel 22 | 95 |
| 4.28. series PCI para unidades de muestra del pixel 23 | 95 |
| 4.29. distribución espacial de estaciones meteorológicas | 98 |
| 4.30. registro de temperatura mínima en estación Cachimayo | 99 |
| 4.31. escala de temperatura mínima en estación Cachimayo | 99 |

| | |
|---|-----|
| 4.32. escala de temperatura mínima en estación Lachocc | 100 |
| 4.33. registro de temperatura mínima en estación Lachocc | 101 |
| 4.34. registro de temperatura mínima en estación Cochamarca | 101 |
| 4.35. escala de temperatura mínima en estación Cochamarca | 102 |
| 4.36. escala de temperatura mínima en estación Huachos | 103 |
| 4.37. registro de temperatura mínima en estación Huachos | 103 |
| 4.38. producto PISCOt en ámbito espacial | 106 |
| 4.39. producto MOD11A2-LST en ámbito espacial | 106 |
| 4.40. serie temporal a partir de producto PISCOt | 107 |
| 4.41. serie de tiempo sin tratamiento en pixeles - estaciones | 108 |
| 4.42. visualización de datos completados (línea roja) | 108 |
| 4.43. serie temporal estación-píxel mensuales | 109 |
| 4.44. matriz de correlaciones de valores estación-píxel | 110 |
| 4.45. registro de temperatura mínima en estación-píxel Cachimayo | 111 |
| 4.46. Estación Lachocc - Píxel PISCOt | 112 |
| 4.47. Estación Cachimayo - Píxel PISCOt | 112 |
| 4.48. Estación Cachimayo - Píxel MOD11A2 LST Night | 113 |
| 4.49. Estación Lachocc - Píxel MOD11A2 LST Night | 113 |
| 4.50. Serie temporal con regiones faltantes en píxel-fallas | 114 |
| 4.51. Temperatura de Superficie terrestre mensuales - con tratamiento | 115 |
| 4.52. prueba de normalidad para la variable PCI | 123 |
| 4.53. gráficos de normalidad para la variable PCI. | 124 |
| 4.54. prueba de normalidad para la variable IH | 127 |
| 4.55. gráficos de normalidad para la variable IH. | 128 |
| 4.56. transformación de Johnson IH | 132 |
| 4.57. normalidad para la variable IH. | 132 |
| 4.58. variables de estudio | 135 |
| 4.59. análisis de varianza de los modelos de regresión | 135 |
| 4.60. modelos de regresión | 136 |
| 4.61. diagnósticos para el modelo de regresión de tercer orden | 137 |

Resumen

La presente investigación se desarrolló en el departamento de Huancavelica; el cual centra su estudio en la incidencia de heladas en el deterioro de la carretera nacional P26, tramo específico: centro poblado de Lachocc - ciudad Villa de Arma; ubicados en las provincias de Huancavelica y Castrovirreyna.

El objetivo de la investigación comprende estimar las temperaturas mínimas a partir del satélite MODIS y el producto PISCOt.V1 a escala mensual; siendo comparadas y corregidas con el registro de cuatro estaciones meteorológicas cercanas, el SENAMHI y estaciones administradas por la Universidad Nacional de Huancavelica (Lachocc y Cachimayo), para la complementación de datos se usó el método de Cuttof. siendo los estadísticos de desempeño el error cuadrático medio (RMSE), estadístico de Nash Sutcliffe (NSE), coeficiente de determinación (R^2) y coeficiente de correlación (r).

Teniendo las temperaturas mínimas generadas, se procede al trabajo de campo, donde se realizó el levantamiento de fallas funcionales en la carretera de estudio; identificando el tipo de falla y severidad de acuerdo con la metodología PCI, la cual se encuentra detallado bajo la norma ASTM D6433-03 (Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos).

En cuanto al análisis estadístico, se utilizó un ANOVA, con la prueba prueba F de Fisher a un nivel de confianza del 95%; el cual muestra un valor de $Pr > F$ igual a 0.04743, este valor es inferior al 5% de significancia, por lo se afirma que cualquier variación en el índice de helada causará un nivel de deterioro en el tratamiento superficial Slurry Seal de la carretera Nacional P-26, Tramo Lachocc-Villa de Arma; Siendo la ecuación

de causalidad definida como: $PCI = 70.055 + 8.858IH + 8.809IH^2 - 6.575IH^3$.

Palabras claves : MODIS, PISCOt.V1, percepción remota, temperaturas mínimas, índice de heladas e índice de condición de pavimento.



Abstract

This research was developed in the department of Huancavelica; which focuses its study on the incidence of frost in the deterioration of the P26 national highway, specific section: Lachocc town center - Villa de arma city; located in the provinces of Huancavelica and Castrovirreyna.

The objective of the research includes estimating the minimum temperatures from the MODIS satellite and the PISCOt.V1 product on a monthly scale; being compared and corrected with the record of four nearby meteorological stations, SENAMHI and stations administered by the National University of Huancavelica (Lachocc and Cachimayo), for the complementation of data the Cutoff method was used. the performance statistics being the mean square error (RMSE), the Nash Sutcliffe statistic (NSE), the coefficient of determination (R2) and the correlation coefficient (r).

Taking the minimum temperatures generated, we proceed to field work, where the survey of functional faults in the study road was carried out; identifying the type of failure and severity according to the PCI methodology, which is detailed under the ASTM D6433-03 standard (Standard procedure for the inspection of the pavement condition index on roads and parking lots).

Regarding the statistical analysis, an ANOVA was used, with Fisher's F test at a confidence level of 95 %; which shows a value of $Pr > F$ equal to 0.04743, this value is less than 5 % of significance, so it is stated that any variation in the frost index will cause a level of deterioration in the Slurry Seal surface treatment of the road. National P-26, Lachocc-Villa de Arma section; Being the causality equation defined as: $PCI = 70.055 + 8.858IH + 8.809IH^2 - 6.575IH^3$.

keywords : MODIS, PISCOt.V1, remote sensing, minimum temperatures, frozen index and pavement condition index.



Introducción

La infraestructura vial es un componente de gran importancia dentro del país, ya que tiene vinculación directa con el desarrollo social y económico, pues permite la comunicación e interrelación entre centros poblados, transporte de bienes y servicios, y es parte fundamental en el desarrollo de nuestra nación.

El presente trabajo de investigación es el resultado del procesamiento de datos climatológicos remotos, a partir del satélite MODIS, el producto PIS-COt.V1 y la aplicación de la metodología PCI en el diagnóstico del tratamiento superficial del tramo Lachocc - Villa de Arma; ubicados en las provincias de Huancavelica y Castrovirreyna.

El reciente avance y desarrollo de modelos computacionales y su aplicación en el campo de la predicción y estimación en diversas áreas de la ciencia, ha incrementado la implementación de herramientas para resolver problemas y aproximar magnitudes desconocidas. Actualmente los satélites y radares meteorológicos han puesto a disposición datos de temperaturas a nivel de superficie terrestre; sin embargo, la incertidumbre de la estimación de temperaturas se incrementa con la disminución de estaciones meteorológicas, especialmente para eventos locales; resultando de importancia poder evaluar el nivel de confianza en estaciones sintéticas (remotas) como variable de entrada. En el presente trabajo se realiza la incidencia de las heladas en las fallas superficiales de la carretera Lachocc - Villa de Arma; obteniéndose los datos de temperatura por percepción remota, mientras que los datos de fallas superficiales fueron observados y levantados mediante la metodología PCI, la cual se encuentra detallado bajo la norma ASTM D6433-03 (Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos).

La elección del tema de investigación resulta importante, porque la distribución espacial y temporal de las temperaturas a escala regional es necesaria para una variedad de usos científicos y aplicaciones sociales tales como estudios y diagnósticos climáticos, siendo este último influyente en el deterioro de pavimentos asfálticos en nuestra región; donde la densidad baja de estaciones meteorológicas es una problemática.

Para una mejor comprensión de la tesis, a continuación se detalla el contenido de cada capítulo:

- Capítulo uno: Problema.- Contiene la descripción de la problemática, formulación del problema, justificación de la investigación.
- Capítulo dos: Marco teórico.- Contiene los antecedentes de la investigación, se desarrolla la fundamentación teórica de la tesis; así como la información concerniente a los sensores remotos y la metodología PCI.
- Capítulo tres: Metodología.- corresponde al ámbito temporal y espacial de la investigación, identificación de la población, muestra de estudio, técnicas e instrumentos de recolección, procesamiento de datos, y la metodología para llegar al objetivo de la investigación.
- Capítulo cuatro: Análisis y resultado de la investigación.- Se presentan resultados del análisis exploratorio de la información de sensores remotos y daños superficiales registrados en el tramo de estudio; finalmente se presenta los resultados pertinentes al tema de investigación.
- Conclusiones y recomendaciones.- Se presenta las conclusiones y recomendaciones de la investigación, en relación a los objetivos establecidos.
- Anexos: Contiene los resultados, datos, gráficos y tabulares documentados.

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema.

El pésimo estado de las carreteras que dan acceso a la ciudad de Huancavelica, tienen vinculación directa con el desarrollo social y económico de nuestra región. En el Perú, el sector transporte establece dar prioridad a la conservación de la infraestructura vial; mejorando la transitabilidad y el nivel de servicio; pero la realidad no es grata en nuestro entorno, debido a que nuestras carreteras están muy deterioradas e inundadas de fisuras, baches, pérdida del ligante bituminoso, hundimientos, etc., como principales daños frecuentes; además de ocasionar siniestros.

De la problemática invocada, corresponde analizar un enfoque específico, de carácter local; siendo el fenómeno de heladas, una variable común y frecuente en el departamento de Huancavelica; donde la temperatura posee alta variabilidad espacial y temporal, debido principalmente a las condiciones topográficas. Adicionando a ello la baja densidad de estaciones de monitoreo que proporcionan una escasa fuente de representación espacial. Por tanto, es una alternativa evaluar esta variable a partir de sensores remotos en diferentes escalas espaciotemporales.

A nivel mundial, (Bagdonas, Georg y Kerber, 1978) mencionaron que, los daños por helada pueden producirse casi en cualquier localidad, donde la temperatura desciende por debajo del punto de fusión del agua (0 °C). La cantidad de daño depende de la sensibilidad del pavimento a la congelación en

1.2. Formulación del problema.

el momento de producirse el evento y del tiempo que la temperatura está por debajo de la temperatura crítica de daño.

(Pszczola y Judyck, 2016) presentaron: el análisis de las temperaturas del pavimento de las estaciones meteorológicas ubicadas en las carreteras nacionales de Polonia durante el impacto de las heladas, donde se identificaron que las heladas generan grietas en el pavimento asfáltico bajo la influencia de bajas temperaturas.

En la presente investigación nos enfocamos en analizar el tramo: Lachocc-Villa de Arma, porque se visualizan agrietamientos a nivel de la superficie de rodadura, huecos, perdidas de plataforma, depresiones, hundimientos como daños frecuentes. Por lo que, el mal estado de la vía es causa importante de percances al volante y de desperfectos en el automóvil. La presencia de daños superficiales aumentan el riesgo de sufrir: la pérdida de control del vehículo, mayor fatiga del conductor e incrementan la posibilidad de siniestros. En general, en nuestra región se observa tramos de vía en malas condiciones que conllevan hacia accidentes fatales con pérdidas económicas y sobre todo pérdidas humanas.

En Perú, principalmente las heladas afectan las zonas alto andinas, desde: junio a setiembre, donde se registran con mayor incidencia bajas temperaturas y heladas en los departamentos de: Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Lima, Cuzco, Huancavelica, Moquegua, Pasco, Puno y Tacna.(MTC, 2014)

Ante esta problemática, es necesario realizar una investigación detallada lo que nos permitió formular la siguiente pregunta:

1.2. Formulación del problema.

1.2.1. Problema general

- ¿De qué manera influye las heladas en las fallas del tratamiento superficial slurry seal en el tramo Lachocc-Villa de Arma estimada por percepción remota?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera influye la temperatura bajo 0°C, en las fallas del tratamiento superficial slurry seal en el tramo Lachocc-Villa de Arma estimada por percepción remota?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar la influencia de las heladas en las fallas del tratamiento superficial slurry seal en el tramo Lachocc-Villa de Arma estimada por percepción remota.

1.3.2. Objetivo específico

- Determinar la influencia de la temperatura bajo 0°C, en las fallas del tratamiento superficial slurry seal en el tramo Lachocc-Villa de Arma estimada por percepción remota.

1.4. Justificación

La presente investigación, encontró su justificación en los siguientes niveles proposicionales:

1.4.1. Justificación teórica

Se realizó con el propósito de contribuir y aportar conocimiento en el uso de sensores remotos, como método indirecto, en la estimación del fenómeno de las heladas y su influencia en carreteras altoandinas. Siendo la finalidad, contribuir a mejores resultados, en los diseños que se realizarán en este tipo de carreteras.

1.4.2. Justificación práctica

Se realizó, porque existe la necesidad de información meteorológica, siendo ausentes estaciones físicas en la zona de estudio; Se planteó el uso de información remota. Estos resultados contribuirán y aportarán con los registros de daños prematuros por acción de heladas, en tratamientos superficiales (slurry seal); permitiendo prolongar la vida de tratamientos superficiales, a través de programas, enfocados a mantenimientos periódicos.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Entre las investigaciones, estudios y trabajos consultadas con relación al problema formulado. Aquí presentamos varios proyectos efectuados en los últimos años, cada uno con aportes valiosos.

2.1.1. Internacional

(Remisova et al., 2015), en su artículo de investigación titulado: “*Frost Index from Aspect of Design of Pavement Construction in Slovakia (Índice de heladas de un aspecto del diseño de la construcción de pavimentos en Eslovaquia)*”, donde se trabajó con una población de temperaturas comprendidas entre los años: 1971 a 2011, llegando a la siguiente conclusión:

- Las características climáticas como la temperatura media diaria del aire, la temperatura media anual y el índice de heladas (durante el período de invierno) son datos de entrada relevantes para el dimensionamiento del pavimento de la carretera (diseño y análisis basado en la resistencia térmica). Su determinación precisa es muy importante. La calidad de los materiales y la calidad de la producción determinan el rendimiento, la durabilidad y la capacidad de servicio a largo plazo de los pavimentos.

(Pszczola y Judyck, 2016), presentaron el siguiente artículo de investigación titulado: “*Evaluation of pavement temperatures in poland during winter*”

conditions (Evaluación de las temperaturas del pavimento en polonia durante las condiciones invernales)”, en la cual se trabajó con una población de 18 estaciones meteorológicas, llegando a la siguiente conclusión:

- La evaluación de las temperaturas del pavimento durante las condiciones invernales es de gran importancia para evaluar la resistencia de capas de asfalto a baja temperatura de craqueo. Se analizaron los datos disponibles de 18 estaciones meteorológicas ubicadas en las carreteras nacionales de Polonia con diferentes períodos de medición. El período más largo analizado fue de 2003 a 2013. Para los datos disponibles, se determinaron las temperaturas mínimas del pavimento en la superficie, la distribución de la temperatura a una profundidad de las estructuras del pavimento, la duración de las bajas temperaturas y la velocidad de enfriamiento.

(Teltayev y Suppes, 2018), presentaron el siguiente artículo de investigación titulado: “*Temperature in pavement and subgrade and its effect on moisture (Temperatura en pavimento y subrasante y su efecto sobre la humedad)*”, la población de estudio comprendió 75 km de la carretera Oskemen-Zyryyanovsk, llegando a las siguientes conclusiones:

- La variación de la temperatura en la superficie y en los puntos del pavimento de asfalto de hormigón coincide con la variación de la temperatura del aire cualitativamente y tiene ciclos diarios, cuasi - mesesz anuales. La armonía diaria desaparece en las profundidades medias (30-100 cm), solo Los ciclos cuasi - mesesz anuales permanecen, y la temperatura varía en profundidades mayores (140 cm y más) solo en el ciclo anual.
- La temperatura en la profundidad de la subrasante se distribuye de manera casi uniforme durante un largo período de tiempo (desde mediados de septiembre hasta principios de abril). Sin embargo, las isócronas de temperatura se transfieren hacia bajas temperaturas, con una disminución gradual de la temperatura desde la parte superior hacia abajo. El

cambio en la parte superior de la subrasante es mayor que en la parte inferior, es decir, el rango y la tasa de variación de la temperatura disminuyen con la profundidad.

2.1.2. Nacional

(Blas, 2013), realizó la investigación: “*Influencia de la temperatura ambiental en la resistencia de la sub-base y base granular de pavimentos en el distrito de El Tambo*”, en la Universidad Nacional del Centro del Perú, cuya población estuvo conformada por 26 obras de pavimentación, llegando a las siguientes conclusiones:

- A raíz de los trabajos realizados los resultados apuntan a que mientras mayor tiempo demande la ejecución de la capa granular mayor será la influencia de la temperatura ambiental sobre la resistencia de la capa granular, con un incremento en la temperatura de 8.8°C genera un descenso en la resistencia de 17.03% en promedio en los primeros 5 cm de profundidad en material para sub-base y de 16.34% en material para base, con referencia a la resistencia lograda con el óptimo contenido de humedad.
- La temperatura ambiental tiene una considerable influencia en el contenido de humedad del material de préstamo para las capas granulares, el grado de influencia es directamente proporcional al nivel de exposición del material al medio ambiente, en los primeros 5cm de profundidad del espesor de la capa granular se experimentan descensos de hasta 20.09% en promedio del contenido de humedad inicial.

2.1.3. Local

Cayllahua y Castillo (2013), realizaron la investigación: “*Influencia de la temperatura en el deterioro de la carpeta asfáltica en la carretera nacional tramo Huancavelica - Izcuchaca (PE-26)*”, en la Universidad Nacional de Huancavelica, llegando a las siguientes conclusiones:

- Se concluye sobre las variables estudiadas, que lo más importante es el gradiente térmico observado en los tres tramos de la carretera nacional tramo: Huancavelica-Izcuchaca (PE-26), sin embargo, se considera también como importantes en el desempeño de las carpetas asfálticas, el proporcionamiento de las mezclas bituminosas y las propiedades de asfalto (penetración, punto de ablandamiento e índice de penetración), como una forma indirecta de acercamiento al módulo de rigidez del asfalto a bajas temperaturas, en ausencia de tecnologías y equipos en el medio para la medición directa como lo propone las especificaciones SHRP.
- El modelo desarrollado representa el comportamiento del pavimento ante la condición del gradiente térmico en un determinado periodo de tiempo, expresado como proporción de daño y ello representa la cuantificación del gradiente térmico en el nivel de esfuerzos y deformaciones de carpetas asfálticas en la zona de estudio.
- De acuerdo con el modelo ensayado, el mecanismo de agrietamiento por baja temperatura tiene poca probabilidad de ocurrencia. En ninguno de los tres tramos estudiados los esfuerzos máximos de tracción superaron las resistencias de las mezclas asfálticas utilizadas. Por lo tanto, el mecanismo de agrietamiento por fatiga térmica se considera como la responsable más importante en el deterioro de los pavimentos construidos en la zona de estudio.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Heladas

(Senamhi y FAO, 2010)(p.10), menciona:

Desde el punto de vista meteorológico, se produce una helada cuando la temperatura ambiental desciende a 0°C o menos, en cambio, un enfoque agrometeorológico define a la helada como un descenso de la temperatura ambiente a niveles críticos de los cultivos y que mata los tejidos vegetales.

Asimismo, (Mamani, 2018)(p.5), define :“las heladas son fenómenos climatológicos de descensos de temperatura que afecta a la zona sierra de Perú entre los meses de mayo y septiembre”

La helada es un fenómeno atmosférico que se presenta cuando la temperatura del aire, existente en las cercanías del suelo, desciende por debajo de cero grados. Técnicamente, la palabra helada se refiere a la formación de cristales de hielo sobre las superficies, tanto por congelación del rocío como por un cambio de fase de vapor de agua a hielo. (Gomez, 2010)(p.37).

2.2.1.1. Clasificación de las Heladas

Según el (Senamhi y FAO, 2010)(pp.11-13), describe las siguientes:

- **Por su origen :**

- Heladas de advección: son originadas por la presencia de grandes masas de aire frío procedente de regiones polares. Su desplazamiento va creando distintas formas de tiempo atmosférico.
- Heladas por radiación: se presenta en noches claras y despejadas cuando la radiación terrestre es emitida a la atmosfera por la ausencia de nubes y por la baja concentración de vapor de agua. Se produce también en noches de calma, en ausencia de viento.

- **Por el aspecto visual:**

- Helada negra: los cultivos son dañados y al día siguiente los cultivos presentan una coloración negruzca. Estas heladas causan daños más severos que las blancas.
- Helada blanca: después de ciertas noches claras y despejadas, el césped y plantas bajas presentan una cubierta blanca, constituida por partículas de hielo de apariencia cristalina.

2.2.1.2. Elementos meteorológicos que influyen en la formación de heladas.

Según (Medina et al., 2008)(pg.25-27), mencionaron que los principales elementos que influyen en la formación de heladas son:

- **Viento:** cuando hay corrientes se mezcla el aire frío, que se encuentra cercano al suelo, con el más caliente que está en niveles superiores. Por tanto, una de las condiciones que favorece la ocurrencia de heladas es la ausencia de viento.
- **Temperatura:** es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente. La temperatura disminuye conforme aumenta su distancia a la superficie del suelo. Sin embargo existe una inversión térmica cuando aumenta la elevación, la temperatura es mayor. Esto debido a que las capas de aire son arrastradas por otras descendentes y más frías.
- **Nubosidad:** cuando el cielo esta cubierto por nubes, estas disminuyen la pérdida de calor del suelo por radiacion hacia la atmósfera y devuelven parte de ese calor a la Tierra, evitando con esto la helada.
- **Humedad atmosférica:** cuando disminuye la temperatura a los 0°C o menos, y el viento es escaso, el vapor de agua contenido en el aire, se condensa; si la humedad es abundante, esta produce niebla y cuando tiene poco contenido de humedad, se forma la helada. Por ello una gran humedad atmosférica reduce la probabilidad de ocurrencia de heladas.
- **Radiación solar:** una cantidad de radiación solar es absorbida por la superficie de la tierra y otra es devuelta desde su superficie a la atmósfera. Cuando los dias son mas cortos y las noches mas largas, aumenta la ocurrencia de heladas.

2.2.1.3. Temperatura.

(Valdivia, 1977)(p.24), define a la temperatura como : “la radiación solar que llega a la superficie de la tierra se transforma en calor. El calor se manifiesta por un movimiento vibratorio molecular que se acelera cuando aumenta la temperatura y se desacelera cuando esta disminuye”

Según (Tutiempo, 2019), define como:

- **Variación diurna:** cambio de temperatura entre el día y la noche, producido por la rotación de la Tierra. La temperatura mínima ocurre generalmente poco antes de la salida del Sol.
- **Variación estacional:** esta variación se debe a la inclinación del eje terrestre y el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol. El hemisferio norte es más cálido en los meses de junio, julio y agosto, en tanto que el hemisferio sur recibe más energía solar en diciembre, enero y febrero.
- **Variación con la latitud:** la mayor inclinación de los rayos solares en altas latitudes, hace que estos entreguen menor energía solar sobre estas regiones, siendo mínima dicha entrega en los polos. En tanto que sobre el Ecuador los rayos solares llegan perpendiculares, siendo allí máxima la entrega energética.
- **Variación con la altura:** a través de la primera parte de la atmósfera, llamada troposfera, la temperatura decrece con la altura. Este decrecimiento se define como gradiente vertical de temperatura y es en promedio de $6,5^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$.

La variación de temperatura se define como uno de los factores más importantes en cuanto al proceso de adaptación, desarrollo, y evolución de toda forma de vida. Desde el punto de vista de la industria de la construcción la variación de temperatura tiene un rol importante, debido a que en el diseño de obras viales es fundamental analizar a que temperatura va estar expuesta la estructura.

2.2.2. Pavimentos

Puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidos entre el nivel superior de la subrasante y la superficie de rodadura, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme de color y textura apropiados, resistente a la acción

de tránsito, intemperismo y otros agentes perjudiciales; así como de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de modo que esta no se deforme de manera perjudicial. Según (Valenzuela, 1993)

El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general, está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura. De acuerdo al (MTC, 2014)(p.24)

Capa de rodadura: es la parte de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.

Base: es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como función principal de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($\text{CBR} \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento.

Subbase: es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento.

2.2.2.1. Tipos de pavimentos

(Montejo, 2006) menciona que, los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, pavimentos semi rígidos y pavimentos articulados.

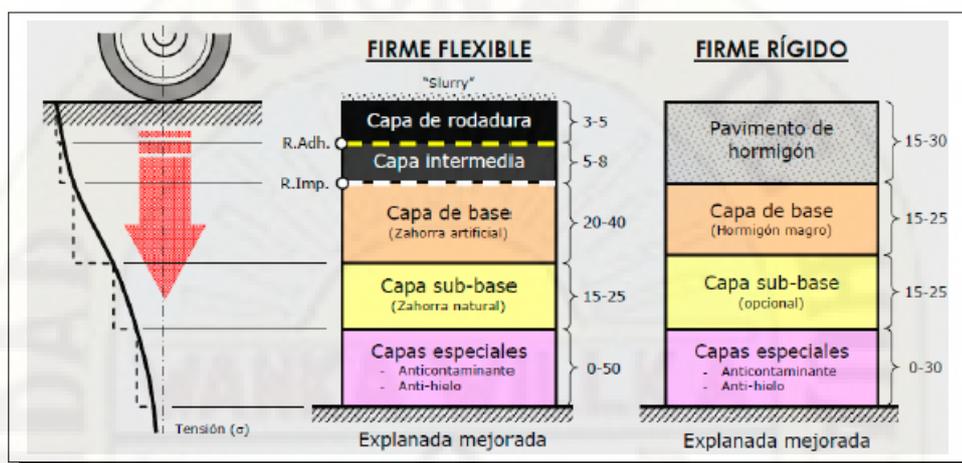
La clasificación de pavimentos esta sujeta a las limitaciones relativas de condición, sin embargo, los pavimentos han sido divididos históricamente en dos tipos:

Pavimentos flexibles: consiste de una carpeta relativamente delgada, construida sobre unas capas (base y subbase), apoyándose este conjunto sobre la

subrasante compactada, de manera que la subbase, base y la carpeta, son los componentes estructurales de este tipo de pavimento.

Pavimentos rígidos: consiste de una losa de concreto hidráulico, una capa base entre la losa y la subrasante compactada.

Figura 2.1: Cápas típicas de un pavimento



Fuente: (Banion y Bevia, 2000)

2.2.2.2. Tratamiento superficial

Según (Banion y Bevia, 2000), define el tratamiento superficial como toda actividad que tiene por objeto brindar al pavimento de determinadas características sin pretender con ello un aumento de resistencia superficial. Clasifica los tratamientos superficiales en función de su composición.

Asimismo el (MTC, 2014)(p.507), indica que: consiste en la colocación de una o más capas de tratamiento superficial (asfalto, agregados y de ser el caso, aditivos) sobre la superficie de una base imprimada o cualquier otra.

(W. Gonzales, 2007) menciona: el tratamiento superficial tiene como principal objetivo mantener las condiciones de servicio del pavimento y su buen estado, alargando así su vida útil. Este término cubre generalmente todas las aplicaciones de asfalto, con o sin agregados a cualquier tipo de camino o superficie de pavimentos flexibles.

Se debe tener en consideración de que este tipo de construcción no incrementa o aporta significativamente la resistencia estructural del pavimento, ni

es una solución definitiva para una determinada carretera. Los tratamientos superficiales protegen las bases afirmadas y mejoran la superficie de rodadura de los caminos afirmados, así mismo sirve para recuperar la superficie de rodadura de pavimentos desgastados o envejecidos, al mismo tiempo que incentiva el desarrollo social y económico de las poblaciones beneficiarias.

2.2.2.3. Tratamiento superficial slurry seal

(Chavez, 2014) define como un mortero asfáltico que consiste de una mezcla de agregados, emulsión asfáltica, filler mineral, agua y aditivos específicos. proporcionados, mezclados y uniformemente esparcidos sobre una superficie preparada adecuadamente. El slurry seal terminado debe presentar un tendido uniforme, una adherencia adecuada con la superficie existente y una textura con resistencia al deslizamiento.

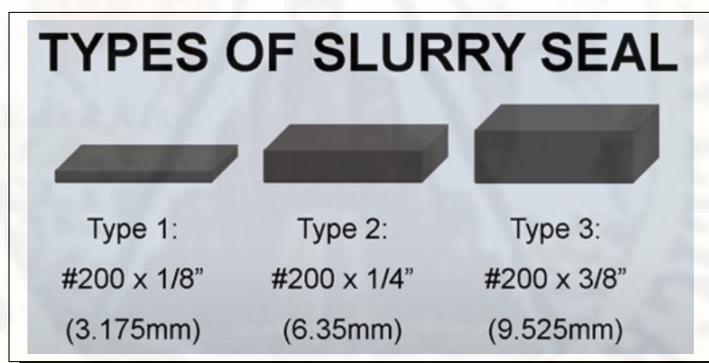
El tratamiento superficial slurry seal, es una técnica de mantenimiento económicamente efectiva para prolongar la vida de servicio del pavimento. Resiste la abrasión del tráfico y provee impermeabilización para la estructura inferior. La figura 2.2 muestra diferentes tipos de slurry seal, estos mismos depende de la granulometría del agregado y del tipo de tráfico al cual estará expuesto. El cuadro 2.1 muestra las funciones principales del slurry seal.

- **Tipo I (superficie fina):** ésta gradación fina dará una aplicación a razón de 3.6 a 5.4 Kg. de agregado seco por metro cuadrado, en un espesor de 1/8" o menos. El contenido normal de residuo asfáltico estará entre 10 y 16 % en peso del agregado seco. La fineza de este tipo de slurry dará una máxima capacidad de penetración en las grietas. Este diseño es usado como capa inicial sobre pavimentos agrietados, que por el alto contenido de asfalto permite una máxima adhesión, la expansión y contracción de las grietas. Este tipo de superficie recomienda espesores muy delgados y en el caso que se requiera mejorar el desgaste superficial, servirá como primera capa en un tratamiento multicapa.
- **Tipo II (superficie general):** ésta gradación dará una aplicación a razón

de 5.4 a 9.1 Kg. por metro cuadrado de agregado seco, en un espesor de 1/4" o menos. El contenido normal de residuo asfáltico estará entre 7.5 y 13.5 % en peso respecto al agregado seco. Este tipo de slurry es el más usado porque es lo bastante fino que penetra dentro de las grietas, y también provee de una superficie de rodadura. Puede usarse en todas las aplicaciones previamente mencionadas cuando la resistencia al desgaste superficial es lo deseado.

- **Tipo III (superficie áspera):** ésta gradación dará una aplicación a razón de 8.2 a 13.6 Kg. por metro cuadrado, en espesores de 3/8" o menos. El contenido de residuo asfáltico normal estará en el rango de 6.5 a 12 % en peso respecto al agregado seco. Este tipo de slurry es usado en superficies de asfalto que estén sujetas a cambios de temperaturas y para tráfico altamente pesado.

Figura 2.2: Tipos de slurry seal



Adaptado de: (RAHA, 2019)

Tabla 2.1: Funciones del slurry seal

| Descripción | Función |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Mantenimiento preventivo | Evitar el desgaste de un buen camino |
| Mantenimiento correctivo | Corregir el desgaste |
| Mantenimiento reactivo | Ofrecer una medida temporal |

Fuente: Elaboración propia

2.2.2.4. Materiales empleados en el slurry seal

- **Asfalto emulsificado:** el material bituminoso empleado en el slurry seal corresponde a una emulsión asfáltica catiónica convencional de rotura lenta del tipo SS1, SS-1h, CSS-1h, COS-1h, la compatibilidad y el tipo de emulsión empleada es un requerimiento necesario para el éxito de los trabajos.
- **Filler mineral:** el empleo del filler mineral dependerá de dos factores básicos: Si es requerido para corregir la curva granulométrica o si su presencia mejora el comportamiento de la mezcla en los ensayos mecánicos. El filler mineral de ser necesario por el diseño de la mezcla se empleará cemento portland, polvo de piedra caliza, cal hidratada o algún otro material de relleno que cumpla con los requisitos necesarios, los cuales cumplirán los objetivos de mejorar la dispersión de partículas de la estructura granular, facilitar la trabajabilidad y ayudar a producir una mezcla más densa, estable, con mayor efectividad impermeabilizante y altamente cohesiva.
- **Agregado:** los agregados (excluyendo los finos minerales) constituyen entre el 82 y el 90 % del peso del slurry seal, estos deben estar triturados, limpios, duros y libres de químicos, y arcillas y otras materias que puedan afectar su adherencia mezclado y colocación. El agregado debe ser limpio, anguloso, durable, bien graduado, y uniforme. De ser posible debiera emplearse material de trituración en un 100 %.
- **Agua:** el agua es el principal factor en la determinación de la consistencia del slurry seal durante su producción y aplicación, formando parte importante en la estabilidad de la mezcla. Dependiendo del porcentaje de humedad que contienen los agregados se determinará la adición de agua como recubrimiento en la mezcla. Generalmente la cantidad de agua a añadirse es de aproximadamente 10 % respecto al peso del agregado seco.
- **Aditivos:** se utiliza entre 0.1 y 0.5 % en función del tipo de árido (Si o

Ca), la temperatura ambiente y el contenido de finos, con el objeto de disminuir la tensión superficial árido - ligante para permitir un correcto mojado de la matriz granular y mejorar la adhesividad. Crea una superficie protectora sobre el árido regulando la rotura de la emulsión. Se emplea cuando la emulsión no cumple el ensayo de mezcla con cemento para facilitar la envuelta de la emulsión y regular la velocidad de rotura al disminuir la tensión superficial y mejorar adhesividad agregado - emulsión.

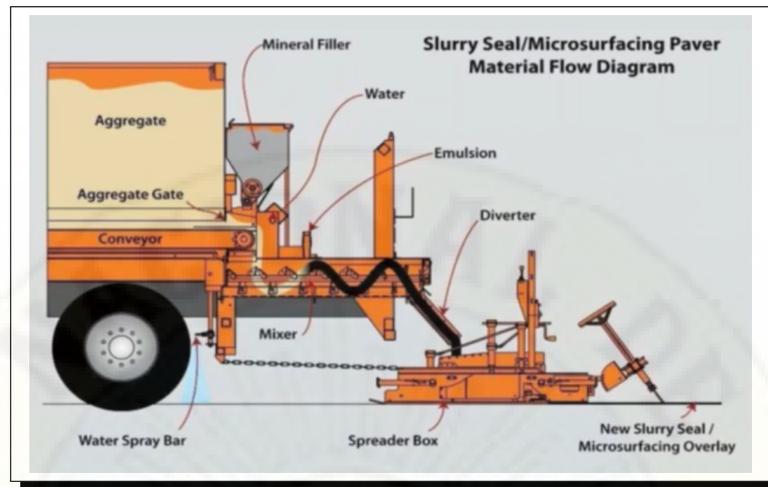
2.2.2.5. Aplicación del slurry seal

La superficie a pavimentarse con slurry seal deberá ser preparada cuidadosamente, recuperando el perfil longitudinal y transversal de la superficie de rodadura granular con métodos y procedimientos adecuado (Ibaniez, 2003)

Previamente Se deberá realizar la estabilización de la superficie de rodadura, luego continuar con el barrido como método de limpieza para eliminar la mayor cantidad de polvos y materiales nocivos al mortero. Antes de iniciar cualquier trabajo se realiza un diseño de mezcla que indica los materiales específicos a ser utilizados en el proyecto. se deben monitorear los resultados del comportamiento de los materiales individuales, comparando sus valores con aquellos obtenidos en la mezcla de diseño. Estos mismos deben cumplir con los requerimientos de consistencia, exceso de asfalto y abrasión saturada.

La figura 2.3 muestra una planta móvil para colocación de slurry seal, se debe tenerse especial cuidado en el estado del equipo, herramientas y dispositivos utilizados en el desarrollo del presente trabajo.

Figura 2.3: Máquina para riego de slurry seal



Fuente: (RAHA, 2019)

2.2.3. Tipos de fallas en pavimentos flexibles

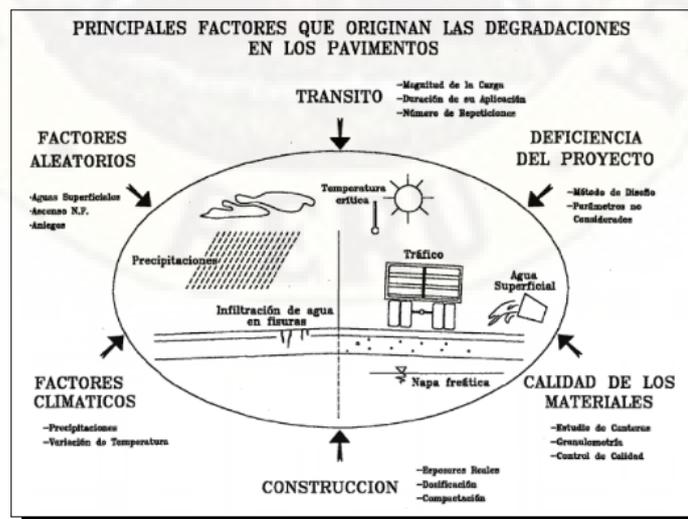
2.2.3.1. Mecanismos de deterioro

La naturaleza de las causas que dan origen al tipo de deterioro son atribuibles a varios factores. El gráfico 2.4 representa las causas más importantes y a continuación se hace una descripción de las mismas:

- **Tránsito:** es uno de los factores mas importantes ya que la evolución de las deformaciones y fisuras en el pavimento están ligadas a la magnitud de la carga por eje de rueda, duración de la aplicación y el número de repeticiones. El transito es un factor de difícil ponderación. El parque automotor se compone de una diversidad de modelos de vehículos, caracterizados por distintos números de ejes de diferente configuración, separación de llantas, etc.
- **Deficiencia del proyecto:** el empleo de métodos de diseño que resultan inadecuados traen consigo un mal dimensionamiento de la estructura del pavimento, incorrecta valoración de las características de los materiales empleados y del terreno de fundación, inadecuada dosificación de las mezclas, así como una deficiente consideración de factores ambientales.

- **Calidad de materiales:** en muchos casos se presenta por un ausente estudio de cantera, una deficiente preparación de los materiales con granulometría inadecuada. No hay un adecuado control de calidad de los materiales.
- **Deficiencias durante el proceso constructivo:** espesores menores que los previstos, elaboración inadecuada de las mezclas y estabilizaciones, deficiencias en el proceso de distribución, compactación o terminación, factores que traen como consecuencia una disminución de la calidad de los materiales y un debilitamiento estructural rápido de los pavimentos.
- **Factores climáticos:** variaciones climáticas, que producen las contracciones de las mezclas, las precipitaciones, que originan los baches por un deficiente sistema de evacuación de aguas pluviales.
- **Deficiente mantenimiento:** por escasez de equipo, fondos o personal capacitado, por empleo de materiales y técnicas inadecuadas, o bien por una falta total de conservación de trabajos para mantenimiento oportunos evitan que los pavimentos presenten fallas con alto grado de severidad. Esto es posible si se tiene un sistema de evaluación periódico.

Figura 2.4: Causas que originan el deterioro en pavimentos



Adaptado de: (Valeriano, 2000)

2.2.3.2. Clasificación de los deterioros o fallas

Según (Pszczola y Judyck, 2016), explicaron que la temperatura es uno de los factores más importantes que influyen en la condición del pavimento. Las propiedades del pavimento asfáltico varían significativamente según la temperatura. En temperaturas bajas el asfalto se comporta como una sustancia dura, rígida e incluso quebradiza. Esto puede ser motivo de grietas transversales en las capas del pavimento asfáltico, que pueden surgir en relación con la rápida contracción a una rápida disminución de la temperatura durante condiciones severas de invierno.

También (Melendez, 2000), establece que los tipos de falla más importantes en pavimentos de concreto asfáltico son los agrietamientos y las deformaciones. Dentro de esta agrupación, el agrietamiento, se ha relacionado con el daño generado en un pavimento debido a cargas de tráfico, fenómenos térmicos, procesos de reflejo, grietas, procesos constructivos, etc.

Según el (MTC, 2018)(p.85), Los deterioros/fallas de los pavimentos flexibles pueden clasificarse en dos grandes categorías: los deterioros / fallas estructurales y los deterioros/fallas superficiales. Los deterioros de la primera categoría se asocian generalmente con obras de rehabilitación de costo alto. Los deterioros de la segunda categoría se relacionan generalmente con obras de mantenimiento periódico (por ejemplo, carpeta delgada de concreto asfáltico o tratamiento superficial). En el cuadro 2.2 se muestra la clasificación del deterioro de pavimentos asfálticos por código, tipo y gravedad.

Daños estructurales:

Los deterioros estructurales caracterizan un estado estructural del pavimento, concerniente al conjunto de las diferentes capas del mismo o bien solamente a la capa de superficie.

Las cargas circulantes resultan generalmente en:

- deformaciones verticales elásticas del material de las capas granulares y del suelo de la subrasante,

- deformaciones horizontales elásticas de tensión por flexión en la parte inferior de las capas asfálticas.

Daños superficiales:

Los deterioros superficiales se originan en general por un defecto de construcción, por un defecto en la calidad de un producto o por una condición local particular que el tráfico acentúa. Además, pueden resultar de la evolución de deterioros o fallas estructurales. Se distinguen:

- los desprendimientos,
- los baches (huecos),
- las fisuras transversales (que no resultan de la fatiga del pavimento).

Tabla 2.2: Deterioro en pavimentos asfaltados

| Clasificación de los deterioros/fallas | Código de deterioro/falla | Deterioro / Falla | Gravedad |
|--|---------------------------|---|--|
| Deterioros o fallas Estructurales | 1 | Piel de cocodrilo | 1: Malla grande (> 0.5 m) sin material suelto 2: Malla mediana (entre 0.3 y 0.5 m) sin o con material suelto 3: Malla pequeña (< 0.3 m) sin o con material suelto |
| | 2 | Fisuras longitudinales | 1: Fisuras finas en las huellas del tránsito (ancho \leq 1 mm) 2: Fisuras medias corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 1 mm y \leq 3 mm) 3: Fisuras gruesas corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 3 mm). También se denominan grietas. |
| | 3 | Deformación por deficiencia estructural | 1: Profundidad sensible al usuario < 2 cm 2: Profundidad entre 2 cm y 4 cm 3: Profundidad > 4 cm |
| | 4 | Ahuellamiento | 1: Profundidad sensible al usuario pero \leq 6 mm 2: Profundidad > 6 mm y \leq 12 mm 3: Profundidad > 12 mm |
| | 5 | Reparaciones o parchados | 1: Reparación o parchado para deterioros superficiales. 2: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en buen estado. 3: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en mal estado. |
| Deterioros o fallas superficiales | 6 | Peladura y Desprendimiento | 1: Puntual sin aparición de la base granular (peladura superficial). 2: Continuo sin aparición de la base granular o puntual con aparición de la base granular. 3: Continuo con aparición de la base granular. |
| | 7 | Baches (Huecos) | 1: Diámetro < 0.2 m 2: Diámetro entre 0.2 y 0.5 m 3: Diámetro > 0.5 m |
| | 8 | Fisuras transversales | 1: Fisuras Finas (ancho \leq 1 mm) 2: Fisuras medias, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 1 mm y \leq 3 mm) 3: Fisuras gruesas, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 3 mm). También se denominan grietas. |

Fuente: MTC, (2018) p.86

2.2.3.3. Niveles de servicio

Según el (MTC, 2018)(p.39), los niveles de servicio son indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales puedan cambiar su condición superficial funcional, estructural y de seguridad. los indicadores son propio de cada vía y varían de acuerdo a algunos factores térmicos y económicos, dentro

2.2. Bases teóricas

de un esquema general de satisfacción del usuario (comodidad, oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles.

En el cuadro 2.3 se muestra la medición de los niveles de servicio de acuerdo al manual de carreteras del MTC.

Tabla 2.3: Niveles de servicio para calzada (tratamiento superficial)

| 3a. Niveles de servicio para: CALZADA (Tratamiento Superficial) | | Nivel de Servicio Tipo de Vía | | | | |
|---|--|---|--|--|---|--|
| | | Autopista 1 ^{ra} clase IMD > 6000 | Autopista 2 ^{da} clase 4001 ≤ IMD ≤ 6000 | Carretera 1 ^{ra} clase 2001 ≤ IMD ≤ 4000 | Carretera 2 ^{da} Clase 400 ≤ IMD ≤ 2000 | Carretera 3 ^{ra} Clase IMD < 400 |
| Parámetro | Medida | | | | | |
| Piel de Cocodrilo | Porcentaje máximo de área con piel de cocodrilo | - | - | - | - | 0% |
| Fisuras Longitudinales | Porcentaje máximo de área con fisuras mayores a 3 mm de grosor | - | - | - | - | 0% |
| | Porcentaje máximo de área con fisuras entre 1 y 3 mm de grosor | - | - | - | - | 5% |
| Deformación por deficiencia estructural | Porcentaje máximo de área con hundimientos mayores que 25 mm. | - | - | - | - | 0% |
| Ahuellamiento | Porcentaje máximo de área con ahuellamiento mayor que 12 mm. | - | - | - | - | 5% |
| Reparaciones o parchados | Porcentaje máximo de parches en mal estado | - | - | - | - | 0% |
| Peladura y Desprendimiento | Porcentaje máximo de áreas con peladuras | - | - | - | - | 5% |
| | Porcentaje máximo de áreas con desprendimiento | - | - | - | - | 0% |
| Baches (Huecos) | Porcentaje máximo de área con Baches (huecos) | - | - | - | - | 0% |
| Fisuras Transversales | Porcentaje máximo de área con fisuras mayores a 3 mm de grosor | - | - | - | - | 0% |
| | Porcentaje máximo de área con fisuras entre 1 y 3 mm de grosor | - | - | - | - | 5% |
| Desprendimiento de bordes | Porcentaje máximo de longitud con desprendimiento de bordes | - | - | - | - | 5% |
| Rugosidad Obra Nueva | Rugosidad característica del tramo (TSB nuevo) | - | - | - | - | 3.0 IRI _c (1) |
| Rugosidad Obra con Recapa Asfáltica | Rugosidad característica del tramo (TSB con Recapa Asfáltica) | - | - | - | - | 3.5 IRI _c (1) |
| Rugosidad Periodo de Servicio | Rugosidad característica del tramo (TSB Periodo de Servicio) | - | - | - | - | 4.3 IRI _c (1) |
| Fricción Superficial | Coefficiente de fricción medido en pavimento mojado | - | - | - | - | No menor de 0.50 |

Adaptado de: (MTC, 2018) p.41

2.2.4. Metodología PCI

Según (Robles, 2015)(p.36), menciona que: “El método del índice de Condición del Pavimento considera que el deterioro del pavimento depende del tipo, severidad y extensión del daño, por lo que proporciona un indicador numérico que otorga una clasificación a las condiciones superficiales del pavimento”.

La metodología para evaluación del índice de condición de pavimento, en adelante PCI, se encuentra detallado bajo la norma ASTM D6433-03 (Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos).

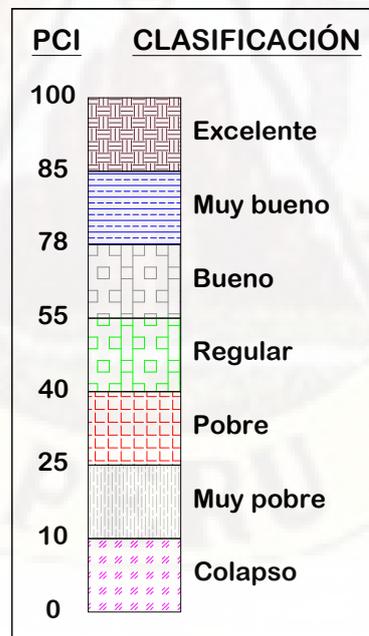
Por otro lado la (ASTM, 2003) indica que: El PCI no puede medir la capacidad estructural del pavimento, y tampoco proporciona determinación directa sobre el coeficiente de resistencia a la fricción(resistencia al resbalamiento) o la rugosidad general.

2.2.4.1. Índice de condición de pavimento PCI

El PCI, permite la evaluación de pavimentos flexibles y rígidos, el cual, se desarrolla para obtener el índice de integridad del pavimento y la condición operacional de la superficie, que permita determinar las necesidades de mantenimiento y reparación en función a la condición real del pavimento. El índice de condición del pavimento es un índice numérico y se clasifica como se muestra en el cuadro 2.4 varía desde cero (0), para un pavimento fallado, hasta cien (100) para un pavimento en perfectas condiciones; Para mayor entendimiento se ha elaborado la figura. 2.5

El (CIP, 2020), menciona que: el formato que nos da la norma ASTM D6433-03, para evaluación del PCI, son para carreteras con superficies asfálticas; es decir, están comprendidas pavimentos flexibles con carpetas asfálticas, tratamiento superficial bicapa, micro pavimento, slurry seal, etc.

Figura 2.5: Escala para el índice de condición de pavimento



Fuente: adaptado de EvalPavCar

Tabla 2.4: Rango de clasificación - metodología PCI

| Rango | Condición |
|----------|-----------|
| 100 - 85 | Excelente |
| 85 - 70 | Muy bueno |
| 70 - 55 | Bueno |
| 55 - 40 | Regular |
| 40 - 25 | Malo |
| 25 - 10 | Muy malo |
| 10 - 0 | Fallado |

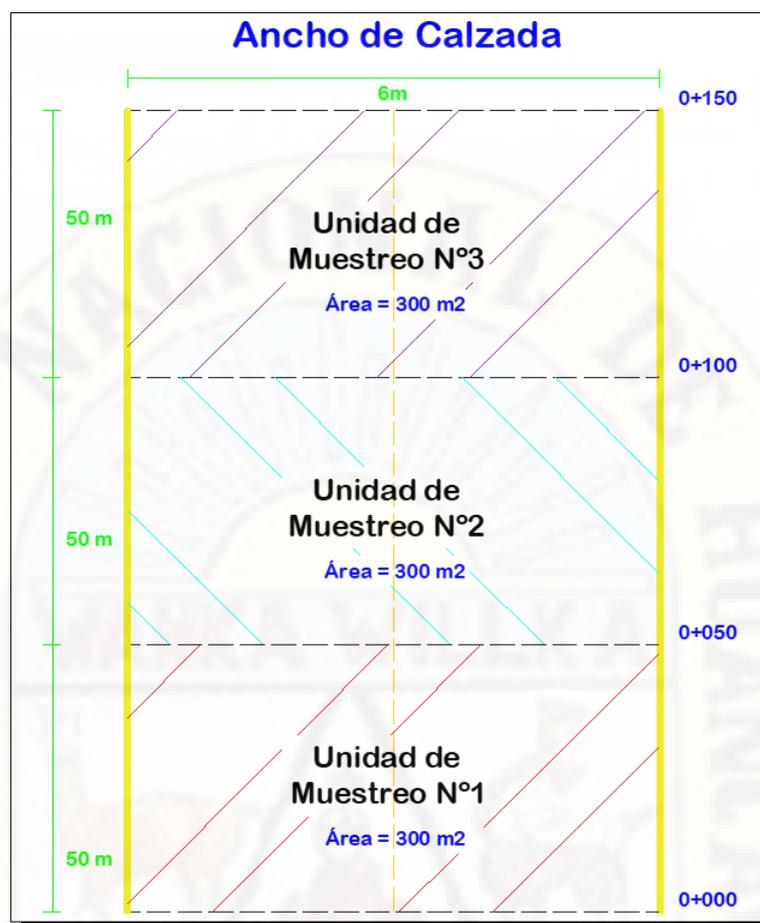
Fuente: (ASTM, 2003)

La evaluación del pavimento, se realiza por medio de inspecciones visuales a lo largo del tramo en estudio y se toma en cuenta la clase, severidad y cantidad de fallas presentes en la superficie; así mismo el método muestra valores deducidos con el fin de identificar el grado de incidencia que cada combinación de clase, severidad y cantidad tiene sobre el pavimento.

2.2.4.2. Unidades de muestreo

La vía se divide en unidades de muestreo, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de la capa de rodadura. El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $225.00 \pm 90.0 \text{ m}^2$ para carreteras; para un mejor entendimiento, la figura 2.6 muestra las unidades de muestreo.

Figura 2.6: Unidades de muestreo



Fuente: elaboración propia

2.2.4.3. Tipos de fallas superficiales en pavimentos asfálticos.

En el cuadro 2.5, se describe los tipos de fallas que contempla el método PCI. Estas fallas son de carácter típico en nuestras vías nacionales; siendo de gran influencia en el deterioro de pavimentos flexibles.

Tabla 2.5: Tipos de fallas superficiales

| Tipos de fallas | |
|---------------------------------|-------------------------|
| 1. Piel de cocodrillo | 11. Parcheo |
| 2. Exudación | 12. Agregado pulido |
| 3. Agrietamiento en bloque | 13. Huecos |
| 4. Abultamientos y hundimientos | 14. Cruce de vía férrea |
| 5. Corrugación | 15. Ahuellamiento |

Tabla 2.5: Tipos de fallas superficiales

| Tipos de fallas | |
|--|----------------------------------|
| 6. Depresión | 16. Desplazamiento |
| 7. Grieta de borde | 17. Grieta parabólica |
| 8. Grieta de reflexión de junta | 18. Hinchamiento |
| 9. Desnivel carril/Berma | 19. Desprendimiento de agregados |
| 10. Grietas longitudinales/transversales | |

Fuente: ASTM, 2003

A continuación, se describen detalladamente los tres niveles de severidad: Low (L), Medium (M) y High (H); para cada tipo de falla descritos en el cuadro 2.5. Así mismo, se indica la unidad de medida, para el levantamiento de datos durante la inspección visual.

1. Piel de cocodrillo

L: finas fisuras longitudinales del espesor de un cabello, con recorrido paralelo entre ellas y con algunas o ninguna fisura de interconexión. Las fisuras no están desintegradas.

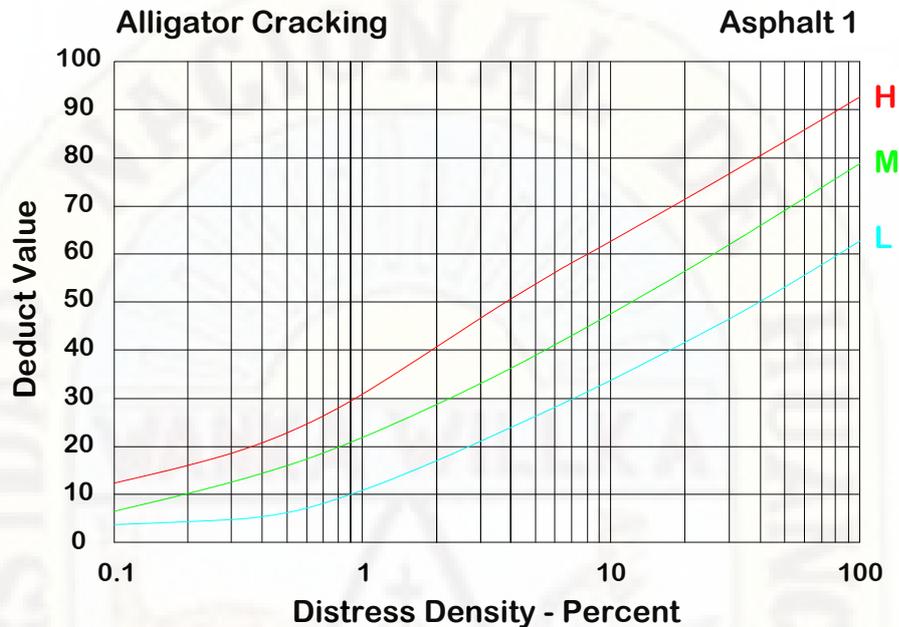
M: continuación del desarrollo de las fisuras de piel de cocodrillo, finas, en un patrón o red de fisuras que podrían estar ligeramente desintegradas.

H: el patrón o red de fisuras muestra un progreso tal que las piezas que conforman la piel de cocodrillo están bien definidas y descascaradas en los bordes. Algunas de las piezas podrían oscilar o moverse bajo tráfico.

Unidad de medida: la piel de cocodrillo es medida en metros cuadrados. Si hay presencia de dos o tres niveles de severidad en una misma área de falla, estas porciones deben ser medidas y registradas por separado; sin embargo, si los diferentes niveles de severidad no pueden ser divididos fácilmente, la totalidad del área debe ser calificada con el mayor nivel de severidad presente.

El cuadro 2.6 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: piel de cocodrilo.

Tabla 2.6: Valor deducido - piel de cocodrillo



Adaptado de: (ASTM, 2003)

2. Exudación

L: la exudación sólo ha ocurrido a un nivel muy ligero y es percibida solo durante algunos días al año. El asfalto no se pega a los zapatos o llantas de los vehículos.

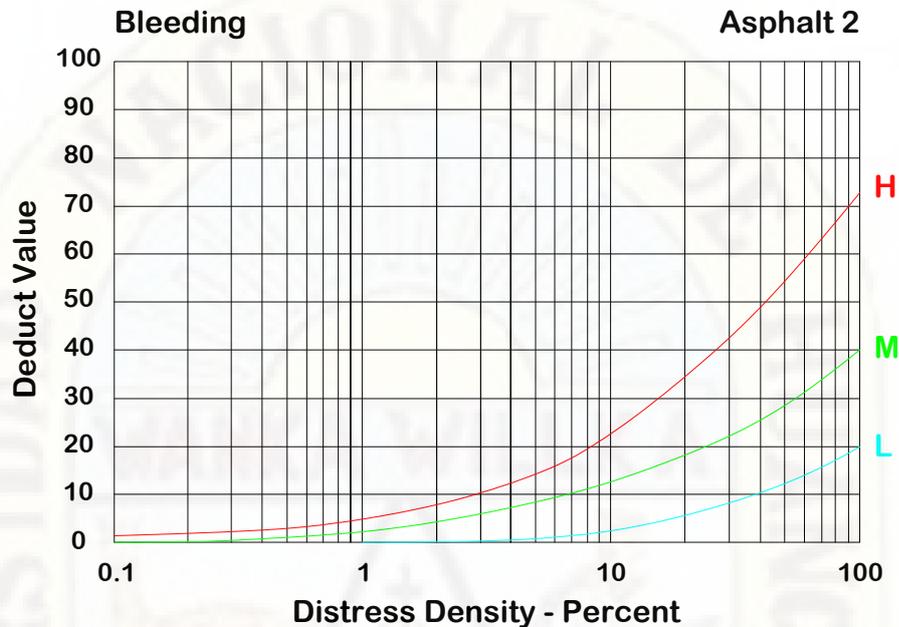
M: la exudación ha ocurrido llegando al punto en que el asfalto se pega a los zapatos o a las llantas de los vehículos sólo durante algunas semanas en el año.

H: la exudación ha ocurrido en forma extensiva y una cantidad considerable de asfalto se pega a los zapatos y llantas de los vehículos al menos durante varias semanas al año.

Unidad de medida: la exudación es medida en metros cuadrados.

El cuadro 2.7 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: exudación.

Tabla 2.7: Valor deducido - exudación



Adaptado de: (ASTM, 2003)

3. Agrietamiento en bloque

L: los bloques están definidos por fisuras de baja severidad.

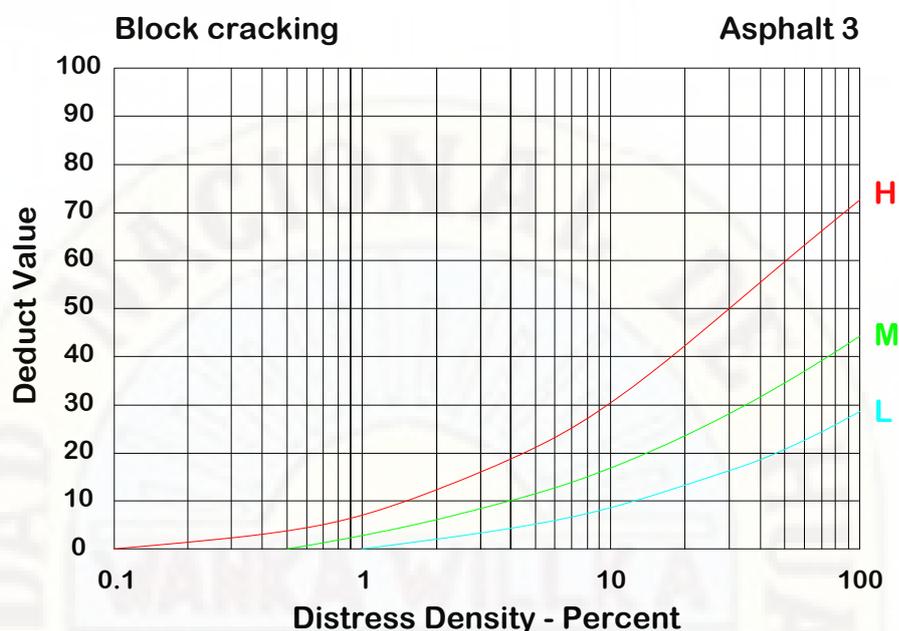
M: los bloques están definidos por fisuras de mediana severidad.

H: los bloques están definidos por fisuras de alta severidad.

Unidad de medida: las fisuras en bloque son medidas en metros cuadrados. Esta falla generalmente ocurre en un solo nivel de severidad por sección de pavimento; sin embargo, si áreas con distintos niveles de severidad pueden ser distinguidas fácilmente, entonces dichas áreas deben ser medidas y registradas en forma separada.

El cuadro 2.8 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: agrietamiento en bloque

Tabla 2.8: Valor deducido - agrietamiento en bloque



Adaptado de: (ASTM, 2003)

4. Abultamiento y hundimientos.

L: los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de baja severidad.

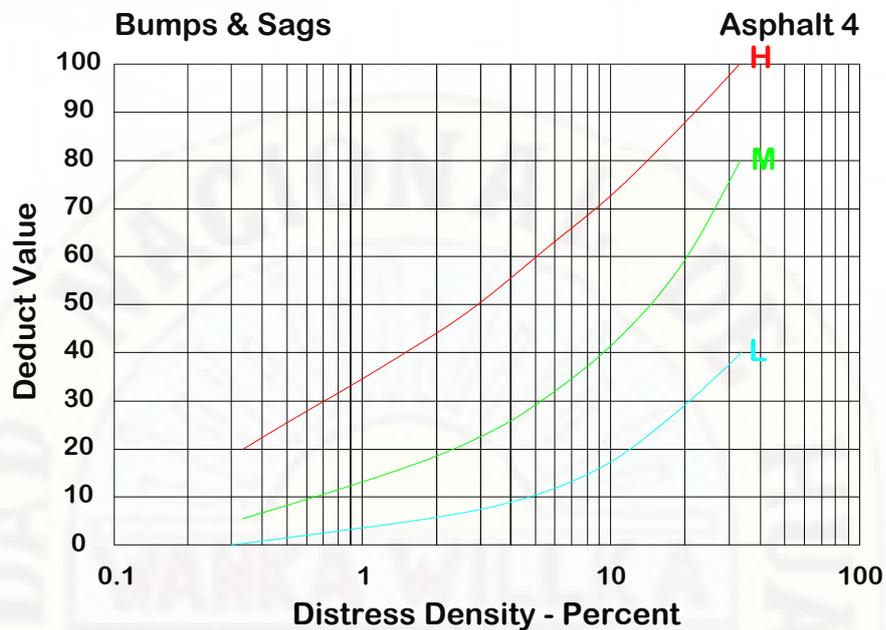
M: los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad media.

H: los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad alta.

Unidad de medida: se miden en metros lineales. si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciados a menos de 3.0 m, el daño se llama corrugación, si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, esta también se registra.

El cuadro 2.9 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: abultamiento y hundimientos.

Tabla 2.9: Valor deducido - abultamiento y hundimientos



Adaptado de: (ASTM, 2003)

5. Corrugación

L: las corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad, como ya se vio en la falla anterior, se perciben ciertas vibraciones dentro del vehículo de inspección, pero no es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad.

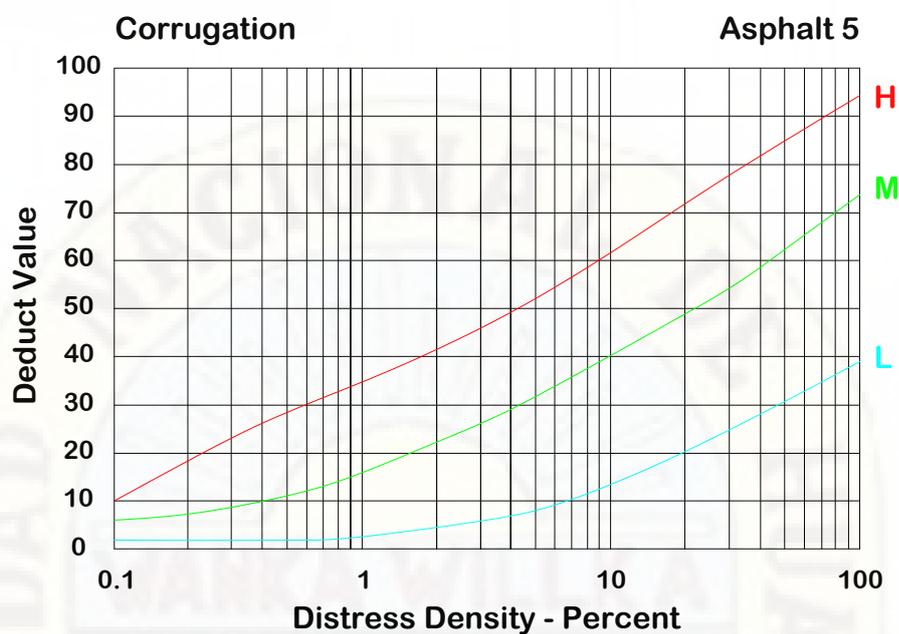
M: las corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad, es decir, se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad.

H: las corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad. Se perciben vibraciones excesivas dentro del vehículo, por lo que es necesario reducir la velocidad considerablemente por seguridad y comodidad.

Unidad de medida: la corrugación es medida en metros cuadrados.

El cuadro 2.10 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: corrugación.

Tabla 2.10: Valor deducido - corrugación



Adaptado de: (ASTM, 2003)

6. Depresión

L: la depresión tiene una altura que varía de 13 a 25 mm.

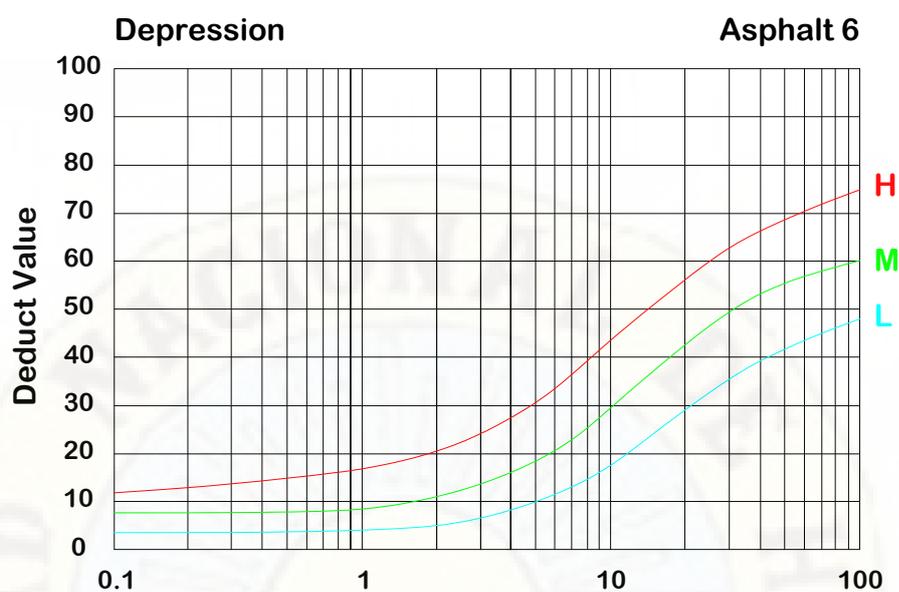
M: la altura deprimida tiene un rango de 25 a 50 mm.

H: la depresión tiene más de 50 mm.

Unidad de medida: las depresiones son medidas en metros cuadrados.

El cuadro 2.11 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: depresión.

Tabla 2.11: Valor deducido - depresión



Adaptado de: (ASTM, 2003)

7. Grieta de borde

L: se da un bajo o mediano fisuramiento sin fragmentación o desprendimiento.

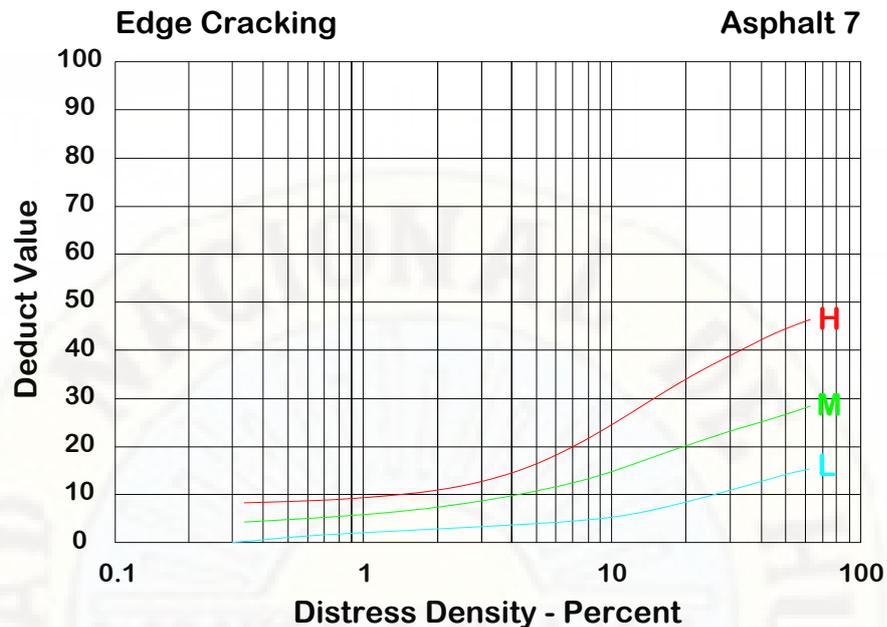
M: se aprecia un mediano fisuramiento con alguna fragmentación o desprendimiento.

H: existe una desintegración considerable a lo largo del borde.

Unidad de medida: Las fisuras de borde son medidas en metros lineales.

El cuadro 2.12 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: grieta de borde.

Tabla 2.12: Valor deducido - grieta de borde



Adaptado de: (ASTM, 2003)

8. Grieta de reflexión de junta

L: se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10 mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno se encuentra en buenas condiciones).

M: se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad.

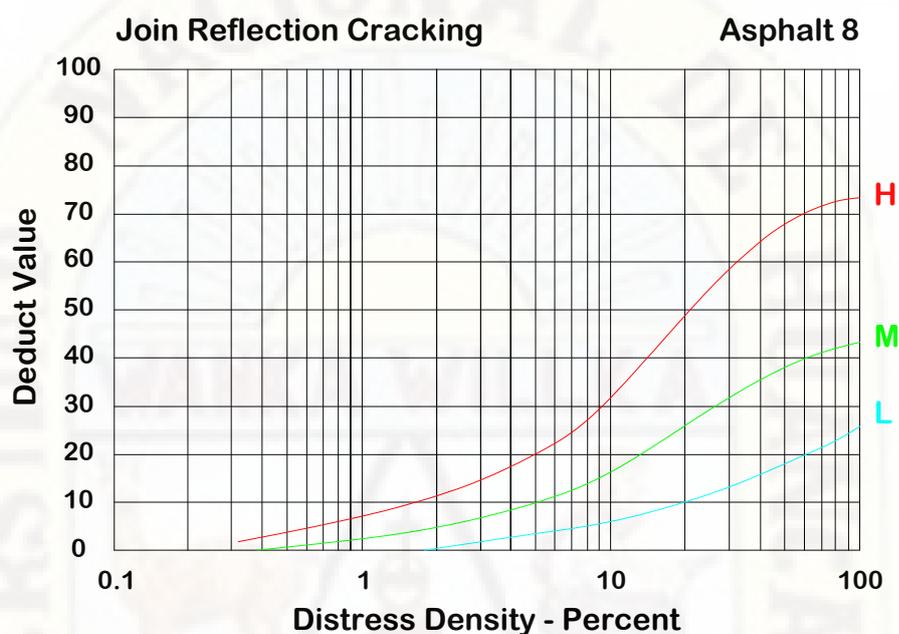
H: se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno rodeada de fisuras de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que la rodea está desprendido o fracturado.

Unidad de medida: las fisuras de reflexión de junta son medidas en metros lineales. La longitud y nivel de severidad de cada fisura debe ser identificada y registrada por separado. Si se presenta un abultamiento en

la fisura de reflexión, éste también debe ser registrado.

El cuadro 2.13 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: grieta de reflexión de junta.

Tabla 2.13: Valor deducido - Grieta de reflexión de junta



Adaptado de: (ASTM, 2003)

9. Desnivel carril/berma

L: la diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 25mm y menor a 50 mm.

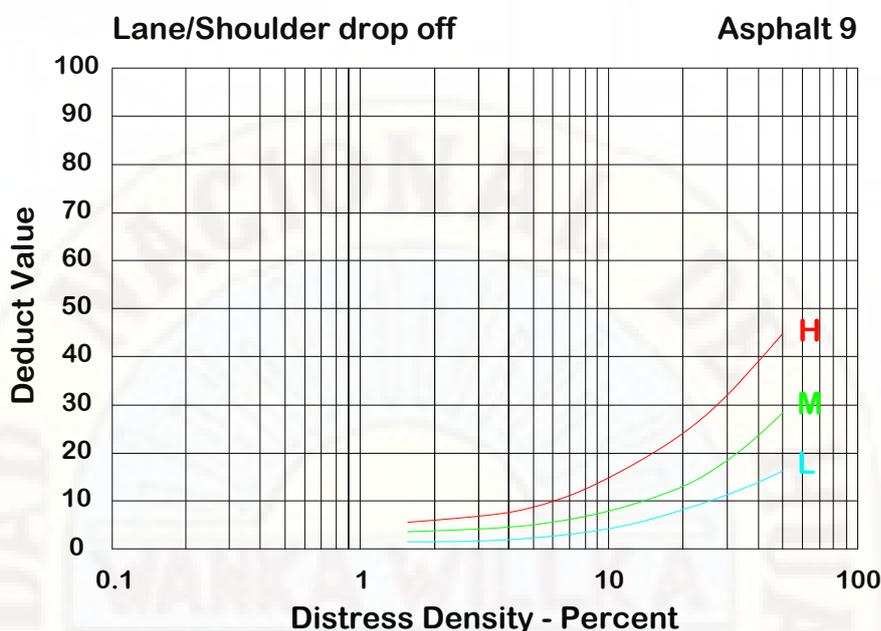
M: la diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 50mm y menor a 100 mm.

H: la diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 100 mm.

Unidad de medida: el desnivel carril-berma es medido en metros lineales.

El cuadro 2.14 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: desnivel carril/berma.

Tabla 2.14: Valor deducido - desnivel carril/berma



Adaptado de: (ASTM, 2003)

10. Fisuras longitudinales/transversales.

L: se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10 mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno está en buenas condiciones).

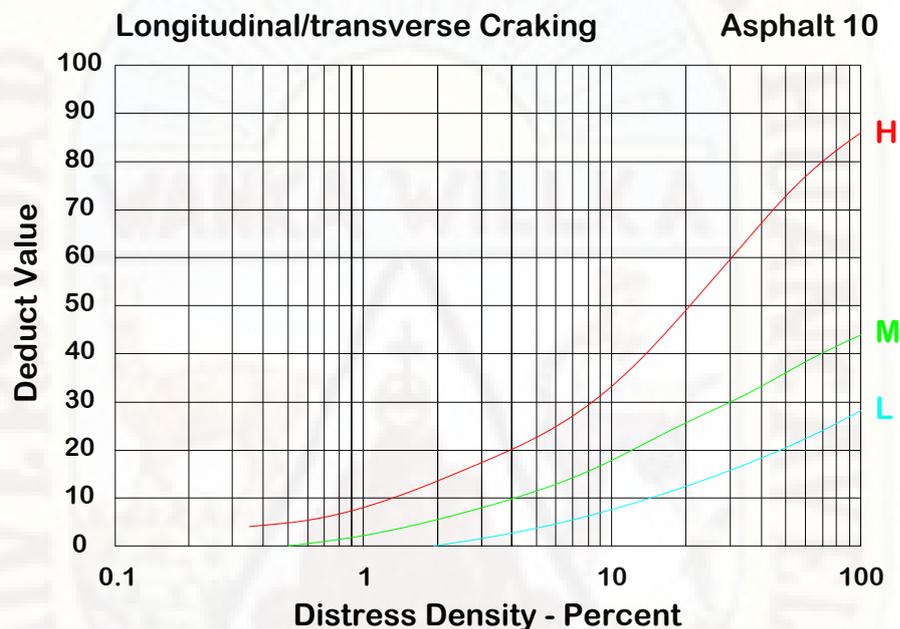
M: se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75 mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras en forma aleatoria, de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad y en forma aleatoria.

H: se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno, rodeada de fisuras en forma aleatoria, de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que la rodea está severamente fracturado.

Unidad de medida: las fisuras longitudinales y transversales con medidas en metros lineales. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su longitud, cada porción de la fisura con distinto nivel de severidad debe ser registrada por separado.

El cuadro 2.15 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: grietas longitudinales/transversales.

Tabla 2.15: Valor deducido - grietas longitudinales/transversales



Adaptado de: (ASTM, 2003)

11. Parcheo

L: el parche se encuentra en buenas condiciones y la calidad de tránsito es de baja severidad.

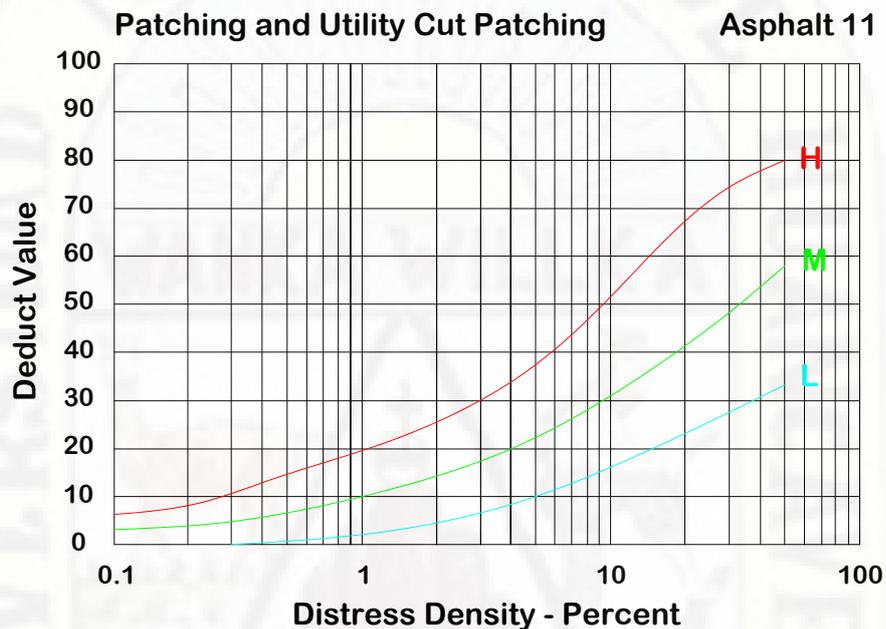
M: el parche está deteriorado en forma moderada, la calidad de tránsito es calificada como de mediana severidad

H: el parche se encuentra muy deteriorado y la calidad de tránsito es de alta severidad.

Unidad de medida: los parches son medidos en metros cuadrados. Si un mismo parche tiene áreas con diferentes niveles de severidad, estas áreas deben ser medidas y registradas por separado.

El cuadro 2.16 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: parcheo.

Tabla 2.16: Valor deducido - parcheo



Adaptado de: (ASTM, 2003)

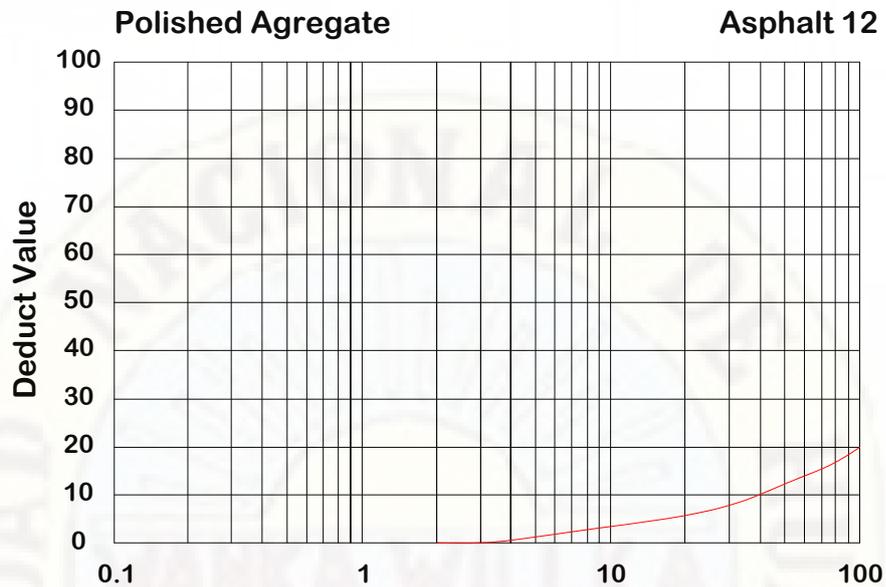
12. Agregado pulido

No hay niveles de severidad definidos para este tipo de falla. El agregado pulido debe ser claramente notable en la unidad de muestra, y la superficie de agregado debe ser suave al tacto.

Unidad de medida: el agregado pulido es medido en metros cuadrados. Si se registra exudación, entonces el agregado pulido ya no debe ser registrado.

El cuadro 2.17 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: agregado pulido.

Tabla 2.17: Valor deducido - agregado pulido



Adaptado de:(ASTM, 2003)

13. Huecos

Los niveles de severidad se describen en el cuadro 2.18. Si el bache tiene un diámetro mayor a 750 mm, el área debe ser determinada en metros cuadrados y dividida entre 0.5 m² para hallar el número equivalente de baches. Si la profundidad es menor o igual a 25 mm los baches son considerados de mediana severidad, en cambio, si la profundidad es mayor a 25 mm, los baches son de alta severidad.

Tabla 2.18: Nivel de seguridad para baches

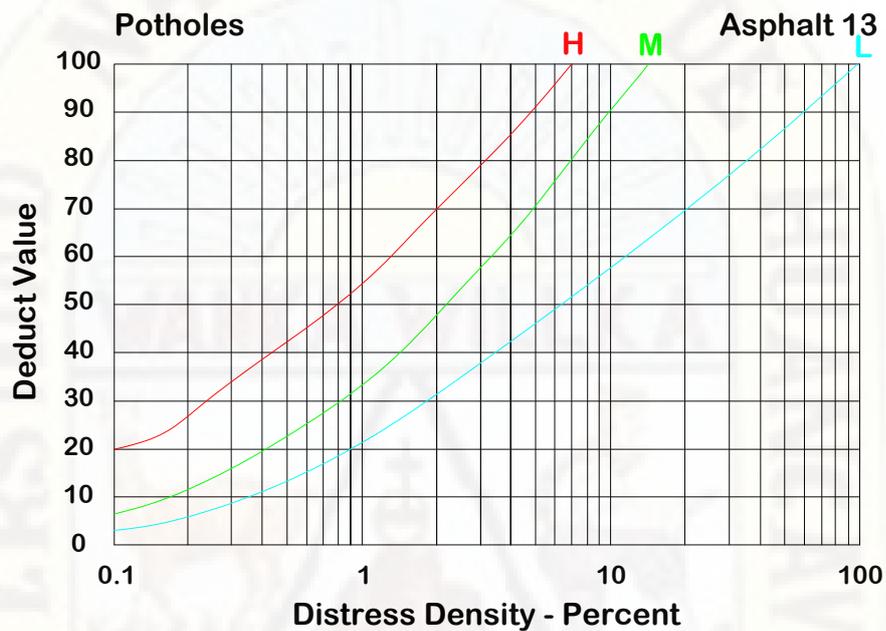
| Profundidad máxima del hueco. | Diámetro medio (mm) | | |
|-------------------------------|---------------------|--------------|--------------|
| | 102 a 203 mm | 203 a 457 mm | 457 a 762 mm |
| 12.7 a 25.4 mm | L | L | M |
| > 25.4 a 50.8 mm | L | M | H |
| > 50.8 mm | M | M | H |

Adaptado de: (ASTM, 2003)

Unidad de medida: los baches no son medidos sino contados y registrados por separado de acuerdo a su nivel de severidad bajo, mediano o alto.

El cuadro 2.19 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: huecos.

Tabla 2.19: Valor deducido - huecos



Adaptado de: (ASTM, 2003)

14. Cruce de la vía ferrea

Los defectos asociados al cruce de vía ferrea son depresiones o abultamientos alrededor o entre los rieles.

L: el cruce de vía férrea produce calidad de transito de baja severidad.

M: el cruce de vía férrea produce calidad de transito de severidad media.

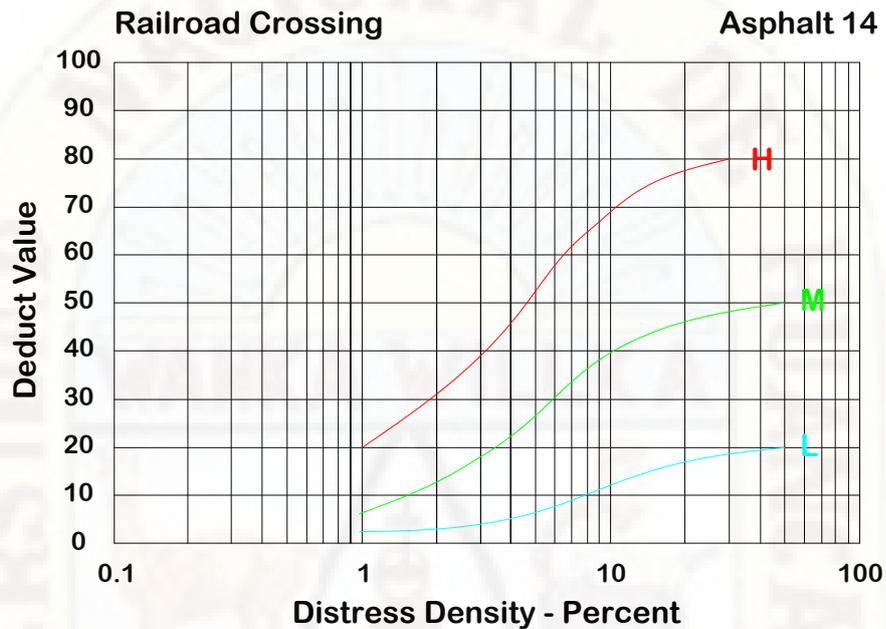
H: el cruce de vía férrea produce calidad de transito de severidad alta.

Unidad de medida: el área del cruce se mide en pies cuadrados o metros cuadrados. Si el cruce no afecta la calidad de transito entonces no debe registrarse. Cualquier abultamiento considerable causado por los rieles

debe registrarse como parte del cruce.

El cuadro 2.20 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: cruce de la vía férrea.

Tabla 2.20: Valor deducido - cruce de la vía férrea



Adaptado de:(ASTM, 2003)

15. Ahuellamiento

L: la depresión superficial, causada por las ruedas de los vehículos, varía entre 6 y 13 mm.

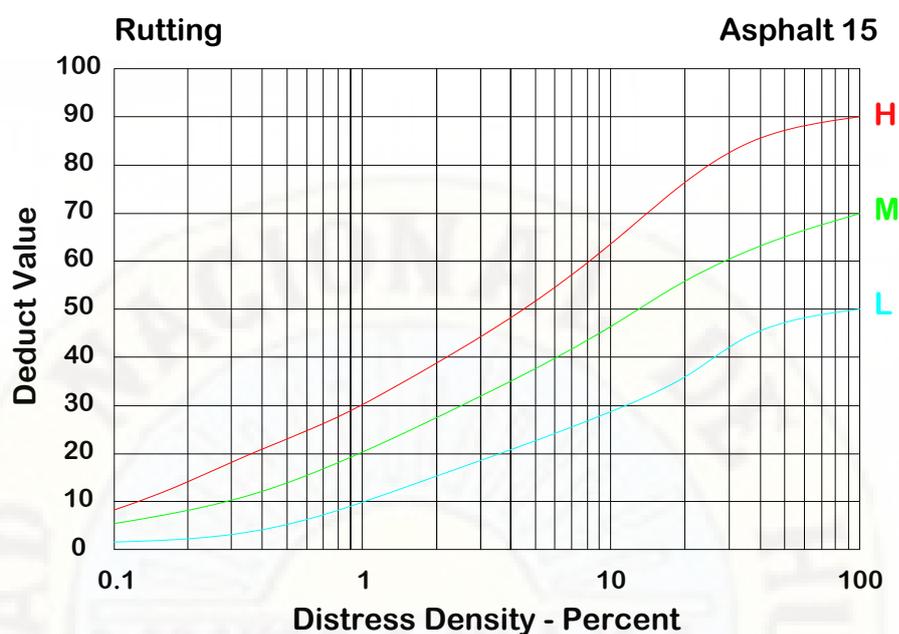
M: la depresión va entre 13 y 25 mm.

H: la depresión es mayor a 25 mm.

Unidad de medida: el ahuellamiento es medido en metros cuadrados.

El cuadro 2.21 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: ahuellamiento.

Tabla 2.21: Valor deducido - ahuellamiento



Adaptado de: (ASTM, 2003)

16. Desplazamiento

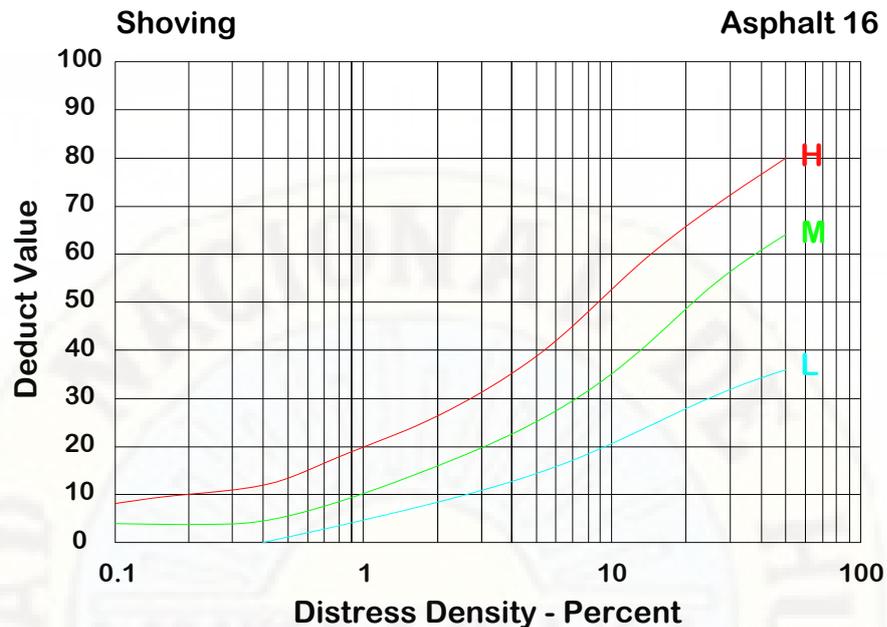
L: el desplazamiento genera una calidad de tránsito de baja severidad.

M: el desplazamiento genera una calidad de tránsito de mediana severidad.

H: el desplazamiento genera una calidad de tránsito de alta severidad.

Unidad de medida: los desplazamientos son medidos en metros cuadrados. Los desplazamientos que ocurren en parches son considerados para calificar los mismos y no se toman en cuenta como fallas por separado. El cuadro 2.22 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: desplazamiento.

Tabla 2.22: Valor deducido - desplazamiento



Adaptado de: (ASTM, 2003)

17. Grieta parabólica

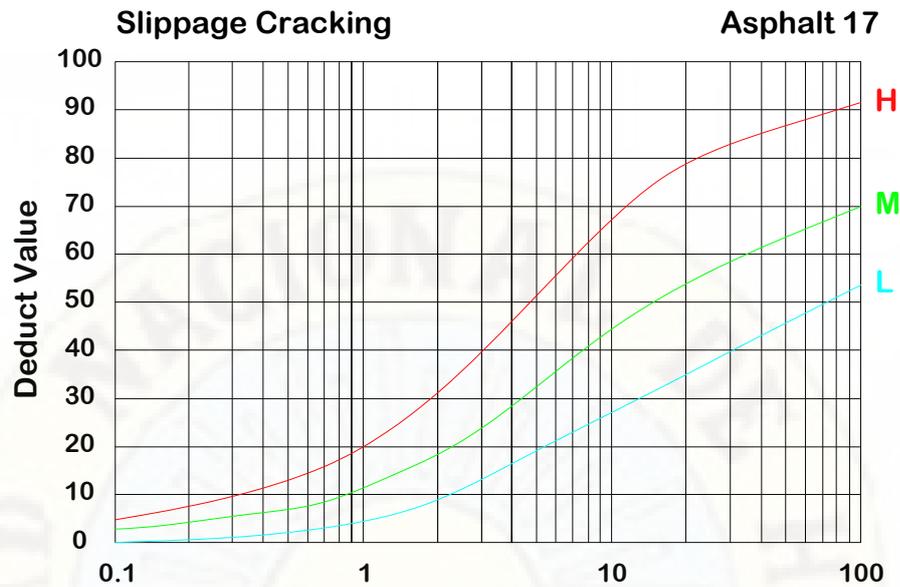
L: el ancho promedio de la fisura es menor a 10 mm.

M: se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho promedio de la fisura es ≥ 10 y < 40 mm; b) el área que rodea la fisura está descascarada en forma moderada, o rodeada de otras fisuras.

H: se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho promedio de la fisura es > 40 mm; b) el área que rodea la fisura está fracturada en pequeñas piezas removidas.

Unidad de medida: las fisuras parabólicas o por deslizamiento son medidas en metros cuadrados y calificadas de acuerdo al mayor nivel de severidad presente en el área. El cuadro 2.23 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: grieta parabólica.

Tabla 2.23: Valor deducido - grieta parabólica



Adaptado de: ASTM (2003)

18. Hinchamiento

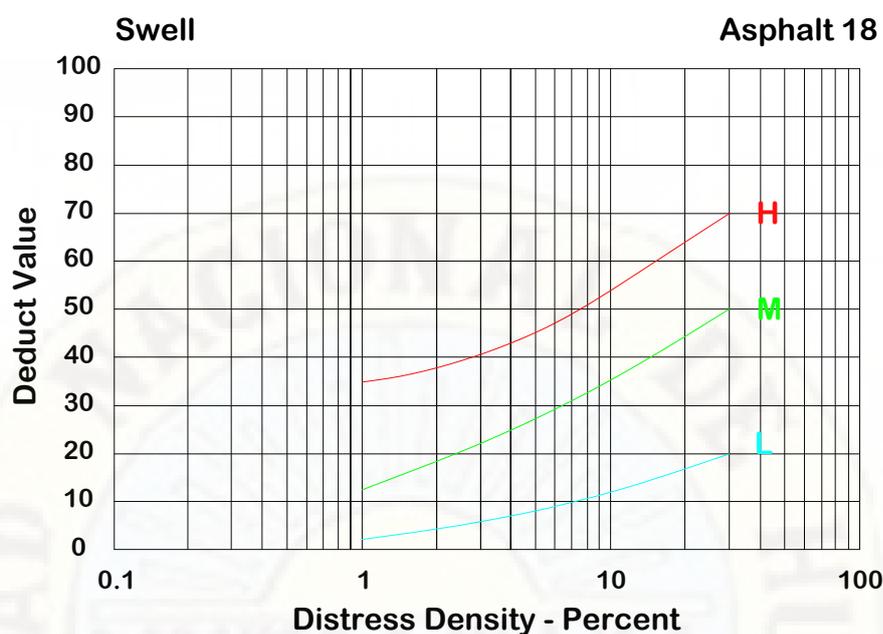
L: cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad baja.

M: cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad mediana.

H: cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad alta..

Unidad de medida: el área de hinchamiento es medido en metros cuadrados. El cuadro 2.24 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: hinchamiento.

Tabla 2.24: Valor deducido - hinchamiento



Adaptado de: ASTM (2003)

19. Desprendimiento de agregados

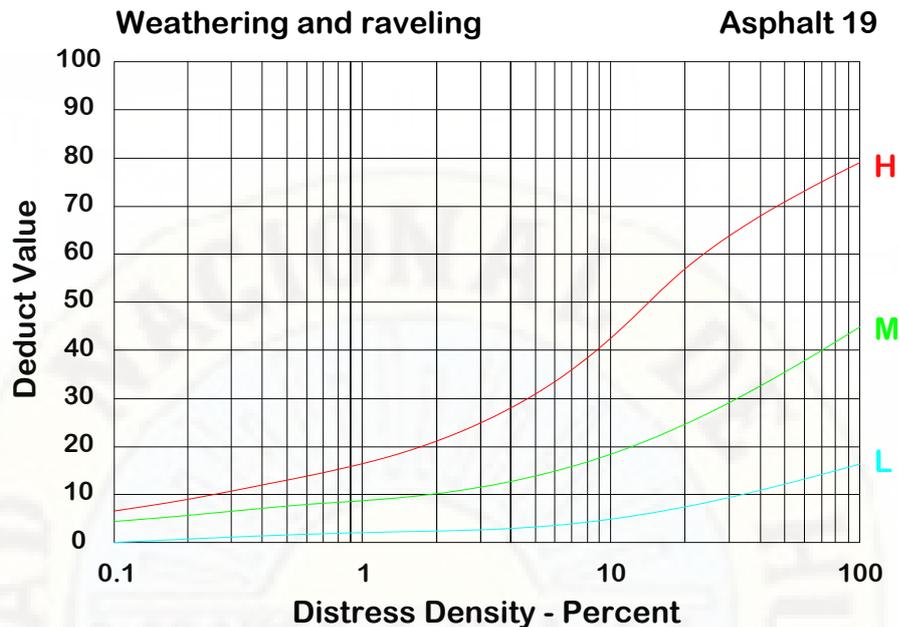
L: el agregado o el ligante ha comenzado a desprenderse. En algunas áreas de la pista se aprecian huecos.

M: se han desprendido los agregados o el ligante. La textura en la superficie es moderadamente rugosa y presenta pequeños huecos.

H: el desprendimiento del ligante y el agregado es considerable. La textura de la superficie es muy rugosa y está severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas son menores a 10 mm en diámetro y menores a 13mm en profundidad; las áreas ahuecadas mayores que éstas son consideradas como fallas tipo baches.

Unidad de medida: las peladuras y desprendimientos son medidos en metros cuadrados. El cuadro 2.25 muestra las curvas para determinar el valor deducido, del tipo de falla: desprendimiento de agregados.

Tabla 2.25: Valor deducido - desprendimiento de agregados



Adaptado de: ASTM (2003)

2.2.5. Sensoramiento remoto

La energía que recibe la Tierra del Sol se llama radiación electromagnética y todos los objetos presentes en la superficie terrestre tienen diferentes formas de reflejar, emitir y absorber esa radiación electromagnética, la radiación electromagnética reflejada o emitida por un objeto, transporta la información sobre dicho objeto y algunas de sus propiedades pueden determinarse mediante la detección a distancia de esta radiación. (Lillesand et al., 2015), (NASA-ARSET, 2019)

2.2.5.1. Definición de sensoramiento remoto

Se puede definir como un conjunto de conocimientos y técnicas usadas para determinar características físicas y biológicas de objetos, sin el contacto material con los mismos o como la ciencia y arte de obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través de datos adquiridos por un sensor que no está en contacto con el objeto de la investigación. (A. Schultz y Engman, 2000)

En un sentido más restricto, el sensoramiento remoto se refiere a la tecnología de adquirir información de la superficie (continentes-océanos), atmósfera (meteorológica/climática) y espacial, usando sensores a bordo de aeronaves (aviones, globos) o plataformas espaciales (satélites, estaciones espaciales). (Velasco et al., 2012)

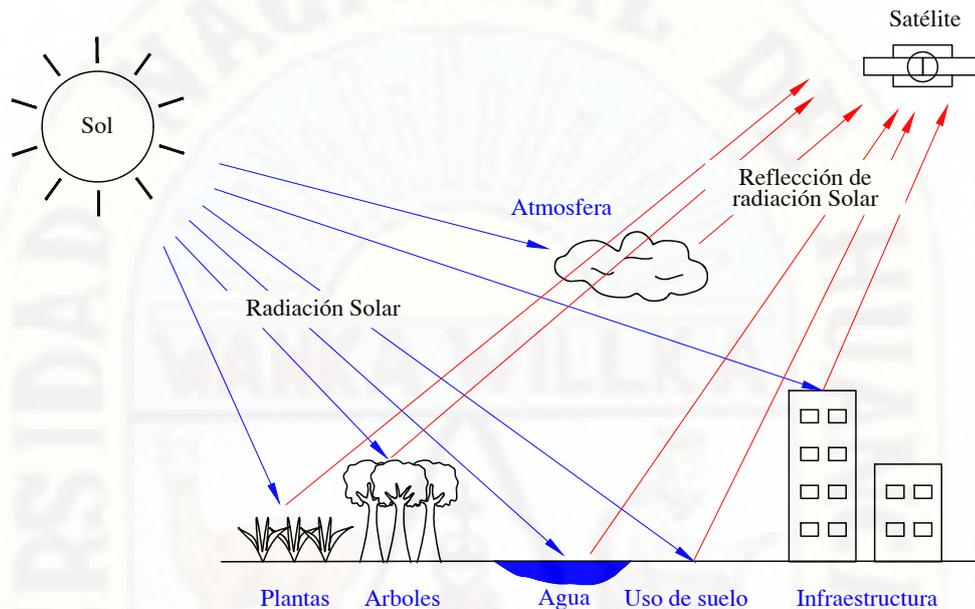


Figura 2.7: Diferentes materiales reflejan y absorben diferentes radiaciones electromagnéticas. Debido a esto, pueden ser detectadas por un sensor y determinar el tipo de material del que se refleja.

2.2.5.2. Resolución de sensores

La resolución depende de la configuración de la órbita del satélite y del diseño del sensor. Diferentes sensores tienen diferentes resoluciones.

- Resolución espacial:** especifica el tamaño de pixel de las imágenes de satélite que cubren la superficie terrestre. Las imágenes bidimensionales de la superficie generadas por los sensores están compuestas de una matriz de elementos llamados pixeles. Un pixel es la unidad más pequeña de la imagen y representa una cierta porción de la superficie de la Tierra. Esta área en el terreno es llamada la resolución de la celda y determina la resolución espacial del sensor.

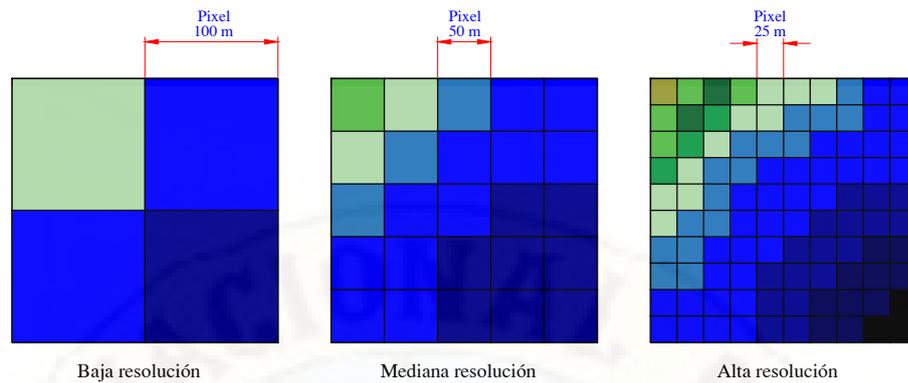


Figura 2.8: Resolución espacial

En la figura 2.8 se muestra la misma imagen en diferentes resoluciones espaciales y entre más alta se la resolución espacial los objetos son más detallados y sus características geométricas (ubicación, tamaño, forma, área) son fácilmente identificables.

- **Resolución temporal:** la resolución temporal se refiere a la frecuencia con que un punto específico de la superficie es observado por un determinado sensor.

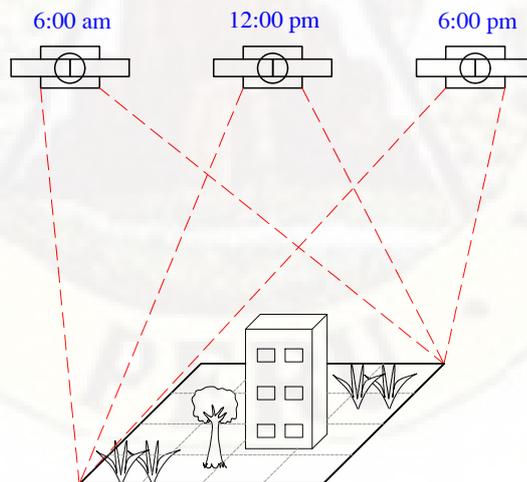


Figura 2.9: Resolución temporal

En la figura 2.9 la capacidad del sensor de recopilar imágenes del área de la superficie de la Tierra en diferentes períodos de tiempo es de 6 horas.

- **Resolución radiométrica:** la resolución radiométrica describe la capacidad de un sensor para ver las diferencias de energía (o radiación). Cuanto mejor sea la resolución radiométrica, más sensible será el sensor a pequeñas diferencias de energía.
- **Resolución espectral:** la resolución espectral describe la capacidad de un sensor para detectar intervalos de longitud de onda finos. Los instrumentos detectan diferentes rangos de longitudes de onda a lo largo del espectro electromagnético, denominadas bandas.

2.2.5.3. Producto MOD11A2 - MODIS

El producto MOD11A2 Versión 6 proporciona una temperatura y emisividad de la superficie terrestre (LST & E) promedio de 8 días por pixel con una resolución espacial de 1 kilómetro (km) en una cuadrícula de 1200 por 1200 km. Cada valor de pixel en MOD11A2 es un promedio simple de todos los pixeles LST de MOD11A1 correspondientes recopilados dentro de ese período de 8 días. Se eligió el periodo de composición de 8 días porque el doble de ese periodo es el periodo exacto de repetición de la trayectoria terrestre de las plataformas Terra y Aqua. Junto con las bandas de temperatura de la superficie durante el día y la noche, se asocian evaluaciones de control de calidad, tiempos de observación, ángulos cenitales de vista y coberturas de cielo despedido, junto con las bandas 31 y 32 de emisividades de los tipos de cobertura terrestre. (Wan 2015)

La colección y granulado, ver tabla 2.26.

Tabla 2.26: resumen del producto MOD11A2

| CARACTERÍSTICA | DESCRIPCIÓN |
|-------------------------|-------------------------------|
| Nombre corto: | MOD11A2 |
| Plataforma: | Terra |
| Instrumento: | MODIS |
| Nivel de procesamiento: | Nivel 3 |
| DOS | 10.5067 / MODIS / MOD11A2.006 |
| Tamaño del archivo | ~3.86 MB |
| Resolución temporal | Múltiples días |
| Extensión temporal | 2000-02-18 hasta el presente |
| Extensión espacial | Global |

Tabla 2.26: resumen del producto MOD11A2

| CARACTERÍSTICA | DESCRIPCIÓN |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Sistema coordinado | Sinusoidal |
| Formato de archivo | HDF-EOS |
| Dimensiones geográficas | 1200 kilómetros x 1200 kilómetros |
| Número de capas (SDS) | 12 |
| Tamaño de píxel | 1000 metros |

Fuente: elaboración propia

2.2.5.4. Temperatura de superficie terrestre (Land Surface temperature - LST)

La LST es un parámetro clave en la física de los procesos superficiales terrestres en escalas globales y regionales, combinando los resultados de todas las interacciones atmósfera-superficie y flujos de energía entre la atmósfera y el terreno (Wan, 2008).

Se define como la temperatura de radiación de la superficie observada por los sensores de los satélites. El sensor MODIS, montado sobre los sistemas de satélites de observación terrestre Terra-1 y Aqua-1, de la NASA, proveen diversos productos, entre ellos, los que observan los canales infrarrojos y que son utilizados para realizar estimaciones de la temperatura de la superficie terrestre (LST) MYD11A2.V5 y MOD11A2.V5, en una base diaria, semanal, sextenal y mensual.

A pesar de las limitaciones que el producto de Wan (2008) menciona que la cantidad y calidad de los productos LST de MODIS (figura 2.10) dependen de condiciones de un cielo despejado debido a la limitación inherente de la percepción remota basada en la banda termal infrarroja.

Actualmente viene teniendo mejoras y actualizaciones como por ejemplo: Se ajustó el algoritmo día - noche, mejorando el rendimiento en regiones desérticas donde el algoritmo de ventana dividida incorporado puede no funcionar bien. Se realizaron ajustes menores en los valores de emisividad superficial basados en la clasificación, especialmente para suelos desnudos y tipos de cobertura terrestre de rocas.

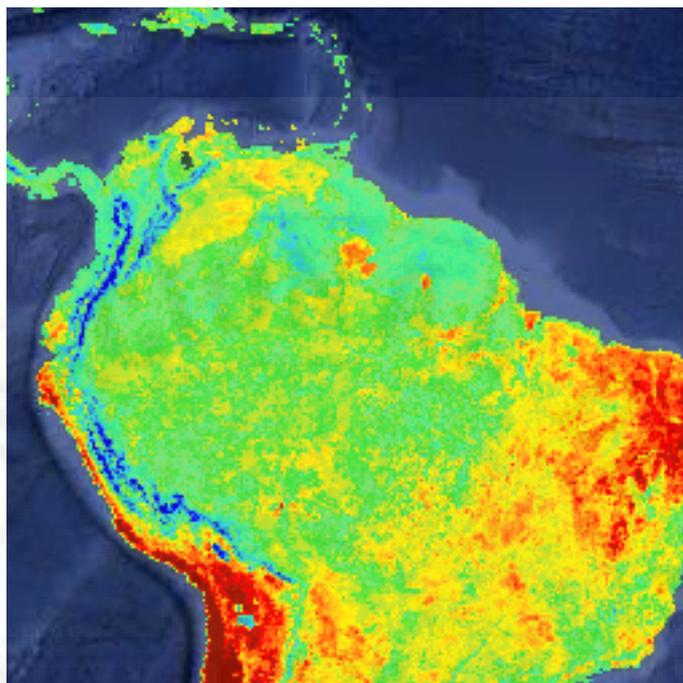


Figura 2.10: MOD11A2.006 Terra Land Surface Temperature

El formato de archivo del producto MOD11A2 es HDF - EOS, se debe tener en cuenta la composición de bandas (ver tabla 2.27).

Tabla 2.27: resumen de bandas empleadas del producto MOD11A2.V6

| Nombre SDS | Descripción | Unidades | Factor de escala |
|---------------|---|----------|------------------|
| LST Day 1km | Temperatura de la superficie terrestre durante el día | kelvin | 0.02 |
| LST Night 1km | Temperatura de la superficie terrestre durante la noche | kelvin | 0.02 |

Fuente: elaboración propia

En la tabla 2.28 se muestran productos satelitales, en donde el satélite MODIS a escala global brinda el producto de temperatura de la superficie terrestre MOD11A2.V6 y a escala regional el producto PISCOt.V1 donde se extrae temperaturas mínimas .

Tabla 2.28: resumen de la información de sensores remotos

| Temperatura remota | Resolución temporal | Resolución espacial | Extensión Temporal |
|--------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|
| MOD11A2 V6 | 8 Dias | 1x1 km | 2000-02-18 hasta el presente |
| PISCOt v1 | Diaria | 0.10°x0.10° | 1981-2016 |

Fuente: elaboración propia

2.2.5.5. PISCO temperatura (PISCOt v1.1)

El SENAMHI ha comenzado a producir el producto PISCO (Peruvian Interpolation data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations). En el presente reporte presentamos de manera resumida en que consiste la nueva versión de PISCO temperatura versión 1.1 (PISCOt v1.1) el cual tiene un área de influencia nacional y datos diarios desde enero de 1981 hasta diciembre del 2016 a una resolución de 10 km.

Para la generación de PISCOt v1.1 se utilizaron i) datos observados de temperatura del aire máxima (Tx) y mínima diaria (Tn), ii) el producto de temperatura de suelo (LST) del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), y ii) predictores estáticos espaciales: Elevación (Z), Longitud (X), Latitud (Y) y el índice de Disección Topográfica (TDI).

Los datos observados fueron obtenidos por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Estos datos fueron sometidos a tres principales procesos: i) control de calidad, ii) imputación y iii) homogeneización. El control de calidad fue automático y visual siguiendo los lineamientos de Aguilar et al. (2003) y Hunziker et al., (2018). La imputación de información hizo uso de los valores de T diaria de estaciones y datos de reanálisis del ERA-Interim (Tx y Tn) a través de un modelo estadístico basado en desviaciones de T (anomalías estandarizadas). Para la homogeneización se usó el algoritmo de Menne y Williams (2009) a escala mensual, y para las correcciones diarias

se realizó una transformación de los factores mensuales a diarios (Vincent et al., 2002). De esta manera, luego del control de calidad de datos se usaron 178 series de tiempo (Tx y Tn) con al menos 15 años de datos que posteriormente fueron completados y homogeneizados en el periodo 1981-2016

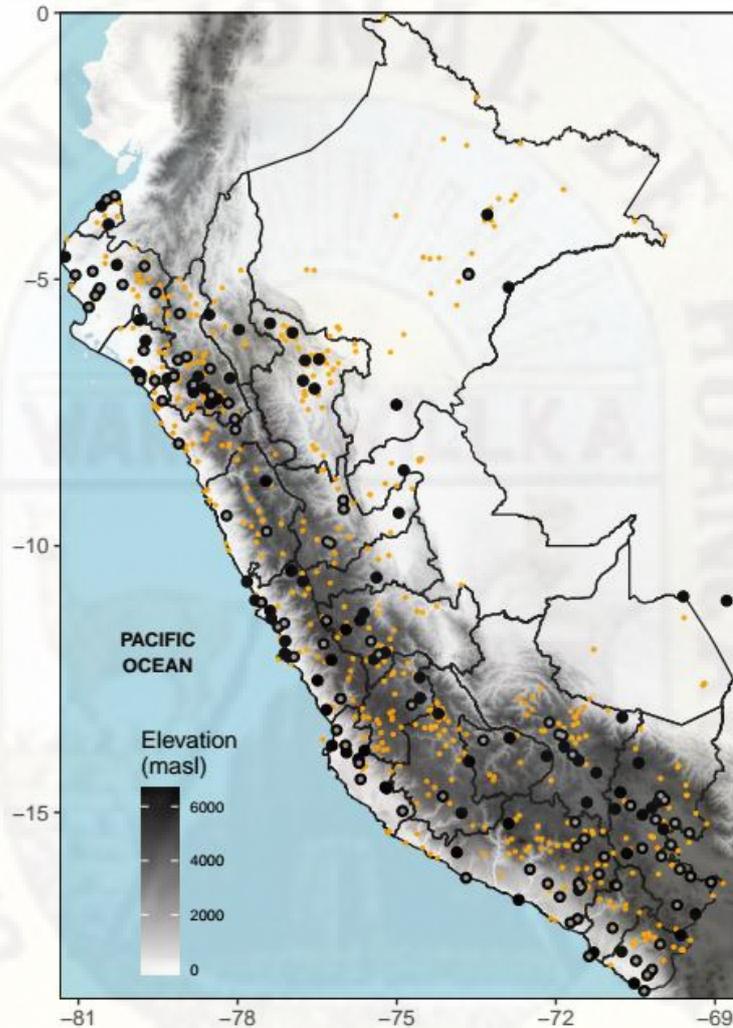


Figura 2.11: Distribución espacial de estaciones de Tx y Tn disponibles (684, anaranjado) y usadas (178, negro) para la construcción de PISCOt v1.1.

Para observaciones de LST, se obtuvo información del MODIS a una escala temporal de 8 días y a resolución espacial de 1km. Este producto es el denominado: MYD11A2 (Wan et al., 2004). MYD11A2 estima LST utilizando la señal térmica infrarroja recibida por el sensor del MODIS y el algoritmo split-window que utiliza absorción diferencial en bandas infrarrojas adyacentes para corregir la atenuación atmosférica y la emisividades basadas en la cla-

sificación de la cubierta terrestre para tener en cuenta la variabilidad de la emisividad superficial (Oyler et al., 2015). Se utilizó las imágenes día y noche del satélite como covariables de los valores de Tx y Tn respectivamente

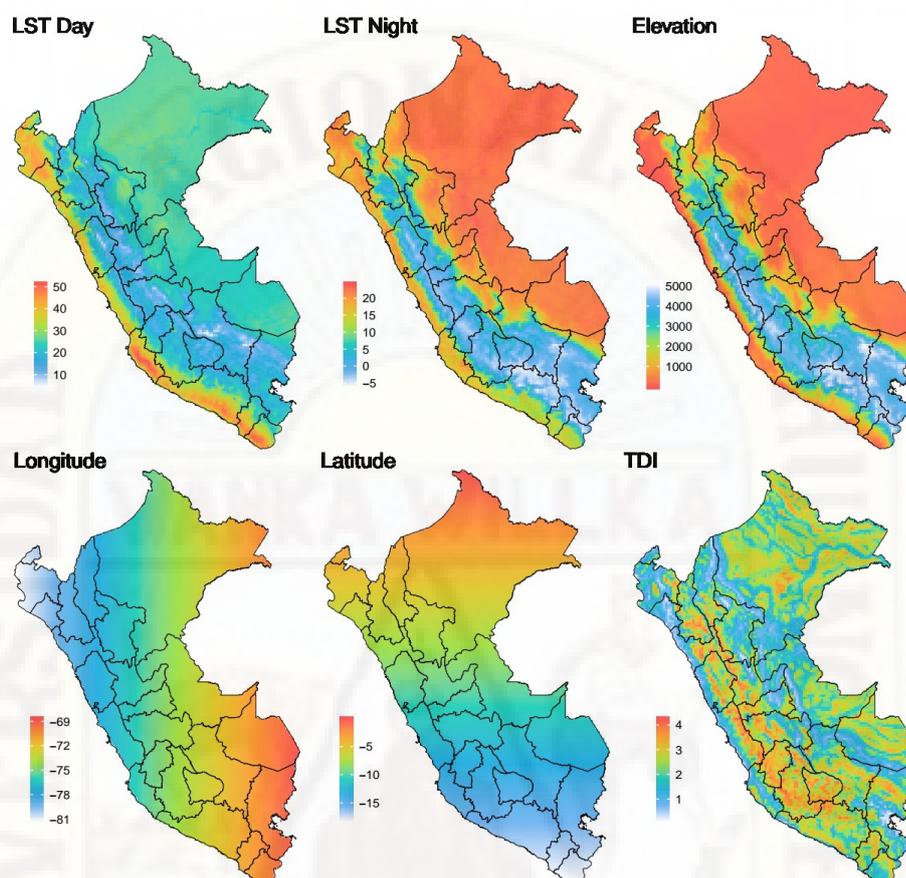


Figura 2.12: Distribución espacial de estaciones de Tx y Tn disponibles (684, anaranjado) y usadas (178, negro) para la construcción de PISCOT v1.1.

Por tanto PISCOT v1.1 es el resultado de la combinación entre datos observados de estaciones climatológicas convencionales, datos satelitales (LST) y variables topográficas (Z, X, Y y TDI).

2.2.5.6. Imputación de datos faltantes

Feng et al. (2014) desarrollaron un algoritmo CUTOFF, cuya técnica estadística de completación espacio temporal relativamente nueva, utiliza tanto la información temporal como espacial para la imputación de datos. Así, supongamos que se tiene observaciones espacio-temporales mensuales incompletas en una matriz X de dimensión $m \times n$ donde m es el número de meses y n es el

número de estaciones.

Sea $X_{(i,j),k}$ la observación en el mes i en el año j en la estación k , para $i = 1, 2, \dots, 12$; $j = 1, 2, \dots, w$ y $k = 1, 2, \dots, n$; y supongamos que una observación específica $X_{(i^*,j^*),k^*}$ es dato faltante, siendo el mes i^* en el año j^* y en la estación k^* como el dato faltante (candidato) a completar. A continuación se describe los pasos para completar el dato faltante:

- se crea una lista de estaciones de referencia (denominado L_{K^*}) conformado por estaciones que tienen alta correlación con la estación candidata k^* ; siendo los valores de correlación mayor que un valor de correlación definido por un umbral r ,

- sea $J_{i,k}$ el conjunto de años de referencia que no incluye el año j^* para el cual $X_{(i,j),k}$ no es dato perdido en el mes i y estación k ,

- se estima \bar{R} 2.2.1 como el valor promedio de las observaciones en el mes i^* de todos los años $J_{i,k}$ y estaciones L_{K^*} de referencia. \bar{C} 2.2.2 como el valor promedio de las observaciones en el mes i^* de todos los años de referencia $J_{i,k}$ solo de la estación candidata k^* . R 2.2.3 como el valor promedio de las observaciones en el mes i^* para el año j^* de las estaciones de referencia L_{K^*} .

$$\bar{R} = \frac{\sum_{k \in L_{K^*}} \sum_{j \in J_{i^*,k}} x_{(i^*,j),k}}{\sum_{k \in L_{K^*}} |J_{i^*,k}|} \quad (2.2.1)$$

$$\bar{C} = \frac{\sum_{j \in J_{i^*,k^*}} x_{(i^*,j),k^*}}{|J_{i^*,k^*}|} \quad (2.2.2)$$

$$R = \frac{\sum_{k \in L_{K^*}} x_{(i^*,j^*),k}}{|L_{K^*}|} \quad (2.2.3)$$

Finalmente, se calcula el valor a completar \hat{x} que corresponde a $x_{(i^*,j^*),k^*}$ como:

$$\frac{\hat{x}}{\bar{C}} = \frac{R}{\bar{R}}$$

$$\hat{x} = R \left(\frac{\bar{C}}{\bar{R}} \right)$$

Un valor del umbral $r = 0.75$ para la formación del conjunto de estaciones

que participan en la imputación de datos faltantes de una estación específica es recomendado por (Feng et al., 2014).

2.2.5.7. Índice de heladas

(Remisova et al., 2015), menciona que desde el punto de vista de la ingeniería de carreteras, la característica más importante del periodo invernal es el índice de heladas I_m (en °C/día). Es una cualidad climática que expresa la intensidad y duración del período de heladas. El Índice de heladas se define como el valor negativo máximo del resumen de las temperaturas medias diarias del aire T_s en el período invernal.

$$I_m = \left| \sum_{t_z}^{t_k} T_s \right| \quad (2.2.4)$$

donde:

I_m : índice de heladas,

T_s : temperaturas medias diarias del aire,

t_z : es el comienzo del período invernal,

t_k : es el final del período invernal.

Como se aprecia fig.2.13, el Índice de heladas se determina como la suma de los valores absolutos del promedio diario negativo consecutivo de temperaturas en invierno.

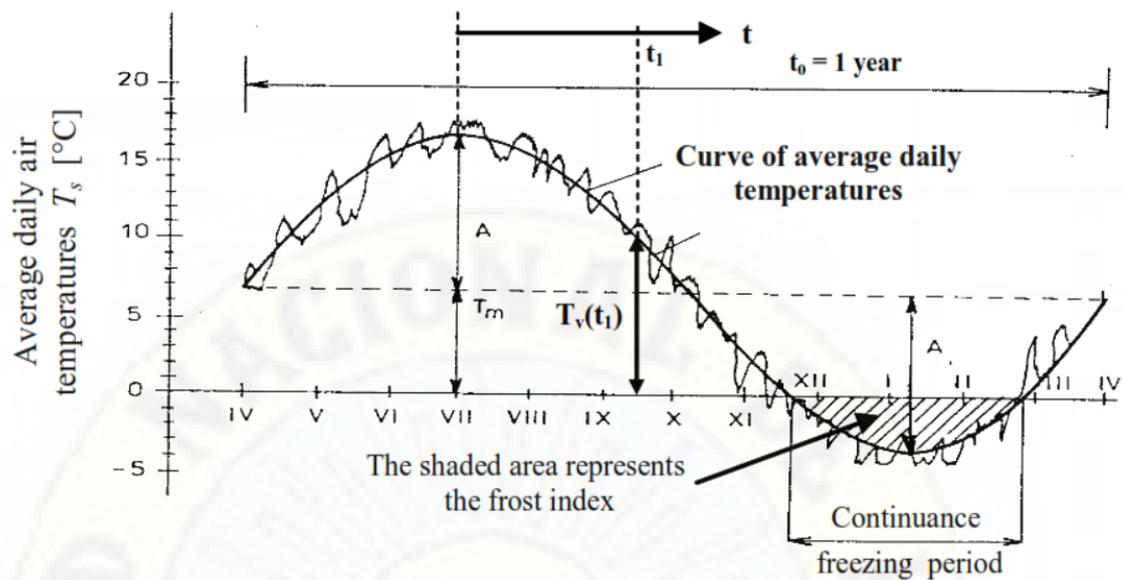


Figura 2.13: el área sombreada representa el índice de heladas correspondiente al período invernal

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

- Las heladas influyen significativamente en las fallas del tratamiento superficial slurry seal en el tramo Lachocc-Villa de Arma estimada por percepción remota

2.3.2. Hipótesis específica

- La temperatura bajo 0°C influye significativamente en las fallas del tratamiento superficial slurry seal en el tramo Lachocc-Villa de Arma estimada por percepción remota.

2.4. Definición De términos

- Agrietamiento.**- una grieta es una abertura larga y estrecha producto, puede ser producto de una condición superficial o evolución de una falla estructural.

2.4. Definición De términos

- **Concreto Asfáltico.**- mezcla procesada, compuesta por agregados gruesos y finos, material bituminoso y de ser los casos aditivos de acuerdo a diseño y especificaciones técnicas. Es utilizada como capa de base o de rodadura y forma parte de la estructura del pavimento.
- **Carretera.**- una carretera o ruta es una vía de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos motorizados.
- **Daños estructurales.**- caracterizan un estado estructural del pavimento, concerniente al conjunto de las diferentes capas del mismo.
- **Daños superficiales.**- se originan en general por un defecto de construcción, por un defecto en la calidad de un producto o por una condición local particular que el tráfico acentúa. Además, pueden resultar de la evolución de deterioros o fallas estructurales.
- **Estación meteorológica.**- es el lugar donde se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico.
- **Fallas.**- son las condiciones del pavimento cuando éstas pierden las características de servicio para las que fue diseñado. Pueden ser fallas estructurales y funcionales , no están necesariamente relacionados , pero una falla funcional que no se atiende a su debido tiempo, puede conducir a una falla estructural.
- **Heladas.**- es un fenómeno meteorológico que consiste en un descenso de la temperatura ambiente a niveles inferiores al punto de congelación del agua y hace que el agua o el vapor que está en el aire se congele depositándose en forma de hielo en las superficies.
- **Imputación.**- consisten en estimar los valores ausentes en base a los valores válidos de otras variables y/o casos de la muestra. La estimación se

puede hacer a partir de la información del conjunto completo de variables o bien de algunas variables especialmente seleccionadas. Usualmente los métodos de imputación se utilizan con variables métricas (de intervalo o de razón), y deben aplicarse con gran precaución porque pueden introducir relaciones inexistentes en los datos reales.

- **MODIS.**- en su abreviación espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) es un sensor de imágenes de carga útil, que fue lanzado a la órbita terrestre por la NASA en 1999 a bordo del satélite Terra (EOS AM), y en 2002 a bordo del Aqua (EOS PM) satélite. Están diseñados para proporcionar mediciones en la dinámica global a gran escala, incluyendo los cambios en la Tierra cubierta de nubes , el balance de radiación y los procesos que ocurren en los océanos, en la tierra, y en el atmósfera inferior.
- **Pavimento Flexible.**- aquel cuya estructura total se deflecta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. El uso de Pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como puedan ser vías, aceras o parkings.
- **Percepción remota.**- es la ciencia y arte de obtener información de un objeto analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo que no está en contacto físico con dicho objeto.
- **Pixel.**- es la unidad mas pequeña de la imagen satelital y representa una cierta porcion de la superficie terrestre.
- **Radiancia espectral.**- la capacidad para detectar y cuantificar los cambios que ocurren en la cubierta terrestre depende de la precisión de los sensores transportados por los satélites.
- **Satelite Artificial.**- es un tipo de satélite que se utiliza principalmente para supervisar el tiempo atmosférico y el clima de la Tierra. Los satélites llevan instrumentos o sensores que miden la radiación electromagnética que proviene del sistema tierra-atmósfera.

2.5. Definición operativa de variables.

- **Sensor.**- son instrumentos que transforman la radiación electromagnética en información perceptible y analizable. Se pueden distinguir dos tipos básicos de sensores: captadores pasivos (detectan la radiación electromagnética emitida o reflejada de fuentes naturales) y captadores activos (poseen fuentes internas que generan artificialmente la radiación-radar).
- **Slurry seal.**- es una técnica de mantenimiento económicamente efectiva para prolongar la vida de servicio del pavimento. Resiste la abrasión del tráfico y provee impermeabilización para la estructura inferior.
- **Tratamiento superficial.**- aplicación de una o más capas conformadas por riegos asfálticos que pueden incluir aditivos y agregados cuyas características son definidas según especificaciones técnicas. Por lo general son de una, dos y tres capas.
- **Temperatura del aire.**- es un índice indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire que resulta del intercambio de calor entre la atmósfera y la tierra. La temperatura indica en valores numéricos el nivel de energía interna que se encuentra en un lugar en ese momento.

2.5. Definición operativa de variables.

2.5.1. Variable independiente.

X: Heladas

Las heladas, son fenómenos meteorológicos que consisten, en un descenso de la temperatura ambiente a niveles inferiores al punto de congelación del agua y hace que el agua o el vapor que está en el aire se congele, depositándose en forma de hielo en las superficies.

Dimensiones

- X_1 : **temperatura**, es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente.

2.5.2. Variable dependiente

Y: fallas en el tratamiento superficial slurry seal:

Se refieren a los daños que se generan a nivel de superficie, siendo estos no estructurales.

Dimensiones.

- **Y₁: fallas superficiales**, es el deterioro de la superficie de rodadura, considera severidad y extensión del daño.

2.6. Operacionalización de variables

Tabla 2.29: Operacionalización de variables.

| Descripción | Variable | Dimensión | Indicadores | Instrumento |
|-------------------------------|--|----------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Variable independiente | Heladas | Temperatura | Temperatura remota mínima | Sensores remotos |
| Variable dependiente | Fallas en el tratamiento superficial slurry seal | Fallas superficiales | Leve, moderado y alto | Odómetro manual, GPS, flexómetro |

Tabla 2.29: Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. **Ámbito de temporal y espacial**

3.1.1. **Ámbito temporal**

La data utilizada para la presente investigación, corresponde a datos meteorológicos remotos; comprendidos desde el 2016 al 2018, cabe mencionar que en el año 2016, se concluyó la estabilización de la carretera de estudio con tratamiento superficial slurry seal. En tanto, el registro de fallas superficiales, fueron levantadas durante el año 2019.

3.1.2. **Ámbito espacial**

Esta investigación se desarrollo en el departamento de Huancavelica, se encuentra ubicado en el centro-sur del Perú. Limita por el norte con el departamento de Junín, por el este con Ayacucho, por el sur con Ica y por el nor-este con Lima.

3.1.2.1. **Ubicación política a la zona de estudio**

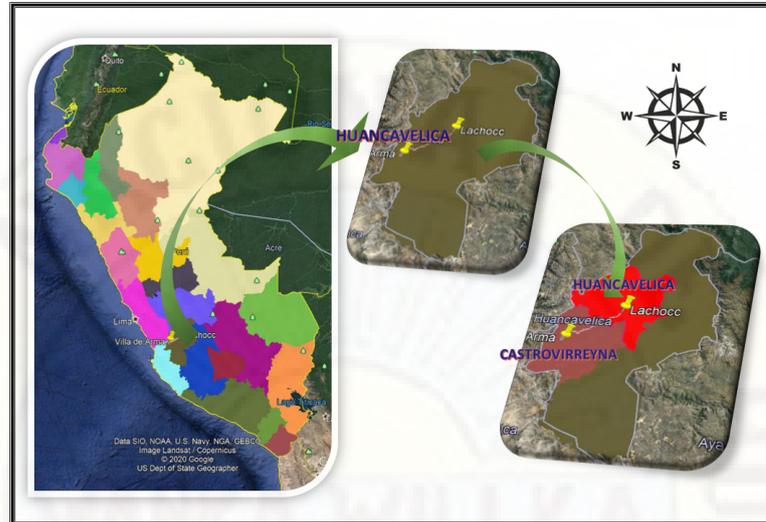
El centro poblado de Lachocc se encuentra a 20 km, desde la ciudad de Huancavelica; el tiempo promedio de viaje es 18 minutos en camioneta.

- Región: Huancavelica.
- Provincia: Castrovirreyna y Huancavelica

3.1. *Ámbito de temporal y espacial*

- Distritos: Aurahuá, Arma, Castrovirreyna y Huancavelica.

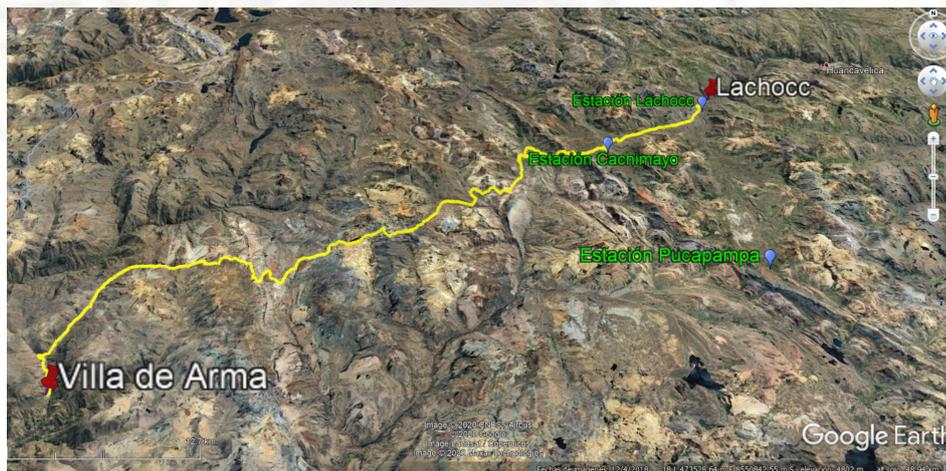
Figura 3.1: Ubicación geográfica del ámbito de estudio



Fuente: Elaboración propia

La carretera de estudio, inicia en el centro poblado de Lachocc y finaliza al llegar a la ciudad de Villa de Arma; siendo el tiempo de viaje promedio, 2 horas y 35 minutos en camioneta.

Figura 3.2: Carretera Lachocc - Villa de Arma



Adaptado de: Google Earth

3.2. Tipo de investigación

La investigación es del tipo aplicada, según (Tamayo, 2003)(p.43) menciona que: “es el estudio y aplicación de la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características concretas. Esta forma de investigación se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías”.

3.3. Nivel de investigación

La investigación es de nivel explicativo; según (A. Gonzales et al., 2011)(p.142), mencionaron que el nivel explicativo: “se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos”

3.4. Método de investigación

Como método general, se utilizó el método científico, ya que se utiliza sus procedimientos desde la observación hasta obtener las conclusiones. (Tamayo, 2003).

El método científico es un procedimiento para descubrir las condiciones en que se presentan sucesos específicos, caracterizado generalmente por ser tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica.

Así mismo, como métodos particulares se utilizaron los métodos cuantitativos; para conocer las magnitudes de las variables meteorológicas.

3.5. Diseño de investigación.

El diseño de investigación es pre-experimental con post test o estudio de caso en una sola dirección, de acuerdo según (A. Gonzales et al., 2011)(p.103) definen como:“ una forma de diseño pre-experimental que consiste en adminis-

3.6. Población, muestra, muestreo.

trar un estímulo o tratamiento a un grupo y después aplicar una medición en una o más variables, para observar cual es el nivel del grupo en estas variables”

GE: X — O

Donde:

GE : grupo experimental

X : tratamiento

O : medición

3.6. Población, muestra, muestreo.

3.6.1. Población

En el presente estudio de investigación se tomó el tramo Lachocc-Villa de Arma, comprendida en 99.34 Km. de tratamiento superficial slurry seal.

3.6.2. Muestra

El tipo de muestra es censal, porque se trabajó con los mismos datos de la población.

3.6.3. Muestreo

De acuerdo al tipo de investigación el muestreo es no probabilístico, de carácter intencional.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.1. Técnicas

Las técnicas para la recolección de datos y manejo de información que se utilizaron en la ejecución y desarrollo del presente trabajo de investigación, fueron:

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.1.1. La observación

Según (Suppo, 2012)(p.19) menciona: La observación participante implica conciencia en el evaluado; puede ser natural cuando el observador pertenece al conjunto humano que investiga, y artificial cuando la integración del observador es a propósito de la investigación.

Mediante esta técnica logramos captar hechos y sucesos que se desarrollaron durante la investigación:

- identificación de fallas superficiales en la carretera,
- comportamiento de temperaturas.

3.7.1.2. La medición

Con esta técnica, se logró registrar datos de temperaturas en la zona de estudio; también se pudo registrar, los daños superficiales en los subtramos de estudio:

- tipo y nivel de fallas en las unidades de estudio,
- registro de temperaturas de los sensores remotos,
- registro de temperaturas estaciones meteorológicas.

3.7.1.3. La descripción

Este método implica la recopilación y presentación sistemática de datos obtenidos, de la medición y observación:

- índice de condición de pavimento,
- índice de heladas.

3.7.2. Instrumentos

Los principales instrumentos que se aplicaron son los siguientes:

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.2.1. Instrumentos de observación

- fichas de campo,
- cámara fotográfica.

3.7.2.2. Instrumentos de medición

- estaciones sintéticas (Sensores remotos),
- estaciones meteorológicas,
- odómetro manual,
- GPS,
- regla de aluminio,
- wincha métrica,
- flexómetro.

3.7.2.3. Instrumentos de descripción

- Software de sistema de información geográfica (Qgis, Google Earth) y software de evaluación de daños en pavimentos flexibles (EvalPavCar, Civil3D),
- Software de procesamiento de datos y productos de sensores remotos (RStudio).

3.7.3. Procedimiento de recolección de datos

- Durante la observación: se realizó el replanteo de las unidades de muestra, identificando su posición en el espacio por cada tipo de falla observada.
- Durante la medición: se midió el tipo y nivel de daños superficial, en la carretera de estudio; de acuerdo a la metodología PCI.

- Durante la adquisición de información: se refiere a la información de temperaturas mínimas y máximas adquiridas, del SENAMHI (PISCOt), y otras entidades internacionales: Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA)- Espectrorradiómetro de imágenes de media resolución(MODIS).

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

3.8.1. Técnicas de procesamiento

Las técnicas para el procesamiento de los datos fueron:

- **Estadística descriptiva o exploratoria:** para el procesamiento de los datos meteorológicos obtenidos, se emplearon cuadros, gráficos y medidas estadísticas debido a que se trabaja con datos cuantitativos.
- **Estadística inferencial:** para evaluar los datos provenientes de sensores remotos, los estadísticos de prueba utilizados en esta etapa fueron: eficiencia de nash sutcliffe (NSE), sesgo porcentual (PBIAS), raíz del error cuadrático medio (RMSE), coeficiente de determinación (R^2) y coeficiente de correlación.

Eficiencia de Nash y Sutcliffe (NSE): El criterio utilizado para cuantificar los resultados o para evaluar el poder predictivo de modelos hidrológicos o cuantificar la comparación de dos grupos de datos, fue propuesto por el mismo autor y se puede utilizar para describir cuantitativamente la precisión de los resultados de modelos hidrológicos para descargas o resultados que se está evaluando (Nash y Sutcliffe, 1970).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (3.8.1)$$

donde:

NSE : eficiencia de Nash Sutcliffe,

N : número de observaciones,

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

x_i : Valor observado,

\hat{x}_i : valor estimado por el modelo,

\bar{x}_i : promedio de los datos observados.

La eficiencia de NSE (tabla 4.40), fue clasificado bajo los criterios de Ritter y Muñoz (2013).

Tabla 3.1: Valores del coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE)

| Rango de NSE | Ajuste |
|--------------|---------------|
| <0.2 | Insuficiente |
| 0.2 - 0.4 | Satisfactorio |
| 0.4 - 0.6 | Bueno |
| 0.6 - 0.8 | Muy bueno |
| >0.8 | Excelente |

Raíz del error medio cuadrático (RMSE): Indica en las mismas unidades de los valores evaluados, la desviación estándar de los errores de los valores simulados. Un valor pequeño indica un mejor desempeño.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\hat{x}_i - x)^2}{N}} \quad (3.8.2)$$

donde:

RMSE: raíz del error medio cuadrático,

N : número de observaciones,

x_i : valor observado,

\hat{x}_i : valor estimado por el modelo.

Sesgo porcentual (BIAS): Indica la tendencia promedio de los datos simulados de ser mayores o menores que los datos observados. Un BIAS positivo implica que la tendencia del modelo es muy similar a las observaciones, y viceversa cuando es negativo, el valor óptimo del BIAS es 0.0, con valores de baja magnitud que indican modelos de simulación precisa.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

$$BIAS = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (\hat{x}_i - x_i)}{\sum_{i=1}^N x_i} \right) \quad (3.8.3)$$

donde:

BIAS: sesgo porcentual,

N : número de observaciones,

x_i : valor observado,

\hat{x}_i : valor estimado por el modelo.

Coefficiente de determinación (R²): Describe la proporción de la varianza en los datos observados que puede ser explicada por el modelo. R² adquiere valores entre 0 y 1. En el caso de un predictor perfecto R² es 1.

$$R^2 = 1 - \frac{(n-1) \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (3.8.4)$$

donde:

R²: coeficiente de determinación,

N : número de observaciones,

x_i : valor observado,

\hat{x}_i : valor estimado por el modelo,

\bar{x}_i : promedio de los datos observados.

Coefficiente de correlación (r):

Corresponde a la raíz cuadrada del coeficiente de determinación y es una medida del grado de asociación entre dos variables, si son completamente independientes el coeficiente de correlación toma valor cero (Barria, 2010).

$$r = \sqrt{R^2} \quad (3.8.5)$$

donde:

R²: coeficiente de determinación,

r : coeficiente de correlación.

3.8.2. Análisis de datos

Para el análisis de los datos recopilados en la investigación, se emplearon los siguientes softwares y lenguajes de programación:

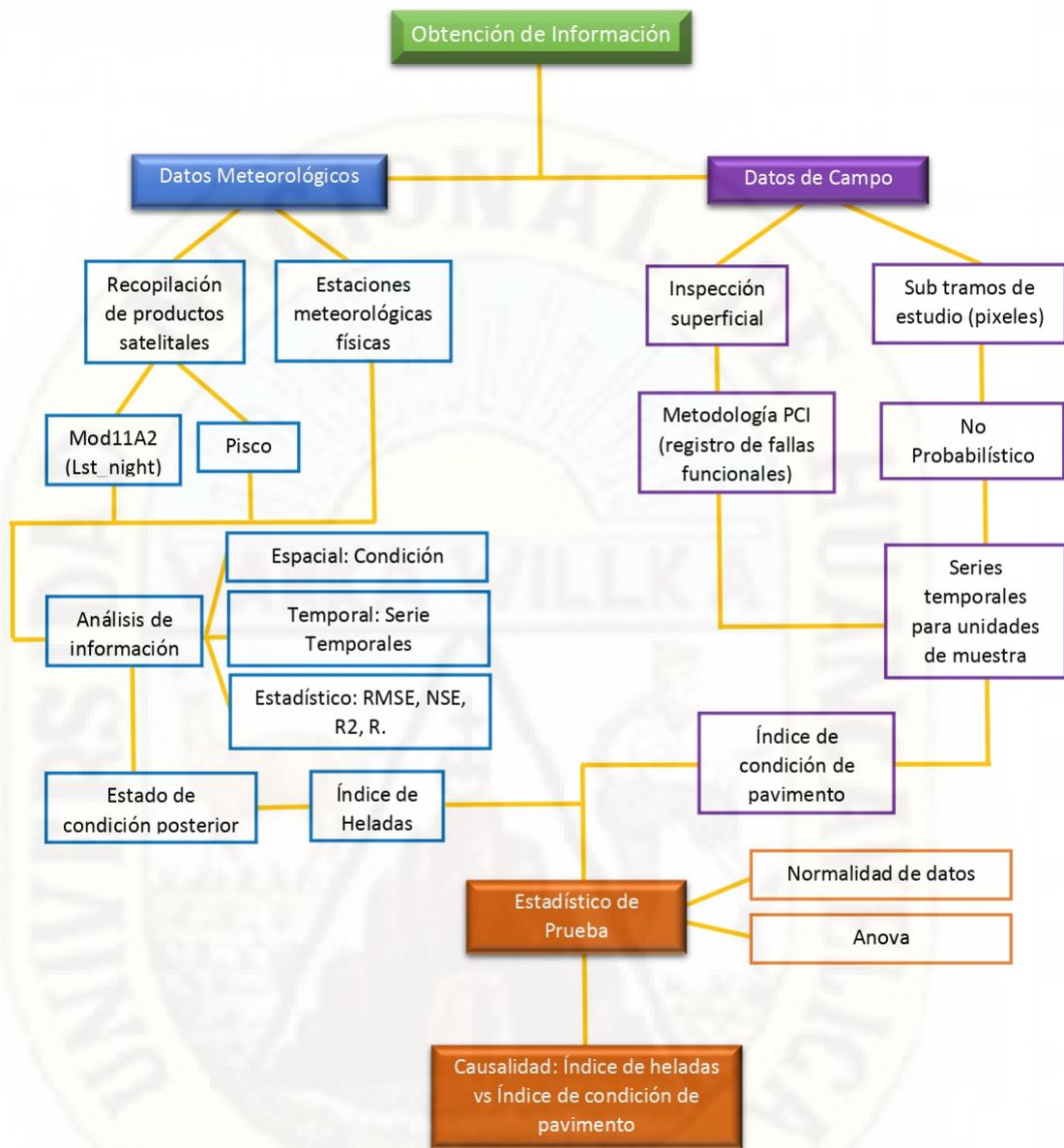
- Google Earth Engine: plataforma para el análisis científico a escala petabyte (PB) y la visualización de conjuntos de datos geoespaciales mediante la API de Python , permitiendo la descarga a grandes escalas y formatos.
- Software QGis v.3.14 : para el manejo de formatos de datos ráster y vectoriales a través de bibliotecas y bases de datos, análisis exploratorio de los productos de sensores remotos y ubicación de estaciones meteorológicas.
- Lenguaje de programación R : para el procesamiento, análisis exploratorio y análisis estadístico de la información de sensores remotos, análisis espacial de los productos de sensores remotos dentro de la zona de estudio, Asimismo para el estadístico de prueba.
- Civil 3D: para la distribución espacial de las unidades de muestra, ubicadas mediante celdas o píxeles; limitadas mediante progresivas, en los diferentes sub tramos de estudio.
- EvalPavCar: para el procesamiento y análisis de las fallas superficiales, registradas por cada unidad de muestra; interpretando los daños superficiales de forma cuantitativa conforme a la metodología PCI.

3.9. Esquema metodológico.

El esquema metodológico empleado en la presente investigación, se refleja en la figura 3.3.

3.9. Esquema metodológico.

Figura 3.3: Esquema metodológico de la investigación



Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información

En el presente capítulo se describe los procedimientos y resultados obtenidos productos de la recolección de datos y del análisis de información.

4.1.1. Área de estudio

- Ubicación política

El ámbito de estudio para la presente investigación se encuentra ubicado políticamente en:

Región: Huancavelica

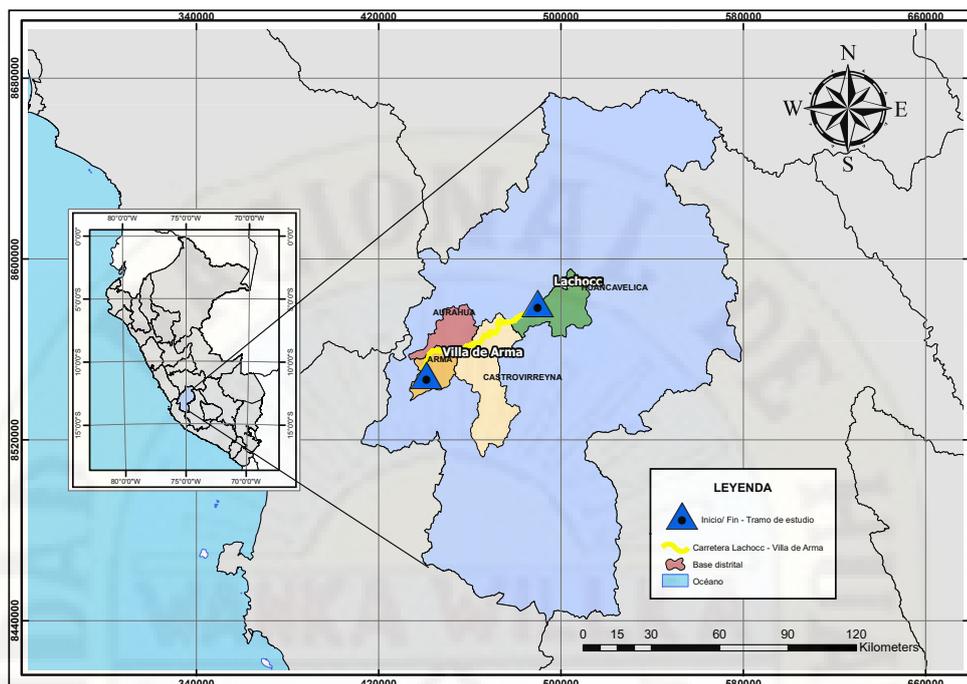
Departamento: Huancavelica

Provincia: Castrovirreyna y Huancavelica

Distritos: Aurahuá, Arma, Castrovirreyna y Huancavelica

La figura 4.1 muestra la ubicación general del proyecto y específicamente el tramo de estudio Lachoc – Villa de Arma; siendo esta vía parte de la carretera nacional P26.

Figura 4.1: ubicación y localización geográfica del ámbito de estudio



Fuente: elaboración propia

- Ubicación geográfica

Geográficamente se localiza en la región central de la cordillera Occidental de los andes a una altitud que va desde los 3281 hasta los 4142 metros sobre el nivel del mar.

El cuadro 4.1, indica la ubicación geográfica del centro poblado de Lachoc (inicio del tramo de estudio); siendo la misma, una vía afirmada con una distancia aproximada de 20 km desde la ciudad de Huancavelica. El tiempo promedio de viaje es 18 minutos en camioneta.

Tabla 4.1: ubicación del centro poblado de Lachoc

| Item | Descripción |
|----------------------------|-------------------------|
| Location | Lachoc |
| Access | 18 minutos en camioneta |
| Projected Coodinate System | WGS-1984 UTM ZONE-18S |
| North | 8580358.71 |

Tabla 4.1: ubicación del centro poblado de Lachocc

| Item | Descripción |
|-----------------------------|-------------------|
| East | 489868.89 |
| level | 4142 m.s.n.m. |
| Projection | Transver-Mercator |
| Geographic Coodinate System | GCS-WGS-1984 |

Fuente: elaboración propia

El cuadro 4.2, indica la ubicación geográfica de la ciudad de Villa de Arma (fin del tramo de estudio). El tiempo de viaje promedio es de 2 horas y 35 minutos en camioneta; haciendo un recorrido de 99.34 km desde el centro poblado de Lachocc.

Tabla 4.2: ubicación de la ciudad de Villa de Arma

| Item | Descripción |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| Location | Villa de Arma |
| Access | 2 horas y 35 minutos en camioneta |
| Projected Coodinate System | WGS-1984 UTM ZONE-18S |
| North | 8548902.16 |
| East | 441081.94 |
| level | 3281 m.s.n.m. |
| Projection | Transver-Mercator |
| Geographic Coodinate System | GCS-WGS-1984 |

Fuente: elaboración propia

4.1.2. Caraterísticas geométricas de la vía

La vía de estudio tiene una longitud total de 99.34 km estabilizados con tratamiento superficial slurry seal y presenta una calzada de dos carriles sin bermas como indica el cuadro 4.3, asimismo se muestra la geometría de la vía

en la figura 4.2

Tabla 4.3: Características geométricas de la vía

| Descripción | Longitud |
|-------------------------|-------------|
| Long. de la vía | 99.34 km |
| Plataforma | 6.50 m |
| Calzada | 6.00 m |
| Carril | 3.00 m |
| Nº de carriles | 02 |
| Tratamiento superficial | slurry seal |

Fuente: elaboración propia

Figura 4.2: geometría de la vía



Fuente: elaboración propia

Cabe mencionar que existe demasiada variabilidad en datos debido a la geomorfología del ámbito espacial, el tramo Lachocc-Villa de Arma, se encuentra por encima de los 4470 m.s.n.m. en más de un 70% como se aprecia en la fig.4.3

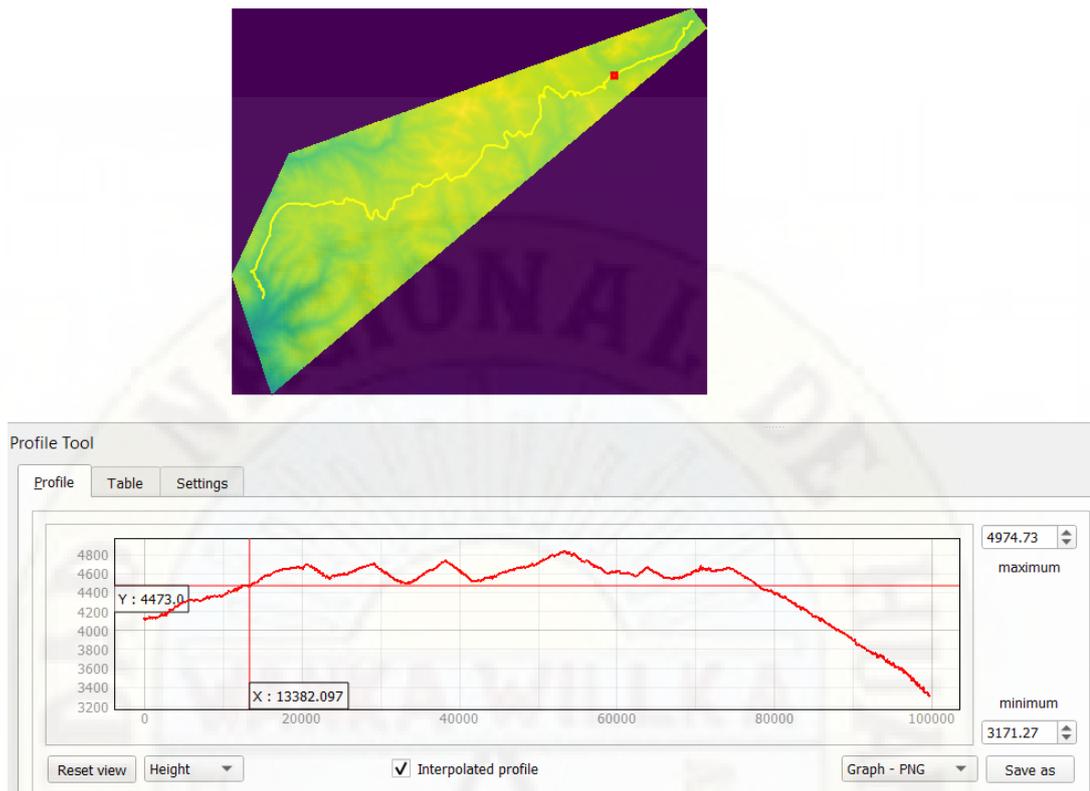


Figura 4.3: perfil longitudinal del tramo Lachocc - Villa de Arma

4.1.3. Generación de unidades de estudio a partir del producto Modis11a2

El registro de daños superficiales fue medida mediante la metodología PCI (Pavement Condition Index), detallado bajo la norma ASTM D6433-03 (Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos).

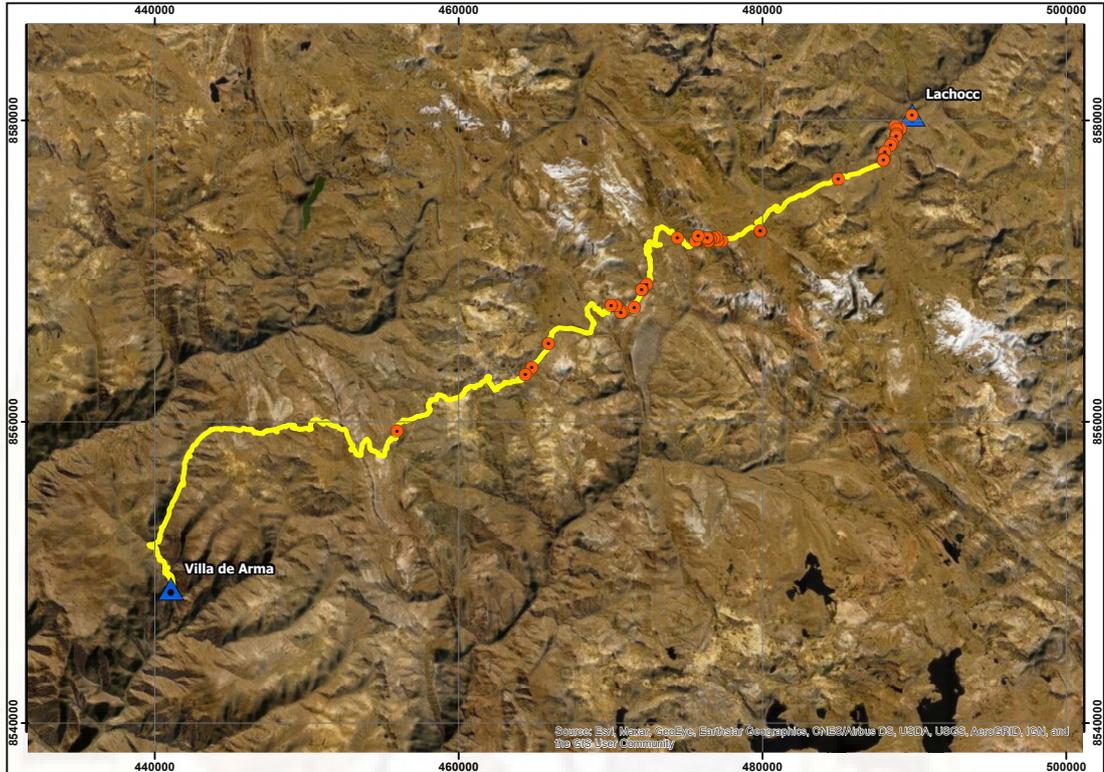
Esta metodología consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando: la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas. Los datos observados se muestran en el cuadro 4.4, la misma que se realizó con una primera inspección de reconocimiento en campo, siendo el objetivo visar los daños superficiales con mayor significancia a lo largo de la población de estudio.

Para un mejor entendimiento se ha elaborado la figura 4.4, donde se muestra el mapa de ubicación de fallas superficiales a lo largo de la zona de estudio.

4.1. Análisis de información

Los puntos identificados son no probabilísticos.

Figura 4.4: exploración de daños superficiales en la carretera



Fuente: elaboración propia

Tabla 4.4: daños focalizados en la carretera

| Punto Nº | Norte - | Este - | Cota (m.s.n.m) |
|-------------|------------|-----------|-------------------|
| 1 | 8580354 | 489855 | 4149 |
| 2 | 8579448 | 489098 | 4139 |
| 3 | 8579617 | 488752 | 4165 |
| 4 | 8579405 | 488860 | 4179 |
| 5 | 8579083 | 488832 | 4196 |
| 6 | 8579054 | 488834 | 4197 |
| 7 | 8578959 | 488831 | 4201 |
| 8 | 8578474 | 488567 | 4231 |
| 9 | 8578329 | 488444 | 4245 |

Tabla 4.4: daños focalizados en la carretera

| Punto Nº | Norte - | Este - | Cota (m.s.n.m) |
|-------------|------------|-----------|-------------------|
| 10 | 8577878 | 488077 | 4275 |
| 11 | 8577421 | 487996 | 4295 |
| 12 | 8577388 | 487988 | 4296 |
| 13 | 8577357 | 487975 | 4298 |
| 14 | 8576128 | 485007 | 4373 |
| 15 | 8572623 | 479893 | 4631 |
| 16 | 8572680 | 479859 | 4632 |
| 17 | 8571985 | 477355 | 4678 |
| 18 | 8572022 | 477096 | 4681 |
| 19 | 8572281 | 477003 | 4694 |
| 20 | 8572183 | 476825 | 4716 |
| 21 | 8572130 | 476591 | 4709 |
| 22 | 8572187 | 470604 | 4711 |
| 23 | 8571953 | 476460 | 4676 |
| 24 | 8571990 | 476459 | 4674 |
| 25 | 8572204 | 476434 | 4672 |
| 26 | 8572146 | 476363 | 4670 |
| 27 | 8572201 | 476382 | 4663 |
| 28 | 8572336 | 475780 | 4621 |
| 29 | 8572229 | 474415 | 4607 |
| 30 | 8569125 | 472383 | 4520 |
| 31 | 8568764 | 472100 | 4530 |
| 32 | 8568764 | 472053 | 4535 |
| 33 | 8567600 | 471580 | 4591 |
| 34 | 8567317 | 470811 | 4694 |
| 35 | 8567274 | 470682 | 4710 |
| 36 | 8567701 | 470380 | 4750 |

Tabla 4.4: daños focalizados en la carretera

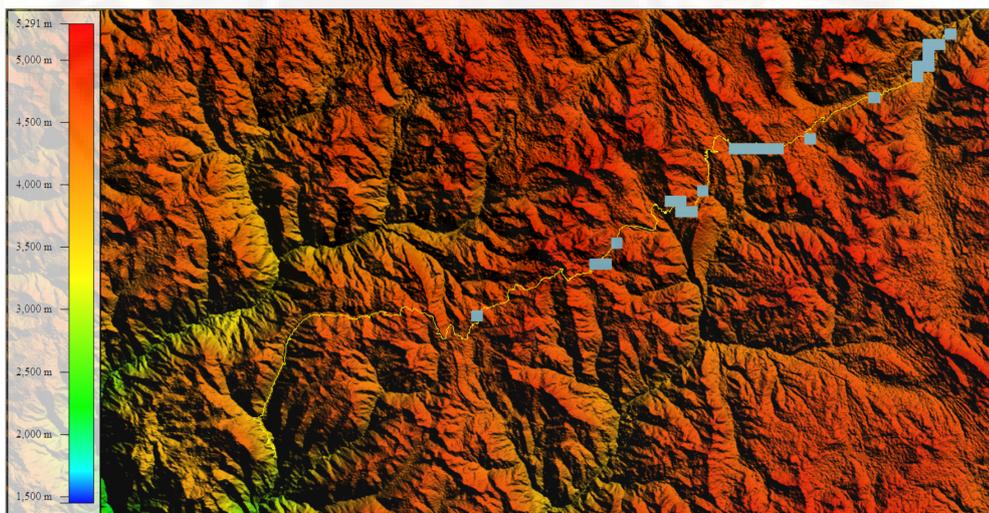
| Punto | Norte | Este | Cota |
|-------|---------|--------|-----------|
| Nº | - | - | (m.s.n.m) |
| 37 | 8567742 | 470060 | 4723 |
| 38 | 8565171 | 465933 | 4657 |
| 39 | 8563579 | 464825 | 4732 |
| 40 | 8563123 | 464401 | 4733 |
| 41 | 8559392 | 455963 | 4675 |

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, la distribución de fallas superficiales nos da un marco focalizado dentro de la resolución espacial del producto Modis11a2. Estos daños focalizados son cubiertos en 23 pixeles de acuerdo a su distribución espacial tal como lo indica la figura 4.5.

Los pixeles de estudio, están presentadas en cuadrículas de 1km x 1km aproximadamente, siendo los contenidos diferentes para cada cuadrícula. Se ha confeccionado el cuadro 4.5, la cual muestra centros de gravedad, área de influencia, y cantidad de unidades de muestra por pixel de estudio.

Figura 4.5: distribución espacial de los pixeles de estudio



Fuente: elaboración propia

Tabla 4.5: Pixeles de estudio

| Item | Norte | Este | Cota (ms.n.m.) | Longitud (km) |
|----------|--------|---------|-------------------|------------------|
| Pixel 01 | 490165 | 8580523 | 4149 | 0.1 |
| Pixel 02 | 489357 | 8579755 | 4139 | 1.13 |
| Pixel 03 | 488565 | 8579750 | 4165 | 0.64 |
| Pixel 04 | 488573 | 8578974 | 4197 | 0.93 |
| Pixel 05 | 488568 | 8578188 | 4245 | 0.74 |
| Pixel 06 | 487792 | 8578786 | 4373 | 0.31 |
| Pixel 07 | 487790 | 8577414 | 4631 | 1.16 |
| Pixel 08 | 484635 | 8575783 | 4678 | 0.91 |
| Pixel 09 | 479992 | 8572723 | 4716 | 1.02 |
| Pixel 10 | 477650 | 8571950 | 4670 | 0.88 |
| Pixel 11 | 46873 | 8571956 | 4599 | 1.78 |
| Pixel 12 | 476070 | 8571950 | 4607 | 1.4 |
| Pixel 13 | 475308 | 8571952 | 4530 | 1.16 |
| Pixel 14 | 474518 | 8571941 | 4591 | 0.99 |
| Pixel 15 | 472201 | 8568830 | 4750 | 1.29 |
| Pixel 16 | 471409 | 8567263 | 4723 | 1.34 |
| Pixel 17 | 470629 | 8567264 | 4657 | 1.45 |
| Pixel 18 | 470637 | 8568035 | 4732 | 0.27 |
| Pixel 19 | 469853 | 8568047 | 4733 | 0.57 |
| Pixel 20 | 465956 | 8564920 | 4675 | 0.93 |
| Pixel 21 | 465176 | 8568369 | 4650 | 0.3 |
| Pixel 22 | 464386 | 8563369 | 4640 | 0.8 |
| Pixel 23 | 455807 | 8559457 | 4620 | 0.84 |

Fuente: elaboración propia

4.1.4. Proceso de recolección de datos

El levantamiento de fallas superficiales se realiza mediante la metodología PCI; el registro de campo se adjunta en el Anexo A. Para el análisis se ha tomado 23 zonas de estudio; cada una, contiene dentro de su área de influencia, el registro de daños superficiales desde su apertura al tránsito.

Las zonas de estudio se muestran en el cuadro 4.6, se obtuvieron un total de 408 unidades de muestra; cada unidad de muestra, esta limitada por el área de: 50 m longitudinales de carretera por el ancho de la calzada de 6 m.

El procedimiento para la inspección en campo, fue el siguiente:

1. Se replantearon en campo las áreas de trabajo y las unidades de muestra, de acuerdo a las progresivas descritas en el cuadro 4.6.
2. Se inspeccionaron individualmente cada unidad de muestra en estudio.
3. Se realizó la inspección de las fallas: cuantificando el tipo y nivel de severidad. Se adjunta en el anexo D (cuadro D1), el formato que se utilizó; para registrar los daños superficiales en la zona de estudio.
4. Repetir el procedimiento para cada Pixel de estudio.

El método de medición para cada tipo y nivel de falla se encuentra descrito en el capítulo 2, en el numeral 2.2.4.3 de esta investigación.

Tabla 4.6: área de influencia y unidades de muestra por pixeles

| Item | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Longitud (km) | Unidad de muestreo |
|----------|-----------------------|---------------------|------------------|-----------------------|
| Pixel 01 | 0+000 | 0+100 | 0.1 | 2 |
| Pixel 02 | 0+470 | 1+600 | 1.13 | 22 |
| Pixel 03 | 1+600 | 2+240 | 0.64 | 12 |
| Pixel 04 | 2+240 | 3+170 | 0.93 | 18 |
| Pixel 05 | 3+170 | 3+910 | 0.74 | 14 |
| Pixel 06 | 3+910 | 4+220 | 0.31 | 6 |
| Pixel 07 | 4+220 | 5+380 | 1.16 | 23 |

Tabla 4.6: área de influencia y unidades de muestra por pixeles

| Item | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Longitud (km) | Unidad de muestreo |
|----------|-----------------------|---------------------|------------------|-----------------------|
| Pixel 08 | 8+250 | 9+160 | 0.91 | 18 |
| Pixel 09 | 15+800 | 16+820 | 1.02 | 20 |
| Pixel 10 | 18+640 | 19+520 | 0.88 | 17 |
| Pixel 11 | 19+520 | 21+300 | 1.78 | 35 |
| Pixel 12 | 21+300 | 22+700 | 1.4 | 28 |
| Pixel 13 | 22+700 | 23+860 | 1.16 | 23 |
| Pixel 14 | 23+860 | 24+850 | 0.99 | 19 |
| Pixel 15 | 32+830 | 34+120 | 1.29 | 25 |
| Pixel 16 | 35+020 | 36+360 | 1.34 | 26 |
| Pixel 17 | 36+360 | 37+810 | 1.45 | 29 |
| Pixel 18 | 37+810 | 38+080 | 0.27 | 5 |
| Pixel 19 | 38+080 | 38+650 | 0.57 | 11 |
| Pixel 20 | 47+120 | 48+050 | 0.93 | 18 |
| Pixel 21 | 49+120 | 49+420 | 0.3 | 6 |
| Pixel 22 | 49+420 | 50+220 | 0.8 | 15 |
| Pixel 23 | 63+020 | 63+860 | 0.84 | 16 |
| - | - | Total | 20.94 | 408 |

Fuente: elaboración propia

4.1.5. Índice de condición de pavimento

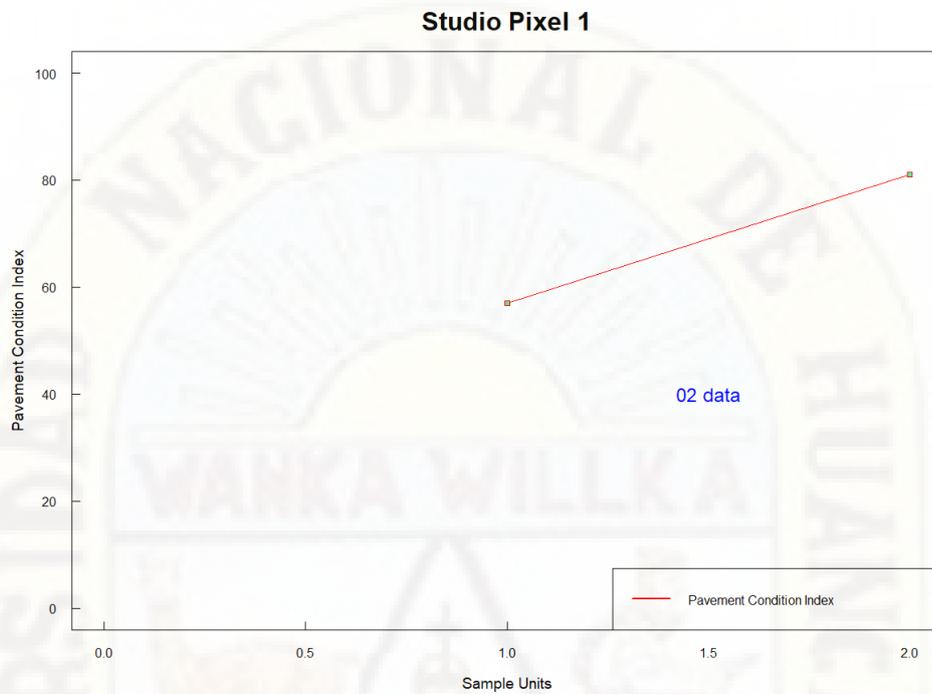
El procedimiento de cálculo para determinar el índice de condición de pavimento, se encuentra detallado en el anexo B. Por lo que, producto de la evaluación superficial de la carretera de estudio, tramo: Lachocc - Villa de Arma, detallamos todos los registros obtenidos en gráficas fáciles de entender e interpretar.

Las figuras a continuación, explican el daño superficial por pixel de estudio;

4.1. Análisis de información

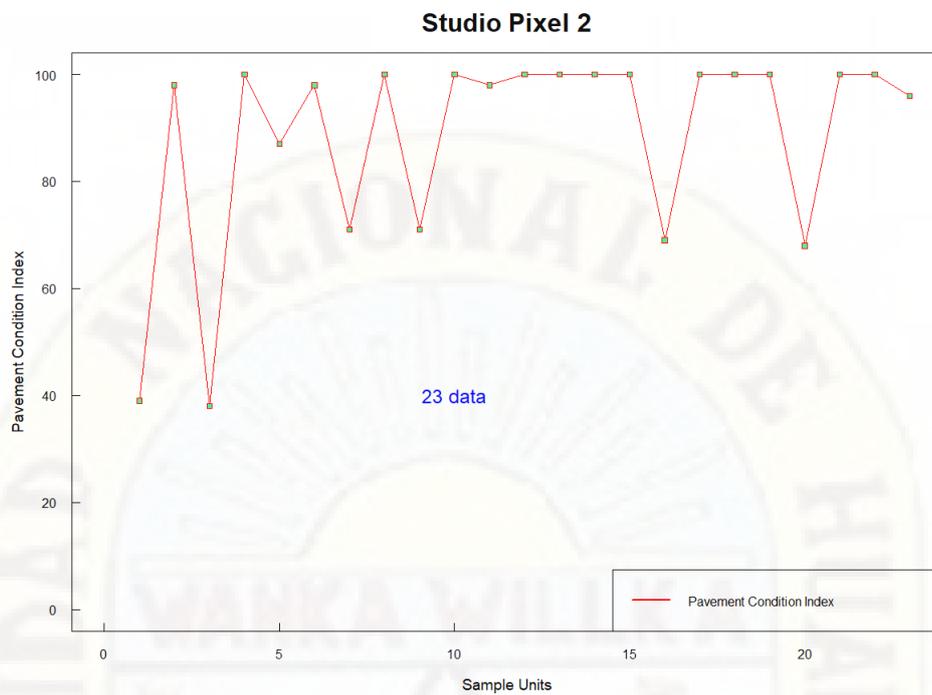
donde el factor determinante es la condición local real de la carretera, por unidad de muestra.

Figura 4.6: series PCI para unidades de muestra del pixel 1



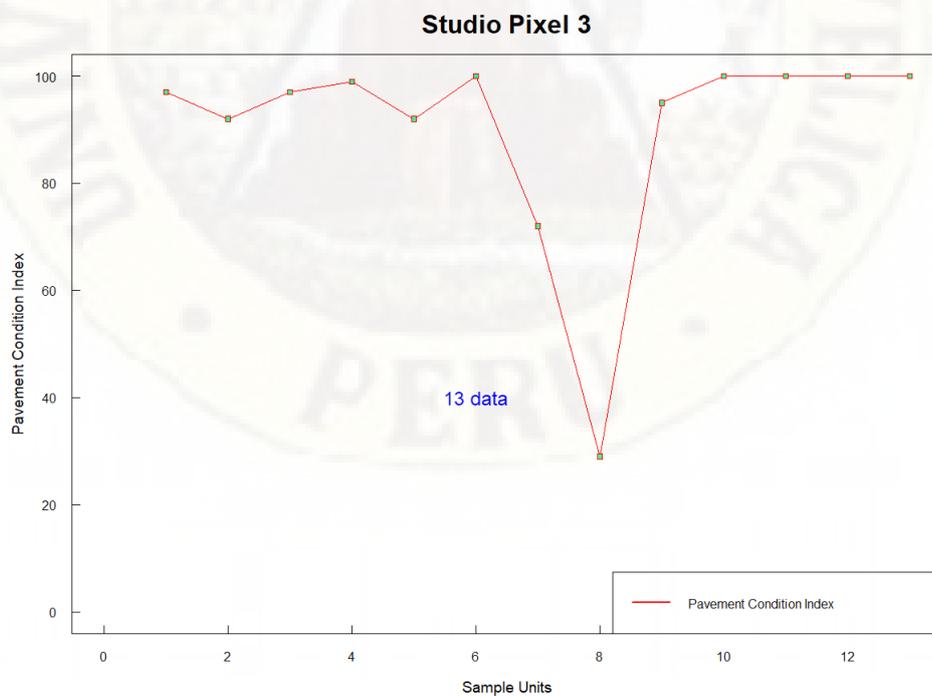
Fuente: elaboración propia

Figura 4.7: series PCI para unidades de muestra del pixel 2



Fuente: elaboración propia

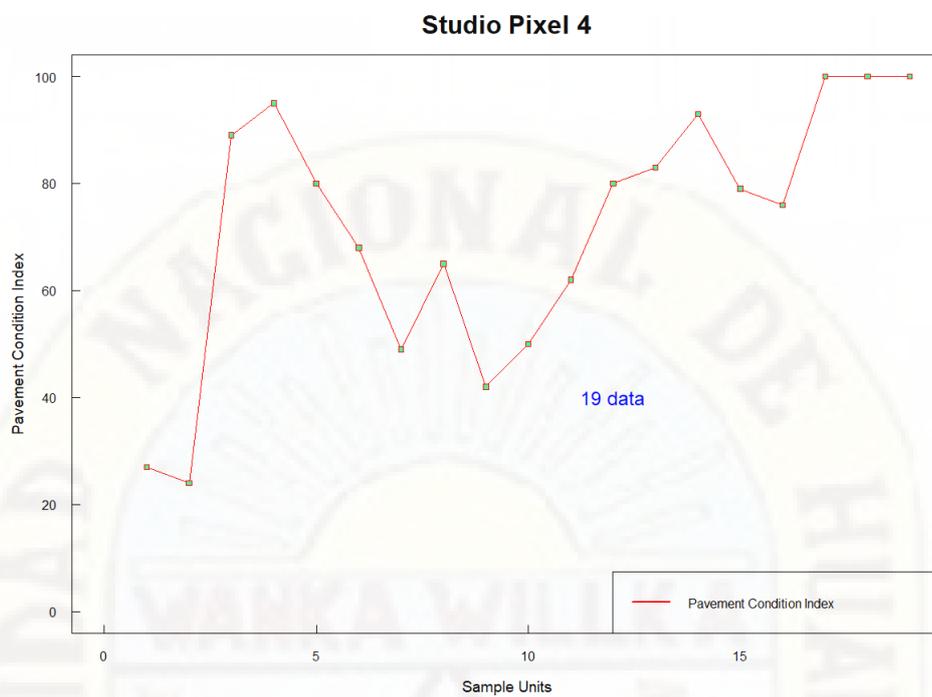
Figura 4.8: series PCI para unidades de muestra del pixel 3



Fuente: elaboración propia

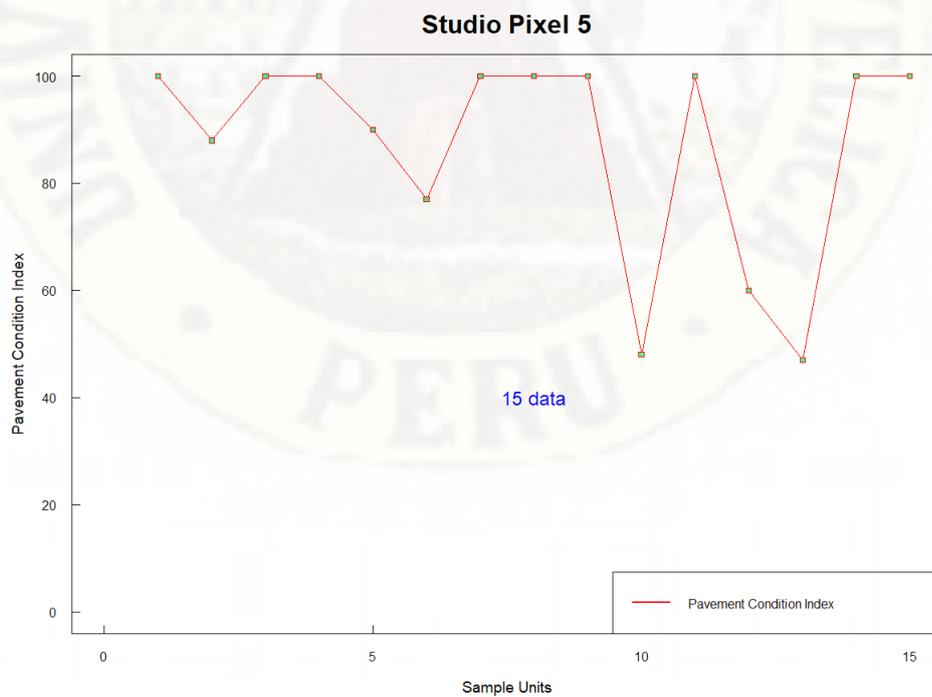
4.1. Análisis de información

Figura 4.9: series PCI para unidades de muestra del pixel 4



Fuente: elaboración propia

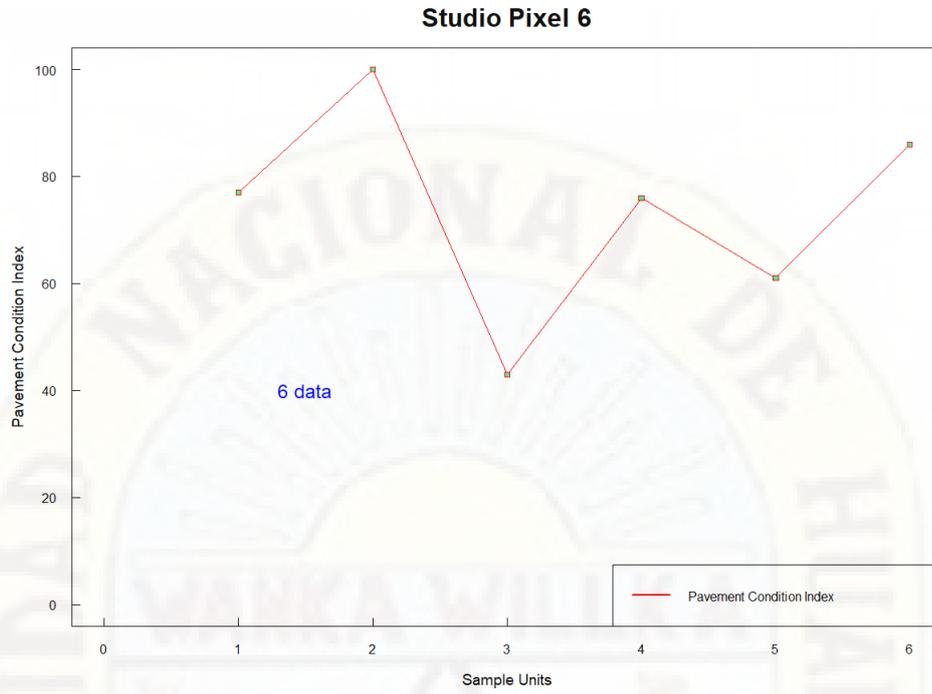
Figura 4.10: series PCI para unidades de muestra del pixel 5



Fuente: elaboración propia

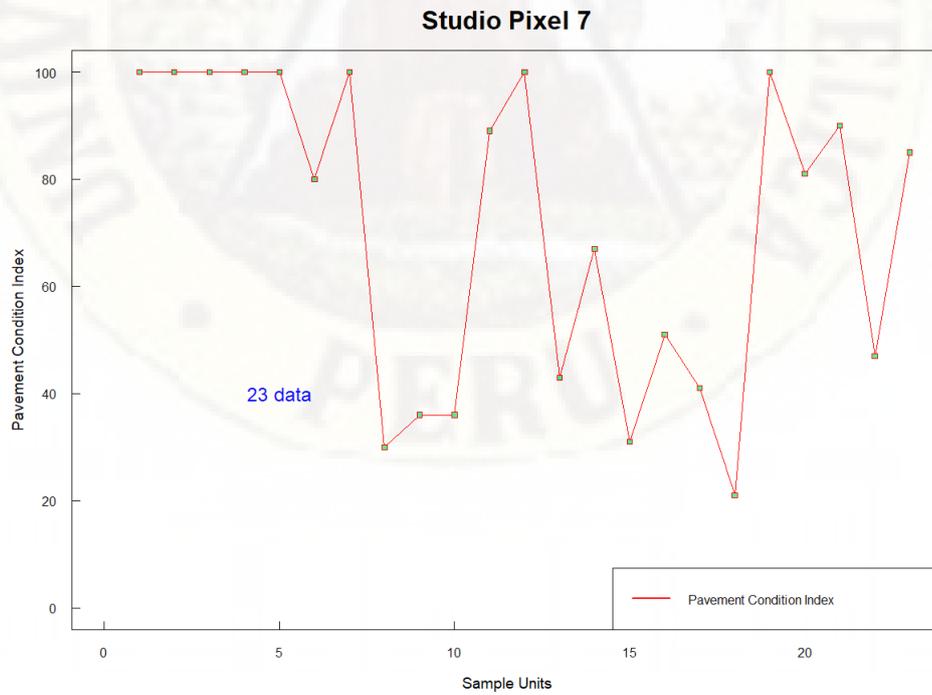
4.1. Análisis de información

Figura 4.11: series PCI para unidades de muestra del pixel 6



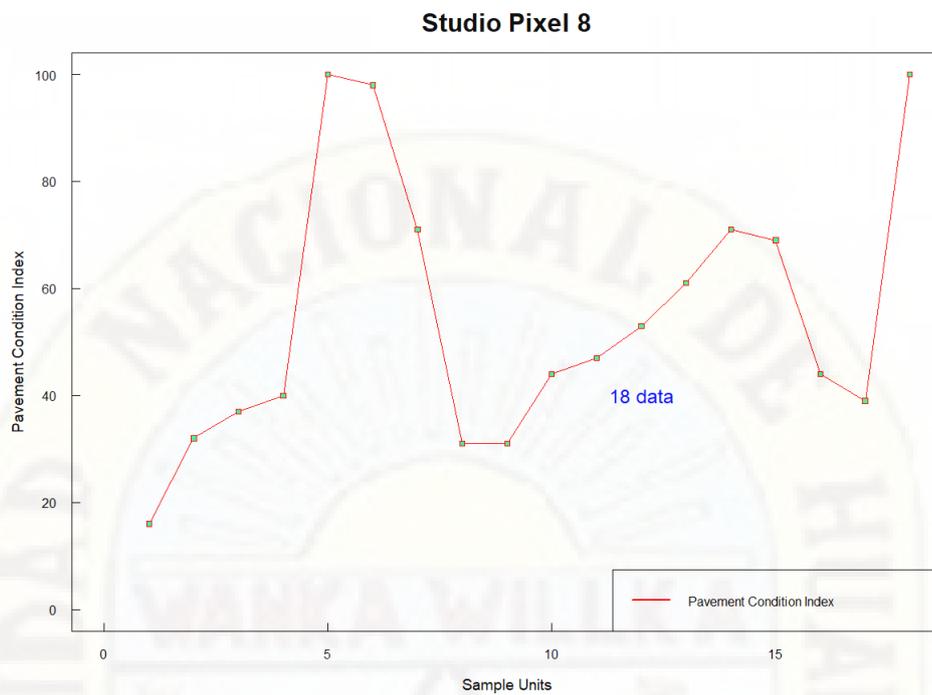
Fuente: elaboración propia

Figura 4.12: series PCI para unidades de muestra del pixel 7



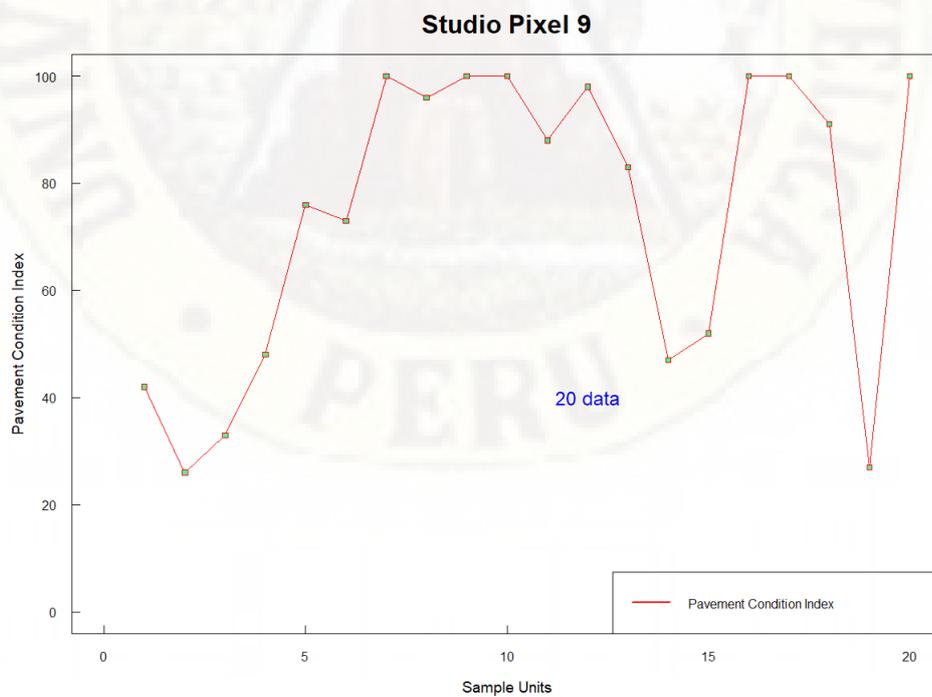
Fuente: elaboración propia

Figura 4.13: series PCI para unidades de muestra del pixel 8



Fuente: elaboración propia

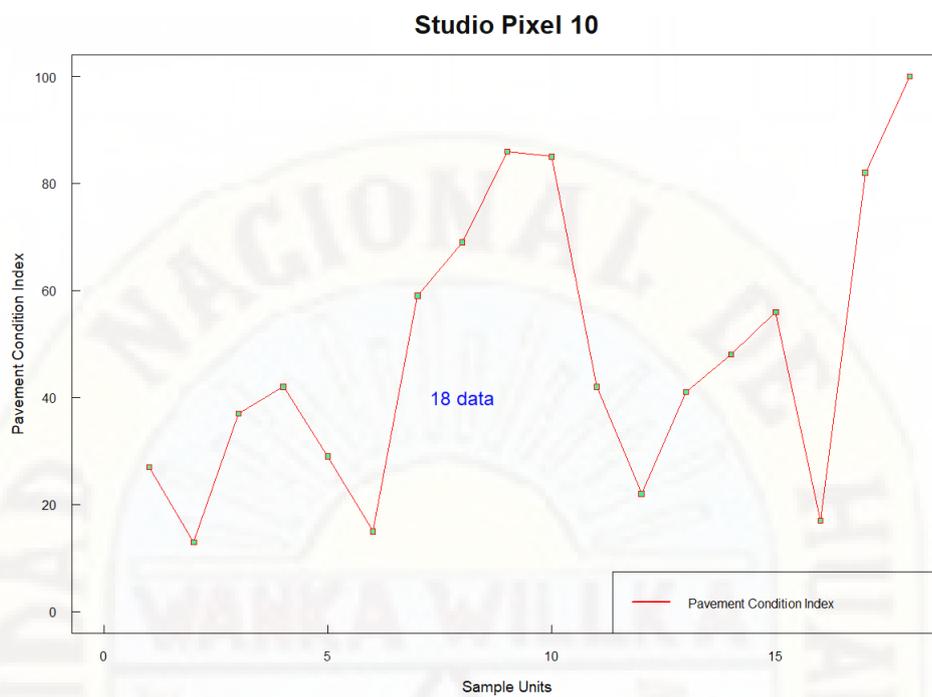
Figura 4.14: series PCI para unidades de muestra del pixel 9



Fuente: elaboración propia

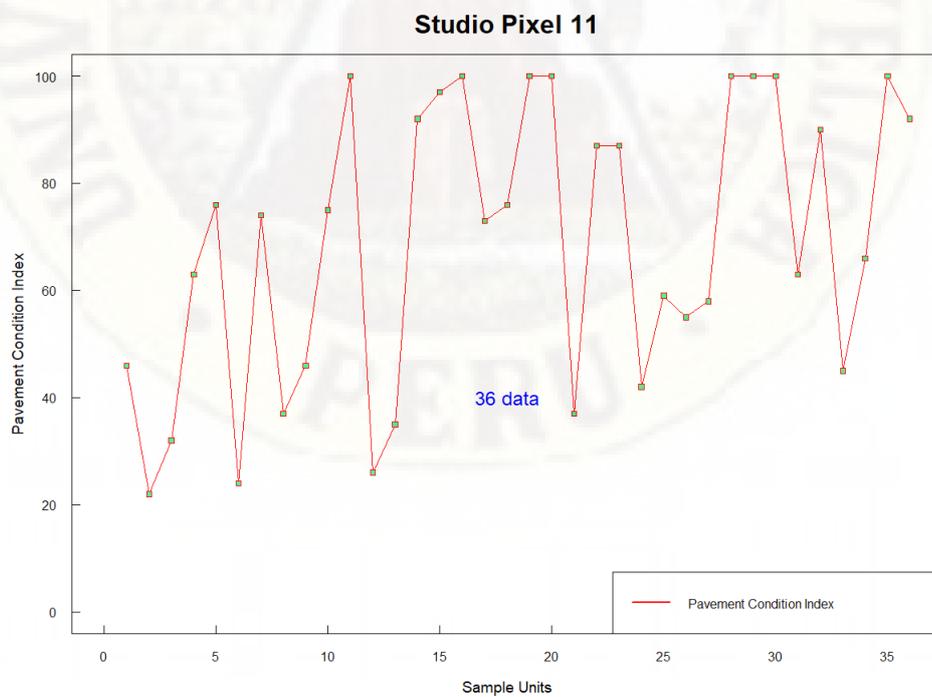
4.1. Análisis de información

Figura 4.15: series PCI para unidades de muestra del pixel 10



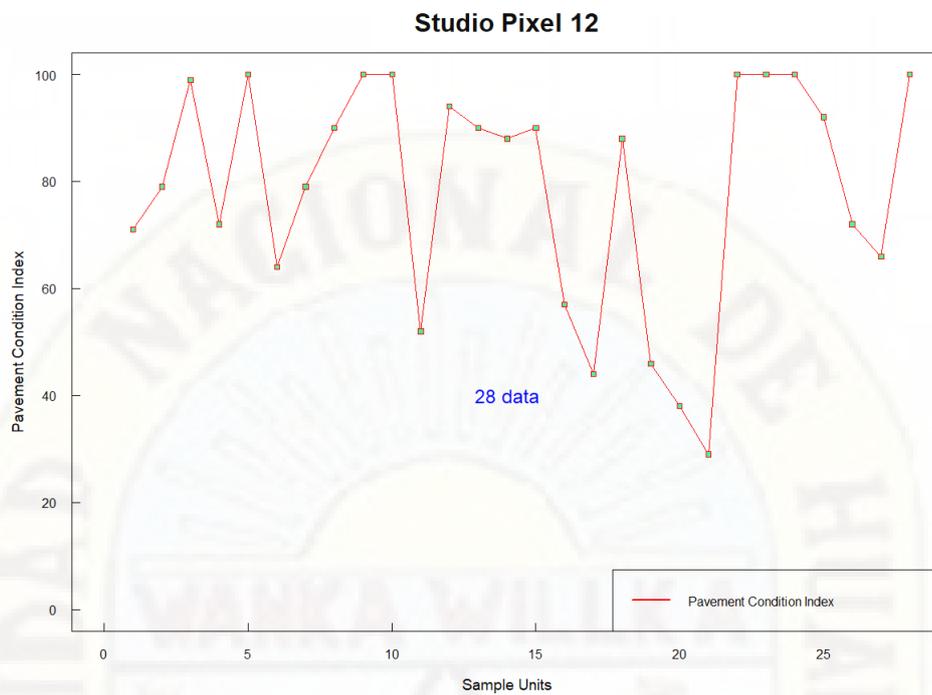
Fuente: elaboración propia

Figura 4.16: series PCI para unidades de muestra del pixel 11



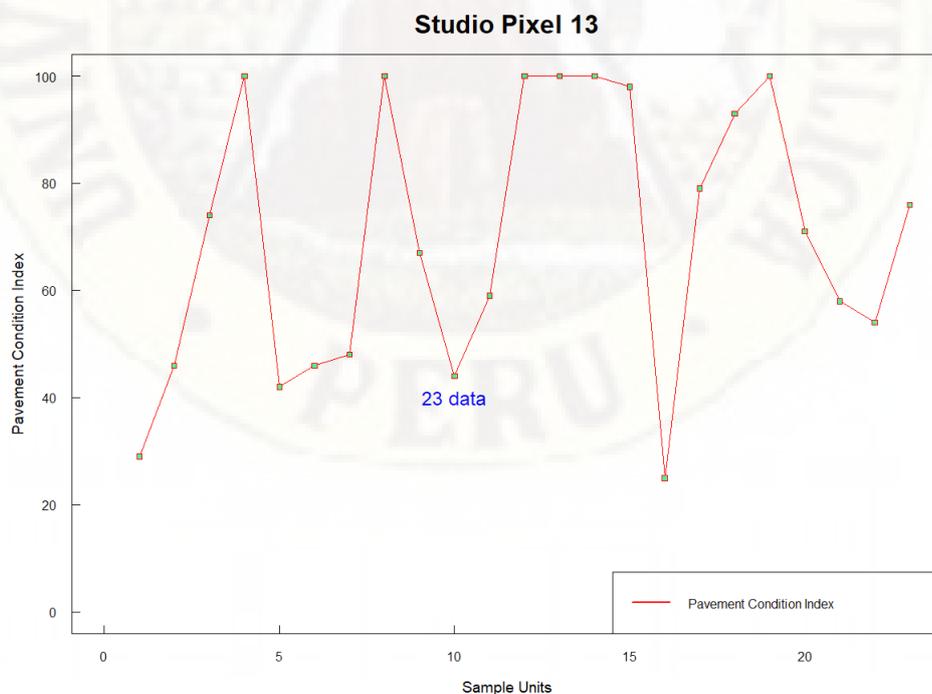
Fuente: elaboración propia

Figura 4.17: series PCI para unidades de muestra del pixel 12



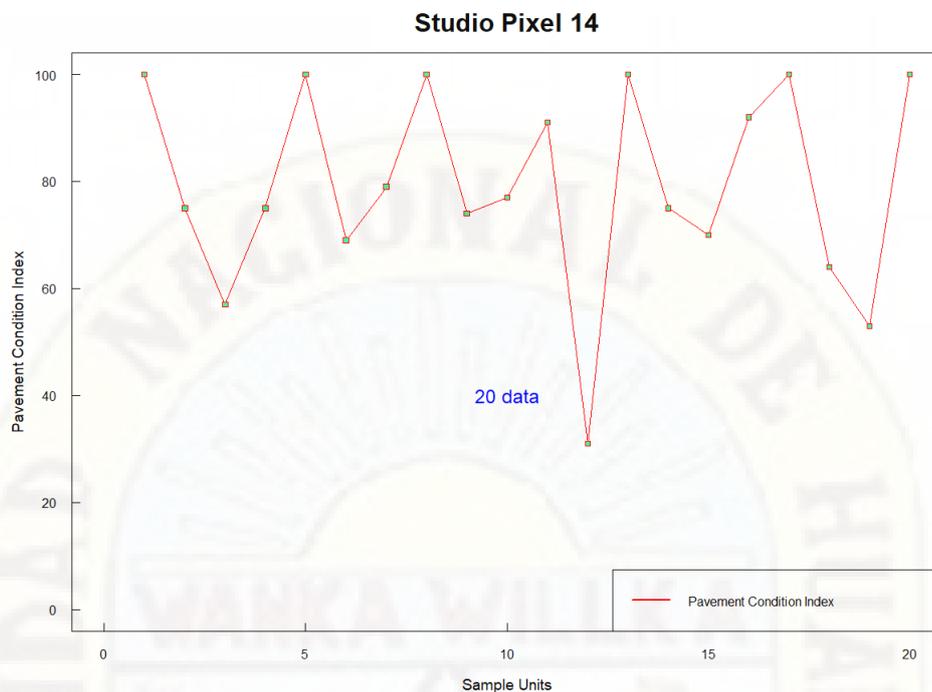
Fuente: elaboración propia

Figura 4.18: series PCI para unidades de muestra del pixel 13



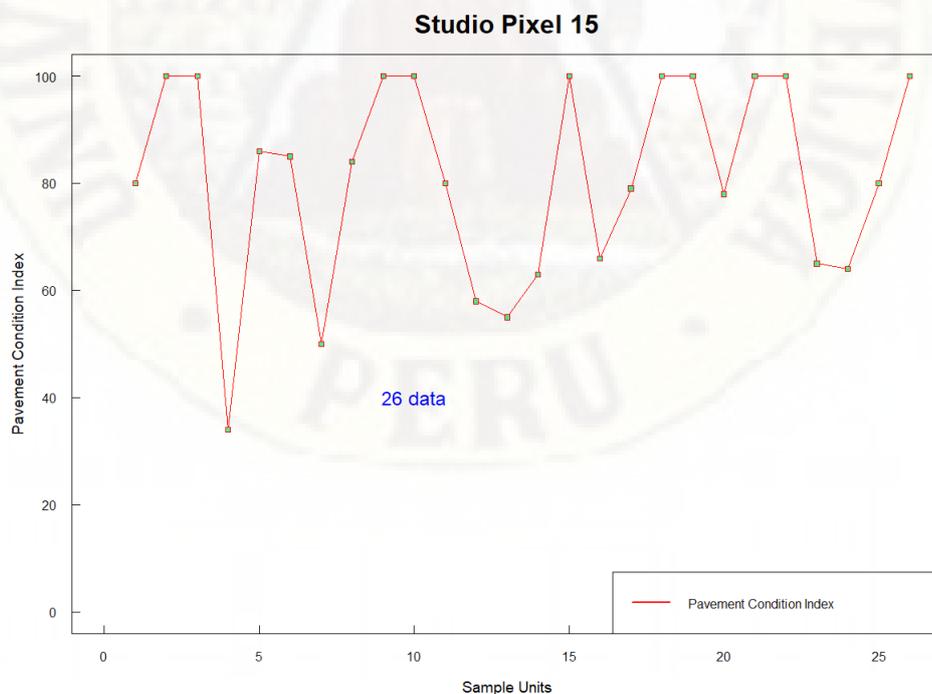
Fuente: elaboración propia

Figura 4.19: series PCI para unidades de muestra del pixel 14



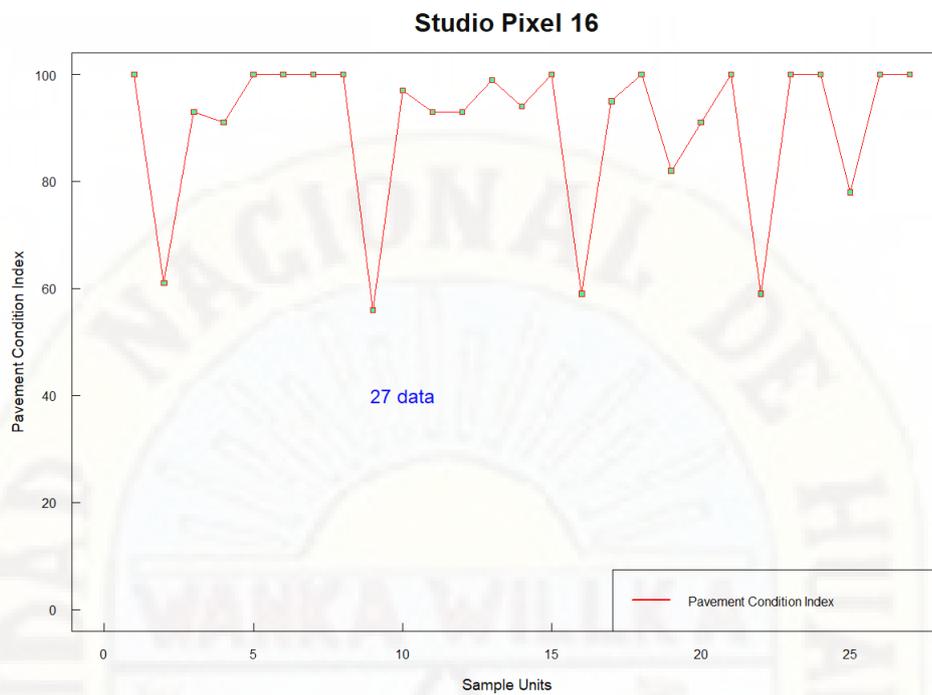
Fuente: elaboración propia

Figura 4.20: series PCI para unidades de muestra del pixel 15



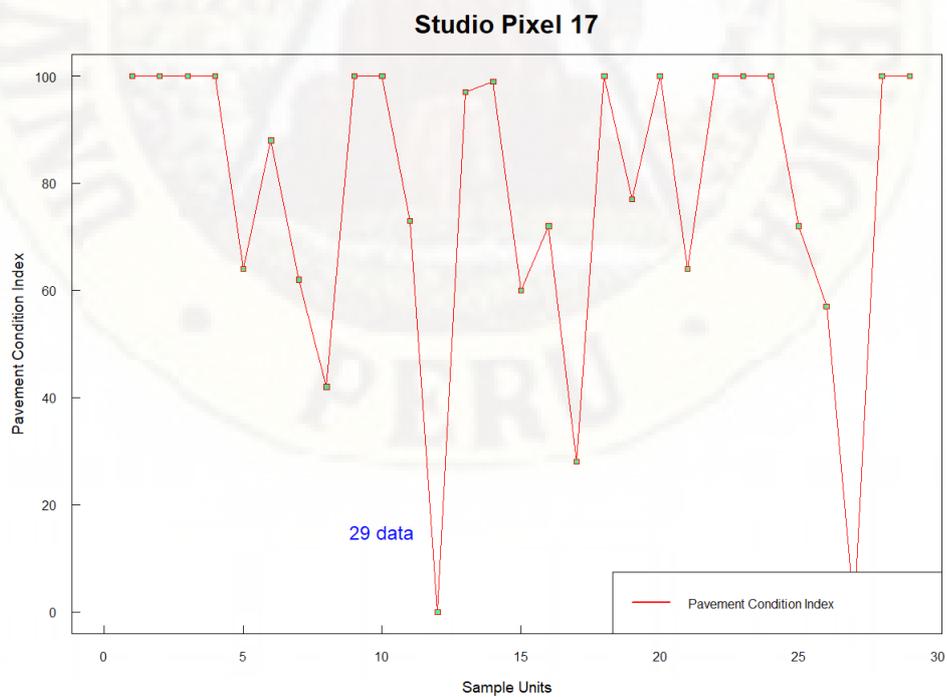
Fuente: elaboración propia

Figura 4.21: series PCI para unidades de muestra del pixel 16



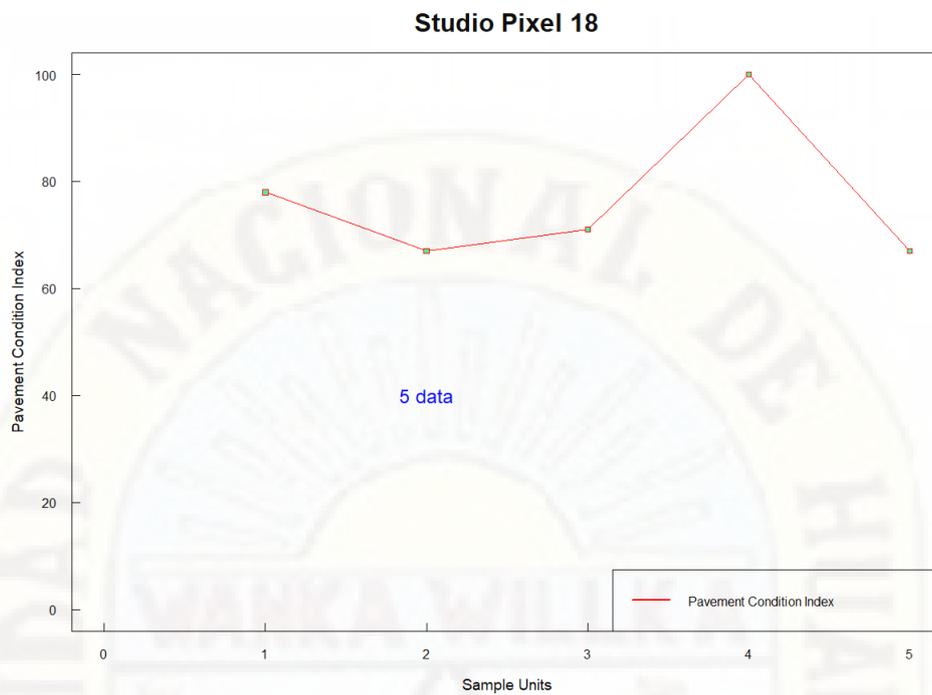
Fuente: elaboración propia

Figura 4.22: series PCI para unidades de muestra del pixel 17



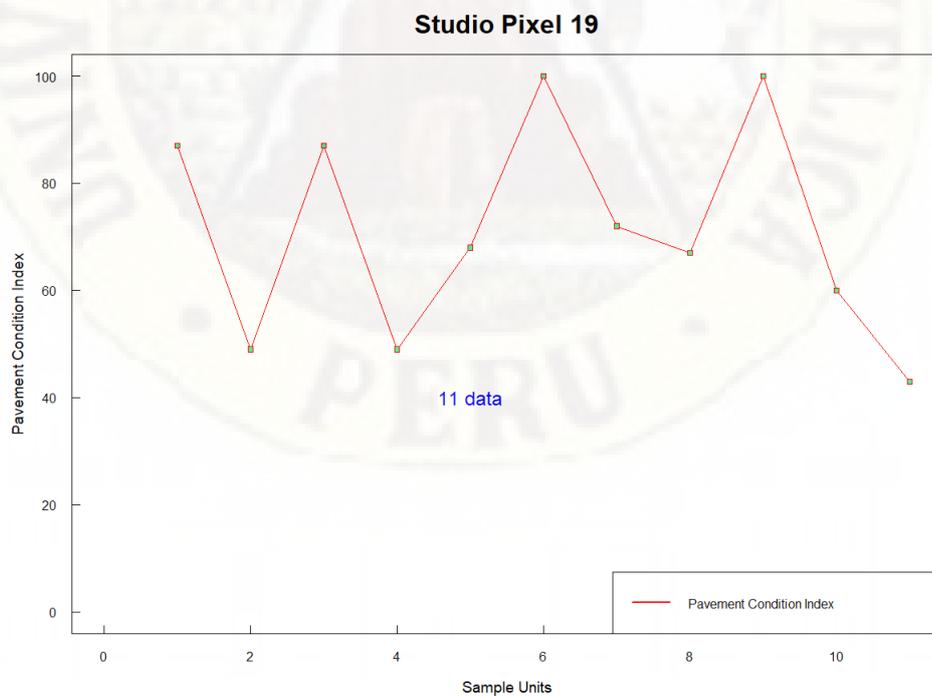
Fuente: elaboración propia

Figura 4.23: series PCI para unidades de muestra del pixel 18



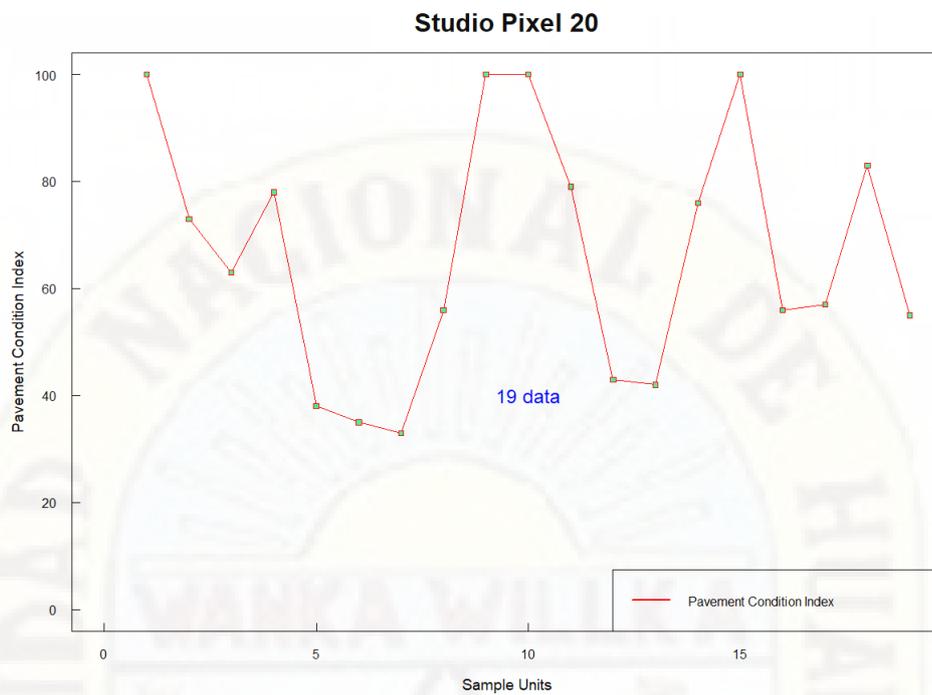
Fuente: elaboración propia

Figura 4.24: series PCI para unidades de muestra del pixel 19



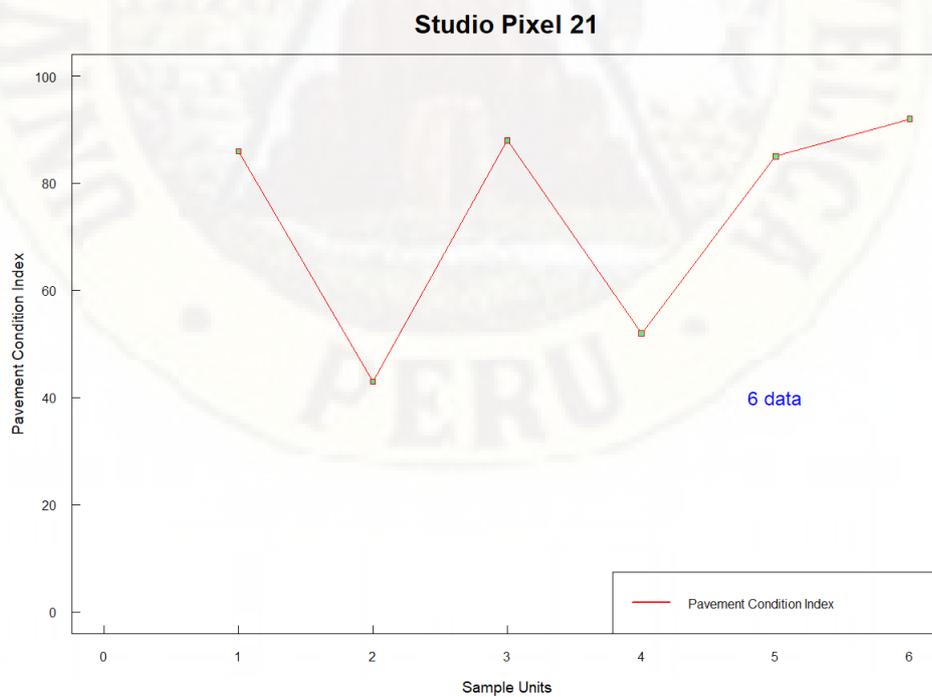
Fuente: elaboración propia

Figura 4.25: series PCI para unidades de muestra del pixel 20



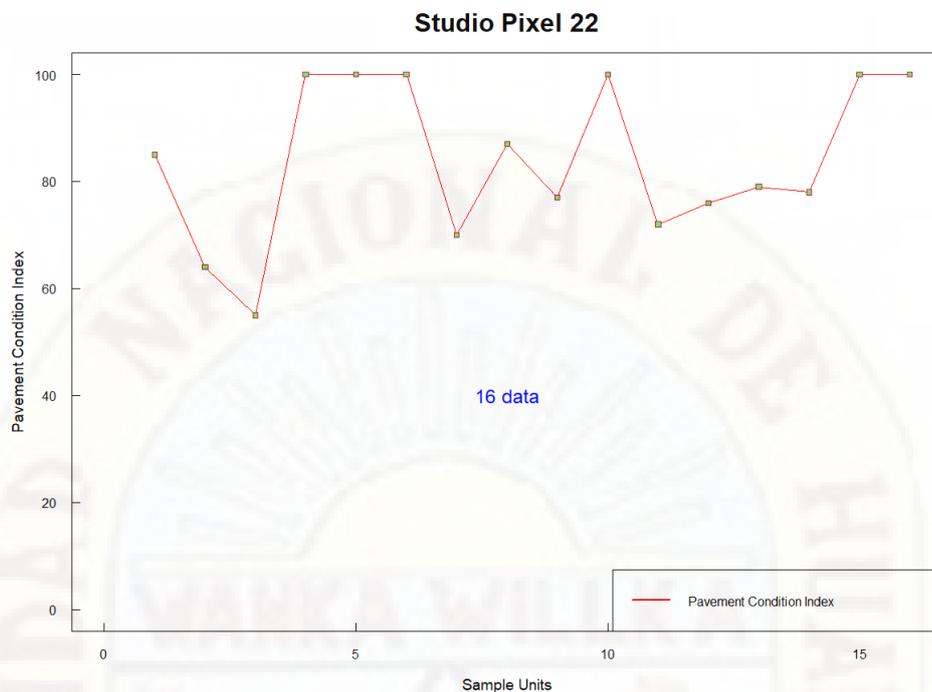
Fuente: elaboración propia

Figura 4.26: series PCI para unidades de muestra del pixel 21



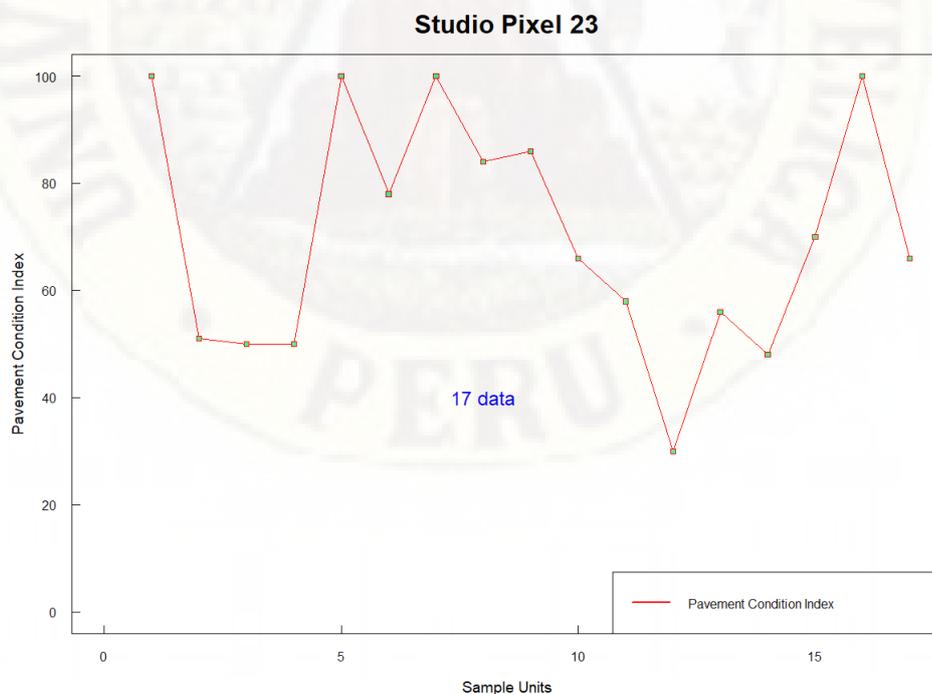
Fuente: elaboración propia

Figura 4.27: series PCI para unidades de muestra del pixel 22



Fuente: elaboración propia

Figura 4.28: series PCI para unidades de muestra del pixel 23



Fuente: elaboración propia

4.1. Análisis de información

El PCI final de cada pixel se determina con la ecuación (4.1.1), siendo este, definido por el ponderado de sus respectivas unidades de muestra. El Cuadro 4.7 resume el índice de condición de pavimento y la condición del mismo.

$$PCI_p = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i \times A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (4.1.1)$$

donde:

PCI_p : PCI ponderado,

PCI_i : PCI de la unidad de muestreo i ,

A_i : área de la unidad de muestreo i .

Tabla 4.7: índice de condición de pavimento por pixeles de estudio

| Item | PCI | Condición |
|------|-----|-----------|
| 1 | 69 | Bueno |
| 2 | 88 | Excelente |
| 3 | 90 | Excelente |
| 4 | 72 | Muy bueno |
| 5 | 87 | Excelente |
| 6 | 74 | Muy bueno |
| 7 | 71 | Muy bueno |
| 8 | 55 | Bueno |
| 9 | 74 | Muy bueno |
| 10 | 48 | regular |
| 11 | 69 | Bueno |
| 12 | 79 | Muy bueno |
| 13 | 70 | Muy bueno |
| 14 | 79 | Muy bueno |
| 15 | 81 | Muy bueno |
| 16 | 90 | Excelente |
| 17 | 78 | Muy bueno |
| 18 | 77 | Muy bueno |

Tabla 4.7: índice de condición de pavimento por pixeles de estudio

| Item | PCI | Condición |
|------|-----|-----------|
| 19 | 71 | Muy bueno |
| 20 | 67 | Bueno |
| 21 | 74 | Muy bueno |
| 22 | 84 | Muy bueno |
| 23 | 70 | Muy bueno |

Fuente: elaboración propia

4.1.6. Ubicación de estaciones meteorológicas.

Las estaciones meteorológicas administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) fueron Huachos y Cochamarca. Mientras que las estaciones meteorológicas automáticas dentro del ámbito de estudio administradas por la Universidad Nacional de Huancavelica son Lachocc y Cachimayo, cuyas coordenadas se muestran en la tabla 4.8 y su distribución espacial en la fig.4.29 . Se recopiló información de Temperatura mínima diaria, para el período comprendido del 01/01/2016 al 31/12/2018.

Tabla 4.8: resumen de estaciones meteorológicas en zona de intervención

| Nombre | Latitud | Longitud | Elevación |
|-------------------------------|----------|----------|-----------|
| Est. Meteorológica Lachocc | -12.8586 | -75.1011 | 4217 |
| Est. Meteorológica Cachimayo | -12.9167 | -75.1856 | 4649 |
| Est. Meteorológica Huachos | -13.2200 | -75.5300 | 2736 |
| Est. Meteorológica Cochamarca | -12.9900 | -75.5100 | 3954 |

Fuente: elaboración propia

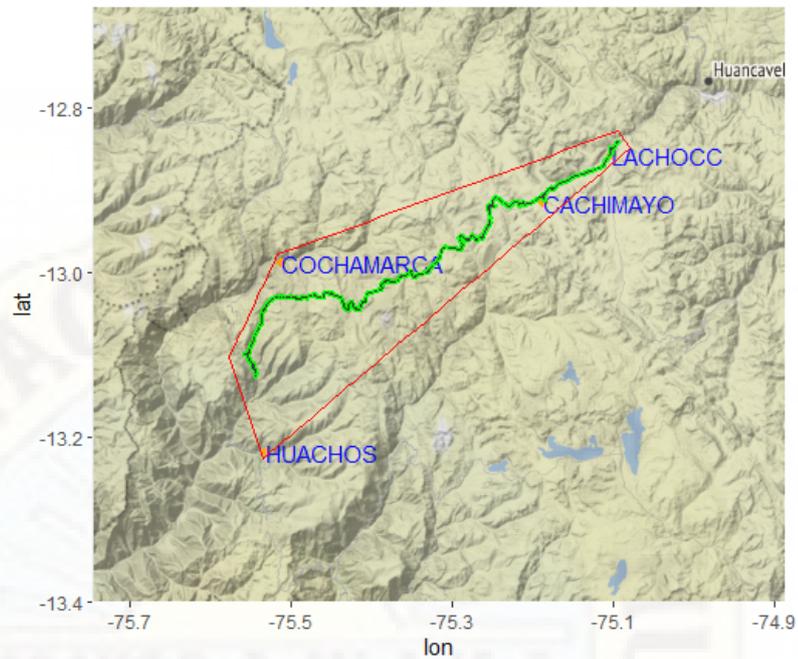


Figura 4.29: distribución espacial de estaciones meteorológicas

Aplicado el tratamiento de datos de temperatura mínima registrado por las estaciones meteorológicas, se obtiene las respectivas series temporales, boxplots e histogramas como se muestra en la figura 4.30, 4.33, 4.34, 4.37.

De acuerdo al periodo de análisis de temperaturas mínimas de la Estación meteorológica Cachimayo, presenta valores mínimos en los meses de junio, julio, agosto y setiembre (como se contrasta en la fig. 4.31), siendo las temperaturas mínimas en el mes de agosto, donde el 50% de sus valores fueron menores a $-4.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. El mes de julio presenta menor variabilidad de datos con recorrido intercuartílico de $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Asimismo, el mes de noviembre presenta mayor variabilidad, donde las temperaturas superiores a $-1.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ se encuentran sesgados positivamente (ver fig. 4.30).

4.1. Análisis de información

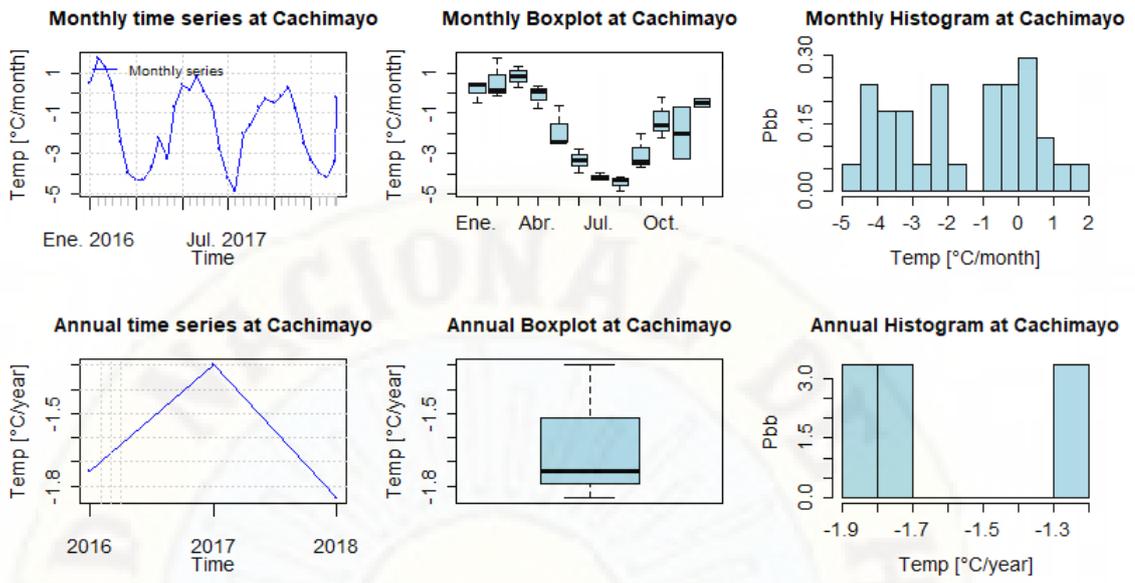


Figura 4.30: registro de temperatura mínima en estación Cachimayo

Temperatura Mensual Estación Cachimayo [°C]

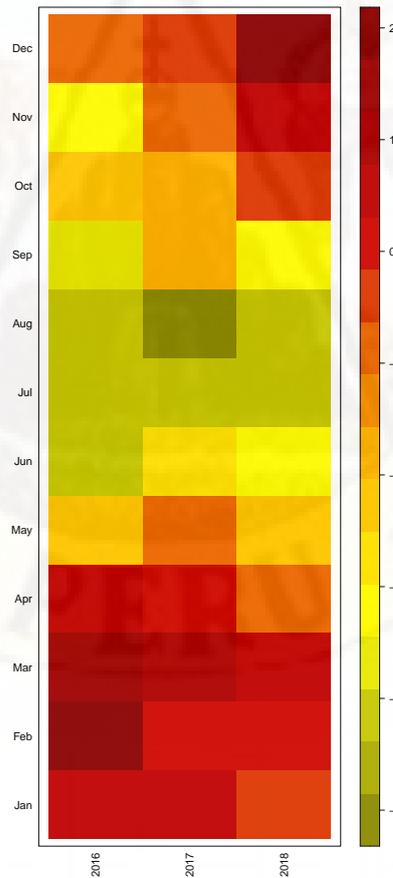


Figura 4.31: escala de temperatura mínima en estación Cachimayo

4.1. Análisis de información

Las temperaturas mínimas de la estación meteorológica Lachocc, presenta valores mínimos en los meses de junio, julio, agosto y setiembre (como se contrasta en la fig. 4.32), siendo las temperaturas mínimas en el mes de julio, donde el 50% de sus valores fueron menores a $-2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. El mes de enero presenta menor variabilidad de datos con recorrido intercuartílico de $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Asimismo, el mes de noviembre presenta mayor variabilidad, donde las temperaturas superiores a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ se encuentran sesgados positivamente(ver fig.4.33).

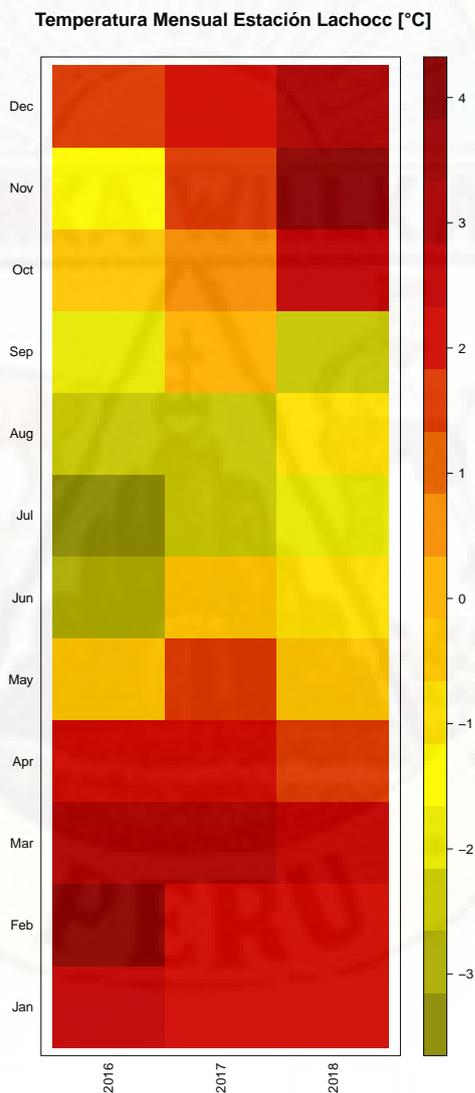


Figura 4.32: escala de temperatura mínima en estación Lachocc

4.1. Análisis de información

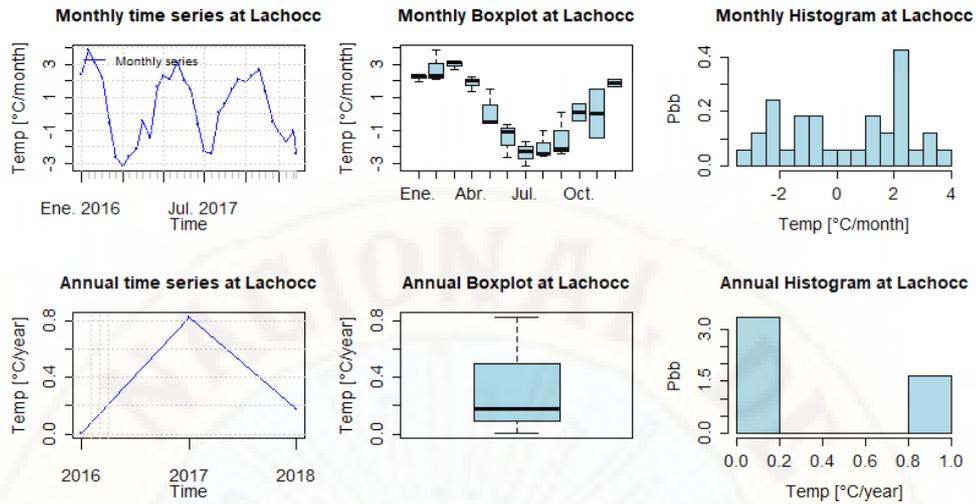


Figura 4.33: registro de temperatura mínima en estación Lachocc

Las temperaturas mínimas de la estación meteorológica Cochamarca, presenta valores mínimos en los meses de junio, julio y agosto (como se contrasta en la fig. 4.35), siendo las temperaturas mínimas en el mes de julio, donde el 50% de sus valores fueron menores a 2.6 °C. El mes de diciembre presenta menor variabilidad de datos con recorrido intercuartílico de 0.2°C. Asimismo, el mes de junio presenta mayor variabilidad, donde las temperaturas superiores a 2.8°C se encuentran sesgadas positivamente(ver fig.4.34).

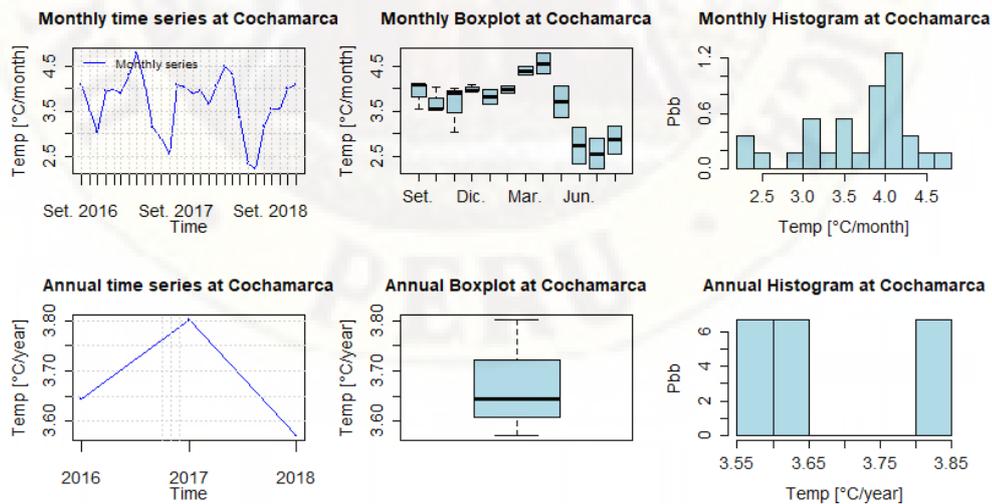


Figura 4.34: registro de temperatura mínima en estación Cochamarca

Temperatura Mensual Estación Cochamarca [°C]

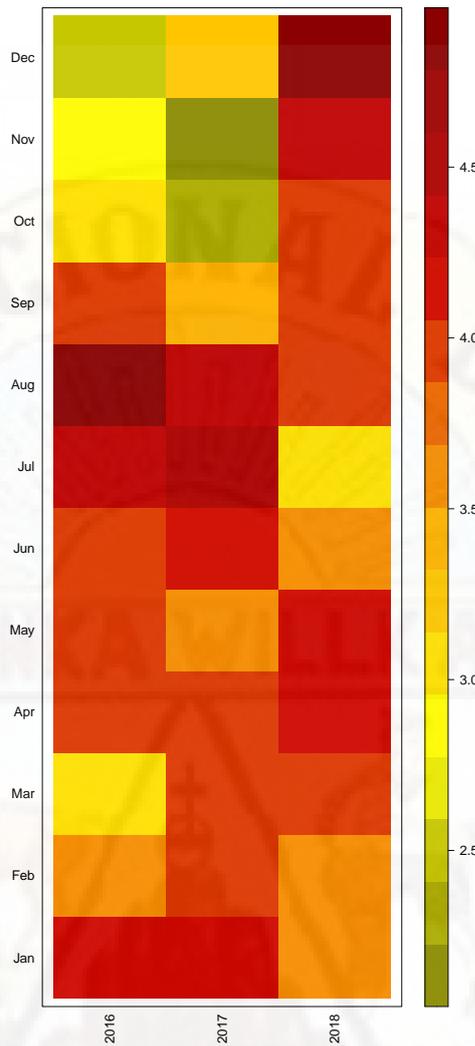


Figura 4.35: escala de temperatura mínima en estación Cochamarca

De acuerdo al periodo de análisis de temperaturas mínimas de la Estación meteorológica Huachos, presenta valores mínimos en los meses de mayo, junio, julio y agosto (como se contrasta en la fig. 4.35), siendo las temperaturas mínimas en el mes de junio, donde el 50% de sus valores fueron menores a 8.8 °C . El mes de abril presenta menor variabilidad de datos con recorrido intercuartílico de 0.3°C .Asimismo, el mes de mayo presenta mayor variabilidad ,donde las temperaturas inferiores a 10.4°C se encuentran sesgados negativamente (ver fig.4.37).

4.1. Análisis de información

Temperatura Mensual Estación Huachos [°C]

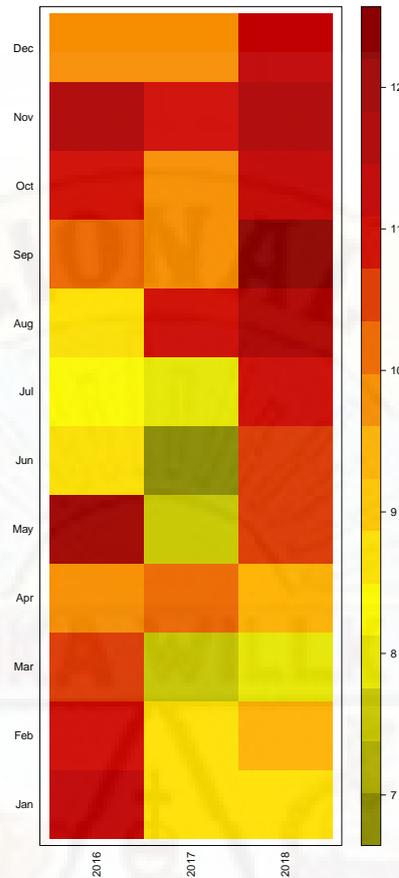


Figura 4.36: escala de temperatura mínima en estación Huachos

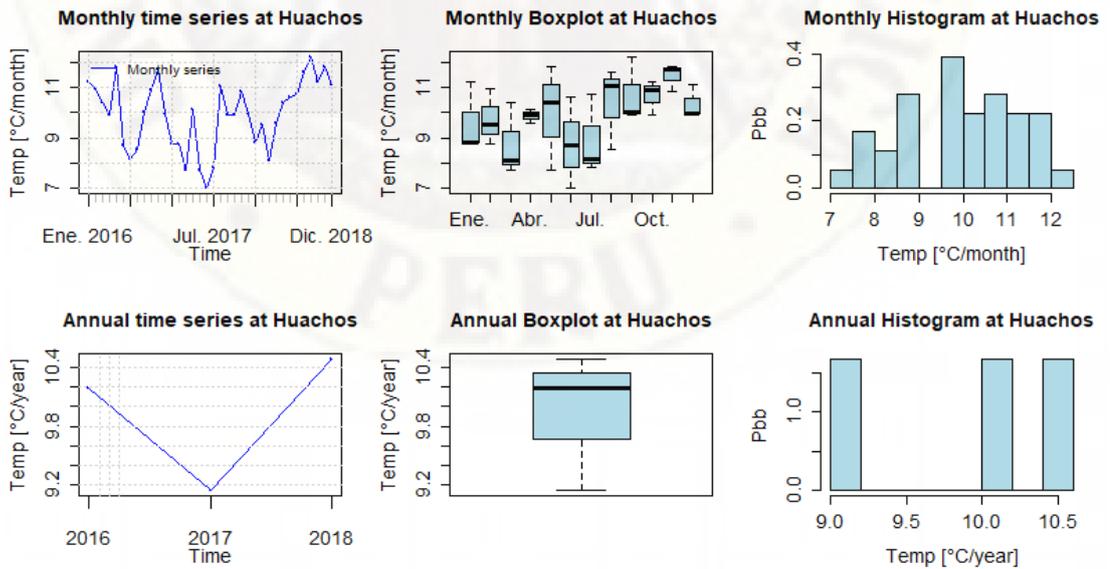


Figura 4.37: registro de temperatura mínima en estación Huachos

Cabe mencionar que existe demasiada variabilidad en datos debido a la morfometría del ámbito espacial. La cordillera de los Andes toma un papel fundamental para la no correlación de estaciones.

4.1.7. Información de sensores remotos

La cobertura espacial de estos productos satelitales sobre la zona de estudio se observa en la figura 4.38, 4.39. La extracción de la data de temperatura se hizo a nivel estación-píxel, es decir, un valor de temperatura mínima correspondiente a un valor de píxel de acuerdo a la ubicación de cada estación meteorológica. Siendo el producto MOD11A2-LST que mayor estaciones sintéticas de temperatura ofrece.

Código Fuente 4.1: Código para visualizar la resolución espacial en el ámbito de estudio

```

1  #Configura directorio de trabajo
2  setwd("C:/Users/Desktop/MIGUEL")
3  #Librerías cargadas
4  library(raster);library(sp);library(lattice);library(rgdal)←
   ;library(rasterVis)
5  #Create a raster stack from the input raster files
6  list <- list.files(path="/Surf_Temp_8Days_1Km_v6",
7  pattern="*.tif$", full.names=TRUE)
8  c.stack<- stack(list)
9  # Apply scale factor
10 lst <- c.stack*0.02-273.15
11 # Transformando Raster brick a UTM z18 , WGS84
12 lst_proj <- projectRaster(lst, crs="+proj=utm +zone=18 +←
   ellps=WGS84 +south +datum=WGS84 +units=m +no_defs +ellps←
   =WGS84 +towgs84=0,0,0")
13 # Re proyectando a geograficas WGS84
14 lst_proj.wgs <- projectRaster(lst_proj, crs="+proj=longlat←
   +ellps=WGS84")
15 # Import shp
16 shp <- readOGR("Area_analisis.shp")

```

```

17 via.shp <- readOGR("Eje_buffer.shp")
18 estaciones <- readOGR("estaciones.shp")
19 # Delimitando area de estudio
20 lst.wgs.crop <- crop(lst.proj.wgs,shp.wgs,snap="out")
21 # Problema al generar mascara no jala todos los pixeles (↔
    solucion_ok)
22 lst.mask.rasterize <- rasterize(shp.wgs,lst.wgs.crop, ↔
    getCover=TRUE)
23 lst.mask.rasterize[lst.mask.rasterize==0] <- NA
24 # Generando mascara
25 lst.wgs.mask <- mask(lst.wgs.crop,lst.mask.rasterize)
26 #Plot
27 plot(lst.wgs.mask[[1]])
28 plot(shp.wgs,add=T)
29 plot(estac.wgs,add=T)
30 plot(via.shp.wgs,add=T)
31
32 library("ncdf4")
33 piscot<- stack("PISCOmtn_v1.1.nc")
34 piscot.wgs <- projectRaster(piscot, crs ="+proj=longlat +↔
    ellps=WGS84")
35 piscot.wgs.crop <- crop(piscot.wgs ,shp.wgs,snap="out") # ↔
    WGS
36 pisco.mask.rasterize <- rasterize(shp.wgs,piscot.wgs.crop, ↔
    getCover=TRUE)
37 pisco.mask.rasterize[pisco.mask.rasterize==0] <- NA
38 piscot.wgs.mask <- mask(piscot.wgs.crop,pisco.mask.↔
    rasterize)
39 plot(piscot.wgs.crop[[1]])
40 plot(shp.wgs,add=T)
41 plot(estac.wgs,add=T)
42 plot(via.shp.wgs,add=T)

```

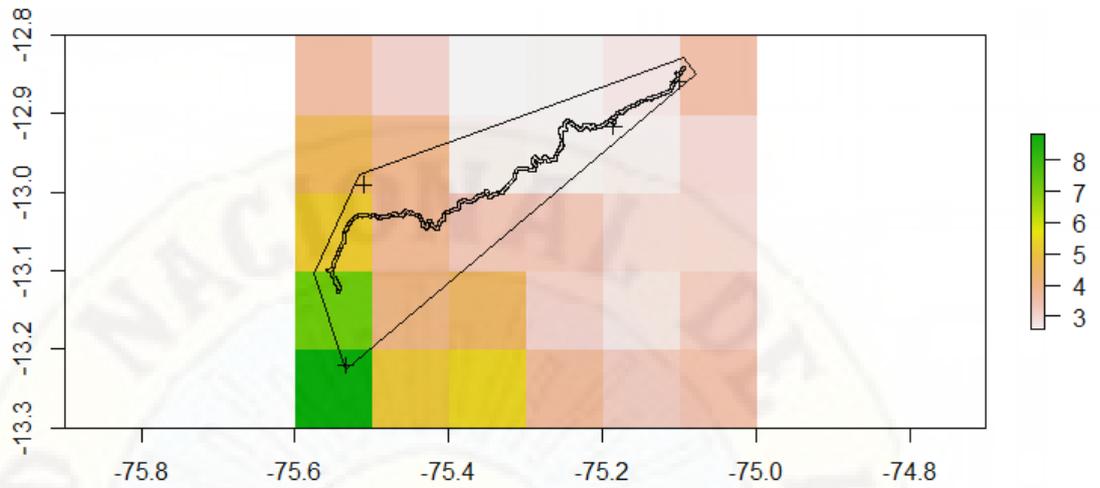


Figura 4.38: producto PISCOt en ámbito espacial

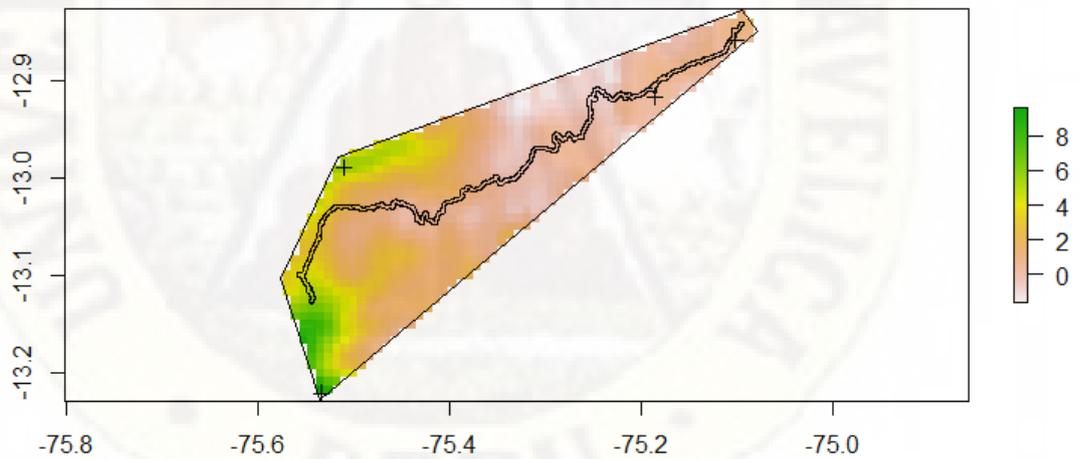


Figura 4.39: producto MOD11A2-LST en ámbito espacial

Debido a la naturaleza y fuente del producto PISCOt ,no presenta datos faltantes ni outliers al extraer los valores de temperatura mínima a nivel de pixel-estación (ver 4.40).

Código Fuente 4.2: Fragmento de C?código para extracción de datos

```

1 # Extracción de datos
2 piscot_val<- raster::extract(pisco.mask.utm,est.utm,←
   cellnumbers=T)[,1]
3 piscot_val<-t(pisco.mask.utm[piscot_val])
4 colnames(piscot_val)<- 1: ncol(piscot_val)
5 # Visualización de series de tiempo y regiones faltantes
6 ggplot_na_distribution(piscot_val[,1], ylab = "PISCO",xlab ←
   = "Nro datos") #Huachos
7 ggplot_na_distribution(piscot_val[,2], ylab = "PISCO",xlab ←
   = "Nro datos") #Cachimayo
8 ggplot_na_distribution(piscot_val[,3], ylab = "PISCO",xlab ←
   = "Nro datos") #Lachocc
9 ggplot_na_distribution(piscot_val[,4], ylab = "PISCO",xlab ←
   = "Nro datos") #Cochamarca

```

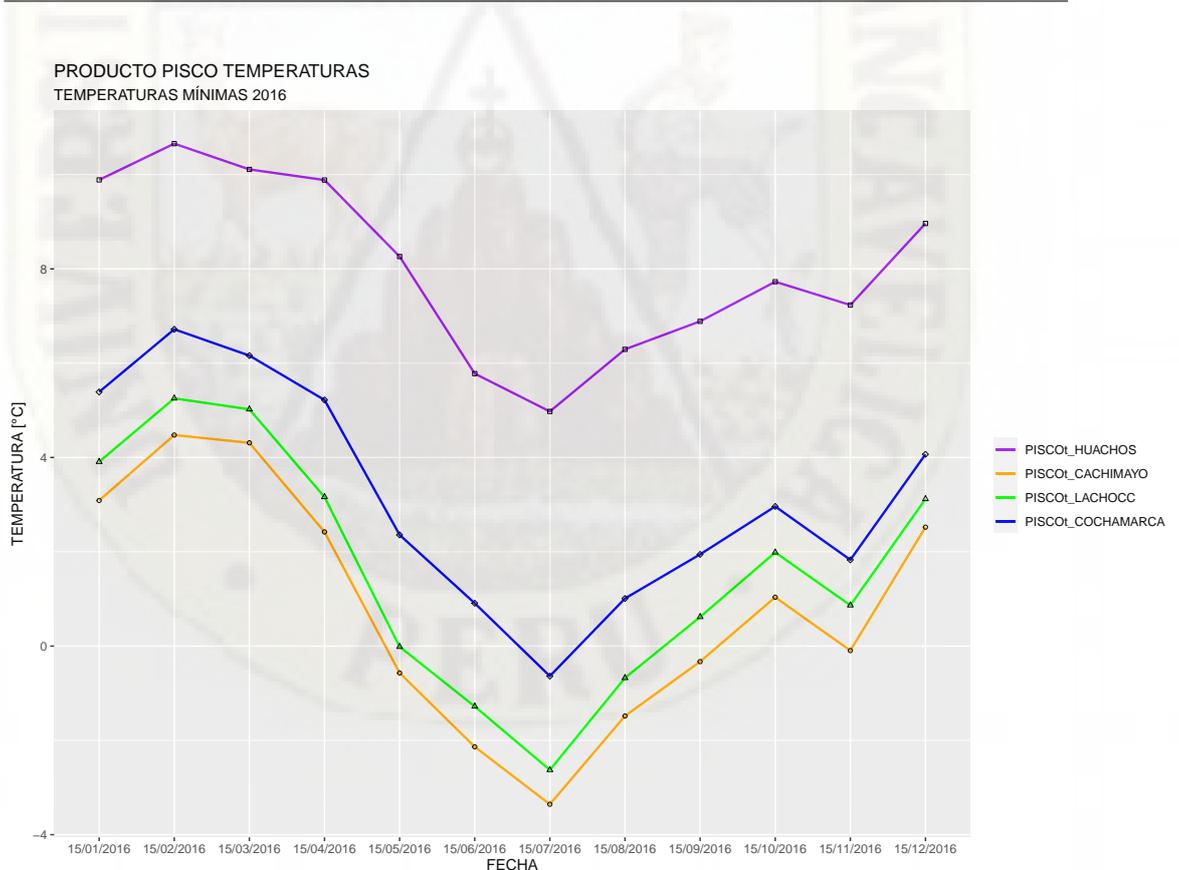


Figura 4.40: serie temporal a partir de producto PISCOT

Mientras que el producto MOD11A2-LST si presenta datos faltantes y

4.1. Análisis de información

valores atípicos por lo cual necesita tratamiento de la información, cabe mencionar que la completación de datos uso el metodo de Cutoff que se encuentra descrito en el capítulo 2, en el numeral 2.2.5.6 de esta investigación.

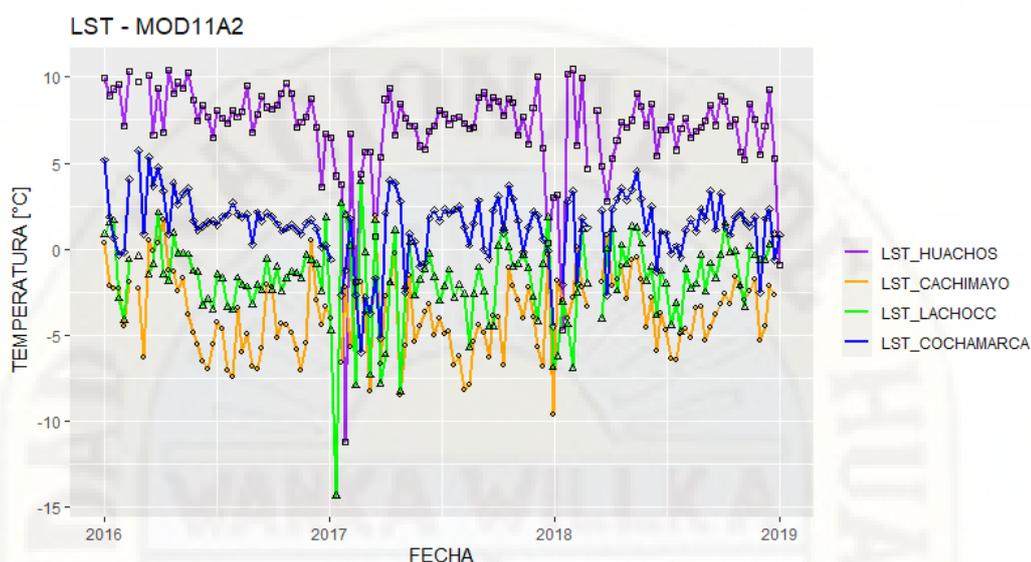


Figura 4.41: serie de tiempo sin tratamiento en pixeles - estaciones

Los resultados de la completación de datos se muestran en la figura 4.42 y se procede a obtener las temperaturas mínimas mensuales mensuales como se aprecia en la figura 4.43

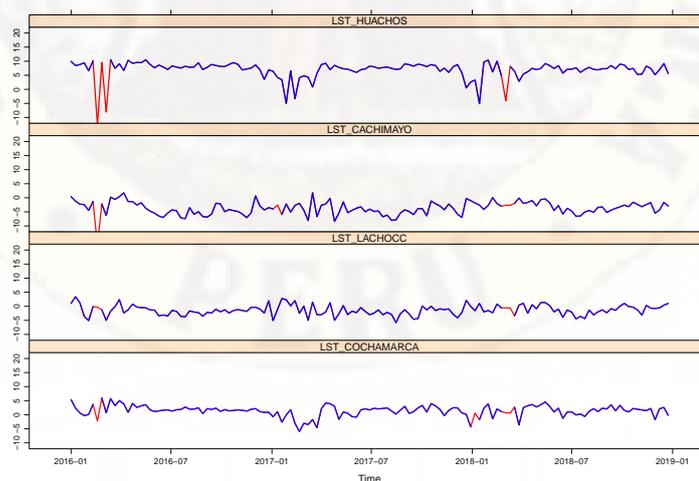


Figura 4.42: visualización de datos completados (linea roja)

4.1. Análisis de información

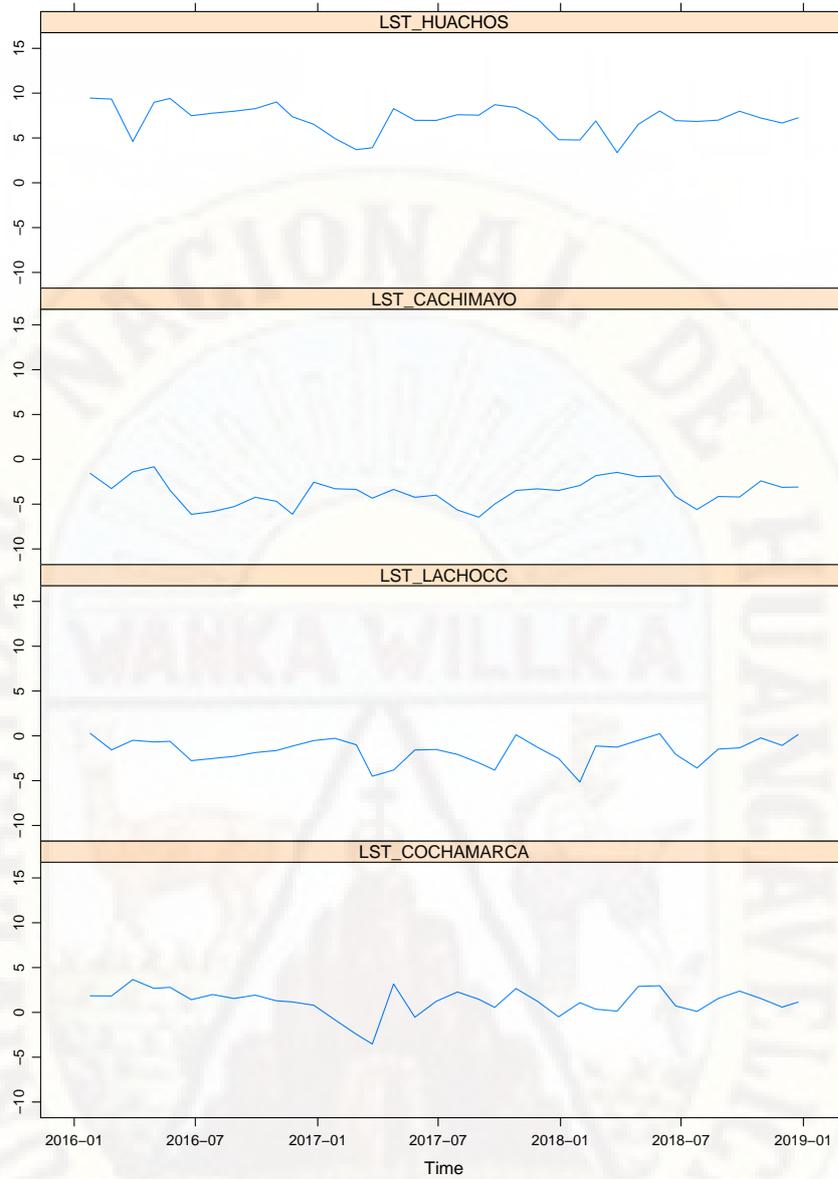


Figura 4.43: serie temporal estación-píxel mensuales

Se muestra el grado de afinidad entre los datos de temperaturas mínimas del producto MOD11A2-LST. Ver figura 4.44

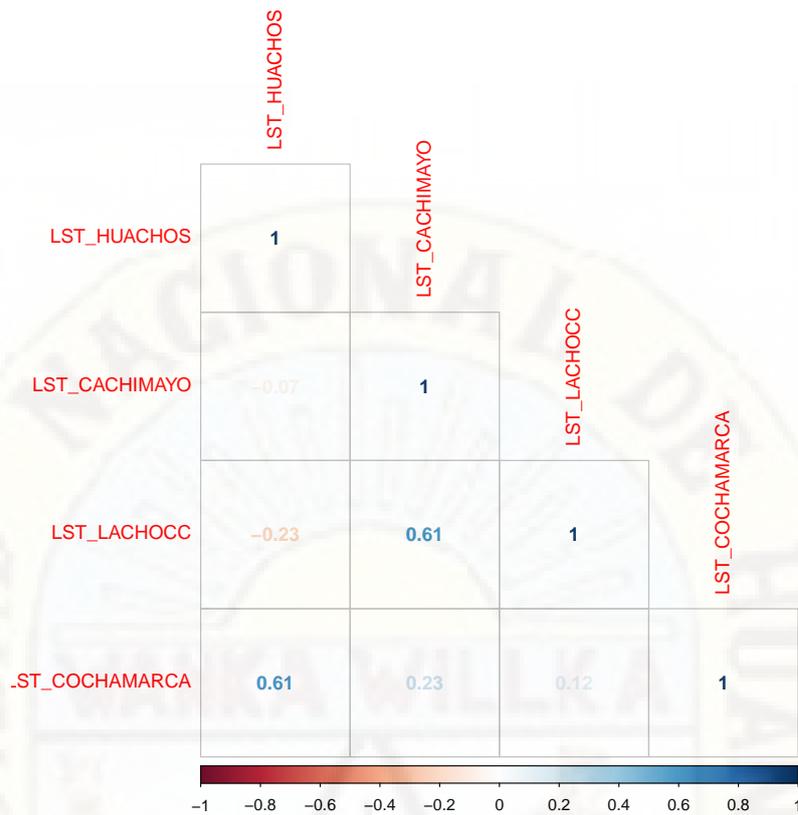


Figura 4.44: matriz de correlaciones de valores estación-píxel

De acuerdo al periodo de análisis de temperaturas mínimas de la Estación-píxel Cachimayo, presenta valores mínimos en los meses de junio, julio y agosto, siendo las temperaturas mínimas en el mes de agosto, donde el 50% de sus valores fueron menores a $-5.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. El mes de julio presenta menor variabilidad de datos con recorrido intercuartílico de $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Asimismo, el mes de noviembre presenta mayor variabilidad, donde las temperaturas superiores a $-4.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ se encuentran sesgados positivamente (ver fig.4.45).

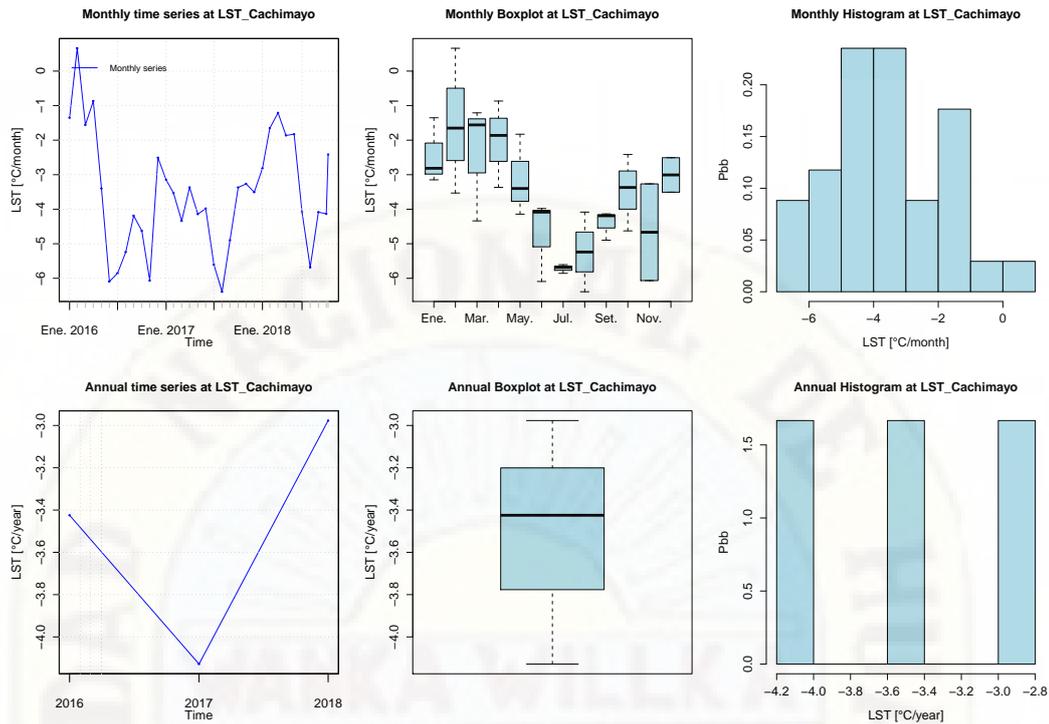


Figura 4.45: registro de temperatura mínima en estación-píxel Cachimayo

Procesada la información, calculamos los estadísticos de desempeño, de acuerdo al Producto PISCOt vs estaciones meteorológicas (píxel-estación) se obtienen y resaltan los coeficientes de determinación (R^2) de 0.97 (muy buena) y 0.93 (buena) para Lachocc y Cachimayo respectivamente (ver fig.4.46 y 4.47). Mientras que el producto MOD11A2-LST en la comparativa píxel- estación meteorológica se rescatan los R^2 de 0.63(satisfactorio) y 0.29(insatisfactorio) para Cachimayo y Lachocc respectivamente (ver fig.4.48 y 4.49).

Como se muestra en las fig.4.46 y 4.47, es evidente el desfase positivo que presenta los valores de PISCOt con respecto a las temperaturas mínimas registradas en las estaciones meteorológicas, debido a la buena linealidad los valores presentan buenos resultados en coeficiente de correlación y determinación.

4.1. Análisis de información

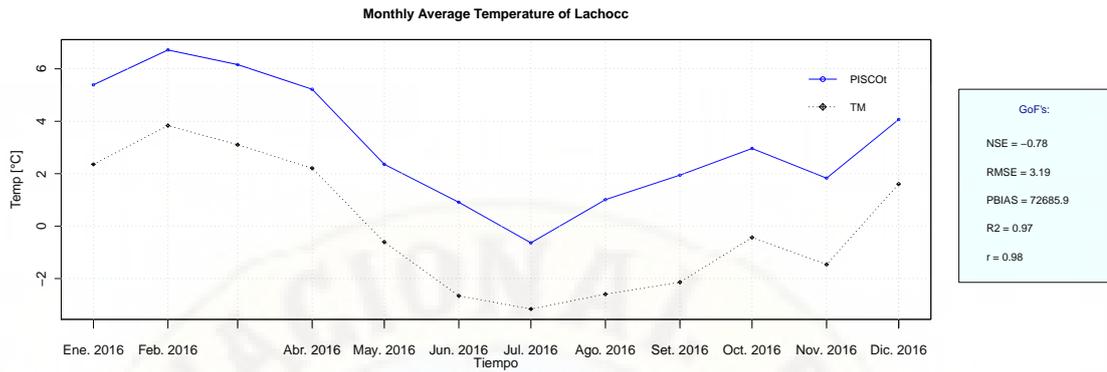


Figura 4.46: Estación Lachocc - Pixel PISCOT

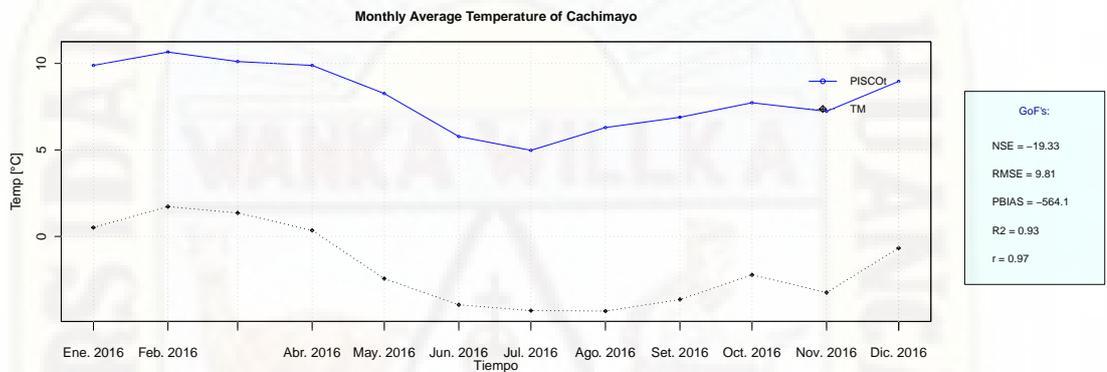


Figura 4.47: Estación Cachimayo - Pixel PISCOT

Como se muestra en las fig.4.48 y 4.49, los valores de temperatura mínima mensual registradas por las estaciones meteorológicas (TM/línea punteada) en ciertos periodos logran coincidir en valores correspondientes a la información satelital (LST- Pixel MOD11A2 LST Night/línea oscura)

4.1. Análisis de información

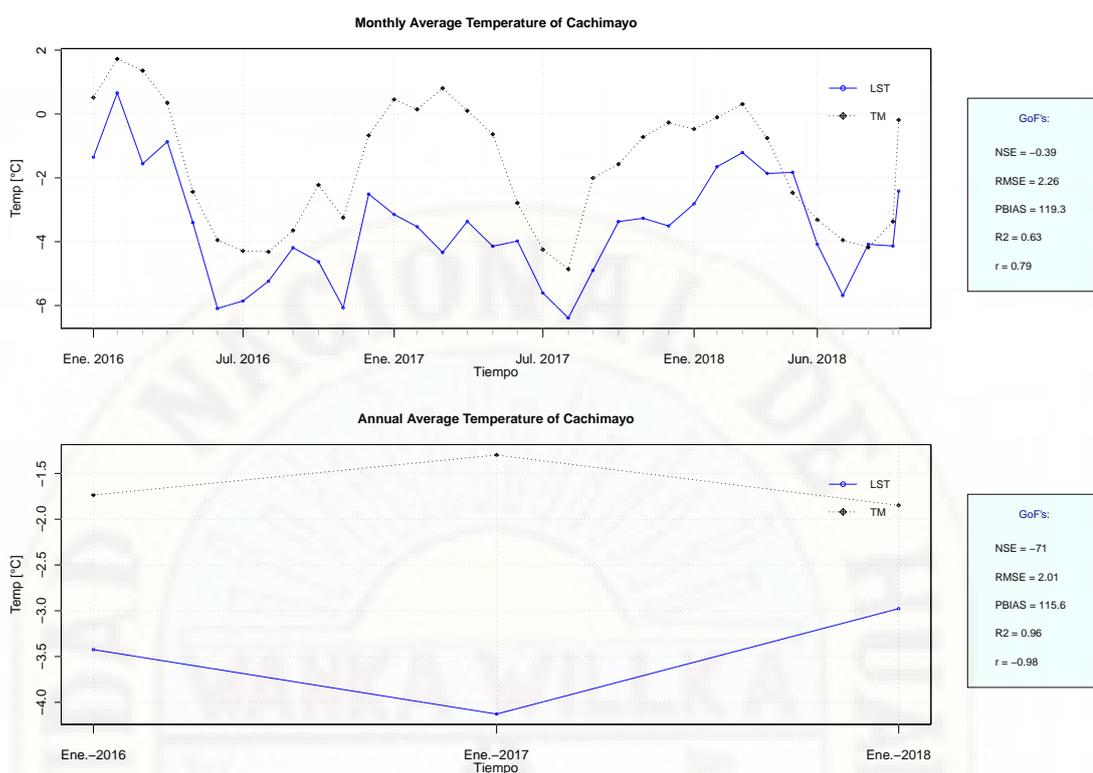


Figura 4.48: Estación Cachimayo - Pixel MOD11A2 LST Night

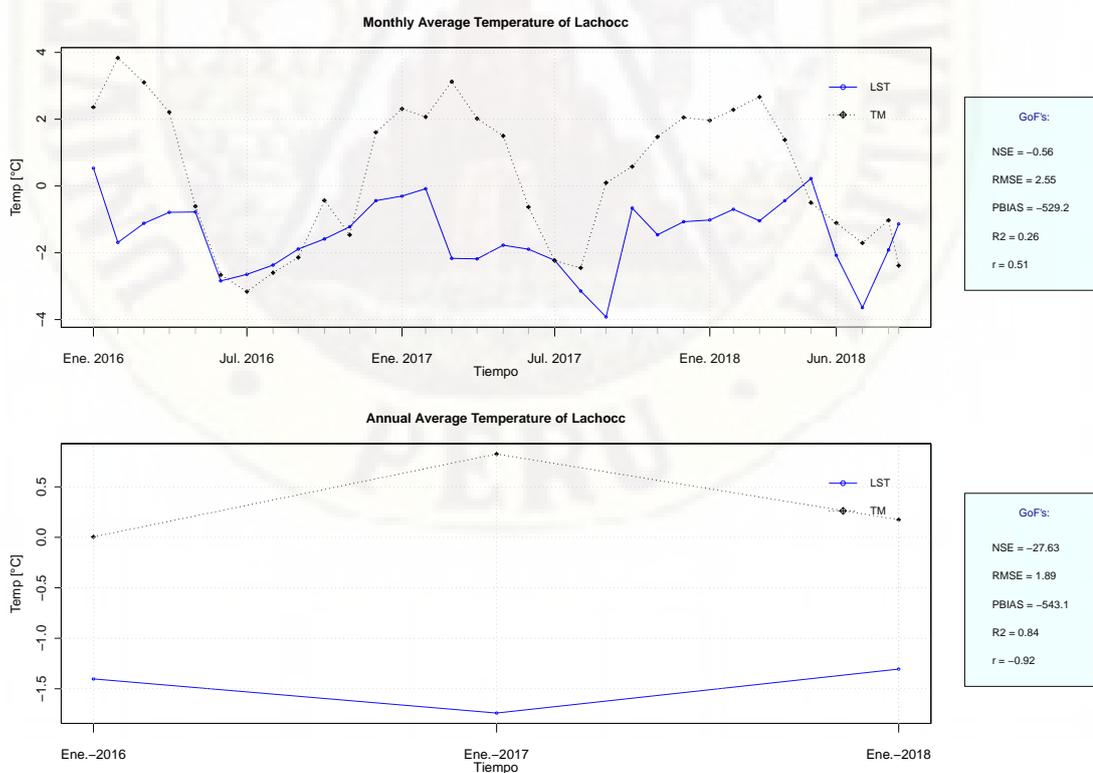


Figura 4.49: Estación Lachocc - Pixel MOD11A2 LST Night

4.1.8. Índice de heladas

De acuerdo a los resultados, la razón fundamental para asumir los datos del producto MOD11A2-LST NIGHT, es su disponibilidad en cuanto a la información actual, ya que el producto PISCOt solo existe hasta Diciembre del 2016. Por tanto, identificadas las fallas, se extraen los respectivos valores correspondientes al pixel fig.4.50.

Se puede observar la evolución temporal de las temperaturas de superficie terrestre, los cuales presentan valores atípicos y datos faltantes, para lo que se hizo un tratamiento llegando a obtener los valores mensuales.

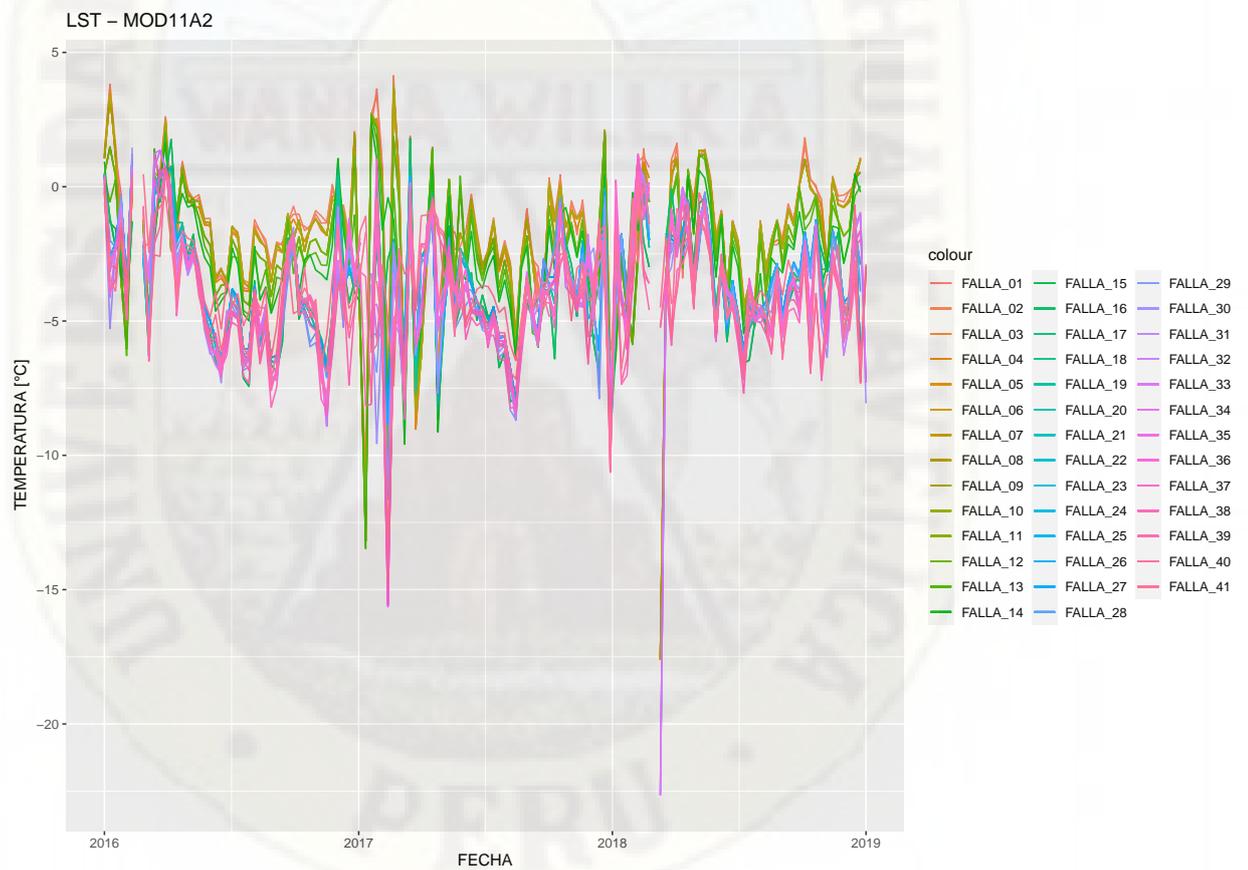


Figura 4.50: Serie temporal con regiones faltantes en pixel-fallas

4.1. Análisis de información

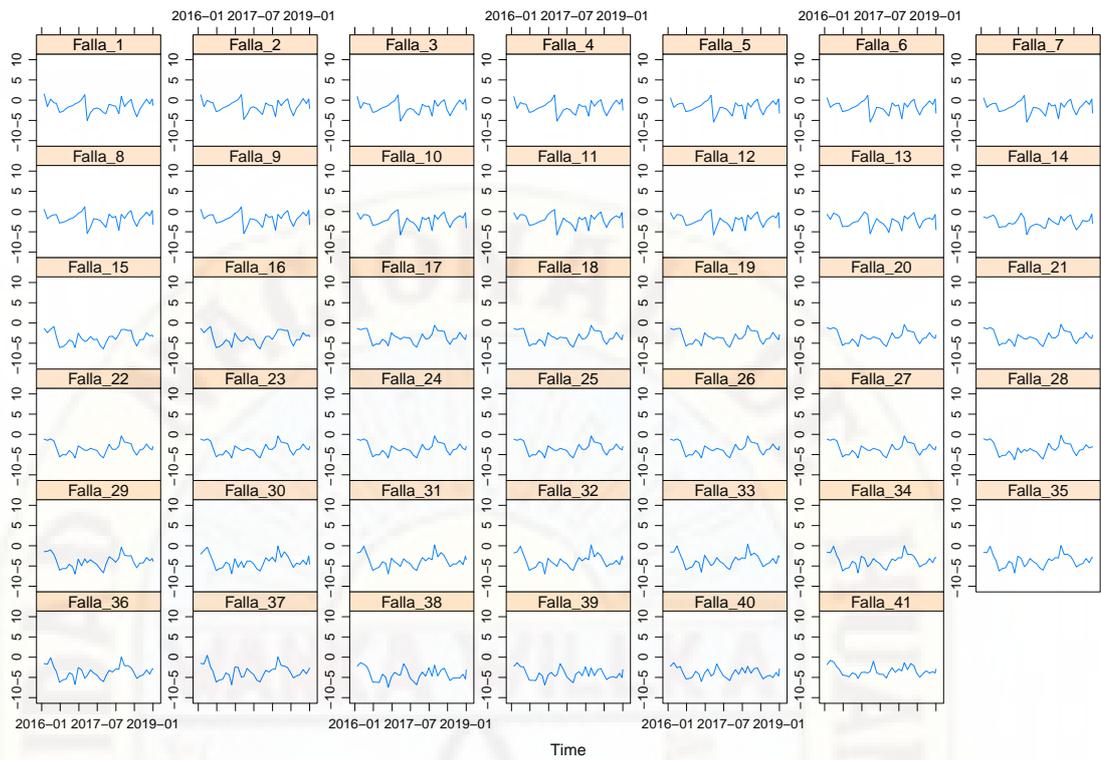


Figura 4.51: Temperatura de Superficie terrestre mensuales - con tratamiento

Por consiguiente, los periodos invernales son presentes en la mayoría de casos durante todo el año. Para el cálculo del índice de heladas se cuantificando el área bajo la curva que originan los valores menores a 0°C.

Tabla 4.9: índice de heladas correspondiente al Año 2016 en falla-pixel

| Pixel - Falla | Índice de Helada (°C) |
|---------------|-----------------------|
| | Año 2016 |
| Nro 1 | 465.85 |
| Nro 2 | 428.14 |
| Nro 3 | 550.08 |
| Nro 4 | 550.08 |
| Nro 5 | 530.50 |
| Nro 6 | 530.50 |
| Nro 7 | 530.50 |
| Nro 8 | 530.50 |
| Nro 9 | 530.50 |
| Nro 10 | 669.52 |
| Nro 11 | 669.52 |
| Nro 12 | 669.52 |
| Nro 13 | 761.91 |
| Nro 14 | 882.57 |
| Nro 15 | 1347.07 |

4.1. Análisis de información

Tabla 4.9: índice de heladas correspondiente al Año 2016 en falla-pixel

| Pixel - Falla | Indice de Helada (°C) |
|---------------|-----------------------|
| | Año 2016 |
| Nro 16 | 1347.07 |
| Nro 17 | 1276.66 |
| Nro 18 | 1276.66 |
| Nro 19 | 1276.66 |
| Nro 20 | 1273.82 |
| Nro 21 | 1273.82 |
| Nro 22 | 1273.82 |
| Nro 23 | 1273.82 |
| Nro 24 | 1273.82 |
| Nro 25 | 1273.82 |
| Nro 26 | 1273.82 |
| Nro 27 | 1273.82 |
| Nro 28 | 1334.94 |
| Nro 29 | 1434.15 |
| Nro 30 | 1393.45 |
| Nro 31 | 1364.41 |
| Nro 32 | 1364.41 |
| Nro 33 | 1286.76 |
| Nro 34 | 1346.67 |
| Nro 35 | 1346.67 |
| Nro 36 | 1346.67 |
| Nro 37 | 1336.87 |
| Nro 38 | 1575.87 |
| Nro 39 | 1503.17 |
| Nro 40 | 1386.08 |
| Nro 41 | 1226.96 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 4.10: índice de heladas correspondiente al Año 2017 en falla-pixel

| Pixel - Falla | Indice de Helada (°C) |
|---------------|-----------------------|
| | Año 2017 |
| Nro 1 | 754.56 |
| Nro 2 | 724.60 |
| Nro 3 | 825.96 |
| Nro 4 | 825.96 |
| Nro 5 | 780.83 |
| Nro 6 | 780.83 |
| Nro 7 | 780.83 |
| Nro 8 | 780.83 |
| Nro 9 | 780.83 |
| Nro 10 | 904.12 |
| Nro 11 | 904.12 |

4.1. Análisis de información

Tabla 4.10: índice de heladas correspondiente al Año 2017 en falla-pixel

| Pixel - Falla | Indice de Helada (°C) |
|---------------|-----------------------|
| | Año 2017 |
| Nro 12 | 904.12 |
| Nro 13 | 1004.11 |
| Nro 14 | 1107.19 |
| Nro 15 | 1578.18 |
| Nro 16 | 1578.18 |
| Nro 17 | 1465.75 |
| Nro 18 | 1465.75 |
| Nro 19 | 1465.75 |
| Nro 20 | 1448.51 |
| Nro 21 | 1448.51 |
| Nro 22 | 1448.51 |
| Nro 23 | 1448.51 |
| Nro 24 | 1448.51 |
| Nro 25 | 1448.51 |
| Nro 26 | 1448.51 |
| Nro 27 | 1448.51 |
| Nro 28 | 1514.30 |
| Nro 29 | 1574.04 |
| Nro 30 | 1612.28 |
| Nro 31 | 1553.71 |
| Nro 32 | 1553.71 |
| Nro 33 | 1486.58 |
| Nro 34 | 1529.18 |
| Nro 35 | 1529.18 |
| Nro 36 | 1529.18 |
| Nro 37 | 1500.76 |
| Nro 38 | 1552.88 |
| Nro 39 | 1492.95 |
| Nro 40 | 1412.05 |
| Nro 41 | 1299.48 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 4.11: índice de heladas correspondiente al Año 2018 en falla-pixel

| Pixel - Falla | Indice de Helada (°C) |
|---------------|-----------------------|
| | Año 2018 |
| Nro 1 | 482.90 |
| Nro 2 | 474.58 |
| Nro 3 | 504.43 |
| Nro 4 | 504.43 |
| Nro 5 | 535.31 |
| Nro 6 | 535.31 |
| Nro 7 | 535.31 |

4.1. Análisis de información

Tabla 4.11: índice de heladas correspondiente al Año 2018 en falla-pixel

| Pixel - Falla | Indice de Helada (°C) |
|---------------|-----------------------|
| | Año 2018 |
| Nro 8 | 535.31 |
| Nro 9 | 535.31 |
| Nro 10 | 652.96 |
| Nro 11 | 652.96 |
| Nro 12 | 652.96 |
| Nro 13 | 733.76 |
| Nro 14 | 835.23 |
| Nro 15 | 1109.12 |
| Nro 16 | 1109.12 |
| Nro 17 | 1112.22 |
| Nro 18 | 1112.22 |
| Nro 19 | 1112.22 |
| Nro 20 | 1095.44 |
| Nro 21 | 1095.44 |
| Nro 22 | 1095.44 |
| Nro 23 | 1095.44 |
| Nro 24 | 1095.44 |
| Nro 25 | 1095.44 |
| Nro 26 | 1095.44 |
| Nro 27 | 1095.44 |
| Nro 28 | 1101.39 |
| Nro 29 | 1175.31 |
| Nro 30 | 1212.16 |
| Nro 31 | 1195.28 |
| Nro 32 | 1195.28 |
| Nro 33 | 1136.21 |
| Nro 34 | 1162.96 |
| Nro 35 | 1162.96 |
| Nro 36 | 1162.96 |
| Nro 37 | 1152.72 |
| Nro 38 | 1592.97 |
| Nro 39 | 1571.97 |
| Nro 40 | 1458.75 |
| Nro 41 | 1199.93 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 4.12: índice de heladas correspondiente al período de analisis falla-pixel

| Pixel - Falla | Indice de Helada (°C) |
|---------------|-----------------------|
| | Año 2016-2018 |
| Nro 1 | 1703.32 |
| Nro 2 | 1627.32 |
| Nro 3 | 1880.47 |

4.1. Análisis de información

Tabla 4.12: índice de heladas correspondiente al período de análisis falla-pixel

| Pixel - Falla | Índice de Helada (°C) |
|---------------|-----------------------|
| | Año 2016-2018 |
| Nro 4 | 1880.47 |
| Nro 5 | 1846.63 |
| Nro 6 | 1846.63 |
| Nro 7 | 1846.63 |
| Nro 8 | 1846.63 |
| Nro 9 | 1846.63 |
| Nro 10 | 2226.60 |
| Nro 11 | 2226.60 |
| Nro 12 | 2226.60 |
| Nro 13 | 2499.78 |
| Nro 14 | 2824.99 |
| Nro 15 | 4034.37 |
| Nro 16 | 4034.37 |
| Nro 17 | 3854.63 |
| Nro 18 | 3854.63 |
| Nro 19 | 3854.63 |
| Nro 20 | 3817.77 |
| Nro 21 | 3817.77 |
| Nro 22 | 3817.77 |
| Nro 23 | 3817.77 |
| Nro 24 | 3817.77 |
| Nro 25 | 3817.77 |
| Nro 26 | 3817.77 |
| Nro 27 | 3817.77 |
| Nro 28 | 3950.63 |
| Nro 29 | 4183.51 |
| Nro 30 | 4217.89 |
| Nro 31 | 4113.40 |
| Nro 32 | 4113.40 |
| Nro 33 | 3909.55 |
| Nro 34 | 4038.80 |
| Nro 35 | 4038.80 |
| Nro 36 | 4038.80 |
| Nro 37 | 3990.35 |
| Nro 38 | 4721.72 |
| Nro 39 | 4568.09 |
| Nro 40 | 4256.89 |
| Nro 41 | 3726.36 |

Fuente: elaboración propia

4.2. Estadística inferencial

Acorde al tipo y nivel de investigación, se optando por un análisis de regresión; con la prueba prueba F de Fisher a un nivel de confianza del 95 %.

Según (Lopez y Gonzalez, 2014)(p.58), “para el análisis e interpretación de un conjunto de datos provenientes de un experimento, se hace uso del análisis de varianza o del análisis de regresión, considerando un modelo matemático estadístico y la aceptación de algunas suposiciones básicas”.

Siendo nuestras variables de estudio: el índice de heladas (IH) y el índice de condición superficial de pavimento (PCI), se ingresó los datos para verificar los supuestos de normalidad antes de proceder con el estadístico de prueba.

4.2.1. Prueba de normalidad

Los análisis de normalidad son pruebas que tienen como objetivo analizar cuánto difiere la distribución de los datos observados respecto a lo esperado si procediesen de una distribución normal.

4.2.1.1. Prueba de Shapiro-Wilk

(Crawley, 2015), menciona lo siguiente: “El valor de p es una medida de credibilidad de la hipótesis nula”.

En la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, la hipótesis nula que se evalúa es que los errores siguen aproximadamente una distribución normal y la alternativa es que no siguen esa distribución. Si el valor p es mayor o igual que el nivel de significancia (significancia 0.05), entonces concluimos que no se cuenta con evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, los errores siguen una distribución normal. Lopez y Gonzalez (2014)(p.64)

índice de condición de pavimento (PCI)

H_0 : la variable PCI tiene una distribución normal,

H_1 : la variable PCI no tiene una distribución normal.

Código Fuente 4.3: Código para evaluar la normalidad de la variable PCI

```

1 #Datos de la variable (PCI)
2 fallas = read.table("./pci.txt", header=T)
3 as.matrix(fallas)
4 #Prueba de normalidad de datos, mediante el estadístico ←
   Shapiro-Wilk
5 shapiro.test(fallas$PCI)
6 #Gráfico cuantil-cuantil
7 qqnorm(fallas$PCI)
8 qqline(fallas$PCI)
9 #Gráfico de distribución datos observados vs datos esperados.←
   Crawley (2013)
10 crawley.plot <- function(y) {
11   s <- sd(y)
12   plot(c(0,3), main = "BOX AND WHISKER PLOT",
13        c(min(y,mean(y)-s*4*qqnorm(0.75)),max(y,mean(y)+s*4*qqnorm←
            (0.75))),
14        xaxt="n",
15        xlab="",
16        type="n",
17        ylab="")
18   #para caja de bigotes, centro a x=1
19   top <- quantile(y,0.75)
20   bottom <- quantile (y,0.25)
21   w1u <- quantile(y,0.91)
22   w2u <- quantile(y,0.98)
23   w1d <- quantile(y,0.09)
24   w2d <- quantile(y,0.02)
25   rect(0.8,bottom,1.2,top)
26   lines(c(0.8,1.2),c(mean(y),mean(y)),lty=3)
27   lines(c(0.8,1.2),c(median(y),median(y)))
28   lines(c(1,1),c(top,w1u))
29   lines(c(0.9,1.1),c(w1u,w1u))
30   lines(c(1,1),c(w2u,w1u),lty=3)
31   lines(c(0.9,1.1),c(w2u,w2u),lty=3)
32   nou <- length(y[y>w2u])
33   points(rep(1,nou),jitter(y[y>w2u]))

```

```

34 lines(c(1,1),c(bottom,w1d))
35 lines(c(0.9,1.1),c(w1d,w1d))
36 lines(c(1,1),c(w2d,w1d),lty=3)
37 lines(c(0.9,1.1),c(w2d,w2d),lty=3)
38 nod <- length(y[w2d])
39 points(rep(1,nod),jitter(y[y<w2d]))
40 #para caja de bigotes normal, centro a x=2
41 n75 <- mean(y)+ s * qnorm(0.75)
42 n25 <- mean(y)- s * qnorm(0.75)
43 n91 <- mean(y)+ s * 2* qnorm(0.75)
44 n98 <- mean(y)+ s * 3* qnorm(0.75)
45 n9 <- mean(y)- s * 2* qnorm(0.75)
46 n2 <- mean(y)- s * 3* qnorm(0.75)
47 rect(1.8,n25,2.2,n75)
48 lines(c(1.8,2.2),c(mean(y),mean(y)),lty=3)
49 lines(c(2,2),c(n75,n91))
50 lines(c(1.9,2.1),c(n91,n91))
51 lines(c(2,2),c(n98,n91),lty=3)
52 lines(c(1.9,2.1),c(n98,n98),lty=3)
53 lines(c(2,2),c(n25,n9))
54 lines(c(1.9,2.1),c(n9,n9))
55 lines(c(2,2),c(n9,n2),lty=3)
56 lines(c(1.9,2.1),c(n2,n2),lty=3)
57 lines(c(1.2,1.8),c(top,n75),lty=3,col="gray")
58 lines(c(1.1,1.9),c(w1u,n91),lty=3,col="gray")
59 lines(c(1.1,1.9),c(w2u,n98),lty=3,col="gray")
60 lines(c(1.2,1.8),c(bottom,n25),lty=3,col="gray")
61 lines(c(1.1,1.9),c(w1d,n9),lty=3,col="gray")
62 lines(c(1.1,1.9),c(w2d,n2),lty=3,col="gray")
63 #etiquetas de las dos cajas
64 axis(1,c(1,2),c("data","normal")) }
65 crowley.plot(fallas$PCI)

```

En las siguientes figuras se muestran los resultados obtenidos de ingresar los datos de la variable PCI para la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

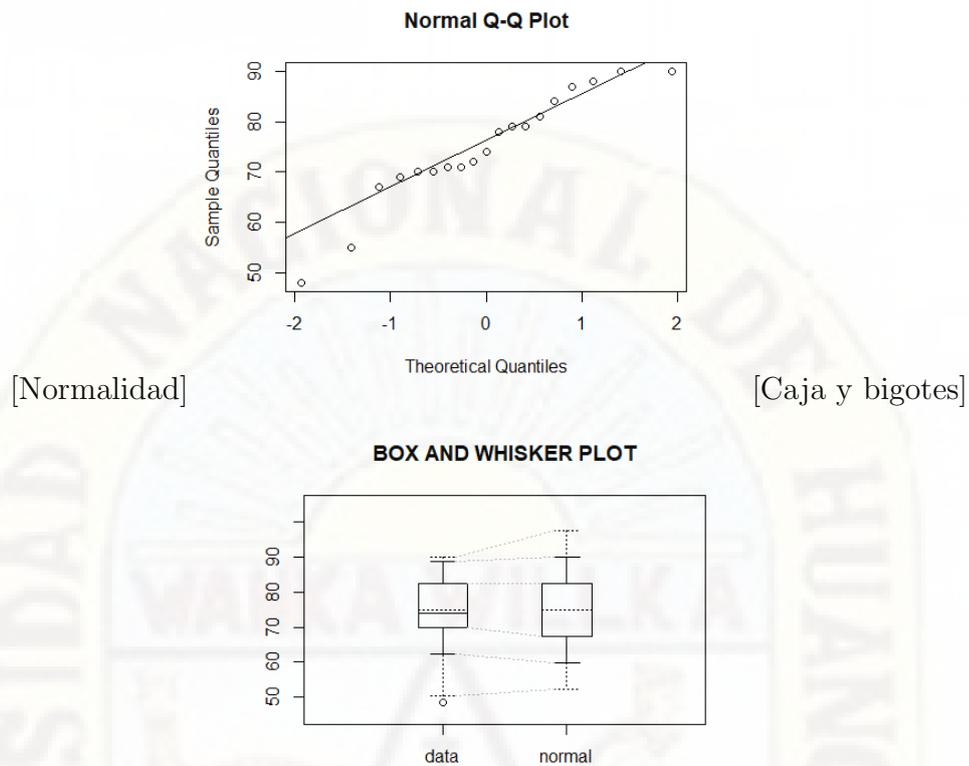
Figura 4.52: prueba de normalidad para la variable PCI

```
PCI
[1,] 69
[2,] 88
[3,] 90
[4,] 72
[5,] 87
[6,] 74
[7,] 71
[8,] 55
[9,] 74
[10,] 48
[11,] 69
[12,] 79
[13,] 70
[14,] 79
[15,] 81
[16,] 90
[17,] 78
[18,] 77
[19,] 71
[20,] 67
[21,] 74
[22,] 84
[23,] 70

Shapiro-Wilk normality test
data: fallas$PCI
W = 0.93273, p-value = 0.1253
```

Fuente: R studio

Figura 4.53: gráficos de normalidad para la variable PCI.



Fuente: R studio.

Interpretación: el valor P-value es de 0.1253, por lo que se tiene un porcentaje de credibilidad del 12.53%. Concluimos que, la variable PCI estadísticamente tiene una distribución normal, siendo el valor de P-value mayor al 5%.

índice de helada (IH)

H_0 : la variable IH tiene una distribución normal,

H_1 : la variable IH no tiene una distribución normal.

Código Fuente 4.4: Código para evaluar la normalidad de la variable IH

```
1 #Datos de la variable independiente "X" (Indice de Heladas)
2 heladas = read.table("./ih.txt", header=T)
3 #Prueba de normalidad de datos, mediante el estadístico ↔
```

```

Shapiro-Wilk
4 shapiro.test(heladas$IH)
5 #Gráfico cuantil-cuantil
6 qqnorm(heladas$IH)
7 qqline(heladas$IH)
8 #Gráfico de distribución datos observados vs datos esperados.↵
  Crawley (2013)
9 crawley.plot <- function(y) {
10   s <- sd(y)
11   plot(c(0,3), main = "BOX AND WHISKER PLOT",
12        c(min(y,mean(y)-s*4*qnorm(0.75)),max(y,mean(y)+s*4*qnorm↵
            (0.75))),
13        xaxt="n",
14        xlab="",
15        type="n",
16        ylab="")
17   #para caja de bigotes, centro a x=1
18   top <- quantile(y,0.75)
19   bottom <- quantile (y,0.25)
20   w1u <- quantile(y,0.91)
21   w2u <- quantile(y,0.98)
22   w1d <- quantile(y,0.09)
23   w2d <- quantile(y,0.02)
24   rect(0.8,bottom,1.2,top)
25   lines(c(0.8,1.2),c(mean(y),mean(y)),lty=3)
26   lines(c(0.8,1.2),c(median(y),median(y)))
27   lines(c(1,1),c(top,w1u))
28   lines(c(0.9,1.1),c(w1u,w1u))
29   lines(c(1,1),c(w2u,w1u),lty=3)
30   lines(c(0.9,1.1),c(w2u,w2u),lty=3)
31   nou <- length(y[y>w2u])
32   points(rep(1,nou),jitter(y[y>w2u]))
33   lines(c(1,1),c(bottom,w1d))
34   lines(c(0.9,1.1),c(w1d,w1d))
35   lines(c(1,1),c(w2d,w1d),lty=3)
36   lines(c(0.9,1.1),c(w2d,w2d),lty=3)
37   nod <- length(y[w2d])

```

```

38 points(rep(1,nod), jitter(y[y<w2d]))
39 #para caja de bigotes normal, centro a x=2
40 n75 <- mean(y)+ s * qnorm(0.75)
41 n25 <- mean(y)- s * qnorm(0.75)
42 n91 <- mean(y)+ s * 2* qnorm(0.75)
43 n98 <- mean(y)+ s * 3* qnorm(0.75)
44 n9 <- mean(y)- s * 2* qnorm(0.75)
45 n2 <- mean(y)- s * 3* qnorm(0.75)
46 rect(1.8,n25,2.2,n75)
47 lines(c(1.8,2.2),c(mean(y),mean(y)),lty=3)
48 lines(c(2,2),c(n75,n91))
49 lines(c(1.9,2.1),c(n91,n91))
50 lines(c(2,2),c(n98,n91),lty=3)
51 lines(c(1.9,2.1),c(n98,n98),lty=3)
52 lines(c(2,2),c(n25,n9))
53 lines(c(1.9,2.1),c(n9,n9))
54 lines(c(2,2),c(n9,n2),lty=3)
55 lines(c(1.9,2.1),c(n2,n2),lty=3)
56 lines(c(1.2,1.8),c(top,n75),lty=3,col="gray")
57 lines(c(1.1,1.9),c(w1u,n91),lty=3,col="gray")
58 lines(c(1.1,1.9),c(w2u,n98),lty=3,col="gray")
59 lines(c(1.2,1.8),c(bottom,n25),lty=3,col="gray")
60 lines(c(1.1,1.9),c(w1d,n9),lty=3,col="gray")
61 lines(c(1.1,1.9),c(w2d,n2),lty=3,col="gray")
62 #etiquetas de las dos cajas
63 axis(1,c(1,2),c("data","normal")) }
64 crawley.plot(heladas$IH)

```

En las siguientes figuras se muestran los resultados obtenidos de ingresar los datos de la variable IH para la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

Figura 4.54: prueba de normalidad para la variable IH

```
data: fallas$PCI
W = 0.93273, p-value = 0.1253

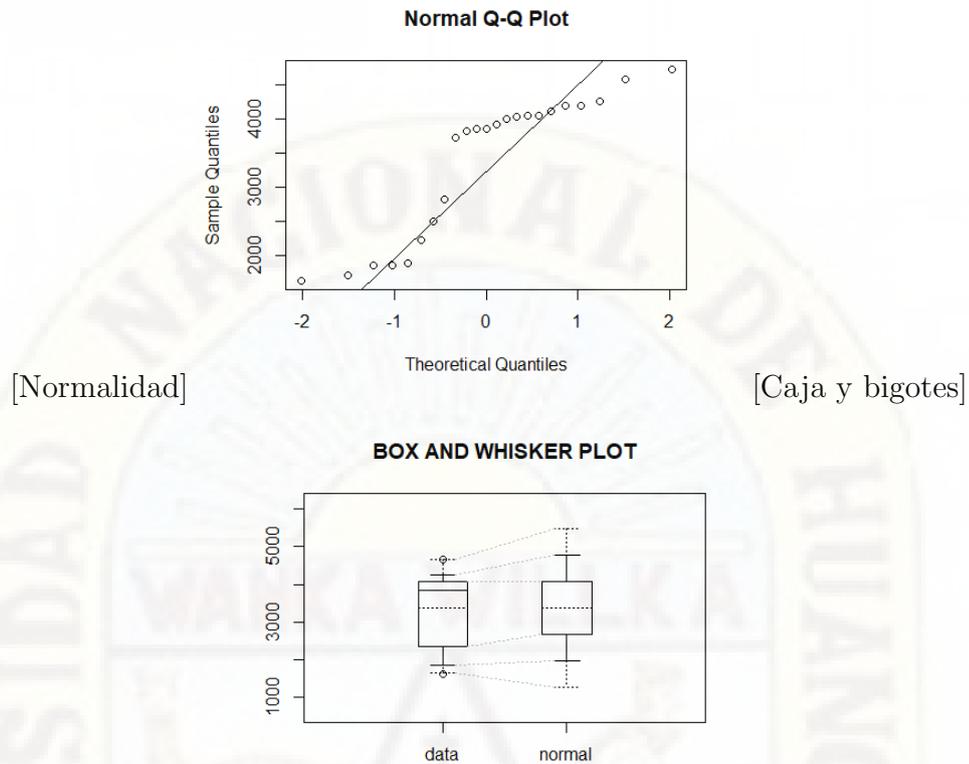
      IH
[1,] 1703
[2,] 1627
[3,] 1880
[4,] 1847
[5,] 1847
[6,] 2227
[7,] 2500
[8,] 2825
[9,] 4034
[10,] 3855
[11,] 3855
[12,] 3818
[13,] 4184
[14,] 4184
[15,] 4113
[16,] 3910
[17,] 4039
[18,] 4039
[19,] 3990
[20,] 4722
[21,] 4568
[22,] 4257
[23,] 3726

      Shapiro-Wilk normality test

data: heladas$IH
W = 0.82898, p-value = 0.001158
```

Fuente: R studio

Figura 4.55: gráficos de normalidad para la variable IH.



Fuente: R studio.

Interpretación: el valor P-value es de 0.001158, por lo que se tiene un porcentaje de credibilidad del 0.1158% .Por tanto, la variable IH no tiene una distribución normal, siendo el valor de P-value menor al 5%.

La heterogeneidad de varianzas puede ocurrir debido a los tratamientos evaluados, esto es, ciertos tratamientos presentan mayor variabilidad que otros. En este caso, el procedimiento adoptado se refiere a la transformación de los datos observados a otra escala, antes de realizar el análisis de varianza. Según (Lopez y Gonzalez, 2014)(p.60).

A continuación se describe los principales tipos de transformaciones comúnmente utilizados:

- Raíz cuadrada

$$y_{ij}^* = \sqrt{y_{ij}} \tag{4.2.1}$$

O bien:

$$y_{ij}^* = \sqrt{y_{ij} + \lambda} \quad (4.2.2)$$

donde:

y_{ij}^* : función transformada,

y_{ij} : función original,

λ : valor ajustable.

■ Angular

$$y_{ij}^* = \arcsin(y_{ij})^2 \quad (4.2.3)$$

donde:

y_{ij}^* : función transformada,

y_{ij} : función original.

■ Logarítmica

$$y_{ij}^* = \log(y_{ij}) \quad (4.2.4)$$

O bien:

$$y_{ij}^* = \log(y_{ij} + 1) \quad (4.2.5)$$

donde:

y_{ij}^* : función transformada,

y_{ij} : función original.

■ Recíproca

$$y_{ij}^* = \frac{1}{y_{ij}} \quad (4.2.6)$$

donde:

y_{ij}^* : función transformada,

y_{ij} : función original.

- Transformación de Johnson

La transformación de Johnson selecciona de manera óptima una de las tres familias de distribución para transformar los datos a fin de que sigan una distribución normal.

Distribución de la familia Johnson con la variable limitada S_B :

$$\gamma + \eta \ln [(x - \varepsilon) / (\lambda + \varepsilon - x)] \quad (4.2.7)$$

para valores de:

$$\eta, \lambda > 0, -\infty < \gamma < \infty, -\infty < \varepsilon < \infty, \varepsilon < x < \varepsilon + \lambda$$

Distribución de la familia Johnson con la variable lognormal S_L :

$$\gamma + \eta \ln(x - \varepsilon) \quad (4.2.8)$$

para valores de:

$$\eta > 0, -\infty < \gamma < \infty, -\infty < \varepsilon < \infty, \varepsilon < x$$

Distribución de la familia Johnson con la variable ilimitada S_U :

$$\gamma + \eta \sinh^{-1} [(x - \varepsilon) / \lambda] \quad (4.2.9)$$

donde:

$$\sinh^{-1}(x) = \ln [x + \sqrt{1 + x^2}]$$

$$\eta, \lambda > 0, -\infty < \gamma < \infty, -\infty < \varepsilon < \infty, -\infty < x < \infty$$

Los datos procesados para la variable IH no muestran una distribución normal, siendo necesario realizar un cambio de escala. Este procedimiento es matemáticamente válido para garantizar los objetivos de esta investigación. A continuación, se elige el método de Johnson Transformation para el cambio de escala.

Código Fuente 4.5: Trsnformacion de Johnson/Prueba de normalidad

```
1 #Transformación de datos por el método de Johnson
2 #libreria
3 library(Johnson)
4 x <-heladas$IH
5 newx <- RE.Johnson(x)
6 as.matrix(newx)
7 w <- newx$transformed
8 as.matrix(w)
9 #Prueba de normalidad de datos, mediante el estadístico ↵
   Shapiro-Wilk
10 shapiro.test(w)
11 #Gráfico cuantil-cuantil
12 qqnorm(w)
13 qqline(w)
```

En las siguientes figuras se muestran los resultados obtenidos con la transformación de Johnson para la variable IH, así como la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

Figura 4.56: transformación de Johnson IH

```

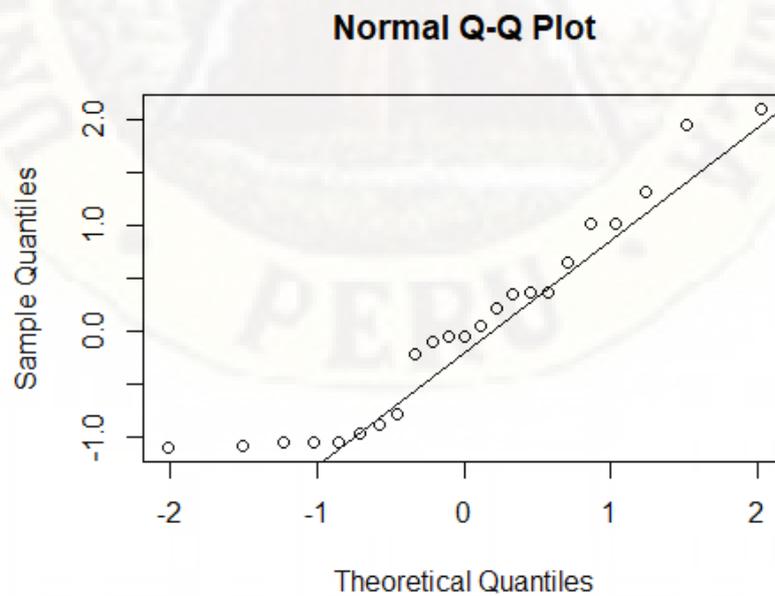
[1,]
"Johnson Transformation"
function "SU"
p 0.1087474
transformed Numeric,23
f.gamma 0.8710581
f.lambda 98.11095
f.epsilon 4156.956
f.eta 0.4986546
[1,]
[1,] -1.08012952
[2,] -1.09532695
[3,] -1.04283141
[4,] -1.05000000
[5,] -1.05000000
[6,] -0.96047330
[7,] -0.88453564
[8,] -0.77590109
[9,] 0.34766409
[10,] -0.04783023
[11,] -0.04783023
[12,] -0.10293153
[13,] 1.00682668
[14,] 1.00682668
[15,] 0.65451870
[16,] 0.04649930
[17,] 0.36371343
[18,] 0.36371343
[19,] 0.22196663
[20,] 2.09346238
[21,] 1.93802732
[22,] 1.31747184
[23,] -0.21888447

Shapiro-Wilk normality test

data: w
W = 0.91517, p-value = 0.05255
    
```

Fuente: R studio

Figura 4.57: normalidad para la variable IH.



Fuente: R studio.

Interpretación: el valor P-value es de 0.05255, por lo que se tiene un porcentaje de credibilidad del 5.23 %. Por tanto, la variable IH estadísticamente se tiene una distribución normal, siendo el valor de P-value mayor al 5 %.

4.2.2. Prueba de hipótesis

Habiendo cumplido los supuestos de normalidad expuestos en la parte 4.2.1, se procede a realizar la prueba de hipótesis para alcanzar los objetivos de esta investigación.

Según Cordova (2003)(p.448), “Para llegar a tomar decisiones estadísticas se debe partir de afirmaciones o conjeturas con respecto a la población en el que estamos interesados”.

H_0 : las heladas no influyen significativamente en las fallas del tratamiento superficial slurry seal en el tramo Lachocc-Villa de Arma estimada por percepción remota.

H_1 : las heladas influyen significativamente en las fallas del tratamiento superficial slurry seal en el tramo Lachocc-Villa de Arma estimada por percepción remota.

Código Fuente 4.6: Código para el análisis de varianza del modelo de regresión

```

1 #Datos de las variables de estudio
2 library(readxl)
3 VARIABLES <- read_excel("VARIABLES.xlsx")
4 as.matrix(VARIABLES)
5 #Ingreso de variables
6 y<- VARIABLES$PCI
7 x<- VARIABLES$IH
8 xsq<- x^2
9 xcub<- x^3
10 xcua<- x^4
11
12 #Modelos de regresión

```

```

13 plot(x,y, pch=19, main = "REGRESSION MODELS", xlab="Frozen ←
      Index (IH)",
14 ylab = "Pavement Condition Index (PCI)")
15 fit1<- lm(y~x)
16 abline(fit1, col ="red", lwd=2)
17 fit2<- lm(y~x+xsq)
18 xv<-seq(min(x),max(x),0.01)
19 yv<- predict (fit2, list(x =xv, xsq= xv^2))
20 lines(xv,yv, col= "green",lwd=2)
21 fit3<- lm(y~x+xsq+xcub)
22 xv<-seq(min(x),max(x),0.01)
23 yv<-predict( fit3, list(x=xv, xsq=xv^2, xcub=xv^3))
24 lines(xv,yv, col="blue", lwd =2)
25 fit4<- lm(y~x+xsq+xcub+xcua)
26 anova(fit4)
27 xv<-seq(min(x),max(x),0.01)
28 yv<-predict( fit4, list(x=xv, xsq=xv^2, xcub=xv^3, xcua=xv^4)←
      )
29 lines(xv,yv, col="Brown", lwd =2)
30 legend("bottomright",col = c("red","green","blue","Brown"),
31 legend =c("Linear regression","quadratic regression",
32 "Cubic regression","fourth regression"), lwd = 2, bty = "n")
33
34 ##ecuacion que define el modelo de regresión que mas se ←
      ajusta a la dispersión de datos:
35 summary(fit3)

```

En las siguientes figuras se muestran los resultados obtenidos de ingresar los datos, para el análisis de varianza de los modelos de regresión.

Figura 4.58: variables de estudio

| | IH | PCI |
|-------|-------------|-----|
| [1,] | -1.08012952 | 69 |
| [2,] | -1.09532695 | 88 |
| [3,] | -1.04283141 | 90 |
| [4,] | -1.05000000 | 72 |
| [5,] | -1.05000000 | 87 |
| [6,] | -0.96047330 | 74 |
| [7,] | -0.88453564 | 71 |
| [8,] | -0.77590109 | 55 |
| [9,] | 0.34766409 | 74 |
| [10,] | -0.04783023 | 48 |
| [11,] | -0.04783023 | 69 |
| [12,] | -0.10293153 | 79 |
| [13,] | 1.00682668 | 70 |
| [14,] | 1.00682668 | 79 |
| [15,] | 0.65451870 | 81 |
| [16,] | 0.04649930 | 90 |
| [17,] | 0.36371343 | 78 |
| [18,] | 0.36371343 | 77 |
| [19,] | 0.22196663 | 71 |
| [20,] | 2.09346238 | 67 |
| [21,] | 1.93802732 | 74 |
| [22,] | 1.31747184 | 84 |
| [23,] | -0.21888447 | 70 |

Fuente: R studio

Figura 4.59: análisis de varianza de los modelos de regresión

```

Response: y
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
x       1    7.96    7.96  0.0843 0.77482
xsq     1    6.91    6.91  0.0732 0.78975
xcub    1  427.28  427.28  4.5276 0.04743 *
xcua    1  140.35  140.35  1.4872 0.23839
Residuals 18 1698.71  94.37
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Call:
lm(formula = y ~ x + xsq + xcub)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-21.6518  -2.4269   0.1218   3.5462  19.5151

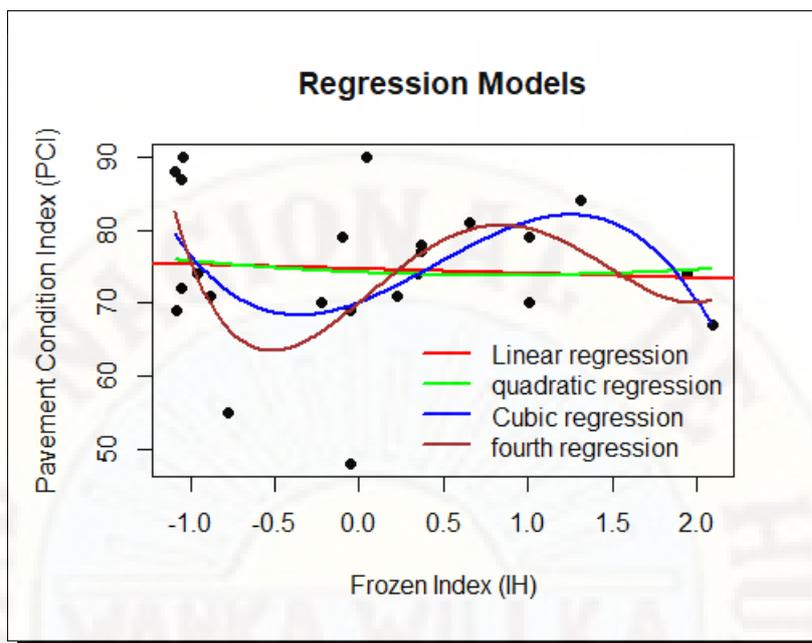
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   70.055     3.412  20.532 1.98e-14 ***
x              8.858     5.301   1.671  0.1111
xsq            8.809     4.472   1.970  0.0636 .
xcub          -6.575     3.129  -2.101  0.0492 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 9.838 on 19 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1938,    Adjusted R-squared:  0.06653
F-statistic: 1.523 on 3 and 19 DF,  p-value: 0.241

```

Fuente: R studio

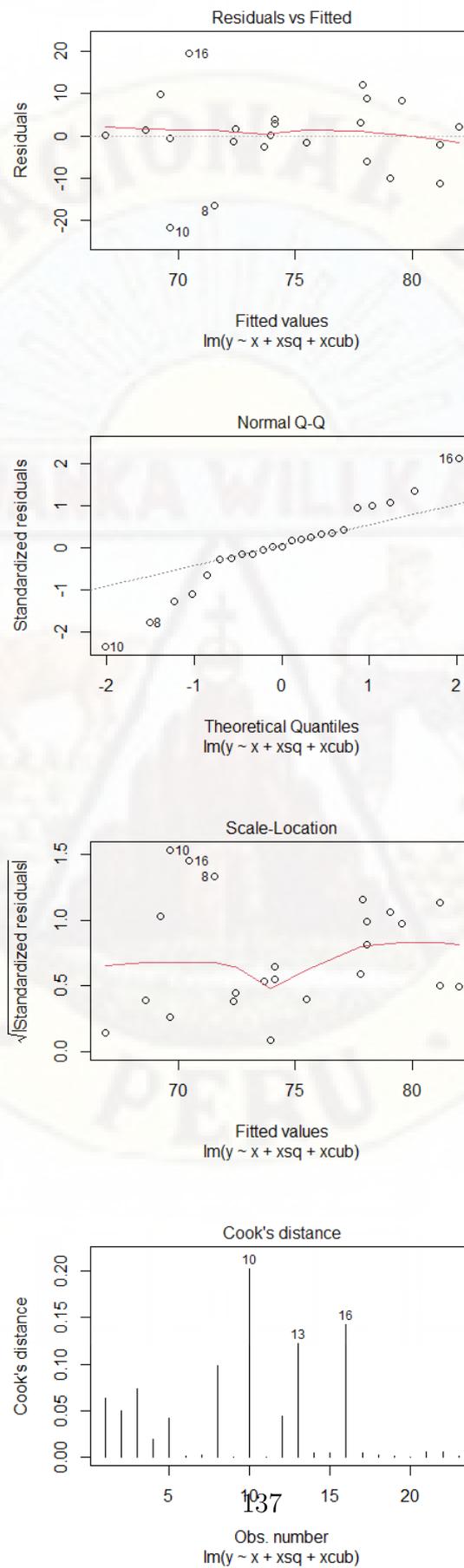
Figura 4.60: modelos de regresión



Fuente: R studio

Interpretación: verificamos que el modelo de regresión de 3er orden es significativo, Se muestra el valor de $Pr > F$ igual a 0.04743, siendo este inferior a 0.05. indicando que existe la relación funcional entre las variables PCI e IH. Por tanto, se acepta la hipótesis alterna. Las heladas influyen significativamente en las fallas del tratamiento superficial slurry seal en el tramo Lachocc-Villa de Arma estimada por percepción remota.

Figura 4.61: diagnosticos para el modelo de regresión de tercer orden



4.3. Discusión de resultados

Los productos de temperatura remota utilizados: PISCOt.V01, representa correctamente los patrones de la temperatura con coeficientes de R2 (0.98-0.54) y presentando sesgo positivo. Mientras que el producto MOD11A2- LST Night 1km, presenta R2 entre (0.79-0,33) con elevadas subestimaciones dependiendo la temporada. Por lo que se recomienda utilizar métodos de validación cuando se trabaje con percepción remota, dado que los modelos por teledetección captan la dinámica de los fenómenos observados, pero, no logran reproducir adecuadamente los datos observados in situ.

La prueba estadística desarrollada en el numeral 4.2.2 de esta investigación, indica causalidad entre las variables de estudio, con un nivel de confianza del 95 %, se afirma que cualquier variación en el índice de helada causará un nivel de deterioro en el tratamiento superficial slurry seal de la carretera nacional P-26, tramo Lachocc-Villa de Arma.

Asimismo, verificamos que el modelo de regresión de 3er orden es el que mejor se ajusta, siendo la ecuación que define el daño ocasionado por heladas la siguiente: $PCI = 70.055 + 8.858IH + 8.809IH^2 - 6.575IH^3$. Es necesario indicar que, pese a la significancia obtenida en la prueba estadística realizada entre las variables de estudio, se tiene un $r^2 = 19.38 \%$, siendo este valor muy bajo y poco confiable.

Adicionalmente, indicamos que el nivel de tráfico en el tramo Lachocc-Villa de Arma es de bajo tránsito y debido al ancho de su calzada solo pueden transitar unidades menores, como autos y camionetas. Por lo que, probablemente hay otras variables que están incidiendo en el nivel de falla observado en el tratamiento superficial slurry seal de la carretera nacional P-26, tramo Lachocc-Villa de Arma.

Estos fenómenos pueden ser factores como la humedad, que fueron identificados en varios puntos de la zona de estudio. Así como la gradiente térmica, que por ser una zona alto andina, recibe grandes dosis de radiación durante el día y bajan bruscamente durante la noche, haciendo su mayor incidencia

4.3. *Discusión de resultados*

minutos antes del alba. El tema de las precipitaciones pluviales también son incidentes en la zona de estudio.

Estos factores descritos fueron percibidos durante la recolección de datos y pueden ayudar a explicar mejor el fenómeno de fallas en tratamientos superficiales.



Conclusiones

- Con un nivel de significancia igual a 0.04743, afirmamos que estadísticamente los tratamientos son diferentes; por lo que, la temperatura bajo 0°C influyente de manera significativa en las fallas funcionales del tratamiento superficial slurry seal en el tramo Lachocc - Villa de Arma.
- Con un nivel de confianza del 95.26% se concluye sobre las variables estudiadas, que las heladas ocasionan daños prematuros en las fallas del tratamiento superficial slurry seal en el tramo Lachocc - Villa de Arma; en tanto que, las unidades de muestras observadas tienen diferentes estados de fallas funcionales atribuidas a la acción de las heladas.

Recomendaciones

- Para investigaciones futuras en el tema de daños en pavimentos asfálticos se recomienda realizar un plan de monitoreo anual, para establecer el ritmo de deterioro del pavimento, en base a los principios de la investigación aplicada y los diseños experimentales, que son fundamentados en el número de repeticiones y tratamientos.
- Para describir mejor el fenómeno de fallas superficiales en los tratamientos superficiales, se recomienda para futuras investigaciones tomar en cuenta otros factores que inciden como: las precipitaciones pluviales, gradiente térmico, humedad, vientos y una correcta estabilización de la subrasante. Siendo estos fenómenos percibidos durante la recolección de datos en la presente investigación.

Referencias

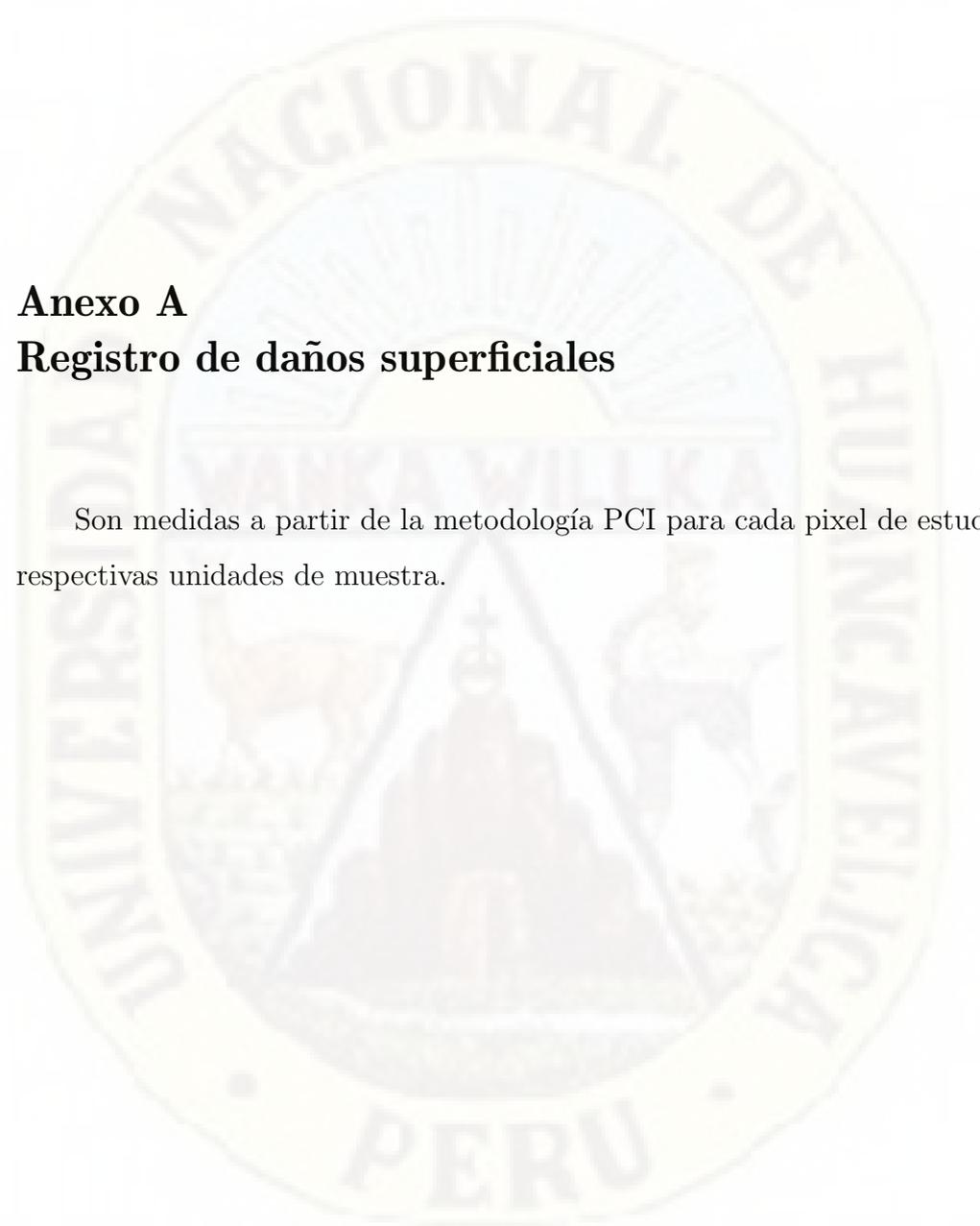
- A. Schultz, G., y Engman, T. (2000). *Remote sensing in hydrology and water management*. doi: 10.1007/978-3-642-59583-7
- ASTM. (2003). *Standard practice for roads and parking lot pavement condition index surveys*. Pensilvania, USA.
- Banion, y Bevia. (2000). *Manual de carreteras*. Valencia: Volumen II Construcción y mantenimiento.
- Blas, F. (2013). Influencia de la temperatura ambiental en la resistencia de la sub-base y base granular de pavimentos en el distrito de el tambo. *Huancayo: Universidad Nacional del Centro*.
- Cayllahua, J., y Castillo, A. (2013). Influencia de la temperatura en el deterioro de la carpeta asfáltica en la carretera nacional tramo : Huancavelica-izcuchaca(pe-26). *Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica*.
- Chavez, R. (2014). *Técnicas de diseño de slurry seal con emulsión modificada*. Colombia.
- CIP. (2020). *Evaluación superficial de pavimentos en carreteras y aeropuertos*. Descargado de <https://www.youtube.com/watch?v=ALYhckNFDQ>
- Cordova, M. (2003). *Estadística descriptiva e inferencial aplicaciones*. Lima: Mosfera S.R.L.
- Coy, O. (2017). *Evaluación superficial de un pavimento flexible de la calle 134 entre carreteras 52a a 53c comparando los métodos vizir y pci* (mathesis). Bogota: Universidad Militar Nueva Granada.
- Crawley, M. (2015). *Statistics an intruction using r*. Canada: Jhon Wiley and Sons,Ltd.
- Gomez, M. (2010). Las heladas en el peru y el mundo. *Huancayo: Universidad Continental*.
- Gonzales, A., Oseda, D., Felisicimo, R., y Gave, J. (2011). *Como aprender y enseñar investigación científica*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Gonzales, W. (2007). *Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad*. El Salvador.

- Ibanez, H. (2003). *Uso de emulsiones en pavimentos asfálticos; asfaltos calientes y frios* (mathesis). Santiago: Universidad Austral de Chile.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., y Chipman, J. W. (2015). *Remote sensing and imagen interpretation* (Seventh edition ed.). WILEY.
- Lopez, y Gonzalez. (2014). *Diseño y análisis de experimentos*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Mamani, J. (2018). Caracterización de temperaturas mínimas asociadas a heladas extremas usando wrf, en la parte sur del Perú. *Lima: Universidad Mayor de San Marcos*.
- Medina, G., Ruiz, J., y Diaz, V., G. and Serrano. (2008). *Probabilidad de ocurrencia de heladas en el estado de zacatecas*. Zacatecas: Mejia.
- Melendez, J. (2000). *Influencia de la temperatura en el deterioro de carpetas asfálticas en zonas de altura*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Montejo, A. (2006). *Ingeniería de pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño*. Colombia: 3era Edición Tomo I.
- MTC. (2014). *Manual de carreteras: Manual de carreteras - sección suelos y pavimentos*. Consultado el 20 de julio de 2018. Descargado de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- MTC. (2018). *Manual de carreteras: Mantenimiento o conservación vial*. Consultado el 14 de Julio de 2019. Descargado de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- NASA-ARSET. (2019). *Applied remote sensing training*. Descargado de <https://arset.gsfc.nasa.gov/webinars/fundamentals-remote-sensing>
- Pszczola, y Judyck. (2016). Evaluation of pavement temperatures in Poland during winter conditions. *Polonia: Transport research arena*.
- RAHA. (2019). *Manufacturer of bitumen emulsion for slurry seal*. Consultado el 21 de diciembre de 2019. Descargado de <http://rahabitumen.com/bitumen-emulsion-slurry-seal/>
- Remisova, E., Decky, M., Podolka, L., Kovac, M., Vondrackova, T., y Bartuska, L. (2015). Frost index from aspect of design of pavement construction in Slovakia. *Slovakia: Elsevier*.
- Robles, R. (2015). Cálculo del índice de condición del pavimento (pci) barranco - surco - Lima. *Investigación. Lima: Universidad Ricardo Palma*.
- Sabino, C. (1966). *El proceso de investigación*. Buenos Aires: Lumen Hvmanitas.

- Sanchez, H., y Reyes, C. (2009). *Metodología y diseño en la investigación científica*. Lima: Vision universitaria.
- Senamhi, y FAO. (2010). *Atlas de heladas del peru*. Peru: Lima.
- Suppo, J. (2012). *Seminarios de investivacion científica sinopsis del libro 2012*. Arequipa.
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigacion científica*. MÃ©xico DF:Limusa S.A.
- Teltayev, B., y Suppes, E. (2018). Temperature in pavement and subgrade and its effect on moisture. *Oskemen: Elsevier*.
- Tutiempo, S. (2019). *Variacion de la temperatura*. Consultado el 07 de enero de 2019. Descargado de <https://www.tutiempo.net/meteorologia/variacion-temperatura.html>
- Valdivia, J. (1977). *Meteorologia general*. Lima: Universidad Mayor de San Marcos.
- Valenzuela, R. (1993). *Actualizacion de coeficientes de danio para el disenio de pavimentos flexibles*. Sonora.
- Valeriano, J. (2000). *Degradacion en los pavimentos revestidos con asfalto en lima y callao, alternativas de solucion para su mantenimiento y rehabilitacion* (mathesis). Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.
- Velasco, I., Flores, A., Romero, S., y Cerrudo, C. (2012). Principios y aplicaciones de sensores remotos instalados en distintos satelites. En *Principios y aplicaciones de sensores remotos instalados en distintos satelites*.

Anexos

| Anexo | Descripción |
|-------|---|
| A | Registro de daños superficiales. |
| B | Índice de condición superficial del pavimento. |
| C | Curvas para determinación del VD y VDC |
| D | Formatos para recolección de datos |
| E | Planos |
| F | Índice de heladas a escala mensual-2016. |
| G | Índice de heladas a escala mensual-2017. |
| H | Índice de heladas a escala mensual-2018. |
| I | Imagen MOD11A2 LST night reproyectado |
| J | Imagen MOD11A2 LST night reproyectado recortado en ámbito de estudio |
| K | Imagen del producto PISCOt en ámbito nacional |
| L | Imagen del producto PISCOt recortado en ámbito de estudio |
| M | Completación de datos de pixeles correspondientes a fallas |
| N | Matriz de correlaciones cruzadas en pixeles correspondientes a fallas |
| O | Panel fotográfico |
| P | Certificado de originalidad turnitin |
| Q | Certificado de lingüística |



Anexo A

Registro de daños superficiales

Son medidas a partir de la metodología PCI para cada pixel de estudio y respectivas unidades de muestra.

Pixel 01 (km 00+000 - Km 00+100) - inspeccionado por los tesistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 00+000 | 00+050 | 1 | L | 5 | 1 | 1.2 | 3.5 | - |
| 00+000 | 00+050 | 1 | M | 3 | 3.5 | 3 | 4.3 | - |
| 00+000 | 00+050 | 11 | L | 0.5 | 7 | 1.2 | 8 | - |
| 00+000 | 00+050 | 11 | L | 0.5 | 24 | 0.7 | 2.3 | - |
| 00+000 | 00+050 | 10 | M | 0.5 | 21 | 0 | 5.7 | - |
| 00+000 | 00+050 | 10 | M | 4 | 39.2 | 0 | 2.7 | - |
| 00+000 | 00+050 | 11 | L | 3.8 | 48.3 | 0.7 | 1.3 | - |
| 00+050 | 00+100 | 11 | L | 4 | 22.3 | 0.9 | 1.2 | - |
| 00+050 | 00+100 | 11 | L | 5.5 | 44.2 | 0.6 | 2.8 | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 02 (km 00+470 - Km 01+600) - inspeccionado por los tesistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 00+470 | 00+520 | 11 | L | 0.2 | 7.2 | 1.7 | 5.5 | - |
| 00+470 | 00+520 | 10 | M | 1 | 24 | 0.7 | 4.75 | - |
| 00+470 | 00+520 | 1 | H | 0.5 | 47 | 2.4 | 9.3 | - |
| 00+520 | 00+570 | 11 | L | 0.3 | 47 | 0.9 | 3.6 | - |
| 00+570 | 00+620 | 11 | H | 0.5 | 30 | 1.9 | 25 | - |
| 00+620 | 00+670 | - | - | - | - | - | - | - |
| 00+670 | 00+720 | 6 | L | 0.2 | 6 | 1.1 | 5.9 | - |
| 00+670 | 00+720 | 11 | L | 1.2 | 25 | 0.9 | 15.6 | - |
| 00+670 | 00+720 | 10 | L | 0.2 | 40 | 0 | 13.2 | - |
| 00+720 | 00+770 | 11 | L | 0.3 | 37 | 1.2 | 1.83 | - |
| 00+770 | 00+820 | 11 | L | 0.1 | 3 | 1.6 | 2.8 | - |
| 00+770 | 00+820 | 1 | M | 5 | 13 | 1 | 5.7 | - |
| 00+820 | 00+870 | - | - | - | - | - | - | - |
| 00+870 | 00+920 | 11 | L | 0.1 | 3 | 1.2 | 4.2 | - |
| 00+870 | 00+920 | 6 | M | 5 | 9 | 1 | 9 | - |
| 00+870 | 00+920 | 6 | M | 0.3 | 35 | 1.2 | 7.1 | - |
| 00+870 | 00+920 | 6 | M | 1 | 43 | 1.9 | 5 | - |
| 00+920 | 00+970 | - | - | - | - | - | - | - |
| 00+970 | 01+020 | 10 | M | 4 | 44 | 0 | 3.3 | - |
| 01+020 | 01+070 | - | - | - | - | - | - | - |
| 01+070 | 01+120 | - | - | - | - | - | - | - |
| 01+120 | 01+170 | - | - | - | - | - | - | - |
| 01+170 | 01+220 | - | - | - | - | - | - | - |
| 01+220 | 01+270 | 10 | H | 3 | 13 | 0 | 13 | - |
| 01+220 | 01+270 | 10 | H | 0.4 | 40 | 5 | 0 | - |
| 01+220 | 01+270 | 10 | H | 5 | 43 | 0 | 7.4 | - |
| 01+270 | 01+320 | - | - | - | - | - | - | - |
| 01+320 | 01+370 | - | - | - | - | - | - | - |
| 01+370 | 01+420 | - | - | - | - | - | - | - |
| 01+420 | 01+470 | 10 | H | 3.5 | 4 | 0 | 26.4 | - |
| 01+470 | 01+520 | - | - | - | - | - | - | - |
| 01+520 | 01+570 | - | - | - | - | - | - | - |
| 01+570 | 01+600 | 6 | L | 0.1 | 20 | 0.5 | 4 | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 03 (km 01 +600 - Km 02+240) - inspeccionado por los tesistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 01+600 | 01+650 | 10 | M | 2.5 | 40 | 0 | 4 | - |
| 01+650 | 01+700 | 1 | L | 0.8 | 23 | 0.8 | 1.4 | - |
| 01+650 | 01+700 | 10 | H | 2.5 | 30 | 0 | 1.7 | - |
| 01+700 | 01+750 | 11 | L | 0 | 18 | 1.2 | 2.4 | - |
| 01+700 | 01+750 | 11 | L | 0.1 | 36 | 1 | 1.7 | - |
| 01+750 | 01+800 | 11 | L | 0 | 33 | 0.9 | 1.6 | - |
| 01+800 | 01+850 | 10 | L | 0.8 | 27 | 0 | 34 | - |
| 01+850 | 01+900 | - | - | - | - | - | - | - |
| 01+900 | 01+950 | 10 | L | 1.5 | 25 | 0 | 14 | - |
| 01+900 | 01+950 | 19 | H | 3 | 44 | 2.5 | 4.3 | - |
| 01+950 | 02+000 | 1 | H | 0 | 4 | 1.1 | 3.6 | - |
| 01+950 | 02+000 | 1 | H | 0 | 5 | 1.7 | 35.7 | - |
| 02+000 | 02+050 | 10 | H | 0 | 1 | 0 | 1.5 | - |
| 02+050 | 02+100 | - | - | - | - | - | - | - |
| 02+100 | 02+150 | - | - | - | - | - | - | - |
| 02+150 | 02+200 | - | - | - | - | - | - | - |
| 02+200 | 02+240 | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 04 (km 02+240 - Km 03+170) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|-----------------------|---------------------|------|-----------|----------|----------|--------------|--------------|-----|
| 02+240 | 02+290 | 19 | H | 4.5 | 20 | 1.5 | 11.2 | - |
| 02+240 | 02+290 | 13 | H | 1 | 35 | 5 | 18 | 7 |
| 02+290 | 02+340 | 1 | H | 2 | 1 | 2 | 3.5 | - |
| 02+290 | 02+340 | 10 | H | 2 | 3.5 | 0 | 8 | - |
| 02+290 | 02+340 | 10 | H | 4.5 | 6 | 1.29 | 1.5 | - |
| 02+290 | 02+340 | 6 | H | 3.5 | 14 | 2.5 | 12 | - |
| 02+290 | 02+340 | 1 | H | 4.5 | 41 | 1.5 | 13.5 | - |
| 02+340 | 02+390 | 10 | M | 2.5 | 20 | 0 | 12.6 | - |
| 02+340 | 02+390 | 11 | L | 4 | 41 | 1.2 | 1.2 | - |
| 02+390 | 02+440 | 19 | L | 5 | 4 | 1.1 | 2.6 | - |
| 02+390 | 02+440 | 19 | L | 4.5 | 12 | 1.3 | 1.83 | - |
| 02+390 | 02+440 | 6 | L | 0 | 2.2 | 0.8 | 1.9 | - |
| 02+440 | 02+490 | 10 | M | 1.2 | 15 | 0 | 34.2 | - |
| 02+490 | 02+540 | 10 | H | 2.5 | 12 | 0 | 12 | - |
| 02+490 | 02+540 | 6 | L | 4.8 | 17 | 1.2 | 2.5 | - |
| 02+490 | 02+540 | 10 | M | 0.9 | 25 | 0 | 6 | - |
| 02+490 | 02+540 | 10 | M | 1 | 0 | 0 | 29.7 | - |
| 02+540 | 02+590 | 19 | M | 1 | 4 | 3.6 | 12.8 | - |
| 02+540 | 02+590 | 19 | H | 3 | 22 | 1.5 | 28 | - |
| 02+590 | 02+640 | 19 | H | 3 | 31 | 1.2 | 18 | - |
| 02+640 | 02+690 | 19 | H | 3 | 12 | 1.7 | 40 | - |
| 02+690 | 02+740 | 19 | H | 3 | 0 | 2.6 | 18 | - |
| 02+740 | 02+790 | 1 | H | 4 | 23 | 0.9 | 4.75 | - |
| 02+740 | 02+790 | 10 | H | 5 | 28 | 0 | 8 | - |
| 02+790 | 02+840 | 11 | M | 4 | 5 | 1 | 12 | - |
| 02+840 | 02+890 | 10 | H | 5 | 8 | 0 | 2.6 | - |
| 02+840 | 02+890 | 10 | M | 3 | 13 | 0 | 21.2 | - |
| 02+890 | 02+940 | 10 | M | 2 | 25 | 0 | 7.4 | - |
| 02+940 | 02+990 | 10 | M | 1 | 0 | 0 | 20 | - |
| 02+940 | 02+990 | 6 | M | 2 | 40 | 2 | 5.7 | - |
| 02+990 | 03+040 | 6 | M | 5 | 11 | 1 | 12 | - |
| 02+990 | 03+040 | 11 | M | 4 | 35 | 1.2 | 6.9 | - |
| 03+040 | 03+090 | - | - | - | - | - | - | - |
| 03+090 | 03+140 | - | - | - | - | - | - | - |
| 03+140 | 03+170 | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 05 (km 03+170 - Km 03+910) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|-----------------------|---------------------|------|-----------|----------|----------|--------------|--------------|-----|
| 03+170 | 03+220 | - | - | - | - | - | - | - |
| 03+220 | 03+270 | 19 | M | 3 | 41.2 | 1.45 | 9.7 | - |
| 03+270 | 03+320 | - | - | - | - | - | - | - |
| 03+320 | 03+370 | - | - | - | - | - | - | - |
| 03+370 | 03+420 | 6 | M | 4 | 10.9 | 1.3 | 3 | - |
| 03+420 | 03+470 | 11 | M | 2 | 29.5 | 1.9 | 8.6 | - |
| 03+470 | 03+520 | - | - | - | - | - | - | - |
| 03+520 | 03+570 | - | - | - | - | - | - | - |
| 03+570 | 03+620 | - | - | - | - | - | - | - |
| 03+620 | 03+670 | 19 | H | 4 | 0 | 1.4 | 8 | - |
| 03+620 | 03+670 | 1 | H | 2 | 31 | 2 | 3 | - |
| 03+620 | 03+670 | 1 | H | 4 | 36 | 1.1 | 2.5 | - |
| 03+670 | 03+720 | - | - | - | - | - | - | - |
| 03+720 | 03+770 | 1 | H | 2 | 45.2 | 2 | 3 | - |
| 03+770 | 03+820 | 1 | H | 4 | 1 | 0.8 | 2 | - |
| 03+770 | 03+820 | 1 | H | 2 | 31 | 1.8 | 6.8 | - |
| 03+770 | 03+820 | 10 | H | 1 | 29 | 0 | 16.5 | - |
| 03+820 | 03+870 | - | - | - | - | - | - | - |
| 03+870 | 03+910 | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 06 (km 03+910 - Km 04+220) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|-----------------------|---------------------|------|-----------|----------|----------|--------------|--------------|-----|
| 03+910 | 03+960 | 19 | H | 4 | 22.3 | 1 | 8.2 | - |
| 03+960 | 04+010 | - | - | - | - | - | - | - |
| 04+010 | 04+060 | 1 | H | 4 | 29.8 | 1 | 19 | - |
| 04+010 | 04+060 | 10 | M | 3 | 27.4 | 0 | 13 | - |
| 04+060 | 04+110 | 10 | H | 3 | 34 | 0 | 16.6 | - |
| 04+110 | 04+160 | 10 | H | 3 | 0 | 0 | 32 | - |
| 04+110 | 04+160 | 19 | H | 0 | 25 | 1.2 | 2.9 | - |
| 04+160 | 04+210 | 6 | M | 4 | 2 | 0.9 | 13 | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 07 (km 04+220 - Km 05+380) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 04+220 | 04+270 | - | - | - | - | - | - | - |
| 04+270 | 04+320 | - | - | - | - | - | - | - |
| 04+320 | 04+370 | - | - | - | - | - | - | - |
| 04+370 | 04+420 | - | - | - | - | - | - | - |
| 04+420 | 04+470 | - | - | - | - | - | - | - |
| 04+470 | 04+520 | 13 | L | 4 | 1 | 0.6 | 4 | 2 |
| 04+470 | 04+520 | 19 | M | 4.5 | 24 | 0.9 | 10.7 | - |
| 04+520 | 04+570 | - | - | - | - | - | - | - |
| 04+570 | 04+620 | 13 | H | 4 | 13 | 3.6 | 1.4 | 3 |
| 04+570 | 04+620 | 13 | H | 3 | 21 | 1.8 | 4.7 | 4 |
| 04+620 | 04+670 | 6 | H | 0 | 14 | 1.7 | 33.4 | - |
| 04+620 | 04+670 | 6 | H | 4 | 15 | 1.5 | 30.4 | - |
| 04+670 | 04+720 | 19 | H | 0 | 0 | 2.5 | 20 | - |
| 04+670 | 04+720 | 19 | H | 4 | 0 | 1.2 | 37 | - |
| 04+720 | 04+770 | 19 | M | 4 | 4 | 1.2 | 5 | - |
| 04+720 | 04+770 | 19 | M | 4.5 | 20.5 | 1.1 | 2 | - |
| 04+770 | 04+820 | - | - | - | - | - | - | - |
| 04+820 | 04+870 | 13 | M | 3.5 | 6 | 0.3 | 0.8 | 2 |
| 04+820 | 04+870 | 1 | H | 0.6 | 38 | 1.6 | 12.4 | - |
| 04+870 | 04+920 | 1 | M | 3 | 0 | 1.2 | 6.6 | - |
| 04+870 | 04+920 | 19 | M | 4.5 | 20 | 1.5 | 4.7 | - |
| 04+870 | 04+920 | 19 | M | 0.3 | 46.3 | 1.6 | 5.9 | - |
| 04+920 | 04+970 | 19 | M | 4.5 | 0 | 1 | 20 | - |
| 04+920 | 04+970 | 5 | M | 3 | 10 | 1 | 16 | - |
| 04+920 | 04+970 | 11 | M | 0.3 | 26 | 1.6 | 8 | - |
| 04+920 | 04+970 | 1 | M | 1.3 | 40 | 2.6 | 15.6 | - |
| 04+970 | 05+020 | 11 | M | 0 | 4 | 1.2 | 6.4 | - |
| 04+970 | 05+020 | 11 | M | 4 | 4 | 1 | 7.4 | - |
| 04+970 | 05+020 | 13 | H | 0 | 20 | 1 | 5.1 | 2 |
| 05+020 | 05+070 | 6 | M | 0 | 0 | 1.2 | 17.1 | - |
| 05+020 | 05+070 | 6 | M | 4 | 23 | 0.7 | 8.7 | - |
| 05+020 | 05+070 | 1 | H | 5 | 34.7 | 1.2 | 16.8 | - |
| 05+070 | 05+120 | 1 | H | 5 | 0 | 1.2 | 5.4 | - |
| 05+070 | 05+120 | 13 | H | 0.3 | 4 | 1.2 | 40 | 8 |
| 05+120 | 05+170 | - | - | - | - | - | - | - |
| 05+170 | 05+220 | 1 | M | 0.1 | 10 | 1 | 2.3 | - |
| 05+220 | 05+270 | 19 | M | 5 | 44.1 | 1 | 5.4 | - |
| 05+270 | 05+320 | 19 | H | 4 | 6 | 1.5 | 20 | - |
| 05+270 | 05+320 | 19 | H | 0 | 10 | 1.5 | 15 | - |
| 05+320 | 05+370 | 11 | L | 0.8 | 29.5 | 2 | 5.8 | - |
| 05+320 | 05+370 | 11 | L | 0.8 | 0 | 1.7 | 8 | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 08 (km 08+250 - Km 09+160) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 08+250 | 08+300 | 1 | H | 0 | 3 | 1.9 | 8 | - |
| 08+250 | 08+300 | 13 | H | 0 | 21 | 1.9 | 8.2 | 4 |
| 08+250 | 08+300 | 13 | H | 0 | 33 | 1.5 | 8.1 | 4 |
| 08+300 | 08+350 | 19 | H | 0 | 0 | 1 | 16 | - |
| 08+300 | 08+350 | 13 | H | 0.3 | 20 | 1.3 | 5 | 3 |
| 08+300 | 08+350 | 13 | H | 0.5 | 47 | 1.3 | 3.45 | 2 |
| 08+350 | 08+400 | 15 | L | 0.3 | 2 | 1.5 | 4 | - |
| 08+350 | 08+400 | 19 | H | 0.3 | 13 | 2 | 23.1 | - |
| 08+350 | 08+400 | 19 | H | 0.3 | 41 | 3.2 | 7 | - |
| 08+350 | 08+400 | 1 | H | 0 | 2 | 1 | 2.1 | - |
| 08+400 | 08+450 | 6 | H | 0 | 24.6 | 4 | 2.7 | - |
| 08+400 | 08+450 | 13 | H | 0.5 | 30 | 1 | 0.9 | 4 |
| 08+450 | 08+500 | - | - | - | - | - | - | - |
| 08+500 | 08+550 | 11 | L | 4 | 42 | 1 | 3.2 | - |
| 08+550 | 08+600 | 19 | H | 0 | 9 | 0.8 | 10.3 | - |
| 08+550 | 08+600 | 19 | H | 0 | 36.1 | 0.8 | 2.4 | - |
| 08+550 | 08+600 | 19 | H | 0 | 45.9 | 1.1 | 3.8 | - |
| 08+600 | 08+650 | 1 | H | 2 | 13 | 1 | 37 | - |
| 08+600 | 08+650 | 19 | H | 0 | 44 | 1.5 | 10 | - |
| 08+650 | 08+700 | 19 | H | 0 | 0 | 3 | 50 | - |
| 08+700 | 08+750 | 19 | H | 0 | 0 | 0.8 | 14 | - |
| 08+700 | 08+750 | 13 | H | 0.5 | 32.4 | 2 | 18.2 | 3 |
| 08+750 | 08+800 | 19 | H | 0 | 0 | 1 | 31 | - |
| 08+750 | 08+800 | 19 | H | 4 | 0 | 0.8 | 28 | - |
| 08+800 | 08+850 | 13 | H | 1 | 11 | 0.9 | 1.04 | 1 |
| 08+800 | 08+850 | 19 | H | 0 | 40 | 2.1 | 8 | - |
| 08+850 | 08+900 | 19 | H | 3 | 3 | 1 | 17 | - |
| 08+850 | 08+900 | 19 | H | 0 | 42 | 1.5 | 6.5 | - |
| 08+900 | 08+950 | 19 | H | 0 | 0 | 1.4 | 10 | - |
| 08+950 | 09+000 | 19 | H | 0.3 | 36.4 | 1.8 | 9.1 | - |
| 09+000 | 09+050 | 1 | M | 3 | 31 | 3 | 19.1 | - |
| 09+050 | 09+100 | 13 | M | 4 | 4 | 0.4 | 4 | 2 |
| 09+050 | 09+100 | 19 | H | 0.3 | 20.6 | 5 | 14.4 | - |
| 09+100 | 09+150 | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 09 (km 15+800 - Km 16+820) - inspeccionado por los tesistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 15+800 | 15+850 | 1 | H | 1.5 | 29 | 1.5 | 15.4 | - |
| 15+850 | 15+900 | 1 | H | 0 | 0 | 0.8 | 3 | - |
| 15+850 | 15+900 | 1 | H | 1 | 12 | 2.5 | 33.8 | - |
| 15+900 | 15+950 | 1 | H | 0.2 | 0 | 0.9 | 13 | - |
| 15+900 | 15+950 | 6 | H | 3.8 | 21 | 0.92 | 29 | - |
| 15+950 | 16+000 | 1 | H | 3.5 | 0 | 0.9 | 11 | - |
| 15+950 | 16+000 | 5 | M | 3.8 | 15.6 | 1.2 | 7.8 | - |
| 16+000 | 16+050 | 13 | M | 0.2 | 41.1 | 0.7 | 4 | 2 |
| 16+050 | 16+100 | 11 | M | 3.5 | 1 | 0.8 | 8 | - |
| 16+050 | 16+100 | 11 | M | 3.5 | 16 | 0.7 | 25.3 | - |
| 16+100 | 16+150 | - | - | - | - | - | - | - |
| 16+150 | 16+200 | 10 | M | 4 | 0 | 0 | 4.5 | - |
| 16+200 | 16+250 | - | - | - | - | - | - | - |
| 16+250 | 16+300 | - | - | - | - | - | - | - |
| 16+300 | 16+350 | 6 | M | 3 | 26 | 1 | 7.1 | - |
| 16+350 | 16+400 | 11 | L | 3 | 16.7 | 0.7 | 5.7 | - |
| 16+400 | 16+450 | 19 | M | 4.5 | 0 | 0.9 | 24 | - |
| 16+400 | 16+450 | 6 | M | 0 | 33 | 0.7 | 1.5 | - |
| 16+450 | 16+500 | 13 | M | 0.2 | 10 | 1.3 | 0.4 | 4 |
| 16+450 | 16+500 | 1 | M | 4 | 33.8 | 1.2 | 12 | - |
| 16+500 | 16+550 | 11 | M | 2 | 0 | 1.7 | 40.8 | - |
| 16+550 | 16+600 | - | - | - | - | - | - | - |
| 16+600 | 16+650 | - | - | - | - | - | - | - |
| 16+650 | 16+700 | 11 | M | 0 | 40.4 | 1 | 2.3 | - |
| 16+700 | 16+750 | 1 | H | 0.5 | 17 | 2 | 12 | - |
| 16+700 | 16+750 | 1 | M | 4.5 | 15 | 0.8 | 24 | - |
| 16+750 | 16+800 | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 10 (km 18+640 - Km 19+520) - inspeccionado por los tesistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 18+640 | 18+690 | 4 | H | 1 | 4 | 2 | 22.6 | - |
| 18+690 | 18+740 | 13 | M | 0.6 | 6 | 3 | 8 | 8 |
| 18+690 | 18+740 | 13 | M | 0.6 | 28 | 4 | 22 | 18 |
| 18+740 | 18+790 | 1 | H | 0.1 | 1 | 1.3 | 19 | - |
| 18+740 | 18+790 | 6 | M | 4 | 30 | 1 | 9.3 | - |
| 18+740 | 18+790 | 11 | M | 0.8 | 44 | 0.8 | 6 | - |
| 18+790 | 18+840 | 1 | H | 0 | 0 | 0.9 | 8 | - |
| 18+790 | 18+840 | 1 | H | 0 | 12 | 2.3 | 7.14 | - |
| 18+840 | 18+890 | 1 | H | 0 | 0 | 0.9 | 7 | - |
| 18+840 | 18+890 | 13 | H | 3 | 32 | 0.7 | 18 | 4 |
| 18+890 | 18+940 | 1 | H | 0 | 0 | 0.8 | 26 | - |
| 18+890 | 18+940 | 13 | H | 4 | 8 | 1.2 | 18 | 5 |
| 18+890 | 18+940 | 1 | H | 0.3 | 41 | 1.8 | 5.8 | - |
| 18+940 | 18+990 | 1 | H | 4 | 0 | 2.85 | 0.6 | - |
| 18+940 | 18+990 | 10 | M | 5 | 24 | 0 | 5.5 | - |
| 18+940 | 18+990 | 1 | M | 0.5 | 34 | 1.6 | 5.2 | - |
| 18+990 | 19+040 | 1 | H | 5 | 0 | 0.5 | 6.4 | - |
| 19+040 | 19+090 | 10 | H | 5 | 17 | 0 | 6.2 | - |
| 19+090 | 19+140 | 19 | M | 5 | 16 | 0.8 | 28 | - |
| 19+140 | 19+190 | 5 | M | 0.3 | 11 | 4 | 10 | - |
| 19+140 | 19+190 | 1 | H | 0.3 | 22 | 1.2 | 4.2 | - |
| 19+190 | 19+240 | 1 | H | 0.5 | 0 | 1 | 13 | - |
| 19+190 | 19+240 | 13 | H | 4 | 22.8 | 1.3 | 2.9 | 2 |
| 19+190 | 19+240 | 1 | H | 0 | 29 | 1.1 | 3.3 | - |
| 19+190 | 19+240 | 1 | M | 0 | 36.9 | 1.2 | 4.1 | - |
| 19+190 | 19+240 | 11 | M | 4 | 4 | 0.8 | 8.7 | - |
| 19+240 | 19+290 | 5 | H | 4 | 5 | 1 | 22.2 | - |
| 19+240 | 19+290 | 19 | M | 3 | 38.5 | 1.3 | 10 | - |
| 19+290 | 19+340 | 13 | M | 0 | 2 | 0.8 | 8 | 6 |
| 19+290 | 19+340 | 1 | M | 4 | 40 | 1 | 6.8 | - |
| 19+340 | 19+390 | 1 | H | 4 | 0 | 1 | 1.7 | - |
| 19+340 | 19+390 | 19 | H | 4 | 13 | 12 | 1.6 | - |
| 19+340 | 19+390 | 6 | M | 3 | 29.4 | 1.1 | 7.7 | - |
| 19+390 | 19+440 | 13 | H | 5 | 3 | 1 | 43 | 12 |
| 19+440 | 19+490 | 11 | L | 3 | 11 | 1.2 | 5.2 | - |
| 19+440 | 19+490 | 11 | M | 0 | 25 | 0.7 | 9.8 | - |
| 19+490 | 19+520 | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 11 (km 19+520 - Km 21+300) - inspeccionado por los tesistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 19+520 | 19+570 | 1 | M | 0.5 | 20.5 | 0.5 | 16 | - |
| 19+520 | 19+570 | 13 | M | 0 | 34.9 | 3.6 | 4.9 | 6 |
| 19+570 | 19+620 | 1 | H | 0 | 0 | 0.8 | 24 | - |
| 19+570 | 19+620 | 5 | M | 0 | 31 | 5 | 15 | - |
| 19+620 | 19+670 | 1 | H | 1 | 3 | 0.8 | 15 | - |
| 19+620 | 19+670 | 1 | H | 1 | 40 | 4.5 | 8 | - |

Pixel 11 (km 19+520 - Km 21+300) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 19+670 | 19+720 | 1 | H | 0.2 | 0 | 0.7 | 2 | - |
| 19+670 | 19+720 | 11 | H | 4 | 8 | 0.8 | 7.9 | - |
| 19+670 | 19+720 | 11 | L | 0.2 | 30.2 | 1.9 | 8.4 | - |
| 19+720 | 19+770 | 19 | M | 0.9 | 6 | 3.5 | 6.6 | - |
| 19+720 | 19+770 | 19 | M | 2 | 22 | 1.8 | 16 | - |
| 19+770 | 19+820 | 13 | M | 0 | 10 | 4 | 30 | 17 |
| 19+770 | 19+820 | 19 | M | 0.3 | 19 | 1.5 | 30.5 | - |
| 19+820 | 19+870 | 19 | M | 0 | 0 | 1.3 | 50 | - |
| 19+870 | 19+920 | 1 | H | 4 | 0 | 0.8 | 40 | - |
| 19+920 | 19+970 | 10 | H | 3 | 0 | 0 | 4 | - |
| 19+920 | 19+970 | 1 | H | 0 | 14.7 | 1.2 | 12 | - |
| 19+970 | 20+020 | 11 | M | 4 | 10 | 1 | 20 | - |
| 20+020 | 20+070 | - | - | - | - | - | - | - |
| 20+070 | 20+120 | 19 | H | 0 | 0 | 5 | 50 | - |
| 20+120 | 20+170 | 19 | H | 0 | 0 | 20 | 5 | - |
| 20+170 | 20+220 | 19 | L | 0 | 0 | 1.4 | 50 | - |
| 20+220 | 20+270 | 19 | L | 0 | 0 | 0.8 | 14 | - |
| 20+270 | 20+320 | - | - | - | - | - | - | - |
| 20+320 | 20+370 | 1 | M | 0.2 | 5 | 0.5 | 5 | - |
| 20+320 | 20+370 | 19 | H | 0.6 | 30.5 | 1.1 | 3.5 | - |
| 20+370 | 20+420 | 6 | M | 2 | 10.4 | 1.9 | 3 | - |
| 20+370 | 20+420 | 11 | M | 4 | 29.7 | 1.3 | 8.6 | - |
| 20+420 | 20+470 | - | - | - | - | - | - | - |
| 20+470 | 20+520 | - | - | - | - | - | - | - |
| 20+520 | 20+570 | 19 | H | 4.5 | 2 | 1.5 | 11.2 | - |
| 20+520 | 20+570 | 13 | H | 1 | 35 | 5 | 18 | 3 |
| 20+520 | 20+570 | 19 | H | 0.3 | 44.2 | 1.2 | 3.4 | - |
| 20+570 | 20+620 | 6 | M | 0.3 | 30.8 | 1 | 9.3 | - |
| 20+620 | 20+670 | 11 | M | 5 | 44 | 0.8 | 6 | - |
| 20+670 | 20+720 | 1 | H | 3 | 0 | 0.9 | 8 | - |
| 20+670 | 20+720 | 1 | H | 2.1 | 12.4 | 2.3 | 7.14 | - |
| 20+720 | 20+770 | 1 | H | 1.3 | 0 | 0.9 | 7 | - |
| 20+770 | 20+820 | 13 | H | 0.2 | 32 | 0.7 | 18 | 2 |
| 20+820 | 20+870 | 1 | H | 2 | 1 | 2 | 3.5 | - |
| 20+820 | 20+870 | 6 | - | 4.5 | 30 | 0.4 | 8 | - |
| 20+870 | 20+920 | - | - | - | - | - | - | - |
| 20+920 | 20+970 | - | - | - | - | - | - | - |
| 20+970 | 21+020 | - | - | - | - | - | - | - |
| 21+020 | 21+070 | 1 | M | 5.1 | 14 | 0.6 | 20.8 | - |
| 21+070 | 21+120 | 10 | M | 1.2 | 30.6 | 0 | 12 | - |
| 21+120 | 21+170 | 6 | H | 0 | 12 | 0.5 | 9 | - |
| 21+120 | 21+170 | 13 | M | 0 | 25.4 | 1 | 12.6 | 4 |
| 21+120 | 21+170 | 1 | H | 5.5 | 43.8 | 0.5 | 6 | - |
| 21+170 | 21+220 | 1 | H | 5 | 0 | 0.8 | 5 | - |
| 21+220 | 21+270 | - | - | - | - | - | - | - |
| 21+270 | 21+300 | 19 | M | 4 | 5.4 | 0.8 | 3 | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 12 (km 21+300 - Km 22+700) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 21+300 | 21+350 | 1 | H | 5 | 9 | 0.5 | 1 | - |
| 21+300 | 21+350 | 1 | H | 0.4 | 35.1 | 1.1 | 2 | - |
| 21+350 | 21+400 | 6 | M | 0 | 12 | 0.6 | 4.2 | - |
| 21+350 | 21+400 | 19 | H | 3.4 | 20.2 | 1.2 | 3.4 | - |
| 21+350 | 21+400 | 10 | M | 0.3 | 43.9 | 0 | 2 | - |
| 21+400 | 21+450 | 10 | M | 2.5 | 13 | 0 | 2.5 | - |
| 21+450 | 21+500 | 11 | M | 3.5 | 5 | 1 | 8 | - |
| 21+450 | 21+500 | 11 | M | 3.9 | 16 | 0.7 | 25 | - |
| 21+500 | 21+550 | - | - | - | - | - | - | - |
| 21+550 | 21+600 | - | - | - | - | - | - | - |
| 21+550 | 21+600 | 1 | M | 0 | 40 | 2 | 5 | - |
| 21+550 | 21+600 | 11 | H | 0.9 | 48.6 | 0.9 | 2 | - |
| 21+600 | 21+650 | 10 | M | 1 | 2 | 0 | 2.1 | - |
| 21+600 | 21+650 | 19 | H | 4.5 | 14 | 1 | 5 | - |
| 21+600 | 21+650 | 10 | M | 2.3 | 36 | 0 | 3 | - |
| 21+650 | 21+700 | 10 | H | 1.3 | 4.8 | 0 | 3.4 | - |
| 21+700 | 21+750 | - | - | - | - | - | - | - |
| 21+750 | 21+800 | 5 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| 21+800 | 21+850 | 5 | M | 2.2 | 0 | 1.2 | 7.8 | - |
| 21+800 | 21+850 | 13 | M | 0.2 | 15.6 | 0.7 | 4 | 3 |
| 21+800 | 21+850 | 11 | M | 3.5 | 33 | 0.8 | 8 | - |
| 21+800 | 21+850 | 11 | M | 4.5 | 46 | 0.7 | 2 | - |
| 21+850 | 21+900 | - | - | - | - | - | - | - |
| 21+850 | 21+900 | 10 | M | 4 | 20.6 | 0 | 6.3 | - |
| 21+900 | 21+950 | 19 | M | 1.9 | 15 | 0.9 | 2 | - |
| 21+900 | 21+950 | 6 | M | 0.3 | 18 | 1.1 | 1 | - |
| 21+950 | 22+000 | 6 | M | 1 | 26.4 | 1 | 7.1 | - |
| 22+000 | 22+050 | 11 | L | 3 | 36 | 0.7 | 5.7 | - |
| 22+000 | 22+050 | 5 | M | 4.5 | 44 | 1 | 1 | - |
| 22+050 | 22+100 | 11 | M | 3 | 26.5 | 1.6 | 8 | - |
| 22+050 | 22+100 | 1 | M | 0.3 | 40.3 | 2.6 | 5 | - |
| 22+100 | 22+150 | 11 | M | 0 | 4.2 | 1.9 | 6.4 | - |
| 22+100 | 22+150 | 11 | M | 4 | 18 | 1 | 7.4 | - |
| 22+100 | 22+150 | 13 | H | 0.5 | 33.5 | 1 | 5.1 | 3 |
| 22+100 | 22+150 | 6 | M | 0.3 | 49 | 1.2 | 1 | - |

Pixel 12 (km 21+300 - Km 22+700) - inspeccionado por los tesistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 22+150 | 22+200 | 6 | M | 1.3 | 23.6 | 0.7 | 8.7 | - |
| 22+200 | 22+250 | 1 | H | 3 | 34.1 | 1 | 11.4 | - |
| 22+200 | 22+250 | 1 | H | 3.9 | 41.2 | 1.2 | 5.4 | - |
| 22+250 | 22+300 | 13 | H | 1 | 4 | 0.9 | 40 | 4 |
| 22+250 | 22+300 | 10 | M | 3 | 25 | 0 | 4 | - |
| 22+250 | 22+300 | 19 | M | 2.8 | 31 | 0.9 | 1 | - |
| 22+250 | 22+300 | 19 | M | 0 | 41.1 | 0.8 | 1 | - |
| 22+300 | 22+350 | 19 | H | 4 | 31 | 6 | 30.4 | - |
| 22+350 | 22+400 | - | - | - | - | - | - | - |
| 22+400 | 22+450 | - | - | - | - | - | - | - |
| 22+450 | 22+500 | - | - | - | - | - | - | - |
| 22+500 | 22+550 | - | - | - | - | - | - | - |
| 22+500 | 22+550 | 10 | L | 0.8 | 27.9 | 0 | 34.2 | - |
| 22+550 | 22+600 | 10 | L | 1.5 | 25.4 | 0 | 14.9 | - |
| 22+550 | 22+600 | 19 | H | 3 | 44.3 | 2.5 | 4.3 | - |
| 22+600 | 22+650 | 1 | H | 0 | 4.2 | 1.1 | 3.6 | - |
| 22+650 | 22+700 | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 13 (km 22+700 - Km 23+860) - inspeccionado por los tesistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 22+700 | 22+750 | 19 | H | 0 | 13 | 2 | 10.5 | - |
| 22+700 | 22+750 | 1 | H | 0 | 31.5 | 1.9 | 8 | - |
| 22+700 | 22+750 | 15 | L | 4.5 | 2.8 | 1.5 | 10 | - |
| 22+750 | 22+800 | 13 | H | 0 | 3 | 0.9 | 17.2 | 2 |
| 22+750 | 22+800 | 19 | H | 3 | 11 | 2.1 | 8 | - |
| 22+750 | 22+800 | 19 | H | 0 | 40.2 | 1 | 1 | - |
| 22+800 | 22+850 | 19 | H | 1 | 42 | 1.5 | 7 | - |
| 22+850 | 22+900 | - | - | - | - | - | - | - |
| 22+900 | 22+950 | 13 | H | 0.5 | 21.6 | 1.9 | 8.2 | 4 |
| 22+950 | 23+000 | 13 | H | 0.7 | 33 | 1.5 | 8.1 | 3 |
| 22+950 | 23+000 | 19 | H | 5 | 40.5 | 1 | 6 | - |
| 23+000 | 23+050 | 13 | H | 0.3 | 30.1 | 1.3 | 5 | 3 |
| 23+050 | 23+100 | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| 23+100 | 23+150 | 19 | H | 5 | 0 | 0.4 | 11 | - |
| 23+100 | 23+150 | 19 | H | 3.4 | 36.5 | 1.8 | 8 | - |
| 23+150 | 23+200 | 1 | M | 3 | 31.1 | 3 | 19.1 | - |
| 23+200 | 23+250 | 13 | M | 4 | 4 | 0.4 | 4 | 5 |
| 23+250 | 23+300 | - | - | - | - | - | - | - |
| 23+300 | 23+350 | - | - | - | - | - | - | - |
| 23+350 | 23+400 | - | - | - | - | - | - | - |
| 23+400 | 23+450 | 11 | L | 4 | 42.5 | 1 | 3.2 | - |
| 23+450 | 23+500 | 19 | H | 0 | 9.1 | 0.8 | 10.3 | - |
| 23+450 | 23+500 | 13 | H | 0.5 | 14.5 | 2 | 8.2 | 4 |
| 23+450 | 23+500 | 19 | H | 0 | 22.3 | 1 | 13 | - |
| 23+450 | 23+500 | 19 | H | 4 | 29 | 0.8 | 25 | - |
| 23+500 | 23+550 | 19 | H | 0.9 | 0 | 1.1 | 4.1 | - |
| 23+500 | 23+550 | 11 | M | 0.4 | 31 | 3.2 | 1 | - |
| 23+550 | 23+600 | 11 | M | 0 | 5.5 | 0.6 | 3 | - |
| 23+600 | 23+650 | 11 | L | 1 | 24 | 0.7 | 1.2 | - |
| 23+650 | 23+700 | 19 | H | 0 | 9 | 0.8 | 10.3 | - |
| 23+650 | 23+700 | 19 | H | 0 | 46.5 | 1.5 | 3.8 | - |
| 23+700 | 23+750 | 19 | H | 0 | 0 | 1 | 31 | - |
| 23+750 | 23+800 | - | - | - | - | - | - | - |
| 23+750 | 23+800 | 19 | H | 2.2 | 26.8 | 3.2 | 7 | - |
| 23+750 | 23+800 | 1 | H | 2 | 41.9 | 1 | 2.1 | - |
| 23+800 | 23+850 | 6 | H | 1 | 24 | 4 | 2.7 | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 14 (km 23+860 - Km 24+850) - inspeccionado por los tesistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 23+860 | 23+910 | - | - | - | - | - | - | - |
| 23+910 | 23+960 | 10 | H | 2.5 | 13.4 | 0 | 13.5 | - |
| 23+910 | 23+960 | 10 | H | 0.3 | 38 | 5 | 0 | - |
| 23+960 | 24+010 | 10 | H | 4 | 34.8 | 0 | 5.4 | - |
| 23+960 | 24+010 | 13 | M | 0 | 40 | 2 | 10 | 5 |
| 24+010 | 24+060 | 11 | H | 0.3 | 3.3 | 1.2 | 2.9 | - |
| 24+010 | 24+060 | 11 | H | 0.1 | 36.5 | 1.6 | 1.4 | - |
| 24+060 | 24+110 | - | - | - | - | - | - | - |
| 24+110 | 24+160 | 19 | H | 1.2 | 0 | 1.1 | 5.2 | - |
| 24+110 | 24+160 | 11 | M | 1.4 | 31 | 3.2 | 3.9 | - |
| 24+110 | 24+160 | 11 | M | 0 | 29.5 | 0.6 | 5.5 | - |
| 24+160 | 24+210 | 11 | L | 0.8 | 26.1 | 0.7 | 3.2 | - |
| 24+160 | 24+210 | 1 | H | 3.4 | 45.8 | 0.9 | 1.2 | - |
| 24+210 | 24+260 | - | - | - | - | - | - | - |
| 24+260 | 24+310 | 1 | M | 0 | 0 | 0.8 | 5.3 | - |
| 24+260 | 24+310 | 19 | M | 0.5 | 40 | 1.2 | 2.3 | - |
| 24+310 | 24+360 | 19 | H | 0 | 0 | 1.6 | 4 | - |

Pixel 14 (km 23+860 - Km 24+850) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 24+310 | 24+360 | 11 | L | 0.5 | 37.2 | 1.7 | 4.7 | - |
| 24+360 | 24+410 | 10 | M | 2 | 24 | 0.7 | 5.2 | - |
| 24+360 | 24+410 | 19 | M | 4 | 40.5 | 0.8 | 6.1 | - |
| 24+410 | 24+460 | 13 | H | 0 | 0 | 1.2 | 11.6 | 6 |
| 24+410 | 24+460 | 19 | H | 0.3 | 12 | 0.9 | 4 | - |
| 24+410 | 24+460 | 19 | H | 5 | 20 | 0.8 | 2.5 | - |
| 24+460 | 24+510 | - | - | - | - | - | - | - |
| 24+510 | 24+560 | 19 | H | 0.5 | 1.5 | 0.4 | 15.3 | - |
| 24+510 | 24+560 | 6 | M | 4 | 9 | 1 | 10 | - |
| 24+560 | 24+610 | 6 | M | 0.5 | 35.2 | 1.3 | 12.5 | - |
| 24+560 | 24+610 | 6 | H | 1.3 | 43.5 | 2 | 5 | - |
| 24+610 | 24+660 | 19 | M | 3.2 | 28 | 1.3 | 3.2 | - |
| 24+610 | 24+660 | - | - | - | - | - | - | - |
| 24+660 | 24+710 | - | - | - | - | - | - | - |
| 24+710 | 24+760 | 10 | H | 0.5 | 5 | 0 | 4.5 | - |
| 24+710 | 24+760 | 10 | H | 0.6 | 24 | 0 | 28.95 | - |
| 24+760 | 24+810 | 13 | H | 5 | 24.6 | 0.8 | 5 | 2 |
| 24+760 | 24+810 | 19 | M | 1 | 20.4 | 1.1 | 6 | - |
| 24+810 | 24+850 | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 15 (km 32+830 - Km 34+120) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 32+830 | 32+880 | 10 | H | 5 | 5.9 | 0 | 5 | - |
| 32+830 | 32+880 | 10 | H | 1.2 | 31 | 0 | 7.5 | - |
| 32+830 | 32+880 | 10 | L | 1.2 | 45 | 0 | 3 | - |
| 32+880 | 32+930 | - | - | - | - | - | - | - |
| 32+930 | 32+980 | - | - | - | - | - | - | - |
| 32+980 | 33+030 | 19 | H | 0 | 4.1 | 6 | 18.5 | - |
| 33+030 | 33+080 | 19 | L | 0.3 | 35.1 | 0.9 | 3 | - |
| 33+030 | 33+080 | 11 | M | 4.9 | 30.4 | 1.1 | 5 | - |
| 33+080 | 33+130 | 11 | H | 1.1 | 5.3 | 0 | 8.9 | - |
| 33+080 | 33+130 | 10 | H | 1.6 | 25.3 | 0 | 6.5 | - |
| 33+130 | 33+180 | 1 | M | 0 | 35.3 | 2.3 | 13.1 | - |
| 33+180 | 33+230 | 19 | M | 0.9 | 5.2 | 0.5 | 10.3 | - |
| 33+180 | 33+230 | 11 | L | 4 | 17 | 1.2 | 4 | - |
| 33+180 | 33+230 | 10 | M | 3.8 | 45 | 0 | 13 | - |
| 33+230 | 33+280 | - | - | - | - | - | - | - |
| 33+280 | 33+330 | - | - | - | - | - | - | - |
| 33+330 | 33+380 | 6 | M | 4.2 | 15 | 1 | 4.2 | - |
| 33+330 | 33+380 | 1 | M | 5.1 | 39 | 0.4 | 3.9 | - |
| 33+380 | 33+430 | 1 | H | 0 | 11.3 | 1.1 | 5.6 | - |
| 33+380 | 33+430 | 10 | L | 2.1 | 40.5 | 0 | 9 | - |
| 33+430 | 33+480 | 13 | M | 1.6 | 3.2 | 4 | 6.5 | 6 |
| 33+430 | 33+480 | 19 | L | 0 | 15.2 | 0.7 | 4.2 | - |
| 33+480 | 33+530 | 10 | H | 0.9 | 27 | 0 | 24.2 | - |
| 33+480 | 33+530 | 6 | H | 4.5 | 34 | 1.1 | 4.2 | - |
| 33+530 | 33+580 | - | - | - | - | - | - | - |
| 33+580 | 33+630 | 1 | H | 5 | 30 | 1 | 4 | - |
| 33+630 | 33+680 | 10 | H | 1.1 | 5 | 0 | 13.2 | - |
| 33+630 | 33+680 | 19 | L | 0.9 | 27.2 | 0.8 | 2.3 | - |
| 33+680 | 33+730 | - | - | - | - | - | - | - |
| 33+730 | 33+780 | - | - | - | - | - | - | - |
| 33+780 | 33+830 | 6 | H | 0 | 15.7 | 1.2 | 5 | - |
| 33+780 | 33+830 | 6 | L | 5 | 23 | 0.9 | 4.8 | - |
| 33+830 | 33+880 | - | - | - | - | - | - | - |
| 33+880 | 33+930 | - | - | - | - | - | - | - |
| 33+930 | 33+980 | 10 | H | 2.3 | 38 | 0 | 10.5 | - |
| 33+930 | 33+980 | 5 | M | 4 | 43 | 2.2 | 5 | - |
| 33+980 | 34+030 | 13 | M | 5 | 44 | 1.4 | 5 | 4 |
| 34+030 | 34+080 | 11 | L | 0 | 15 | 2.3 | 6.6 | - |
| 34+030 | 34+080 | 11 | M | 0 | 33.6 | 1.8 | 4.2 | - |
| 34+080 | 34+120 | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 16 (km 35+020 - Km 36+360) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 35+020 | 35+070 | - | - | - | - | - | - | - |
| 35+070 | 35+120 | 19 | H | 4 | 22.5 | 1.3 | 4.5 | - |
| 35+070 | 35+120 | 11 | H | 3.8 | 46.6 | 1.2 | 8.9 | - |
| 35+120 | 35+170 | 19 | M | 0.3 | 38 | 0.7 | 3.5 | - |
| 35+170 | 35+220 | 10 | M | 4.5 | 5.3 | 0 | 3 | - |
| 35+170 | 35+220 | 10 | H | 5.1 | 39.3 | 0 | 2.2 | - |
| 35+220 | 35+270 | - | - | - | - | - | - | - |
| 35+270 | 35+320 | - | - | - | - | - | - | - |
| 35+320 | 35+370 | - | - | - | - | - | - | - |
| 35+370 | 35+420 | - | - | - | - | - | - | - |
| 35+420 | 35+470 | 11 | H | 0.3 | 14 | 2.4 | 6.5 | - |

Pixel 16 (km 35+020 - Km 36+360) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 35+420 | 35+470 | 11 | M | 0 | 27 | 2.1 | 7.8 | - |
| 35+470 | 35+520 | 10 | M | 0.5 | 38.5 | 0 | 4 | - |
| 35+520 | 35+570 | 1 | L | 1 | 26.3 | 0.8 | 2.3 | - |
| 35+570 | 35+620 | 10 | H | 2.9 | 31.2 | 0 | 1.7 | - |
| 35+570 | 35+620 | 11 | L | 0 | 38 | 1.2 | 1.3 | - |
| 35+620 | 35+670 | 11 | L | 0.3 | 26 | 1 | 1.3 | - |
| 35+670 | 35+720 | 11 | L | 4 | 13 | 0.9 | 4 | - |
| 35+670 | 35+720 | 10 | M | 0.8 | 27 | 0 | 5 | - |
| 35+720 | 35+770 | - | - | - | - | - | - | - |
| 35+770 | 35+820 | 10 | M | 0.5 | 5.6 | 0 | 20 | - |
| 35+770 | 35+820 | 19 | H | 3 | 14 | 0.5 | 2.1 | - |
| 35+770 | 35+820 | 1 | H | 5 | 34 | 1.1 | 3.6 | - |
| 35+770 | 35+820 | 1 | H | 5 | 48 | 0.5 | 2 | - |
| 35+820 | 35+870 | 10 | H | 0 | 1 | 0 | 1.5 | - |
| 35+870 | 35+920 | - | - | - | - | - | - | - |
| 35+920 | 35+970 | 19 | H | 0 | 0 | 1 | 3.3 | - |
| 35+920 | 35+970 | 19 | M | 0.1 | 25 | 0.8 | 4.2 | - |
| 35+970 | 36+020 | 19 | M | 3.4 | 14 | 0.4 | 2.1 | - |
| 35+970 | 36+020 | 6 | M | 3.9 | 42 | 0.5 | 2.5 | - |
| 36+020 | 36+070 | - | - | - | - | - | - | - |
| 36+070 | 36+120 | 19 | H | 0 | 18.2 | 1.7 | 2.9 | - |
| 36+070 | 36+120 | 1 | H | 0.3 | 25 | 1.5 | 3.3 | - |
| 36+120 | 36+170 | - | - | - | - | - | - | - |
| 36+170 | 36+220 | - | - | - | - | - | - | - |
| 36+220 | 36+270 | 10 | H | 4.3 | 28.5 | 0 | 10.2 | - |
| 36+220 | 36+270 | 10 | H | 5.1 | 46 | 0 | 3.9 | - |
| 36+270 | 36+320 | - | - | - | - | - | - | - |
| 36+320 | 36+360 | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 17 (km 36+360 - Km 37+810) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 36+360 | 36+410 | - | - | - | - | - | - | - |
| 36+410 | 36+460 | - | - | - | - | - | - | - |
| 36+460 | 36+510 | - | - | - | - | - | - | - |
| 36+510 | 36+560 | - | - | - | - | - | - | - |
| 36+560 | 36+610 | 11 | H | 0 | 3.4 | 1.4 | 3.8 | - |
| 36+560 | 36+610 | 11 | H | 0.8 | 37 | 0.9 | 3.2 | - |
| 36+560 | 36+610 | 1 | M | 4.5 | 48 | 1.3 | 2 | - |
| 36+610 | 36+660 | 10 | H | 2.9 | 18.7 | 0 | 3.4 | - |
| 36+610 | 36+660 | 10 | M | 4.3 | 29.3 | 0 | 4.1 | - |
| 36+660 | 36+710 | 11 | H | 0 | 0 | 2.1 | 4.4 | - |
| 36+660 | 36+710 | 11 | H | 0 | 31 | 1.8 | 3.4 | - |
| 36+660 | 36+710 | 10 | H | 2.1 | 45.6 | 0 | 3.9 | - |
| 36+710 | 36+760 | 13 | M | 0 | 17.5 | 6 | 10 | 6 |
| 36+710 | 36+760 | 11 | H | 4.5 | 34.7 | 2.3 | 6.8 | - |
| 36+760 | 36+810 | - | - | - | - | - | - | - |
| 36+810 | 36+860 | - | - | - | - | - | - | - |
| 36+860 | 36+910 | 11 | M | 0.3 | 10.6 | 2.3 | 3.8 | - |
| 36+860 | 36+910 | 10 | H | 1.3 | 40.3 | 0 | 9.3 | - |
| 36+910 | 36+960 | 10 | H | 3.2 | 5.3 | 0 | 4.2 | - |
| 36+910 | 36+960 | 13 | H | 0 | 19.2 | 3.5 | 7.8 | - |
| 36+910 | 36+960 | 11 | H | 0 | 48 | 0.9 | 2 | - |
| 36+960 | 37+010 | 11 | L | 5.5 | 39.8 | 0.5 | 9.8 | - |
| 37+010 | 37+060 | 19 | L | 4.5 | 20.6 | 1.5 | 4.7 | - |
| 37+010 | 37+060 | 10 | H | 2.3 | 47.3 | 0.7 | 1.3 | - |
| 37+060 | 37+110 | 6 | M | 0.2 | 31.8 | 4.3 | 11.8 | - |
| 37+110 | 37+160 | 10 | H | 1.8 | 28 | 0 | 3.1 | - |
| 37+110 | 37+160 | 1 | M | 0.5 | 33.4 | 1.2 | 4.5 | - |
| 37+160 | 37+210 | 13 | M | 0 | 12.8 | 3.4 | 7.8 | 5 |
| 37+160 | 37+210 | 11 | H | 0 | 35.6 | 2.9 | 14 | - |
| 37+210 | 37+260 | - | - | - | - | - | - | - |
| 37+260 | 37+310 | 10 | H | 1.3 | 14 | 0 | 10.7 | - |
| 37+260 | 37+310 | 10 | H | 4.5 | 29.5 | 0 | 4.9 | - |
| 37+310 | 37+360 | - | - | - | - | - | - | - |
| 37+360 | 37+410 | 11 | M | 0 | 5.2 | 2.1 | 4.8 | - |
| 37+360 | 37+410 | 11 | H | 0.5 | 25.7 | 1.8 | 5.4 | - |
| 37+410 | 37+460 | - | - | - | - | - | - | - |
| 37+460 | 37+510 | - | - | - | - | - | - | - |
| 37+510 | 37+560 | - | - | - | - | - | - | - |
| 37+560 | 37+610 | 10 | H | 5 | 6.9 | 0 | 5.8 | - |
| 37+560 | 37+610 | 19 | H | 4.5 | 14.7 | 1 | 2.8 | - |
| 37+560 | 37+610 | 19 | H | 3.2 | 46.7 | 2 | 2.9 | - |
| 37+610 | 37+660 | 1 | H | 0.7 | 0 | 1.2 | 4.1 | - |
| 37+610 | 37+660 | 1 | H | 1.2 | 40.3 | 0.9 | 2.9 | - |
| 37+660 | 37+710 | 6 | M | 0.8 | 27.4 | 4 | 9.8 | - |
| 37+660 | 37+710 | 13 | H | 1 | 44.5 | 5 | 5.1 | - |
| 37+710 | 37+760 | - | - | - | - | - | - | - |
| 37+760 | 37+810 | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 18 (km 37+810 - Km 38+080) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 37+810 | 37+860 | 10 | H | 3.2 | 30 | 0 | 14 | - |
| 37+860 | 37+910 | 11 | H | 0 | 8.9 | 1.2 | 8.4 | - |
| 37+860 | 37+910 | 10 | M | 2.1 | 28.6 | 0 | 5.4 | - |
| 37+910 | 37+960 | 1 | M | 0.5 | 5.6 | 1.1 | 2.6 | - |
| 37+910 | 37+960 | 10 | H | 2.6 | 25.7 | 0 | 6.5 | - |
| 37+910 | 37+960 | 10 | H | 5.4 | 37.9 | 0 | 4.3 | - |
| 37+960 | 38+010 | - | - | - | - | - | - | - |
| 38+010 | 38+060 | 11 | H | 0 | 0 | 2.3 | 4.4 | - |
| 38+010 | 38+060 | 10 | M | 1.9 | 41.1 | 0 | 6.4 | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 19 (km 38+080 - Km 38+650) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 38+080 | 38+130 | 10 | H | 4.5 | 6.9 | 0 | 5.4 | - |
| 38+130 | 38+180 | 1 | H | 4.1 | 15.4 | 2.8 | 5.1 | - |
| 38+180 | 38+230 | 10 | M | 1.7 | 7.8 | 0 | 2.5 | - |
| 38+180 | 38+230 | 10 | H | 1.4 | 35.7 | 0 | 4.4 | - |
| 38+230 | 38+280 | 11 | H | 0 | 12.4 | 3.4 | 8.9 | - |
| 38+280 | 38+330 | - | - | - | - | - | - | - |
| 38+280 | 38+330 | 11 | H | 0.5 | 37.6 | 2.5 | 4.5 | - |
| 38+330 | 38+380 | - | - | - | - | - | - | - |
| 38+380 | 38+430 | 10 | M | 0.9 | 24.1 | 0 | 3.1 | - |
| 38+380 | 38+430 | 6 | M | 0.2 | 48.2 | 4 | 6.3 | - |
| 38+430 | 38+480 | 10 | H | 5 | 24.3 | 0 | 9.6 | - |
| 38+430 | 38+480 | 11 | H | 4.3 | 39.6 | 1.5 | 4.7 | - |
| 38+480 | 38+530 | - | - | - | - | - | - | - |
| 38+530 | 38+580 | 10 | H | 1.2 | 12.8 | 0 | 4.5 | - |
| 38+530 | 38+580 | 11 | H | 0.5 | 24.2 | 3 | 5.6 | - |
| 38+580 | 38+630 | 6 | H | 1 | 0 | 5 | 10.4 | - |
| 38+580 | 38+630 | 11 | M | 0.5 | 48.2 | 1.2 | 2.3 | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 20 (km 47+120 - Km 48+050) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 47+120 | 47+170 | - | - | - | - | - | - | - |
| 47+170 | 47+220 | 11 | H | 4 | 8.2 | 1.1 | 6.8 | - |
| 47+220 | 47+270 | 11 | H | 0 | 28.7 | 1.9 | 8.2 | - |
| 47+270 | 47+320 | 10 | H | 2.2 | 0 | 0 | 3.8 | - |
| 47+270 | 47+320 | 1 | H | 0.8 | 15.6 | 0.8 | 1.3 | - |
| 47+320 | 47+370 | 13 | H | 3.2 | 14 | 1.4 | 2.6 | 4 |
| 47+320 | 47+370 | 10 | M | 5.2 | 37 | 0 | 5.6 | - |
| 47+320 | 47+370 | 19 | M | 0 | 0 | 1.3 | 50 | - |
| 47+370 | 47+420 | 1 | H | 4 | 0 | 0.8 | 40 | - |
| 47+370 | 47+420 | 10 | M | 0.8 | 47 | 0 | 2.8 | - |
| 47+420 | 47+470 | 13 | H | 0 | 16.4 | 3 | 8.1 | 6 |
| 47+470 | 47+520 | 11 | M | 4 | 10 | 1 | 20 | - |
| 47+470 | 47+520 | 11 | H | 4.5 | 25.2 | 1.3 | 10.5 | - |
| 47+520 | 47+570 | - | - | - | - | - | - | - |
| 47+570 | 47+620 | - | - | - | - | - | - | - |
| 47+620 | 47+670 | 19 | M | 0.8 | 6 | 2.1 | 5.4 | - |
| 47+620 | 47+670 | 19 | M | 2 | 23.1 | 1.8 | 16 | - |
| 47+670 | 47+720 | 13 | M | 0 | 9 | 4 | 11 | 9 |
| 47+670 | 47+720 | 19 | M | 0.2 | 18.5 | 1.5 | 5.3 | - |
| 47+720 | 47+770 | 13 | H | 4.3 | 42.5 | 3.1 | 7.4 | 4 |
| 47+770 | 47+820 | 10 | H | 0.5 | 24 | 0 | 14 | - |
| 47+770 | 47+820 | 10 | M | 0.8 | 42.5 | 0 | 6.2 | - |
| 47+820 | 47+870 | - | - | - | - | - | - | - |
| 47+870 | 47+920 | 10 | H | 3.4 | 5.6 | 0 | 7.9 | - |
| 47+870 | 47+920 | 1 | M | 3.1 | 34.7 | 3.2 | 5.6 | - |
| 47+920 | 47+970 | 11 | H | 0 | 12.3 | 2.2 | 4.3 | - |
| 47+920 | 47+970 | 11 | H | 0 | 2.5 | 0.9 | 13.5 | - |
| 47+970 | 48+020 | 10 | M | 2.1 | 15.4 | 0 | 9.8 | - |
| 47+970 | 48+020 | 10 | H | 5.2 | 40.3 | 0 | 6.4 | - |
| 48+020 | 48+050 | 6 | M | 0 | 0 | 3.3 | 5.2 | - |
| 48+020 | 48+050 | 11 | H | 4.5 | 34.5 | 1.5 | 4.4 | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 21 (km 49+120 - Km 49+420) - inspeccionado por los testistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 49+120 | 49+170 | 10 | H | 0.8 | 4.6 | 0 | 5.9 | - |

Pixel 21 (km 49+120 - Km 49+420) - inspeccionado por los tesistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 49+170 | 49+220 | 11 | H | 4.9 | 1.2 | 0.8 | 8.7 | - |
| 49+170 | 49+220 | 19 | H | 0 | 15.6 | 3.6 | 3.4 | - |
| 49+170 | 49+220 | 19 | M | 1.2 | 36.7 | 2.5 | 5.4 | - |
| 49+220 | 49+270 | 10 | H | 0.6 | 31.4 | 0 | 4.5 | - |
| 49+270 | 49+320 | 11 | M | 0 | 14.7 | 1.2 | 12.8 | - |
| 49+270 | 49+320 | 1 | H | 2.4 | 20.4 | 2.2 | 3.6 | - |
| 49+320 | 49+370 | 10 | M | 2.3 | 5.8 | 0 | 11.4 | - |
| 49+320 | 49+370 | 6 | M | 4.9 | 23.8 | 1.1 | 3.5 | - |
| 49+370 | 49+420 | 10 | M | 4.5 | 35.7 | 0 | 8.9 | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 22 (km 49+420 - Km 50+220) - inspeccionado por los tesistas.

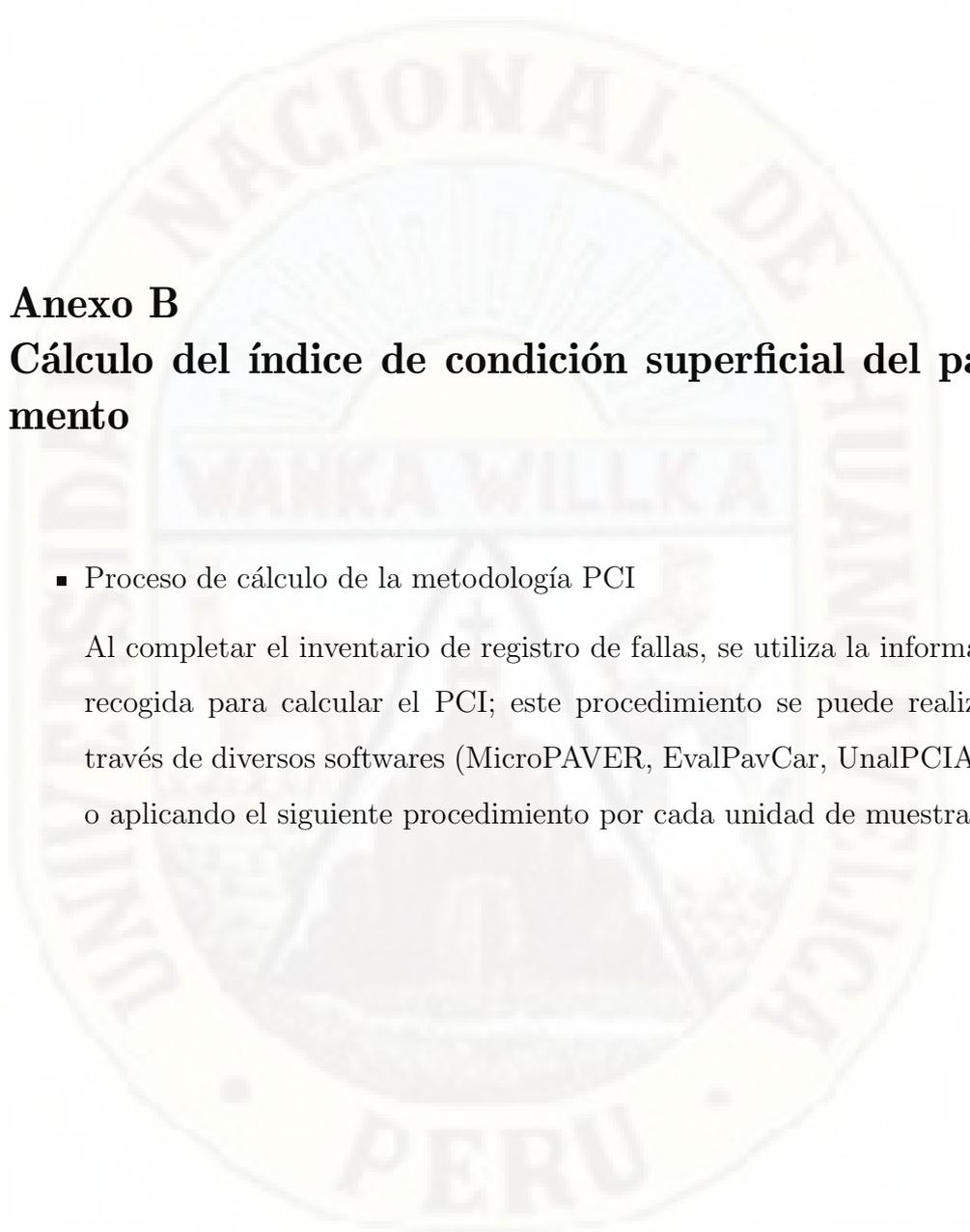
| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 49+420 | 49+470 | 10 | H | 2.2 | 4.1 | 0 | 5.6 | - |
| 49+420 | 49+470 | 10 | M | 3.5 | 40.5 | 0 | 8.3 | - |
| 49+470 | 49+520 | 11 | H | 0 | 8.7 | 2.3 | 4.5 | - |
| 49+470 | 49+520 | 11 | H | 0.8 | 23 | 0.8 | 5.2 | - |
| 49+520 | 49+570 | 10 | H | 0.7 | 18.4 | 0 | 2.2 | - |
| 49+520 | 49+570 | 6 | M | 0 | 25 | 6 | 10.2 | - |
| 49+570 | 49+620 | - | - | - | - | - | - | - |
| 49+620 | 49+670 | - | - | - | - | - | - | - |
| 49+670 | 49+720 | - | - | - | - | - | - | - |
| 49+720 | 49+770 | 19 | H | 1.4 | 0 | 1.1 | 5.2 | - |
| 49+720 | 49+770 | 11 | M | 1.2 | 31 | 3.2 | 3.9 | - |
| 49+770 | 49+820 | 11 | M | 0.3 | 29.5 | 0.6 | 5.5 | - |
| 49+770 | 49+820 | 11 | L | 3.4 | 30.6 | 0.7 | 3.1 | - |
| 49+820 | 49+870 | 1 | H | 0.7 | 22.5 | 0.9 | 1.2 | - |
| 49+820 | 49+870 | 1 | H | 0 | 29 | 0.5 | 1.1 | - |
| 49+870 | 49+920 | - | - | - | - | - | - | - |
| 49+920 | 49+970 | 13 | M | 0 | 23 | 0.7 | 6 | 2 |
| 49+920 | 49+970 | 11 | M | 2.5 | 31 | 0.8 | 7 | - |
| 49+970 | 50+020 | 11 | M | 3.4 | 14.2 | 0.7 | 21.3 | - |
| 49+970 | 50+020 | 10 | H | 3.2 | 45 | 0 | 4 | - |
| 50+020 | 50+070 | 10 | H | 0.8 | 6.5 | 0 | 8.8 | - |
| 50+020 | 50+070 | 19 | M | 4.5 | 20.3 | 1.5 | 4.6 | - |
| 50+020 | 50+070 | 19 | M | 3.8 | 47 | 1.1 | 2.9 | - |
| 50+070 | 50+120 | 10 | H | 0.4 | 2.1 | 0 | 4.8 | - |
| 50+070 | 50+120 | 10 | H | 0.9 | 28.9 | 0 | 9.7 | - |
| 50+120 | 50+170 | - | - | - | - | - | - | - |
| 50+170 | 50+220 | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 23 (km 63+020 - Km 63+860) - inspeccionado por los tesistas.

| Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | Daño | Severidad | X (m) | Y (m) | Ancho (m) | Long. (m) | Obs |
|--------------------|------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| 63+020 | 63+070 | - | - | - | - | - | - | - |
| 63+070 | 63+120 | 19 | H | 3.1 | 0 | 2.6 | 8 | - |
| 63+070 | 63+120 | 1 | H | 5 | 21 | 0.9 | 4.1 | - |
| 63+120 | 63+170 | 10 | M | 1.1 | 15.4 | 0 | 7.8 | - |
| 63+120 | 63+170 | 19 | H | 3 | 22 | 1.5 | 28 | - |
| 63+170 | 63+220 | 19 | H | 3 | 31 | 1.2 | 18 | - |
| 63+170 | 63+220 | 10 | H | 5.4 | 40 | 0 | 4.5 | - |
| 63+170 | 63+220 | 11 | H | 3.2 | 41 | 1.2 | 8.2 | - |
| 63+220 | 63+270 | - | - | - | - | - | - | - |
| 63+270 | 63+320 | 10 | H | 0.4 | 15.4 | 0 | 14.2 | - |
| 63+270 | 63+320 | 11 | H | 5.1 | 26.2 | 0 | 2.3 | - |
| 63+320 | 63+370 | - | - | - | - | - | - | - |
| 63+370 | 63+420 | 10 | H | 0.7 | 12 | 0 | 5.5 | - |
| 63+370 | 63+420 | 10 | H | 0.6 | 38.2 | 0 | 2.3 | - |
| 63+420 | 63+470 | 19 | M | 0 | 0 | 6 | 3.4 | - |
| 63+470 | 63+520 | 10 | H | 1.2 | 3.2 | 0 | 9.4 | - |
| 63+470 | 63+520 | 11 | H | 5.2 | 40 | 0.8 | 9.8 | - |
| 63+520 | 63+570 | 19 | H | 3.2 | 4 | 1.2 | 3.5 | - |
| 63+520 | 63+570 | 19 | M | 0.9 | 5.2 | 3.6 | 11 | - |
| 63+520 | 63+570 | 11 | H | 0 | 28.3 | 1.4 | 4.5 | - |
| 63+570 | 63+620 | 11 | H | 0 | 0 | 2 | 8.8 | - |
| 63+570 | 63+620 | 19 | H | 3 | 12 | 1.7 | 40 | - |
| 63+620 | 63+670 | 1 | H | 1.9 | 1 | 2 | 3.2 | - |
| 63+620 | 63+670 | 1 | H | 3.1 | 42.3 | 0.8 | 2 | - |
| 63+670 | 63+720 | 1 | H | 3.2 | 31 | 1.8 | 6.8 | - |
| 63+670 | 63+720 | 10 | H | 1 | 29 | 0 | 16.5 | - |
| 63+720 | 63+770 | 11 | H | 0 | 19.4 | 2 | 4.3 | - |
| 63+720 | 63+770 | 11 | H | 0 | 30.1 | 0.8 | 1.2 | - |
| 63+770 | 63+820 | - | - | - | - | - | - | - |
| 63+820 | 63+870 | 6 | M | 3 | 14 | 2.8 | 12.4 | - |
| 63+820 | 63+860 | 10 | M | 0.8 | 25 | 0 | 5.4 | - |

Fuente: elaboración propia



Anexo B

Cálculo del índice de condición superficial del pavimento

- Proceso de cálculo de la metodología PCI

Al completar el inventario de registro de fallas, se utiliza la información recogida para calcular el PCI; este procedimiento se puede realizar a través de diversos softwares (MicroPAVER, EvalPavCar, UnalPCIA 2.0) o aplicando el siguiente procedimiento por cada unidad de muestra.

1. Determinación de los valores deducidos (VD)

Se totaliza cada tipo y nivel de daño por unidad de muestra, siendo el daño medido en área, longitud o unidad según su tipo.

Los valores deducidos de cada falla son establecidos de acuerdo a la densidad obtenida.

- la densidad, es el porcentaje de la falla respecto al área de la unidad de muestra,
- los valores deducidos, son obtenidos de las curvas para cada tipo de daño (Anexo C).

La Tabla B.5 muestra los valores deducidos para la unidad de muestra 001.

2. Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (m_i)

Si los valores deducidos en general son iguales o menores a 2, se usa el valor deducido total (VDT) como valor deducido corregido (VDC). Caso contrario el procedimiento común es el siguiente:

- se lista los valores deducidos de mayor a menor como muestra la tabla B.1 y se tome el máximo valor deducido (HDV_i),
- se calcula el número máximo admisible de valores deducidos, con la siguiente ecuación: (La tabla B.2, muestra el procedimiento)

$$m_i = 1 - \frac{9}{98}(100 - HDV_i) \quad (4.3.1)$$

donde:

m_{di} : número máximo admisible de valores deducidos,

HDV_i : mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo

i.

Si se dispone de menos valores deducidos que m_i se utilizan todos los que se tengan.

Tabla B.1: valores deducidos U_1 - Pixel 1

| Item | VD |
|---------|----|
| 1 | 37 |
| 2 | 14 |
| 3 | 13 |
| 4 | 7 |
| HDV_i | 37 |

Fuente: elaboración propia

Tabla B.2: número máximo de valores deducidos U_1 - Pixel 1

| Descripción | Valor |
|--|-------|
| Numero de valores deducidos >2 (q) | 4 |
| Valor deducido más alto (HDV_i) | 37 |
| Número máximo de valores deducidos (m_i) | 6.8 |

Fuente: elaboración propia

3. Cálculo del máximo valor deducido corregido (VDC)

Se determina mediante el proceso iterativo descrito en La tabla B.3

- determine el número de valores deducidos mayores a dos (q), como muestra la tabla B.2,
- sumamos todos los valores deducidos totales (VDT) individuales por cada fila,
- determine el valor deducido corregido (VDC), con " q " y " VDT " en la curva de evaluación (Anexo C),
- reduzca a 2 el menor valor deducido, hasta que " q " sea igual a 1,
- elija el mayor VDC.

Tabla B.3: máximo valor deducido corregido U_1 - Pixel 1

| Nº | Valores Reducidos | | | | | | | TDV | q | VDC |
|----|-------------------|----|----|---|---|---|---|-----|---|------|
| 1 | 37 | 14 | 13 | 7 | - | - | - | 71 | 4 | 39.5 |
| 2 | 37 | 14 | 13 | 2 | - | - | - | 66 | 3 | 36.6 |
| 3 | 37 | 14 | 2 | 2 | - | - | - | 55 | 2 | 39.1 |
| 4 | 37 | 2 | 2 | 2 | - | - | - | 43 | 1 | 43 |

Máximo VDC 43

Fuente: elaboración propia

4. Cálculo del PCI para la unidad de muestra U_i

La tabla B.4 muestra el PCI para la unidad de muestra 001, el PCI es determinado por la ecuación siguiente:

$$PCI = 100 - VDC \quad (4.3.2)$$

donde:

PCI : índice de condición de Pavimento,

VDC : valor deducido corregido.

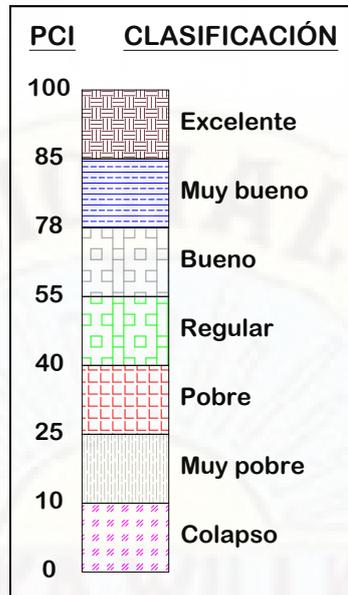
Tabla B.4: PCI (U_1 - Pixel 1)

| | |
|-----------|--------|
| PCI | :57 |
| Condición | :bueno |

Fuente: elaboración propia

Para mayor entendimiento se ha elaborado la figura B.1

Figura B.1: índice de condición de pavimento



Fuente: adaptado de EvalPavCar

Para calcular el PCI de cada unidad de muestreo se sigue el procedimiento descrito en el presente anexo, este paso se resume a continuación, en el consolidado del índice de condición superficial de pavimento para cada unidad de muestra.

Tabla B.5: valores deducidos U_1 - Pixel 1

| MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA ASTM D 6433 (2003) | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|----------|--------------------|---|--|-----------------------|--|--|---|-------|----------|----------------|
| SECCION | | | PROGRESIVA INICIAL | | | UNIDAD DE MUESTREO | | | <div style="text-align: right;">11L</div> <div style="text-align: right;">10M</div> <div style="text-align: right;">11L</div> <div style="text-align: right;">1M</div> <div style="text-align: right;">1L</div> | | | |
| PIXEL 01: KM 00+000 - KM 00+100 | | | km 00+000 | | | 001 | | | | | | |
| CARRIL | | | PROGRESIVA FINAL | | | AREA DE MUESTREO | | | | | | |
| CALZADA | | | km 00+050 | | | 300 m ² | | | | | | |
| INSPECCIONADO POR | | | | | | FECHA | | | | | | |
| LOS TESISTAS | | | | | | 30 - Noviembre - 2019 | | | | | | |
| DAÑOS | | | | | | | | | | | | |
| 1. Piel de cocodrilo 2. Exudación 3. Agrietamiento en bloque 4. Abultamientos y hundimientos 5. Corrugación 6. Depresión | | | | 7. Grieta de borde 8. Grieta de reflexión de juntas 9. Desnivel carril / berma 10. Grietas longitudinales y transversales 11. Parcheo 12. Pulimento de agregados | | | | 13. Huecos 14. Cruce de vía ferrea 15. Ahuellamiento 16. Desplazamiento 17. Grieta parabólica (slippage) 18. Hinchamiento 19. Desprendimiento de agregados | | | | |
| DAÑO | SEVERIDAD | CANTIDAD | | | | | | | | TOTAL | DENSIDAD | VALOR DEDUCIDO |
| | L | 4.2 | | | | | | | | 4.2 | 1.4 | 14.0 |
| 1 | M | 12.9 | | | | | | | | 12.9 | 4.3 | 37.0 |
| 10 | M | 2.7 | 5.7 | | | | | | | 8.4 | 2.8 | 7.0 |
| 11 | L | 1.8 | 9.1 | 9.8 | | | | | | 20.3 | 6.8 | 13.0 |
| PROMEDIO | | | | | | | | | | 69 | Bueno | |

Fuente: EvalPavCar

Pixel 01 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 00+000 | 00+050 | 6.8 | 43 | 57 | Bueno |
| 300 | 2 | 00+050 | 00+100 | 0 | 19 | 81 | Muy Bueno |

Fuente: elaboración propia

Pixel 02 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 00+470 | 00+520 | 4.9 | 61 | 39 | Pobre |
| 300 | 2 | 00+520 | 00+570 | 0 | 2 | 98 | Excelente |
| 300 | 3 | 00+570 | 00+620 | 0 | 62 | 38 | Pobre |
| 300 | 4 | 00+620 | 00+670 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 5 | 00+670 | 00+720 | 9.4 | 13 | 87 | Excelente |
| 300 | 6 | 00+720 | 00+770 | 0 | 2 | 98 | Excelente |
| 300 | 7 | 00+770 | 00+820 | 7.7 | 29 | 71 | Muy Bueno |
| 300 | 8 | 00+820 | 00+870 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 9 | 00+870 | 00+920 | 7.7 | 29 | 71 | Muy Bueno |
| 300 | 10 | 00+920 | 00+970 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 11 | 00+970 | 01+020 | 0 | 2 | 98 | Excelente |
| 300 | 12 | 01+020 | 01+070 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 13 | 01+070 | 01+120 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 14 | 01+120 | 01+170 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 15 | 01+170 | 01+220 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 16 | 01+220 | 01+270 | 0 | 31 | 69 | Bueno |
| 300 | 17 | 01+270 | 01+320 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 18 | 01+320 | 01+370 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 19 | 01+370 | 01+420 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 20 | 01+420 | 01+470 | 0 | 32 | 68 | Bueno |
| 300 | 21 | 01+470 | 01+520 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 22 | 01+520 | 01+570 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 180 | 23 | 01+570 | 01+600 | 0 | 4 | 96 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 03 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 01+600 | 01+650 | 0 | 3 | 97 | Excelente |
| 300 | 2 | 01+650 | 01+700 | 9.6 | 8 | 92 | Excelente |
| 300 | 3 | 01+700 | 01+750 | 0 | 3 | 97 | Excelente |
| 300 | 4 | 01+750 | 01+800 | 0 | 1 | 99 | Excelente |
| 300 | 5 | 01+800 | 01+850 | 0 | 8 | 92 | Excelente |
| 300 | 6 | 01+850 | 01+900 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 7 | 01+900 | 01+950 | 7.8 | 28 | 72 | Muy Bueno |
| 300 | 8 | 01+950 | 02+000 | 0 | 71 | 29 | Pobre |
| 300 | 9 | 02+000 | 02+050 | 0 | 5 | 95 | Excelente |
| 300 | 10 | 02+050 | 02+100 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 11 | 02+100 | 02+150 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 12 | 02+150 | 02+200 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 240 | 13 | 02+200 | 02+240 | 0 | 0 | 100 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 04 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 02+240 | 02+290 | 3.8 | 73 | 27 | Pobre |
| 300 | 2 | 02+290 | 02+340 | 4.7 | 76 | 24 | Muy Pobre |
| 300 | 3 | 02+340 | 02+390 | 0 | 11 | 89 | Excelente |
| 300 | 4 | 02+390 | 02+440 | 0 | 5 | 95 | Excelente |
| 300 | 5 | 02+440 | 02+490 | 0 | 20 | 80 | Muy Bueno |
| 300 | 6 | 02+490 | 02+540 | 8.3 | 32 | 68 | Bueno |
| 300 | 7 | 02+540 | 02+590 | 5.8 | 51 | 49 | Regular |
| 300 | 8 | 02+590 | 02+640 | 0 | 35 | 65 | Bueno |
| 300 | 9 | 02+640 | 02+690 | 0 | 58 | 42 | Regular |
| 300 | 10 | 02+690 | 02+740 | 0 | 50 | 50 | Regular |
| 300 | 11 | 02+740 | 02+790 | 7 | 38 | 62 | Bueno |
| 300 | 12 | 02+790 | 02+840 | 0 | 20 | 80 | Muy Bueno |
| 300 | 13 | 02+840 | 02+890 | 8.8 | 17 | 83 | Muy Bueno |
| 300 | 14 | 02+890 | 02+940 | 0 | 7 | 93 | Excelente |
| 300 | 15 | 02+940 | 02+990 | 8.8 | 21 | 79 | Muy Bueno |
| 300 | 16 | 02+990 | 03+040 | 8.6 | 24 | 76 | Muy Bueno |
| 300 | 17 | 03+040 | 03+090 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 18 | 03+090 | 03+140 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 180 | 19 | 03+140 | 03+170 | 0 | 0 | 100 | Excelente |

Pixel 04 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---|-----|-----|---------------|
| - | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: elaboración propia

Pixel 05 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 03+170 | 03+220 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 2 | 03+220 | 03+270 | 0 | 12 | 88 | Excelente |
| 300 | 3 | 03+270 | 03+320 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 4 | 03+320 | 03+370 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 5 | 03+370 | 03+420 | 0 | 10 | 90 | Excelente |
| 300 | 6 | 03+420 | 03+470 | 0 | 23 | 77 | Muy Bueno |
| 300 | 7 | 03+470 | 03+520 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 8 | 03+520 | 03+570 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 9 | 03+570 | 03+620 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 10 | 03+620 | 03+670 | 6 | 52 | 48 | Regular |
| 300 | 11 | 03+670 | 03+720 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 12 | 03+720 | 03+770 | 0 | 40 | 60 | Bueno |
| 300 | 13 | 03+770 | 03+820 | 5.5 | 53 | 47 | Regular |
| 300 | 14 | 03+820 | 03+870 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 240 | 15 | 03+870 | 03+910 | 0 | 0 | 100 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 06 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 03+910 | 03+960 | 0 | 23 | 77 | Muy Bueno |
| 300 | 2 | 03+960 | 04+010 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 3 | 04+010 | 04+060 | 5.1 | 57 | 43 | Regular |
| 300 | 4 | 04+060 | 04+110 | 0 | 24 | 76 | Muy Bueno |
| 300 | 5 | 04+110 | 04+160 | 7 | 39 | 61 | Bueno |
| 300 | 6 | 04+160 | 04+210 | 0 | 14 | 86 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 07 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 04+220 | 04+270 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 2 | 04+270 | 04+320 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 3 | 04+320 | 04+370 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 4 | 04+370 | 04+420 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 5 | 04+420 | 04+470 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 6 | 04+470 | 04+520 | 8.8 | 20 | 80 | Muy Bueno |
| 300 | 7 | 04+520 | 04+570 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 8 | 04+570 | 04+620 | 0 | 70 | 30 | Pobre |
| 300 | 9 | 04+620 | 04+670 | 0 | 64 | 36 | Pobre |
| 300 | 10 | 04+670 | 04+720 | 0 | 64 | 36 | Pobre |
| 300 | 11 | 04+720 | 04+770 | 0 | 11 | 89 | Excelente |
| 300 | 12 | 04+770 | 04+820 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 13 | 04+820 | 04+870 | 5.1 | 57 | 43 | Regular |
| 300 | 14 | 04+870 | 04+920 | 7.3 | 33 | 67 | Bueno |
| 300 | 15 | 04+920 | 04+970 | 5.2 | 69 | 31 | Pobre |
| 300 | 16 | 04+970 | 05+020 | 6.1 | 49 | 51 | Regular |
| 300 | 17 | 05+020 | 05+070 | 5 | 59 | 41 | Regular |
| 300 | 18 | 05+070 | 05+120 | 3.5 | 79 | 21 | Muy Pobre |
| 300 | 19 | 05+120 | 05+170 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 20 | 05+170 | 05+220 | 0 | 19 | 81 | Muy Bueno |
| 300 | 21 | 05+220 | 05+270 | 0 | 10 | 90 | Excelente |
| 300 | 22 | 05+270 | 05+320 | 0 | 53 | 47 | Regular |
| 300 | 23 | 05+320 | 05+370 | 0 | 15 | 85 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 08 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 08+250 | 08+300 | 3.5 | 84 | 16 | Muy Pobre |
| 300 | 2 | 08+300 | 08+350 | 4.4 | 68 | 32 | Pobre |

Pixel 08 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 3 | 08+350 | 08+400 | 4.9 | 63 | 37 | Pobre |
| 300 | 4 | 08+400 | 08+450 | 4.9 | 60 | 40 | Regular |
| 300 | 5 | 08+450 | 08+500 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 6 | 08+500 | 08+550 | 0 | 2 | 98 | Excelente |
| 300 | 7 | 08+550 | 08+600 | 0 | 29 | 71 | Muy Bueno |
| 300 | 8 | 08+600 | 08+650 | 4.2 | 69 | 31 | Pobre |
| 300 | 9 | 08+650 | 08+700 | 0 | 69 | 31 | Pobre |
| 300 | 10 | 08+700 | 08+750 | 5.4 | 56 | 44 | Regular |
| 300 | 11 | 08+750 | 08+800 | 0 | 53 | 47 | Regular |
| 300 | 12 | 08+800 | 08+850 | 7.2 | 47 | 53 | Regular |
| 300 | 13 | 08+850 | 08+900 | 0 | 39 | 61 | Bueno |
| 300 | 14 | 08+900 | 08+950 | 0 | 29 | 71 | Muy Bueno |
| 300 | 15 | 08+950 | 09+000 | 0 | 31 | 69 | Bueno |
| 300 | 16 | 09+000 | 09+050 | 0 | 56 | 44 | Regular |
| 300 | 17 | 09+050 | 09+100 | 4.8 | 61 | 39 | Pobre |
| 300 | 18 | 09+100 | 09+150 | 0 | 0 | 100 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 09 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 15+800 | 15+850 | 0 | 58 | 42 | Regular |
| 300 | 2 | 15+850 | 15+900 | 0 | 74 | 26 | Pobre |
| 300 | 3 | 15+900 | 15+950 | 5.7 | 67 | 33 | Pobre |
| 300 | 4 | 15+950 | 16+000 | 5.9 | 52 | 48 | Regular |
| 300 | 5 | 16+000 | 16+050 | 0 | 24 | 76 | Muy Bueno |
| 300 | 6 | 16+050 | 16+100 | 0 | 27 | 73 | Muy Bueno |
| 300 | 7 | 16+100 | 16+150 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 8 | 16+150 | 16+200 | 0 | 4 | 96 | Excelente |
| 300 | 9 | 16+200 | 16+250 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 10 | 16+250 | 16+300 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 11 | 16+300 | 16+350 | 0 | 12 | 88 | Excelente |
| 300 | 12 | 16+350 | 16+400 | 0 | 2 | 98 | Excelente |
| 300 | 13 | 16+400 | 16+450 | 8.8 | 17 | 83 | Muy Bueno |
| 300 | 14 | 16+450 | 16+500 | 6.6 | 53 | 47 | Regular |
| 300 | 15 | 16+500 | 16+550 | 0 | 48 | 52 | Regular |
| 300 | 16 | 16+550 | 16+600 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 17 | 16+600 | 16+650 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 18 | 16+650 | 16+700 | 0 | 9 | 91 | Excelente |
| 300 | 19 | 16+700 | 16+750 | 4.9 | 73 | 27 | Pobre |
| 300 | 20 | 16+750 | 16+800 | 0 | 0 | 100 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 10 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 18+640 | 18+690 | 0 | 73 | 27 | Pobre |
| 300 | 2 | 18+690 | 18+740 | 0 | 87 | 13 | Muy Pobre |
| 300 | 3 | 18+740 | 18+790 | 4.8 | 63 | 37 | Pobre |
| 300 | 4 | 18+790 | 18+840 | 0 | 58 | 42 | Regular |
| 300 | 5 | 18+840 | 18+890 | 4.9 | 71 | 29 | Pobre |
| 300 | 6 | 18+890 | 18+940 | 4.4 | 85 | 15 | Muy Pobre |
| 300 | 7 | 18+940 | 18+990 | 7.3 | 41 | 59 | Bueno |
| 300 | 8 | 18+990 | 19+040 | 0 | 31 | 69 | Bueno |
| 300 | 9 | 19+040 | 19+090 | 0 | 14 | 86 | Excelente |
| 300 | 10 | 19+090 | 19+140 | 0 | 15 | 85 | Excelente |
| 300 | 11 | 19+140 | 19+190 | 6.1 | 58 | 42 | Regular |
| 300 | 12 | 19+190 | 19+240 | 5.3 | 78 | 22 | Muy Pobre |
| 300 | 13 | 19+240 | 19+290 | 4.9 | 59 | 41 | Regular |
| 300 | 14 | 19+290 | 19+340 | 6.1 | 52 | 48 | Regular |
| 300 | 15 | 19+340 | 19+390 | 7.2 | 44 | 56 | Bueno |
| 300 | 16 | 19+390 | 19+440 | 0 | 83 | 17 | Muy Pobre |
| 300 | 17 | 19+440 | 19+490 | 8.7 | 18 | 82 | Muy Bueno |
| 180 | 18 | 19+490 | 19+520 | 0 | 0 | 100 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 11 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 19+520 | 19+570 | 6.1 | 54 | 46 | Regular |
| 300 | 2 | 19+570 | 19+620 | 5 | 78 | 22 | Muy Pobre |
| 300 | 3 | 19+620 | 19+670 | 0 | 68 | 32 | Pobre |
| 300 | 4 | 19+670 | 19+720 | 7.8 | 37 | 63 | Bueno |

Pixel 11 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 5 | 19+720 | 19+770 | 0 | 24 | 76 | Muy Bueno |
| 300 | 6 | 19+770 | 19+820 | 3.4 | 76 | 24 | Muy Pobre |
| 300 | 7 | 19+820 | 19+870 | 0 | 26 | 74 | Muy Bueno |
| 300 | 8 | 19+870 | 19+920 | 0 | 63 | 37 | Pobre |
| 300 | 9 | 19+920 | 19+970 | 5.4 | 54 | 46 | Regular |
| 300 | 10 | 19+970 | 20+020 | 0 | 25 | 75 | Muy Bueno |
| 300 | 11 | 20+020 | 20+070 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 12 | 20+070 | 20+120 | 0 | 74 | 26 | Pobre |
| 300 | 13 | 20+120 | 20+170 | 0 | 65 | 35 | Pobre |
| 300 | 14 | 20+170 | 20+220 | 0 | 8 | 92 | Excelente |
| 300 | 15 | 20+220 | 20+270 | 0 | 3 | 97 | Excelente |
| 300 | 16 | 20+270 | 20+320 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 17 | 20+320 | 20+370 | 8.4 | 27 | 73 | Muy Bueno |
| 300 | 18 | 20+370 | 20+420 | 8.4 | 24 | 76 | Muy Bueno |
| 300 | 19 | 20+420 | 20+470 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 20 | 20+470 | 20+520 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 21 | 20+520 | 20+570 | 5.4 | 63 | 37 | Pobre |
| 300 | 22 | 20+570 | 20+620 | 0 | 13 | 87 | Excelente |
| 300 | 23 | 20+620 | 20+670 | 0 | 13 | 87 | Excelente |
| 300 | 24 | 20+670 | 20+720 | 0 | 58 | 42 | Regular |
| 300 | 25 | 20+720 | 20+770 | 0 | 41 | 59 | Bueno |
| 300 | 26 | 20+770 | 20+820 | 0 | 45 | 55 | Bueno |
| 300 | 27 | 20+820 | 20+870 | 0 | 42 | 58 | Bueno |
| 300 | 28 | 20+870 | 20+920 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 29 | 20+920 | 20+970 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 30 | 20+970 | 21+020 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 31 | 21+020 | 21+070 | 0 | 37 | 63 | Bueno |
| 300 | 32 | 21+070 | 21+120 | 0 | 10 | 90 | Excelente |
| 300 | 33 | 21+120 | 21+170 | 6.9 | 55 | 45 | Regular |
| 300 | 34 | 21+170 | 21+220 | 0 | 34 | 66 | Bueno |
| 300 | 35 | 21+220 | 21+270 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 180 | 36 | 21+270 | 21+300 | 0 | 8 | 92 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 12 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 21+300 | 21+350 | 0 | 29 | 71 | Muy Bueno |
| 300 | 2 | 21+350 | 21+400 | 8.5 | 21 | 79 | Muy Bueno |
| 300 | 3 | 21+400 | 21+450 | 0 | 1 | 99 | Excelente |
| 300 | 4 | 21+450 | 21+500 | 0 | 28 | 72 | Muy Bueno |
| 300 | 5 | 21+500 | 21+550 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 6 | 21+550 | 21+600 | 7.1 | 36 | 64 | Bueno |
| 300 | 7 | 21+600 | 21+650 | 8.4 | 21 | 79 | Muy Bueno |
| 300 | 8 | 21+650 | 21+700 | 0 | 10 | 90 | Excelente |
| 300 | 9 | 21+700 | 21+750 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 10 | 21+750 | 21+800 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 11 | 21+800 | 21+850 | 7.3 | 48 | 52 | Regular |
| 300 | 12 | 21+850 | 21+900 | 0 | 6 | 94 | Excelente |
| 300 | 13 | 21+900 | 21+950 | 9.4 | 10 | 90 | Excelente |
| 300 | 14 | 21+950 | 22+000 | 0 | 12 | 88 | Excelente |
| 300 | 15 | 22+000 | 22+050 | 0 | 10 | 90 | Excelente |
| 300 | 16 | 22+050 | 22+100 | 6.8 | 43 | 57 | Bueno |
| 300 | 17 | 22+100 | 22+150 | 5.4 | 56 | 44 | Regular |
| 300 | 18 | 22+150 | 22+200 | 0 | 12 | 88 | Excelente |
| 300 | 19 | 22+200 | 22+250 | 0 | 54 | 46 | Regular |
| 300 | 20 | 22+250 | 22+300 | 4.9 | 62 | 38 | Pobre |
| 300 | 21 | 22+300 | 22+350 | 0 | 71 | 29 | Pobre |
| 300 | 22 | 22+350 | 22+400 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 23 | 22+400 | 22+450 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 24 | 22+450 | 22+500 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 25 | 22+500 | 22+550 | 0 | 8 | 92 | Excelente |
| 300 | 26 | 22+550 | 22+600 | 7.8 | 28 | 72 | Muy Bueno |
| 300 | 27 | 22+600 | 22+650 | 0 | 34 | 66 | Bueno |
| 300 | 28 | 22+650 | 22+700 | 0 | 0 | 100 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 13 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 22+700 | 22+750 | 5.4 | 71 | 29 | Pobre |
| 300 | 2 | 22+750 | 22+800 | 6.1 | 54 | 46 | Regular |
| 300 | 3 | 22+800 | 22+850 | 0 | 26 | 74 | Muy Bueno |
| 300 | 4 | 22+850 | 22+900 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 5 | 22+900 | 22+950 | 0 | 58 | 42 | Regular |
| 300 | 6 | 22+950 | 23+000 | 5.4 | 54 | 46 | Regular |
| 300 | 7 | 23+000 | 23+050 | 0 | 52 | 48 | Regular |
| 300 | 8 | 23+050 | 23+100 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 9 | 23+100 | 23+150 | 0 | 33 | 67 | Bueno |

Pixel 13 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 10 | 23+150 | 23+200 | 0 | 56 | 44 | Regular |
| 300 | 11 | 23+200 | 23+250 | 0 | 41 | 59 | Bueno |
| 300 | 12 | 23+250 | 23+300 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 13 | 23+300 | 23+350 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 14 | 23+350 | 23+400 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 15 | 23+400 | 23+450 | 0 | 2 | 98 | Excelente |
| 300 | 16 | 23+450 | 23+500 | 4.9 | 75 | 25 | Pobre |
| 300 | 17 | 23+500 | 23+550 | 8.5 | 21 | 79 | Muy Bueno |
| 300 | 18 | 23+550 | 23+600 | 0 | 7 | 93 | Excelente |
| 300 | 19 | 23+600 | 23+650 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 20 | 23+650 | 23+700 | 0 | 29 | 71 | Muy Bueno |
| 300 | 21 | 23+700 | 23+750 | 0 | 42 | 58 | Bueno |
| 300 | 22 | 23+750 | 23+800 | 6.9 | 46 | 54 | Regular |
| 300 | 23 | 23+800 | 23+850 | 0 | 24 | 76 | Muy Bueno |

Fuente: elaboración propia

Pixel 14 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 23+860 | 23+910 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 2 | 23+910 | 23+960 | 0 | 25 | 75 | Muy Bueno |
| 300 | 3 | 23+960 | 24+010 | 6.4 | 43 | 57 | Bueno |
| 300 | 4 | 24+010 | 24+060 | 0 | 25 | 75 | Muy Bueno |
| 300 | 5 | 24+060 | 24+110 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 6 | 24+110 | 24+160 | 8.2 | 31 | 69 | Bueno |
| 300 | 7 | 24+160 | 24+210 | 0 | 21 | 79 | Muy Bueno |
| 300 | 8 | 24+210 | 24+260 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 9 | 24+260 | 24+310 | 8 | 26 | 74 | Muy Bueno |
| 300 | 10 | 24+310 | 24+360 | 8.3 | 23 | 77 | Muy Bueno |
| 300 | 11 | 24+360 | 24+410 | 0 | 9 | 91 | Excelente |
| 300 | 12 | 24+410 | 24+460 | 4 | 69 | 31 | Pobre |
| 300 | 13 | 24+460 | 24+510 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 14 | 24+510 | 24+560 | 8.3 | 25 | 75 | Muy Bueno |
| 300 | 15 | 24+560 | 24+610 | 8.1 | 30 | 70 | Muy Bueno |
| 300 | 16 | 24+610 | 24+660 | 0 | 8 | 92 | Excelente |
| 300 | 17 | 24+660 | 24+710 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 18 | 24+710 | 24+760 | 0 | 36 | 64 | Bueno |
| 300 | 19 | 24+760 | 24+810 | 6.1 | 47 | 53 | Regular |
| 240 | 20 | 24+810 | 24+850 | 0 | 0 | 100 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 15 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 32+830 | 32+880 | 0 | 20 | 80 | Muy Bueno |
| 300 | 2 | 32+880 | 32+930 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 3 | 32+930 | 32+980 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 4 | 32+980 | 33+030 | 0 | 66 | 34 | Pobre |
| 300 | 5 | 33+030 | 33+080 | 0 | 14 | 86 | Excelente |
| 300 | 6 | 33+080 | 33+130 | 0 | 15 | 85 | Excelente |
| 300 | 7 | 33+130 | 33+180 | 0 | 50 | 50 | Regular |
| 300 | 8 | 33+180 | 33+230 | 9.2 | 16 | 84 | Muy Bueno |
| 300 | 9 | 33+230 | 33+280 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 10 | 33+280 | 33+330 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 11 | 33+330 | 33+380 | 8.7 | 20 | 80 | Muy Bueno |
| 300 | 12 | 33+380 | 33+430 | 0 | 42 | 58 | Bueno |
| 300 | 13 | 33+430 | 33+480 | 0 | 45 | 55 | Bueno |
| 300 | 14 | 33+480 | 33+530 | 7.4 | 37 | 63 | Bueno |
| 300 | 15 | 33+530 | 33+580 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 16 | 33+580 | 33+630 | 0 | 34 | 66 | Bueno |
| 300 | 17 | 33+630 | 33+680 | 0 | 21 | 79 | Muy Bueno |
| 300 | 18 | 33+680 | 33+730 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 19 | 33+730 | 33+780 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 20 | 33+780 | 33+830 | 8.4 | 22 | 78 | Muy Bueno |
| 300 | 21 | 33+830 | 33+880 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 22 | 33+880 | 33+930 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 23 | 33+930 | 33+980 | 7.6 | 35 | 65 | Bueno |
| 300 | 24 | 33+980 | 34+030 | 0 | 36 | 64 | Bueno |
| 300 | 25 | 34+030 | 34+080 | 8.6 | 20 | 80 | Muy Bueno |
| 240 | 26 | 34+080 | 34+120 | 0 | 0 | 100 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 16 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 35+020 | 35+070 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 2 | 35+070 | 35+120 | 7.2 | 39 | 61 | Bueno |
| 300 | 3 | 35+120 | 35+170 | 0 | 7 | 93 | Excelente |
| 300 | 4 | 35+170 | 35+220 | 0 | 9 | 91 | Excelente |
| 300 | 5 | 35+220 | 35+270 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 6 | 35+270 | 35+320 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 7 | 35+320 | 35+370 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 8 | 35+370 | 35+420 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 9 | 35+420 | 35+470 | 6.8 | 44 | 56 | Bueno |
| 300 | 10 | 35+470 | 35+520 | 0 | 3 | 97 | Excelente |
| 300 | 11 | 35+520 | 35+570 | 0 | 7 | 93 | Excelente |
| 300 | 12 | 35+570 | 35+620 | 0 | 7 | 93 | Excelente |
| 300 | 13 | 35+620 | 35+670 | 0 | 1 | 99 | Excelente |
| 300 | 14 | 35+670 | 35+720 | 0 | 6 | 94 | Excelente |
| 300 | 15 | 35+720 | 35+770 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 16 | 35+770 | 35+820 | 6.8 | 41 | 59 | Bueno |
| 300 | 17 | 35+820 | 35+870 | 0 | 5 | 95 | Excelente |
| 300 | 18 | 35+870 | 35+920 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 19 | 35+920 | 35+970 | 8.7 | 18 | 82 | Muy Bueno |
| 300 | 20 | 35+970 | 36+020 | 9.5 | 9 | 91 | Excelente |
| 300 | 21 | 36+020 | 36+070 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 22 | 36+070 | 36+120 | 6.8 | 41 | 59 | Bueno |
| 300 | 23 | 36+120 | 36+170 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 24 | 36+170 | 36+220 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 25 | 36+220 | 36+270 | 0 | 22 | 78 | Muy Bueno |
| 300 | 26 | 36+270 | 36+320 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 240 | 27 | 36+320 | 36+360 | 0 | 0 | 100 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 17 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 36+360 | 36+410 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 2 | 36+410 | 36+460 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 3 | 36+460 | 36+510 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 4 | 36+510 | 36+560 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 5 | 36+560 | 36+610 | 7.6 | 36 | 64 | Bueno |
| 300 | 6 | 36+610 | 36+660 | 9.3 | 12 | 88 | Excelente |
| 300 | 7 | 36+660 | 36+710 | 6.9 | 38 | 62 | Bueno |
| 300 | 8 | 36+710 | 36+760 | 6.1 | 58 | 42 | Regular |
| 300 | 9 | 36+760 | 36+810 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 10 | 36+810 | 36+860 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 11 | 36+860 | 36+910 | 8.5 | 27 | 73 | Muy Bueno |
| 300 | 12 | 36+910 | 36+960 | 1 | 100 | 0 | Colapsado |
| 300 | 13 | 36+960 | 37+010 | 0 | 3 | 97 | Excelente |
| 300 | 14 | 37+010 | 37+060 | 0 | 1 | 99 | Excelente |
| 300 | 15 | 37+060 | 37+110 | 0 | 40 | 60 | Bueno |
| 300 | 16 | 37+110 | 37+160 | 7.8 | 28 | 72 | Muy Bueno |
| 300 | 17 | 37+160 | 37+210 | 4.8 | 72 | 28 | Pobre |
| 300 | 18 | 37+210 | 37+260 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 19 | 37+260 | 37+310 | 0 | 23 | 77 | Muy Bueno |
| 300 | 20 | 37+310 | 37+360 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 21 | 37+360 | 37+410 | 7.4 | 36 | 64 | Bueno |
| 300 | 22 | 37+410 | 37+460 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 23 | 37+460 | 37+510 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 24 | 37+510 | 37+560 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 25 | 37+560 | 37+610 | 8 | 28 | 72 | Muy Bueno |
| 300 | 26 | 37+610 | 37+660 | 0 | 43 | 57 | Bueno |
| 300 | 27 | 37+660 | 37+710 | 1 | 100 | 0 | Colapsado |
| 300 | 28 | 37+710 | 37+760 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 29 | 37+760 | 37+810 | 0 | 0 | 100 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 18 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 37+810 | 37+860 | 0 | 22 | 78 | Muy Bueno |
| 300 | 2 | 37+860 | 37+910 | 7.3 | 33 | 67 | Bueno |
| 300 | 3 | 37+910 | 37+960 | 8.3 | 29 | 71 | Muy Bueno |
| 300 | 4 | 37+960 | 38+010 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 5 | 38+010 | 38+060 | 7.3 | 33 | 67 | Bueno |

Fuente: elaboración propia

Pixel 19 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 38+080 | 38+130 | 0 | 13 | 87 | Excelente |
| 300 | 2 | 38+130 | 38+180 | 0 | 51 | 49 | Regular |
| 300 | 3 | 38+180 | 38+230 | 0 | 13 | 87 | Excelente |
| 300 | 4 | 38+230 | 38+280 | 0 | 51 | 49 | Regular |
| 300 | 5 | 38+280 | 38+330 | 0 | 32 | 68 | Bueno |
| 300 | 6 | 38+330 | 38+380 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 7 | 38+380 | 38+430 | 0 | 28 | 72 | Muy Bueno |
| 300 | 8 | 38+430 | 38+480 | 7.7 | 33 | 67 | Bueno |
| 300 | 9 | 38+480 | 38+530 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 10 | 38+530 | 38+580 | 6.7 | 40 | 60 | Bueno |
| 300 | 11 | 38+580 | 38+630 | 5.1 | 57 | 43 | Regular |

Fuente: elaboración propia

Pixel 20 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 47+120 | 47+170 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 2 | 47+170 | 47+220 | 0 | 27 | 73 | Muy Bueno |
| 300 | 3 | 47+220 | 47+270 | 0 | 37 | 63 | Bueno |
| 300 | 4 | 47+270 | 47+320 | 8.4 | 22 | 78 | Muy Bueno |
| 300 | 5 | 47+320 | 47+370 | 4.9 | 62 | 38 | Pobre |
| 300 | 6 | 47+370 | 47+420 | 0 | 65 | 35 | Pobre |
| 300 | 7 | 47+420 | 47+470 | 0 | 67 | 33 | Pobre |
| 300 | 8 | 47+470 | 47+520 | 7 | 44 | 56 | Bueno |
| 300 | 9 | 47+520 | 47+570 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 10 | 47+570 | 47+620 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 11 | 47+620 | 47+670 | 0 | 21 | 79 | Muy Bueno |
| 300 | 12 | 47+670 | 47+720 | 5.1 | 57 | 43 | Regular |
| 300 | 13 | 47+720 | 47+770 | 0 | 58 | 42 | Regular |
| 300 | 14 | 47+770 | 47+820 | 8.2 | 24 | 76 | Muy Bueno |
| 300 | 15 | 47+820 | 47+870 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 16 | 47+870 | 47+920 | 6.3 | 44 | 56 | Bueno |
| 300 | 17 | 47+920 | 47+970 | 0 | 43 | 57 | Bueno |
| 300 | 18 | 47+970 | 48+020 | 8.9 | 17 | 83 | Muy Bueno |
| 180 | 19 | 48+020 | 48+050 | 7.2 | 45 | 55 | Bueno |

Fuente: elaboración propia

Pixel 21 - PCI por unidad de muestreo

| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 49+120 | 49+170 | 0 | 14 | 86 | Excelente |
| 300 | 2 | 49+170 | 49+220 | 7.2 | 57 | 43 | Regular |
| 300 | 3 | 49+220 | 49+270 | 0 | 12 | 88 | Excelente |
| 300 | 4 | 49+270 | 49+320 | 6.1 | 48 | 52 | Regular |
| 300 | 5 | 49+320 | 49+370 | 9.3 | 15 | 85 | Excelente |
| 300 | 6 | 49+370 | 49+420 | 0 | 8 | 92 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 22 - PCI por unidad de muestreo

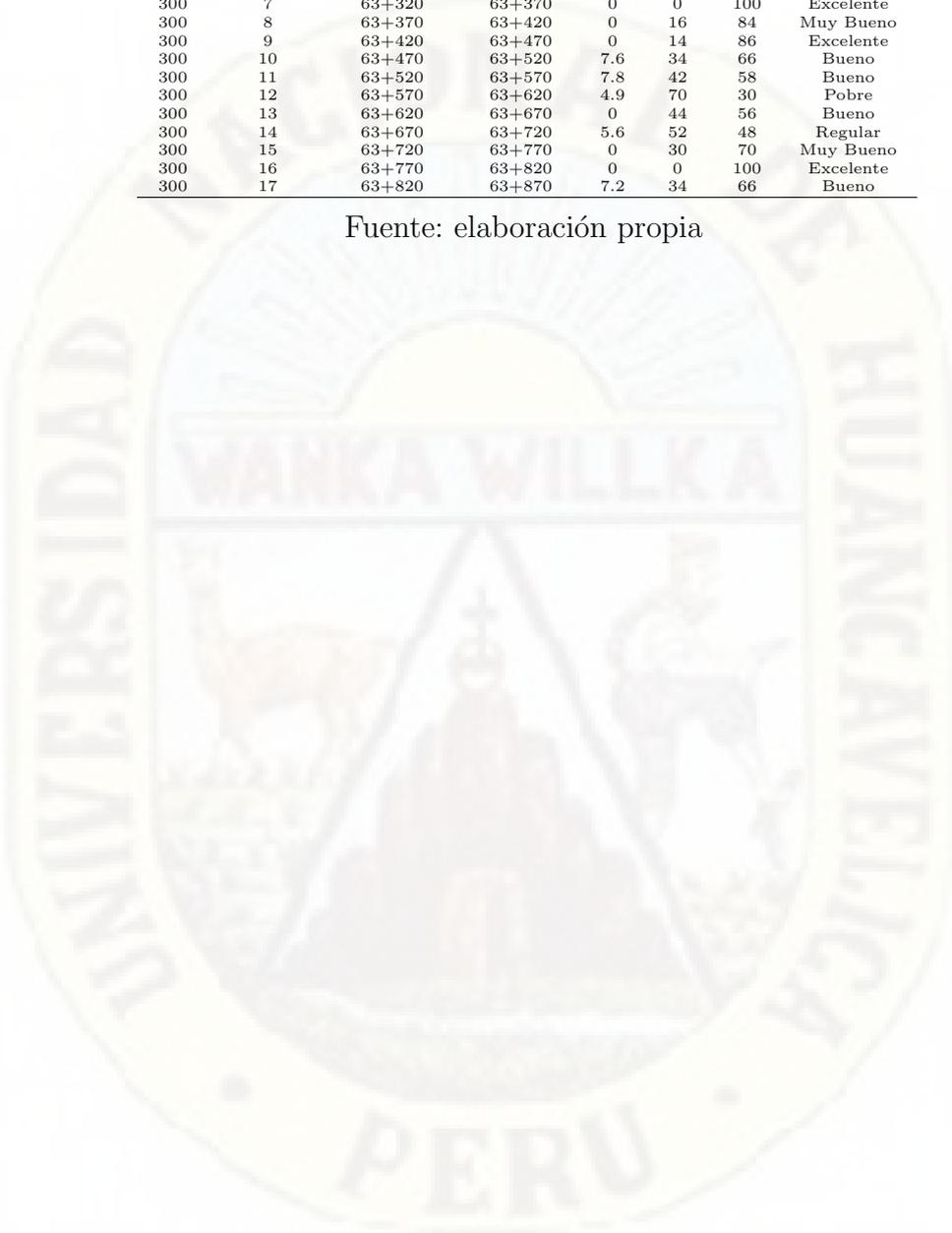
| Área m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m | VDC | PCI | Clasificación |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 300 | 1 | 49+420 | 49+470 | 9 | 15 | 85 | Excelente |
| 300 | 2 | 49+470 | 49+520 | 0 | 2 | 64 | Bueno |
| 300 | 3 | 49+520 | 49+570 | 6.2 | 45 | 55 | Bueno |
| 300 | 4 | 49+570 | 49+620 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 5 | 49+620 | 49+670 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 6 | 49+670 | 49+720 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 7 | 49+720 | 49+770 | 8.3 | 30 | 70 | Muy Bueno |
| 300 | 8 | 49+770 | 49+820 | 0 | 13 | 87 | Excelente |
| 300 | 9 | 49+820 | 49+870 | 0 | 23 | 77 | Muy Bueno |
| 300 | 10 | 49+870 | 49+920 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 11 | 49+920 | 49+970 | 8 | 28 | 72 | Muy Bueno |
| 300 | 12 | 49+970 | 50+020 | 8.2 | 24 | 76 | Muy Bueno |
| 300 | 13 | 50+020 | 50+070 | 8.6 | 21 | 79 | Muy Bueno |
| 300 | 14 | 50+070 | 50+120 | 0 | 22 | 78 | Muy Bueno |
| 300 | 15 | 50+120 | 50+170 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 16 | 50+170 | 50+220 | 0 | 0 | 100 | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Pixel 23 - PCI por unidad de muestreo

| Area m^2 | Unidad de muestra | Prog. Inicial (km) | Prog. Final (km) | m - | VDC - | PCI - | Clasificación - |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------------|--------|----------|----------|--------------------|
| 300 | 1 | 63+020 | 63+070 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 2 | 63+070 | 63+120 | 7 | 49 | 51 | Regular |
| 300 | 3 | 63+120 | 63+170 | 5.8 | 50 | 50 | Regular |
| 300 | 4 | 63+170 | 63+220 | 7 | 50 | 50 | Regular |
| 300 | 5 | 63+220 | 63+270 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 6 | 63+270 | 63+320 | 0 | 22 | 78 | Muy Bueno |
| 300 | 7 | 63+320 | 63+370 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 8 | 63+370 | 63+420 | 0 | 16 | 84 | Muy Bueno |
| 300 | 9 | 63+420 | 63+470 | 0 | 14 | 86 | Excelente |
| 300 | 10 | 63+470 | 63+520 | 7.6 | 34 | 66 | Bueno |
| 300 | 11 | 63+520 | 63+570 | 7.8 | 42 | 58 | Bueno |
| 300 | 12 | 63+570 | 63+620 | 4.9 | 70 | 30 | Pobre |
| 300 | 13 | 63+620 | 63+670 | 0 | 44 | 56 | Bueno |
| 300 | 14 | 63+670 | 63+720 | 5.6 | 52 | 48 | Regular |
| 300 | 15 | 63+720 | 63+770 | 0 | 30 | 70 | Muy Bueno |
| 300 | 16 | 63+770 | 63+820 | 0 | 0 | 100 | Excelente |
| 300 | 17 | 63+820 | 63+870 | 7.2 | 34 | 66 | Bueno |

Fuente: elaboración propia



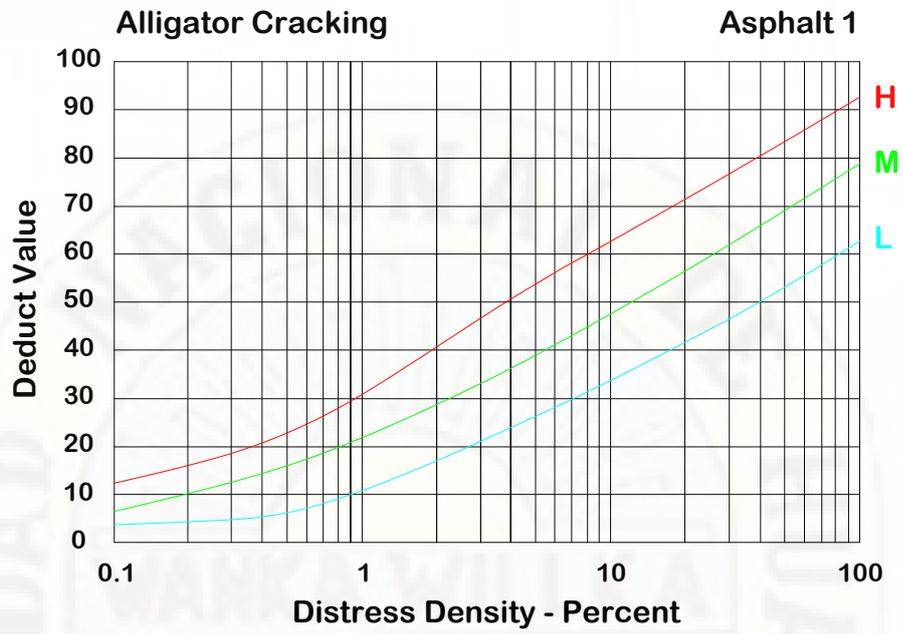
Anexo C

Curvas para determinar el VD y VDC

En esta sección se adjunta los ábacos para determinar VD y VDC:

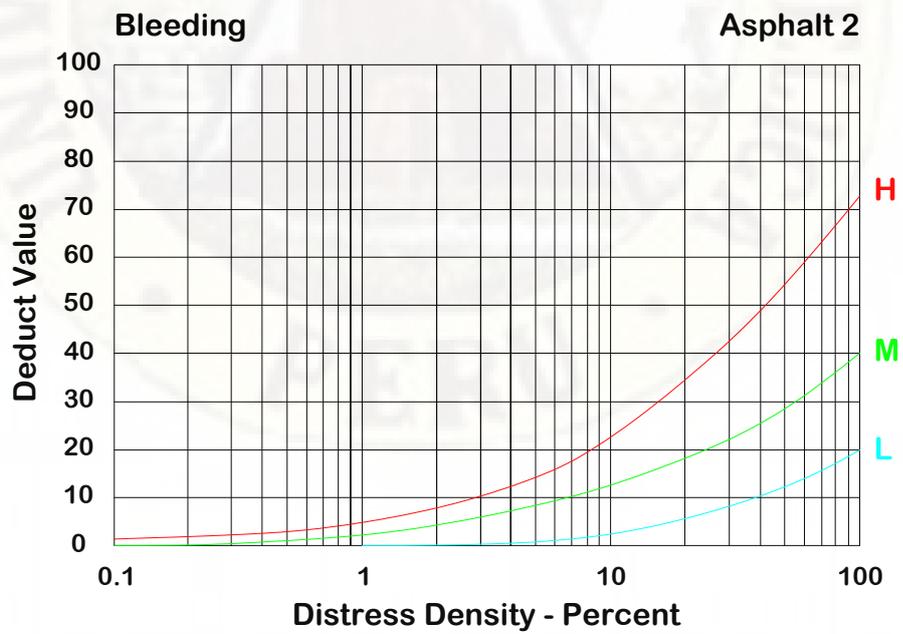
1. piel de cocodrilo,
2. exudación,
3. agrietamiento en bloque,
4. abultamiento y hundimientos,
5. corrugación,
6. depresión,
7. grieta de borde,
8. grieta de reflexión de junta,
9. desnivel carril/berma,
10. grietas longitudinales/transversales,
11. parcheo,
12. agregado pulido,
13. huecos,
14. cruce de la vía férrea,
15. ahuellamiento,
16. desplazamiento,
17. grieta parabólica,
18. hinchamiento,
19. desprendimiento de agregados.

Figura C.1: piel de cocodrillo



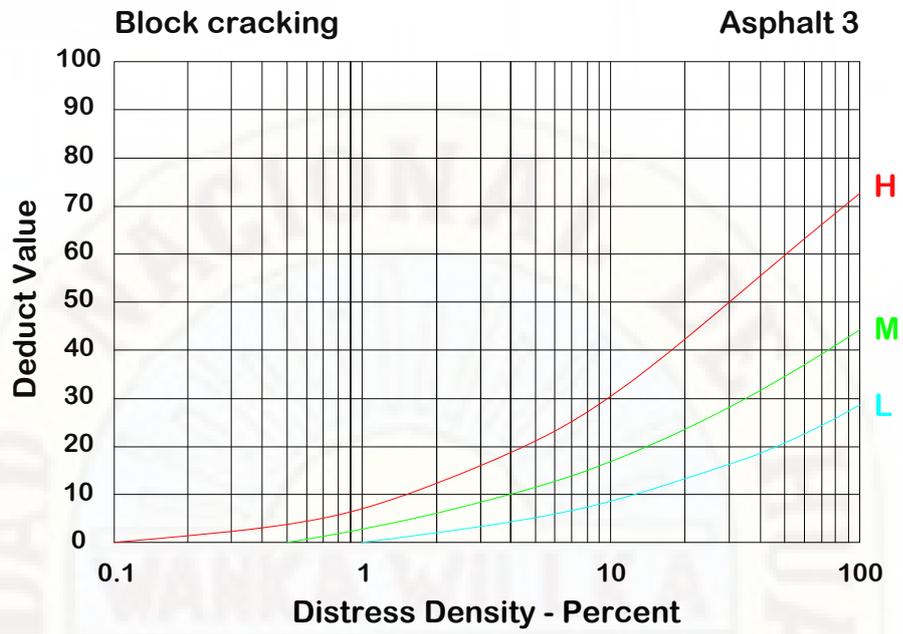
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.2: exudación



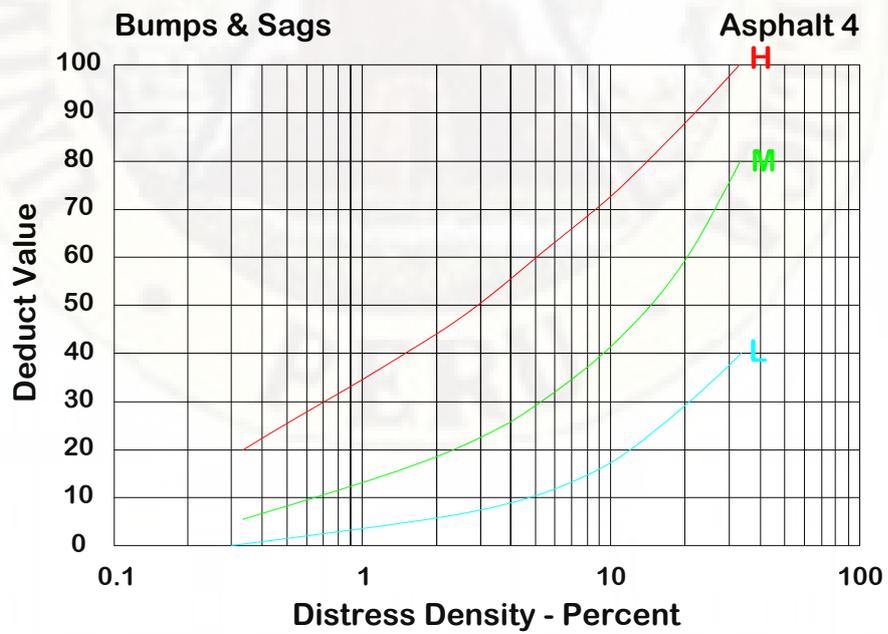
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.3: agrietamiento en bloque



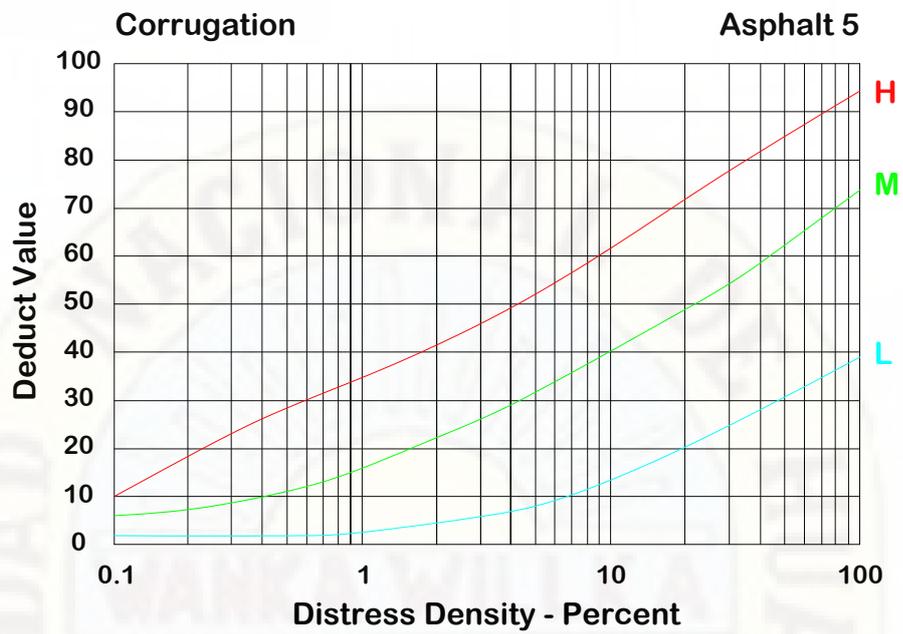
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.4: abultamiento y hundimientos



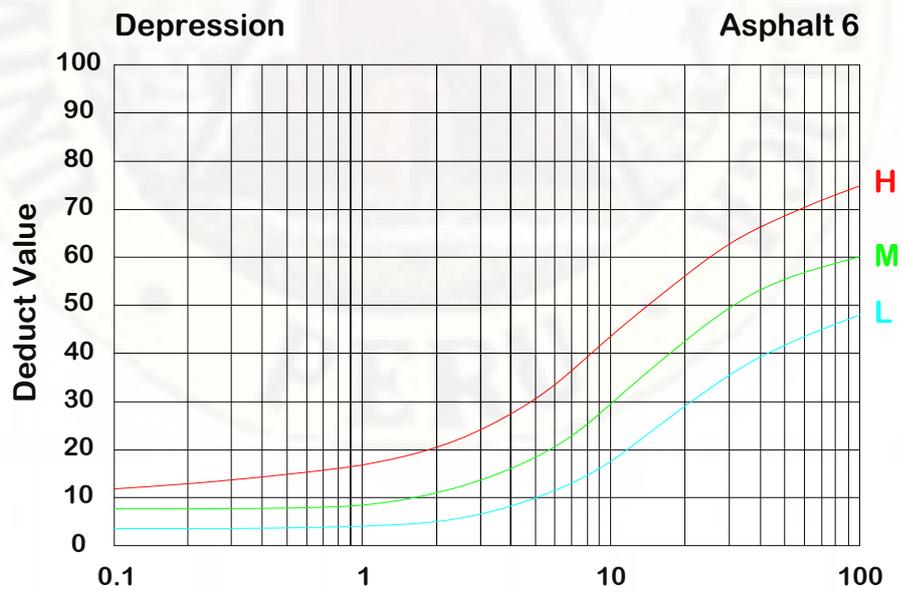
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.5: corrugación



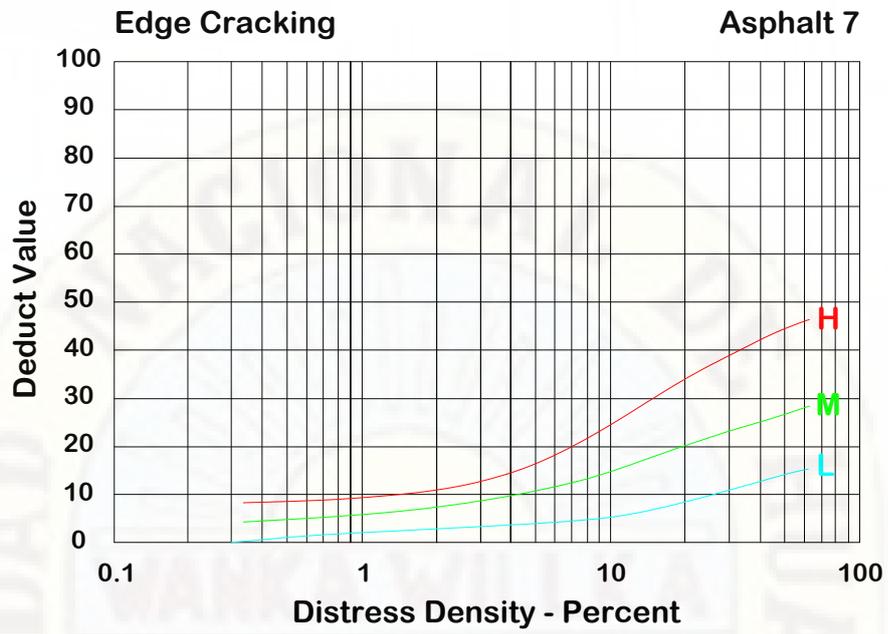
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.6: depresión



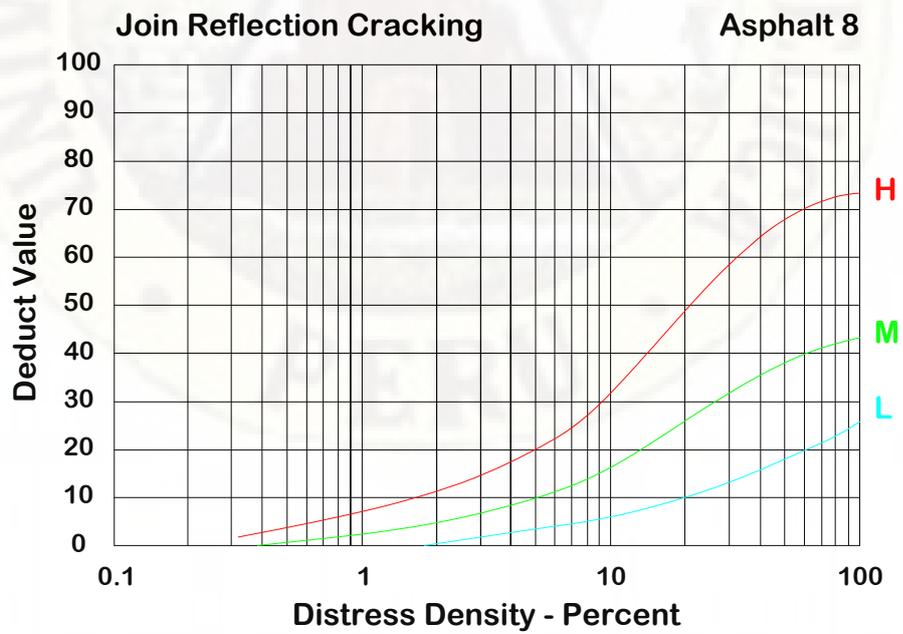
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.7: grieta de borde



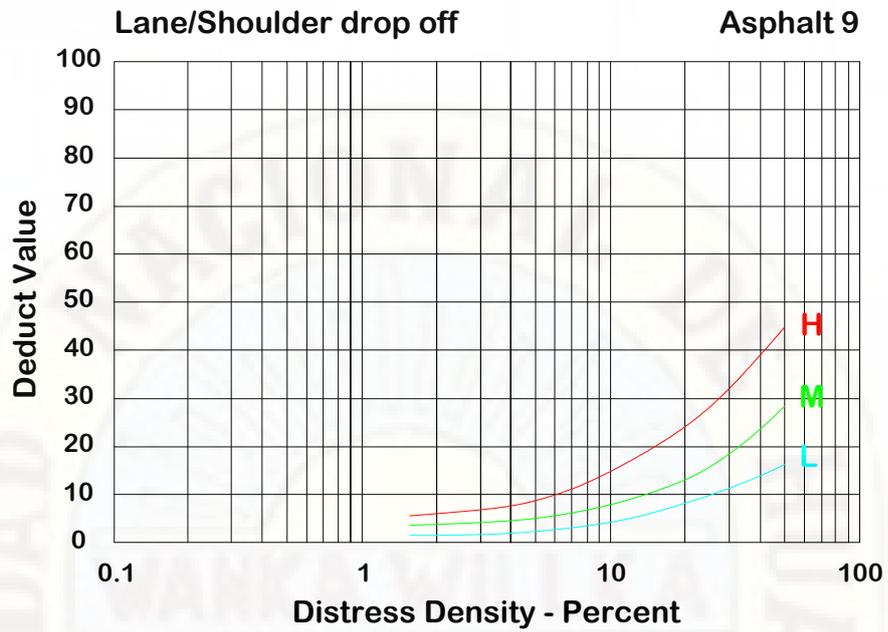
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.8: grieta de reflexión de junta



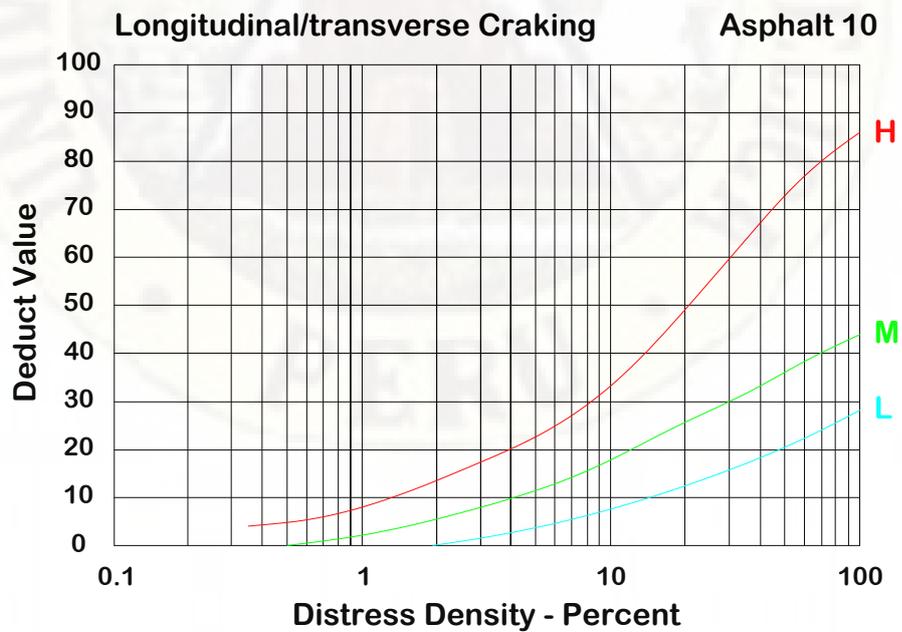
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.9: desnivel carril/Berma



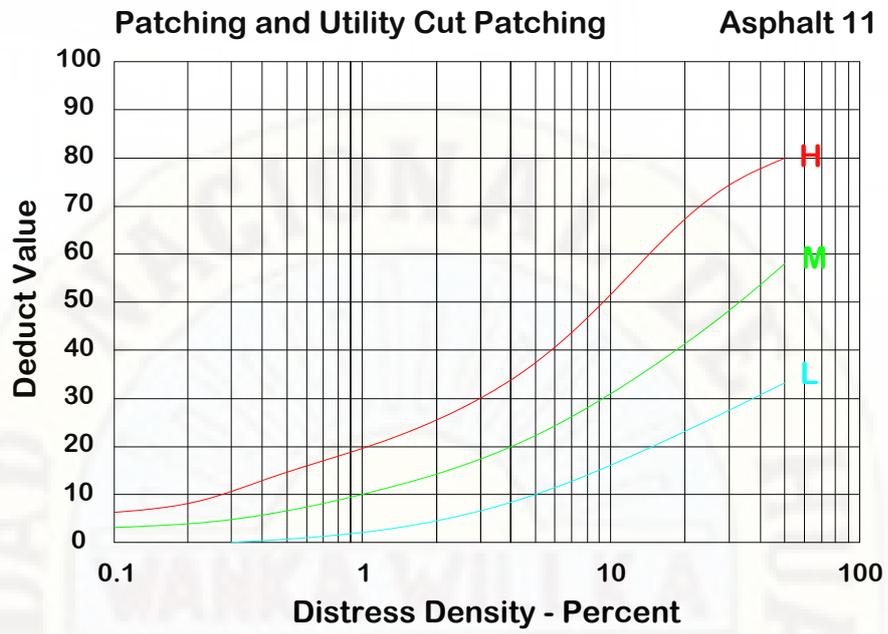
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.10: grietas longitudinales/transversales



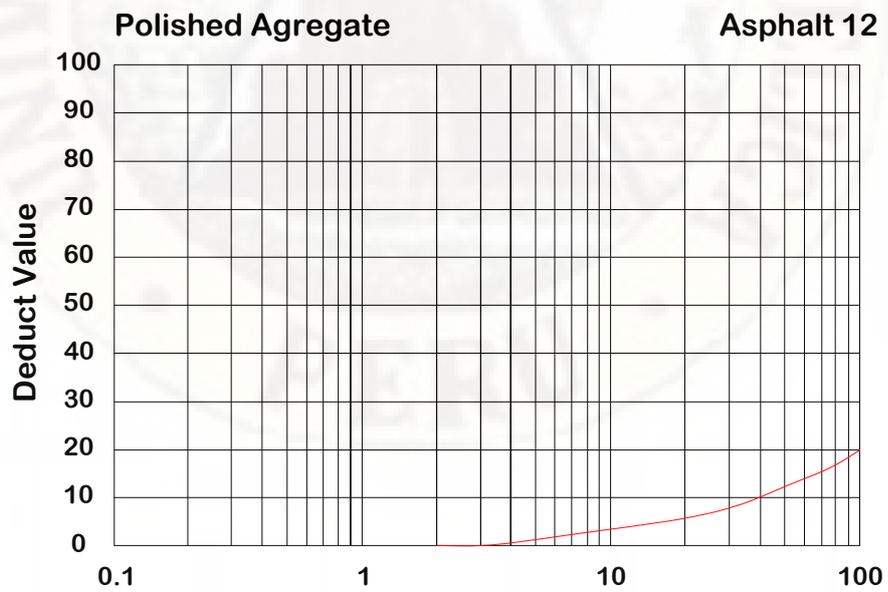
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.11: parcheo



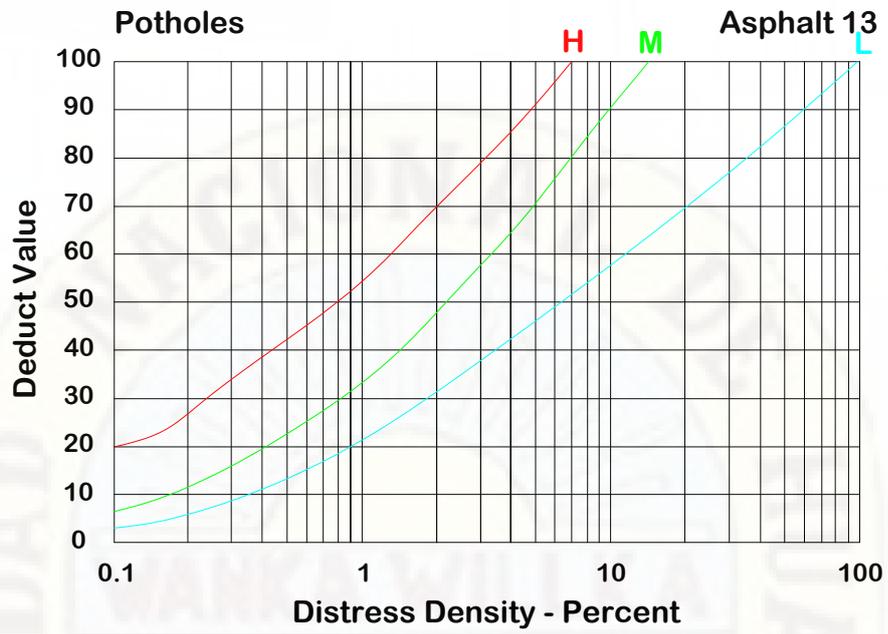
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.12: agregado pulido



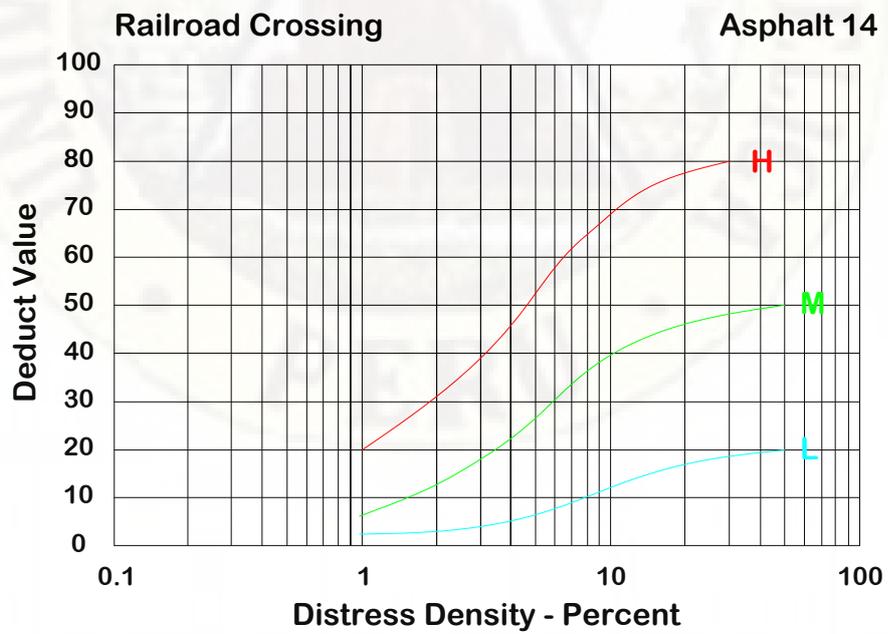
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.13: huecos



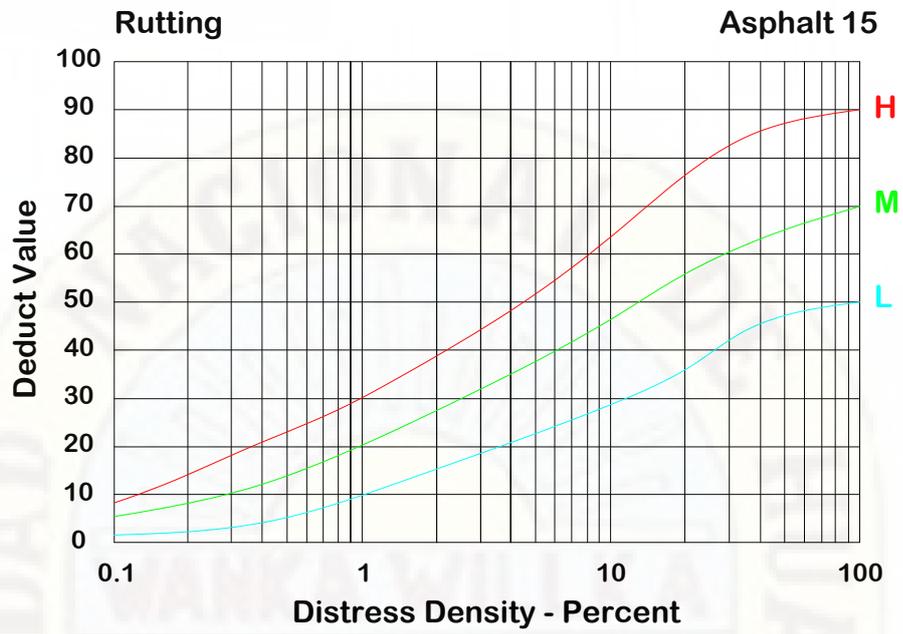
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.14: cruce de la vía ferrea



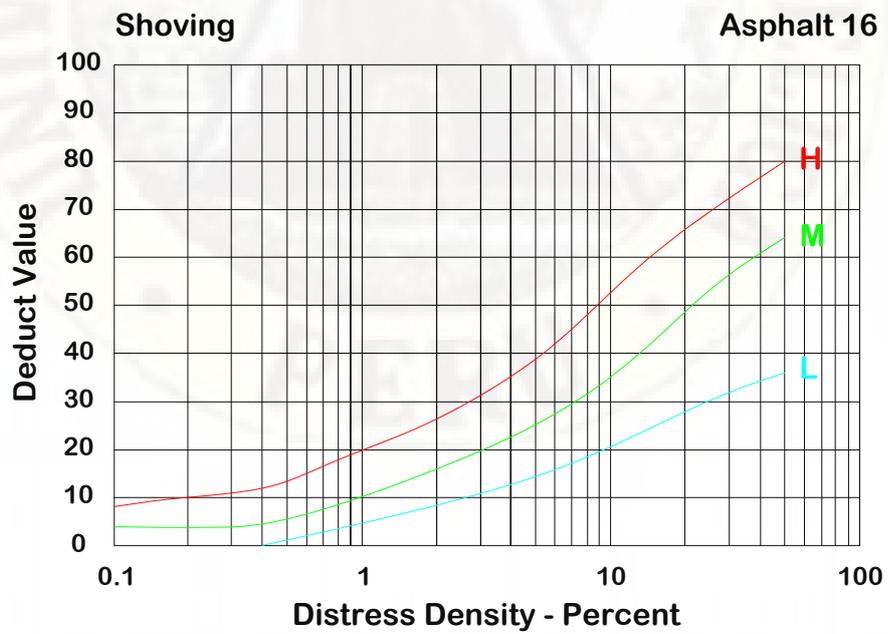
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.15: ahuellamiento



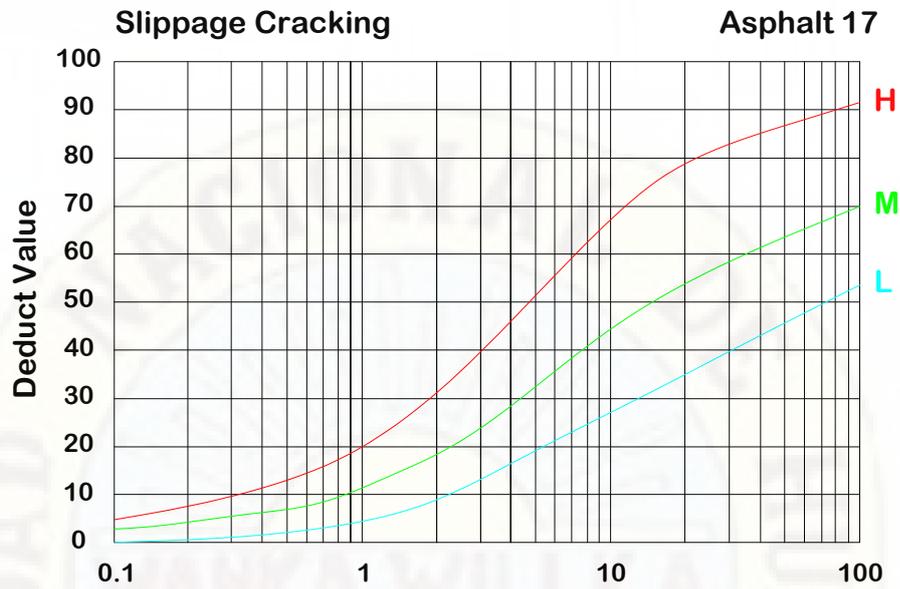
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.16: desplazamiento



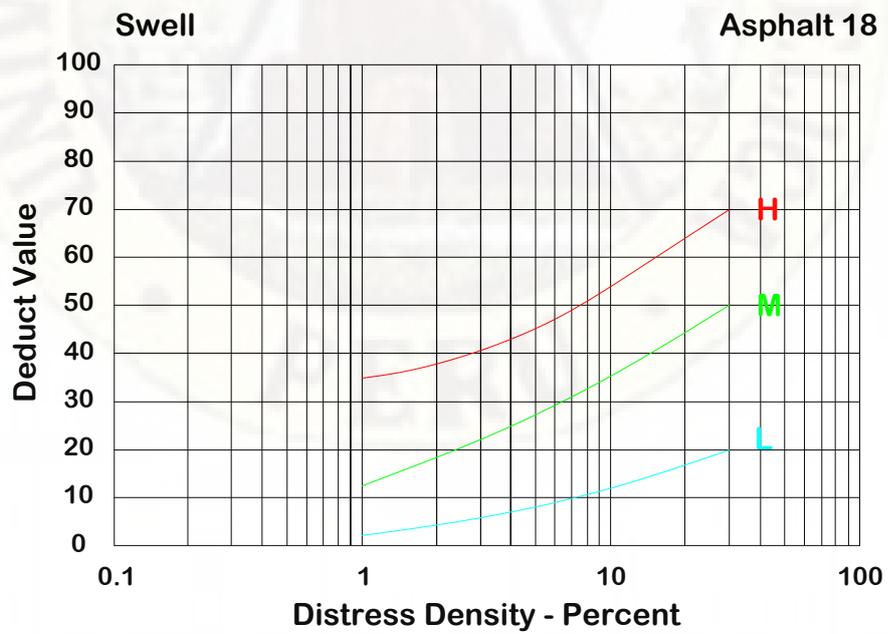
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.17: grieta parabólica



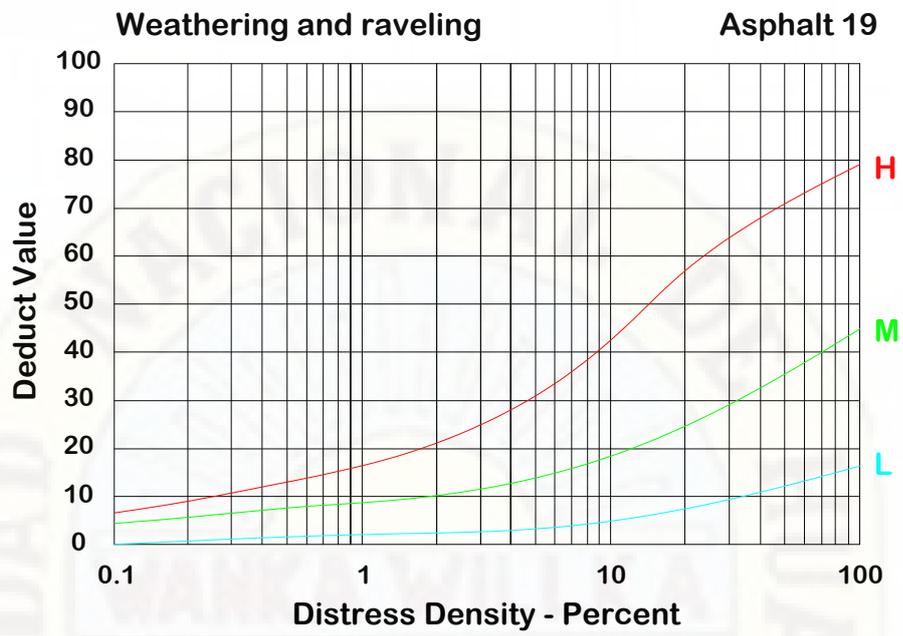
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.18: hinchamiento



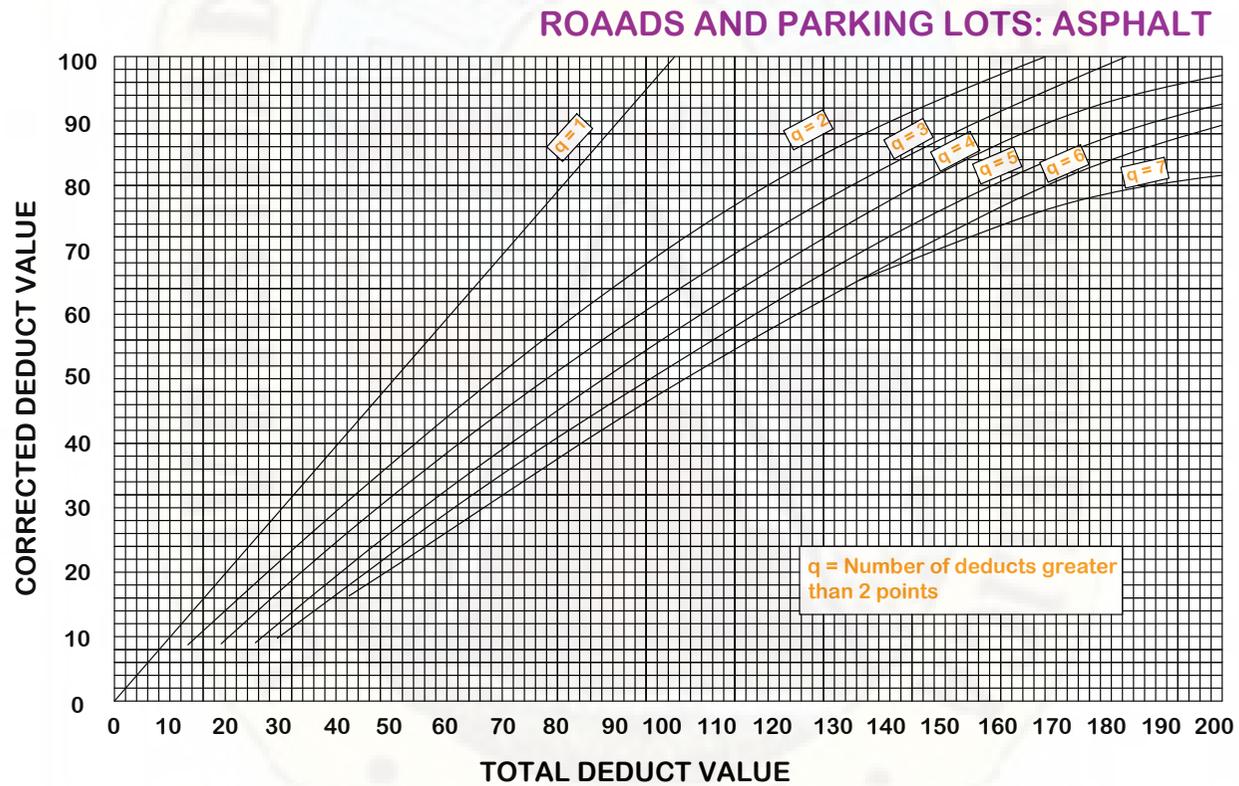
Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.19: desprendimiento de agregados



Adaptado de: ASTM (2003)

Figura C.20: valores deducidos corregidos - adaptado de: ASTM (2003)





Anexo D

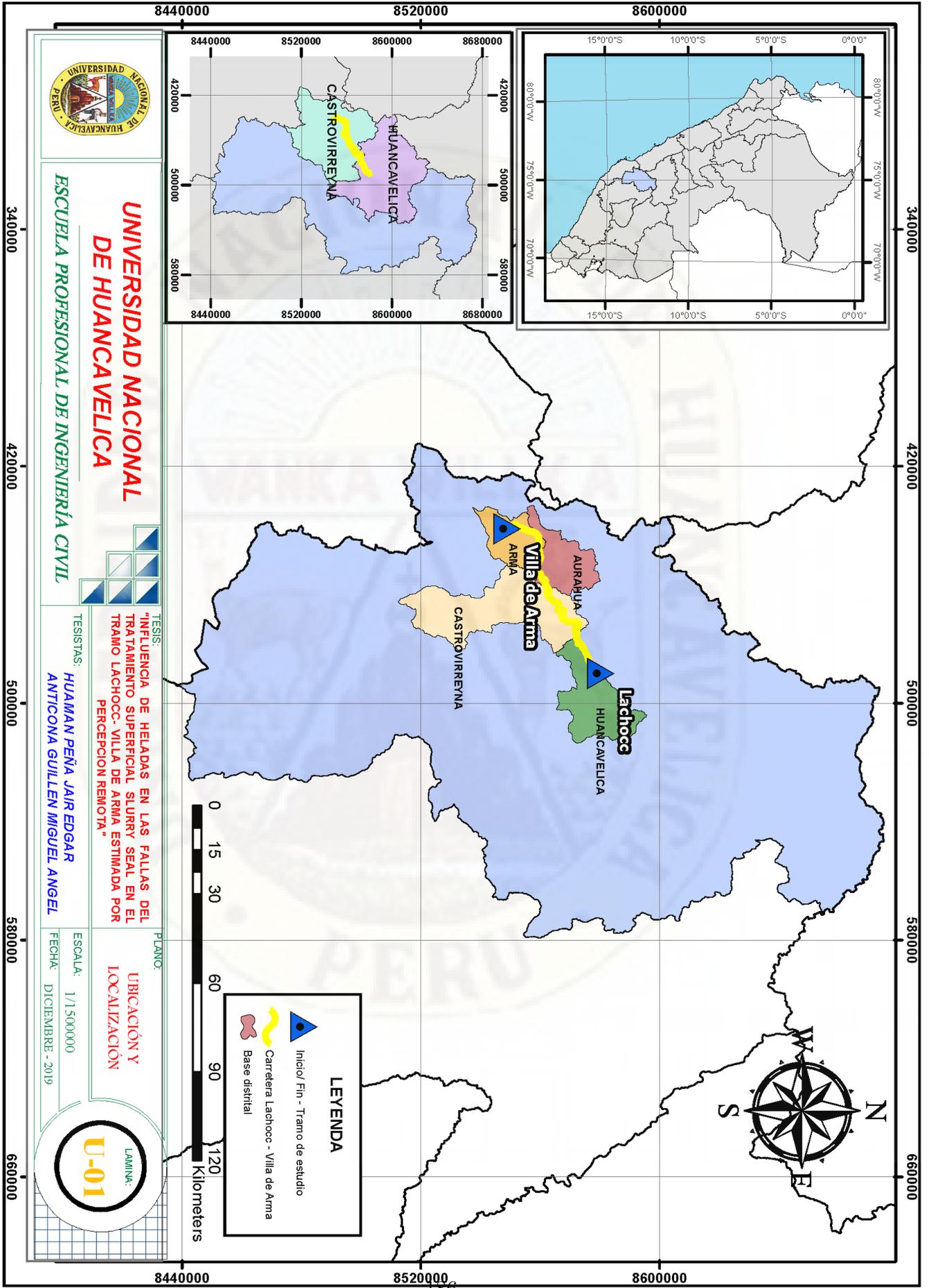
Formato para recolección de datos de campo

En este anexo se presenta el formato utilizado en campo, para el levantamiento de fallas superficiales a lo largo del área de estudio.

Anexo E

Planos

- Plano de ubicación y localización
- Plano de ubicación de fallas
- Plano clave



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

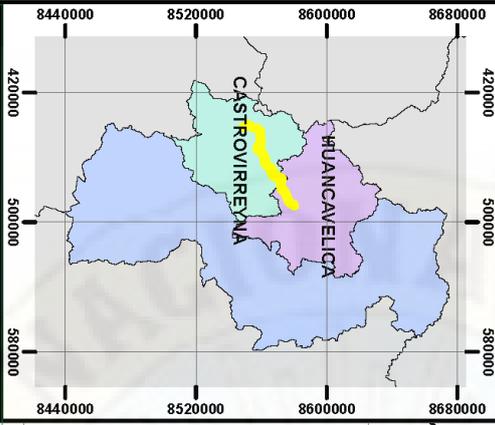


TESIS:
"INFLUENCIA DE HELADAS EN LAS FALLAS DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIURRY SEAL EN EL TRAMO LACHOCC- VILLA DE ARMA ESTIMADA POR PERCEPCION REMOTA"

TESISTAS:
HUAMAN PEÑA JAIR EDGAR
ANTICONA GUILLEN MIGUEL ANGEL

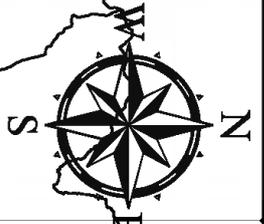
PLANO:
UBICACION Y LOCALIZACION

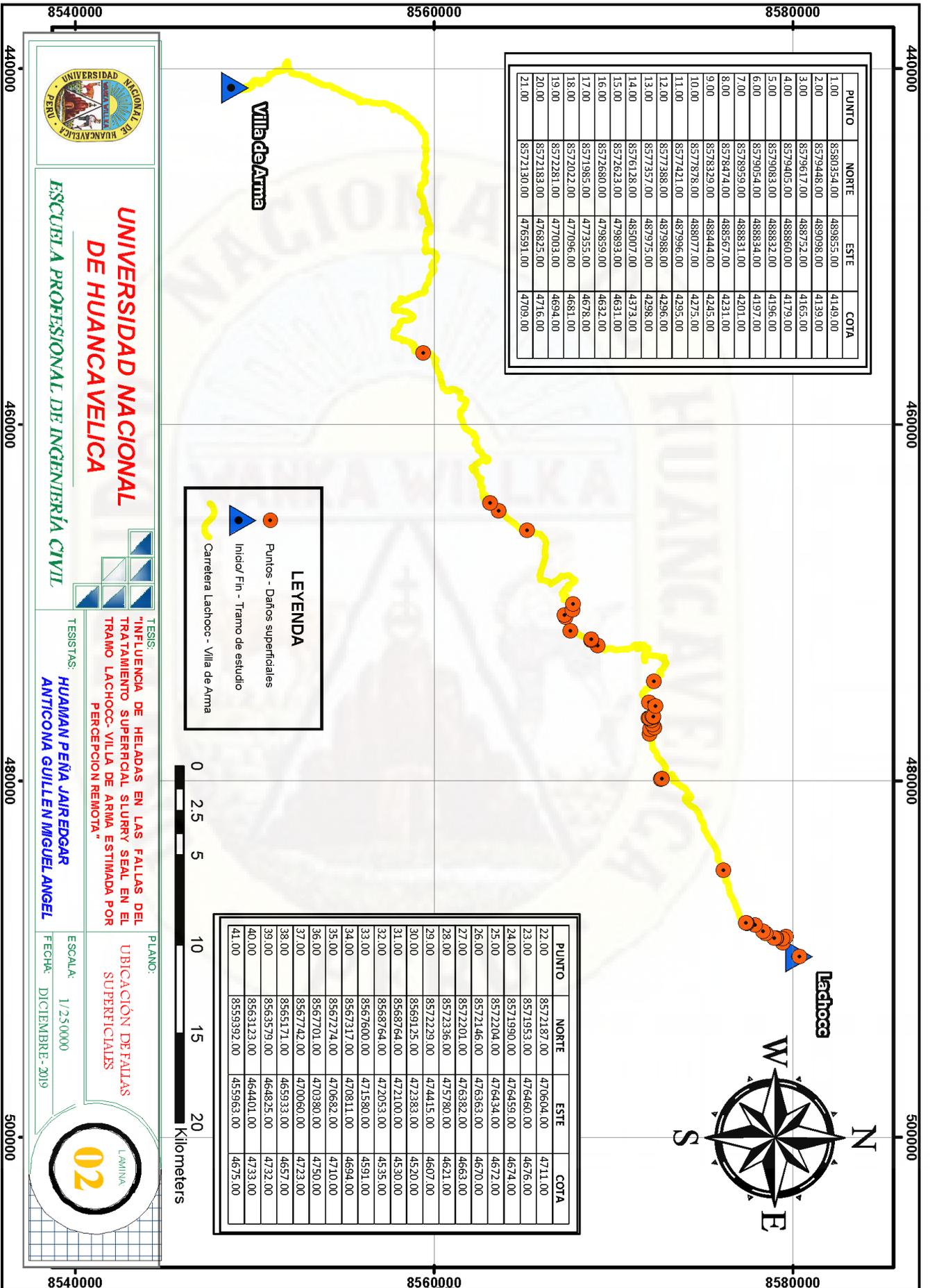
ESCALA: 1/1.500.000
 FECHA: DICIEMBRE - 2019



LEYENDA

- ▲ Inicio/ Fin - Tramo de estudio
- Carretera Lachocc - Villa de Arma
- Base distrital





| PUNTO | NORTE | ESTE | COTA |
|-------|------------|-----------|---------|
| 1.00 | 8580354.00 | 489855.00 | 4149.00 |
| 2.00 | 8579448.00 | 489098.00 | 4139.00 |
| 3.00 | 8579617.00 | 488752.00 | 4165.00 |
| 4.00 | 8579405.00 | 488860.00 | 4179.00 |
| 5.00 | 8579083.00 | 488832.00 | 4196.00 |
| 6.00 | 8579054.00 | 488834.00 | 4197.00 |
| 7.00 | 8578959.00 | 488831.00 | 4201.00 |
| 8.00 | 8578474.00 | 488567.00 | 4231.00 |
| 9.00 | 8578329.00 | 488444.00 | 4245.00 |
| 10.00 | 8577878.00 | 488077.00 | 4275.00 |
| 11.00 | 8577421.00 | 487996.00 | 4295.00 |
| 12.00 | 8577388.00 | 487988.00 | 4296.00 |
| 13.00 | 8577357.00 | 487975.00 | 4298.00 |
| 14.00 | 8576128.00 | 485007.00 | 4373.00 |
| 15.00 | 8572623.00 | 479893.00 | 4631.00 |
| 16.00 | 8572680.00 | 479859.00 | 4632.00 |
| 17.00 | 8571985.00 | 477355.00 | 4678.00 |
| 18.00 | 8572022.00 | 477096.00 | 4681.00 |
| 19.00 | 8572261.00 | 477003.00 | 4694.00 |
| 20.00 | 8572183.00 | 476825.00 | 4716.00 |
| 21.00 | 8572130.00 | 476591.00 | 4709.00 |

| PUNTO | NORTE | ESTE | COTA |
|-------|------------|-----------|---------|
| 22.00 | 8572187.00 | 470604.00 | 4711.00 |
| 23.00 | 8571953.00 | 476460.00 | 4676.00 |
| 24.00 | 8571990.00 | 476459.00 | 4674.00 |
| 25.00 | 8572204.00 | 476434.00 | 4672.00 |
| 26.00 | 8572146.00 | 476363.00 | 4670.00 |
| 27.00 | 8572201.00 | 476382.00 | 4663.00 |
| 28.00 | 8572336.00 | 475780.00 | 4621.00 |
| 29.00 | 8572229.00 | 474415.00 | 4607.00 |
| 30.00 | 8569125.00 | 472383.00 | 4520.00 |
| 31.00 | 8568764.00 | 472100.00 | 4530.00 |
| 32.00 | 8568764.00 | 472053.00 | 4535.00 |
| 33.00 | 8567600.00 | 471580.00 | 4591.00 |
| 34.00 | 8567317.00 | 470811.00 | 4694.00 |
| 35.00 | 8567274.00 | 470682.00 | 4710.00 |
| 36.00 | 8567701.00 | 470380.00 | 4750.00 |
| 37.00 | 8567742.00 | 470060.00 | 4723.00 |
| 38.00 | 8565171.00 | 465933.00 | 4657.00 |
| 39.00 | 8563579.00 | 464825.00 | 4732.00 |
| 40.00 | 8563123.00 | 464401.00 | 4733.00 |
| 41.00 | 8559392.00 | 455963.00 | 4675.00 |

LEYENDA

- Puntos - Daños superficiales
- ▲ Inicio/ Fin - Tramo de estudio
- Carretera Lachocca - Villa de Arma



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS:
"INFLUENCIA DE HELADAS EN LAS FALLAS DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL SLURRY SEAL EN EL TRAMO LACHOCC-VILLA DE ARMA ESTIMADA POR PERCEPCION REMOTA"

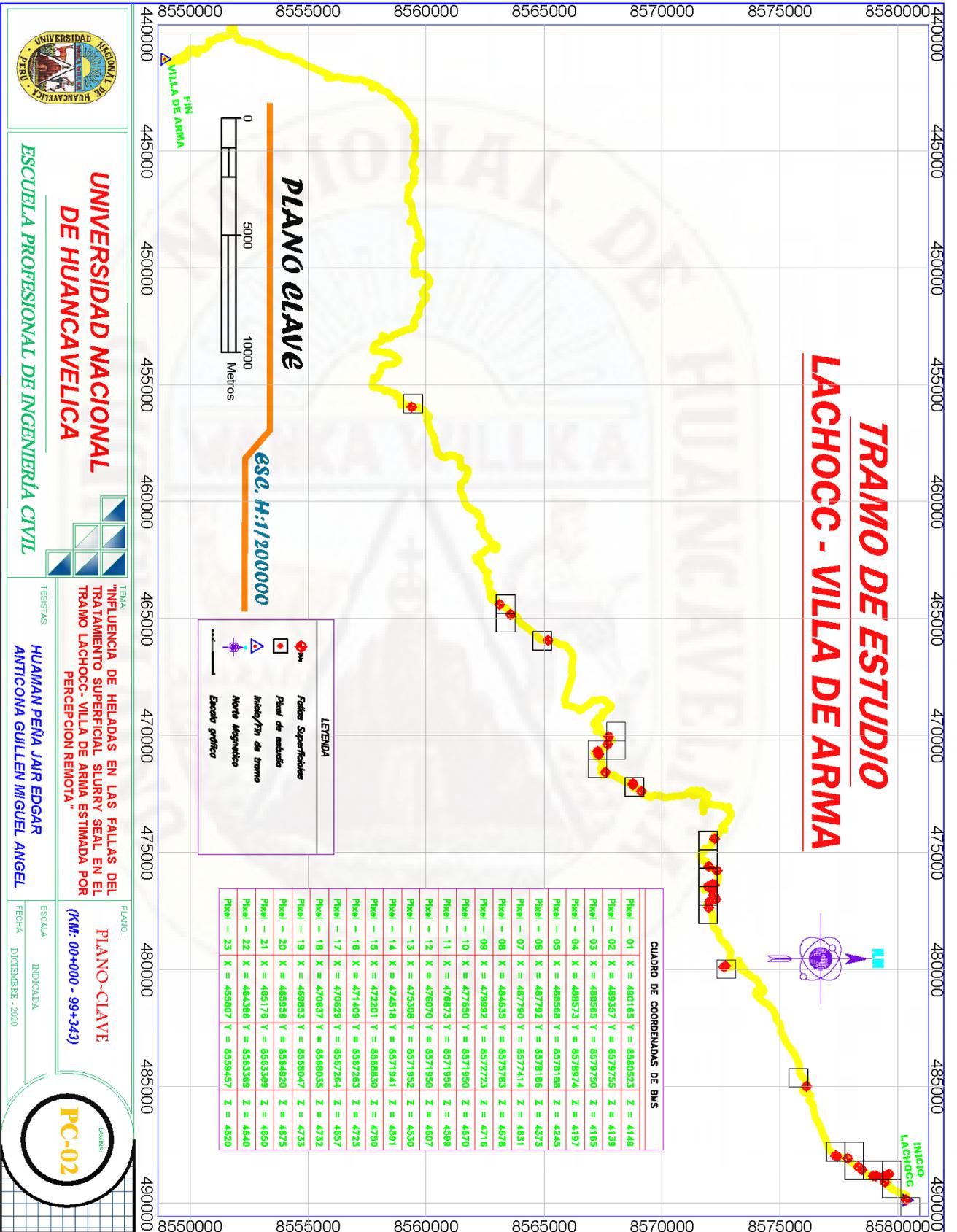
TESISTAS:
**HUAMAN PEÑA JAIREDDGAR
 ANTICONA GUILLEN MIGUEL ANGEL**

PLANO:
UBICACIÓN DE FALLAS SUPERFICIALES

ESCALA:
 1/250000

FECHA:
 DICIEMBRE - 2019





LEYENDA

- Puntos Superficiales
- Puntos de estación
- Norte Magnético
- Escala gráfica

CUADRO DE COORDENADAS DE SNS

| | | | |
|------------|------------|-------------|----------|
| Pixel - 01 | X = 480185 | Y = 8580523 | Z = 4148 |
| Pixel - 02 | X = 488357 | Y = 8579755 | Z = 4139 |
| Pixel - 03 | X = 488565 | Y = 8579750 | Z = 4165 |
| Pixel - 04 | X = 488573 | Y = 8578974 | Z = 4197 |
| Pixel - 05 | X = 488588 | Y = 8578188 | Z = 4245 |
| Pixel - 06 | X = 487792 | Y = 8578185 | Z = 4375 |
| Pixel - 07 | X = 487780 | Y = 8577414 | Z = 4631 |
| Pixel - 08 | X = 484635 | Y = 8575783 | Z = 4678 |
| Pixel - 09 | X = 479892 | Y = 8572723 | Z = 4718 |
| Pixel - 10 | X = 477680 | Y = 8571980 | Z = 4670 |
| Pixel - 11 | X = 476873 | Y = 8571956 | Z = 4599 |
| Pixel - 12 | X = 476070 | Y = 8571950 | Z = 4607 |
| Pixel - 13 | X = 475308 | Y = 8571982 | Z = 4530 |
| Pixel - 14 | X = 474518 | Y = 8571941 | Z = 4591 |
| Pixel - 15 | X = 472201 | Y = 8568830 | Z = 4750 |
| Pixel - 16 | X = 471409 | Y = 8567283 | Z = 4723 |
| Pixel - 17 | X = 470628 | Y = 8567264 | Z = 4667 |
| Pixel - 18 | X = 470657 | Y = 8568035 | Z = 4732 |
| Pixel - 19 | X = 468983 | Y = 8568047 | Z = 4733 |
| Pixel - 20 | X = 468958 | Y = 8568490 | Z = 4875 |
| Pixel - 21 | X = 468178 | Y = 8563369 | Z = 4650 |
| Pixel - 22 | X = 464386 | Y = 8563389 | Z = 4640 |
| Pixel - 23 | X = 459807 | Y = 8559457 | Z = 4620 |



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA: "INFLUENCIA DE HELADAS EN LAS FALLAS DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL SLURRY SEAL EN EL TRAMO LACHOCC - VILLA DE ARMA ESTIMADA POR PERCEPCION REMOTA"
TESTISTAS: HUAMAN PEÑA JAIR EDGAR
 AMTCOMA GUILLEN INGUEL ANGEL

PLANO: PLANO-CLAVE
 (KM: 00+000 - 99+343)
ESCALA: INDICADA
FECHA: DICIEMBRE - 2020
LABOR: PC-02

Anexo F

Índice de heladas a escala mensual-2016.

índice de heladas por meses en las diversas fallas-pixel

| FECHA | Falla_1 | Falla_2 | Falla_3 | Falla_4 | Falla_5 | Falla_6 | Falla_7 | Falla_8 | Falla_9 | Falla_10 | Falla_11 | Falla_12 | Falla_13 | Falla_14 | Falla_15 | Falla_16 | Falla_17 | Falla_18 |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Enero 2016 | | | | | | | | | | 9.06 | 9.06 | 9.06 | 21.37 | 41.42 | 41.93 | 41.93 | 41.88 | 41.88 |
| Febrero 2016 | 45.35 | 46.41 | 58.69 | 58.69 | 51.41 | 51.41 | 51.41 | 51.41 | 51.41 | 54.10 | 54.10 | 54.10 | 55.27 | 46.71 | 69.85 | 69.85 | 48.25 | 48.25 |
| Marzo 2016 | | 1.04 | 18.16 | 18.16 | 34.61 | 34.61 | 34.61 | 34.61 | 34.61 | 23.34 | 23.34 | 23.34 | 12.11 | 37.06 | 48.31 | 48.31 | 43.09 | 43.09 |
| Abril 2016 | 18.86 | 14.82 | 28.26 | 28.26 | 23.66 | 23.66 | 23.66 | 23.66 | 23.66 | 24.64 | 24.64 | 24.64 | 22.83 | 26.46 | 26.03 | 26.03 | 40.35 | 40.35 |
| Mayo 2016 | 24.91 | 19.82 | 30.37 | 30.37 | 24.12 | 24.12 | 24.12 | 24.12 | 24.12 | 36.55 | 36.55 | 36.55 | 39.67 | 52.69 | 105.39 | 105.39 | 101.19 | 101.19 |
| Junio 2016 | 90.65 | 84.77 | 90.81 | 90.81 | 85.24 | 85.24 | 85.24 | 85.24 | 85.24 | 101.44 | 101.44 | 101.44 | 111.99 | 118.73 | 182.77 | 182.77 | 171.01 | 171.01 |
| Julio 2016 | 86.38 | 79.54 | 87.91 | 87.91 | 82.02 | 82.02 | 82.02 | 82.02 | 82.02 | 101.08 | 101.08 | 101.08 | 113.25 | 115.54 | 181.52 | 181.52 | 161.13 | 161.13 |
| Agosto 2016 | 63.92 | 61.19 | 71.87 | 71.87 | 73.42 | 73.42 | 73.42 | 73.42 | 73.42 | 91.74 | 91.74 | 91.74 | 109.75 | 115.32 | 162.43 | 162.43 | 162.26 | 162.26 |
| Setiembre 2016 | 47.73 | 49.17 | 56.62 | 56.62 | 56.63 | 56.63 | 56.63 | 56.63 | 56.63 | 75.93 | 75.93 | 75.93 | 84.53 | 85.82 | 125.67 | 125.67 | 121.57 | 121.57 |
| Octubre 2016 | 42.84 | 38.75 | 49.47 | 49.47 | 49.17 | 49.17 | 49.17 | 49.17 | 49.17 | 68.55 | 68.55 | 68.55 | 78.32 | 95.45 | 143.42 | 143.42 | 141.10 | 141.10 |
| Noviembre 2016 | 27.50 | 23.29 | 38.92 | 38.92 | 36.60 | 36.60 | 36.60 | 36.60 | 36.60 | 61.30 | 61.30 | 61.30 | 73.52 | 89.10 | 182.00 | 182.00 | 169.62 | 169.62 |
| Diciembre 2016 | 17.72 | 9.35 | 19.01 | 19.01 | 13.61 | 13.61 | 13.61 | 13.61 | 13.61 | 21.79 | 21.79 | 21.79 | 39.30 | 58.27 | 77.74 | 77.74 | 75.21 | 75.21 |
| Índice de heladas (°C) | 465.85 | 428.14 | 550.08 | 550.08 | 530.50 | 530.50 | 530.50 | 530.50 | 530.50 | 669.52 | 669.52 | 669.52 | 761.91 | 882.57 | 1347.07 | 1347.07 | 1276.66 | 1276.66 |

Fuente: elaboración propia

índice de heladas por meses en las diversas fallas-pixel

| FECHA | Falla_19 | Falla_20 | Falla_21 | Falla_22 | Falla_23 | Falla_24 | Falla_25 | Falla_26 | Falla_27 | Falla_28 | Falla_29 | Falla_30 | Falla_31 | Falla_32 | Falla_33 | Falla_34 | Falla_35 | Falla_36 |
|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Enero 2016 | 41.88 | 36.62 | 36.62 | 36.62 | 36.62 | 36.62 | 36.62 | 36.62 | 36.62 | 34.15 | 45.44 | 63.40 | 55.28 | 55.28 | 47.85 | 49.22 | 49.22 | 49.22 |
| Febrero 2016 | 48.25 | 43.05 | 43.05 | 43.05 | 43.05 | 43.05 | 43.05 | 43.05 | 43.05 | 41.62 | 39.03 | 34.22 | 43.76 | 43.76 | 45.08 | 50.24 | 50.24 | 50.24 |
| Marzo 2016 | 43.09 | 35.17 | 35.17 | 35.17 | 35.17 | 35.17 | 35.17 | 35.17 | 35.17 | 33.45 | 31.99 | 10.63 | 4.02 | 4.02 | 1.57 | 3.93 | 3.93 | 3.93 |
| Abril 2016 | 40.35 | 48.02 | 48.02 | 48.02 | 48.02 | 48.02 | 48.02 | 48.02 | 48.02 | 56.90 | 63.79 | 71.61 | 67.15 | 67.15 | 64.98 | 74.17 | 74.17 | 74.17 |
| Mayo 2016 | 101.19 | 102.50 | 102.50 | 102.50 | 102.50 | 102.50 | 102.50 | 102.50 | 102.50 | 106.29 | 112.39 | 118.42 | 115.76 | 115.76 | 109.51 | 109.98 | 109.98 | 109.98 |
| Junio 2016 | 171.01 | 166.67 | 166.67 | 166.67 | 166.67 | 166.67 | 166.67 | 166.67 | 166.67 | 169.92 | 181.17 | 184.27 | 182.48 | 182.48 | 178.03 | 186.79 | 186.79 | 186.79 |
| Julio 2016 | 161.13 | 155.28 | 155.28 | 155.28 | 155.28 | 155.28 | 155.28 | 155.28 | 155.28 | 161.24 | 174.41 | 174.33 | 174.46 | 174.46 | 169.73 | 174.27 | 174.27 | 174.27 |
| Agosto 2016 | 162.26 | 157.61 | 157.61 | 157.61 | 157.61 | 157.61 | 157.61 | 157.61 | 157.61 | 160.44 | 174.55 | 167.30 | 163.35 | 163.35 | 160.30 | 168.07 | 168.07 | 168.07 |
| Setiembre 2016 | 121.57 | 119.47 | 119.47 | 119.47 | 119.47 | 119.47 | 119.47 | 119.47 | 119.47 | 124.03 | 136.89 | 121.79 | 118.67 | 118.67 | 111.45 | 115.37 | 115.37 | 115.37 |
| Octubre 2016 | 141.10 | 146.62 | 146.62 | 146.62 | 146.62 | 146.62 | 146.62 | 146.62 | 146.62 | 156.32 | 162.50 | 141.02 | 133.76 | 133.76 | 130.18 | 133.53 | 133.53 | 133.53 |
| Noviembre 2016 | 169.62 | 174.54 | 174.54 | 174.54 | 174.54 | 174.54 | 174.54 | 174.54 | 174.54 | 187.26 | 209.56 | 206.90 | 209.09 | 209.09 | 195.22 | 201.26 | 201.26 | 201.26 |
| Diciembre 2016 | 75.21 | 88.26 | 88.26 | 88.26 | 88.26 | 88.26 | 88.26 | 88.26 | 88.26 | 103.33 | 102.44 | 99.56 | 96.63 | 96.63 | 72.85 | 79.84 | 79.84 | 79.84 |
| Índice de heladas (°C) | 1276.66 | 1273.82 | 1334.94 | 1434.15 | 1393.45 | 1364.41 | 1364.41 | 1286.76 | 1346.67 | 1346.67 | 1346.67 |

Fuente: elaboración propia

índice de heladas por meses en las diversas fallas-pixel

| FECHA | Falla_37 | Falla_38 | Falla_39 | Falla_40 | Falla_41 |
|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Enero 2016 | 47.09 | 68.30 | 69.42 | 68.69 | 56.27 |
| Febrero 2016 | 48.60 | 39.26 | 39.78 | 39.02 | 22.48 |
| Marzo 2016 | | 53.37 | 70.98 | 80.64 | 35.54 |
| Abril 2016 | 73.18 | 72.07 | 73.20 | 69.24 | 72.58 |
| Mayo 2016 | 107.70 | 117.04 | 118.91 | 117.08 | 94.65 |
| Junio 2016 | 184.22 | 185.53 | 170.82 | 161.05 | 132.04 |
| Julio 2016 | 174.94 | 190.75 | 177.44 | 163.42 | 141.63 |
| Agosto 2016 | 169.29 | 194.70 | 178.96 | 152.14 | 151.18 |
| Setiembre 2016 | 116.98 | 126.34 | 117.86 | 104.35 | 116.85 |
| Octubre 2016 | 135.13 | 154.35 | 142.91 | 129.02 | 129.41 |
| Noviembre 2016 | 204.40 | 223.75 | 206.70 | 180.69 | 156.72 |
| Diciembre 2016 | 75.32 | 150.43 | 136.19 | 120.75 | 117.60 |
| Índice de heladas (°C) | 1336.87 | 1575.87 | 1503.17 | 1386.08 | 1226.96 |

Fuente: elaboración propia

Anexo G

Índice de heladas a escala mensual-2017

índice de heladas por meses en las diversas fallas-pixel

| FECHA | Falla_1 | Falla_2 | Falla_3 | Falla_4 | Falla_5 | Falla_6 | Falla_7 | Falla_8 | Falla_9 | Falla_10 | Falla_11 | Falla_12 | Falla_13 | Falla_14 | Falla_15 | Falla_16 | Falla_17 | Falla_18 |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Enero 2017 | | | 3.65 | 3.65 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 2.96 | 12.42 | 120.16 | 120.16 | 101.07 | 101.07 |
| Febrero 2017 | | | | | | | | | | | | | 20.80 | 45.64 | 127.24 | 127.24 | 100.57 | 100.57 |
| Marzo 2017 | 155.74 | 147.10 | 160.38 | 160.38 | 168.20 | 168.20 | 168.20 | 168.20 | 168.20 | 178.86 | 178.86 | 178.86 | 170.92 | 177.19 | 134.45 | 134.45 | 125.19 | 125.19 |
| Abril 2017 | 92.79 | 107.47 | 114.69 | 114.69 | 115.07 | 115.07 | 115.07 | 115.07 | 115.07 | 109.04 | 109.04 | 109.04 | 105.13 | 115.90 | 100.99 | 100.99 | 105.40 | 105.40 |
| Mayo 2017 | 66.84 | 60.64 | 75.15 | 75.15 | 54.94 | 54.94 | 54.94 | 54.94 | 54.94 | 49.84 | 49.84 | 49.84 | 54.55 | 103.59 | 128.42 | 128.42 | 112.72 | 112.72 |
| Junio 2017 | 57.85 | 48.90 | 61.46 | 61.46 | 56.80 | 56.80 | 56.80 | 56.80 | 56.80 | 71.62 | 71.62 | 71.62 | 75.72 | 92.78 | 119.37 | 119.37 | 112.58 | 112.58 |
| Julio 2017 | 70.27 | 64.78 | 73.50 | 73.50 | 68.96 | 68.96 | 68.96 | 68.96 | 68.96 | 85.30 | 85.30 | 85.30 | 93.32 | 103.60 | 173.77 | 173.77 | 164.88 | 164.88 |
| Agosto 2017 | 94.44 | 90.81 | 102.57 | 102.57 | 97.51 | 97.51 | 97.51 | 97.51 | 97.51 | 113.95 | 113.95 | 113.95 | 123.30 | 124.24 | 198.08 | 198.08 | 185.49 | 185.49 |
| Setiembre 2017 | 100.69 | 105.32 | 110.79 | 110.79 | 117.64 | 117.64 | 117.64 | 117.64 | 117.64 | 145.01 | 145.01 | 145.01 | 154.43 | 124.18 | 146.91 | 146.91 | 135.88 | 135.88 |
| Octubre 2017 | 30.93 | 21.47 | 31.97 | 31.97 | 20.53 | 20.53 | 20.53 | 20.53 | 20.53 | 44.70 | 44.70 | 44.70 | 53.78 | 49.42 | 104.47 | 104.47 | 84.47 | 84.47 |
| Noviembre 2017 | 38.76 | 37.10 | 46.44 | 46.44 | 43.83 | 43.83 | 43.83 | 43.83 | 43.83 | 60.51 | 60.51 | 60.51 | 66.73 | 70.53 | 97.99 | 97.99 | 118.85 | 118.85 |
| Diciembre 2017 | 46.26 | 41.02 | 45.36 | 45.36 | 36.81 | 36.81 | 36.81 | 36.81 | 36.81 | 44.24 | 44.24 | 44.24 | 82.46 | 87.70 | 126.32 | 126.32 | 118.65 | 118.65 |
| Índice de heladas (°C) | 754.56 | 724.60 | 825.96 | 825.96 | 780.83 | 780.83 | 780.83 | 780.83 | 780.83 | 904.12 | 904.12 | 904.12 | 1004.11 | 1107.19 | 1578.18 | 1578.18 | 1465.75 | 1465.75 |

Fuente: elaboración propia

índice de heladas por meses en las diversas fallas-pixel

| FECHA | Falla_19 | Falla_20 | Falla_21 | Falla_22 | Falla_23 | Falla_24 | Falla_25 | Falla_26 | Falla_27 | Falla_28 | Falla_29 | Falla_30 | Falla_31 | Falla_32 | Falla_33 | Falla_34 | Falla_35 | Falla_36 |
|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Enero 2017 | 101.07 | 105.16 | 105.16 | 105.16 | 105.16 | 105.16 | 105.16 | 105.16 | 105.16 | 140.27 | 153.50 | 163.76 | 123.08 | 123.08 | 112.07 | 96.06 | 96.06 | 96.06 |
| Febrero 2017 | 100.57 | 109.77 | 109.77 | 109.77 | 109.77 | 109.77 | 109.77 | 109.77 | 109.77 | 103.99 | 90.99 | 108.78 | 127.12 | 127.12 | 137.09 | 145.14 | 145.14 | 145.14 |
| Marzo 2017 | 125.19 | 123.44 | 123.44 | 123.44 | 123.44 | 123.44 | 123.44 | 123.44 | 123.44 | 129.23 | 129.65 | 166.10 | 157.84 | 157.84 | 137.72 | 141.39 | 141.39 | 141.39 |
| Abril 2017 | 105.40 | 103.13 | 103.13 | 103.13 | 103.13 | 103.13 | 103.13 | 103.13 | 103.13 | 104.91 | 103.30 | 113.41 | 96.78 | 96.78 | 88.25 | 94.59 | 94.59 | 94.59 |
| Mayo 2017 | 112.72 | 115.35 | 115.35 | 115.35 | 115.35 | 115.35 | 115.35 | 115.35 | 115.35 | 123.84 | 126.84 | 117.12 | 123.26 | 123.26 | 121.62 | 120.76 | 120.76 | 120.76 |
| Junio 2017 | 112.58 | 119.79 | 119.79 | 119.79 | 119.79 | 119.79 | 119.79 | 119.79 | 119.79 | 128.94 | 138.73 | 132.99 | 132.96 | 132.96 | 131.64 | 132.86 | 132.86 | 132.86 |
| Julio 2017 | 164.88 | 160.37 | 160.37 | 160.37 | 160.37 | 160.37 | 160.37 | 160.37 | 160.37 | 164.61 | 178.54 | 176.83 | 172.93 | 172.93 | 165.77 | 169.77 | 169.77 | 169.77 |
| Agosto 2017 | 185.49 | 179.95 | 179.95 | 179.95 | 179.95 | 179.95 | 179.95 | 179.95 | 179.95 | 189.24 | 207.14 | 193.44 | 188.78 | 188.78 | 181.61 | 187.08 | 187.08 | 187.08 |
| Setiembre 2017 | 135.88 | 129.72 | 129.72 | 129.72 | 129.72 | 129.72 | 129.72 | 129.72 | 129.72 | 133.76 | 138.08 | 147.30 | 135.35 | 135.35 | 125.17 | 139.97 | 139.97 | 139.97 |
| Octubre 2017 | 84.47 | 76.32 | 76.32 | 76.32 | 76.32 | 76.32 | 76.32 | 76.32 | 76.32 | 68.65 | 83.50 | 92.20 | 90.39 | 90.39 | 87.52 | 100.31 | 100.31 | 100.31 |
| Noviembre 2017 | 118.85 | 110.29 | 110.29 | 110.29 | 110.29 | 110.29 | 110.29 | 110.29 | 110.29 | 104.95 | 97.71 | 112.53 | 111.53 | 111.53 | 106.04 | 110.25 | 110.25 | 110.25 |
| Diciembre 2017 | 118.65 | 115.22 | 115.22 | 115.22 | 115.22 | 115.22 | 115.22 | 115.22 | 115.22 | 121.92 | 126.07 | 87.84 | 93.68 | 93.68 | 92.08 | 90.98 | 90.98 | 90.98 |
| Índice de heladas (°C) | 1465.75 | 1448.51 | 1514.30 | 1574.04 | 1612.28 | 1553.71 | 1553.71 | 1486.58 | 1529.18 | 1529.18 | 1529.18 |

Fuente: elaboración propia

índice de heladas por meses en las diversas fallas-pixel

| FECHA | Falla_37 | Falla_38 | Falla_39 | Falla_40 | Falla_41 |
|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Enero 2017 | 78.02 | 116.01 | 115.94 | 91.63 | 114.83 |
| Febrero 2017 | 138.38 | 120.63 | 130.78 | 130.23 | 108.76 |
| Marzo 2017 | 148.66 | 137.57 | 136.96 | 129.29 | 108.86 |
| Abril 2017 | 82.94 | 48.53 | 48.47 | 49.65 | 30.49 |
| Mayo 2017 | 111.85 | 93.25 | 96.05 | 100.33 | 118.95 |
| Junio 2017 | 128.47 | 155.40 | 145.46 | 137.09 | 127.04 |
| Julio 2017 | 175.46 | 185.88 | 174.83 | 160.67 | 131.44 |
| Agosto 2017 | 189.46 | 211.17 | 195.35 | 179.53 | 159.84 |
| Setiembre 2017 | 144.01 | 147.67 | 126.36 | 130.21 | 114.11 |
| Octubre 2017 | 100.44 | 114.09 | 110.28 | 95.64 | 81.53 |
| Noviembre 2017 | 109.99 | 140.84 | 137.86 | 127.22 | 113.02 |
| Diciembre 2017 | 93.08 | 81.84 | 74.61 | 80.55 | 90.59 |
| Índice de heladas (°C) | 1500.76 | 1552.88 | 1492.95 | 1412.05 | 1299.48 |

Fuente: elaboración propia

Anexo H

Índice de heladas a escala mensual-2018

índice de heladas por meses en las diversas fallas-pixel

| FECHA | Falla_1 | Falla_2 | Falla_3 | Falla_4 | Falla_5 | Falla_6 | Falla_7 | Falla_8 | Falla_9 | Falla_10 | Falla_11 | Falla_12 | Falla_13 | Falla_14 | Falla_15 | Falla_16 | Falla_17 | Falla_18 |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Enero 2018 | 103.43 | 127.70 | 121.98 | 121.98 | 143.13 | 143.13 | 143.13 | 143.13 | 143.13 | 147.18 | 147.18 | 147.18 | 148.22 | 101.05 | 87.25 | 87.25 | 85.77 | 85.77 |
| Febrero 2018 | | 0.75 | 2.12 | 2.12 | 20.25 | 20.25 | 20.25 | 20.25 | 20.25 | 25.41 | 25.41 | 25.41 | 31.86 | 34.50 | 47.90 | 47.90 | 16.63 | 16.63 |
| Marzo 2018 | 48.71 | 41.98 | 46.49 | 46.49 | 52.86 | 52.86 | 52.86 | 52.86 | 52.86 | 57.99 | 57.99 | 57.99 | 56.73 | 71.61 | 49.23 | 49.23 | 58.51 | 58.51 |
| Abril 2018 | 16.96 | 10.49 | 14.26 | 14.26 | 13.17 | 13.17 | 13.17 | 13.17 | 13.17 | 24.31 | 24.31 | 24.31 | 30.66 | 40.28 | 55.88 | 55.88 | 58.19 | 58.19 |
| Mayo 2018 | | | | | | | | | | 3.23 | 3.23 | 3.23 | 6.99 | 25.69 | 56.67 | 56.67 | 64.84 | 64.84 |
| Junio 2018 | 62.22 | 60.67 | 65.85 | 65.85 | 62.35 | 62.35 | 62.35 | 62.35 | 62.35 | 68.36 | 68.36 | 68.36 | 73.19 | 86.90 | 122.53 | 122.53 | 124.36 | 124.36 |
| Julio 2018 | 127.12 | 119.59 | 118.69 | 118.69 | 112.89 | 112.89 | 112.89 | 112.89 | 112.89 | 120.71 | 120.71 | 120.71 | 126.88 | 139.97 | 176.21 | 176.21 | 164.22 | 164.22 |
| Agosto 2018 | 67.81 | 60.82 | 73.94 | 73.94 | 59.29 | 59.29 | 59.29 | 59.29 | 59.29 | 71.84 | 71.84 | 71.84 | 72.99 | 110.98 | 126.58 | 126.58 | 121.09 | 121.09 |
| Setiembre 2018 | 29.12 | 28.22 | 30.52 | 30.52 | 34.11 | 34.11 | 34.11 | 34.11 | 34.11 | 47.19 | 47.19 | 47.19 | 54.36 | 64.63 | 124.07 | 124.07 | 114.67 | 114.67 |
| Octubre 2018 | | | 0.31 | 0.31 | 5.33 | 5.33 | 5.33 | 5.33 | 5.33 | 32.18 | 32.18 | 32.18 | 50.27 | 76.39 | 74.87 | 74.87 | 71.97 | 71.97 |
| Noviembre 2018 | 27.53 | 24.36 | 30.26 | 30.26 | 31.92 | 31.92 | 31.92 | 31.92 | 31.92 | 46.87 | 46.87 | 46.87 | 59.15 | 65.53 | 95.65 | 95.65 | 103.95 | 103.95 |
| Diciembre 2018 | | | | | | | | | | 7.68 | 7.68 | 7.68 | 22.46 | 17.72 | 92.29 | 92.29 | 128.04 | 128.04 |
| Índice de heladas (°C) | 482.90 | 474.58 | 504.43 | 504.43 | 535.31 | 535.31 | 535.31 | 535.31 | 535.31 | 652.96 | 652.96 | 652.96 | 733.76 | 835.23 | 1109.12 | 1109.12 | 1112.22 | 1112.22 |

Fuente: elaboración propia

índice de heladas por meses en las diversas fallas-pixel

| FECHA | Falla_19 | Falla_20 | Falla_21 | Falla_22 | Falla_23 | Falla_24 | Falla_25 | Falla_26 | Falla_27 | Falla_28 | Falla_29 | Falla_30 | Falla_31 | Falla_32 | Falla_33 | Falla_34 | Falla_35 | Falla_36 |
|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Enero 2018 | 85.77 | 90.65 | 90.65 | 90.65 | 90.65 | 90.65 | 90.65 | 90.65 | 90.65 | 94.43 | 94.74 | 122.63 | 106.72 | 106.72 | 97.02 | 92.98 | 92.98 | 92.98 |
| Febrero 2018 | 16.63 | 11.07 | 11.07 | 11.07 | 11.07 | 11.07 | 11.07 | 11.07 | 11.07 | 7.58 | 10.52 | 2.64 | | | | | | |
| Marzo 2018 | 58.51 | 59.23 | 59.23 | 59.23 | 59.23 | 59.23 | 59.23 | 59.23 | 59.23 | 64.00 | 72.19 | 87.55 | 84.62 | 84.62 | 72.89 | 65.89 | 65.89 | 65.89 |
| Abril 2018 | 58.19 | 62.22 | 62.22 | 62.22 | 62.22 | 62.22 | 62.22 | 62.22 | 62.22 | 69.21 | 75.47 | 44.44 | 50.26 | 50.26 | 53.98 | 62.68 | 62.68 | 62.68 |
| Mayo 2018 | 64.84 | 71.63 | 71.63 | 71.63 | 71.63 | 71.63 | 71.63 | 71.63 | 71.63 | 74.46 | 75.22 | 78.04 | 76.84 | 76.84 | 74.99 | 81.37 | 81.37 | 81.37 |
| Junio 2018 | 124.36 | 119.57 | 119.57 | 119.57 | 119.57 | 119.57 | 119.57 | 119.57 | 119.57 | 118.70 | 120.87 | 111.35 | 110.15 | 110.15 | 105.83 | 108.70 | 108.70 | 108.70 |
| Julio 2018 | 164.22 | 158.84 | 158.84 | 158.84 | 158.84 | 158.84 | 158.84 | 158.84 | 158.84 | 162.89 | 168.13 | 165.66 | 160.26 | 160.26 | 159.59 | 162.27 | 162.27 | 162.27 |
| Agosto 2018 | 121.09 | 117.97 | 117.97 | 117.97 | 117.97 | 117.97 | 117.97 | 117.97 | 117.97 | 121.36 | 132.14 | 132.57 | 140.47 | 140.47 | 141.70 | 144.99 | 144.99 | 144.99 |
| Setiembre 2018 | 114.67 | 108.50 | 108.50 | 108.50 | 108.50 | 108.50 | 108.50 | 108.50 | 108.50 | 112.71 | 127.21 | 137.39 | 133.76 | 133.76 | 125.35 | 131.04 | 131.04 | 131.04 |
| Octubre 2018 | 71.97 | 73.73 | 73.73 | 73.73 | 73.73 | 73.73 | 73.73 | 73.73 | 73.73 | 79.82 | 90.33 | 110.62 | 112.54 | 112.54 | 97.13 | 97.75 | 97.75 | 97.75 |
| Noviembre 2018 | 103.95 | 103.86 | 103.86 | 103.86 | 103.86 | 103.86 | 103.86 | 103.86 | 103.86 | 101.14 | 110.16 | 139.02 | 139.58 | 139.58 | 132.47 | 125.60 | 125.60 | 125.60 |
| Diciembre 2018 | 128.04 | 118.15 | 118.15 | 118.15 | 118.15 | 118.15 | 118.15 | 118.15 | 118.15 | 95.09 | 98.33 | 80.26 | 80.08 | 80.08 | 75.27 | 89.67 | 89.67 | 89.67 |
| Índice de heladas (°C) | 1112.22 | 1095.44 | 1101.39 | 1175.31 | 1212.16 | 1195.28 | 1195.28 | 1136.21 | 1162.96 | 1162.96 | 1162.96 |

Fuente: elaboración propia

índice de heladas por meses en las diversas fallas-pixel

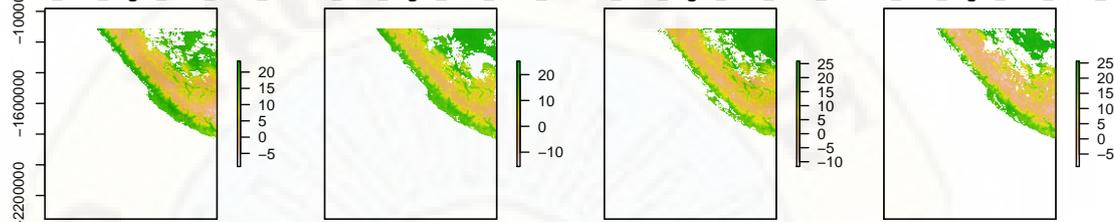
| FECHA | Falla_37 | Falla_38 | Falla_39 | Falla_40 | Falla_41 |
|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Enero 2018 | 90.04 | 145.26 | 145.26 | 120.79 | 105.18 |
| Febrero 2018 | | 57.00 | 77.66 | 64.94 | 39.04 |
| Marzo 2018 | 62.93 | 143.44 | 141.73 | 123.19 | 95.20 |
| Abril 2018 | 65.96 | 94.01 | 93.42 | 84.98 | 46.65 |
| Mayo 2018 | 80.79 | 84.82 | 86.51 | 82.81 | 67.41 |
| Junio 2018 | 108.25 | 123.50 | 122.43 | 119.09 | 114.82 |
| Julio 2018 | 158.42 | 178.98 | 170.97 | 166.51 | 154.23 |
| Agosto 2018 | 143.65 | 158.92 | 154.92 | 148.47 | 125.29 |
| Setiembre 2018 | 129.55 | 153.46 | 144.18 | 134.41 | 101.92 |
| Octubre 2018 | 95.14 | 159.44 | 158.42 | 156.20 | 121.58 |
| Noviembre 2018 | 123.33 | 127.10 | 120.14 | 113.39 | 107.67 |
| Diciembre 2018 | 94.68 | 167.05 | 156.33 | 143.98 | 120.96 |
| Índice de heladas (°C) | 1152.72 | 1592.97 | 1571.97 | 1458.75 | 1199.93 |

Fuente: elaboración propia

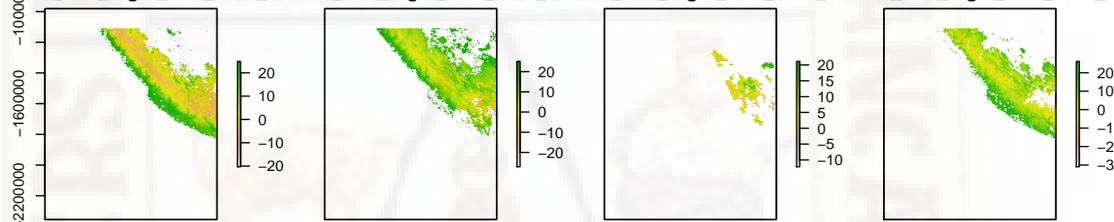
Anexo I

Imagen MOD11A2 LST night reprojectado

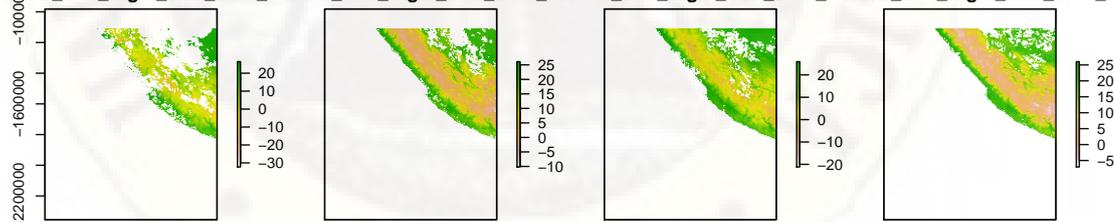
A2_LST_Night_1km_2016_0011A2_LST_Night_1km_2016_0011A2_LST_Night_1km_2016_0111A2_LST_Night_1km_2016_02



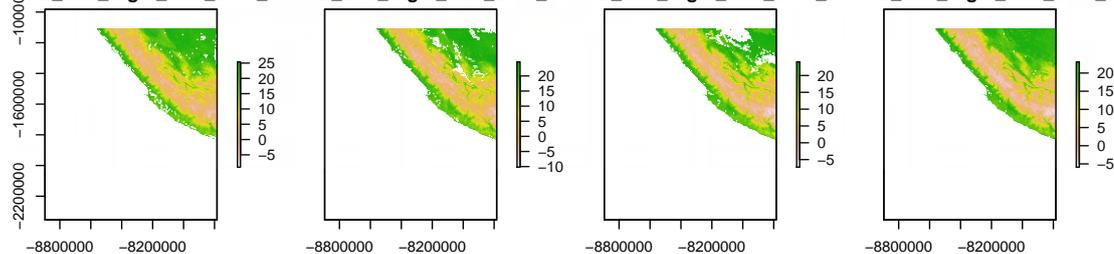
A2_LST_Night_1km_2016_0311A2_LST_Night_1km_2016_0411A2_LST_Night_1km_2016_0411A2_LST_Night_1km_2016_05



A2_LST_Night_1km_2016_0611A2_LST_Night_1km_2016_0711A2_LST_Night_1km_2016_0811A2_LST_Night_1km_2016_08



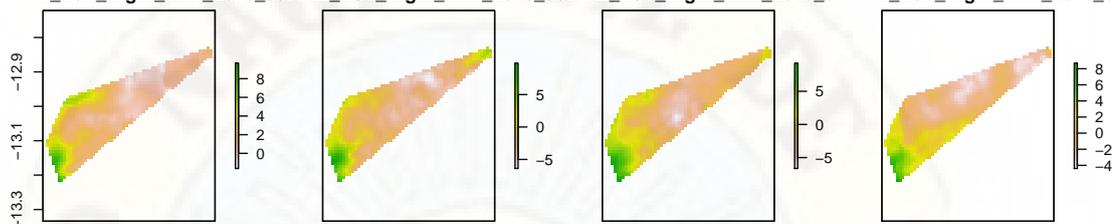
A2_LST_Night_1km_2016_0911A2_LST_Night_1km_2016_1011A2_LST_Night_1km_2016_1111A2_LST_Night_1km_2016_12



Anexo J

Imagen MOD11A2 LST Night reprojectado recortado en ámbito de estudio

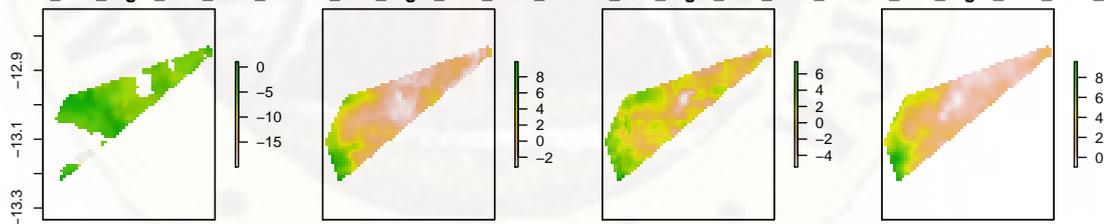
11A2_LST_Night_1km_2016_0011A2_LST_Night_1km_2016_0011A2_LST_Night_1km_2016_0111A2_LST_Night_1km_2016_02



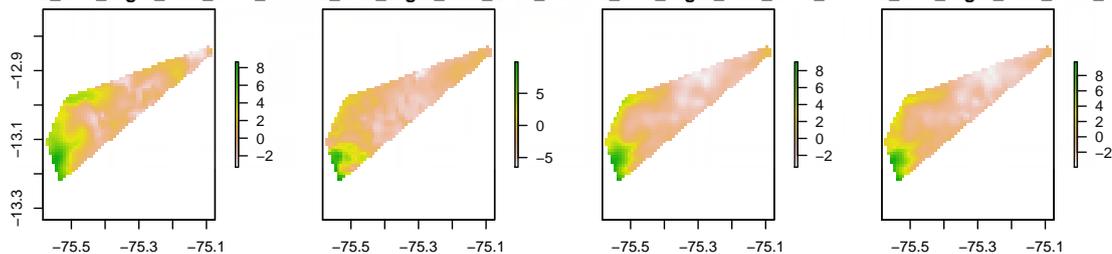
11A2_LST_Night_1km_2016_0311A2_LST_Night_1km_2016_0411A2_LST_Night_1km_2016_0411A2_LST_Night_1km_2016_05



11A2_LST_Night_1km_2016_0611A2_LST_Night_1km_2016_0711A2_LST_Night_1km_2016_0811A2_LST_Night_1km_2016_08

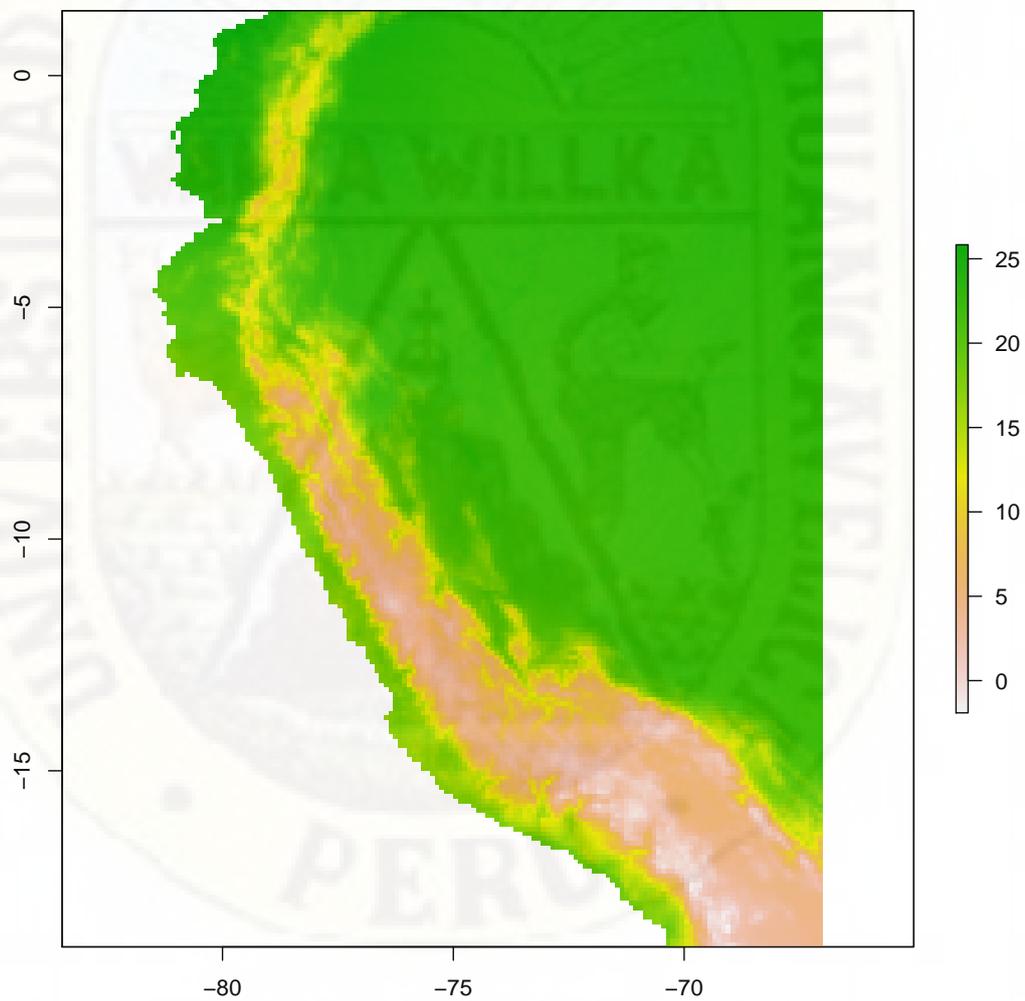


11A2_LST_Night_1km_2016_0911A2_LST_Night_1km_2016_1011A2_LST_Night_1km_2016_1111A2_LST_Night_1km_2016_12



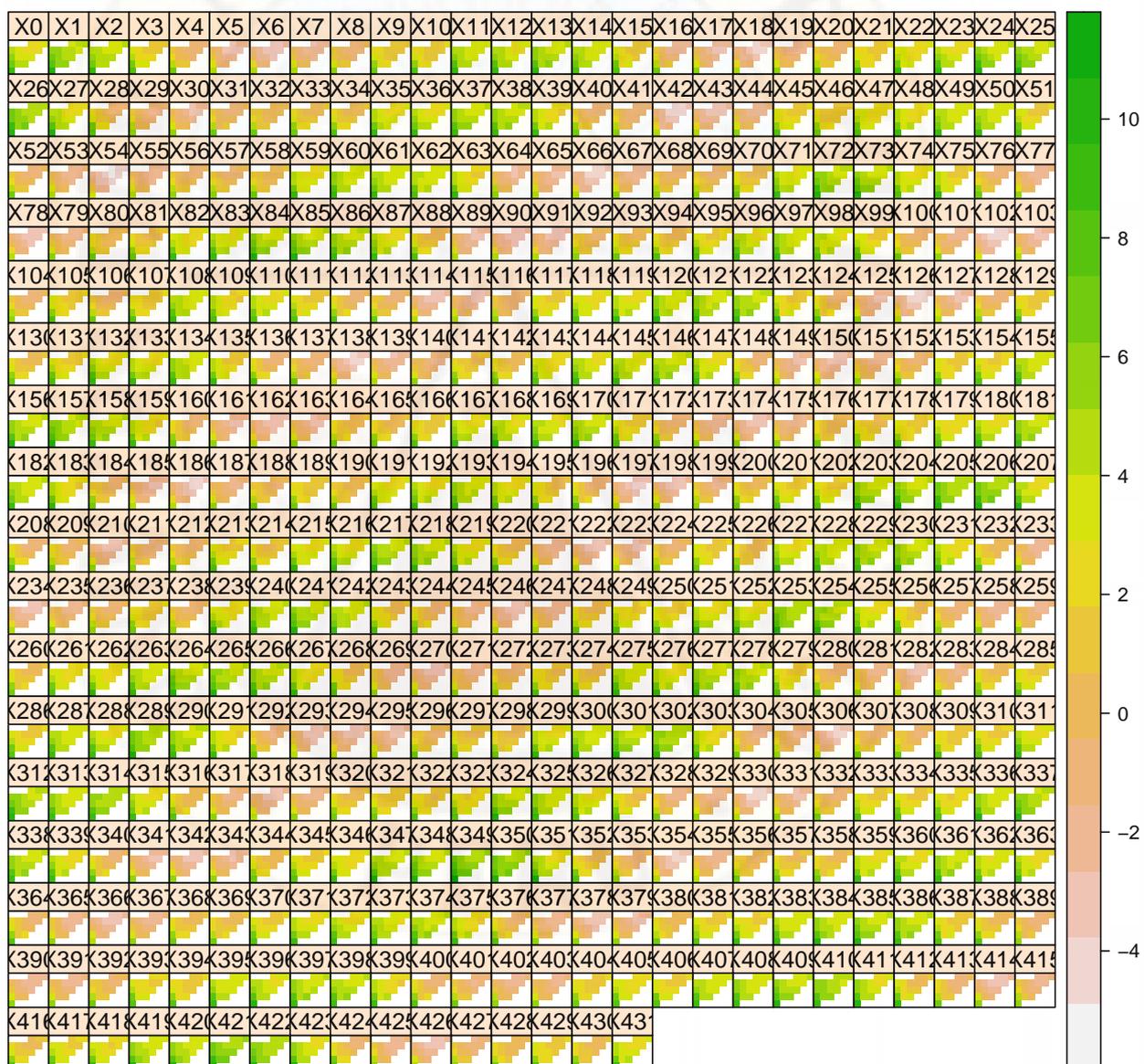
Anexo K

Imagen del producto PISCOt en ámbito nacional



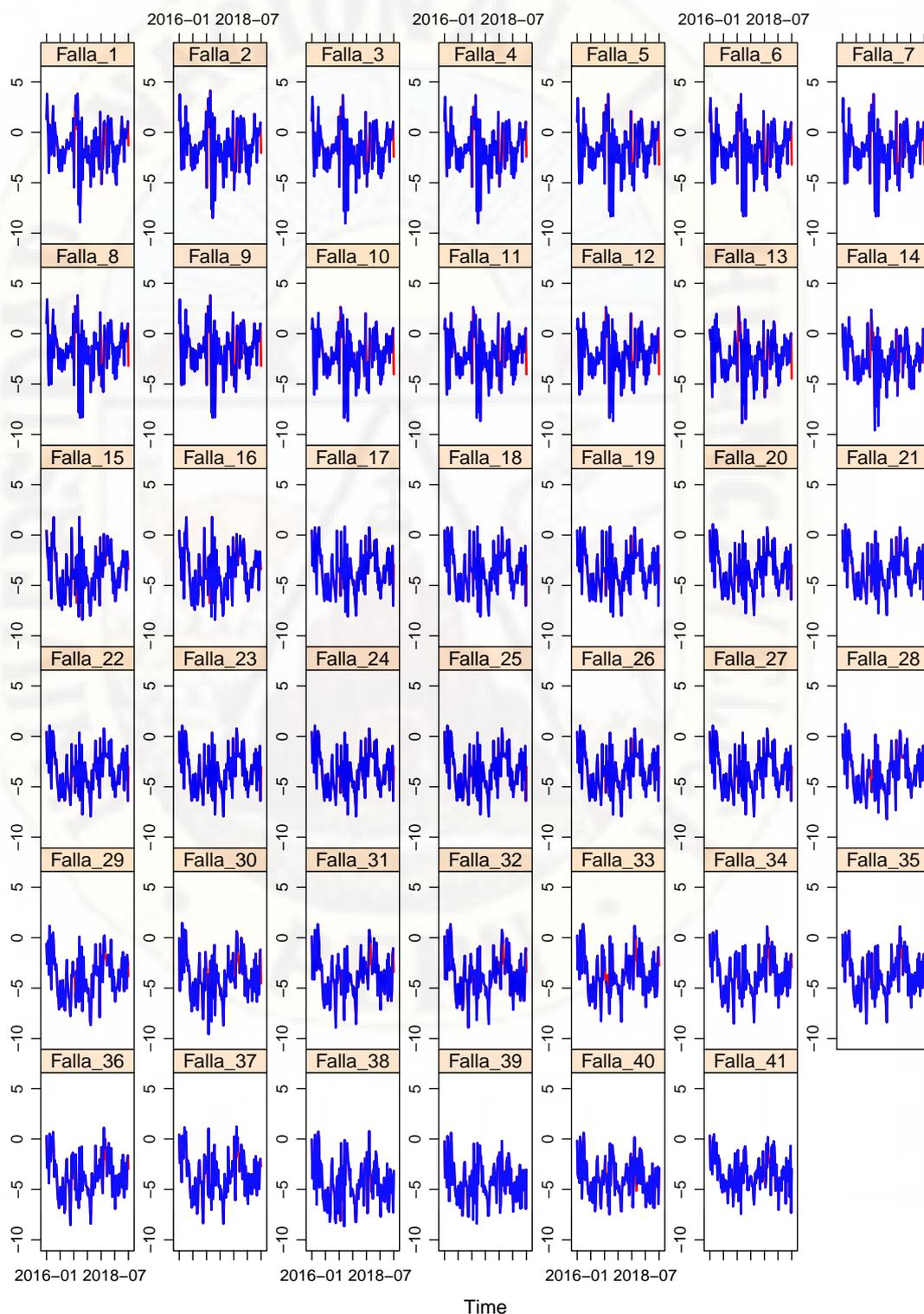
Anexo L

Imagen del producto PISCO recortado en ámbito de estudio



Anexo M

Completación de datos de Píxeles correspondientes a fallas



Anexo O

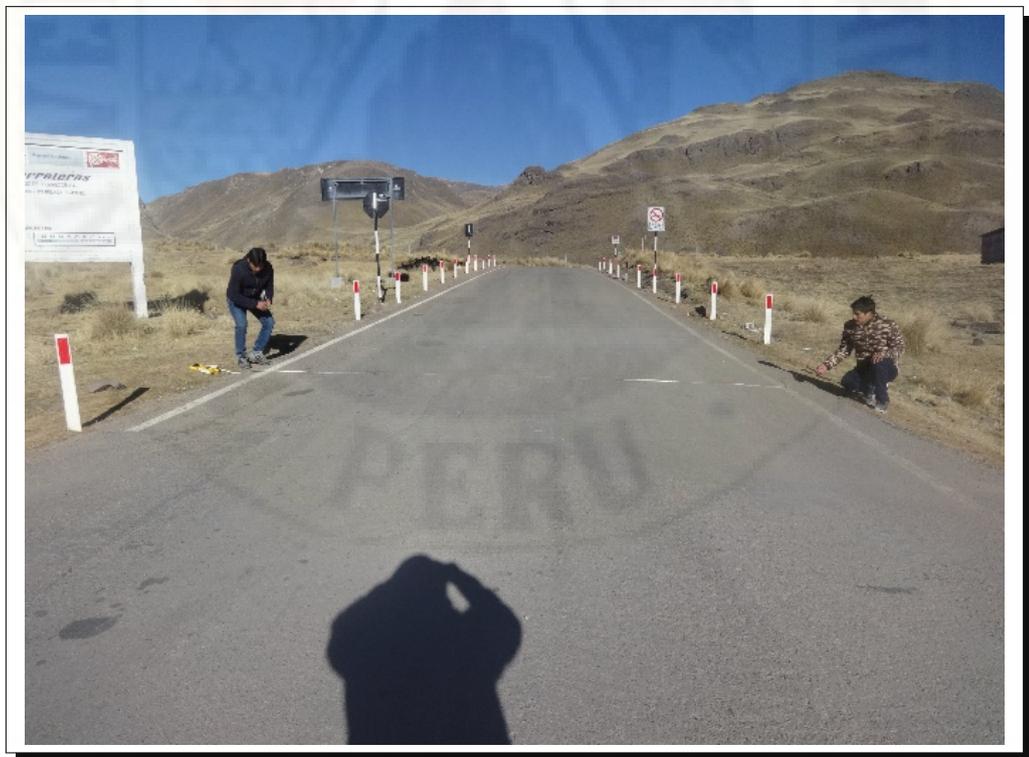
Panel fotográfico

En este anexo se presenta las fotos de campo.





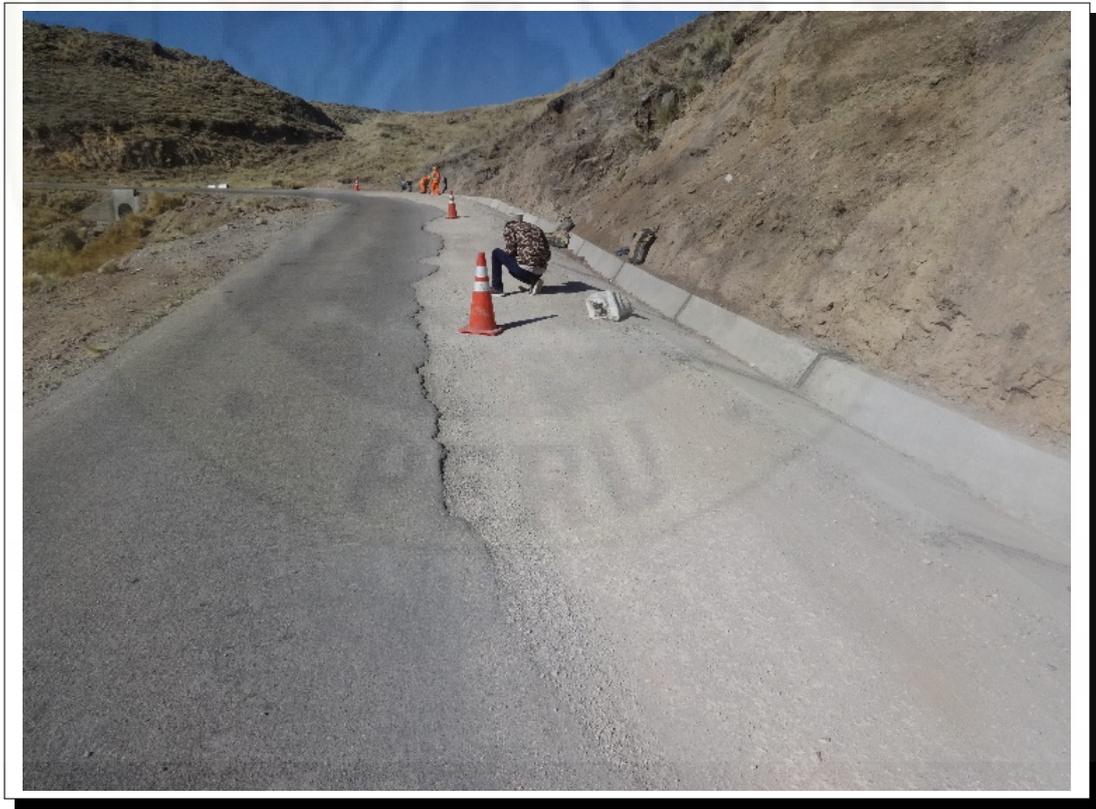
Inicio de tramo.



Ancho de la plataforma de estudio.



Parqueo



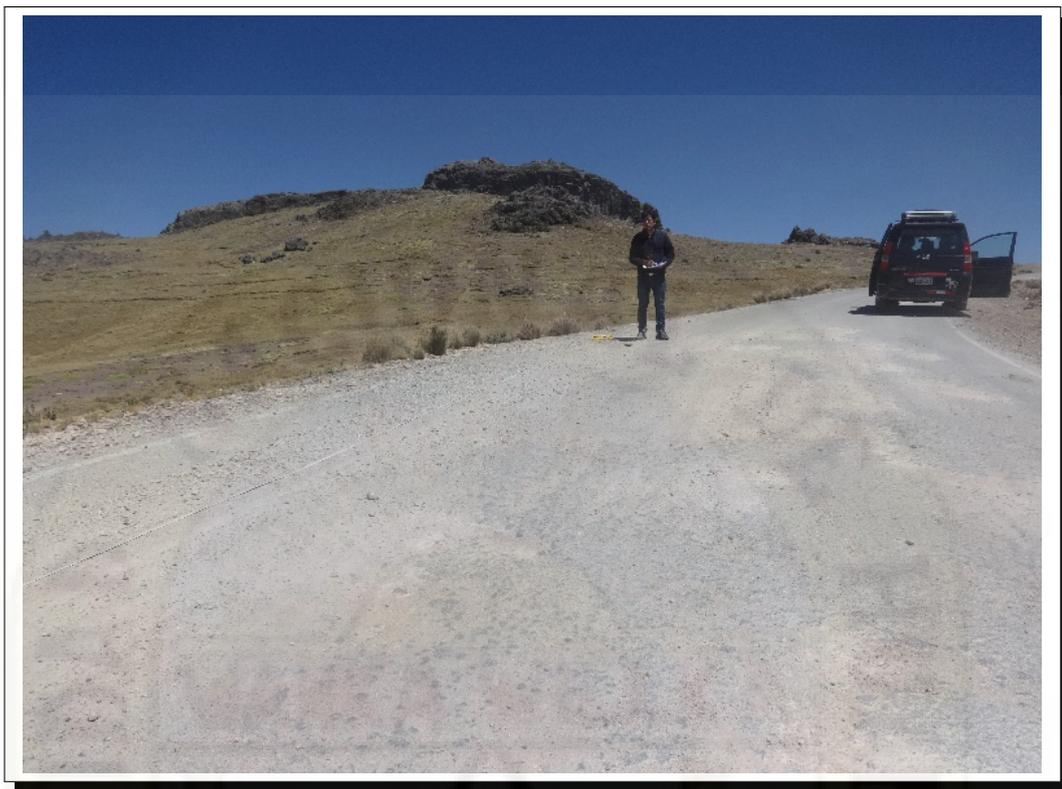
Desprendimiento



Desprendimiento y huecos



Huecos



Desprendimiento



Fisuras longitudinales



Piel de cocodrillo



Fisuras longitudinales y parcheo



Piel de cocodrillo



Fin de tramo

Anexo P

Certificado de originalidad turnitin

 **UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA**
(Creada por ley N°25265)
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

 **REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

turnitin

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Por medio de este documento de Originalidad el área de Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Huancavelica, certifica que el trabajo de investigación titulado: **“INFLUENCIA DE HELADAS EN LAS FALLAS DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL SLURRY SEAL EN EL TRAMO LACHOCC - VILLA DE ARMA ESTIMADA POR PERCEPCIÓN REMOTA”** presentado por el autor: **HUAMAN PEÑA, Jair Edgar**, cuyo docente asesor es: **M.Sc LUJAN JERI, Hugo Rubén**. Con la finalidad de obtener el Título Profesional de **INGENIERO CIVIL** el Repositorio Institucional hace saber que **es un trabajo de investigación original** y no ha sido presentado ni publicado en otras revistas científicas nacionales e internacionales ni en sitio o portal electrónico.

Por tanto, basándonos en el cumplimiento del Art.4 del Reglamento del Software Anti plagio de la UNH, el área de Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Huancavelica dictamina que este trabajo de investigación fue analizado por el software anti plagio TURNITIN y al estar dentro de los parámetros establecidos, esta investigación es **aceptado como original**.

| ORIGINALIDAD | SIMILITUD |
|--------------|-----------|
| 79.0 % | 21.0 % |

ADJUNTO:

- ✓ Captura de pantalla de la revisión del trabajo de investigación en el software anti plagio - TURNITIN.

El presente Certificado se expide el 20 de mayo del año 2021.

 **UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA**
REPOSITORIO INSTITUCIONAL
JENNY MENDOZA VILCAHUAMAN
Jefa de la Oficina de Repositorio Institucional

N° 130-2021

Anexo Q

Certificado de lingüística



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
(Creada por Ley N° 25265)
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia”

El que suscribe, Lic. Juan Jaime Carrasco Avilés, docente de la asignatura de Lengua, Literatura y Comunicaciones; expide la presente:

CONSTANCIA

De haber corregido la sintaxis, coherencia, cohesión y ortografía del trabajo de investigación titulado: “INFLUENCIA DE HELADAS EN LAS FALLAS DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL SLURRY SEAL EN EL TRAMO LACHOCC-VILLA DE ARMA ESTIMADA POR PERCEPCIÓN REMOTA”, presentado por los bachilleres HUAMAN PEÑA, Jair Edgar, con DNI N° 70495862, código de matrícula N° 2009151129 y ANTICONA GUILLEN, Miguel Angel, con DNI N° 47755345, código de matrícula N° 2009151005, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica.

Se expide el presente documento, a solicitud de los interesados para los fines que estime conveniente.

Huancavelica, julio 25 de 2021.


Juan Jaime Carrasco Avilés
Lic. Lengua, Literatura y Comunicaciones