

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**T E S I S**

**DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS TOTALES (PST)**  
**MEDIANTE EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO EN LA ATMÓSFERA DE LA**  
**CARRETERA DEL TRAMO CELENDÍN - JOSÉ GÁLVEZ**

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Presentado por el Bachiller:

**ERLIN CORTEZ CHÁVEZ**

Asesor:

**Ing. M.Sc. EDGAR DARWIN DÍAZ MORI**

CAJAMARCA – PERÚ

2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

Norte de la Universidad Peruana  
Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Secretaría Académica**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En Cajamarca, a los **tres** días del mes de **Octubre** del año dos mil diecinueve, se reunieron en el ambiente **2C-211** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designados por el Concejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Concejo de Facultad N° 321 – 2019 – FCA – UNC, Fecha 12 de Julio del 2019, con el objetivo de Evaluar la sustentación de la Tesis titulada: “**DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS TOTALES (PST) MEDIANTE EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO EN LA ATMÓSFERA DE LA CARRETERA DEL TRAMO CELENDÍN - JOSÉ GÁLVEZ**”, para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**, del Bachiller: **CORTEZ CHÁVEZ ERLIN**;

A las **diez** horas y **diez** minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición del trabajo de Tesis, la formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado, el presidente anunció la **aprobación** por **unanimidad** con el calificativo de **trece (13)**. Por lo tanto, el graduando queda expedita para que se le expida el **Título Profesional** correspondiente a las **once** horas y **diez** minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, 03 de octubre de 2019

**Dr. Glicerio Eduardo Torres Carranza**  
**PRESIDENTE**

**Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia**  
**SECRETARIO**

**Ing. M. Sc. Giovana Ernestina Chávez Horna**  
**VOCAL**

**Ing. M. Sc. Edgar D. Díaz Mori**  
**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

A Dios por guiar mis pasos y por permitirme tener a los padres más valiosos: Venilde Chávez Rodríguez y Eusebio Cortez Escobal, a quienes agradezco infinitamente por brindarme su apoyo, esfuerzo y dedicación para hoy poder plasmar mis metas. A Lorena Rojas Gallardo e hijos por creer en mí...

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi sincera gratitud a mi Asesor el Ing. M.Sc. EDGAR DARWIN DÍAZ MORI, quien tuvo la predisposición de acompañarme en la presente investigación, con el único anhelo de ayudarme a lograr mi propósito.

A mis educadores y compañeros de estudios de la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca, quienes me ayudaron a ser cada día mejor profesional.

De manera especial a Segundo Guevara Camacho técnico de Laboratorio de la EAPIAC-UNC, a la Ing. Leyla Díaz Cadenillas, jefe de Operaciones del IPV-Celendín y a todos los pobladores del trayecto Celendín - José Gálvez, quienes muy gentilmente colaboraron con el desarrollo de la presente investigación.

# ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	1
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Formulación del problema .....	2
1.2. Objetivo de la investigación.....	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos específicos .....	3
1.3. Hipótesis de la investigación.....	3
CAPÍTULO II.....	4
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1. Antecedentes de la investigación.....	4
2.2. Bases teóricas .....	7
2.2.1. Contaminación del aire .....	7
2.2.2. Partículas sólidas totales (PST).....	8
2.2.3. Fuentes de partículas sólidas totales .....	9
2.2.4. Composición.....	9
2.2.5. Clasificación de partículas en el aire.....	10
2.2.6. Duración de partículas sólidas totales en la atmósfera.....	11
2.2.7. Monitoreo .....	12
2.2.8. Muestreadores de partículas .....	12
2.2.9. Método Gravimétrico. ....	13
2.2.10. Criterios en la ubicación de puntos de muestreo.....	13
2.2.11. Determinación del número de puntos de muestreo. ....	13
2.2.12. Ubicación de placas receptoras.....	14
2.2.13. Efectos en la salud .....	14
2.2.14. Efectos sobre los materiales, la vegetación y los animales .....	15
2.2.15. Clasificación de carreteras por demanda.....	16
2.2.16. Clasificación administrativa de la red vial .....	16
2.3. Definición de términos.....	17
CAPÍTULO III .....	20
III. MARCO METODOLÓGICO .....	20
3.1. Ubicación geográfica .....	20
3.2. Características del lugar .....	21
3.3. Materiales.....	22

3.3.1.	Material de campo .....	22
3.3.2.	Material y equipo de laboratorio.....	22
3.4.	Metodología .....	22
3.4.1.	Trabajo de campo.....	23
3.4.2.	Trabajo de laboratorio .....	28
3.4.3.	Trabajo de gabinete.....	29
CAPÍTULO IV	.....	31
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	31
4.1.	Determinación de la cantidad de PST en la atmósfera de la carretera del tramo Celendín - José Gálvez .....	31
CAPÍTULO V	.....	40
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	40
CAPÍTULO VI	.....	41
VI.	LITERATURA CITADA .....	41
CAPÍTULO VII	.....	46
VII.	ANEXOS .....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Número de estaciones en función a la densidad poblacional - OMS.....	14
Tabla 2.	Categorías generales de enfermedades humanas provocadas por contaminantes del aire.....	15
Tabla 3.	Fuente, técnica e instrumento para la recolección de datos de la variable. ....	23
Tabla 4.	Cantidad de placas receptoras a utilizar por cada punto de monitoreo. ....	24
Tabla 5.	Codificación de placas receptoras para PST y su distribución en 9 puntos de monitoreo. ....	25
Tabla 6.	Programa para la instalación y recolección de placas receptoras. ....	28
Tabla 7.	Valores muestrales de partículas sólidas totales superiores al límite establecido por la OMS.....	31
Tabla 8.	Promedio de partículas sólidas totales por punto de monitoreo obtenidas en los diferentes muestreos. ....	32
Tabla 9.	Medidas estadísticas descriptivas de cuatro periodos de exposición.....	33
Tabla 10.	Clasificación de vehículos por semana de conteo. ....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Distribución típica de las partículas en la atmósfera.....	10
Figura 2.	Ubicación del área de estudio y distribución de puntos de monitoreo. ....	20
Figura 3.	Identificación de asentamientos poblacionales expuestos a PST. Izquierda: caserío El Paraíso. Derecha: Evidencia de PST en viviendas .....	24
Figura 4.	Placa receptora de vidrio para recolectar muestras de PST.....	26
Figura 5.	Preparación de placas receptoras de vidrio para instalación. ....	26
Figura 6.	Instalación previa de soportes para placa receptora de vidrio. ....	27
Figura 7.	Placa receptora con muestra de partículas.....	27
Figura 8.	Traslado de muestras de PST al laboratorio de la EAPIAC-UNC.....	29
Figura 9.	Pesado respectivo de placas en el laboratorio de la EAPIAC-UNC. Izquierda: Peso inicial de la placa “PRM 3” sin PST. Derecha: Peso final de la placa “PRM 3” con PST.....	29
Figura 10.	Porcentaje de muestras de partículas sólidas totales superiores al límite establecido por la OMS.....	31
Figura 11.	Promedio de PST por punto de monitoreo y su relación con el LMP de la OMS .....	34
Figura 12.	PST promedio según muestreo y tipo de rodadura de la carretera del tramo Celendín - José Gálvez.....	35
Figura 13.	Rosa de vientos quincenales ( $m s^{-1}$ ) del 17 de setiembre al 16 de noviembre de 2018 .....	37
Figura 14.	Relación de concentraciones de PST versus humedad relativa (%) por cada periodo de muestreo.....	38
Figura 15.	Relación de concentraciones de PST versus precipitación (mm) por cada periodo de muestreo 2018 .....	38



## RESUMEN

En la presente investigación se determinaron la concentración de partículas sólidas totales (PST) en la atmósfera de la carretera del tramo Celendín - José Gálvez, el objetivo fue de determinar la cantidad de partículas sólidas totales (PST) mediante el método gravimétrico en la atmósfera de la carretera del tramo Celendín - José Gálvez, durante los meses de setiembre a noviembre de 2018, donde se utilizó como instrumentos a placas receptoras de 10 cm<sup>2</sup> con adherente dispuestas en 9 puntos de monitoreo y distribuidas en toda la vía, siendo recolectadas en 4 muestreos quincenales (n=72), las mencionadas placas fueron colocadas cerca de poblaciones urbanas y rurales expuestas a la contaminación por partículas. Al término de la investigación se obtuvo concentraciones de partículas sólidas totales (PST) con variaciones mensuales entre 25.43 tkm<sup>-2</sup>mes<sup>-1</sup> a 72.85 tkm<sup>-2</sup>mes<sup>-1</sup>, siendo El Milagro el punto de monitoreo con el menor registro de 3.79 tkm<sup>-2</sup>mes<sup>-1</sup> para el mes de setiembre y Teresa Conga Alto el punto de monitoreo con la mayor concentración promedio mensual de 191 tkm<sup>-2</sup>mes<sup>-1</sup> en el mes de octubre; evidenciando que el 77.78% de puntos monitoreados se encuentran trasgrediendo el límite establecido. Concluyendo que las partículas sólidas totales (PST) en la atmósfera de la carretera del tramo Celendín - José Gálvez superan el límite referencial de la Organización Mundial de la Salud de 5 tkm<sup>-2</sup>mes<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** atmósfera, carretera, límite máximo permisible, monitoreo, partículas sólidas totales.

## ABSTRACT

In the present investigation, the concentration of total solid particles (PST) in the atmosphere of the road of the Celendín - José Gálvez section was determined, the objective was to determine the amount of total solid particles (PST) by the gravimetric method in the atmosphere of the road of the Celendín - José Gálvez section, during the months of September to November 2018, where 10 cm<sup>2</sup> receiver plates with adherent were used as instruments arranged in 9 monitoring points and distributed throughout the road, being collected in 4 biweekly samples (n = 72), the mentioned plates were placed near urban and rural populations exposed to particle contamination. At the end of the investigation, total solid particle concentrations (TSP) were obtained with monthly variations between 25.43 tkm<sup>-2</sup>mes<sup>-1</sup> to 72.85 tkm<sup>-2</sup>mes<sup>-1</sup>, El Milagro being the monitoring point with the lowest record of 3.79 tkm<sup>-2</sup>mes<sup>-1</sup> for the month of september and Teresa Conga Alto the monitoring point with the highest average monthly concentration of 191 tkm<sup>-2</sup>mes<sup>-1</sup> in the month of october; evidencing that 77.78% of monitored points are transgressing the established limit. Concluding that the total solid particles (PST) in the road atmosphere of the Celendín - José Gálvez section exceed the World Health Organization's reference limit of 5 tkm<sup>-2</sup>mes<sup>-1</sup>.

**Keywords:** atmosphere, road, maximum permissible limit, monitoring, total solid particles.

## CAPÍTULO I

### I. INTRODUCCIÓN

El hombre ha contaminado la atmósfera con gases perniciosos y partículas producidas por vehículos a motor que han empeorado el problema año tras año (Sans y De Pablo 1999). La contaminación atmosférica actualmente es uno de los mayores riesgos para la salud humana, bienes y medio ambiente por la presencia o acumulación de contaminantes en el aire como polvo, humos, gases (Arellano 2002).

De acuerdo con la OMS (2005) el material particulado (MP) suspendido en el aire y sus efectos en la salud pública coinciden en poner de manifiesto efectos adversos para la salud con las exposiciones que experimentan actualmente las poblaciones urbanas, tanto en países desarrollados y subdesarrollados, donde los efectos a la salud son múltiples, pero afectan principalmente los sistemas respiratorio y cardiovascular.

En 1973 se logró determinar un total de 32 000 000 toneladas de partículas contaminantes del aire, de las cuales, los vehículos a motor producen 900 000 toneladas, equivalente al 2.8% del total generado en los Estados Unidos (Wark y Warner 1995).

Las partículas en el mundo demuestran que en su mayoría superan las normas de calidad del aire, existiendo problemas de contaminación respecto al material particulado (Pérez-Vidal *et al.* 2010). Reportando valores críticos de calidad de aire que vulneran la norma diaria presente en zonas con mayor tráfico vehicular (Candanoza *et al.* 2013). Los niveles de contaminación en el Perú por material particulado, evidencian que el 73% de estaciones sobrepasan el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud (SENAMHI 2008).

La provincia de Celendín cuenta con diversas vías de comunicación que propicia la generación de partículas sólidas totales (PST), existiendo escasa información relacionada a esta problemática. Las personas que están expuestas, conviven a diario con la contaminación de su medio ambiente por partículas ocasionada por el parque automotor en carreteras. Por lo cual es necesario saber las cantidades de PST en la carretera Celendín a José Gálvez.

La carretera que une las ciudades de Celendín y José Gálvez es una vía vecinal conformada por 2.56 km de vía asfaltada y 4.64 km de vía afirmada<sup>1</sup>. En la actualidad, el tramo de vía afirmada tiene un índice medio diario de 105 vehículos por día<sup>2</sup>, donde se evidencia la presencia de partículas sólidas totales (PST) que superan los límites máximos permisibles de  $5 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$  establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), debido a sus principales actividades a las que se atribuye la generación de partículas, como el tránsito vehicular y el incremento de vehículos motorizados particulares. Afectando la salud de personas de pueblos aledaños, vegetación, animales y bienes materiales.

La presente investigación, surgió con el propósito de determinar las cantidades de partículas sólidas totales (PST) en la carretera que une las ciudades de Celendín y José Gálvez, durante los meses de setiembre a noviembre de 2018, donde se utilizó el método gravimétrico con placas receptoras que fueron instaladas en 9 puntos de monitoreo identificados, que expuestas quincenalmente se recolectaron en 4 ocasiones, verificando que los valores estén por debajo del límite referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Es de gran importancia medir la concentración de partículas sólidas totales generadas por el transporte público, ya que las condiciones actuales de la vía Celendín – José Gálvez tiene una relación directa con la calidad de aire, siendo de necesidad pública verificar que los valores investigados se encuentren por debajo del valor guía establecido por la Organización Mundial de la Salud. Esperando que los resultados obtenidos utilicen las autoridades correspondientes en la implementación de medidas que ayuden a disminuir la cantidad de este contaminante.

### **1.1. Formulación del problema**

¿Cuál es la cantidad de partículas sólidas totales (PST) obtenidas mediante el método gravimétrico en la atmósfera de la carretera del tramo Celendín - José Gálvez?

---

<sup>1</sup> Instituto Vial Provincial de Celendín. 2018. CARTA N° 021-2018-IVP-C/JO (Anexo 1)

<sup>2</sup> Instituto Vial Provincial de Celendín. (Anexo 2)

## **1.2. Objetivo de la investigación**

### **1.2.1. Objetivo General**

- Determinar la cantidad de partículas sólidas totales (PST) mediante el método gravimétrico en la atmósfera de la carretera del tramo Celendín - José Gálvez.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Cuantificar las cantidades de partículas sólidas totales (PST) mediante el método gravimétrico en la atmósfera de la carretera del tramo Celendín – José Gálvez.

## **1.3. Hipótesis de la investigación**

La cantidad de partículas sólidas totales (PST) obtenidas mediante el método gravimétrico en la atmósfera de la carretera del tramo Celendín - José Gálvez, superan los límites máximos permisibles de  $5\text{tkm}^2\text{mes}^{-1}$  establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

## CAPÍTULO II

### II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Candanoza *et al.* (2013) en el trabajo de investigación “Relación de partículas respirables (PM<sub>10</sub>) y partículas gruesas (PST) en la ciudad de Santa Marta (Colombia)”. Donde se usaron muestreadores de alto volumen para el análisis de la relación entre PM<sub>10</sub> y PST permitiendo identificar zonas de la ciudad y ciertas épocas del año donde la variación en la concentración de estos parámetros. Las muestras fueron tomadas desde enero de 2009 a julio de 2010, para PST la máxima concentración fue de 381  $\mu\text{g m}^{-3}$  en la estación de Zaleza mientras que la mínima fue de 40.32  $\mu\text{g m}^{-3}$  en la estación de Espa. Se reportaron 10 excedencias a la concentración máxima diaria permisible (300  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), todas ellas en la estación Zaleza.

Rojano *et al.* (2013) en su investigación se determinó niveles de partículas sólidas totales (PST), PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en la ciudad de Riohacha, Colombia. Utilizando un muestreador de alto volumen para PST y PM<sub>10</sub> y un muestreador de bajo volumen para PM<sub>2.5</sub>, en seis estaciones de monitoreo. Los resultados obtenidos fueron que el promedio de PM<sub>10</sub> varió desde 43.69 a 19.47  $\mu\text{g m}^{-3}$ , mientras que las PST varió de 86.02 a 27.38  $\mu\text{g m}^{-3}$  y las PM<sub>2.5</sub> mostró un promedio de 14.57  $\mu\text{g m}^{-3}$ . Las PST pueden implicar la presencia de PM<sub>10</sub> en la ciudad (R=0.795), pero las PM<sub>10</sub> no implica la presencia de PM<sub>2.5</sub> necesariamente (R=0.035).

Pérez-Vidal *et al.* (2010) en el trabajo de investigación denominado “Análisis de partículas sólidas totales (PST) y partículas fracción respirable (PM<sub>10</sub>) en la ciudad de Cunduacán, Tabasco” en México, donde se midió la concentración, obteniendo muestras con filtros de fibra de vidrio colocados en equipos muestreadores de alto volumen siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas. El periodo de muestreo de PST se llevó a cabo desde enero del 2001 a octubre de 2003; y las PM<sub>10</sub> de febrero 2001 a octubre de 2003. La máxima cantidad máxima de PST fue de 335.45  $\mu\text{g m}^{-3}$  en mayo del 2003, mientras que el valor mínimo fue de 4.39  $\mu\text{g m}^{-3}$  en octubre del 2001, donde los límites fueron superados en el año 2003. Durante el periodo 2001-2003, las PM<sub>10</sub> excedió la norma de calidad del

aire establecida ( $150 \mu\text{g m}^{-3}$ ), por lo que se detectan problemas de contaminación con material particulado en Tabasco cuyos efectos aún no han sido evaluados.

Flores (2017) en su investigación determinó la cantidad de polvo atmosférico sedimentable (PAS) en la ciudad de Morales, provincia de San Martín - Perú, mediante el método de muestreo pasivo con el uso de placas petri. Donde de 5 puntos de monitoreo, 2 puntos estuvieron por encima de lo establecido por la OMS ( $0.5 \text{ mg cm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ ): Punto 1: Sector terminal terrestre con  $0.63 \text{ mg cm}^{-2}\text{mes}^{-1}$  y el punto 5: Sector I.E. Francisco Izquierdo Ríos con  $0.68 \text{ mg cm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ , lo que implica riesgo para la salud de niños, madres gestantes y ancianos. Por otro lado, se resalta las actividades económicas desarrolladas en zonas adecuadas que no superan los límites establecidos, en comparación a ubicadas en lugares inadecuados.

Rodríguez (2017) estudió el polvo atmosférico sedimentable y su incidencia en las infecciones respiratorias agudas en el distrito de Los Olivos, Lima (Perú), usando el método gravimétrico de placas, registrando en la semana 11 concentraciones de PAS más altas con  $15.138 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$  sobrepasando el límite establecido por la OMS ( $5 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ ). En esa semana se notificaron el mayor número de morbilidad por infecciones respiratorias agudas para niños menores de 5 años.

Merino (2017) en su estudio se logró evaluar la cantidad de polvo atmosférico sedimentable que retienen las especies arbóreas de *Ficus benjamina* y *Schinus terebinthifolius* en la región de Lima – Pueblo Libre (Perú). Utilizando el método de gravimetría espectrometría, consiguiendo determinar que existen diferencias de retención de PAS en la especie *Ficus benjamina* por zona, siendo en la zona residencial la con mayor retención de  $152.54 \text{ mg kg}^{-1}$  de materia seca y en la zona comercial logro una retención de  $64.08 \text{ mg kg}^{-1}$  de materia seca. Por otro lado, la especie de *Schinus terebinthifolius* logró retener en la zona residencial  $82.88 \text{ mg kg}^{-1}$  de materia seca, mientras que en la zona comercial alcanzó hasta  $91.50 \text{ mg kg}^{-1}$  de materia seca, encontrando metales pesados como cobre, plomo, cadmio, Cinc, manganeso, hierro y arsénico en ambas especies.

Lozano (2013) en su investigación realizó la determinación de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) en la ciudad de Moyobamba, San Martín - Perú, logrando establecer 15 estaciones de monitoreo aplicando el método de muestreo pasivo con

placas petri en 3 zonas de muestreo. Los resultados fueron de un promedio final de  $0.70 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{mes}^{-1}$  superando en  $0.20 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{mes}^{-1}$  a los límites establecidos por la OMS ( $0.5 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{mes}^{-1}$ ). Los resultados promedio de la Zona 01: Centro de la ciudad fue de  $0.6 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{mes}^{-1}$ , mientras que en la Zona 02: Intermedia de la ciudad fue de  $0.9 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{mes}^{-1}$ , asimismo en la Zona 03: periferia de la ciudad se obtuvo un promedio de  $0.6 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{mes}^{-1}$ , superando el límite referencial en todas las zonas y poniendo en riesgo la salud de los habitantes.

Duran y Alzate (2009) en su trabajo de “Intercepción de partículas sólidas totales (PST) por cinco especies de árboles urbanos en el valle de Aburrá”, Colombia. Evaluando la capacidad de retención de PST mediante cuantificación de sólidos presentes en el follaje de las especies, analizando características foliares influyentes en la retención de PST. Logrando encontrar que la *Syzygium malaccense* y *Lagerstroemia Speciosa*, son las más eficientes en retención de PST, estimándose que 1379 individuos pertenecientes a las cinco especies evaluadas y establecidas, interceptan 658 kg por año.

SENAMHI (2008), en la evaluación de la contaminación atmosférica de Lima y Callao. Utilizando el método gravimétrico para la determinación de contaminantes sólidos sedimentables a través de placas receptoras, se consiguió identificar niveles de contaminación en los principales núcleos de Lima, los resultados fueron en promedio superiores a los registrados al mes de noviembre. La configuración resultante fue de 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo: Lima norte con  $37,0 \text{ tkm}^{-2}.\text{mes}^{-1}$ ; el segundo: Lima centro-este con un valor medio de  $22,8 \text{ tkm}^{-2}.\text{mes}^{-1}$ ; el tercero: Lima sur-este con  $24,5 \text{ tkm}^{-2}.\text{mes}^{-1}$ ; y el cuarto: Lima sur con una media de  $34,6 \text{ tkm}^{-2}.\text{mes}^{-1}$ . El 73 % de las estaciones sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud ( $5 \text{ tkm}^{-2}.\text{mes}^{-1}$ ).

Silva y Montoya (2004) en su análisis de la relación entre el comportamiento estacional de los contaminantes sólidos sedimentables con las condiciones meteorológicas predominantes en la zona metropolitana de Lima y Callao. Empleando datos de 24 estaciones de muestreo, con respecto al comportamiento de la componente meteorológica de la zona. Obteniendo una concentración media de polvo atmosférico de  $10.3 \text{ tkm}^{-2}.\text{mes}^{-1}$ , donde el 84% de estaciones de muestreo superaron el valor referencial permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud de 5



$\text{tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ . Además, durante todos los meses se supera el valor referencial en más del 50% de las estaciones, con excepción de áreas costeras y algunos distritos residenciales.

Roncal (2008) en el monitoreo de contaminantes sólidos sedimentables en la ciudad de Celendín durante el periodo abril – junio del 2008, Cajamarca (Perú), utilizando el método gravimétrico con placas colectoras metodología aprobada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Los resultados obtenidos presentaron la carga más alta de CSS en el punto N°18 (Jirón Grau con el Jirón Junín), con un promedio de  $40 \text{tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ ; mientras que en los puntos de monitoreo N° 01 (Celendín) y el N°25 (Jr. Dos de Mayo frente al Colegio Agropecuario), presenta la mayor carga promedio de CSS, con  $30 \text{tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ . La concentración de CSS en la ciudad de Celendín, osciló entre menos de  $5 \text{tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$  a más de  $30 \text{tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ ; indicador de riesgo contra la salud de los pobladores, especialmente en niños, gestantes, adulto mayor y pacientes. En un 71 por ciento de los puntos monitoreados, se supera el límite máximo permisible de  $5 \text{tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$  establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Contaminación del aire**

Arellano (2002), manifiesta que la contaminación del aire representa en la actualidad uno de los mayores riesgos para la salud humana y el medio ambiente. La lista de problemas que ocasiona y agrava es muy amplia: problemas pulmonares, que son comunes y persistentes en los lugares donde el grado de contaminación es muy alto; también causa irritación en ojos, nariz y garganta. A la vegetación y a los cultivos los daña por la emisión de vapores ácidos generados.

La contaminación atmosférica, es la impurificación de la atmósfera por la inyección y permanencia temporal en ella de materias gaseosas, líquidas o sólidas ajenas y superiores a su composición natural (Orozco *et al.* 2003).

INEI (2005) menciona que los elementos contaminantes del aire evaluados por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) son las partículas totales en

suspensión (PTS), partículas inferiores a 2,5 micras ( $PM_{2,5}$ ), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ), plomo (Pb).

### **2.2.2. Partículas sólidas totales (PST)**

Las PST son el resultado de la incineración, pulverización o combustión y se emiten directamente al aire, o se pueden producir a través de las reacciones fotoquímicas con los contaminantes del aire, causando diversos problemas a la salud humana, para su detección, análisis y captura se utilizan métodos gravimétricos que se analizan posteriormente en el laboratorio (Arellano 2002).

INE-SEMARNAT (2011) señala que las partículas, son el indicador original de la calidad del aire respecto a partículas, las que comprenden tamaños que van desde 0.005 a 100 micrómetros o micras ( $\mu m$ ) de diámetro aerodinámico, desde unos cuantos átomos hasta aproximadamente el grosor del cabello (70  $\mu m$ ) (EPA 1999).

Las partículas de aerosoles suspendidas en el aire, de menos de 2,5 micras de diámetro ( $PM_{2,5}$ ) generalmente se refieren como “finas” y las mayores a 2,5 micras como gruesas, las partículas gruesas y finas, en general, se originan separadamente, se transforman separadamente, son removidas de la atmósfera por diferentes mecanismos, requieren diferentes técnicas para su remoción de las fuentes, tienen diferente composición química, diferentes propiedades ópticas y difieren en sus patrones de deposición en el tracto respiratorio (Corleto y Cortez 2012).

Las partículas de polvo sólidas son de diámetro menor a 75  $\mu m$  que se sedimentan gravimétricamente, pero que permanecen por algún tiempo suspendidas en el aire (DIGESA 2005).

INEI (2005) indica que las partículas totales en suspensión son partículas sólidas o líquidas conformadas por polvo, hollín y pequeñas gotas de vapores, según la OMS en cantidades que sobrepasan el límite permitido ocasionan la disminución en la capacidad respiratoria y problemas cardiovasculares, además de baja visibilidad. En la vegetación evita la llegada de rayos solares, que impiden procesos vitales.

### **2.2.3. Fuentes de partículas sólidas totales**

Las partículas son de fuentes diversas y abarcan desde las naturales, como polvo volcánico y tolvaneras, hasta las de origen antropogénico, que incluyen fábricas de acero, plantas de generación de energía, cementeras, fundidoras, obras de construcción y demolición, hornos y chimeneas que utilizan madera como combustible, áreas sujetas a erosión y motores diésel (Pérez-Vidal *et al.* 2010).

Las fuentes de contaminación antropogénica según su localización son fijas o móviles (Orozco *et al.* 2003).

#### **A) Fuentes móviles**

Son producidos por los vehículos de motor utilizados en el transporte (Orozco *et al.* 2003).

De acuerdo con Mihelcic y Zimmerman (2011) los principales contribuyentes a las emisiones de fuentes móviles en carreteras, son los automóviles y camiones.

#### **B) Fuentes fijas**

Se localizan en un punto determinado como la combustión estacionaria, industriales, domésticos y vertederos (Orozco *et al.* 2003).

Las fuentes puntuales pueden ser grandes e ingresar a la atmósfera desde una pila como plantas de carbón, o pueden ser pequeñas como las estaciones de gas, e incluso de un área más grande como un proceso que emite a nivel regional por ejemplo emisiones de partículas llevadas por el aire desde un sitio de construcción o desde un campo agrícola (Mihelcic y Zimmerman 2011).

### **2.2.4. Composición**

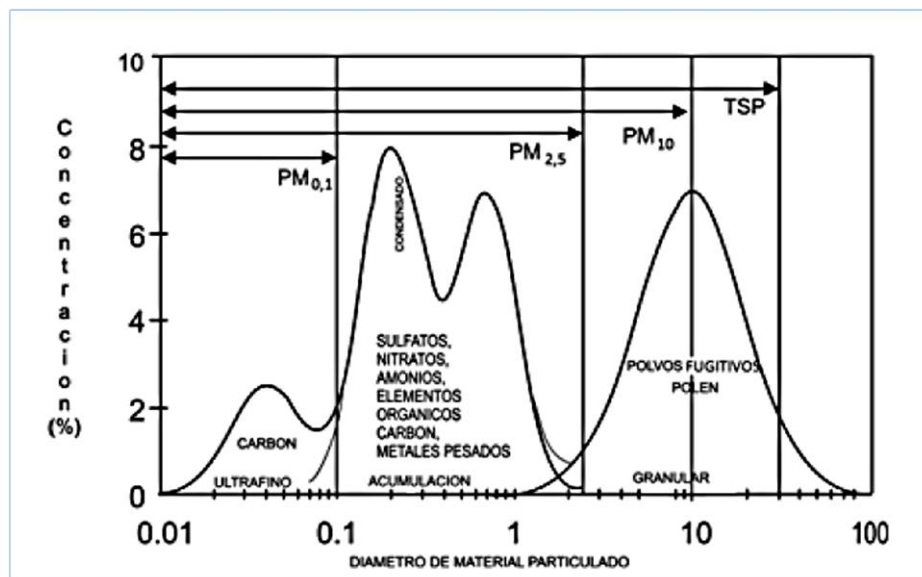
Wark y Warner (1995) las partículas de polvo transportadas por el viento pueden contener sustancias tóxicas como bifenilos policlorados, ozono, bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, fluoruros, arsénico, plomo, benceno, butadieno, plaguicidas, polen, hollín, las cuales pueden tener un efecto en la salud a corto y largo plazo. Estos efectos van desde irritación de ojos y garganta hasta la

reducción de la resistencia a infecciones y pueden dar origen a enfermedades respiratorias crónicas (INEI 2005).

### 2.2.5. Clasificación de partículas en el aire

Por lo general las partículas arrastradas por el aire son de 0,001 a 500 micras, según Adame y Salín (2000).

De acuerdo con la UNMSM (2004), las partículas totales en suspensión (PTS) de diámetro inferior o igual a 100  $\mu\text{m}$ , se clasifican como: partículas gruesas ( $\text{PM}_{10}$ ) inhalables en suspensión con tamaños menores o iguales a 10  $\mu\text{m}$  y partículas finas ( $\text{PM}_{2,5}$ ) con tamaños menores o iguales a 2,5  $\mu\text{m}$  (Watson y Crow 2000).



**Figura 1.** Distribución típica de las partículas en la atmósfera.  
**Fuente:** Watson y Crow 2000

#### $\text{PM}_{10}$

Son pequeñas partículas gruesas sólidas o líquidas de polvo, ceniza, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera y cuyo diámetro aerodinámico es menor que 10  $\mu\text{m}$  y mayor a 2,5  $\mu\text{m}$ . Están formadas principalmente por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados entre otros, y material orgánico asociado al hollín (INEI 2018).

#### $\text{PM}_{2,5}$

El material particulado (PM) de diámetro aerodinámico inferior a 2,5 micras, tan pequeñas que pueden ser detectadas solo con un microscopio electrónico, las fuentes

de las partículas finas incluyen todo tipo de combustiones, incluidas la de los vehículos automóviles, plantas de energía, quema residencial de madera, incendios forestales entre otros procesos industriales (INEI 2018).

#### **2.2.6. Duración de partículas sólidas totales en la atmósfera**

Wark y Warner (1995) señala que las partículas arrastradas por el aire y removidas por gravimetría, varían de tamaño mayores a  $0.001 \mu\text{m}$ , pero menores de  $500 \mu\text{m}$  tienen una vida media en suspensión que va desde unos cuantos segundos hasta varios meses. Las partículas menores de  $20 \mu\text{m}$  permanecen algunas horas, y las de  $2$  y  $3 \mu\text{m}$  permanecen entre  $2$  a  $4$  días, siendo las de  $0.1$  a  $1 \mu\text{m}$  las que mayor tiempo de suspensión poseen yendo de días a varias semanas y son removidas por precipitación pluvial (INE-SEMARNAT 2011).

Viana (2003) los factores que afectan las PST en el ambiente son la superficie, el tamaño de las partículas, la humedad y su densidad.

**Superficie.** En su gran mayoría los suelos son fuentes limitadas. La disminución de las partículas suspendibles está en función inversa al tiempo corto con ausencia de pulverización o combustión. Cuando las superficies son afectadas permanentemente por los vientos intensos, por el intenso tráfico vehicular y otras actividades antropogénicas se crea un depósito limitado que emite partículas de polvo.

**Tamaño.** El tamaño de las partículas afecta los procesos de suspensión y reduce las PST en el aire. Las partículas con diámetros deformes aerodinámicamente y de tamaños menores a  $20$  micras, son más difíciles de ser suspendidas.

**Humedad.** El agua adherida a las partículas de suelo logra un incremento de su masa, disminuyendo la suspensión y transporte. La excesiva humedad causa que el polvo se adhiera en las llantas de los vehículos, llevándolo fuera del área de emisión, siendo depositado en el pavimento u otro tipo de superficie logrando suspenderse y convirtiéndose en nueva área de emisión.

**Densidad.** La velocidad de una partícula en respuesta a fuerzas gravitatorias o de inercia, aumenta en relación a la raíz cuadrada de su densidad.

### **2.2.7. Monitoreo**

El monitoreo es necesario, para determinar la calidad del aire, realizar un buen monitoreo de los contaminantes, es primordial en cualquier programa de control. Existen dos áreas básicas donde el monitoreo actual tiene lugar: en el ambiente y en la fuente (Arellano 2002).

Los equipos de monitoreo utilizados se presentan en diversas formas y tamaños, principalmente en forma de tubos, baldes, recipientes rectangulares o discos (DIGESA 2005).

Para evaluar la exposición de la población y cumplir con las guías de salud se debe tener en cuenta ciertos aspectos básicos: ¿Dónde está la población? ¿Cuáles son las concentraciones a las que la población está expuesta? ¿Por cuánto tiempo? ¿En qué áreas y microambientes es importante la exposición? (CEPIS y OPS 2004).

### **2.2.8. Muestreadores de partículas**

La DIGESA (2005) hace mención sobre los más importantes en monitoreo de acuerdo a su precisión y confiabilidad que son: muestreadores pasivos, muestreadores activos, analizadores automáticos y sensores remotos.

#### **Muestreadores pasivos**

Método simple, económico y eficaz en áreas con bajo, medio o alto nivel de contaminación, es usado en muestreos a largo plazo que puede ser semanal o mensual, no reportan niveles de contaminación en el corto plazo. Es la opción de monitoreo más económica para realizar el sondeo de la calidad del aire en un área determinada y además te permiten muestrear varios puntos del área de interés ayudando a identificar lugares donde hay alta concentración de contaminantes, como las vías principales o las fuentes de emisión. Para aprovechar al máximo esta técnica, se debe hacer un estudio cuidadoso, vigilando procedimientos que aseguren y controlen la calidad, seguidos en el laboratorio para el análisis de la muestra (DIGESA 2005).

Los muestreadores pasivos hacen uso de leyes físicas o químicas de la naturaleza, como son la gravimetría (Oliva *et al.* 2001)

### **2.2.9. Método Gravimétrico.**

La mayoría de métodos en la evaluación de la contaminación del aire por partículas se basa en la gravimetría, basado en principios aerodinámicos de las partículas en el aire (Oliva *et al.* 2001)

Método que se usa para medir el material particulado empleando principios gravimétricos. La gravimetría se refiere a la medición del peso. El peso final con contaminante recolectado menos el peso inicial limpio da como resultado la cantidad de partículas obtenidas (UNMSM 2004)

### **2.2.10. Criterios en la ubicación de puntos de muestreo.**

CEPIS y OPS (2004) indica que se deben tener en cuenta distintos factores como:

#### **Las unidades socio – económicas**

Se toma en cuenta las actividades económicas como: lugares donde se encuentra la mayor concentración del comercio, calles de la ciudad con mayor tránsito vehicular y locales con mayor confluencia poblacional.

#### **Geografía**

Los puntos de muestreo se ubicarán considerando la topografía del área, para que sea accesible la toma de muestra sin dificultades.

#### **Dirección del viento**

La dirección predominante del viento determina el arrastre de las partículas.

#### **Infraestructura**

La ubicación de los puntos de monitoreo debe hacerse en una altura que garantice accesibilidad y protección por parte de la vivienda u otros.

### **2.2.11. Determinación del número de puntos de muestreo.**

El MINAM (2009) establece criterios para determinar el número de puntos de monitoreo que son como sigue:

- La población que habita en el área que se pretende vigilar.

- La problemática existente en el área y la representatividad de la estación.
- Los recursos económicos, humanos y tecnológicos disponibles.
- El número y ubicación de zonas de alta contaminación.

**Tabla 1.** Número de estaciones en función a la densidad poblacional - OMS.

<b>Promedio de Estaciones por Contaminante</b>						
<b>Población urbana (millones)</b>	<b>Parámetros de Monitoreo</b>					
	Partículas	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Oxidantes	CO	P. Met.
<b>Menos de 1</b>	2	2	1	1	1	1
<b>1 - 4</b>	5	5	2	2	2	2
<b>4 - 8</b>	8	8	4	3	4	2
<b>Más de 8</b>	10	10	5	4	5	3

Fuente: MINAM 2009

### **2.2.12. Ubicación de placas receptoras**

La ubicación para la toma de muestras deberá encontrarse entre 1.5 y 2.5 metros de altura sobre la superficie y la distancia a las carreteras o caminos de 2 a 10 metros del borde de la línea de tráfico más cercana (MINAM 2009)

El muestreo del sitio debe estar aproximadamente entre 1 a 5 metros de una vía muy transitada (CEPIS y OPS 2004).

### **2.2.13. Efectos en la salud**

Existe una fuerte relación entre concentraciones elevadas de partículas respirables (PM<sub>10</sub>) y un incremento en los niveles de mortalidad y morbilidad. El material particulado ya sea sólo o en combinación con otros contaminantes, como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), representa un grave riesgo para la salud, ya que las partículas menores de 10µm penetran directamente por las vías respiratorias y ocasionan alteraciones en este sistema respiratorio (Candanoza *et al.* 2013).

Las partículas solas o en combinación con otros contaminantes, representan un peligro muy grave para la salud, ya que ingresan al cuerpo humano principalmente por las vías respiratorias, causando daños a los órganos respiratorios. Se ha estimado que más del 50% de partículas de entre 0.001 y 0.1 micras penetran las cavidades pulmonares y se alojan allí (Wark y Warner 1995).



La Organización Mundial de la Salud (OMS) menciona que los efectos en la salud son amplios, y puede producirse en los sistemas respiratorio y cardiovascular y la población susceptible a estos efectos, varía según sea la salud o edad y las personas que practican deportes (CEPIS y OPS 2004).

La OMS establece un límite máximo permisible referencial equivalente a 5 toneladas por kilómetro cuadrado en un mes ( $5 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ ) (INEI 2005).

**Tabla 2.** Categorías generales de enfermedades humanas provocadas por contaminantes del aire.

<b>Categoría de la enfermedad</b>	<b>Descripción</b>
Irritación	El quemado de bajo nivel de los tejidos de la superficie respiratoria da resultados adversos, desde dificultades en la respiración hasta falla respiratoria. El ozono es uno de los contaminantes que provoca irritación considerable.
Daño a las células	Se genera por la introducción de contaminantes en la célula. Las partículas ultrafinas contribuyen a estas enfermedades.
Alergias	Los contaminantes pueden activar una liberación de histaminas para contrarrestar el invasor, resultando ciertas dificultades para respirar y la irritación de tejidos sensitivos (piel, ojos). Los pólenes causan estos efectos.
Fibrosis	Los contaminantes crean cicatrices permanentes en los tejidos del sistema respiratorio, resultando en un incremento de las dificultades para respirar y con frecuencia en la muerte. El asbesto es un contaminante que provoca esta enfermedad.
Oncogénesis	Los contaminantes pueden activar crecimiento de tejidos anormal y malignos que lleva al cáncer. Muchos contaminantes peligrosos del aire provocan cáncer.

**Fuente:** Mihelcic y Zimmerman 2011

#### **2.2.14. Efectos sobre los materiales, la vegetación y los animales**

Los medios ambientes contaminados corroen con mayor rapidez metales, las pinturas no duran, los neumáticos y otros artículos de caucho fallan por agrietamiento causado por el ozono (De Nevers 2000).

Wark y Warner (1995) advierte que las partículas causan daños a los bienes materiales ensuciando las superficies de la ropa y cortinas con solo asentarse sobre ellas; el costo de repintar interiores y exteriores de las casas; la limpieza y reposición de material textil; corrosión de bienes con superficies metálicas, se estima en cientos de millones de dólares al año. Mientras que las plantas sufren daños por la presencia de partículas con fluoruros mientras que el crecimiento se ve afectado por las

partículas con óxidos de magnesio y en los animales se han atribuido casos de fluorosis por la ingestión de vegetación cubierta con partículas con fluoruros. Por otro lado, existen casos de envenenamiento de ganado vacuno y ovino por la ingestión de plantas cubiertas por partículas con arsénico.

Al depositarse las partículas, recubren las hojas, tapando las estomas, lo que interfiere en la función clorofílica e impide su desempeño normal de la planta, deteniendo su crecimiento (Orozco *et al.* 2003).

### **2.2.15. Clasificación de carreteras por demanda**

El MTC (2018) clasifica las carreteras por demanda en: Autopistas de primera clase, autopistas de segunda clase, carreteras de primera clase, carreteras de segunda clase, carreteras de tercera clase y trochas carrozables.

#### **Carreteras de tercera clase**

Vías con índice medio diario anual (IMDA) menores a 400 vehículos por día, con calzada de dos carriles hasta de 3 m de ancho. Carreteras que pueden funcionar con soluciones denominadas económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, asfáltico y/o micro pavimento o en afirmado, en la superficie de rodadura.

#### **Trochas carrozables**

Vías transitadas por un IMDA menor a 200 vehículos por día, con ancho mínimo de 4m, en donde la superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.

### **2.2.16. Clasificación administrativa de la red vial**

#### **Sistema vecinal**

Son carreteras de carácter local, donde su jurisdicción está bajo el cargo de los Municipios y se les identifica con un círculo, la numeración es desde el 500 hacia delante (MTC 2018).

### **2.3. Definición de términos**

#### **Ambiente**

Conjunto de todas las condiciones externas que influyen sobre la vida, el desarrollo, y en última instancia, la supervivencia de un organismo (UNMSM 2004).

#### **Antropogénico**

Llamado también artificial y se refiere alteraciones provocadas por actividades humanas, fundamentalmente transporte, las combustiones y procesos industriales (Orozco *et al.* 2003).

#### **Atmósfera**

Mezcla de gases que rodea la tierra, conformada por un 78% de nitrógeno (N) y 21% de oxígeno (O) (Adame y Salín 2000)

#### **Carretera**

Vía o Camino fuera del ámbito urbano, destinado para el tránsito de vehículos motorizados de por lo menos dos ejes (MTC 2018)

#### **Carretera afirmada**

Carreteras en la cual la superficie de rodadura está formada por material graduado y dosificado (INEI 2017)

#### **Carretera asfaltada**

Carreteras en la cual la superficie de rodadura ya sea o no compacta está formada por pavimentación de asfalto (INEI 2017)

#### **Contaminación**

Presencia en el ambiente de cualquier agente o una asociación de varios contaminantes medibles en lugares, formas y concentraciones que sobrepasen los límites máximos permisibles (LMP) y ocasionan daño al ambiente, la salud, la seguridad o para el bienestar de la población (Molina 2010)

La contaminación es un cambio indeseable en las características físicas químicas y biológicas del aire, agua y suelo, que puede afectar negativamente al hombre, a los animales y plantas (Adame y Salín 2000)

### **Contaminante**

Cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza de un cuerpo y cuya concentración excede el nivel de fondo, susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente (UNMSM 2004).

### **Índice medio diario anual (IMD)**

Medida mas usada para caminos, utilizado para caracterizar el tránsito y se expresa en vehículos por día (MTC 2014).

### **Límites máximos permisibles (LMP)**

Norma establecida que mide la concentración de ciertos elementos, sustancias y/o aspectos físicos, químicos y/o biológicos, presentes en las emisiones, efluentes o descargas generadas por una actividad productiva, pues son a través de ellos que se puede afectar el aire, el agua o el suelo (SNMPE 2012).

### **Material particulado (PM)**

Mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se hallan en suspensión en el ambiente. El cual forma parte de la contaminación del aire (INEI 2018).

### **Monitoreo**

Seguimiento periódico con mediciones a la presencia de algún contaminante (UNMSM 2004).

### **Muestreo**

Es selección de un subconjunto de casos o individuos de una población. Una muestra estadística se obtiene con la intención de inferir las propiedades de la totalidad de la población, por lo que la muestra debe ser representativa (CEPIS y OPS 2004).

### **Partículas**

Conjunto de diminutas partículas sólidas y pequeñas gotas de líquido presentes en el aire y causan graves problemas de contaminación (Orozco *et al.* 2003).

Masas de materias que existe en estado sólido o líquido en la atmósfera en condiciones normales con velocidades de asentamiento diversos (Adame y Salín 2000).

### **Partículas sedimentables Totales (PST)**

Partículas sólidas presentes en el aire y pueden sedimentarse sobre cualquier superficie y está formada entre otras cosas por polvo, polen, hollín, humo (Spiro y Stigliani 1996)

Indicador original de calidad del aire de tamaños que van desde 0.005 a 100 micrómetros o micras ( $\mu\text{m}$ ) de diámetro aerodinámico (INE-SEMARNAT 2011)

### **Polvo**

Es la suspensión de partículas sólidas de forma irregular que proceden de diferentes fuentes de disgregación de materiales sólidos (Orozco *et al.* 2003).

Son las partículas sólidas de mayor tamaño que el coloidal, que pueden estar en suspensión en el aire por un tiempo determinado (Adame y Salín 2000). Debido a la desintegración mecánica, con tamaño de entre 0,1 y 0,5 micrones (Sans y De Pablo 1999)

## CAPÍTULO III

### III. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Ubicación geográfica

La presente investigación se ubica en el departamento de Cajamarca, provincia de Celendín, específicamente en la atmósfera de la carretera del tramo que comunica las ciudades de Celendín y José Gálvez (Fig. 2).

Celendín se encuentra ubicado a  $06^{\circ}52'05''$  de latitud sur y  $78^{\circ}08'56''$  de longitud oeste con una altitud de 2645 m.s.n.m. y el distrito de José Gálvez está ubicado a  $06^{\circ}55'31''$  de latitud sur y  $78^{\circ}07'58''$  de longitud oeste con una altitud de 2601 m.s.n.m. (INEI 2017)

La investigación se llevó a cabo del 17 de setiembre al 16 de noviembre del 2018, los datos fueron recolectados en 4 muestreos quincenales.

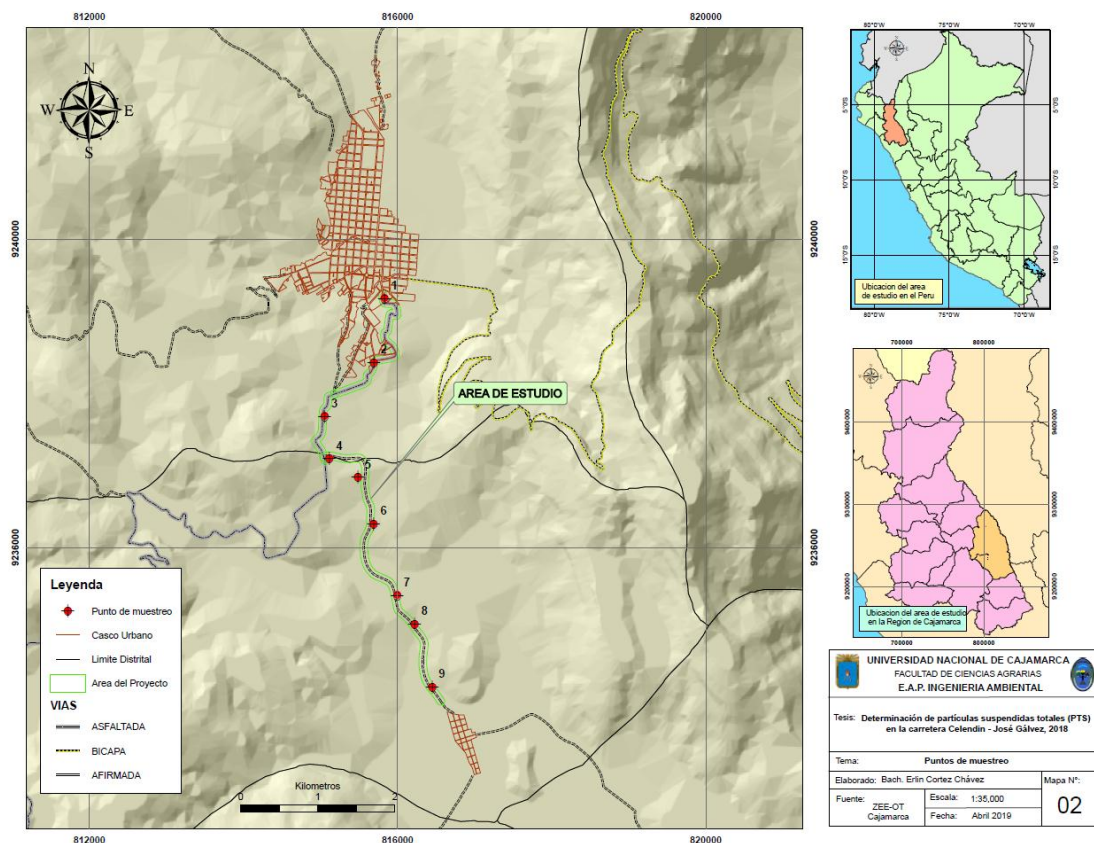


Figura 2. Ubicación del área de estudio y distribución de puntos de monitoreo.

### 3.2. Características del lugar

La ciudad de Celendín es la capital de la provincia que fue creada en la época de la independencia, cuenta con un área de 2641.59 kilómetros cuadrados y se encuentra formando parte del corredor turístico norte del Perú. Celendín como provincia cuenta con una población proyectada para el 2017 de 96003 habitantes distribuidos en sus 12 distritos. Celendín distrito cuenta solamente con 28267 habitantes entre hombres y mujeres. Además, José Gálvez es un distrito de la provincia de Celendín creado con el nombre de Huacapampa con Ley S/N de fecha 07 de noviembre de 1887 que al 2017 cuenta con una población proyectada de 2492 habitantes (INEI 2017).

Según datos históricos de la estación más cercana al área estudiada, la temperatura media mensual oscila entre 7°C a 20°C, la velocidad del viento superficial varía entre 1.6 y 6.5 m.s<sup>-1</sup> con dirección predominante del N, mientras que la precipitación pluvial media anual oscila en 400 mm y 1200 mm, por lo general las mayores precipitaciones se dan en zonas altas entre los meses de octubre a marzo. La humedad relativa es mayor en los meses de primavera y verano (octubre – marzo), en relación a los meses invernales (julio a setiembre). Los registros meteorológicos de la estación convencional meteorológica Celendín, para el periodo quincenal de muestreo de la presente investigación fueron: la temperatura mínima de 6.7°C y máximas de 24°C ambos en el mes de setiembre, la precipitación acumulada quincenal varió de 3 mm a 139.6 mm, con un 77.3% de humedad relativa promedio, siendo la dirección predominante del viento desde el norte (N) para todos los meses de muestreo, con velocidades mínimas de 1 m.s<sup>-1</sup> en el mes de noviembre y encontrando máximas de 8 m.s<sup>-1</sup> para el mes de octubre (SENAMHI 2018).

La accesibilidad a la ciudad de Celendín se puede hacer desde Cajamarca a través de la carretera asfaltada de 94 km con dirección NE. Luego de Celendín ciudad capital se llega a sus distritos por carreteras afirmadas

El Instituto Vial Provincial de Celendín 2018, menciona que la carretera del tramo Celendín a José Gálvez es una vía vecinal de 7.2 km de longitud conformada por 2.56 km de tramo asfaltado y 4.64 km de tramo afirmado. El tráfico está representado por un índice medio diario aproximado de 105 vehículos por día.

### **3.3. Materiales**

#### **3.3.1. Material de campo**

Placas receptoras de vidrio con área de 10cm<sup>2</sup> (10cm x 10cm).

Vaselina sólida (C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>).

Plumón indeleble.

Guantes de nitrilo.

Cámara fotográfica digital.

Receptor GPS.

Libreta de Campo.

Soportes para placas.

Martillo y Clavos.

Escalera.

Porta Placas y Mascarillas.

#### **3.3.2. Material y equipo de laboratorio**

Balanza analítica

Calculadora científica.

### **3.4. Metodología**

Para la presente investigación se utilizó la información de los 9 puntos de monitoreo, los cuales se establecieron teniendo en cuenta la existencia de poblados, ubicados a una altura de 2.5 metros y a una distancia del borde de la vía de 2 metros, por cada muestreo se utilizó 18 placas receptoras de vidrio de 10 cm x 10 cm untadas con adherente (vaselina) y luego distribuidas a lo largo de la carretera (2 placas por punto de monitoreo) y siendo recolectados en 4 ocasiones del 17 de setiembre al 16 de noviembre. Las muestras de PST fueron obtenidas por el método gravimétrico y llevadas inmediatamente al laboratorio para cumplir con los objetivos trazados en el



presente trabajo de investigación. En la tabla 3 se detalla las fuentes, técnica e instrumentos usados para la recolección de datos.

### 3.4.1. Trabajo de campo

Se hizo un reconocimiento de campo para la identificación de puntos de muestreo, seguido de la codificación y preparación de placas, luego su debida instalación y por último la recolección y reemplazo quincenal de placas saturadas de PST.

**Tabla 3.** Fuente, técnica e instrumento para la recolección de datos de la variable.

Variables	Recolección de datos		
	Fuente	Técnica	Instrumento
<b>Partículas sólidas totales</b>	Carretera del tramo Celendín a José Gálvez.	Gravimetría	Placas receptoras de vidrio de 10 cm <sup>2</sup>

#### A. Selección de los puntos de muestreo

Se fijaron puntos de monitoreo o muestreo por traslape de información localizando asentamientos poblacionales (INE-SEMARNAT 2011). Los lugares identificados por tramo de vía asfaltada fueron: Sevilla, El Milagro y Bellavista pertenecientes al distrito de Celendín. Mientras que para el tramo de vía afirmada se consideraron: Teresa Conga Alto, Teresa Conga (Celendín), El Tingo, El Torno y José Gálvez pertenecientes al distrito de José Gálvez. Estas zonas fueron consideradas vulnerables por estar expuestas a la contaminación por PST y propensas de adquirir alguna enfermedad respiratoria (CEPIS y OPS 2004).

#### Conteo vehicular

Se determinó el índice medio diario (IMD) a partir del registro volumétrico diario, durante una semana, expresado en vehículos por día aplicando la siguiente fórmula (MTC 2018).

$$IMD = \frac{\left( \frac{\text{Conteo}(\text{lunes} + \text{martes} + \text{miercoles} + \text{jueves} + \text{viernes})}{5} \right) + (\text{sabado} + \text{domingo})}{7}$$



**Figura 3.** Identificación de asentamientos poblacionales expuestos a PST. Izquierda: caserío El Paraíso. Derecha: Evidencia de PST en viviendas

**Tabla 4.** Cantidad de placas receptoras a utilizar por cada punto de monitoreo.

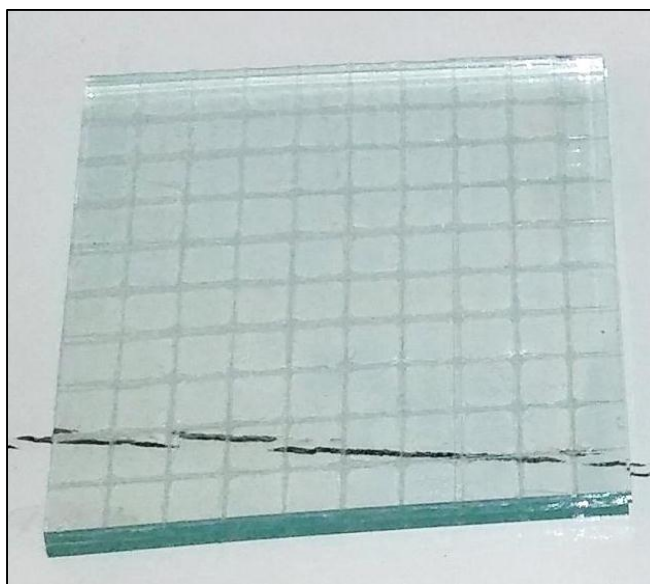
<b>N°</b>	<b>Punto de monitoreo</b>	<b>Cantidad de placas receptoras</b>	<b>Ubicación</b>
<b>1</b>	Sevilla	2	Av. Cajamarca-Barrio Sevilla, Ciudad de Celendín – tramo Asfaltado.
<b>2</b>	El Milagro	2	Vía Celendín-José Gálvez, barrio El Milagro - tramo Asfaltado.
<b>3</b>	Bellavista	2	Vía Celendín-José Gálvez, caserío Bellavista - tramo Asfaltado.
<b>4</b>	Teresa Conga Alto	2	Vía Celendín-José Gálvez caserío Teresa Conga alto - tramo Afirmado.
<b>5</b>	Teresa Conga	2	Vía Celendín-José Gálvez caserío Teresa Conga - tramo Afirmado.
<b>6</b>	El Tingo	2	Vía Celendín-José Gálvez, caserío El Tingo - tramo Afirmado.
<b>7</b>	El Torno	2	Vía Celendín-José Gálvez, sector El Torno - tramo Afirmado.
<b>8</b>	El Paraíso	2	Vía Celendín-José Gálvez, caserío El Torno - tramo Afirmado.
<b>9</b>	José Gálvez	2	Vía Celendín-José Gálvez, entrada a José Gálvez - tramo Afirmado.
<b>Total de placas</b>		18 placas utilizadas por muestreo	

**Tabla 5.** Codificación de placas receptoras para PST y su distribución en 9 puntos de monitoreo.

Puntos de monitoreo	Código de placa receptora	Coordenadas UTM WGS-84 zona 17 Sur	
		Norte	Este
Sevilla	PRS-01	815833.94	9239230.34
	PRS-02		
El Milagro	PRM-03	815695.65	9238400.47
	PRM-04		
Bellavista	PRB-05	815055.11	9237702.05
	PRB-06		
Teresa Conga Alto	PRTA-07	815117.52	9237155.60
Teresa Conga	PRTA-08		
	PRT-09	815487.60	9236913.70
	PRT-10		
El Tingo	PRTI-11	815689.52	9236308.13
	PRTI-12		
El Torno	PRTO-13	815996.59	9235382.34
	PRTO-14		
El Paraíso	PRP-15	816222.88	9235011.66
	PRP-16		
José Gálvez	PRJG-17	816450.73	9234196.90
	PRJG-18		

## B. Preparación de placas receptoras

La preparación de las placas receptoras se hizo en el laboratorio considerando los procedimientos necesarios a fin de evitar la contaminación previa al muestreo. A las placas previamente limpias, se le aplicó adherente uniforme con la ayuda de una paleta y haciendo uso de guantes, de tal manera que se cubrió toda la placa sin que exista un exceso de adherente (vaselina). Posteriormente se realizó la codificación y pesado inicial de placas receptoras en la balanza analítica calibrada; los pesos iniciales, fueron registrado en una ficha (Anexo 5) y en la libreta de campo.



**Figura 4.** Placa receptora de vidrio para recolectar muestras de PST.



**Figura 5.** Preparación de placas receptoras de vidrio para instalación.

### **C. Instalación de placas receptoras**

Luego se procedió a la instalación inmediata de placas receptoras el mismo día que se hizo el pesado, con la finalidad de no afectar los resultados, con la ayuda de una escalera, se instaló los soportes donde se colocaron las placas receptoras, a una distancia de 2 m de la vía, y a 2.5 metros de altura para evitar perturbaciones, en el periodo de exposición (CEPIS y OPS 2004).



**Figura 6.** Instalación previa de soportes para placa receptora de vidrio.

#### **D. Toma de muestras**

- Se colocó las placas en cada uno de los puntos de muestreo o monitoreo.
- Dejamos al aire libre las placas durante medio mes, en los lugares seleccionados.
- Retiramos las placas después del período de exposición e hicimos el remplazo respectivo entre las 15 horas y 17 horas, lapso de tiempo donde se redujo el tráfico<sup>3</sup>.
- Se trasladó las muestras obtenidas al laboratorio usando porta placas y con los cuidados correspondientes, para su respectiva evaluación.



**Figura 7.** Placa receptora con muestra de partículas.

<sup>3</sup> Instituto Vial Provincial de Celendín. 2018. CARTA N° 021-2018-IVP-C/JO (Anexo 2).

**Tabla 6.** Programa para la instalación y recolección de placas receptoras.

Puntos de monitoreo	Código de placa receptora	Fechas de instalación y evaluación de placas			
		(17/09/18-02/10/18)	(02/10/18-17/10/18)	(17/10/18-01/11/18)	(01/11/18-16/11/18)
Sevilla	PRS-01	15 días	30 días	45 días	60 días
	PRS-02	15 días	30 días	45 días	60 días
El Milagro	PRM-03	15 días	30 días	45 días	60 días
	PRM-04	15 días	30 días	45 días	60 días
Bellavista	PRB-05	15 días	30 días	45 días	60 días
	PRB-06	15 días	30 días	45 días	60 días
Teresa Conga Alto	PRTA-07	15 días	30 días	45 días	60 días
	PRTA-08	15 días	30 días	45 días	60 días
Teresa Conga	PRT-09	15 días	30 días	45 días	60 días
	PRT-10	15 días	30 días	45 días	60 días
El Tingo	PRTI-11	15 días	30 días	45 días	60 días
	PRTI-12	15 días	30 días	45 días	60 días
El Torno	PRTO-13	15 días	30 días	45 días	60 días
	PRTO-14	15 días	30 días	45 días	60 días
El Paraíso	PRP-15	15 días	30 días	45 días	60 días
	PRP-16	15 días	30 días	45 días	60 días
José Gálvez	PRJG-17	15 días	30 días	45 días	60 días
	PRJG-18	15 días	30 días	45 días	60 días

**Horario de muestreo:** Entre las 15:00 horas a 17:00 horas (Anexo 2)

### 3.4.2. Trabajo de laboratorio

Las placas recolectas con sus respectivas muestras de PST, se realizó las evaluaciones respectivas en el laboratorio de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNC, donde se utilizó la balanza analítica para determinar el peso de las placas con muestras de PST (peso final), llevando un registro de cada medición (Anexo 5). Las concentraciones de PST fueron determinadas por gravimetría en cada una de las estaciones de monitoreo.

EPA (1999) las partículas sólidas totales (PST) de diámetro menor a 100  $\mu\text{m}$  que sedimentan graviméricamente (DIGESA 2005). INE-SEMARNAT (2011) ya que la residencia de partículas en la atmósfera va desde segundos a meses (Wark y Warner 1995).



**Figura 8.** Traslado de muestras de PST al laboratorio de la EAPIAC-UNC.



**Figura 9.** Pesado respectivo de placas en el laboratorio de la EAPIAC-UNC. Izquierda: Peso inicial de la placa “PRM 3” sin PST. Derecha: Peso final de la placa “PRM 3” con PST.

### 3.4.3. Trabajo de gabinete

#### Procesamiento de datos

Aquí se hizo el uso de registros de los pesos inicial y final de PST de cada placa. Donde la concentración quincenal de dicho parámetro se determinó con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$PST_{(g)} = Pf_{(g)} - Pi_{(g)}$$

**Dónde:**

$PST$  = Partículas sólidas totales en gramos.

$Pf$  = Peso final después de la exposición en gramos.

$Pi$  = Peso inicial de la placa en gramos.

Y se estableció la siguiente relación:

$$PST_{(g)} \rightarrow 100cm^2 \text{ (Superficie de la placa de } 10cm \times 10cm)$$

$$X_{(g)} \rightarrow 1km^2 \text{ (Superficie en relacion con LMP)}$$

Convirtiendo los 100 cm<sup>2</sup> a km<sup>2</sup>; luego, el valor de X, que está expresado en gramos (g), tuvo que ser convertido a toneladas (t), (Roncal 2008). Seguidamente el resultado de las muestras obtenidas de PST se expresaron de manera mensual para realizar su respectiva comparación con el límite máximo permisible que establece la OMS respecto a partículas sólidas totales. Además, se promedió las PST por punto de monitoreo.

Los datos meteorológicos fueron tomados de la estación meteorológica del SENAMHI que se encuentra a 4 km del área de estudio.

El trabajo de gabinete involucró el procesamiento de datos, análisis e interpretación de la información preliminar, tablas, mapas y figuras que se muestra en la presente investigación, con la ayuda de programas como el Microsoft Excel 2015, AutoCAD 2018, ArGis 10.5 y WRPLOT View.



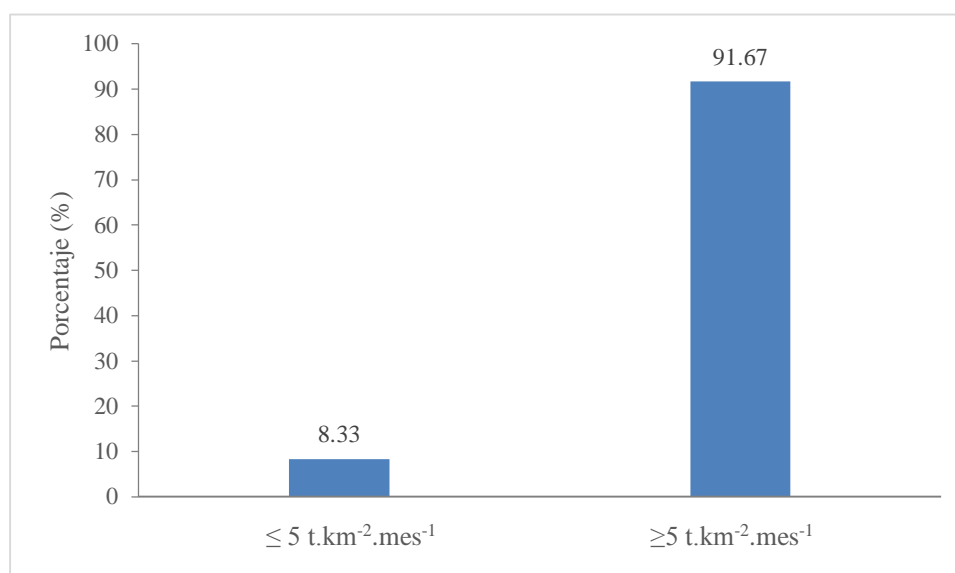
## CAPÍTULO IV

### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Determinación de la cantidad de PST en la atmósfera de la carretera del tramo Celendín - José Gálvez

**Tabla 7.** Valores muestrales de partículas sólidas totales superiores al límite establecido por la OMS.

Partículas sólidas totales	N° de muestras de PST	Error estándar	95% del intervalo de confianza		Porcentaje (%)
			Inferior	Superior	
Menores o iguales 5 tkm-2mes-1	6	0.0326	0.019	0.147	8.3
mayor a 5 tkm-2mes-1	66	0.0326	0.853	0.981	91.7
<b>Total</b>	<b>72</b>	-	-	-	<b>100</b>



**Figura 10.** Porcentaje de muestras de partículas sólidas totales superiores al límite establecido por la OMS.

De las 72 muestras obtenidas en la atmósfera de la carretera del tramo que une las ciudades de Celendín y José Gálvez, 66 (91.7%) muestras superan el límite referencial, y 6 (8.3%) muestras están acorde a lo establecido por la OMS. Por lo que las PST se encuentran afectando la salud de niños, adultos mayores y gestantes, guardando relación con en el estudio realizado por Roncal (2008) en la ciudad de Celendín donde sus evaluaciones de contaminantes sólidos sedimentables para calles pavimentadas superaron los límites establecidos por la OMS. Asimismo, Lozano

(2013) obtuvo concentraciones de PST que excedieron al límite de  $0.5 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{mes}^{-1}$  establecido por la Organización mundial de la salud.

**Tabla 8.** Promedio de partículas sólidas totales por punto de monitoreo obtenidas en los diferentes muestreos.

Capa de rodadura	Puntos de monitoreo	PST ( $\text{tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ )				Promedio por punto de monitoreo
		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	
		Setiembre	Octubre	Octubre	Noviembre	
Asfaltado	Sevilla	5.48	4.49	11.03	6.34	6.84
	El milagro	3.79	5.13	12.61	10.80	8.08
	Bellavista	5.01	11.14	15.44	11.19	10.70
Afirmado	Teresa Conga Alto	125.63	191.00	68.67	49.17	108.62
	Teresa Conga	82.90	35.82	51.78	19.78	47.57
	El Tingo	100.91	53.67	47.09	29.89	57.89
	El Torno	168.50	73.65	89.34	37.09	92.15
	El Paraíso	105.13	68.26	48.48	24.47	61.59
	José Gálvez	58.31	50.95	63.29	40.12	53.17
Promedio por mes de muestreo		72.85	54.90	45.30	25.43	

La relación de puntos monitoreados con el tipo de capa de rodadura se observa que el punto de monitoreo Teresa Conga Alto alcanzó el promedio mensual más elevado ( $191 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ ), en contraste con el LMP establecido por la OMS se supera claramente el límite referencial de  $5 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ , mientras que el punto de monitoreo El Milagro logró un bajo promedio ( $3.79 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ ) observándose gran variabilidad de resultados. Por la diferencia de abrasión de un lugar a otro viéndose afectadas permanentemente por las características propias del lugar donde se emite las partículas de polvo, vientos intensos, tráfico vehicular (Viana 2003). Por otra parte, influye también el material re-suspendido desde el suelo de vías cercanas, comportamiento que aumenta el nivel de contaminantes en el aire (Rojano *et al.* 2013).

De los puntos evaluados, solo dos puntos de monitoreo (22.22%) El Milagro y Sevilla se encuentra dentro del límite máximo permisible (LMP) establecido por la Organización Mundial de la Salud de  $5 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$  para los meses de setiembre y octubre respectivamente, es decir, que al menos un muestreo se encuentra dentro del límite establecido por la OMS. Mientras que los siete puntos monitoreados restantes (77.78%) se encuentran superando el límite establecido por la OMS, los porcentajes

son mayores en comparación con Roncal (2008), quien reportó que un 71% de puntos monitoreados en la ciudad de Celendín, sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud.

Silva y Montoya (2004) obtuvo concentraciones de hasta  $10.3 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ , donde el 84% de estaciones de muestreo superaron el valor referencial permisible establecido por la OMS de  $5 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ .

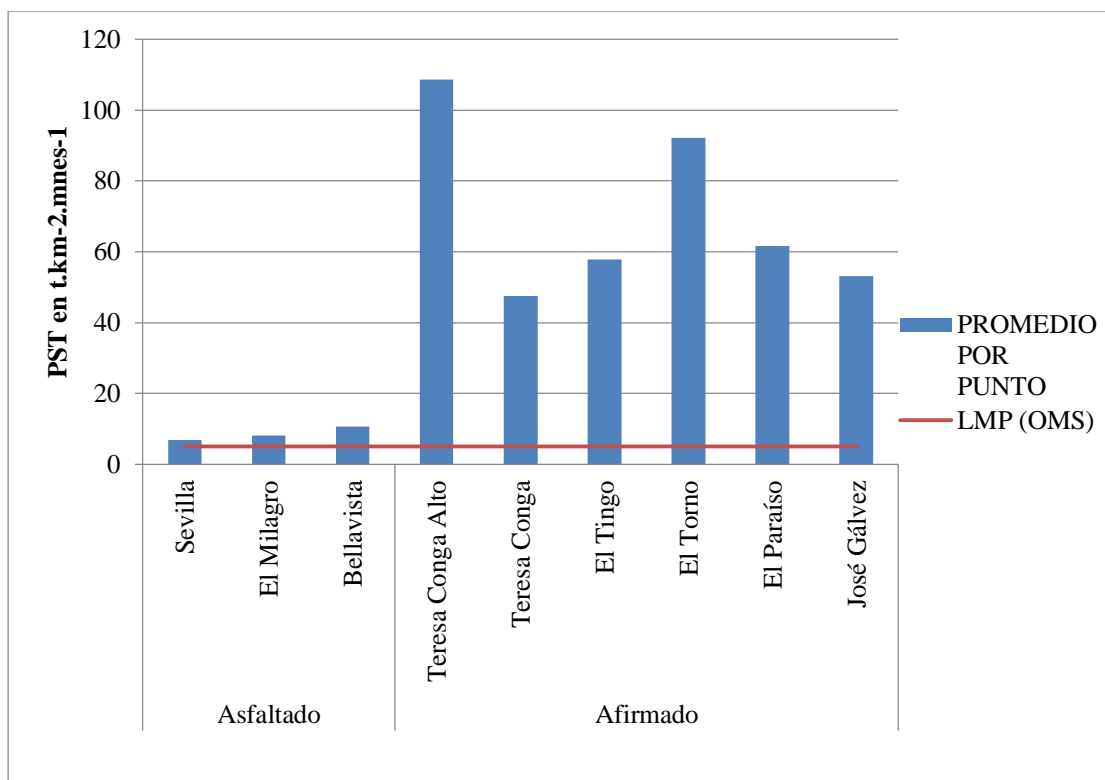
SENAMHI 2008 determinó un 73% de estaciones que sobrepasaron el nivel referencial por la Organización mundial de la salud.

**Tabla 9.** Medidas estadísticas descriptivas de cuatro periodos de exposición

<b>Parámetro Estadístico</b>	<b>PST</b>	<b>Muestreo 1 Setiembre</b>	<b>Muestreo 2 Octubre</b>	<b>Muestreo 3 Octubre</b>	<b>Muestreo 4 Noviembre</b>
N	72	18	18	18	18
$\Sigma$	446.59	655.66	494.11	407.73	228.85
<b>Media aritmética</b>	49.62	72.85	54.90	45.30	25.43
<b>Mediana (Me)</b>	51.70	82.9	50.95	48.48	24.47
<b>Varianza (S<sup>2</sup>)</b>	1940.72	3498.34	3295.95	749.91	218.66
<b>Desviación Estándar (S)</b>	39.68	59.15	57.41	27.38	14.79
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	370.02	533.56	667.05	183.92	95.55
<b>Valor máximo</b>	191.00	168.50	191.00	89.34	49.17
<b>Valor mínimo</b>	3.79	3.79	4.49	11.03	6.34

Las medidas estadísticas muestran que, en la totalidad de evaluaciones, con respecto a concentraciones de PST superan el LMP establecido por la OMS, no existiendo moda o valores frecuentes para ninguna evaluación. De acuerdo con Pérez-Vidal *et al.* (2010) quien determinó estadísticos para PST que superaban los LMP. Relacionado al intenso tráfico vehicular, establecimientos de abastecimiento de combustible presentes en la vía (Flores 2017). Asimismo, SENAMHI (2008) de modo que las condiciones descritas interaccionan con la rugosidad del terreno.

Jugando un papel importante la abrasión y por ende en la generación de partículas, dejando entrever que la afectación económica es mayor en el tramo de vía afirmada, coincidiendo con Wall y Warner (1995) quien manifiesta que los daños a bienes materiales, su costo para la limpieza de estos, se estima en cientos de millones de dólares.



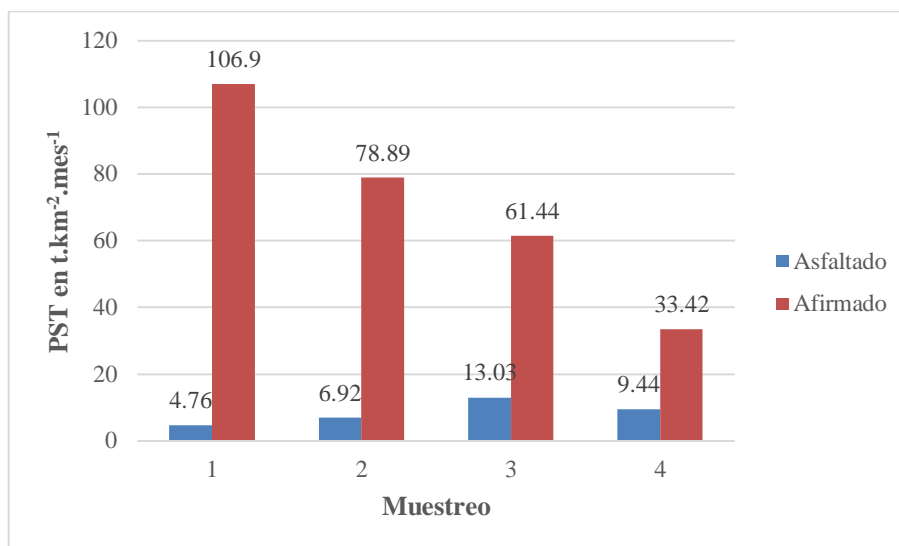
**Figura 11.** Promedio de PST por punto de monitoreo y su relación con el LMP de la OMS

La Figura 11 permite apreciar que las evaluaciones en la vía afirmada hay mayor generación PST ya que los registros promedio de PST por puntos de monitoreo muestra la evidencia, donde se observa una variación de concentraciones de PST de acuerdo a la capa de rodadura de la carretera, teniendo la vía afirmada la mayor variabilidad y concentración de PST. En su estudio Pérez-Vidal *et al.* (2010) también identificó gran variabilidad de concentraciones de PST en el año 2003 en comparación con los demás años estudiados.

Además, se puede observar que en todos los promedios se excede el límite mensual establecido por la OMS. Guardando relación con Flores (2017) y Roncal (2008) quienes relacionan las concentraciones de PST que trasgreden el límite referencial como indicador de riesgo a la salud de las personas. Variando la afección con el estado de salud y edad de éstas (CEPIS y OPS 2004).

En el estudio realizado por Merino (2017) en Lima, se logró determinar metales pesados asociados a las PST que en consecuencia perjudican animales, vegetales y la salud humana. Los efectos van desde irritación de ojos y garganta hasta la reducción de la resistencia a infecciones y pueden dar origen a enfermedades respiratorias crónicas (INEI 2005).

Por otra parte, Duran y Álzate (2009) evaluó la capacidad de retención de PST por cinco especies de árboles, logrando encontrar eficiencias en la retención de PST que interceptan hasta 658 kg por año, siendo afectadas en el medio en que se desarrollan. Wark y Warner (1995) ya que las altas concentraciones de PST impide el desempeño normal de las plantas, deteniendo su crecimiento (Orozco *et al.* 2003).



**Figura 12.** PST promedio según muestreo y tipo de rodadura de la carretera del tramo Celendín - José Gálvez

La figura 12 muestra una disminución notoria de PST en la vía afirmada, mientras que en la vía asfaltada se deja notar un ligero incremento, por la diferencia de capa de rodadura entre tramos de vía, dándose así el arrastre de partículas húmedas hacia el asfalto por fuentes móviles que circulan la carretera del tramo en dirección hacia Celendín, siendo los vehículos privados y comerciales los mayores emisores, además que el tramo de vía asfaltada es transitada por un mayor número de vehículos por ser una carretera regional en comparación a la vía afirmada; por otro lado las obras de construcción. En concordancia con INE-SEMARNAT (2011) quien hace referencia de actividades generadoras de partículas, permitiendo que se acarreen partículas sólidas totales. Incrementando fenómenos de suspensión y resuspensión de partículas (SENAMHI 2008).

INEI (2005) en sus comparaciones de muestreos mensuales para Lima se encontró niveles de contaminación por partículas sólidas totales que variaron entre enero y febrero de 2005 aumentando en un 21%; mientras que en comparación a marzo del 2003 aumento en un 60%.

Las diferencias de PST promedio entre los tramos de vía asfaltada y afirmada son claras, pero solo el primer muestreo para vía asfaltada se encuentra dentro del límite establecido por la OMS; mientras que los restantes nuestros para ambas tramo de vía superan el límite referencial y por ende perjudican la salud de las personas. De acuerdo con Candanoza *et al.* (2013) quien menciona que ya sea sólo o en combinación con otros contaminantes, representan un grave riesgo para la salud, ya que penetran directamente a las vías respiratorias. De otro lado las concentraciones de PST están asociadas a la morbilidad por IRA (Rodríguez 2017).

### PST y tráfico vehicular

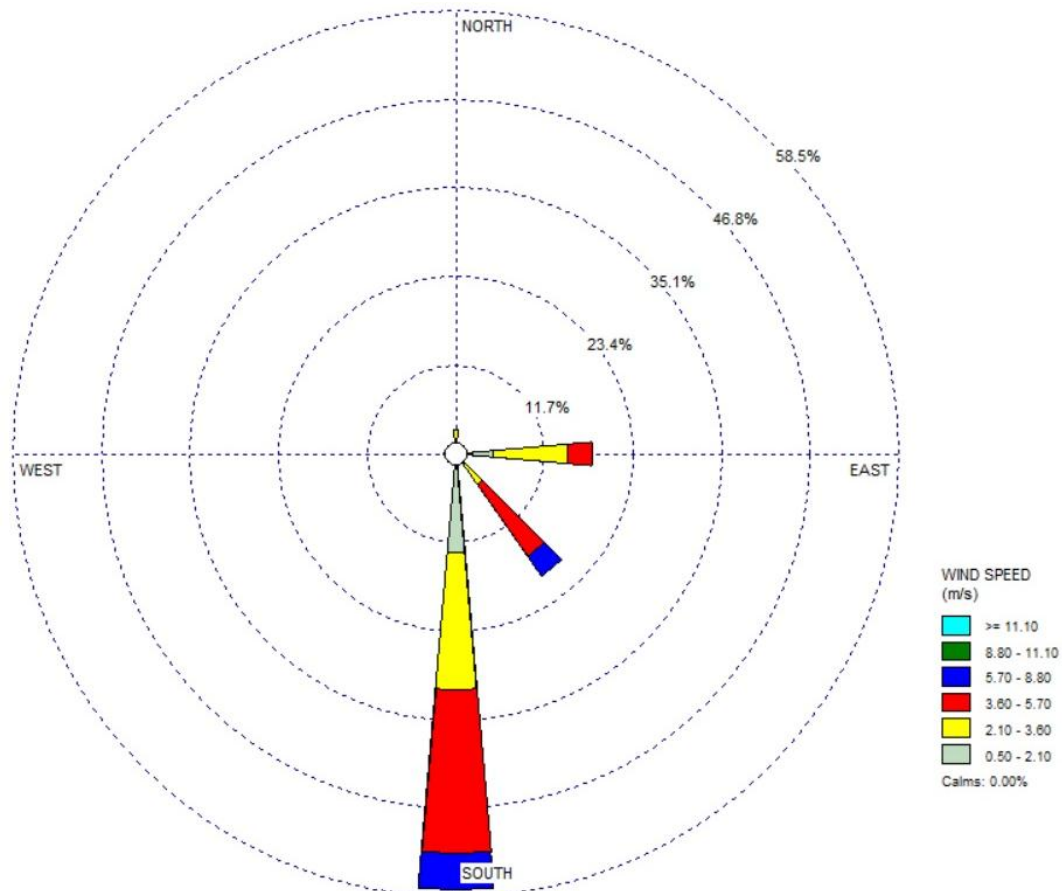
El conteo vehicular realizado del 10 al 16 de setiembre 2018 en el caserío Teresa Conga, proporcionó un índice medio diario de 120 vehículos por día, dejando notar un incremento en relación por lo mencionado por el Instituto Vial Provincial. Además, después de haber realizado el conteo durante una semana, clasificados de la siguiente manera.

**Tabla 10.** Clasificación de vehículos por semana de conteo.

<b>Tipo de transporte</b>	<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Unidades vehiculares</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Ligero	Automoviles	1260	70.51
	Camionetas Pick Up	303	16.96
Urbano	Combis	116	6.49
	Micros y custers	16	0.90
	Buses	0	0.00
Pesado	Camión 2 ejes	53	2.97
	Camión 3 ejes	39	2.18
<b>Total</b>		<b>1787</b>	<b>100</b>
<b>Índice Medio Diario (veh día<sup>-1</sup>)</b>		<b>120</b>	<b>-</b>

Obteniendo que las fuentes móviles con mayor tránsito e influencia en la generación de partículas sólidas totales a la atmósfera es el transporte liviano representado por 1260 automóviles y 303 camionetas pick up de pesos menores a 3 toneladas. A diferencia del INE-SEMARNAT (2011) quien muestra que los vehículos que contribuyen en la emisión de partículas en México son los vehículos privados y comerciales superiores a 3 toneladas. Por otro lado, en la ciudad de Tayabamba el flujo vehicular principal está dado por las camionetas, seguido de los automóviles (Castillo 2017).

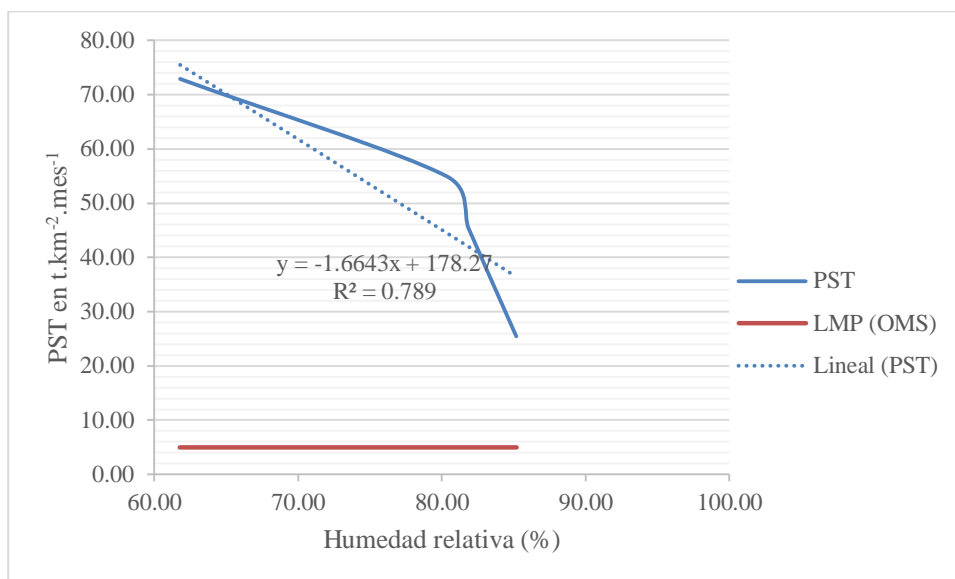
## PST y factores climatológicos



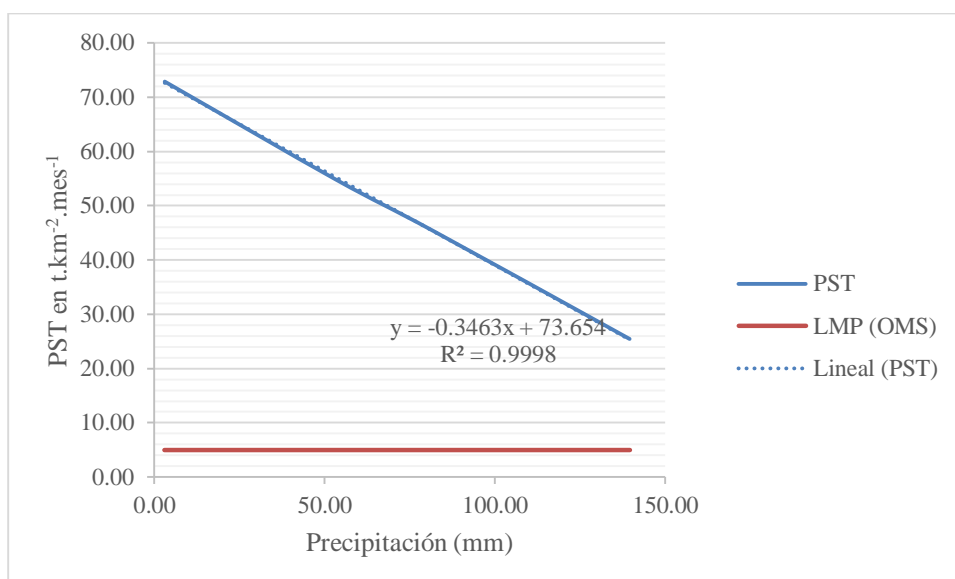
**Figura 13.** Rosa de vientos quincenales ( $\text{m s}^{-1}$ ) del 17 de setiembre al 16 de noviembre de 2018

La rosa de vientos que se muestra en la figura 13 pertenece a todo el periodo de muestreo, elaborados en base a los datos del SENAMHI de la estación convencional meteorológica Celendín, cercana al área de estudio. Siendo el viento el factor meteorológico dispersor de partículas sólidas, la dirección del viento dominante proveniente desde el norte (N) hacia el sur (S), con velocidades frecuentes comprendidas entre 0.5 a  $8.80 \text{ m s}^{-1}$ . Por ende, las partículas son desplazadas hacia el sur (S). de acuerdo con Candanoza *et al.* (2013) explica que la causa de variación principal para los datos muestreados, está asociado a días lluviosos y secos con dirección y velocidad del viento.

Pérez-Vidal *et al.* (2010) quien hace referencia que existe una relación lineal inversa entre las concentraciones de PST y la humedad relativa, es decir que a mayor humedad menor PST y viceversa.



**Figura 14.** Relación de concentraciones de PST versus humedad relativa (%) por cada periodo de muestreo



**Figura 15.** Relación de concentraciones de PST versus precipitación (mm) por cada periodo de muestreo 2018

La concentración de PST hallados en el periodo del presente estudio nos proyecta un coeficiente de determinación  $R^2=0.789$ , implicando que el 78.9% de las PST son influenciadas por la presencia de humedad relativa y el 21.1% son influenciadas por la ausencia de este parámetro meteorológico, lo que evidencia una disminución en la concentración de PST conforme la humedad relativa aumenta siendo inversamente proporcional, a pesar de ello se logró alcanzar concentraciones de PST que superan al nivel referencial de la OMS (Fig. 14). Viana (2003) menciona que las partículas con



mayor humedad son adheridas en las llantas de vehículos arrastrando partículas de un área de emisión a otra.

La mayor emisión de partículas promedio registradas en la investigación fue de  $72.85 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$  coincidiendo con los meses más secos donde la precipitación fue de 3 mm y la humedad relativa del 61.8% todo esto en el mes de setiembre, asimismo a medida que nos acercamos a los meses lluviosos los promedios de PST se van reduciendo considerablemente; coincidiendo con. SENAMHI (2008) en su estudio analizó la humedad relativa mínima de 78% y la máxima de 88%, mientras que las velocidades medias del viento fueron menores a  $3 \text{ m s}^{-1}$ , siendo distinto a nuestros datos por ser realidades geográficas diferentes. Pérez-Vidal *et al.* (2010) relacionó las aeropartículas con los parámetros meteorológicos a medida que aumenta la humedad y la temperatura disminuye, las cantidades de PST disminuyen.

La precipitación pluvial para el periodo del presente estudio nos demuestra un coeficiente de determinación  $R^2=0.9998$  con respecto a la concentración de PST, lo que implica que el 99.98% de las PST son afectadas por este parámetro y el 21.1% de PST por la ausencia de precipitación, lo que evidencia una disminución en la concentración de PST que a pesar de ello superan el nivel referencial de la OMS. Es decir que conforme la precipitación pluvial aumenta las partículas en la atmósfera se reducen. Castillo (2017) obtuvo un  $R^2=0.957$  para la relación de partículas y precipitación pluvial, es por ello que se evidencia una disminución en la concentración de PST ya que las lluvias se presentan en los meses de octubre y noviembre como se manifiesta en la presente investigación (82 mm y 139.6 mm), en comparación con setiembre (3 mm) (Fig. 14).

De la misma forma en el análisis de la relación entre el comportamiento estacional de los contaminantes sólidos sedimentables en Lima y Callao, se obtuvo que en verano el mayor número de estaciones supera el límite referencial con un 81% y el mínimo de 62% corresponde a invierno, mostrando una disminución con relación a las condiciones meteorológicas (Silva y Montoya 2004).

## CAPÍTULO V

### V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se determinó cantidades de partículas sólidas totales (PST) con valores promedio por muestreo que varía de  $25.43 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$  a  $72.85 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ , donde el 22.22% de puntos monitoreados se encuentran dentro del LMP para los meses de setiembre y octubre respectivamente, y el 77.78% sobrepasa el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud de  $5 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ .

Además, el punto de monitoreo con la mínima concentración de partículas sólidas totales (PST) fue El Milagro ( $3.79 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ ) y el punto de monitoreo Teresa Conga Alto es el más elevado con una máxima concentración de  $191 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ , infringiendo lo establecido por la Organización Mundial de la Salud de  $5 \text{ tkm}^{-2}\text{mes}^{-1}$ .

Se recomienda:

Realizar otras investigaciones sobre partículas sólidas totales (PST) analizando la composición química de este contaminante.

## CAPÍTULO VI

### VI. LITERATURA CITADA

- Adame Romero, A; Salín Pascual, DA. 2000. Contaminación ambiental. 2 ed. México D.F., México, Editorial Trillas. 65 p.
- Arellano Díaz, J. 2002. Introducción a la Ingeniería Ambiental. México D.F., México. Alfaomega. 134 p.
- Candanoza, S; Goribar, L; García, F. 2013. Relación partículas respirables (PM10)/partículas sólidas totales (PST) en Santa Marta (Colombia). Dyna 80(179): 157-164.
- Castillo Avila, GM. 2017. Partículas sedimentables del aire y su influencia en las infecciones respiratorias agudas en la ciudad de tayabamba. Informe de 2016. Tingo María, Perú.
- CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente); OPS (Organización Panamericana de la Salud). 2004. Guías para la calidad del aire (en línea). Lima. Perú. 213 p. Consultado 30 ago. 2018. Disponible en <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/fulltext/guiasaire.pdf>
- Corleto, AM; Cortez, DM. 2012. Comparación de los métodos de Bergerhoff y placas receptoras para la cuantificación de polvo atmosférico sedimentable. Tesis Lic. San Salvador, El Salvador, UES. 161 p.
- De Nevers, N. 2000. Ingeniería de control de la contaminación del aire. México D.F., México, McGraw-Hill. 546 p.
- DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental). 2005. Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los datos (en línea, sitio web). Consultado 2 Jul. 2018. Disponible en [http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma\\_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf)
- Duran, B; Alzate, F. 2009. Intercepción de partículas sólidas totales (PST) por cinco especies de árboles urbanos en el valle de Aburrá. Universidad Antioquia 47: 59-66.
- EPA (Environmental Protection Agency). 1999. Compendium of methods for the determination of inorganic compounds in ambient air: Sampling of ambient air for total suspended particulate matter (SPM) and PM<sub>10</sub> using high (en

línea, sitio web). Consultado 2 Jul. 2018. Disponible en [https://19january2017snapshot.epa.gov/homeland-security-research/io-compendium-method-io-21-compendium-methods-determination-inorganic\\_.html](https://19january2017snapshot.epa.gov/homeland-security-research/io-compendium-method-io-21-compendium-methods-determination-inorganic_.html)

Flores Rojas, FS. 2017. Determinación de la cantidad de partículas atmosféricas sedimentables, mediante el método de muestreo pasivo, en la ciudad de Morales, provincia de San Martín, 2015. Tesis Bach. Moyobamba, Perú, UNSM. 76 p.

INE-SEMARNAT (Instituto Nacional de Ecología). 2011. Guía metodológica para la estimación de emisiones PM<sub>2.5</sub>. México D.F., México, Punto Final Gráficos S.A. 103 p.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2018. Informe técnico N° 5 (mayo 2018): Estadísticas ambientales. 49 p.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2017. Sistema estadístico nacional: Cajamarca compendio estadístico. 459 p.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2005. Informe Técnico N° 5 (marzo 2005): Estadísticas ambientales. 41 p.

Lozano Coral, FR. 2013. Determinación del grado de partículas atmosféricas sedimentables, mediante el método de muestreo pasivo, zona urbana - ciudad de Moyobamba, 2012. Tesis Bach. Moyobamba, Perú, UNSM. 72 p.

Merino Carrión, KP. 2017. Retención de polvo atmosférico sedimentable en las especies *Ficus benjamina* y *Schinus terebinthifolius* en las zonas residencial y comercial de la avenida Brasil-Pueblo Libre 2017. Tesis Bach. Lima, Perú, UCV. 305 p.

MINAM (Ministerio del Ambiente). 2009. Taller: Armonización de redes de monitoreo de calidad de aire (en línea, sitio web). Consultado 12 ago. 2018. Disponible en <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:J-MktQqv4jQJ:https://sinia.minam.gob.pe/documentos/compendio-teorico-armonizacion-redes-monitoreo-calidad-aire+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=pe>

Mihelcic, JR; Zimmerman, JB. 2011. Ingeniería ambiental: Fundamentos, sustentabilidad, diseño. México D.F., México, Alfaomega. 720 p.

Molina M. 2010. El cambio climático: causas, efectos y soluciones. 1 ed. México, México. DGE Equilibrista. 197 pág.

- MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones). 2018. Manual de carreteras: Diseño geométrico (en línea, sitio web). Consultado 15 ago. 2018. Disponible en [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf)
- MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones). 2014. Resumen ejecutivo del inventario básico de red vial departamental o regional (en línea, sitio web). Consultado 15 ago. 2018. Disponible en <http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/documentos/Resumen%20Ejecutivo%20Inventario%20Basico%20Red%20Vial%20Departamental.pdf>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2005. Guías de la calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre (en línea, sitio web). Consultado 31 ago. 2018. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsea/fulltext/omsguiaaire.pdf>
- Orozco Barrenetxea, C; Pérez Serrano, A; Gonzáles Delgado, N; Rodríguez Vidal, FJ; Alfayate Blanco, JM. 2003. Contaminación ambiental: Una visión desde la química. Madrid, España, Editorial Thomson. 661 p.
- Oliva, P; García, K; Cortez, R; Dávila, R; Alfaro, MR. 2001. Programa aire puro: monitoreo del aire: Manual de laboratorio. (en línea, sitio web). Consultado 15 ago. 2018. Disponible en <http://www.ingenieroambiental.com/Manual-laboratorio-analisis-aire.pdf>
- Pérez-Vidal, H; Lunagómez-Rocha, MA; Acosta-Pérez, LI. 2010. Análisis de partículas sólidas totales (PST) y fracción respirable (PM10), en Cunduacán, Tabasco. *Universidad y Ciencia* 26 (2): 151-162.
- Rojano, R; Angulo, L; Restrepo, G. 2013. Niveles de partículas sólidas totales (PST), PM10 y PM2.5 y su relación en lugares públicos de la ciudad de Riohacha, Caribe Colombiano. *La Serena* 24 (2): 37-46.
- Roncal Rabanal, MR. 2008. Monitoreo de contaminantes sólidos sedimentables (CSS) en la ciudad de Celendín durante el período abril – junio del 2008. *Fiat Lux* 4(2):151-156.
- Rodríguez Vargas, J. 2017. Polvo atmosférico sedimentable y su incidencia en las infecciones respiratorias agudas en el distrito de Los Olivos, 2017. Tesis Bach. Lima, Perú, UCV. 129 p.

- Sans Frontia, R; De Pablo Ribas, J. 1999. Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos. México D.F., México, Alfaomega. 145 p.
- Silva, J; Montoya, Z. 2004. Análisis de la relación entre el comportamiento estacional de los contaminantes sólidos sedimentables con las condiciones meteorológicas predominantes en la zona metropolitana de Lima-Callao durante el año 2004 (en línea, sitio web). Consultado 30 jul. 2018. Disponible en <http://web2.senamhi.gob.pe/?p=calidad-de-aire-publicaciones>
- Spiro T, Stigliani W. 1996. Química medioambiental. 2 ed. Madrid, España. Editorial Pearson. 504 pág.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2018. Boletín hidrológico mensual 2018 (en línea, sitio web). Consultado 15 ago. 2018. Disponible en <http://senamhi.gob.pe/documentos/boletin>
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2018. Boletín hidrológico mensual 2018 (en línea, sitio web). Consultado 17 ene. 2019. Disponible en <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2008. Evaluación de la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de lima-callao/diciembre – 2008 (en línea sitio web). Consultado 30 jul. 2018. Disponible en <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/boletin-evaluacion-contaminacion-atmosferica-zona-metropolitana-lima>
- SNMPE (Sociedad Nacional de Minería petróleo y Energía). 2012. Los estándares de calidad ambiental y los límites máximos permisibles (en línea sitio web). Consultado 06 ago. 2018. Disponible en <http://www.snmpe.org.pe/informes-y-publicaciones/informes-quincenales/sector-transversal/1890-estandares-de-calidad-ambiental-eca-y-los-limites-maximos-permisibles-lmp-actualizado-julio-de-2012.html>
- UNMSM (Universidad Nacional Mayor de San Marcos). 2004. Gestión de la calidad del aire: Causas efectos y soluciones. Lima, Perú. Grafiser. 120 p.
- Viana, M. 2003. Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias. Tesis de doctorado. España, Universidad de Barcelona. 375 p.
- Wark, K; Warner, CF. 1995. Contaminación del aire: Origen y control. México D.F., México. Editorial Limusa. 200 p.

Watson, J; Crow, J. 2000. Reconciling Urban Fugitive Dust Emissions Inventory and Ambient Source Contribution Estimates: Summary of current knowledge and needed research (en línea sitio web). Consultado 06 ago. 2018. Disponible en <https://www3.epa.gov>

## CAPÍTULO VII

### VII. ANEXOS

#### Anexo 1. Respuesta del Instituto Vial Provincial-Celendín.



INSTITUTO VIAL PROVINCIAL DE CELENDÍN  
"AÑO DEL DIÁLOGO Y LA RECONCILIACIÓN NACIONAL"

Celendín, 06 de Setiembre del 2018

#### **CARTA N° 021 - 2018-IVP-C/JO.**

**SEÑOR:**  
**ERLIN CORTEZ CHÁVEZ**  
BACHILLER INGENIERÍA AMBIENTAL

**ASUNTO : DATOS CARRETERA BELLAVISTA –JOSÉ GÁLVEZ.**

**REFERENCIA : SOLICITUD PRESENTADA**

Por medio de la presente, previo un cordial saludo, me dirijo a Usted con relación al documento de la referencia, para hacerle llegar los datos solicitados del camino vecinal tramo: Bellavista - José Gálvez:

**LONGITUD:** 4.640 km

**CLASIFICACIÓN DE VÍA:** Por su jurisdicción pertenece al sistema Vecinal.

**CAPA DE RODADURA:** Afirmado

**INFORME DE CONTEO DE TRÁFICO**

**Cálculo del Índice Medio Diario:**

El Promedio de Tráfico Diario o Índice Medio Diario (IMD), se obtiene a partir del volumen diario registrado en el conteo vehicular las 24 horas del día, durante una semana, aplicando la siguiente fórmula:

$$IMD = \frac{\left( \frac{\text{conteo}(\text{lunes} + \text{martes} + \text{miercoles} + \text{jueves} + \text{viernes})}{5} \right) + (\text{sabado} + \text{do min go})}{7}$$

El tránsito existente en el Camino Vecinal: Bellavista – José Gálvez, está compuesto por tránsito motorizado y no motorizado, éste último compuesto de peatones, que transitan a lo largo de la vía tanto a pie, y en acémilas de silla, observándose también acémilas de carga.

El transporte motorizado por su parte está conformado por Autos, Camionetas, Combis, Camiones de 2 y 3 ejes.

En cuanto al transporte de carga, se realiza empleando camiones de 2 ejes.

**Resumen semanal del conteo vehicular:**



**Anexo 2.** Índice Medio diario de la carretera Bellavista - José Gálvez según el Instituto Vial Provincial-Celendín.



INSTITUTO VIAL PROVINCIAL DE CELENDÍN  
"AÑO DEL DIÁLOGO Y LA RECONCILIACIÓN NACIONAL"

El conteo o censo volumétrico de tránsito cubrió un periodo de 7 días en el mencionado tramo desde las 0 hrs. hasta las 24 hrs. de cada día, para medir el patrón de variación de tránsito tanto horario como diario se registró todo vehículo que cruzase la estación, por sentido y por tipo de vehículo. Los conteos se efectuaron las 24 horas del día, entre los días 06 y 12 del mes de Agosto del año 2018. Se utilizó la siguiente estación:

Estación ubicada en el caserío el Paraíso.

Luego de haber realizado los conteos correspondientes se tiene que transitan:

Por Semana un total de 1777 vehículos, clasificados de la siguiente manera:

Tipo	Autos	Pick Up	Combis	Camiones 02 ejes	Camiones 03 ejes
Total	1206	342	118	77	34

**Índice Medio Diario:**

El Promedio de Tráfico Diario o Índice Medio Diario (IMD), se obtiene a partir del volumen diario registrado en el conteo vehicular las 24 horas del día, durante una semana, aplicando la siguiente fórmula:

$$IMD = \frac{\left( \frac{\text{conteo}(\text{lunes} + \text{martes} + \text{miercoles} + \text{jueves} + \text{viernes})}{5} \right) + (\text{sabado} + \text{do min go})}{7}$$

**IMD = 105 vehículos/día.**

Esperando su atención a la presente, hago propicia la ocasión para reiterarle las muestras de mi consideración.

Atentamente,

  
INSTITUTO VIAL PROVINCIAL CELENDÍN  
Ing. Leyla Díaz Vadenilla  
CIP N° 185780  
JEFE DE OPERACIONES

**Anexo 3.** Ficha de conteo vehicular realizado en la carretera del tramo Bellavista - José Gálvez.

**FICHA DE CONTEO VEHICULAR**

RUTA: BELLAVISTA - JOSÉ GÁLVEZ








TRAMO: BELLAVISTA - JOSÉ GÁLVEZ

**UBICACIÓN**

Departamento: CAJAMARCA Provincia: CELENDÍN

Estación: Teresa Conga

Sentido: IDA Y VUELTA Fecha de conteo: \_\_\_\_\_

HORA	Transp. Ligero		Transp. Urbano			Trans. pesado	
	AUTOS	PICK UP	COMBIS, MICROS Y CUSTERS	BUSES	BUSES	CAMION 2 EJES	CAMION 3 EJES
							
00-01							
01-02							
02-03							
03-04							
04-05							
05-06							
06-07							
07-08							
08-09							
09-10							
10-11							
11-12							
12-13							
13-14							
14-15							
15-16							
16-17							
17-18							
18-19							
19-20							
20-21							
21-22							
22-23							
23-24							
Sub total							
Total	total 1		total 2		total 3	total 4	total 5

IMD= (TOT1 x 1 + TOT2 x 1.5 + TOT3 x 2 + TOT4 x 2 + TOT5 x 2.5)

Anexo 4. Ficha para datos de ubicación de puntos de monitoreo.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental Celendín  
Ficha de ubicación de puntos de monitoreo en la determinación de PST  
en la carretera Celendín - José Gálvez, 2018.

**DATOS DE UBICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO**

**JEFE DE HOGAR**

**LUGAR**

**DISTRITO**

**TIPO DE VÍA**

**PUNTO DE MUESTREO:**

**CLASE DE PUNTO:**  EMISOR  RECEPTOR

**TIPO DE MUESTRA:**  SÓLIDA  LÍQUIDA  GASEOSA

**MÉTODO E INSTRUMENTO:**

**GEOLOCALIZACIÓN**  COORDENADAS UTM  DATUM WGS-84  ZONA 17 S

**NORTE:**  **ESTE:**

**ALTITUD:**

**TESISTA: ERLIN CORTEZ CHÁVEZ**

**FIRMA:** \_\_\_\_\_

**Anexo 5.** Ficha de registro de información de muestras en laboratorio.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental Celendín

Ficha de Registro de Laboratorio para la determinación de partículas suspendidas totales (PST) en la carretera Celendín - José Gálvez, 2018.

**REGISTRO DE INFORMACIÓN DE PLACAS RECEPTORAS**

N° DE ATENCIÓN		FECHA DE INSTALACION:		FECHA DE RECOLECCIÓN:	
----------------	--	-----------------------	--	-----------------------	--

PUNTO DE MUESTREO	PRS-01 En (g)	PRS-02 En (g)	PRM-03 En (g)	PRM-04 En (g)
Peso Inicial				
Peso Final				
PST				

PUNTO DE MUESTREO	PRB-05	PRB-06	PRTA-07	PRTA-08
Peso Inicial				
Peso Final				
PST				

PUNTO DE MUESTREO	PRT-09	PRT-10	PRTI-11	PRTI-12
Peso Inicial				
Peso Final				
PST				

PUNTO DE MUESTREO	PRTO-13	PRTO-14	PRP-15	PRP-16
Peso Inicial				
Peso Final				
PST				

PUNTO DE MUESTREO	PRJG-17	PRJG-18
Peso Inicial		
Peso Final		
PST		

TESISTA: ERLIN CORTEZ CHÁVEZ

\_\_\_\_\_ FIRMÁ

**Anexo 6.** Panel fotográfico.



**Figura 6.1.** Identificación de puntos de monitoreo. Izquierda: El Torno; derecha: Teresa Conga.



**Figura 6.2.** Identificación de puntos de monitoreo. Izquierda: El Milagro; derecha: Sevilla.



**Figura 6.3.** Trabajo de concientización con pobladores participantes. Izquierda: esposa del Sr. Diego Chávez Marín (BELLAVISTA); Derecha: Julio Aliaga Villegas (EL TINGO)



**Figura 7.4.** Trabajo de limpieza y preparación de placas en Laboratorio.



**Figura 6.5.** Preparación y pesado inicial de placas en laboratorio de la EAPIAC-UNC.



**Figura 6.6.** Evaluación de Muestras de partículas solidas totales obtenidas en placas receptoras



**Figura 6.7.** Pesado en laboratorio de la placa receptora El Torno (PRTO-14) ubicada en el punto de monitoreo El Torno (Muestreo N° 2): Izquierda peso inicial. Derecha peso final.



**Figura 6.8.** Pesado en laboratorio de la placa receptora Sevilla (PRS-01) ubicada en el punto de monitoreo Sevilla (Muestreo N° 3): Izquierda peso inicial. Derecha peso final.



**Figura 6.9.** Pesado en laboratorio de la placa receptora Sevilla (PRS-02) ubicada en el punto de monitoreo Sevilla (Muestreo N° 4): Izquierda peso inicial. Derecha peso final.



**Figura 6.10.** Pesado en laboratorio de la placa receptora Bellavista (PRB-05) ubicada en el punto de monitoreo Sevilla (Muestreo N° 4): Izquierda peso inicial. Derecha peso final.



**Figura 6.11.** Pesado en laboratorio: Izquierda peso inicial. Derecha peso final de la placa receptora Sevilla (PRS-) ubicada en el punto de monitoreo Sevilla (Muestreo N° 4).



**Figura 6.12.** Pesado en laboratorio de la placa receptora Sevilla (PRJG-18) ubicada en el punto de monitoreo cercano a José Gálvez (Muestreo N° 4): Izquierda peso inicial. Derecha peso final.





**Figura 6.13.** Afluencia de vehículos para abastecimiento de combustible. Izquierda: Grifo ubicado en Bellavista. Derecha: Grifo ubicado en Sevilla.

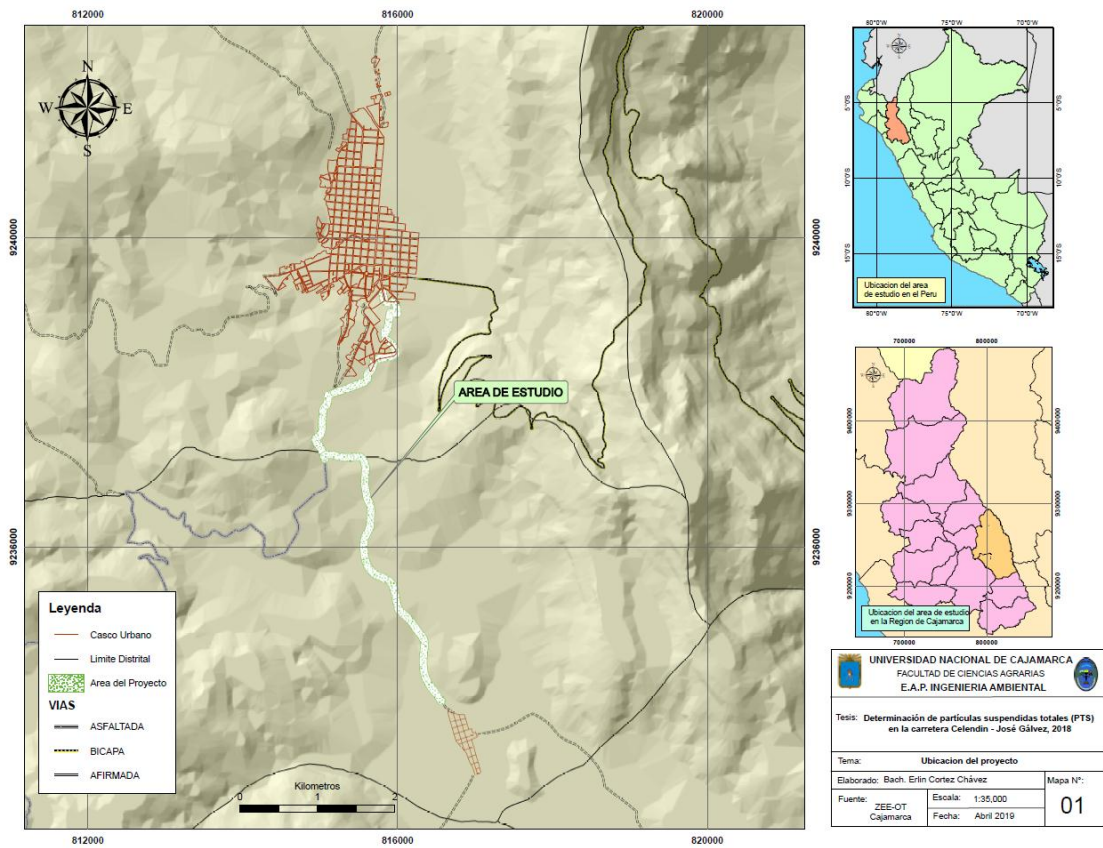


**Figura 6.14.** Factores que favorecieron la generación de PST. Izquierda: Panel de Obra de saneamiento. Derecha: Trabajo colindante al punto de monitoreo El Milagro (vía asfaltada).

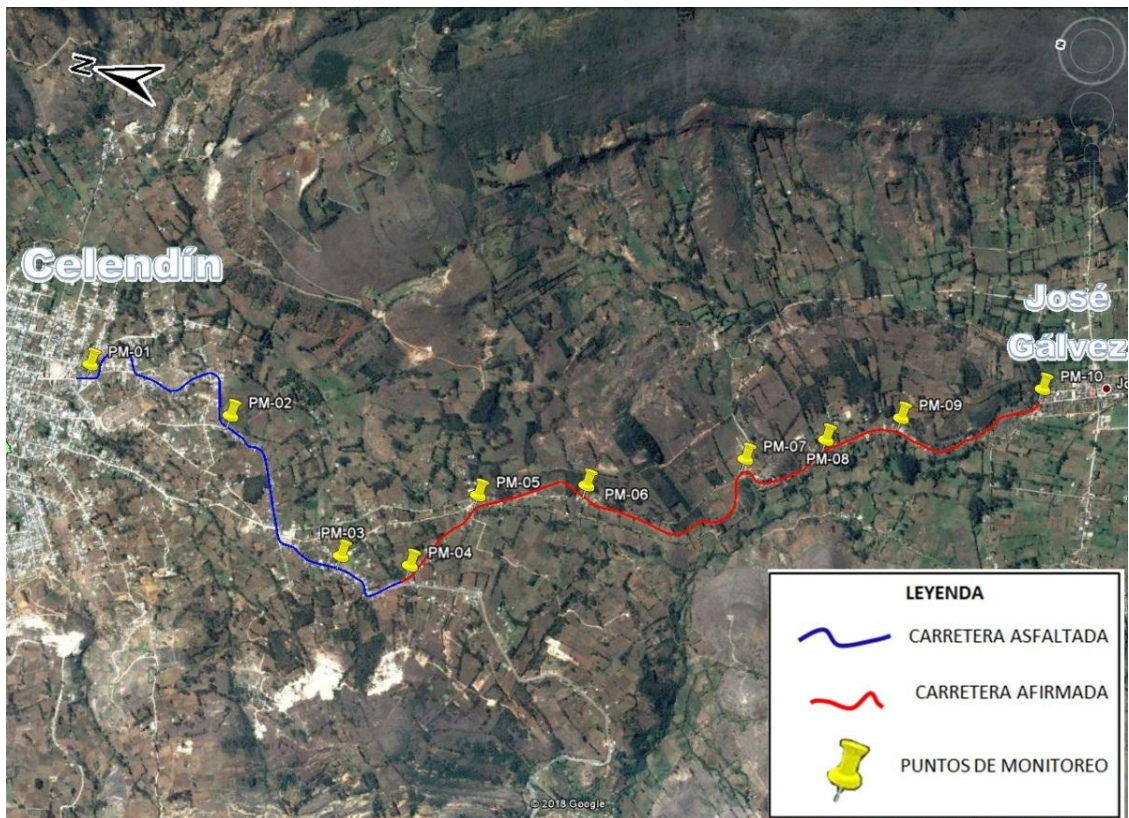


**Figura 6.15.** Conteo vehicular en la estación Teresa Conga. Izquierda: Vehículo tipo automóvil. Derecha: Vehículo tipo camioneta.

**Anexo 7.** Ubicación del área de estudio y distribución de puntos de monitoreo.



**Figura 7.1** Ubicación del área de estudio (carretera del tramo Celendín – José Gálvez).



**Figura 7.2.** Ubicación de puntos de monitoreo según capa de rodadura en la carretera del tramo Celendín – José Gálvez.

**Anexo 8.** Participantes para la instalación de placas receptoras.

---

<b>PUNTOS DE MONITOREO</b>	<b>JEFE DE HOGAR</b>
<b>SEVILLA</b>	MARIA CHÁVEZ MANTILLA KENNETH QUIROZ BAZÁN
<b>EL MILAGRO</b>	MANUELA MORENO PISCO CONSTANZA PORTAL RAYCO
<b>BELLAVISTA</b>	DIEGO I.CHÁVEZ MARÍN VICTORIA CHACÓN BAZÁN
<b>TERESA CONGA ALTO</b>	EMERITA CACHAY SÁNCHEZ CRISTOBAL GONZALES ACOSTA
<b>TERESA CONGA</b>	SEFELMIRA QUIROZ CHACÓN CLARISA CACHAY ALIAGA
<b>EL TINGO</b>	JULIO ALIAGA VILLEGAS CESAR H.GARRIDO ALIAGA
<b>EL TORNO</b>	MARTIN DIAZ CARRERA ELMER REYNA ZEGARRA
<b>EL PARAÍSO</b>	MARÍA R. GARRIDO PISCO JAVIER CHÁVEZ GUEVARA
<b>JOSÉ GÁLVEZ</b>	JOSÉ V. RABANAL CHÁVEZ MARÍA GARCÍA ABANTO

---

**Anexo 9.** Resultados de laboratorio.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
*Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental Celendín*  
**LABORATORIO DE QUÍMICA**

**DETERMINACIÓN DE PESO INICIAL Y FINAL DE PLACAS**

SOLICITADO POR:

Fecha de peso inicial:  Fecha de peso final:  N° DE ATENCIÓN:

**RESULTADOS**

N° MUESTRA	CODIFICACIÓN	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)
1	PRS-01	94.1800	94.2160
2	PRS-02	97.5556	97.5744
3	PRM-03	95.2584	95.2588
4	PRM-04	95.9559	95.9934
5	PRB-05	94.6854	94.7102
6	PRB-06	95.9490	95.9743
7	PRTA-07	95.8615	96.1493
8	PRTA-08	94.8905	95.8590
9	PRT-09	97.6632	98.0607
10	PRT-10	94.8919	95.3234
11	PRTI-11	95.6282	96.1866
12	PRTI-12	97.8983	98.349
13	PRTO-13	97.7484	98.5454
14	PRTO-14	97.6248	98.5128
15	PRP-15	95.1288	95.8977
16	PRP-16	98.9377	99.2201
17	PRJG-17	97.3983	97.8725
18	PRJG-18	99.5264	99.6353

Celendín, 05 de octubre de 2018.

Ing. Giovana Chávez Horna  
 DIRECTORA DE LA EAPIAC-UNC

Ing. Jorge Lezama bueno  
 JEFE LAB. QUÍMICA

Segundo Guevara Camacho  
 TEC. LAB. QUÍMICA

**Figura 9.1.** Resultados del laboratorio correspondiente a la segunda quincena de setiembre.



**DETERMINACIÓN DE PESO INICIAL Y FINAL DE PLACAS**

SOLICITADO POR:


Fecha de peso inicial:  Fecha de peso final:  N° DE ATENCIÓN:

**RESULTADOS**

N° MUESTRA	CODIFICACIÓN	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)
1	PRS-01	94.6370	94.6682
2	PRS-02	96.0009	96.0146
3	PRM-03	94.8319	94.8432
4	PRM-04	95.6290	95.669
5	PRB-05	95.1292	95.1823
6	PRB-06	95.9129	95.9712
7	PRTA-07	97.6146	97.9991
8	PRTA-08	97.7107	99.2362
9	PRT-09	94.7629	94.9371
10	PRT-10	97.6368	97.8208
11	PRTI-11	97.3571	97.6245
12	PRTI-12	95.4612	95.7305
13	PRTO-13	95.0506	95.4927
14	PRTO-14	99.5004	99.7948
15	PRP-15	98.7491	99.2544
16	PRP-16	94.1655	94.3428
17	PRJG-17	97.8742	98.3379
18	PRJG-18	97.5070	97.5528

Celendín, 22 de octubre de 2018.

  
Ing. Giovana Chavez Horna  
DIRECTORA DE LA EAPIAC-UNC

  
Ing. Jorge Lezama bueno  
JEFE LAB. QUÍMICA


  
Segundo Guevara Camacho  
TEC. LAB. QUÍMICA

Figura 9.2. Resultados del laboratorio correspondiente a la primera quincena de octubre.



**DETERMINACIÓN DE PESO INICIAL Y FINAL DE PLACAS**


SOLICITADO POR: ERLIN CORTEZ CHÁVEZ


Fecha de peso inicial: 16-10-2018      Fecha de peso final: 01-11-2018      N° DE ATENCIÓN: 03

**RESULTADOS**

N° MUESTRA	CODIFICACIÓN	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)
1	PRS-01	98.0077	98.0795
2	PRS-02	98.8041	98.8426
3	PRM-03	97.7323	97.7955
4	PRM-04	98.1946	98.2575
5	PRB-05	98.1076	98.1980
6	PRB-06	99.4927	99.5567
7	PRTA-07	96.2176	96.5520
8	PRTA-08	100.1248	100.4771
9	PRT-09	97.2625	97.5729
10	PRT-10	99.2067	99.4141
11	PRTI-11	99.4946	99.7393
12	PRTI-12	97.8871	98.1133
13	PRTO-13	98.7137	99.1081
14	PRTO-14	96.0624	96.5614
15	PRP-15	98.0748	98.3359
16	PRP-16	99.3407	99.5644
17	PRJG-17	99.3211	99.878
18	PRJG-18	96.0020	96.078

Celendín, 05 de noviembre de 2018.

 Ing. Giovana Chavez Horna  
DIRECTORA DE LA EAPIAC-UNC

 Ing. Jorge Lezama bueno  
JEFE LAB. QUÍMICA

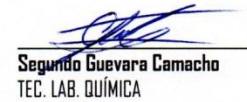
 Segundo Guevara Camacho  
TEC. LAB. QUÍMICA

Figura 9.3. Resultados del laboratorio correspondiente a la segunda quincena de octubre.



**DETERMINACIÓN DE PESO INICIAL Y FINAL DE PLACAS**

SOLICITADO POR:

Fecha de peso inicial:  Fecha de peso final:  N° DE ATENCIÓN:

**RESULTADOS**

N° MUESTRA	CODIFICACIÓN	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)
1	PRS-01	94.8108	94.8533
2	PRS-02	99.3268	99.3477
3	PRM-03	98.5156	98.5717
4	PRM-04	94.0122	94.0641
5	PRB-05	95.6598	95.7233
6	PRB-06	97.4049	97.4533
7	PRTA-07	97.6991	97.9623
8	PRTA-08	95.3428	95.5713
9	PRT-09	97.5091	97.6101
10	PRT-10	97.0623	97.1591
11	PRTI-11	94.5072	94.6803
12	PRTI-12	95.6962	95.8220
13	PRTO-13	95.3316	95.4975
14	PRTO-14	97.4935	97.6985
15	PRP-15	94.4571	94.6082
16	PRP-16	97.3369	97.4305
17	PRJG-17	94.9509	95.3042
18	PRJG-18	95.6658	95.7137

Celendín, 23 de noviembre de 2018.

  
Ing. Giovana Chavez Horna  
DIRECTORA DE LA EAPIAC-UNC

  
Ing. Jorge Lezama bueno  
JEFE LAB. QUÍMICA


  
Segundo Guevara Camacho  
TEC. LAB. QUÍMICA

Figura 9.4. Resultados del laboratorio correspondiente a la primera quincena de noviembre.

**Anexo 10.** Tabla de resultados de partículas sólidas totales en gramos a partir de los resultados de laboratorio.

**Tabla 10.1.** Partículas sólidas totales en gramos por quincena de muestreo

Código de placa receptora	PST en (g)			
	2da quincena Setiembre	1ra quincena Octubre	2da quincena Octubre	1ra quincena Noviembre
<b>PRS-01</b>	0.0360	0.0312	0.0718	0.0425
<b>PRS-02</b>	0.0188	0.0137	0.0385	0.0209
<b>PRM-03</b>	0.0004	0.0113	0.0632	0.0561
<b>PRM-04</b>	0.0375	0.0400	0.0629	0.0519
<b>PRB-05</b>	0.0248	0.0531	0.0904	0.0635
<b>PRB-06</b>	0.0253	0.0583	0.0640	0.0484
<b>PRTA-07</b>	0.2878	0.3845	0.3344	0.2632
<b>PRTA-08</b>	0.9685	1.5255	0.3523	0.2285
<b>PRT-09</b>	0.3975	0.1742	0.3104	0.1010
<b>PRT-10</b>	0.4315	0.1840	0.2074	0.0968
<b>PRTI-11</b>	0.5584	0.2674	0.2447	0.1731
<b>PRTI-12</b>	0.4507	0.2693	0.2262	0.1258
<b>PRTO-13</b>	0.7970	0.4421	0.3944	0.1659
<b>PRTO-14</b>	0.8880	0.2944	0.4990	0.2050
<b>PRP-15</b>	0.7689	0.5053	0.2611	0.1511
<b>PRP-16</b>	0.2824	0.1773	0.2237	0.0936
<b>PRJG-17</b>	0.4742	0.4637	0.5569	0.3533
<b>PRJG-18</b>	0.1089	0.0458	0.0760	0.0479



**Tabla 10.2.** Partículas sólidas totales en tkm-2mes-1

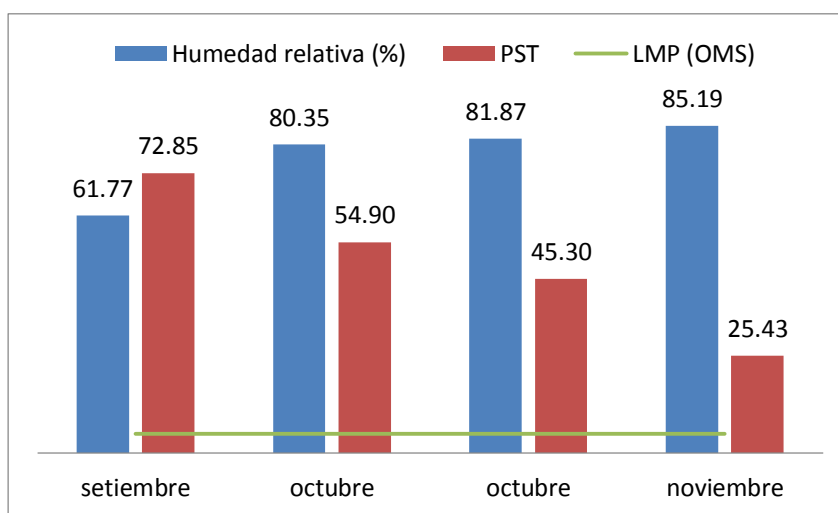
Puntos de monitoreo	Código de placa	Periodo de muestreo (t.km <sup>-2</sup> .mes <sup>-1</sup> )			
		1	2	3	4
Sevilla	PRS-01	7.20	6.24	14.36	8.50
	PRS-02	3.76	2.74	7.70	4.18
El Milagro	PRM-03	0.08	2.26	12.64	11.22
	PRM-04	7.50	8.00	12.58	10.38
Bellavista	PRB-05	4.96	10.62	18.08	12.70
	PRB-06	5.06	11.66	12.80	9.68
Teresa Conga Alto	PRTA-07	57.56	76.90	66.88	52.64
	PRTA-08	193.70	305.10	70.46	45.70
Teresa Conga	PRT-09	79.50	34.84	62.08	20.20
	PRT-10	86.30	36.80	41.48	19.36
El Tingo	PRTI-11	111.68	53.48	48.94	34.62
	PRTI-12	90.14	53.86	45.24	25.16
El Torno	PRTO-13	159.40	88.42	78.88	33.18
	PRTO-14	177.60	58.88	99.80	41.00
El Paraíso	PRP-15	153.78	101.06	52.22	30.22
	PRP-16	56.48	35.46	44.74	18.72
José Gálvez	PRJG-17	94.84	92.74	111.38	70.66
	PRJG-18	21.78	9.16	15.20	9.58

## Anexo 11. Datos meteorológicos

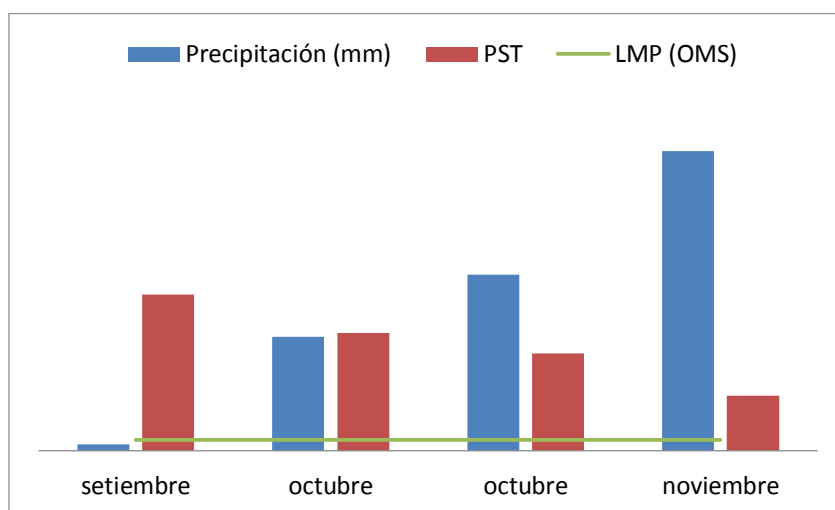
**Tabla 11.1.** Datos meteorológicos para el periodo de estudio para muestreo de PST 2018

PARÁMETROS METEOROLÓGICOS	PERIODO DE ESTUDIO			
	Setiembre	Octubre	Octubre	Noviembre
Temperatura máx. (°C)	24.00	23.50	22.60	21.80
Temperatura mín. (°C)	6.70	7.10	8.20	9.30
Precipitación acumulada (mm)	3.00	53.00	82.00	139.60
Humedad relativa (%)	61.77	80.35	81.87	85.19
Dirección predominante del viento	N	N	N	N
Velocidad del viento (m/s)	4.07	3.44	3.53	3.38

Fuente: SENAMHI 2018



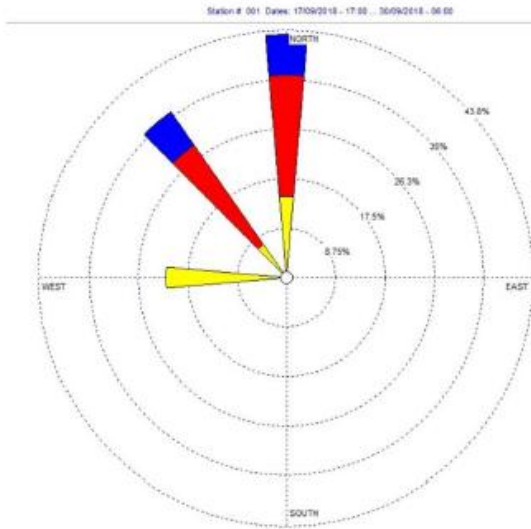
**Figura 11.1.** Relación de concentraciones de PST versus humedad relativa (%)



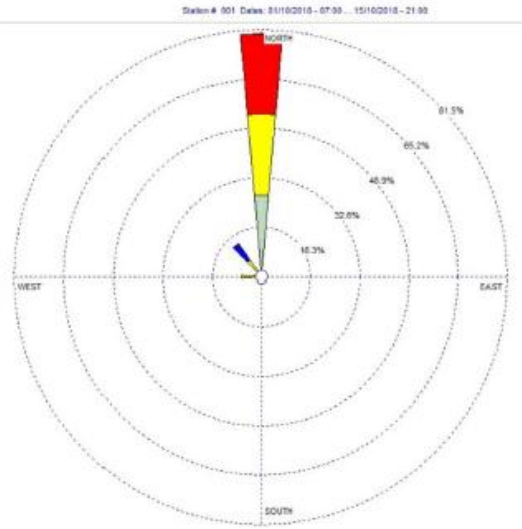
**Figura 11.2.** Relación de concentraciones de PST versus precipitación pluvial (mm)

**Anexo 12.** Rosa de vientos para el periodo de muestreo (segunda quincena de noviembre (A), primera quincena de octubre (B), segunda quincena de octubre (C) y primera quincena de noviembre (D)).

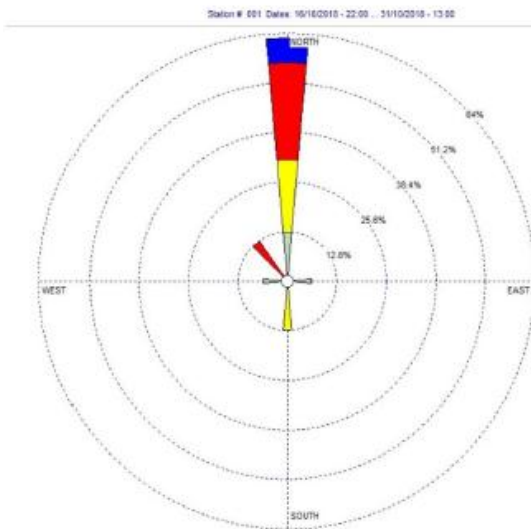
(A)



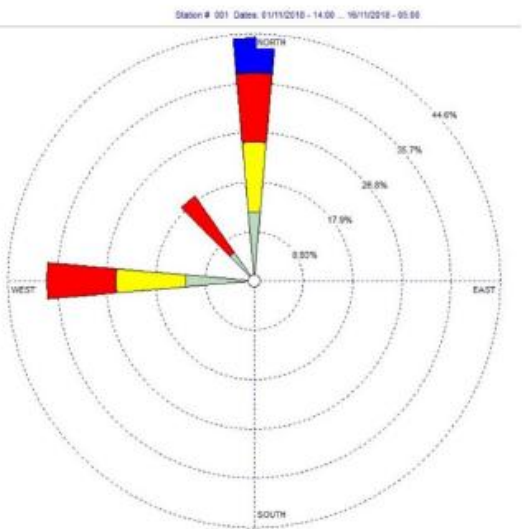
(B)



(C)



(D)



**Anexo 13.** Tablas de distribución de frecuencias por muestreo.

**Tabla 13.1.** Distribución de frecuencias para muestras de PST - segunda quincena de setiembre 2018

<b>N° de intervalo k</b>	<b>Intervalo [Xi-1, Xi]</b>	<b>Marca de clase X'í</b>	<b>F. absoluta ni</b>	<b>F. absoluta acum.</b>	<b>F. relativa</b>	<b>F. relativa acum.</b>
1	[0-38[	19	7	7	38.89	38.89
2	[38-76]	57	2	9	11.11	50.00
3	[76-114]	95	5	14	27.78	77.78
4	[114-152]	133	0	14	0.00	77.78
5	[152-190]	171	3	17	16.67	94.44
6	]190-228]	209	1	18	5.56	100.00
--	Totales	--	18	--	100%	--

**Tabla 13.2.** Distribución de frecuencias para muestras de PST - primera quincena de octubre 2018

<b>N° de intervalo k</b>	<b>Intervalo [Xi-1, Xi]</b>	<b>Marca de clase X'í</b>	<b>F. absoluta ni</b>	<b>F. absoluta acum.</b>	<b>F. relativa</b>	<b>F. relativa acum.</b>
1	[2-61]	31.5	13	13	72.22	72.22
2	[61-120]	90.5	4	17	22.22	94.44
3	[120-179]	149.5	0	17	0.00	94.44
4	[179-238]	208.5	1	18	5.56	100.00
5	[238-297]	267.5	0	18	0.00	100.00
6	[297-356]	326.5	0	18	0.00	100.00
--	Totales	--	18	--	100%	--

**Tabla 13.3.** Distribución de frecuencias para muestras de PST - segunda quincena de octubre 2018.

<b>N° de intervalo k</b>	<b>Intervalo [Xi-1, Xi]</b>	<b>Marca de clase X'í</b>	<b>F. absoluta ni</b>	<b>F. absoluta acum.</b>	<b>F. relativa</b>	<b>F. relativa acum.</b>
1	[7-28]	18	7	7	38.89	38.89
2	[28-48]	38	3	10	16.67	55.56
3	[48-68]	58	4	14	22.22	77.78
4	[68-88]	78	2	16	11.11	88.89
5	[88-108]	98	1	17	5.56	94.44
6	[108-128]	118	1	18	5.56	100.00
--	Totales	--	18	--	100%	--

**Tabla 13.4.** Distribución de frecuencias para muestras de PST - primera quincena de noviembre 2018..

<b>N° de intervalo k</b>	<b>Intervalo [Xi-1, Xi]</b>	<b>Marca de clase X<sub>i</sub></b>	<b>F. absoluta n<sub>i</sub></b>	<b>F. absoluta acum.</b>	<b>F. relativa</b>	<b>F. relativa acum.</b>
<b>1</b>	[4-17]	10.5	7	7	38.89	38.89
<b>2</b>	[27-30]	23.5	4	11	22.22	61.11
<b>3</b>	[30-43]	36.5	4	15	22.22	83.33
<b>4</b>	[43-56]	49.5	2	17	11.11	94.44
<b>5</b>	[56-69]	62.5	0	17	0.00	94.44
<b>6</b>	[69-82]	75.5	1	18	5.56	100.00
--	Totales	--	18	--	100%	--