

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
DOMICILIARIOS Y SU RELACIÓN CON FACTORES
SOCIOECONÓMICOS EN EL PERÚ”**

Presentada por:

WILLINGTON LUIS ORTIZ MESTANZA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Lima – Perú

2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
DOMICILIARIOS Y SU RELACIÓN CON FACTORES
SOCIOECONÓMICOS EN EL PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

WILLINGTON LUIS ORTIZ MESTANZA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Víctor Meza Contreras
PRESIDENTE

Mg.Sc. Víctor Miyashiro Kiyari
PATROCINADOR

Lic. rer.reg. Víctor Aguilar Vidangos
MIEMBRO

Mg.Sc. Rosa Miglio Toledo
MIEMBRO

A mis padres, quienes me guían y dan fuerzas
para seguir adelante y esforzarme en cumplir
mis objetivos

Agradecimiento

A mi familia, a mis hermanos Miguel y Marylin que con sus críticas y alegría hacían que el trabajo sea más llevadero y a la vez me instaban a no perder el objetivo.

A mi asesor de tesis, el Ing. Víctor Miyashiro, por haberme brindado su confianza, apoyo y paciencia durante el proceso de elaboración de la tesis. El conocimiento brindado a lo largo de este periodo ha sido muy valioso para mi crecimiento profesional, así como enriquecedor al presente trabajo de investigación.

Al Ing. Leandro Sandoval, profesor de la Maestría en Ciencias Ambientales, que durante el curso de Ingeniería y Control de Residuos Sólidos, quien me instó a llevar el presente trabajo a un nivel de tesis, además de brindarme información necesaria durante los comienzos de la investigación.

A mis compañeros de la maestría que hicieron que los años que duró la maestría sea un periodo de mi vida muy gratificante tanto en lo personal como en lo profesional.

A todos quienes en algún momento me apoyaron durante este periodo, ya que sin su amistad y palabras de aliento hubiera sido más pesado el camino.

ÍNDICE GENERAL

1.1 ÍNDICE

I. ÍNDICE GENERAL	iii
1.1 ÍNDICE	iii
1.2 ÍNDICE DE CUADROS.....	v
1.3 ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
1.4 ÍNDICE DE ANEXOS.....	viii
II. RESUMEN.....	1
III. INTRODUCCIÓN	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
4.1 Los residuos sólidos como problema ambiental	7
4.2 Características físicas de los residuos sólidos.....	8
4.3 Los residuos sólidos en el Perú.....	10
4.3.1 Características de los residuos sólidos del Perú.....	11
4.4 Los residuos sólidos y su relación con los factores socioeconómicos.....	13
V. MATERIALES Y MÉTODOS	16
5.1 Diseño de investigación	16
5.1.1 Ámbito de estudio	16
5.1.2 Métodos y procedimientos.....	16
5.2 Población y muestra	18
5.3 Instrumentos de colecta de datos	19
5.4 Procedimientos de análisis de datos.....	19
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
6.1 Análisis y distribución de la Generación per Cápita de residuos sólidos (GPC)..	23
6.2 Análisis y distribución de la densidad de los residuos sólidos domiciliarios en el Perú	33

6.3	Análisis y distribución de la composición física de los residuos sólidos en el Perú	38
6.4	Relación entre la Generación Per Cápita de residuos sólidos domiciliarios y Factores Socioeconómicos	43
6.4.1	GPC sin actualizar y factores socioeconómicos	43
6.4.2	GPC actualizada y factores socioeconómicos.....	45
6.5	Cálculo de la tasa de crecimiento de la Generación Per Cápita de residuos sólidos domiciliarios	53
VII.	CONCLUSIONES.....	58
VIII.	RECOMENDACIONES.....	62
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
X.	ANEXOS.....	74

1.2 ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición física promedio de los residuos sólidos por región natural	12
Cuadro 2. Valores máximos, mínimos y promedio de GPC para datos sin actualizar y actualizados al 2015 de acuerdo a cada región natural	23
Cuadro 3. Generación Per Cápita promedio ponderada de residuos sólidos según región al año 2015	25
Cuadro 4. Valores de GPC promedio ponderada para las tres regiones naturales	26
Cuadro 5. Composición física promedio de los residuos sólidos por región natrual	39
Cuadro 6. Cálculo de la tasa de crecimiento de la Generación Per Cápita de residuos sólidos domiciliarios	54

1.3 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de cajas de los valores de la GPC sin actualizar al 2015 correspondiente a las tres regiones naturales	24
Figura 2: Diagrama de cajas de los valores de la GPC actualizados al 2015 correspondiente a las tres regiones naturales	24
Figura 3. Error típico de la media para los valores de la GPC actualizada de las tres regiones naturales	27
Figura 4. Dendrograma de valores de GPC regionales sin actualizar.....	28
Figura 5. Ordenación de similaridad por el método de escalamiento multidimensional no paramétrico de los valores de GPC sin actualizar para las 25 regiones del Perú.....	29
Figura 6. Dendrograma de valores de GPC regionales actualizados al 2015.	30
Figura 7. Ordenación de similaridad por el método de escalamiento multidimensional no paramétrico de los valores de GPC actualizados al 2015 para las 25 regiones del Perú.....	30
Figura 8. Diagrama de cajas de los valores de la densidad de residuos sólidos domiciliarios de las tres regiones naturales.....	34
Figura 9. Error típico de la media para los valores de la densidad de residuos sólidos de las tres regiones naturales	35
Figura 10. Dendrograma de valores regionales de densidad de residuos sólidos	36
Figura 11. Ordenación de similaridad por el método de escalamiento multidimensional no paramétrico de los valores de densidad de residuos sólidos	36

Figura 12. Curva de regresión entre generación per cápita de residuos sólidos sin actualizar y el gasto per cápita familiar45

Figura 13. Curva de regresión entre generación per cápita de residuos sólidos actualizada y el gasto per cápita familiar47

1.4 ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Valores de GPC sin actualizar y actualizada al 2015, densidad y composición de residuos sólidos, indicadores socioeconómicos y población de los 519 distritos del Perú. Región costa=amarillo, región sierra=marrón y región selva=verde.....	74
Anexo 2. Prueba de Kruskal-Wallis / Mann-Whitney para los valores de GPC de residuos sólidos sin actualizar (a) y actualizados al 2015 (b). Los valores resaltados en rosado evidencian diferencias significativas ($p<0.05$).....	89
Anexo 3. Prueba de Kruskal-Wallis / Mann-Whitney para los valores de densidad de residuos sólidos. Los valores resaltados en rosado evidencian diferencias significativas ($p<0.05$).....	91
Anexo 4. Estimación curvilínea para los valores de GPC de residuos sólidos sin actualizar (a) y actualizados al 2015 (b) con respecto a los factores socioeconómicos.....	92

II. RESUMEN

Se estudiaron las características físicas de los residuos sólidos domiciliarios como la generación per cápita (GPC), densidad (kg/m^3) y composición física, a nivel de 519 distritos pertenecientes a las 25 regiones del Perú, para determinar indicadores específicos para el Perú y su relación con factores socioeconómicos y geográficos. Las variables independientes fueron el gasto per cápita familiar (GsPC), índice de desarrollo humano (IDH), índice de pobreza total (IPT), necesidades básicas insatisfechas (NBI) y coeficiente de desigualdad (GINI); mientras que las variable dependientes fueron la GPC, densidad y composición física de los residuos sólidos domiciliarios. Se utilizaron datos provenientes de estudios de caracterización de residuos sólidos y la base de datos actualizada al 2014 del Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos del Ministerio del Ambiente (SIGERSOL). Los valores de la GPC fueron trabajados sin actualizar y actualizados al 2015, encontrándose que la GPC promedio ponderada nacional es de 0.577 kg/hab/día y la región natural selva es la que presenta mayores valores de GPC. A nivel espacial los valores de la GPC se agrupan en algunos casos siguiendo un patrón geográfico de región natural. Para el caso de la densidad de los residuos sólidos, esta fue mucho mayor en la región selva (233.985 kg/m^3), que es la que además presenta la mayor cantidad de materia orgánica en sus residuos, diferenciándose significativamente de las otras dos regiones naturales. Con respecto a la relación entre la GPC y los factores socioeconómicos, se observó que existe una relación más marcada con el gasto per cápita familiar (GsPC), aunque estadísticamente los coeficientes de determinación y correlación no eran fuertes. Por último, la tasa de crecimiento de la GPC se encontró en el rango de 0.263 % a 14.741% dependiendo del crecimiento poblacional y el ingreso económico de los habitantes.

Palabras claves: residuos sólidos, generación per cápita, densidad, composición, socioeconómico, tasa de crecimiento

ABSTRACT

Physical characteristics such as household solid waste generation per capita, density (kg/m^3) and physical composition of 519 districts within 25 regions of Peru were studied to determine specific indicators for Peru and its relationship with socioeconomic and geographic factors. The independent variables were the household per capita expenditure, human development index, total poverty index, unsatisfied basic needs and coefficient of inequality; while the dependent variables were the household solid waste generation per capita, density and physical composition of solid household waste. Data from studies of characterization of solid waste and the database updated 2014 from Information System for Solid Waste Management of Ministry of Environment were used. Household solid waste generation per capita values were worked without updating and updated in 2015, finding that the per capita generation of solid waste is 0.577 kg/person/day and the jungle region has the higher value of per capita generation. Spatially, per capita generation values are grouped in some cases following a natural geographical pattern region. In the case of the density of solid waste, this was much higher in the jungle region ($233.985 \text{ kg}/\text{m}^3$), which is the one featuring the largest amount of organic matter in waste, significantly from the other two natural regions differing. Regarding the relationship between the per capita generation of solid waste and socioeconomic factors, it was observed that there is a stronger relationship with the family per capita spending, although statistically the coefficients of determination and correlation were not strong. Finally, the growth rate of per capita generation was found in the range of 0.263 % to 14.741 %, depending on the population growth and the income of the inhabitants.

Key words: solid waste, per capita generation of solid waste, density, composition, socioeconomic, growth rate

III. INTRODUCCIÓN

El aumento considerable de residuos sólidos generados en nuestro país se constituye en una situación desfavorable para el adecuado desenvolvimiento de las actividades humanas ya que genera problemas ambientales. Las tasas de crecimiento poblacional muestran una tendencia al aumento, lo que implica que la generación per cápita de residuos sólidos también aumentaría si es que no se adoptan políticas de minimización y/o reutilización de estos residuos.

El conocimiento de cuánto y qué residuos sólidos se generan en el Perú se adquiere en base a estudios de caracterización de residuos sólidos a nivel de centros poblados o distritos; estableciendo en esos estudios cuánto genera cada habitante por día, la densidad que poseen los residuos, la generación estimada y la composición específica de los residuos sólidos. Todos los valores desprendidos de los estudios de caracterización servirán de línea base para implementar programas integrales de gestión ambiental de residuos sólidos los cuales deben ser elaborados por las municipalidades provinciales.

La generación de residuos sólidos en el país está experimentando en los últimos años un incremento considerable, asociado al crecimiento económico que vivimos, es así que según el Primer Informe de la Situación Actual de los Residuos Sólidos Municipales, Gestión 2007 (MINAM, 2008), se menciona que la generación per cápita de residuos sólidos (GPC) pasó de 0.711 Kg/hab/día en el 2001 a 1.08 Kg/hab/día en el 2007; aunque en el Segundo Informe de la Situación Actual de Residuos Sólidos Municipales, Gestión 2008 (MINAM, 2009), la GPC se calculó en 0.59 Kg/hab/día para el país y 0.81 Kg/hab/día para Lima Metropolitana. Para el Tercer Informe Gestión 2009, la GPC promedio ponderada a nivel país fue de 0.532 kg/hab/día, (MINAM, 2010); mientras que para el Cuarto Informe de la Gestión 2010-2011 (MINAM, 2012), la GPC promedio ponderada a nivel país fue estimada en 0.52 kg/hab/día y 0.61 kg/hab/día para los años 2010 y 2011 respectivamente; lo que vuelve a evidenciar su tendencia al crecimiento.

Según Jaramillo (2002), si bien el crecimiento poblacional se puede estimar mediante tasas de crecimiento adecuadas, para el caso de la tasa de crecimiento de la GPC esto se hace complicado, por lo que recomienda que con el crecimiento poblacional los índices de

generación también aumenten, considerando así la GPC para cada año con un incremento entre 0.5 y 1% al año.

Lo anterior demuestra la variación de los valores que se obtienen de los estudios, además que existen diferencias de un centro poblado o distrito a otro, relacionado seguramente con el poder adquisitivo de cada familia, el nivel de vida que llevan y la educación ambiental que posean (Sivahumar & Sugirtharan, 2010), es decir los factores socio económicos y culturales afectan el consumo y por ende la posterior generación de residuos sólidos (Tavares, 2012).

Los valores de la Generación Per Cápita (kg/hab/día), densidad (kg/m^3) y composición de los residuos sólidos constituyen las principales características físicas de las que se hace uso para determinar cómo gestionar estos residuos, así se puede saber el estimado de qué cantidad de residuos generará una cierta población, el volumen que ocupará, y con ello establecer los mecanismos adecuados para su almacenaje, recolección, transporte y por último la disposición final, velando así por el correcto y sostenible manejo sanitario que asegure el mantenimiento de una buena calidad ambiental. La importancia en materia económica del manejo adecuado de los residuos sólidos se ha ido incrementando en los últimos años, prueba de ello es el incremento de bibliografía especializada en el tema y el desarrollo de políticas públicas aplicadas en este campo (André & Cerdá, 2006).

Instituciones como la Organización Panamericana de la Salud OPS, Banco Interamericano de Desarrollo BID, entre otros, generan indicadores de residuos sólidos para América Latina, como que la GPC de residuos sólidos municipales en la región varía de 0.3 a 0.8 Kg/Hab/día (BID-OPS, 1998), mientras que Jaramillo (2002) menciona que la generación de residuos sólidos varían de 0.3 a 1.0 Kg/Hab/día. Esta diversidad de valores, aunque no tan distantes, demuestra que cada país se diferencia de los demás, por su misma idiosincrasia o por su estado económico y dentro de los mismos países existen más diferencias; ejemplo es cómo la composición de los residuos sólidos para países de bajos ingresos se diferencia de países de medianos ingresos e industrializados (Cointreau, 1982).

Sumado a lo antes mencionado se entiende que no se puede desligar que la generación y características de los residuos sólidos están influenciadas por los diversos factores socioeconómicos que caracterizan una población, siendo necesario establecerse las adecuadas correlaciones para una adecuada gestión o manejo ambiental.

La adecuada gestión de los residuos sólidos se manifiesta en la elaboración e implementación de planes de manejo, entonces se necesitarán de datos o indicadores adecuados y representativos de cada localidad que se planea estudiar, teniendo para ello importante énfasis en las características de los residuos sólidos, tales como la densidad, generación per cápita, composición, humedad, compresividad entre otras características físicas, químicas y biológicas, las cuales deben ser bien calculadas, ya que son muy necesarias en la realización de proyectos de inversión de manejo de los residuos; no debiendo depender tanto de valores establecidos para América Latina, que son generales y que podrían ser en algunos casos discordantes con nuestra realidad.

Siguiendo la idea de la gestión de los residuos sólidos, un factor importante y necesario de valores generales para el manejo de residuos sólidos y que no puede ser tan específica, es la tasa de crecimiento de la GPC, es decir en cuánto aumenta cada año, que según Jaramillo (2002), difícilmente se encuentran cifras oficiales que den idea de cómo puede variar anualmente; no obstante, para obviar ello y considerando que con el crecimiento poblacional los índices de generación también aumentan, recomienda calcular la GPC total para cada año con un incremento de 0.5 y 1% anual. Este valor es un enunciado teórico, ya que no ha sido calculado en base a datos oficiales, es por ello que es necesario su adecuado cálculo para conocer el real comportamiento de la GPC a través del tiempo.

Todo lo antes mencionado evidencia la importancia del conocimiento de las características de los residuos sólidos, así como la generación de valores o indicadores específicos para nuestro país y cómo éstos se comportan geográfica y socialmente, siendo muy útiles para una gestión ambiental responsable de un problema como lo es el adecuado manejo de los residuos sólidos. Entendiéndose además que una visión holística, será muy útil en el diseño de políticas o aplicación de medidas de gestión, estableciéndose programas de minimización, reutilización y/o reciclaje, así como

cobros adecuados por el servicio de manejo sanitario de los mismos, todo esto teniendo como objetivo el cuidado del ambiente.

El objetivo de la presente investigación es evaluar las características físicas de los residuos sólidos a nivel país y su relación con los factores socioeconómicos, las relaciones entre gasto económico y la generación per cápita de residuos y determinar si existen diferencias o similitudes a nivel geográfico entre las características de generación per cápita, densidad y composición de los residuos sólidos en el Perú.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Los residuos sólidos como problema ambiental

Los residuos sólidos se refieren a aquellos que tiene un origen en las actividades domésticas, comerciales, industriales, institucionales, de mercados, barrido y limpieza y demás actividades humanas, cuya gestión está a cargo mayormente de las autoridades municipales. La Organización de las Naciones Unidas Para el Desarrollo Industrial define residuos o desechos como todo lo que es generado como producto de una actividad, ya sea por la acción directa del hombre o por la actividad de otros organismos vivos, formándose así una masa heterogénea que es difícil de reincorporar a los ciclos naturales (ONUDI, 2007).

El cuidado del ambiente requiere de la prevención en la contaminación a través de una adecuada gestión de los residuos sólidos, que como materia residual de las transformaciones productivas realizadas por las actividades humanas se presentan hoy como un reto en cuanto a su disminución y disposición final, el problema tiende a empeorarse debido al desmedido aumento de la producción y el consumo de bienes y servicios (Bustos, 2009). La disposición final de los residuos sólidos es el principal problema al que la sociedad se enfrenta, ésta es una tarea muy compleja convirtiéndose en un problema común en los países en vías de desarrollo, reflejándose en la falta de limpieza de las calles, descarga de residuos en cursos de agua o su abandono en botaderos a cielo abierto y la presencia de personas en sitios en condiciones infrahumanas expuestas a toda clase de enfermedades y accidentes (Suárez, 2000).

La inadecuada gestión de los residuos como por ejemplo el disponer los residuos sólidos a cielo abierto, ocasiona que: el suelo se vea contaminado por la descomposición de estos además que se genera un mal aprovechamiento del terreno; afectación a la calidad de aguas subterráneas por el lixiviado, afectación a cuerpos de agua superficiales si es que se tiene cercano un curso de agua (río, quebrada, lago o laguna), ya que el mismo puede ser contaminado directamente por el escurrimiento ante la presencia de lluvias; afectación a la calidad del aire, ya que más de un 50% de los residuos es materia orgánica la que al descomponerse emana gases como el amoniaco y el sulfuro de hidrógeno, generando

olores desagradables; afectación al componente socioeconómico como disminución en el valor de las propiedades cercanas al botadero; afectación la salud física y mental de la población (Benvenuto & Benvenuto, 2008). Todos estos impactos ambientales descritos se caracterizan por ser significativos, ameritando acciones específicas y prolongadas para la mitigación o remediación de los mismos.

El problema de los residuos sólidos está presente en la mayoría de las ciudades y poblaciones pequeñas por su inadecuada gestión y tiende a agravarse en determinadas regiones como consecuencia de múltiples factores, entre ellos el acelerado crecimiento poblacional y su concentración en áreas urbanas, el desarrollo industrial, los cambios de hábitos de consumo, el uso generalizado de empaques y materiales desechables, que aumentan considerablemente la generación de residuos sólidos (Jaramillo, 2002). Según Noguera & Olivero (2010), que compararon la producción de residuos sólidos en las principales ciudades de algunos países latinoamericanos, es evidente que existe una clara relación entre la cantidad de residuos generados y el número de habitantes en las ciudades.

Ante esta problemática ambiental originada por el incremento en la generación de residuos sólidos, se observa a nivel mundial que surgen estrategias para su reducción y por ende el mejoramiento de la calidad ambiental. Según Tchobanoglous et al. (1994), una de las formas de reducir la generación de residuos sólidos es limitar el consumo de materias primas e incrementar la tasa de recuperación y reutilización de materiales residuales. La solución no es dejar de consumir, sino más bien hacerlo de una manera responsable y al mismo tiempo minimizar el uso de recursos, materiales tóxicos y emisiones de desperdicios sin afectar a las generaciones futuras (Calderón, 2009; Jaime, 2011).

4.2 Características físicas de los residuos sólidos

Estos se generan de todas aquellas actividades en las que los materiales son considerados por su propietario o poseedor como desechos sin ningún valor adicional y pueden ser abandonados o recogidos para su tratamiento o disposición final. Así los residuos sólidos se pueden clasificar de acuerdo a la actividad generadora, teniéndose así la siguiente

clasificación: residenciales o domiciliarios, comerciales, institucionales, industriales y de barrido de vías y áreas públicas (BID-OPS, 1998).

La producción de residuos sólidos se puede medir en valores unitarios como kilogramos por habitante por día, kilogramos por vivienda por día, kilogramos por cuadra por día, kilogramos por tonelada de cosecha o kilogramos por número de animales por día. Estando la producción de residuos sólidos domiciliarios en América Latina entre los valores de 0.3 a 1.0 kg/hab/día. Si además de lo antes mencionado, se toman datos de residuos comerciales, institucionales y demás antes mencionados, la cantidad se incrementa, elevándose la generación a 0.5 – 1.2 kg/hab/día (Jaramillo, 2002). Se ha estimado que el promedio mundial de generación de residuos por persona se encuentra por encima de 1 kg al día (Muñoz & Bedoya, 2009), en grandes ciudades de los Estados Unidos por ejemplo cada habitante genera en promedio entre 1.5 a 3.0 kg al día (Feuerman, 2002).

Los residuos sólidos municipales son los originados en las actividades que se realizan en la vivienda, la oficina, el comercio y áreas públicas (lo que se conoce comúnmente como basura) y están compuestos de residuos orgánicos, tales como sobras de comida, hojas y restos de jardín, papel, cartón, madera y en general, materiales biodegradables e inorgánicos, a saber, vidrio, plástico, metales, objetos de caucho, material inerte y otros (Tchobanoglous et al., 1994).

En términos generales, los resultados de estudios latinoamericanos sobre composición de los residuos sólidos municipales (RSM) coinciden en destacar un alto porcentaje de materia orgánica (entre 50 y 80%), contenidos moderados de papel y cartón (entre 8 y 18%), plástico y caucho (entre 3 y 14%) y vidrio y cerámica (entre 3 y 8%). También se puede apreciar que la calidad de los residuos sólidos de los países en vías de desarrollo es bastante pobre comparada con la de los industrializados, lo que es importante cuando se desea fomentar programas de tratamiento y reciclaje. En el caso de los países de América Latina y el Caribe (ALC), los RSM tienen un mayor contenido de materia orgánica, una humedad que varía de 35 a 55% y un mayor peso específico, que alcanza valores de 125 a 250 kg/m³, cuando se miden sueltos (Jaramillo, 2002).

4.3 Los residuos sólidos en el Perú

El manejo de los residuos sólidos en el Perú cuando es realizado por una persona natural o jurídica debe ser sanitaria o ambientalmente adecuado con sujeción a los principios de prevención de impactos negativos y protección de la salud, conforme lo establece la ley y los lineamientos de la política nacional del ambiente del estado peruano como lo es la Ley N° 273147, Ley General de Residuos Sólidos y su respectivo Reglamento D.S. N° 057-2004-PCM.

El Perú como otros países del mundo enfrenta retos en el manejo de sus residuos sólidos municipales, debido a que la calidad ambiental cambia por el crecimiento de las poblaciones concentradas hacia grandes ciudades como en los casos de Arequipa, Ica, Trujillo, Chiclayo, Iquitos, Huancayo, entre otros, teniendo como causa principal la migración de las zonas rurales a las urbanas, donde se espera encontrar mejores oportunidades, estableciéndose en distritos populosos de la zona periurbana. Es así que la ineficiente gestión de los residuos sólidos determina una situación de alerta en relación al manejo de los residuos sólidos en nuestro país. A nivel nacional del total de residuos sólidos pertenecientes al ámbito de la gestión municipal, en el año 2007 solamente el 19.3% de los residuos generados fueron dispuestos en rellenos sanitarios autorizados, situación que guarda estrecha relación con la falta de infraestructura de residuos sólidos en la gran cantidad de regiones del Perú (Eguizabal, 2009). Para el año 2011, según el 4to Informe nacional de residuos sólidos (MINAM, 2012), el último que se ha elaborado, se informa que solamente el 38.0% de los residuos sólidos generados en el Perú fueron dispuestos en un relleno sanitario.

La gestión de residuos sólidos en el Perú está aún lejos de ser la adecuada ya que no se cumplen las exigencias legales mínimas en la mayoría de los municipios para asegurar el cuidado de la salud y el ambiente, como por ejemplo se disponen los residuos en botaderos, contrario a lo que debería ser en rellenos sanitarios; aunque solo existen diez en el Perú, esto debido a la lentitud en los trámites administrativos para proyectos sanitarios como estos a la vez que urge la necesidad de un ordenamiento territorial para resguardar espacios para la instalación de rellenos sanitarios y escombreras y así impedir la pérdida de terrenos idóneos por invasiones poblacionales (OEFA, 2014).

4.3.1 Características de los residuos sólidos del Perú

En nuestro país se tenía que la generación per cápita promedio de residuos sólidos domiciliarios era de 0.53 kg/hab/día, según el Análisis Sectorial de Residuos Sólidos del Perú del año 1998 (DIGESA, 1998), dato que se espera se encuentre en constante crecimiento debido a la tasa de crecimiento poblacional, así como el incremento en el poder adquisitivo de las personas en la última década.

Con respecto a que composición física presentan los residuos sólidos, se ha observado el caso de que ésta composición ha variado, debido principalmente a los patrones de consumo cambiantes, tanto por el incremento de los servicios y expansión de supermercados, centros comerciales, en las importantes ciudades como Lima, Arequipa, Cuzco, Cajamarca, Trujillo, Piura, entre otras. El consumismo así como la migración de las zonas rurales a las ciudades, son factores determinantes de la generación y de la composición de los residuos sólidos, cuyos cambios van de materiales de origen orgánico hasta materiales como plásticos que se caracterizan por descomponerse en períodos muy largos (Eguizabal, 2009). La composición física de los residuos sólidos municipales en nuestro país está dada por un 54.5% de residuos orgánicos, un 20.3% de material reciclable, un 6.49% de papel, 4.3% de plásticos, 3.39% de vidrios, 1.56% de textiles y trapos, y alrededor de un 25.2 % de otros residuos (OPS, 2005).

Son varios los estudios de caracterización de residuos sólidos realizados por ONG's tales como Ciudad Saludable, Grupo Gea, ODS, así como PIGARS o proyectos de inversión pública realizados entre los años 2008, 2009 a 2010.

Además de ello se tienen los Informes de la situación de los residuos sólidos municipales y no municipales para la gestión 2007, 2008 y 2009; donde se agrupan todos los estudios de caracterización realizados para obtener datos generales para el Perú, desde la generación per cápita de residuos sólidos por región geográfica, composición física predominante, y generación al día de la totalidad de residuos.

Es así que en el tercer informe nacional de la situación de la gestión de los residuos sólidos (MINAM, 2010), se obtuvo mediante un promedio ponderado que la generación per cápita de residuos sólidos domésticos o domiciliarios al 26.9% fue de 0.532 Kg/hab/día para el año 2009. Los promedios regionales indican que en la selva existe una mayor tasa de generación promedio. La generación de residuos municipales por regiones según tamaño poblacional demuestra que la región Lima fue la que genera mayores residuos y la de menor cantidad fue Madre de Dios.

Según el cuarto informe nacional de residuos sólidos en el Perú gestión 2010-2011 se tuvo que el valor promedio ponderado país de la GPC para el año 2010 fue de 0.52 kg/hab/día y para el año 2011 el valor se incrementó a 0.61 kg/hab/día; de otro lado, del análisis a nivel de región natural fueron la sierra en el 2010 y la costa en el 2011 las regiones que obtuvieron una GPC mayor con respecto a las restantes, además que la composición de los residuos tuvo una preponderancia considerable de restos orgánicos seguido de plásticos (MINAM, 2012).

En el Cuadro 1 se muestra la composición física de los residuos sólidos de acuerdo a su denominación general basándose en la clasificación establecida por CEPIS (2002) y MINAM (2010).

Cuadro 1. Composición física de los residuos sólidos domiciliarios

Denominación general	Componentes
Materia orgánica	Restos de la preparación, cocción y consumo de alimentos, vegetales, cáscaras, huesos, etc.
Papel	Periódicos, papel blanco, papel de color y similares
Cartón	Cajas de cartón, cartulinas blanca, de color y similares
Plástico (Bolsas)	También usado para el plástico de baja densidad PEBD, todo tipo de bolsas plásticas
PET	Plástico reaprovechable, conformado por botellas de gaseosa y demás
Plástico rígido	PEAD, Envases de baldes, lavatorios, y otros similares

Denominación general	Componentes
PVC	Restos de tubos de material PVC
Plásticos varios	Entra a esta denominación tanto el PP y el PS
Vidrio	Botellas de vidrio transparente, ámbar, verde y azul, vidrio de ventanas
Metal	Metales ferrosos y no ferrosos
Madera	Restos de madera, leña, palos y similares
Textiles	Trapos, restos de ropa.
Tetrapack	Envases tetrapack
Residuos peligrosos	Papel higiénico, toallas higiénicas, pañales, medicamentos, pilas y baterías, envases de solventes y pintura, etc.
Otros	Tierra, cenizas, jebes, cauchos, teknopor, cueros y similares, y todos los que no estén presentes en el formato

4.4 Los residuos sólidos y su relación con los factores socioeconómicos

Las relaciones entre el crecimiento económico y las diversas presiones ambientales son, sin duda, complejas. La situación de los países expresado en su economía varían a lo largo del tiempo en cuanto a la importancia de las diversas actividades económicas que en ellos se desarrollen y en cuanto a las tecnologías utilizadas. Por ello que un determinado aumento de escala en la actividad económica tendrá un aumento equivalente en todos y cada uno de los flujos que están en la base de los diferentes problemas ambientales. En los últimos años ha tenido una gran repercusión una hipótesis muy específica sobre la relación entre las presiones ambientales (o a veces los indicadores de estado ambiental) y la renta o ingreso per cápita: la llamada “forma de U invertida” o “Curva ambiental de Kuznets” o CKA, según la cual, en un primer estadio, el crecimiento económico tiene efectos ambientales negativos pero, a partir de un nivel crítico de renta per cápita, la situación ambiental mejora a medida que se dan ulteriores aumentos de la renta per cápita. Aunque los resultados empíricos son parciales, diversos y muchas veces contradictorios, algunos economistas celebraron el supuesto hallazgo como demostración de que hay una evidencia clara de que a pesar de que el crecimiento económico habitualmente conduce a degradación ambiental en una etapa inicial del proceso, finalmente la mejor y

probablemente la única vía de conseguir un medio ambiente decente en la mayoría de países es que se hagan ricos (Beckerman, 1992).

La relación entre la GPC y el ingreso per cápita ya ha sido estudiada antes en otros países, hasta llevada a estudios de modelización como lo es la “Curva Ambiental de Kuznets” elaborado en primer lugar por Kuznets (1955). Esto fue refrendado por el Banco Mundial (1992) en el Reporte Mundial del Medio Ambiente; la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets explora la relación existente entre crecimiento económico y calidad ambiental, intentando demostrar que a corto plazo el crecimiento económico genera mayor deterioro medio ambiental, pero a largo plazo, en la medida que las economías son más ricas, se plantea que el crecimiento económico es beneficioso para el ambiente, esto es, la calidad del ambiente mejora con el incremento en el ingreso, aunque si bien tal evidencia sólo se ha reportado en países desarrollados.

La CKA por sus siglas en inglés, explora la relación existente entre crecimiento económico y calidad ambiental, intentando demostrar que a corto plazo el crecimiento económico genera mayor deterioro medio ambiental, pero a largo plazo, en la medida que las economías son más ricas, se plantea que el crecimiento económico es beneficioso para el ambiente, esto es, la calidad del ambiente mejora con el incremento en el ingreso, aunque si bien tal evidencia sólo se ha reportado en países desarrollados (Correa et al., 2005).

Como se mencionó anteriormente, la producción de residuos sólidos está ligada al nivel de ingreso de las poblaciones de las ciudades y de sus principales actividades productivas. La Evaluación de Residuos muestra que existe una correlación positiva entre la generación de residuos sólidos y el Índice de Desarrollo Humano (IDH) de 33 países de América Latina y el Caribe. Países como Haití, Nicaragua, Guatemala, Granada, Honduras y Bolivia con un IDH menor de 0.7, tienen una generación per cápita de residuos menor de 0.6 kg/hab./día y países con un IDH mayor de 0.8, como Argentina, Uruguay y países del Caribe, tienden a tener una generación de residuos mayor de 1 kg/hab./día, con la excepción de Cuba y Costa Rica, que teniendo un IDH relativamente alto sus generaciones de residuos no sobrepasan 0.81 kg/hab./día (OPS, 2005).

Si bien varios autores (e.g. Wertz, 1976; Grossman et al., 1974; Medina, 1997) han descrito en sus investigaciones que la tasa de generación de residuos sólidos está relacionada a la cantidad de habitantes de un país, estándares de vida, nivel de ingreso económico; se ha mostrado que estos no son los únicos, es decir también dependería de otros factores socioeconómicos, tales como patrones culturales, educación y actitudes personales (Al-Momani, 1994; Bandara et al., 2007).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Diseño de investigación

5.1.1 Ámbito de estudio

El presente estudio comprendió la totalidad del territorio nacional peruano, eligiéndose 519 distritos de las 25 regiones que conforman el Perú.

5.1.2 Métodos y procedimientos

Se utilizaron datos extraídos de diversos estudios de caracterización de residuos sólidos y la base de datos, actualizada al 2014, del Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos del Ministerio del Ambiente – SIGERSOL (www.sigersol.pe). Estos estudios siguieron la metodología establecida en la Guía de Caracterización de Residuos Sólidos (CEPIS, 2002); en los cuales la determinación del tamaño de muestra para el estudio de caracterización usa la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N - 1) E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2}$$

Dónde:

n = muestra de las viviendas

N = total de viviendas

Z = nivel de confianza 95%=1.96

σ = desviación estándar

E= error permisible 10%

Los datos que fueron utilizados corresponderán a los valores de generación per cápita (kg/hab/día), densidad (kg/m³) y composición física.

Para la determinación de los factores socioeconómicos se utilizó los datos del XI Censo Nacional de Población y VI de Vivienda realizado en el año 2007 por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2007).

Los datos seleccionados fueron: generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios por distrito (GPC), densidad de los residuos sólidos (kg/m^3) y composición de los residuos sólidos. Los datos del XI Censo Nacional de Población y VI de Vivienda realizado en el año 2007 por el INEI fueron los valores de: gasto per cápita familiar (s/.), índice de desarrollo humano (IDH), índice de pobreza total (IPT%), necesidades básicas insatisfechas (NBI %) y el coeficiente de desigualdad GINI. A continuación se procede a definir cada uno de los datos para un mejor entendimiento en el presente trabajo de investigación.

- a. **Gasto per cápita (s/.):** Se refiere al monto económico expresado monetariamente en nuevos soles (s/.) por hogar al mes.
- b. **Índice de desarrollo humano (IDH):** Indicador estadístico compuesto que mide el adelanto medio en lo que respecta a la capacidad humana básica, representada por las tres oportunidades humanas más importantes y permanentes a través del tiempo: longevidad, nivel educacional y nivel de vida. Los valores máximos y mínimos para cada variable se expresen en una escala entre 0 y 1.
- c. **Índice de pobreza total (IPT):** Se define como la proporción de personas en pobreza en relación a la población total.
- d. **Necesidades básicas insatisfechas (NBI):** Es el porcentaje de población con al menos 1 necesidad básica insatisfecha (de las 5 consideradas), no con todas. Dentro de una canasta con 5 necesidades básicas, el carácter de al menos una de ellas determina al hogar o la población en condición de pobreza. Estas 5 NBI son: población en viviendas con características físicas inadecuadas, en viviendas con hacinamiento, en viviendas sin desagüe, con niños que no asisten a la escuela y por último con alta dependencia económica.
- e. **Coeficiente de desigualdad GINI:** Es una medida de la desigualdad, que mide la distribución desigual del ingreso. Este indicador va de 0 a 1, donde 0 representa una perfecta igualdad (todos tienen los mismos ingresos) y 1 una perfecta desigualdad

(una persona tiene todos los ingresos y los demás ninguno).

El procedimiento para evaluar los patrones de distribución de las características físicas de los residuos sólidos y su relación con los factores socioeconómicos, requirió en primer lugar determinar si es que existen diferencias o similitudes a nivel geográfico entre las características físicas de los residuos, como generación per cápita, densidad y composición. Así también determinar relaciones entre gasto económico y la generación per cápita; además de que se establecieron los valores adecuados para el Perú sobre las características físicas de los residuos sólidos.

La determinación de similitudes o diferencias significativas necesitaron de pruebas estadísticas a un nivel de confianza del 95%. Así también, para establecer posibles relaciones entre las variables dependientes e independientes se realizaron análisis de regresión. Por último, la distribución espacial de la GPC y la densidad de residuos sólidos fue establecida mediante análisis de escalamiento multidimensional no paramétrico y dendrogramas.

5.2 Población y muestra

Se utilizó información seleccionada de diversos estudios de caracterización de residuos sólidos y base de datos de SIGERSOL como fuentes primarias, correspondientes a 519 distritos del país repartidos entre las 25 regiones; así también se utilizó el Segundo Informe Nacional Anual de Residuos Sólidos Municipales en el Perú – Gestión 2008; el Tercer Informe Nacional de la Situación Actual de la Gestión de los Residuos Sólidos Municipales y No Municipales – Gestión 2009; el Cuarto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y No Municipales – Gestión 2010 / 2011; todos ellos elaborados por el Ministerio del Ambiente – MINAM en los años 2009, 2010 y 2012 respectivamente.

En el Anexo 1 se muestran los datos de los 519 distritos del país por región administrativa y región natural, tomándose como base la ubicación geográfica de cada distrito y la altitud a la que se encuentran, teniendo en cuenta la clasificación de las

ocho regionales naturales del Perú propuestas por Pulgar-Vidal (1981); clasificándose así las siguientes regiones que se utilizaron en la presente investigación:

- Región Costa: que abarcó a la Costa o Chala, desde los 0 a los 500 msnm.
- Región Sierra: que abarcó a la Yunga (500 – 2500 msnm), Quechua (2500 – 3500 msnm), Suni (3500 – 4000 msnm), Puna (4000 – 4800 msnm) y Janca (4800 – 6768 msnm).
- Región Selva: que abarcó a la selva alta o Rupa Rupa (400 – 1400 msnm) y a la selva baja u Omagua (80 – 400 msnm)

5.3 Instrumentos de colecta de datos

Correspondieron a los siguientes:

- Entrevistas a especialistas en el tema.
- Búsqueda de bases de datos de instituciones (OPS, CEPIS, MINAM).
- Búsqueda de datos socioeconómicos en base de datos del INEI.

5.4 Procedimientos de análisis de datos

Con los valores de generación per cápita de residuos sólidos (GPC), densidad y composición física obtenidos de los estudios de caracterización en diversos distritos del Perú, base de datos de SIGERSOL y últimos informes anuales de residuos sólidos elaborados para el MINAM en los años 2009, 2010 y 2012; se procedió a agruparlos por provincias, departamentos y/o regiones políticas, así como por regiones geográficas Costa, Sierra y Selva, esto de manera preliminar. La data de la GPC fue actualizada al año 2015 teniendo en cuenta una tasa de crecimiento de 1% al año tal como recomienda Jaramillo (2002).

Se analizaron los valores de GPC, densidad y composición de residuos sólidos mediante dos pruebas estadísticas, la prueba de Kruskal Wallis y Mann Whitney a un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$), ambas pruebas son no paramétricas, es decir cuando los datos no siguen exclusivamente una distribución normal. La prueba de Kruskal – Wallis es una

prueba de ANOVA para datos no paramétricos, que trabaja con la mediana de los datos, la prueba de Mann Whitney, al igual que la primera trabaja con la mediana, pero solo trabaja para datos pareados o dos muestras, en cambio la primera lo hace para 2 o más. Estas dos pruebas permitieron determinar si existieron diferencias significativas entre los datos que se compararon; para tal caso se utilizó el Software Libre PAST versión 2.17c (<http://folk.uio.no/ohammer/past>) (Hammer et al, 2001).

Así también siguiendo el análisis de los datos se utilizó el Software estadístico SPSS 18.0, para la determinación del error típico de la media ($p < 0.05$) de los valores de GPC y densidad de los residuos sólidos, correlaciones entre la GPC y los factores socioeconómicos mediante el análisis de correlación de Spearman (Ludwig & Reynolds, 1988) obteniendo el coeficiente de correlación r , así como para determinar la mejor curva de regresión entre los datos de GPC y factores socioeconómicos (coeficiente de determinación r^2); de igual manera el software Microsoft Office Excel 2007 fue utilizado para los cálculos de tasas de crecimiento de la GPC para Perú, así como el cálculo de valores indicadores globales de las características de los residuos adecuados a la realidad peruana.

Con respecto al análisis de distribución espacial de los valores de la GPC y densidad de los residuos sólidos a nivel departamental y/o regional, se hizo uso del análisis de Escalamiento Multidimensional no paramétrico (NMDS), teniendo en cuenta que valores de “stress” debajo de 0.1 corresponden a un buen ajuste de ordenación (Clarke & Warwick, 2001). El análisis NMDS es una técnica de ordenación multivariable que trata de representar en un espacio geométrico de pocas dimensiones las proximidades existentes entre un conjunto de objetos (Oksanen, 2015). En esta técnica se basa en el conocimiento de determinada información sobre proximidades o disimilaridades entre objetos, tal cual describe Legendre & Legendre (1998), implementándose de la siguiente manera:

- Se transformaron los datos mediante la función $\log(x+1)$.
- Se calculó la matriz de disimilaridad a partir de la matriz de datos utilizando un índice de medida de disimilaridad como el de Bray-Curtis (estadístico usado para cuantificar la disimilaridad composicional entre dos sitios o muestras diferentes,

basados en los recuentos en cada sitio), de acuerdo a la siguiente fórmula de datos agrupados pareados:

$$b_{ii'} = \frac{\sum_{j=1}^J |n_{ij} - n_{i'j}|}{n_{i+} + n_{i'+}}$$

Dónde:

n_{ij} = cantidad de elementos en la muestra i del dato j

$n_{i'j}$ = cantidad de elementos en la muestra i' del dato j

n_i = cantidad total de elementos en la muestra i

$n_{i'}$ = cantidad total de elementos en la muestra i'

- Se asignaron los sitios a una configuración inicial aleatoria en un espacio multidimensional y se calcularon las distancias sobre el nuevo espacio geométrico y se calcula una matriz de distancia X e Y , procediéndose luego a compararlas y reasignar los sitios para reducir las distancias con la matriz X , repitiéndose el proceso de manera iterativa hasta que se consigue una solución óptima en donde la matriz de distancias Y es muy parecida a la matriz de distancias X , es decir se minimiza el stress. El resultado que se obtiene es que los sitios evaluados se agrupan o desagrupan de acuerdo a sus similitudes. Para este cálculo se utilizó el software de análisis multivariado Primer 6 versión 6.1.6.

Además con la matriz se construyó un dendrograma, en base al ligamiento promedio no ponderado o por sus siglas en inglés UPGMA (Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic Average), el cual consiste en la búsqueda de la distancia más pequeña en la matriz de distancias de sitios y agrupar las unidades que la conforman como una sola independiente; se calculan los promedios de la nueva unidad contra las restantes creando una nueva matriz y se repite el proceso hasta que todas las unidades queden unidas a un único elemento, es decir la similitud o matriz de distancia se actualiza y se reduce en tamaño en cada paso de agrupación, es así que el agrupamiento o ligamiento se da por aglomeración resultando en un árbol de similaridad o dendrograma (Legendre & Legendre, 1998). El resultado que se obtiene es que las ramas del árbol o dendrograma agrupan a los sitios con más similitudes en las características que se evalúan. Para la construcción del

dendrograma los datos sufrieron una transformación utilizando el $\text{Log}(X + 1)$ para luego ser utilizado el índice de medida de disimilaridad Bray-Curtis; para estos cálculos se utilizó el software de análisis multivariado Primer 6 versión 6.1.6.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Análisis y distribución de la Generación per Cápita de residuos sólidos (GPC)

Para este análisis se trabajó con la GPC sin actualizar (datos puros) y actualizada al año 2015 (ver Anexo 1), con el fin de determinar si la GPC presenta diferencias entre regiones naturales para así observar patrones de comportamiento y distribución espacial.

La división de los 519 distritos estudiados por regiones naturales o geográficas, costa, sierra y selva, permitió calcular el promedio de GPC así como los valores mínimos y máximos de cada una de las tres, tanto para los datos puros o sin actualizar y los actualizados al 2015, siendo la región selva de mayor valor de GPC (ver Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores máximos, mínimos y promedio de GPC para datos sin actualizar y actualizados al 2015 de acuerdo a cada región natural

Región	GPC sin actualizar (kg/hab/día)	GPC actualizada al 2015 (kg/hab/día)
Costa	0.530 (Mín.: 0.170, Máx.: 1.420)	0.543 (Mín.: 0.172, Máx.: 1.569)
Sierra	0.450 (Mín.: 0.100, Máx.: 0.980)	0.465 (Mín.: 0.101, Máx.: 0.990)
Selva	0.557 (Mín.: 0.250, Máx.: 1.100)	0.575 (Mín.: 0.253, Máx.: 1.122)
Promedio	0.498	0.513

En la figura 1 y figura 2, se presentan los diagramas de caja de los valores de la GPC sin actualizar y actualizados al 2015 para las tres regiones geográficas.

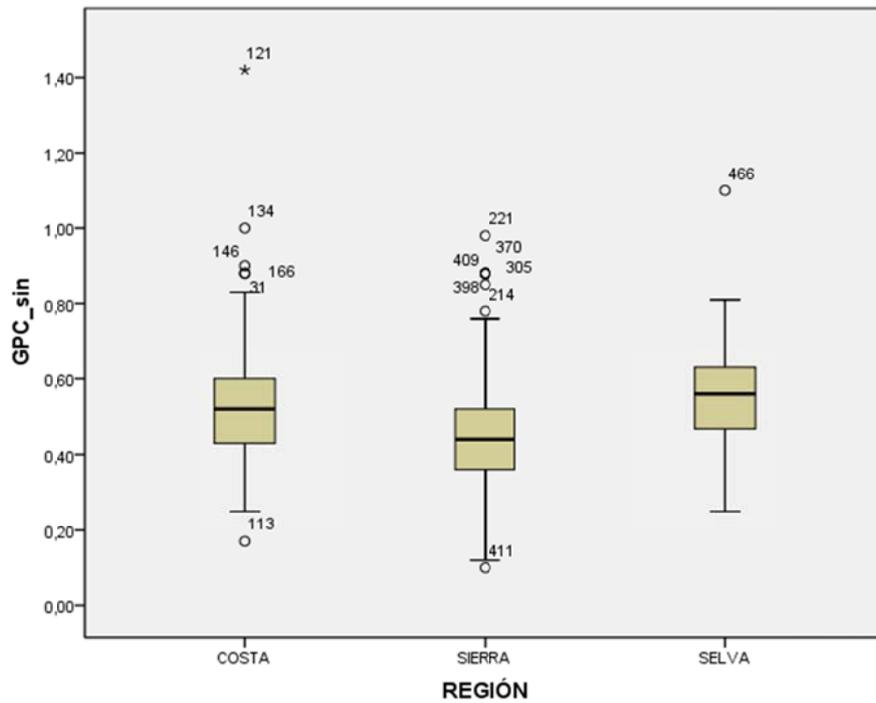


Figura 1. Diagrama de cajas de los valores de la GPC sin actualizar al 2015 correspondiente a las tres regiones naturales

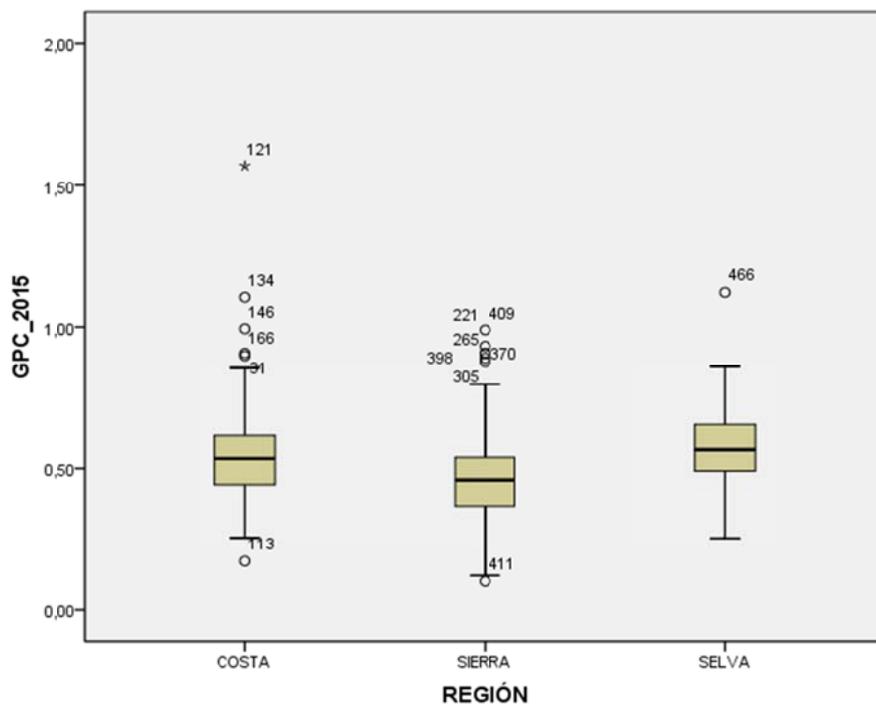


Figura 2: Diagrama de cajas de los valores de la GPC actualizados al 2015 correspondiente a las tres regiones naturales