



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i1>

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélite en la ciudad de Riobamba – Ecuador

Indicators of urban environmental quality, from satellite images in the city of Riobamba – Ecuador

Indicadores de qualidade ambiental urbana, a partir de imagens de satélite na cidade de Riobamba – Equador

Luis Felipe Lema-Palaquibay ^I
luisf.lema@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1898-0954>

Fabian Israel Heredia-Moreno II
fabian.heredia@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9413-7504>

José Fernando Esparza-Parra III
jose.esparza@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0483-6433>

Daisy Carolina Carrasco-López IV
daisy.carrasco@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4161-176X>

Jhony Fernando Cruz-Román V
jhonycruz@usal.es
<https://orcid.org/0000-0002-1898-0954>

Alba Maritza Sinaluisa-Pilco VI
alba.sinaluisa@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3236-133X>

Correspondencia: rcabrera@istte.edu.ec

***Recibido:** 12 de Enero de 2022 ***Aceptado:** 28 de febrero de 2023 * **Publicado:** 9 de marzo de 2023

Correspondencia: luisf.lema@esPOCH.edu.ec

- I. Ingeniero en Ecoturismo. Técnico de Investigación. Instituto de Investigaciones. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- II. Master en Ingeniería Matemática y Computación. Analista de Proyectos y Transferencia de Tecnologías 2 - Instituto de Investigaciones - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- III. Magister en Gerencia Informática. Docente Investigador Facultad de Recursos Naturales - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- IV. Ingeniera en Ecoturismo. Técnico de Investigación. Instituto de Investigaciones. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- V. Máster en Biología y Conservación de la Biodiversidad. Doctorado en Biología y Conservación de la Biodiversidad. Universidad de Salamanca, Salamanca, España.
- VI. Ingeniera en Ecoturismo. Investigadora independiente

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

Resumen

La presente investigación propone: estimar el índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite en la ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo; se elaboró mediante imágenes satelitales de Lantsad 8, cuyo procesamiento se realizó en base a cinco índices (vegetación, suelo, agua y temperatura de superficie) cuyos resultados del procesamiento digital, se transformó a polígonos, para poder obtener un dato aproximado correspondiente a la extensión en hectáreas que ocupa cada variable del indicador en la ciudad de Riobamba, siendo el NDVI más representativo del 30/10/2014 correspondiente a la vegetación media 247,98 ha, con respecto al NSI el más representativo es del 15/09/2015 correspondiente a suelo desnudo y construcciones con una extensión aproximada de 2328,64 ha, en cuanto al NDWI la fecha más representativa es del 30/10/2014, que corresponde a humedad de suelo con una extensión de 697,71 ha. Para la determinación de la temperatura superficial se utilizó la metodología de conversión de imágenes satelitales del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), los datos de temperatura se transformaron a °C ya que originalmente estos quedan en ° K, identificando la temperatura más baja de 11, 7 °C y máxima de 42 °C. Para la determinación del ICA se realizó en base a la aplicación de modelos estadísticos como el ANOVA y correlaciones, cuyos resultados permitió determinar las significancias estadísticas entre parroquias y la correlación existente entre cada variable de los índices de calidad ambiental, lo cual mediante escalas arbitrarias máximas y mínimas se pudo determinar que el índice de calidad ambiental de la ciudad de Riobamba, es de 2,78 correspondiente a regular.

Palabras clave: índice de calidad ambiental; variable; imágenes satelitales; Riobamba

Abstract

The present investigation proposes: to estimate the urban environmental quality index, from satellite images in the city of Riobamba, Province of Chimborazo; It was elaborated through satellite images of Lantsad 8, whose processing was carried out based on five indices (vegetation, soil, water and surface temperature) whose results of digital processing were transformed into polygons, in order to obtain an approximate data corresponding to the extension. in hectares occupied by each variable of the indicator in the city of Riobamba, being the most representative NDVI of 10/30/2014 corresponding to the average vegetation 247.98 ha, with respect to the NSI the most representative is

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

of 09/15/2015 corresponding to bare soil and buildings with an approximate extension of 2328.64 ha, as for the NDWI the most representative date is 10/30/2014, which corresponds to soil moisture with an extension of 697.71 ha. To determine the surface temperature, the United States Geological Survey (USGS) satellite image conversion methodology was used, the temperature data was transformed to °C since originally these remain in °K, identifying the lowest temperature of 11, 7 °C and a maximum of 42 °C. For the determination of the ICA, it was carried out based on the application of statistical models such as ANOVA and correlations, whose results allowed us to determine the statistical significance between parishes and the existing correlation between each variable of the environmental quality indices, which through maximum arbitrary scales and minimum it was possible to determine that the environmental quality index of the city of Riobamba is 2.78 corresponding to regular.

Keywords: environmental quality index; variable; satellite images; Riobamba.

Resumo

A presente investigação propõe: estimar o índice de qualidade ambiental urbana, a partir de imagens de satélite na cidade de Riobamba, Província de Chimborazo; Foi elaborado através de imagens de satélite do Landsat 8, cujo processamento foi realizado com base em cinco índices (vegetação, solo, água e temperatura da superfície) cujos resultados do processamento digital foram transformados em polígonos, a fim de obter um dado aproximado correspondente à extensão . em hectares ocupados por cada variável do indicador no município de Riobamba, sendo o NDVI mais representativo de 30/10/2014 correspondente à vegetação média 247,98 ha, com relação ao NSI o mais representativo é de 15/09/2015 correspondente para solo descoberto e edificações com extensão aproximada de 2.328,64 ha, já para o NDWI a data mais representativa é 30/10/2014, que corresponde a umidade do solo com extensão de 697,71 ha. Para determinar a temperatura da superfície, foi utilizada a metodologia de conversão de imagens de satélite do United States Geological Survey (USGS), os dados de temperatura foram transformados para oC, pois originalmente estes permanecem em oK, identificando a temperatura mínima de 11,7 oC e máxima de 42 oC . Para a determinação do ICA,

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

procedeu-se com base na aplicação de modelos estatísticos como ANOVA e correlações, cujos resultados permitiram determinar a significância estatística entre freguesias e a correlação existente entre cada variável dos índices de qualidade ambiental, que através escalas arbitrarias máximas e mínimas foi possível determinar que o índice de qualidade ambiental da cidade de Riobamba é 2,78 correspondente ao regular.

Palavras-chave: índice de qualidade ambiental; variável; imagens de satélite; Riobamba.

Introducción

En el Ecuador un alto porcentaje de la población vive en las ciudades, esto debido a la migración desde el campo y al crecimiento demográfico lo que ha provocado que los centros urbanos crezcan de manera acelerada y con poca planificación, causando graves impactos sobre el ambiente. El sistema de abastecimiento de agua potable es insuficiente, la generación de desechos sólidos se incrementa diariamente; el parque automotor sobrepasa las proyecciones realizadas; la infraestructura sanitaria ha cumplido su vida útil y no está completa; además, los gobiernos locales cuentan con escasos recursos para invertir en obras para enfrentar estos problemas (Cultura y Naturaleza Internacional, 2007).

Las imágenes satelitales se han convertido en una fuente valiosa de información ya que tienen la ventaja de abarcar una zona más extensa que las imágenes aéreas, lo que facilita numerosas aplicaciones, tales como el inventario de recursos naturales, planificación urbana y rural, monitoreo y gestión del medio ambiente, agricultura, infraestructuras, obras civiles, exploraciones mineras, respuestas rápidas a desastres y operaciones militares, entre muchas otras (Arozarena, 2001)

Estas aplicaciones son posibles gracias al desarrollo que ha tenido el tratamiento digital de imágenes satelitales, herramienta fundamental de la teledetección cuyo procesamiento contempla técnicas matemáticas, estadísticas y computacionales, que permiten mejorar, corregir, analizar y extraer información de las imágenes captadas por los sensores a bordo de los satélites, permitiendo realizar

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

operaciones complejas. Una de sus grandes ventajas es la rapidez del procesamiento de la información digital disponible hoy en día para cada proyecto (Chuvieco, 2010)

Un indicador ambiental es una variable o suma de variables que proporciona una información sintética sobre un fenómeno ambiental complejo que permite conocer, evaluar el estado y variación de la calidad ambiental. Para la caracterización de indicadores ambientales se identifican y jerarquizan los conflictos o problemáticas del ambiente, a partir de lo cual se seleccionan las principales variables que componen el sistema de indicadores. Los requisitos que deben tener los indicadores seleccionados son: ser medibles, comprensibles, fáciles de usar e interrelacionar, tener dimensión espacial y temporal, que permite pronosticar en función de la detección de situaciones de alerta ambiental. Los indicadores ambientales son una herramienta para efectuar el monitoreo de la biodiversidad a través de la recolección sistemática de datos obtenidos mediante mediciones u observaciones en series de tiempo y espacio (Nichol & Wong, 2005, Therburg, 2002).

Los sistemas de información geográfica (SIG) constituyen un instrumento eficaz con gran potencial analítico, permitiendo superponer información geográficamente referenciada y facilitando la evaluación de la interacción espacial entre las capas de información representadas. Hoy en día su aplicabilidad se ha difundido a la ordenación territorial y la planificación de recursos. Lo interesante de los indicadores ambientales es que muchos de sus índices e indicadores pueden visualizarse espacialmente mediante SIG pudiendo rápidamente advertir la situación de una región con un simple “golpe de vista” La aplicación de métodos informáticos en el análisis ambiental es cada vez más común (Gonzalez et al., s/f).

Metodología

Área de estudio

La investigación se realizó en la ciudad de Riobamba ubicada en la provincia de Chimborazo, en la zona central interandina del Ecuador

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

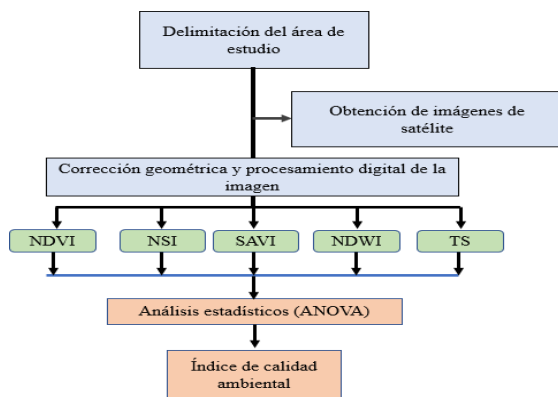
Figura 1. Mapa de ubicación de la ciudad de Riobamba



Métodos

La Figura 2 muestra el procedimiento seguido para la determinación del índice de calidad ambiental urbana propuesto. Cada etapa realizada se describe en detalle a continuación.

Figura 2. Proceso metodológico usado para obtener el índice de calidad ambiental urbano



Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

Corrección geométrica y procesamiento digital de la imagen

Las imágenes satelitales fueran sometidas a corrección geométrica, conversión de los niveles digitales (ND) de las bandas espectrales no térmicas a valores de reflectividad, y conversión de los ND de las bandas térmicas a temperatura de superficie. Esto debido a que imagen adquirida en formato numérico presenta una serie de anomalías respecto a la escena real detectada. Estas anomalías están en la localización de los píxeles que componen la matriz de datos. Esta corrección pretendió minimizar estas alteraciones, como producto se obtuvo una imagen más clara radiométricamente a la verdadera energía radiante debido a que el sensor no es una representación exacta de la radiancia.

Obtención de los indicadores ambientales

Tabla 1. Fórmula correspondiente a los indicadores ambientales

Indicadores	Fórmula
NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada)	<p>Fórmula:</p> $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ <p>Donde:</p> <p>NDVI = Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada</p> <p>NIR= Banda Infrarroja cercana (Banda 5), transformada previamente a valores de reflectancia.</p> <p>R= Banda Visible (rojo) (Banda 4), transformada previamente a valores de reflectancia.</p>
SAVI (Índice de vegetación ajustado al suelo)	<p>Fórmula:</p> $SAVI = [(NIR - R) / (NIR + R + L)] (1 + L)$ <p>Donde:</p> <p>NIR = Infrarrojo cercano (Banda 5)</p>

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

	<p>R= Banda Visible (rojo) (Banda 4),</p> <p>Siendo L un coeficiente de ajuste de la vegetación, equivalente a 1, recomendado para densidades bajas de vegetación.</p> <p>L= 1 (para bajas densidades de vegetación)</p> <p>L= 0,5 (para medias densidades de vegetación)</p> <p>L= 0,25 (para altas densidades de vegetación)</p>
NSI (Índice de diferencia normalizada de suelos)	<p>Fórmula:</p> $NSI = (SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)$ <p>Donde:</p> <p>NSI = Índice de suelo de diferencia normalizado</p> <p>SWIR = Infrarrojo de onda corta (Banda 6)</p> <p>NIR = Infrarrojo cercano (Banda 5)</p>
NDWI (Índices de agua de diferencia normalizada)	<p>Fórmula:</p> $NDWI = (NIR - SWIR2) / NIR + SWIR2)$ <p>Donde:</p> <p>NDWI = Índice de agua de diferencia normalizada</p> <p>NIR = Infrarrojo cercano (Banda 5)</p> <p>SWIR2 = Infrarrojo de onda corta 2 (Banda 7)</p>
TS (Temperatura de Superficie)	<p>Fórmula:</p> $TS = BL / 1 + W * (BL / \rho) * \ln \epsilon$ <p>Donde:</p>

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

	<p>TS: Temperatura de superficie</p> <p>BT: temperatura de brillo del satélite</p> <p>W: Longitud de onda media de la banda termal considerada</p> <p>$p = h \cdot c / \sigma$, ($1.438 \cdot 10^{-2}$ mK), donde:</p> <p>h: Constante de Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ Js)</p> <p>c: Es la velocidad de la luz ($2.998 \cdot 10^8$)</p> <p>σ: Constante de Boltzman ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K).</p> <p>ϵ: Emisividad de la superficie</p> <p>$p = 14380$</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Estimación del índice de calidad ambiental urbano

Para el análisis estadístico se partió de que los indicadores ambientales analizados guardan una estructura de correlación alta previo a la realización del ANOVA se comprobó la homogeneidad ya que esta prueba es una generalización del contraste de igualdad de medias para dos muestras independientes. Se aplicó para contrastar la igualdad de medias de tres o más poblaciones independientes y con distribución normal.

Resultados

Delimitación del área de estudio

La zona de estudio fue ajustada en base a la zona urbana de la ciudad de Riobamba, como resultado se obtuvo un archivo en formato shp, el mismo constituyó una base sobre la cual se cortó la imagen satelital, insumo sobre el cual se realizó el tratamiento digital.

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.



Figura 3. Delimitación del área en estudio.

Obtención de la imagen de satélite de Landsat 8

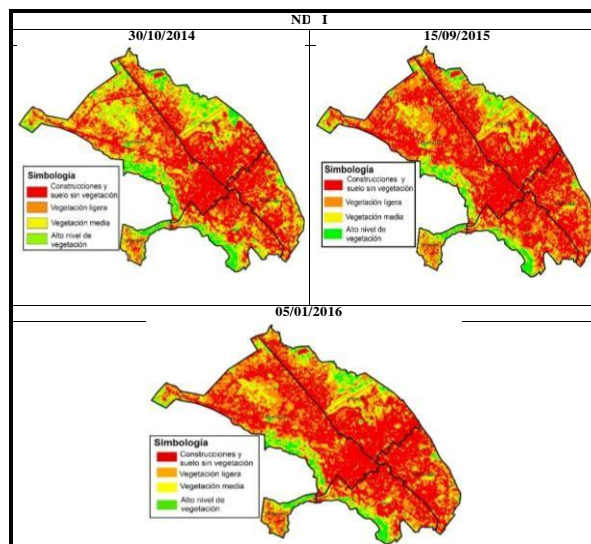
La imagen multiespectral Landsat 8 actualizada, se descargó de la página web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) de la USGS por sus siglas en inglés (United States Geological Survey), en específico de las fechas, 30 de Octubre del 2014, 15 de Septiembre del 2015 y 5 de enero del 2016, se tomó en consideración las imágenes satelitales solo de estas fechas debido a que presentan nubosidad mínima ya que permite el análisis de la imagen de una manera más eficiente.

NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada)

Un NDVI se utiliza a menudo en todo el mundo para monitorear la sequía, vigilar y predecir la producción agrícola, para poder prever las zonas de fuego peligrosas, y trazar el avance del desierto (Lillesand, 2014). Control de la intensidad y la densidad de la vegetación de crecimiento verde se puede hacer usando la reflexión de la banda de color rojo y la banda infrarroja. Vegetación verde refleja más energía en la banda de infrarrojo cercano que en el rango visible. Se observa la banda roja más por el proceso de fotosíntesis. Las hojas reflejan menos en la región del infrarrojo cercano cuando están estresados, enfermos o muertos, características como las nubes, el agua y la nieve muestran una mayor reflexión en el rango visible (Chuvieco, 2010). Ha sido reconocido como uno de los indicadores más útiles para el estudio de características de la biosfera terrestre y su dinámica, a nivel global, regional y local (Chuvieco, 2010).

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

Figura 4: Índice de vegetación de diferencia normalizada por parroquias



Mediante el análisis de las variables del NDVI de los 3 años se puede determinar que para el 30/10/2014 la vegetación estuvo con mayor follaje, siendo la parroquia Lizarzaburu la más representativa con una extensión aproximada de 247,98 ha correspondiente a vegetación media que tiene mayor representatividad en relación a los otros años que son de 88,04 ha para el 15/09/2015 y 135 ha para el 05/01/2016, en relación a vegetación alta se pudo determinar que para el 30/10/2014 se tiene 63,71 ha, 35,25 ha en lo que respecta al 15/09/2015 y 56,14 ha a lo que corresponde al 05/01/2016, esa variación se debe a que en el año 2014 la precipitación anual fue de 564 mm, siendo la precipitación del mes de estudio (30 de Octubre) de 61, 7mm teniendo 15 días en los que llovió en el mes, el año 2015 tuvo una precipitación anual de 475, 33mm, siendo la precipitación hasta la fecha del mes de estudio (15 de Septiembre) de 2,0 mm y del mes anterior a esta fecha de la precipitación fue de 8,9 mm y en lo que corresponde al 5 de enero del 2016 hasta la fecha de estudio se tienen una precipitación de 0,9 mm y del mes anterior que es diciembre del 2015 es de 13,4 mm, este análisis nos da a entender que el año 2015 e inicios del 2016 fueron años secos en relación al 2014 donde existe mayor vegetación madura y sana principalmente en las parroquias Lizarzaburu y Velazco.

NSI (Índice de diferencia normalizada de suelos)

Destaca las áreas construidas y en suelo desnudo, dado a que estas superficies son más reflectivas en el SWIR que en el NIR. (Roger, A & Kearney, M, 2004) Este tipo de estudios se ve favorecido en áreas con escasa cubierta vegetal, debido a que ésta tiene un efecto de pantalla y nos permite captar la radiación directa del

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

suelo o roca desnuda (Pineda, 2010). Estos cocientes se usan para determinar rocas alteradas hidro-térmicamente, con alto contenido de arcillas, micas y rocas sulfatadas (banda NIR/banda SWRI) y para aislar las cubiertas vegetales del suelo desnudo (banda NIR/banda R). En este caso lo que se desea es realzar los suelos, lo que se logra dividiendo la banda SWIR sobre la banda NIR en las que se realzarán áreas en proceso de erosión, la misma se deriva del siguiente algoritmo (Verduga, 2002).

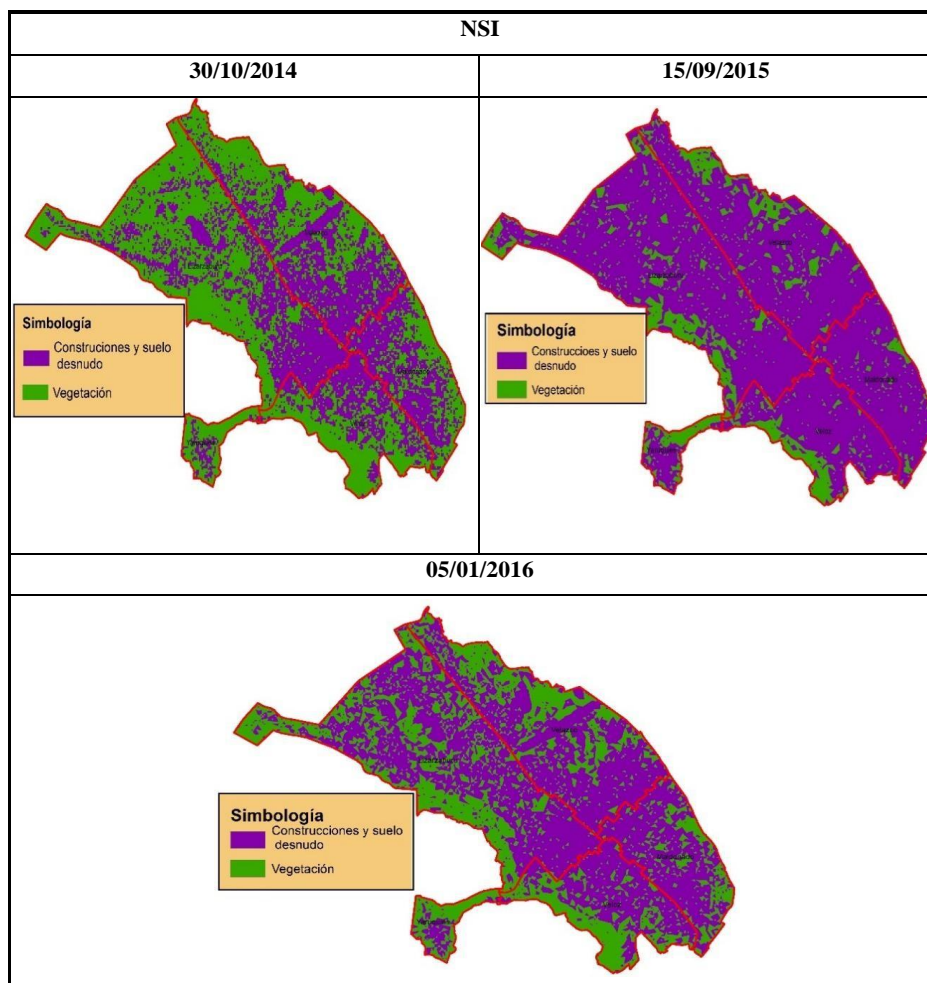


Figura 5: Índice de diferencia normalizada de suelos por parroquias

El índice de suelo permitió discriminar suelos intervenidos por el hombre es decir de uso antrópico, así como suelos en proceso de erosión, suelos sin cobertura vegetal. En la imagen de índice de suelo podemos diferenciar

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

dos colores, el morado representa los suelos donde no existe cobertura vegetal, siendo el que mayor suelo desnudo el del 15/09/2015 con una extensión 2328,64 ha, en lo que corresponde a las parroquias Lizarzaburu posee 925,77 ha siendo este el más alto con relación al 30/10/2014 que es de 409,41 ha y al 05/01/2016 de 676,22 ha

SAVI (Índice de vegetación ajustado al suelo)

Es apropiado para regiones que tienen baja cubierta vegetal y consecuentemente alto porcentaje de reflectancia del suelo (Huete, 1988).

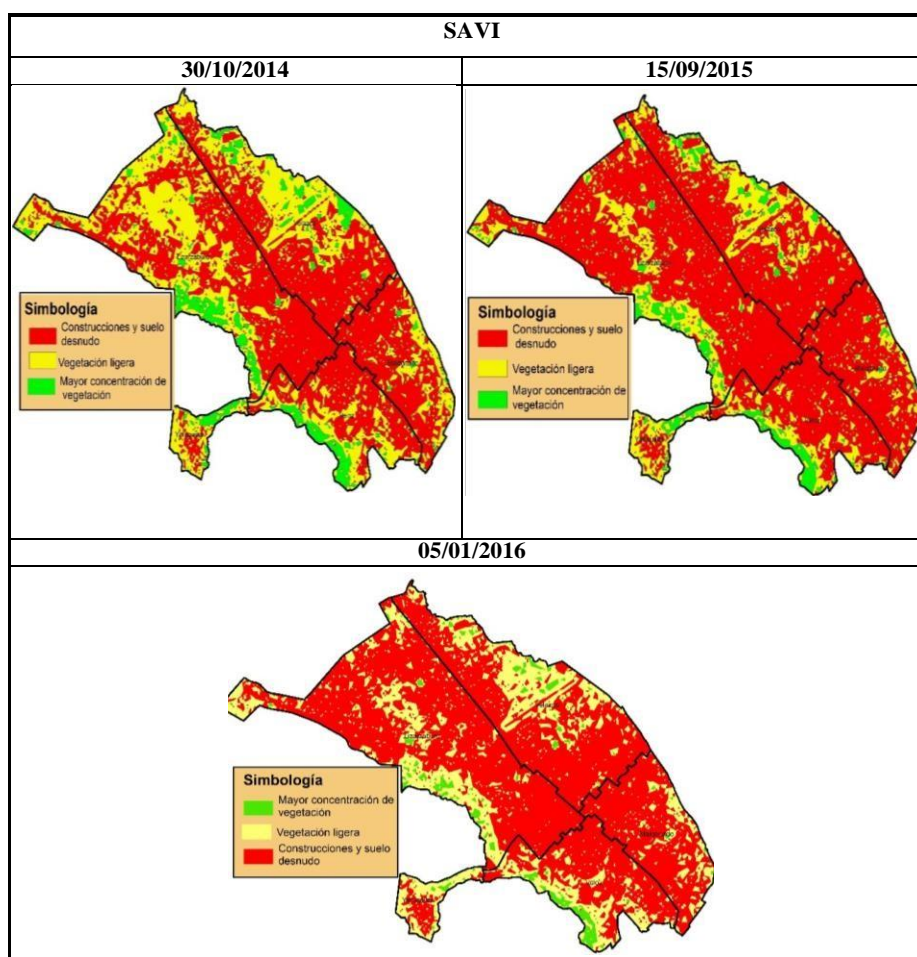


Figura 6: Índice de vegetación ajustado al suelo por parroquias

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

Las variaciones de las coberturas vegetales en la superficie terrestre, en determinados periodos de tiempo, son un importante indicador ambiental que ha sido empleado en diferentes ámbitos, desde estudios relacionados a las dinámicas de los ecosistemas, hasta la orientación en la toma de decisiones en temas de planificación del territorio ligadas al desarrollo. Una de las formas de analizar la ciudad es por medio de la biomasa vegetal. En el caso de la ciudad de Riobamba la distribución de áreas verdes no es homogénea, por lo que es posible encontrar parroquias que posean una importante cantidad de cubierta vegetal como es el caso de Lizarzaburu, Velasco, Veloz y Yaruquíes, mientras que otras como en la parroquia Maldonado carecen de espacios que contengan especies arbóreas.

En zona urbana, durante los últimos años ha disminuido considerablemente la cantidad de áreas verdes de sus parroquias, lo que es posible apreciar a través la cobertura vegetal que muestran los índices de vegetación, en este caso SAVI. Para un análisis más detallado se ha clasificado en dos variables que son vegetación ligera que para el mes de Octubre del 2014 tuvo una extensión de 1015,83 ha aproximadamente, para el mes de Septiembre 2015 se tuvo 647,36 ha y para el mes de Enero 2016 de 729,97 ha, con lo que respecta a mayor concentración de vegetación se determinó que en el mes de Octubre del 2014 hubo 176,92 ha, para el mes de septiembre 2015 134, 36 y para el mes de Enero 2016 se tuvo 84, 42, la disminución de estos dos indicadores de vegetación se debe a que en los dos últimos años fueron secos llegando a haber una precipitación anual de 475,33 mm y temperaturas de superficie que sobrepasan los 40 °C, que es lo que hace que las plantas no posean un ambiente adecuado para su óptimo desarrollo y funciones.

NDWI (Índices de agua de diferencia normalizada)

El NDWI resalta mejor lo que es el territorio con contenido de humedad, la cobertura vegetal con abundante humedad y los cuerpos de agua, al realizar el cálculo se pudo determinar que el 15/09/2015 fue el año más seco existiendo aproximadamente 369,78 ha de suelo y vegetación con una alta concentración de humedad y agua, y siendo el 30/10/2014 el año más húmedo con una extensión de 697,71 ha que duplica al año 2015, siendo las parroquias más representativas Lizarzaburu, Velasco, Velóz y Yaruquíes, el alto índice de humedad en estas cuatro parroquias es debido a que se encuentran dentro la cuenca del río Chibunga (Lizarzaburu, Velóz y Yaruquíes) y por una gran concentración de vegetación y humedad como es en la parroquia Velasco.

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

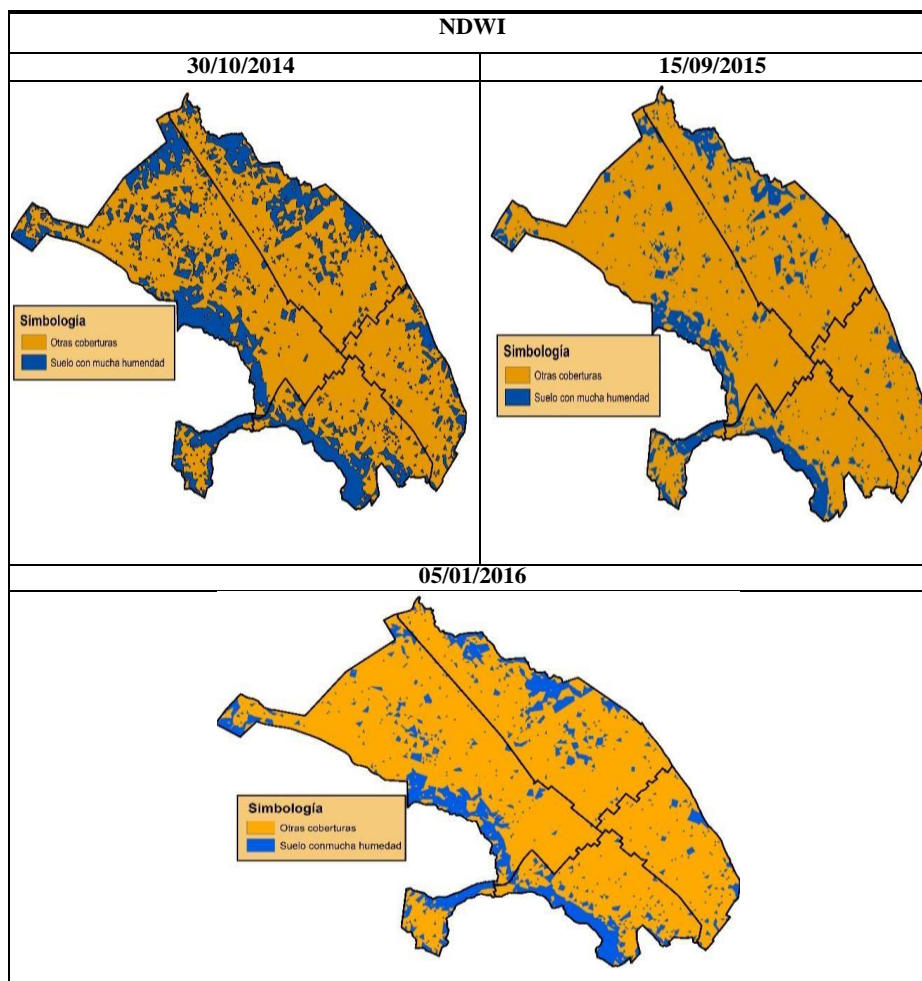


Figura 7: Índices de agua de diferencia normalizada por parroquias

TS (Temperatura de Superficie)

Para obtener la temperatura de superficie, la radiancia espectral a nivel de sensor, la banda térmica fue transformada a temperatura de brillo del satélite (Landsat Project Science Office, 2008).

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

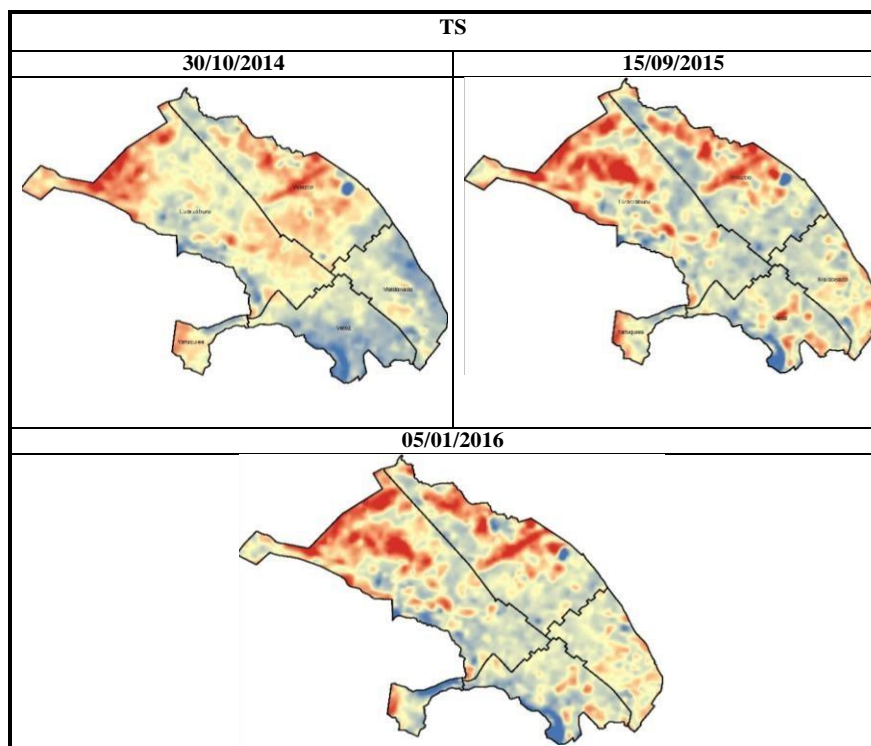


Figura 8: Temperatura de superficie por parroquias

Una vez concluido el análisis de la temperatura superficial del suelo se pudo determinar que las temperaturas mínimas fueron de 11,69 °C en la parroquia Velasco del 30/10/2014, 16,57°C en la misma parroquia para el 15/09/2015 y 17,8°C a lo que corresponde al 05/01/2016, y con relación a las temperaturas más altas son de 39,63°C que corresponde a la parroquia Lizarzaburu en el 2014, 41,33°C en la parroquia Lizarzaburu y 41,97°C en la parroquia Velasco que corresponde al 2015 y a lo que representa al 2016 las parroquias con mayor temperatura de superficie son Lizarzaburu con 39,97°C y Velasco con 39,49°C. Esta información puede ser un insumo para los estudios climáticos, hidrológicos, ambientales y de procesos físicos que se desarrollan en el ambiente.

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

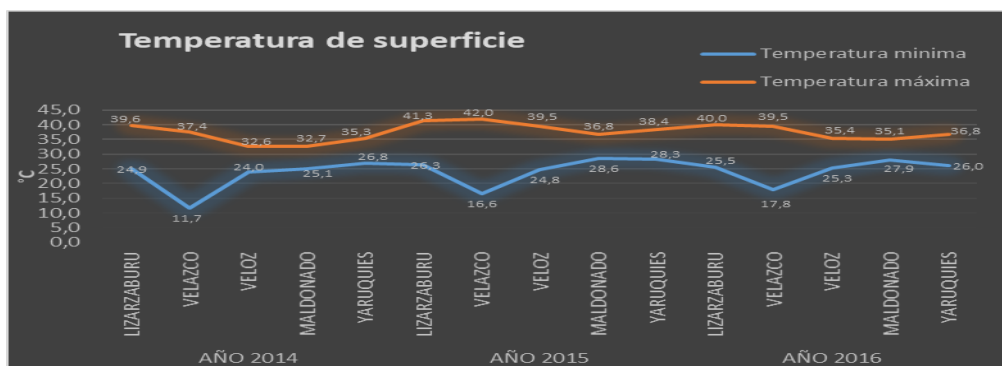


Figura 9. Temperatura de superficie por parroquias

La temperatura de superficie corresponde de manera general a lo que es la temperatura del suelo que siempre será muy diferente a la temperatura ambiente, se puede apreciar que en el 2015 tuvo la temperatura más alta de 42°C en la parroquia Veloz y la más baja fue de 11,7°C en la parroquia Velasco correspondiente al año 2014, al calcular la temperatura promedio se pudo determinar que en el año 2014 tuvo una temperatura mínima de 22,5°C y máxima de 35,52°C, a lo que corresponde el 2015 la temperatura promedio mínima fue de 24,9°C y la máxima de 39,62°C y lo que respecta al 2016 la temperatura promedio mínima fue de 24,5°C y la máxima de 37,34°C, siendo el año 2015 el año más caliente en relación a la temperatura de superficie.

Prueba de Tukey al 5%

Tabla 2. Prueba de Tukey por parroquias

ID	NDVI		NSI		NDWI		SAVI		TS	
Parroquias	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango
Lizarzaburu	51,70	A	670,47	A	208,79	A	48,42	A	40,31	A
Velasco	36,34	AB	506,18	AB	179,52	A	41,79	AB	39,63	AB
Velóz	28,62	B	299,68	B	156,95	AB	28,65	B	36,85	BC
Yaruquíes	10,31	C	258,48	BC	78,31	AB	6,82	C	35,83	C
Maldonado	7,53	C	36,98	C	27,63	B	6,23	C	34,85	C

En la prueba de Tukey al 5% para la vegetación ligera según parroquias se pudo determinar que existe significancia estadística entre las parroquias siendo la media más representativa la de la parroquia Lizarzaburu

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

que tiene 51,70 ha correspondiente al rango “A”, en el rango “C” se encuentra la parroquia Maldonado con 7,53 ha. Para suelo desnudo y construcciones por parroquias se determina que existe significancia estadística entre las parroquias siendo la media más representativa la de Lizarzaburu que tiene 670,47 ha correspondiente al rango “A”, en el rango “C” se encuentra a parroquia Yaruquíes con 36,98 ha que es con la parroquia que mayor diferencia significancia posee, el suelo con humedad por parroquias se pudo determinar que no existe significancia estadística entre todas las parroquias, pero si existe en dos parroquias siendo la media más representativa la de la parroquia Lizarzaburu que tiene 208,79 ha correspondiente al rango “A”, en el rango “B” se encuentra la parroquia Yaruquíes con 27,63 ha que es con la parroquia que mayor significancia posee. En la prueba de Tukey al 5% para mayor la concentración de vegetación en SAVI, por parroquias se pudo determinar que existe significancia estadística entre la parroquia Lizarzaburu que tiene 48,42 ha correspondiente al rango “A” y en lo que corresponde al rango “C” se encuentra la parroquia Maldonado y Yaruquíes con una extensión respectiva de 6,23 ha y 6,82ha que es con la parroquias que mayor significancia posee, para la temperatura de superficie máxima por parroquias se pudo determinar que existe significancia estadística entre 2 categorías siendo esta “A” dentro de la cual se encuentra la parroquia Lizarzaburu siendo esta parroquia la que tiene mayor temperatura de superficie que es de 40,31°C y dentro de la categoría “C” se encuentra las parroquias Maldonado y Veloz teniendo esta la mayor temperatura que es de 36,85°C.

Análisis de correlación

VARIABLES	C.S. S.V	V.L	V.M	A. N. V	S.D. C	V	O.C	S.C. H	S.D .C	V. L.S	M.C .V.S	T.M i	T.M a
Construcciones y suelo sin vegetación	1,00												
Vegetación ligera	0,92 **	1,00											
Vegetación media	0,69 **	0,83 **	1,00										
Alto nivel de vegetación	0,73 **	0,84 **	0,89 **	1,0 0									
Suelo desnudo y	0,95	0,85	0,51	0,5	1,00								

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

construcciones	**	**	n	6*									
Vegetación	0,58 *	0,75 **	0,94 **	0,9 0**	0,34 n	1,0 0							
Otras coberturas	0,97 **	0,96 **	0,76 **	0,8 4**	0,90 **	0,6 8*	1,00						
Suelo con humedad	0,63 *	0,71 **	0,86 **	0,6 2*	0,50 n	0,7 5**	0,59 *	1,00					
Suelo desnudo y construcciones	0,98 **	0,95 **	0,68 *	0,7 5**	0,94 **	0,5 9*	0,98 **	0,57 *	1,0 0				
Vegetación ligera SAVI	0,77 **	0,86 **	0,97 **	0,8 5**	0,61 *	0,8 9**	0,80 **	0,89 **	0,7 3**	1,0 0			

Tabla 3. Matriz de correlación

Mayor concentración de vegetación	0,78 **	0,72 **	0,78 **	0,8 5**	0,62 *	0,7 4**	0,78 **	0,66 *	0,7 0**	0,8 2**	1,00		
T.S Mínimo	- 0,35 n	- 0,26 n	- 0,38 n	- 0,4 0n	- 0,28 n	- 0,3 0n	- 0,32 n	- 0,34 n	- 0,2 5n	- 0,4 4n	- 0,56 n	1,00	
T.S Máximo	0,62 *	0,58 *	0,41 n	0,4 6n	0,69 **	0,2 3n	0,63 *	0,29 n	0,6 1*	0,4 8n	0,48 n	- 0,27 n	1,00

** : Altamente significativo $> 0,553 > 0,684$

* : Significativo $> 0,553 < 0,684$

n : No significativo $< 0,553 < 0,684$

El valor del coeficiente de correlación lineal oscila entre un rango de -1 (correlación negativa) y +1 (correlación positiva). Se tiene un mayor grado de correlación positiva cuando su valor esté más cerca de +1 y significa que los rendimientos de las acciones se mueven en la misma dirección, tienen una dependencia total. Si la correlación es cero o cercana a éste, se entiende que los movimientos entre las acciones no tienen correlación (Abraira, 2000). Como resultado del modelo propuesto, las variables que resultan significativos son: La

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

vegetación ligera tiene relación con C.S.S.V, suelo desnudo y construcciones con la V.L, suelo húmedo con la V.M, vegetación ligera SAVI con la V.M, mayor concentración de vegetación SAVI con A.N.

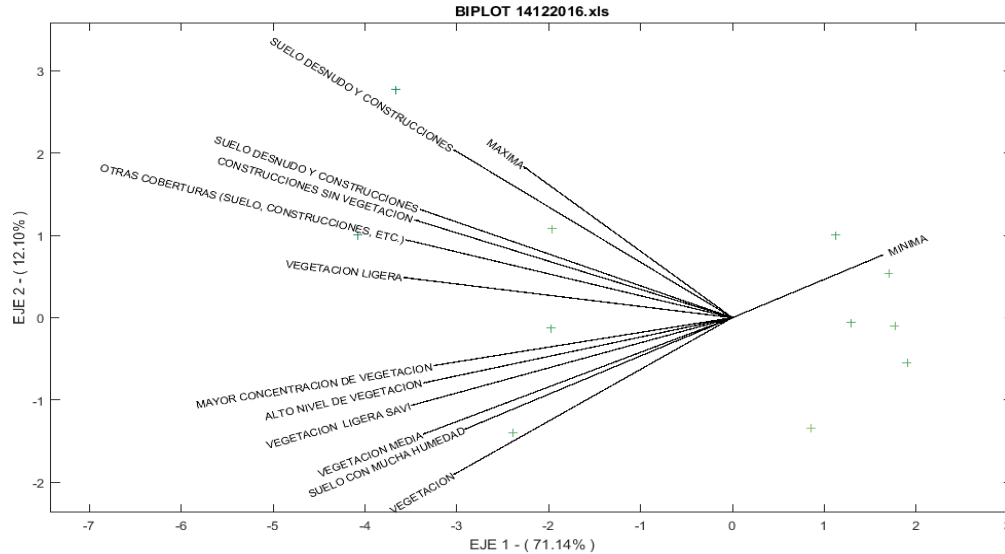


Figura 10 Gráfico Biplot del Análisis de Componentes Principales

Biplot permite analizar entre las variables que tienen mayor relación entre sí, como se puede apreciar en la imagen tenemos 2 grupos, en el grupo superior tenemos a lo que corresponde en su mayoría a la variable de suelo desnudo y construcciones que tienen relación con la temperatura máxima y vegetación ligera de SAVI, a lo que corresponde al segundo grupo tenemos todos los tipos de vegetación que se relacionan entre sí y con el suelo húmedo.

Parroquias	NDVI			NSI	NDWI	SAVI		T.S		Total	Promedio
	Vegetación ligera	Vegetación media	Alto nivel de vegetación	Suelo desnudo y construcciones	Humedad de suelo	Vegetación ligera	Mayor concentración de vegetación	Mínima	Máxima		

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

Lizarza buru	A	A	A	A	A	A	A	A	A	30	3.33
Velasc o	B	AB	AB	AB	A	AB	AB	B	AB	27	3
Maldon ado	C	B	C	B	AB	BC	C	A	C	24	2.66
Velóz	C	B	B	BC	AB	C	B	A	C	29	2.88
Yaruqu íes	D	B	C	C	B	C	C	A	BC	22. 5	2.5
											14,37/5= 2.78 Regular

Tabla 4. Índice de calidad ambiental urbana a partir de imágenes satelitales

Tabla 5. Valores numéricos de los rangos e ICA

V 1	V 2	ICA
A= 4	A=1	Muy bueno ≥ 4
AB= 3.5	AB=1,5	Bueno = 3-3,9
B= 3	B=2	Regular = 2-2,9
BC= 2.5	BC=2.5	Deficiente ≤ 1
C=2	C=3	
D=1	D=4	

Para la determinación del ICA urbana de la ciudad de Riobamba, se realizó en base al análisis de la varianza con un factor (ANOVA), que se utiliza para contrastar la igualdad de medias de tres o más poblaciones independientes, lo cual nos da como resultado un rango de mayor a menor representado por una letra (A, B, C, D) con estos resultados para poder determinar el ICA se les dio un valor numérico a cada letra correspondiente, para los diferentes tipos de vegetación, humedad de suelo y temperatura mínima los valores se encuentran en V1 (Tabla 5) y se le dio otro tipo de valor que se encuentran en V2 (Tabla 5) para suelo desnudo y construcciones y temperatura máxima. Una vez determinado el valor de cada letra mediante escalas arbitrarias máximas y mínimas se procedió a

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

sumar y a sacar un promedio que nos dio el ICA por parroquias siendo la parroquia Lizarzaburu la que mayor ICA posee siendo 3,33 correspondiente al ICA “bueno” debido a que es la parroquia que posee mayor extensión en lo que corresponde a los diferentes tipos de vegetación, existen presencia de zonas que se destina a la producción agrícola a pequeña escala y dentro de esta parroquia se encuentra la ESPOCH dentro de la cual existe una gran extensión correspondiente de vegetación ligera y media, a lo correspondiente a las demás parroquias a pesar que poseen menor cantidad a lo que respecta a vegetación y mayor suelo desnudo y construcciones aún siguen estando dentro del rango clasificación de buena debido a que en las zonas del perfil de la ciudad de Riobamba existen terrenos baldíos y pequeñas extensiones de tierra dedicado a la agricultura y además en la parroquia Veloz tiene una gran extensión de mayor concentración de vegetación correspondiente al parque ecológico, como resultado del ICA de la ciudad de Riobamba se pudo determinar que es “Regular” correspondiente a 2.78.

Conclusión

Mediante el procesamiento de las imágenes satelitales se pudo obtener 5 indicadores ambientales a los cuales se determinaron la aplicación específica para la ciudad de Riobamba, esto ayudó a un diagnóstico actual de la ciudad, permitiendo obtener conocimiento de los distintos aspectos de la realidad en cuanto al tipo de vegetación, humedad de suelo, suelo desnudo y construcciones y temperatura de superficie, siendo una herramienta útil para el proceso de toma de decisiones en el ámbito de implementación y evaluación de políticas públicas.

Debido a la gran cantidad de datos contenidos durante esta investigación, los cuadros presentados anteriormente reflejan las cantidades máximas de vegetación y de características obtenidas en el área de estudio, con el fin de obtener un resultado más exacto, se consideran más variables para su interpretación tales como vegetación mediana y ligera, entre otras.

Referencias

1. Arozarena, A. (2001). Teledetección y sistemas de tratamiento digital de imágenes. Recuperado el 2 de mayo de 2019, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6489/3/T-UCE-0004-17.pdf>
2. Agbo, M., Rousselière, D., & Salanié, J. (2015). Agricultural marketing cooperatives with direct selling: A cooperative–non-cooperative game. *Econ Beha Org.* 109:56-71.
3. Chuvieco, E. (2010). Teledetección ambiental. Alcalá de Henares, España: Ariel. Recuperado el 2 de mayo de 2019, de <http://www.fao.org/3/a-i2560s/i2560s07.pdf>
4. Cultura y Naturaleza Internacional. (2007). Medio ambiente urbano. Loja, Ecuador. Recuperado el 2 de mayo de 2019, de http://naturalezaycultura.org/espanol/images/docs/GEO_LOJA_02.pdf
5. Gonzalez, A., Gilmer, A., Foley, R., Sweeney, J., & Fry, J. (s/f). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la evaluación ambiental estratégica y su contribución a la toma de decisiones. Dublin, Irlanda. Recuperado el 2 de mayo de 2019, de <http://www.girobi.com/recursos/pdf/AplicacionSIGaEAE.pdf>
6. Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI)”, remote sensing of environment. Recuperado el 2 de mayo de 2019, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003442578890106X>
7. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2015). Meteorological Yearbook. INAMHI Quito-Ecuador.
8. Landsat Project Science Office. (2008). Landsat 7 science data user's handbook, chapter II (Data products). Washington: Landsat Project Science Office. Recuperado el 2 de mayo de 2019, de http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_htmls/chap-ter11/chapter11
9. Lillesand, T. (2014). El índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI). Recuperado el 2 de Mayo de 2019, de <http://sistemasdeinformaciongeografica911.blogspot.com/2014/05/el-indice-diferencial-de-vegetacion.html>
10. Nichol, J. & Wong, M. (2005). Modelling urban environmental quality in a tropical city. *Landscape and Urban Planning*, 2005, N° 73, p. 49-58.

Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélites en la ciudad de Riobamba.

10. Pineda, B. (2010). Análisis multitemporal de cobertura vegetal y uso del suelo en el cantón Rumiñahui 1999-2007, mediante técnicas de teledetección. Quito, Ecuador. Recuperado el 2 de mayo de 2019, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6489/3/T-UCE-0004-17.pdf>
11. Roger, A & Kearney, M. (2004). Reducing signature variability in unmixed coastal marsh thematic mapper scenes using spectral indices. International journal of remote sensing. Recuperado el 2 de mayo de 2019, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022010000100006
12. Therburg, D. (2002). Modelo de indicadores ambientales. Mendoza, Argentina. Recuperado el 2 de Mayo de 2019, de http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/3152/therburgdincalopezproyeccion3.pdf
13. Verduga, L. (2002). Determinación de cambios de uso en áreas aledañas a la ciudad de Quito usando técnicas de teledetección. Quito, Ecuador. Recuperado el 2 de mayo de 2019, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6489/3/T-UCE-0004-17.pdf>