



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ECOTURISMO

**“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANA,
A PARTIR DE IMÁGENES DE SATÉLITE EN LA CIUDAD DE
RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERO EN ECOTURISMO**

LUIS FELIPE LEMA PALAQUIBAY

RIOBAMBA- ECUADOR

2017

©2016, Luis Felipe Lema Palaquibay

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ECOTURISMO

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: "ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANA, A PARTIR DE IMÁGENES DE SATÉLITE EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO", de responsabilidad del señor Luis Felipe Lema Palaquibay, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

ING. CATALINA MARGARITA VERDUGO BERNAL
DIRECTORA



ING. CARLOS ARTURO JARA SANTILLÁN
ASESOR



Riobamba – Febrero 2017

**DECLARACIÓN DE
AUTENTICIDAD**

Yo, Luis Felipe Lema Palaquibay declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes y el documento que proviene de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación



LUIS FELIPE LEMA PALAQUIBAY

Riobamba, 06 de Febrero del 2017

Yo, Luis Felipe Lema Palaquibay soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.



LUIS FELIPE LEMA PALAQUIBAY

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, a mis padres ALICIA PALAQUIBAY y JOSÉ LEMA, que con su gran esfuerzo y apoyo me han ayudado terminar con éxito una etapa más de mi vida.

A mis queridos hermanos Darwin, Ximena quienes han sido mi sustento y pilares en los cuales siempre me apoyado para conseguir mis metas.

Además dedico este trabajo con gran humildad, a mis maestros que aportaron con sus conocimientos y en especial a la Ing. Paulina Díaz que me dió su apoyo incondicional para concluir el trabajo de titulación.

Luis Lema Palaquibay

AGRADECIMIENTO

*A todas las personas que la vida me dio la gratitud de conocer, a mis amigos,
profesores que de una y otra forma supieron fortalecer mis
conocimientos y forjar mi camino.*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | | |
|-------------|--|-----|
| I. | ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANA, A PARTIR DE IMÁGENES DE SATÉLITE EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO | 1 |
| II. | <u>INTRODUCCIÓN</u> | 1 |
| A. | JUSTIFICACIÓN | 3 |
| III. | <u>OBJETIVOS</u> | 4 |
| A. | GENERAL | 4 |
| B. | ESPECÍFICOS | 4 |
| C. | HIPÓTESIS | 4 |
| IV. | <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> | 5 |
| A. | CALIDAD AMBIENTAL | 5 |
| B. | INDICADORES AMBIENTALES | 5 |
| C. | INDICADORES AMBIENTALES EN CIUDADES | 6 |
| D. | CALIDAD DE VIDA EN LAS CIUDADES | 7 |
| E. | TELEDETECCIÓN | 7 |
| F. | SATÉLITES PARA RECURSOS NATURALES | 11 |
| G. | SENSORES | 11 |
| H. | LANDSAT 8 | 12 |
| I. | SISTEMA REFERENCIAL ESPACIAL | 19 |
| J. | PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES | 20 |
| K. | SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) | 26 |
| L. | MAPA | 26 |
| M. | GPS | 28 |
| N. | ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES | 28 |
| O. | ANOVA | 29 |
| V. | <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> | 30 |
| A. | CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR | 30 |
| B. | METODOLOGÍA | 32 |
| VI. | <u>RESULTADOS</u> | 38 |
| A. | OBTENCIÓN DE LOS INDICADORES AMBIENTALES | 38 |
| B. | ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO | 89 |
| C. | CARACTERÍSTICAS DE LOS INDICADORES AMBIENTALES OBTENIDOS DE LA IMAGEN SATELITAL | 104 |
| VII. | <u>CONCLUSIONES</u> | 116 |

| | |
|---|-----|
| VIII. <u>RECOMENDACIONES</u> | 118 |
| IX. <u>RESUMEN</u> | 119 |
| X. <u>SUMMARY</u> | 120 |
| XI. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> | 121 |
| XII. <u>ANEXOS</u> | 126 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Bandas de la imagen satelital de Landsat 8..... | 14 |
| Tabla 2. Sistemas de referencia especial..... | 19 |
| Tabla 3. Límites de la ciudad de Riobamba..... | 31 |
| Tabla 4. Factor multiplicativo MULT_BAND para el cálculo de la reflectancia..... | 42 |
| Tabla 5. Factor multiplicativo ADD_BAND para el cálculo de la reflectancia..... | 42 |
| Tabla 6. Datos de la elevación del sol por año..... | 46 |
| Tabla 7. Fórmulas para el cálculo de la reflectancia de la banda 4 en función del ángulo del sol..... | 46 |
| Tabla 8. Fórmulas para el cálculo de la reflectancia de la banda 5 en función del ángulo del sol..... | 48 |
| Tabla 9. Valores del NDVI máximos y mínimos..... | 52 |
| Tabla 10. Valores del NDVI por parroquias de la ciudad de Riobamba..... | 52 |
| Tabla 11. Valores del NDVI por hectáreas de la ciudad de Riobamba..... | 54 |
| Tabla 12. Valores por hectáreas del NDVI por parroquias de la ciudad de Riobamba..... | 54 |
| Tabla 13. Valores máximos y mínimos del NDSI..... | 60 |
| Tabla 14. Valores del NSI por hectáreas de la ciudad de Riobamba..... | 61 |
| Tabla 15. Valores por hectáreas del NDSI por parroquias de la ciudad de Riobamba..... | 61 |
| Tabla 16. Valores máximos y mínimos del SAVI..... | 64 |
| Tabla 17. Valores del SAVI por hectáreas..... | 66 |
| Tabla 18. Valores por hectáreas del NSI por parroquias de la ciudad de Riobamba..... | 66 |
| Tabla 19. Valores máximos y mínimos del DNWI..... | 70 |
| Tabla 20. Valores del NDWI por hectáreas de la ciudad de Riobamba..... | 72 |
| Tabla 21. Valores por hectáreas del NDWI por parroquias de la ciudad de Riobamba..... | 72 |
| Tabla 22. Valores de la TS por parroquias de la ciudad de Riobamba..... | 88 |
| Tabla 23. Análisis de varianza para las construcciones y suelos sin vegetación..... | 89 |
| Tabla 24. Prueba de Tukey al 5% para las construcciones y suelos sin vegetación..... | 89 |
| Tabla 25. Análisis de varianza para la vegetación ligera..... | 90 |
| Tabla 26. Prueba de Tukey al 5% para la vegetación ligera..... | 90 |
| Tabla 27. Análisis de varianza para la vegetación media..... | 90 |
| Tabla 28. Prueba de Tukey al 5% para la vegetación media..... | 91 |
| Tabla 29. Análisis de varianza para el alto nivel de vegetación..... | 91 |
| Tabla 30. Prueba de Tukey al 5% para alto nivel de vegetación..... | 91 |
| Tabla 31. Análisis de varianza para el suelo desnudo y construcciones..... | 92 |
| Tabla 32. Prueba de Tukey al 5% para suelo desnudo y construcciones..... | 92 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 33. Análisis de varianza para otras coberturas..... | 92 |
| Tabla 34. Prueba de Tukey al 5% para otras coberturas..... | 93 |
| Tabla 35. Análisis de varianza para suelo con humedad..... | 93 |
| Tabla 36. Prueba de Tukey al 5% para el suelo con humedad..... | 93 |
| Tabla 37. Análisis de varianza para la vegetación ligera..... | 94 |
| Tabla 38. Prueba de Tukey al 5% para la vegetación ligera..... | 94 |
| Tabla 39. Análisis de varianza para mayor concentración de vegetación..... | 94 |
| Tabla 40. Prueba de Tukey al 5% para la mayor concentración de vegetación..... | 95 |
| Tabla 41. Análisis de varianza para la temperatura de superficie mínima..... | 95 |
| Tabla 42. Prueba de Tukey al 5% para la temperatura mínima..... | 95 |
| Tabla 43. Análisis de varianza para la temperatura de superficie máxima..... | 96 |
| Tabla 44. Prueba de Tukey al 5% para la temperatura máxima..... | 96 |
| Tabla 45. Matriz de correlación/Coeficiente..... | 97 |
| Tabla 46. Matriz de correlación/Probabilidades..... | 98 |
| Tabla 47. Usos de suelo de la ciudad de Riobamba..... | 101 |
| Tabla 48. Índice de calidad ambiental urbana a partir de imágenes satelitales..... | 102 |
| Tabla 49. Valores numéricos de los rangos e ICA..... | 102 |
| Tabla 50. Indicadores ambientales más representativos..... | 104 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Componentes de un sistema de teledetección..... | 8 |
| Figura 2. Rangos de espectro electromagnético..... | 10 |
| Figura 3. Representación de los Satélites..... | 11 |
| Figura 4. Dimensiones del elipsoide de referencia..... | 20 |
| Figura 5. Coordenadas del punto de origen..... | 20 |
| Figura 6. Representación Matricial de una imagen satelital..... | 22 |
| Figura 7. Representación multiespectral de una imagen satelital..... | 22 |
| Figura 8. Esquema del hardware para procesar imágenes..... | 23 |
| Figura 9. Histograma Numérico..... | 24 |
| Figura 10. Histograma Gráfico..... | 24 |
| Figura 11. Mapa de ubicación de la ciudad de Riobamba..... | 30 |
| Figura 12. Imagen satelital con la delimitación del área en estudio..... | 38 |
| Figura 13. Selección del polígono de la imagen satelital..... | 39 |
| Figura 14. Selección de la imagen satelital Landsat 8..... | 39 |
| Figura 15. Selecccion de las imágenes donde no exista nubosidad..... | 40 |
| Figura 16. Selección de los productos de datos a descargar..... | 40 |
| Figura 17. Raster calculator de la reflectancia de la banda 4..... | 43 |
| Figura 18. Bandas 4 corregidas con relación a la reflectancia..... | 44 |
| Figura 19. Raster calculator de la reflectancia de la banda 5..... | 45 |
| Figura 20. Bandas 5 corregidas con relación a la reflectancia..... | 45 |
| Figura 21. Raster calculator en función del ángulo del sol para la reflectancia de la banda 4..... | 47 |
| Figura 22. Bandas 4 corregidas con relación al ángulo del sol..... | 47 |
| Figura 23. Raster calculator función del ángulo del sol de la reflectancia de la banda 5..... | 48 |
| Figura 24. Bandas 5 corregidas con relación al ángulo del sol..... | 49 |
| Figura 25. Raster calculator para el cálculo del NDVI..... | 51 |
| Figura 26. Índice de vegetación de diferencia normalizada | 51 |
| Figura 27. Absorción de la luz en la vegetación..... | 52 |
| Figura 28. Normalizado índice de vegetación diferencial en polígono..... | 54 |

| | |
|---|----|
| Figura 29. Construcciones y suelos sin vegetación por parroquias..... | 56 |
| Figura 30: Vegetación ligera por parroquias..... | 56 |
| Figura 31. Vegetación media por parroquias..... | 57 |
| Figura 32. Alto nivel de vegetación por parroquias..... | 57 |
| Figura 33. Raster calculator para el cálculo del NDSI..... | 59 |
| Figura 34. Índice de diferencia normalizada de suelo..... | 59 |
| Figura 35. Índice de diferencia normalizada de suelo en polígono..... | 60 |
| Figura 36. Suelo desnudo y construcciones por parroquias..... | 62 |
| Figura 37. Raster calculator para el cálculo del SAVI..... | 63 |
| Figura 38. Índice de vegetación ajustado al suelo..... | 64 |
| Figura 39. Índice de vegetación ajustado al suelo en polígono..... | 65 |
| Figura 40. Vegetación ligera por parroquias..... | 67 |
| Figura 41. Mayor concentración vegetación por parroquias..... | 68 |
| Figura 42. Raster calculator para el cálculo del NDWI..... | 69 |
| Figura 43. Índice de agua de diferencia normalizada..... | 70 |
| Figura 44. Índice de agua de diferencia normalizada en polígono..... | 71 |
| Figura 45. Otras coberturas por parroquias..... | 73 |
| Figura 46. Suelo húmedo por parroquias..... | 73 |
| Figura 47. Raster calculator para el cálculo de la radiancia de la banda 10..... | 75 |
| Figura 48. Radiancia de la banda 10..... | 76 |
| Figura 49. Raster calculator para el cálculo de la radiancia de la banda 11..... | 77 |
| Figura 50. Radiancia de la banda 11..... | 77 |
| Figura 51. Raster calculator para la temperatura de brillo de la banda 10..... | 78 |
| Figura 52. Temperatura de brillo de la banda 10..... | 79 |
| Figura 53. Raster calculator para la temperatura de brillo de la banda 11..... | 80 |
| Figura 54. Temperatura de brillo de la banda 11..... | 80 |
| Figura 55. Cell Statistics..... | 81 |
| Figura 56. Cell Statistics cara combinar la banda 10 y 11..... | 81 |
| Figura 57. Mapas resultado de Cell statistics de las bandas 10 y 11..... | 82 |
| Figura 58. Calculadora raster función para el cálculo la derivación del LSE..... | 83 |
| Figura 59. Emisividad de la superficie de la tierra a partir del NDVI..... | 83 |
| Figura 60. Calculadora raster función para la emisividad de la superficie..... | 84 |
| Figura 61. Emisividad de la superficie..... | 85 |

| | |
|---|-----|
| Figura 62. Raster calculator para el cálculo del TS..... | 86 |
| Figura 63. Temperatura de superficie..... | 87 |
| Figura 64. Temperatura de superficie por parroquias..... | 88 |
| Figura 65. Gráfico Biplot del Análisis de Componentes Principales..... | 99 |
| Figura 66. Mapa de uso de suelo de la ciudad de Riobamba..... | 100 |
| Figura 67. Zonas representativas del SAVI..... | 105 |
| Figura 68. Canchas de football en el barrio los Manzanares de la parroquia Lizarzaburu..... | 106 |
| Figura 69. Terreno baldío localizado en la parroquia Velasco..... | 106 |
| Figura 70 . Terreno baldío de la ESPOCH localizado en la parroquia Lizarzaburu..... | 107 |
| Figura 71. Zonas representativas del NDSI..... | 108 |
| Figura 72. Aeropuerto de Riobamba localizado en la parroquia Velasco..... | 108 |
| Figura 73. Terreno baldío en el barrio San Antonio del Aeropuerto de parroquia Velasco..... | 109 |
| Figura 74. Zona industrial fábrica de cerámica..... | 109 |
| Figura 75. Zona comercial centro de Riobamba..... | 110 |
| Figura 76. Zonas representativas del SAVI..... | 110 |
| Figura 77. El parque Ecológico localizado en la parroquia Velóz..... | 111 |
| Figura 78. Estadio Olímpico "Ciudad de Riobamba"..... | 111 |
| Figura 79. Estadio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo..... | 111 |
| Figura 80. Zonas representativas del NDSI..... | 112 |
| Figura 81. Área de cultivos correspondiente al barrio el Batan..... | 112 |
| Figura 82. Área correspondiente al barrio San Miguel de Tapi en la parroquia Velasco..... | 113 |
| Figura 83. Zonas representativas del TS..... | 114 |
| Figura 84. Aeropuerto de Riobamba localizado en la parroquia Velasco, donde la temperatura de superficie llega hasta los 42°C..... | 114 |
| Figura 85. Parque Ecológico localizado en la parroquia Velóz, donde se tuvo una temperatura de superficie de 11°C..... | 115 |

I. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANA, A PARTIR DE IMÁGENES DE SATÉLITE EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO

II. INTRODUCCIÓN

En Ecuador el mayor porcentaje de la población vive en las ciudades, debido a la migración desde el campo y al crecimiento demográfico ha provocado que los centros urbanos crezcan de manera acelerada y con poca planificación, lo que ha causado graves impactos sobre el ambiente. Los sistemas de abastecimiento de agua potable son insuficientes; la generación de desechos sólidos se incrementa todos los días; el número de vehículos sobrepasa las proyecciones hechas años atrás; 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 mucho 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)

Dichas aplicaciones son posibles gracias al desarrollo que ha tenido por otra parte el tratamiento digital de imágenes, 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 operaciones complejas, muy costosas e inaccesibles para el análisis visual. Una de sus grandes ventajas es la rapidez del procesamiento de la información digital disponible hoy en día para cada proyecto (Chuvieco, 2010)

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. 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 (Therburg, 2002)

La aplicación de métodos informáticos en el análisis ambiental es cada vez más común. 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” (Gonzalez, Gilmer, Foley, Sweeney, & Fry, s/f)

El presente trabajo tiene como fin construir una nueva forma de identificación de indicadores ambientales a partir de los Sistemas de Información Geográfica que ayuden para una mejor toma de decisiones al momento de planificar un territorio, para establecer propuestas para el desarrollo sostenible.

A. JUSTIFICACIÓN

En la ciudad de Riobamba existe un crecimiento urbanístico acelerado lo que ha generado un ordenamiento territorial desordenado, además carece de sistemas de información geográficas que ayuden a determinar la composición del territorio en un corto plazo, para una mejor toma de decisiones al momento de planificar.

Existen técnicas que pueden resultar más económicas, eficientes y factibles de aplicar en el país para determinar indicadores ambientales, esto facilitará a que muchos municipios empiecen a optimizar y estimar su calidad ambiental, en base a este tipo de técnicas como son las imágenes satelitales de Landsat 8 que uno encuentra para investigación de manera gratuita y que poseen una gran variedad de bandas que permiten el análisis de diversos indicadores ambientales, así el uso de estaciones pasivas y automáticas quedará a un lado para dar paso a una nueva estimación de manera indirecta con esta metodología que llevará a contemplar mejores posibilidades para que cada uno de los municipios del país empiece a estimar el tipo de vegetación existente, la temperatura de superficie, la cantidad de suelo húmedo, áreas construidas entre otras, así a futuro se podrá estimar de manera general un índice de variables que modifican los diferentes indicadores ambientales, con este tipo de estudio se podría igual contemplar una comparación multitemporal de cómo han variado los indicadores medidos mediante imágenes satelitales. Su jerarquización permite puntualizar a aquellos que son fundamentales de ser observados y medidos y tener una acción eficiente a la hora de analizar la información disponible, evaluar los datos que existen y los que deben obtenerse.

La manifestación de los conflictos detectados ayuda a la identificación de las variables principales, las que deben ser medidas cualitativa o cuantitativamente. Para lograr esa medición deben construirse indicadores, que permitan obtener un diagnóstico y un pronóstico que se relacionará con el sistema de monitoreo.

Consiguientemente, el presente trabajo de titulación se realiza en la ciudad de Riobamba en las parroquias urbanas Lizarzaburu, Veloz, Maldonado, Velasco y Yaruquíes con el fin de aportar con una herramienta por medio de una metodología, que permitirá medir el índice de calidad ambiental urbana de cada parroquia y a la vez generar información veraz y actual de toda la ciudad, además de instaurar políticas hacia un proceso eficaz y eficiente en la toma de decisiones para la implementación de proyectos de mejora y procesos de gestión socio ambiental, convirtiéndose así en una guía para llevar a Riobamba a constituirse como referente nacional de ciudad sostenible.

III. OBJETIVOS

A. GENERAL

Estimar el índice de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélite en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo.

B. ESPECÍFICOS

1. Obtener los indicadores ambientales a partir de una imagen satelital.
2. Estimar el índice de calidad ambiental urbano de la ciudad de Riobamba.
3. Caracterizar los indicadores ambientales obtenidos de la imagen satelital.

C. HIPÓTESIS

El índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite se convertirá en una herramienta para la implementación de estrategias de sostenibilidad integral urbana para la ciudad de Riobamba.

IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. CALIDAD AMBIENTAL

La calidad ambiental se refiere a juicios de valor cualificados y cuantificados que se adjudican a un estado o condición del ambiente, donde el estado se refiere a los valores componentes (no necesariamente numéricos), adoptados en una situación y momento dados, por las variables del ambiente que ejercen una mayor influencia sobre la calidad de vida presente y futura de la población (Cabrera, Maldonado & Arévalo, 2004)

1. Índice de calidad ambiental urbana

La calidad ambiental urbana es el resultado de la interacción del conjunto de factores humanos y ambientales que inciden favorable o desfavorablemente en los habitantes de una ciudad. Es comúnmente asociada con factores como la disponibilidad de espacio público, la calidad y cantidad de las áreas verdes, la contaminación ambiental, la calidad de la vivienda, los servicios públicos domiciliarios, la movilidad y el transporte público, entre otros (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013)

La calidad ambiental genera una imagen de ciudad y es percibida y valorada socialmente en función de la salud y el beneficio social. Por ello, surge la necesidad de medir esta realidad a través de datos objetivos. La calidad ambiental urbana es el resultado de la interacción del conjunto de factores humanos y ambientales que inciden favorable o desfavorablemente en los habitantes de una ciudad. Es comúnmente asociada con factores como la disponibilidad de espacio público, la calidad y cantidad de las áreas verdes, la contaminación ambiental, la calidad de la vivienda, los servicios públicos domiciliarios, la movilidad y el transporte público, entre otros. La calidad ambiental genera una imagen de ciudad y es percibida y valorada socialmente en función de la salud y el beneficio social. Por ello, surge la necesidad de medir esta realidad a través de datos objetivos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013)

B. INDICADORES AMBIENTALES

Un Indicador Ambiental se define como un valor o parámetro que proporciona información cuantitativa acerca de un fenómeno, permitiendo explicar cómo cambian las cosas a lo largo del tiempo y/o el espacio, haciendo comparables situaciones distintas, y ayudando, de esta forma, a la prevención y corrección de determinadas situaciones ambientales (Zalazar, Jacobo & José, s/f)

El objeto de estudio de los indicadores ambientales considera la evaluación de la interacción entre el sistema sociocultural y el patrimonio natural, con temáticas que enmarcan los hábitos y modos antrópicos de producción y consumo; demanda y uso de recursos naturales; generación y aprovechamiento de residuos sólidos y líquidos (locales y nacionales); las tecnologías y los tipos de energía utilizados en la producción de bienes y servicios (industriales y agropecuarios) y sus problemas con contaminantes (cambio climático, adelgazamiento de la capa de ozono, entre otros). Involucra la gestión e inversión ambiental que se realiza y orienta hacia el uso sostenible, la conservación, mitigación y restauración de los recursos y del medio ambiente, educación e investigación ambiental, entre otros (Sistema Nacional de Información Ambiental de Nicaragua, s/f)

1. Tipos de Indicadores Ambientales

Identifican tres tipos de indicadores ambientales:

De impulso: contemplan actividades, pautas y procesos humanos que tienen repercusiones para el desarrollo sostenible.

De estado: indican el —estado del desarrollo sostenible.

De reacción: indican opciones de políticas y otras reacciones a los cambios que se producen en el estado de desarrollo (Zalazar , P & Jacobo, C , s/f)

C. INDICADORES AMBIENTALES EN CIUDADES

Los indicadores ambientales generados en una ciudad constituyen un instrumento muy eficiente para solventar los problemas que enfrenta la gestión ambiental urbana actualmente. Esto se debe a que los indicadores generados en la localidad:

Involucrar a los actores en el proceso de construcción de indicadores que implica un aprendizaje de la población en relación con su entorno. La construcción de indicadores, tanto de línea base como de proceso, y de resultado permite a las personas entender mejor: la situación actual de su entorno (Estado), los agentes que se hallan afectando al medio ambiente (Presión) y sus causas (Dimensión de Relación e Integralidad), y a partir de este conocimiento establecer soluciones (Respuesta: Indicadores de proceso, y de resultado).

La participación de los actores en el proceso de gestión ambiental, a partir de su incorporación en la construcción de indicadores, permite establecer un sistema de monitoreo, seguimiento y control más eficaz y eficiente. Esto se debe a que la propia población se puede convertir en el Auditor/Veedor ambiental e informar a la institución responsable sobre los avances/retrocesos. (Vásquez, 2000)

D. CALIDAD DE VIDA EN LAS CIUDADES

La calidad de vida es el grado en que una sociedad posibilita la satisfacción de las necesidades de los miembros que la componen, las cuales son múltiples y complejas. (Daza, 2008)

La calidad de vida son las condiciones óptimas que rigen el comportamiento del espacio habitable en términos de confort asociados a lo ecológico, biológico, económico-productivo, socio-cultural, tipológico, tecnológico y estético en sus dimensiones espaciales. De esta manera, la calidad ambiental urbana es por extensión, producto de la interacción de estas variables para la conformación de un hábitat saludable, confortable, capaz de satisfacer los requerimientos básicos de sustentabilidad de la vida humana individual y en interacción social dentro del medio urbano (Daza, 2008)

E. TELEDETECCIÓN

La teledetección no solo es la observación y adquisición remota de imágenes de la superficie terrestre mediante sensores aéreos y espaciales, sino también como el tratamiento y procesamiento de esta adquisición; siendo la teledetección un vocablo de la traducción del inglés remotesensing (Chuvieco, 2010)

La teledetección consiste en la observación y obtención de información de objetos de la superficie terrestre desde sensores a bordo de satélites, los cuales miden la energía electromagnética proveniente de dichos objetos. Esta herramienta se ha desarrollado notablemente en las últimas décadas debido a que no es necesario estar en contacto físico con la superficie a estudiar (Holzman, 2012).

1. Componentes de la teledetección espacial

Un sistema de teledetección espacial incluye los elementos siguientes:

a. Fuente de energía.

Es el origen de la radiación electromagnética que detecta el sensor, la radiada por los objetos o por la superficie terrestre. La fuente de radiación puede provenir de un haz energético emitido por el sensor (teledetección activa) o de un foco externo a este (teledetección pasiva) en este caso el Sol, considerado como la fuente de energía más importante. (Chuvieco, 2010)

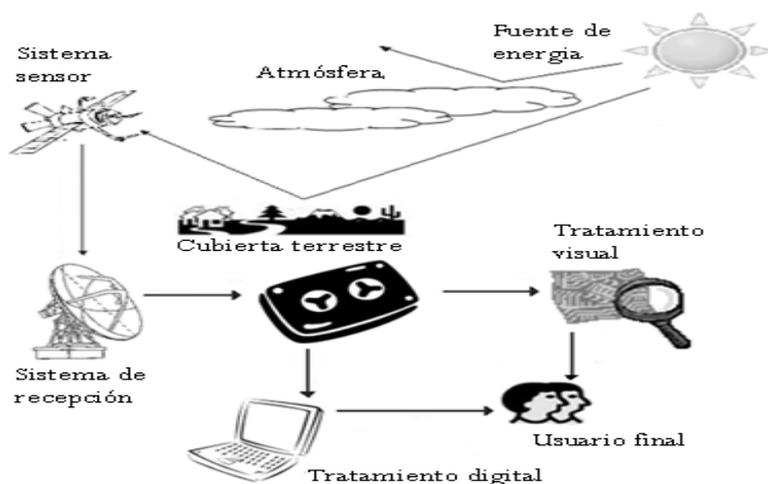


Figura 1. Componentes de un sistema de teledetección

Fuente: Chuvieco, 2010

b. Cubierta terrestre

A través de la fuente de energía recibe la radiación y la refleja o la emite de acuerdo a sus características. Está formada por las distintas masas de vegetación, aguas suelos o construcciones humanas (Chuvieco, 2010)

c. Sistema sensor

Está constituido por el sensor propiamente dicho y la plataforma en la que se instala. Capta la energía procedente de la cubierta terrestre, la codifica y graba o envía directamente al sistema receptor (Chuvieco, 2010)

d. Sistema receptor-comercialización

Recibe la información transmitida por la plataforma, la graba en formato adecuado y tras oportunas correcciones la distribuye a los interesados (Chuvieco, 2010)

e. Intérprete

Transforma los datos en información temática de interés orientada a enfrentar el problema de estudio, ya sea de forma visual o de forma digital (Chuvieco, 2010)

f. Usuario final

Analiza la imagen que se deriva del proceso descrito previamente y obtiene conclusiones sobre lo que en ella aparece (Chuvieco, 2010)

2. La Radiación electromagnética

Debido a la gran importancia de la radiación electromagnética como transmisor de información en la teledetección, es necesario hacer un estudio de la misma y sus propiedades. La radiación es una de las tres formas de transmisión de energía en la naturaleza (conducción, convección y radiación) siendo la única que se transmite sin contacto material entre el emisor y el receptor (Labrador, 2012)

Cualquier objeto como consecuencia de su interacción con las fuentes de energía propias o externas, emitirá o reflejara una radiación electromagnética. Cada objeto o sistema posee una respuesta espectral propia, en términos de energía reflejada y energía emitida, la misma se conoce como signatura espectral. El objeto de la teledetección es la identificación de los materiales y los fenómenos que tienen lugar en la superficie terrestre a través de su signatura espectral (Castaño, Ruíz, & Vela, 2008)

3. Espectro electromagnético

Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética de las ondas electromagnéticas. Estas van desde los rayos gamma (menor longitud de onda) hasta las ondas de radio (mayor longitud de onda). En este espectro se clasifican las ondas electromagnéticas que se comportan de forma similar en bandas o canales espectrales (Basterra, 2010).

Aunque los valores de longitud de onda son continuos, suelen establecerse una serie de bandas en donde la radiación electro-magnética manifiesta un comportamiento similar. La organización de estas bandas de longitudes de onda o frecuencias se denomina espectro electromagnético (Chuvieco, 2010)

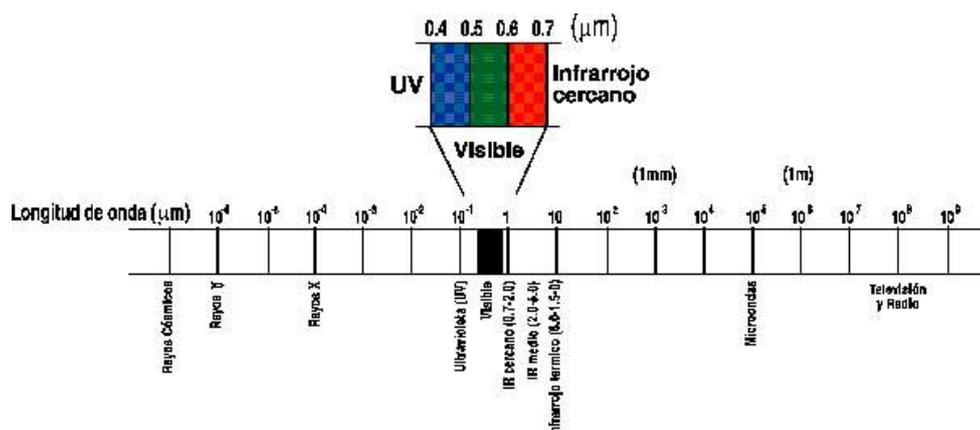


Figura 2. Rangos de espectro electromagnético

Fuente: Chuvieco, 2010

Según (Chuvieco, 2010), desde el punto de vista de la teledetección las bandas espectrales más frecuentes empleadas son las siguientes:

Espectro visible (0,4 a 0,7 μm). Se denomina así por tratarse de la única radiación electromagnética que puede percibir nuestros ojos, coincidiendo con las longitudes de onda en donde es máxima la radiación solar. Dentro de esta región, suelen distinguirse tres bandas elementales, que se denominan azul (A: 0,4-0,5 μm), verde (V: 0,5-0,6 μm), y rojo (R: 0,6-0,7 μm), en razón de los colores primarios que nuestros ojos perciben a esas longitudes de onda.

Infrarrojo cercano (IRC: 0,7 a 1,2 μm). También se denomina infrarrojo próximo, reflejado o fotográfico, puesto que parte de él puede detectarse a partir de películas dotadas de emulsiones especiales. Discrimina masas vegetales y concentraciones de humedad.

Infrarrojo medio. En esta región se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre. En el primer caso, infrarrojo de onda corta (short Wave Infrared, SWIR), que se sitúa entre 1,2 y 2,5 μm y resulta una región idónea para estimar el contenido de humedad en la vegetación o los suelos. La segunda banda de interés, está comprendida entre 2,5 y 8 μm , y suele denominarse como infrarrojo medio (IRM), siendo determinante para la detección de focos de alta temperatura (incendios o Volcanes activos), así como la estimación de algunos gases atmosféricos.

Infrarrojo lejano o térmico (IRT: 8 a 14 μm), que incluye la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres.

Micro-ondas (M, por encima de 1 mm), con gran interés por ser un tipo de energía bastante transparente a la cubierta nubosa.

F. SATÉLITES PARA RECURSOS NATURALES

El término engloba a las plataformas y los sensores. Las plataformas, son los soportes que llevan a cabo el instrumental receptor de las señales, sensores y demás mecanismos que hacen a su funcionamiento. Los elementos que las componen tienen las funciones de control y seguimiento desde las estaciones terrenas (módulos de propulsión, paneles para obtención de energía, etc.), obtención de datos (sensores) y transmisión de datos (antenas, equipos de comunicación). Las plataformas están situadas a gran altura sobre la superficie terrestre, el sensor remoto se encuentra instalado a bordo de un vehículo orbital, el cual, por medio de celdas solares, sistemas de control y telecomunicación automatizados, proporciona la posibilidad de una cobertura regular y repetitiva de la superficie terrestre (Basterra, 2010)

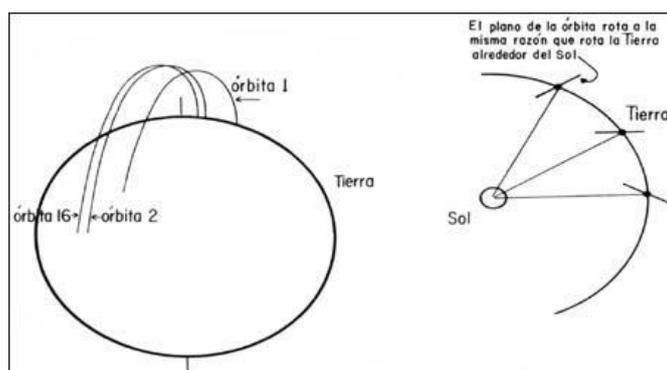


Figura 3. Representación de los Satélites

Fuente: Basterra, 2010

G. SENSORES

Son los elementos que captan los datos provenientes de la superficie terrestre. Según el procedimiento utilizado, se los denomina pasivos o activos.

Los pasivos, son los que se limitan a recoger la energía reflejada o emitida por la superficie, y los activos, recogen energía generada por el mismo sensor (radares). (Basterra, 2010)

Otra manera de clasificarlos, es según la técnica que emplean:

- Sensores fotográficos: registran la información en películas sensibles a la luz (fotografías)

- Sensores óptico- electrónicos: transforman a bordo la energía recibida en un valor digital, que se transmite directamente en tiempo real. De dos tipos, scanner (Landsat) y de empuje (Spot).
- Sensores de antena: para longitudes de onda largas, activos (radiómetros de microondas) y pasivos (RADAR) (Basterra, 2010)

Los sensores ópticos multiespectrales, como landsat, SAC-C, SPOT, IKONOS y QUICKBIRD, son sistemas de tipo pasivos y recogen datos a frecuencias correspondientes al espectro visible, infrarrojo reflejado e infrarrojo térmico. En el caso de los satélites Landsat poseen una resolución radiométrica y hace refiere a la sensibilidad que tiene el sensor de detectar variaciones de la radiancia que recibe (Basterra, 2010)

H. LANDSAT 8

Landsat 8 lleva dos instrumentos: El Operativo Land Imager (OLI) sensor incluye bandas patrimonios refinados, junto con tres nuevas bandas: una banda azul profundo para estudios costeros / aerosol, una banda infrarroja de onda corta para la detección cirrus y una banda de Evaluación de la Calidad El sensor infrarrojo térmico (SITR) proporciona dos bandas térmicas. Estos sensores proporcionan tanto una mejor relación señal-ruido (SNR) rendimiento radiométrico cuantificado en un rango dinámico de 12 bits. (Esto se traduce en 4.096 posibles niveles de gris en una imagen en comparación con sólo 256 niveles de gris en anteriores instrumentos de 8 bits.) Mejora de la señal al nivel de ruido permitir una mejor caracterización del estado de la cubierta vegetal y condiciones. Los productos se entregan en forma de imágenes de 16 bits (escala de grises) 55.000 niveles.

Landsat 8 imágenes tienen un tamaño de archivo de gran tamaño, aproximadamente a 1 GB comprimido (Gao, & Kaufman, 2002).

1. Sensores de observación terrestre Landsat 8

Los sensores a bordo del Landsat 8, representan avances evolutivos en la tecnología de sensores remotos y en su rendimiento, miden la superficie terrestre en el visible, infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta, e infrarrojo térmico con una resolución moderada entre 15 y 100 metros dependiendo de la longitud de onda espectral. La distribución de la energía observada en estas longitudes de onda revela información sobre la reflexión y emisión de superficies (Posada, 2012).

El satélite Landsat 8 incorpora dos instrumentos de barrido: Operational Land Imager (OLI), y un sensor térmico infrarrojo llamado Thermal Infrared Sensor (TIRS).

2. Sensor Operational Land Imagen (OLI)

Utiliza un sensor del tipo "pushbroom" compuesto por una serie de baterías largas de detectores, con más de 7.000 detectores por banda espectral, alineados en su plano focal en su respectivo ancho de banda. El diseño del "pushbroom" lo hace un instrumento más sensible proporcionando una mejor información de la superficie terrestre con menos partes móviles. Sus imágenes tienen una resolución espacial de 15 m pancromáticas y 30 metros a lo largo de 185 kilómetros de ancho de imagen, cubriendo así amplias zonas de la tierra mientras que proporciona una resolución suficiente como para distinguir las características tales como centros urbanos, granjas, bosques y otros tipos de cubiertas del suelo (United States Geological Survey, 2014).

El OLI fue diseñado para tener una vida útil de cinco años y detectará las mismas bandas espectrales de los anteriores instrumentos del Landsat, con la excepción de una banda en el infrarrojo térmico. Además de las 7 bandas multispectrales del anterior Landsat (seis de los cuales han sido refinadas) OLI agregará dos nuevas bandas espectrales, una banda azul "costera" (banda 1) y una banda en el infrarrojo de onda corta "cirros" (banda 9). Estas nuevas bandas, ayudaran a los científicos a medir la calidad del agua y facilitaran la detección de nubes altas y delgadas que previamente han sido difíciles de observar en las imágenes Landsat (Posada, 2012).

3. Sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS)

Todo en la Tierra emite radiación térmica infrarroja, termino comúnmente conocido como calor. La física nos dice que la cantidad de la radiación emitida es proporcional a la temperatura del objeto. El sensor térmico infrarrojo (TIRS) fue añadido a la carga útil del LDCM cuando se hizo evidente que los gestores de los recursos hídricos se basaban en la mediciones de alta precisión de la energía térmica de la tierra obtenidas por los predecesores del LDCM – el TM del satélite Landsat 5 y Enhanced Thematic Mapper – Plus ETM+ del Landsat 7 – con el fin de hacer un seguimiento del uso de la tierra y el agua. La decisión de añadir el sensor TIRS se hizo después de que el diseño de la misión se había iniciado. Los ingenieros tenían menos de cuatro años para diseñar y construir TIRS por lo que recurrieron a una nueva tecnología desarrollada por la NASA llamada Quantum Well Infrared Photodetectors (QWIPs) (Posada, 2012).

El diseño QWIPs opera en los complejos principios de la mecánica cuántica. Chips semiconductores atrapan electrones en un estado de energía "well" hasta que los electrones se elevan a un estado superior por la luz infrarroja térmica de una determinada longitud de onda. Los electrones elevados crean una señal eléctrica que puede medirse y registrarse para crear una imagen digital (Posada, 2012).

Los satélites Landsat anteriores miden la temperatura superficial del suelo utilizando una sola banda térmica para detectar longitudes de onda largas de la luz emitida por la superficie de la tierra. Los QWIPs en el TIRS, detectan dos segmentos del espectro infrarrojo térmico, ambos incluidos dentro de una ventana de transmisión atmosférica, con el fin de producir mejores estimaciones de la temperatura superficial (United States Geological Survey, 2014).

Al igual que el sensor OLI, el TIRS es también un sensor “Pushbroom” con 185 kilómetros de campo de visión (Cross-track). Con una resolución espacial de 100 metros de ancho, la resolución espacial del TIRS, está diseñada para captar las mediciones de consumo de agua en los campos riego, particularmente a través de las grandes llanuras de los Estados Unidos, a diferencia del OLI el sensor TIRS tiene una vida útil de 3 años (United States Geological Survey, 2014).

El satélite almacena los datos del sensor OLI y TIRS en una grabadora de estado sólido incluida a bordo y transmite los datos a estaciones receptoras terrestres.

Para hacer posible que los científicos comparen las nuevas imágenes Landsat con imágenes tomadas en el pasado, los ingenieros han tenido que diseñar el satélite LDCM con parámetros que permitan medir más o menos las mismas bandas espectrales al igual que los satélites Landsat anteriores. Además, el OLI proporciona dos nuevas bandas espectrales, una especialmente adaptada para la detección de nubes cirrus y la otra para las observaciones de las zonas costeras.

TIRS recoge datos de otras dos bandas espectrales en la región térmica, anteriormente cubierto por una única banda de ancho espectral en Landsat 4-7, midiendo la energía térmica de la superficie de la tierra (es decir, calor) (Posada, 2012).

Tabla 1. Bandas de la imagen satelital de Landsat 8

| No de referencia de la banda | Descripción de la banda | Centro de banda (nm) |
|------------------------------|--|----------------------|
| 1 | Aerosol Costero (Operacional Land Imagen(OLI)) | 433 |
| 2 | Azul (OLI) | 482 |
| 3 | Verde (OLI) | 562 |
| 4 | Rojo (OLI) | 655 |
| 5 | Infrarrojo cercano (NIR) (OLI) | 865 |
| 6 | Infrarrojo de onda corta (SWIR) 1 (OLI) | 1610 |
| 7 | SWIR 2 (OLI) | 2200 |
| 8 | Pancromática (OLI) | 590 |
| 9 | Cirrus (OLI) | 1375 |
| 10 | Sensor Infrarrojo térmico (TIRS) 1 | 10800 |
| 11 | TIRS 2 | 12000 |

Fuente: (Alexander Ariza, 2013)

Elaborado por: Felipe Lema, 2016

4. Características de las bandas del satélite Landsat 8

a. Banda 1 (0.433 μ m – 0.453 μ m)

Llamada también banda aerosol costero por sus dos usos principales, como lo son la formación de imágenes en aguas poco profundas, y el seguimiento de las partículas finas como el polvo y el humo. Detecta azules profundos y violetas. La luz azul es difícil de recoger desde el espacio porque se dispersa fácilmente por pequeños trozos de polvo y agua en el aire, e incluso por las moléculas de aire. Esta es una razón por qué las cosas muy distantes (como montañas en el horizonte) aparecen azulado, y por qué el cielo es azul. Del mismo modo que vemos una gran cantidad de azul brumoso cuando miramos hacia arriba, al espacio en un día soleado. Esa parte del espectro es difícil de recoger con la sensibilidad suficiente para ser útil, y la banda 1 es el único instrumento de su tipo que produce datos abiertos en esta resolución; una de las muchas cosas que hacen a este satélite especial (Loyd, 2013).

b. Bandas 2, 3 y 4 (0.45 μ m - 0.67 μ m)

Son bandas visibles; azules, verde y rojo, cuando se las combina se obtiene una imagen de color verdadero, es decir los colores, como lo discriminan nuestros ojos (Chuvieco, 2010).

c. Banda 5 (0.85 μ m - 0.88 μ m)

Llamada también infrarrojo cercano, o NIR. Esta parte del espectro es especialmente importante para la ecología ya que las plantas sanas reflejan el agua en sus hojas y dispersa las longitudes de onda de nuevo al cielo. Al comparar con otras bandas, tenemos índices como NDVI, que permiten a la sanidad vegetal medir con mayor precisión que si sólo se fijaran en verdor visible (Loyd, 2013).

d. Bandas 6 y 7 (1.57 μ m – 2.29 μ m)

Llamadas también SWIR 1 y SWIR 2, realiza diferentes cortes de la cubierta en el infrarrojo de onda corta, o SWIR. Son particularmente útiles para discriminar la tierra mojada de la tierra seca, y para la geología: rocas y suelos que parecen similares en otras bandas de frecuencia tienen fuertes contrastes en SWIR (Loyd, 2013).

e. Banda 8 (0.50 μ m – 0.68 μ m)

Es la pancromática o simplemente pan - banda. Funciona igual que el cine en blanco y negro: en lugar de recoger colores visibles separados, la combina en un solo canal. Debido a que este sensor puede ver más luz a la vez, es la más aguda de todas las bandas, con una resolución de 15 metros (Loyd, 2013).

f. Banda 9 (1.36 μ m – 1.38 μ m)

Cirrus, recoge solamente cúmulos de nubes, está diseñado especialmente para las nubes cirrus - altos, "colas de caballo" tenues. Los cirrus son un verdadero dolor de cabeza para las imágenes de satélite debido a que sus bordes suaves hacen que sean difíciles de detectar (Loyd, 2013).

g. Bandas 10 y 11 (10.60 μ m – 12.51 μ m)

Se ubican en el infrarrojo térmico, o TIR - que ven el calor. En lugar de medir la temperatura del aire, como estaciones meteorológicas lo que hacen es informar sobre el terreno en sí, que es a menudo es mucho más caliente. Un estudio de hace unos pocos años se ha encontrado algunas temperaturas de la superficie del desierto más alta que 70 ° C (159 ° F) - lo suficientemente caliente para freír un huevo (Loyd, 2013).

5. Correcciones de la imagen Landsat 8

a. Correcciones radiométricas

Una vez que la radiación electromagnética es generada y se propaga, interactúa con la atmósfera afectando a la radiación en su longitud de onda, intensidad, distribución espectral y/o su dirección. Hay dos tipos de efectos que produce la atmósfera: absorción y dispersión. El ruido introducido por la atmósfera tiene efectos importantes en la teledetección y su remoción es necesaria (Administración de Parques Nacionales, 2005).

La corrección atmosférica se efectuará según modelos matemáticos que ligarán el valor registrado de ND con los valores reales existentes del objeto sobre el terreno (proceso de calibración). Los errores producidos por el sensor se solventarán conociendo los datos de calibración radiométrica del mismo (Arozarena A, 2001).

b. Correcciones geométricas

La corrección geométrica es la modificación de la geometría de la imagen respecto de la geometría de la superficie terrestre. La georeferenciación es la adaptación a un sistema geodésico de referencia (por ejemplo ED 50 ó ETRF 89) y a una proyección geográfica determinada (ejemplo la UTM Universal Transverse Mercator). Los procedimientos matemáticos que resuelven este problema y las metodologías usadas para su implementación, mediante algoritmos en las aplicaciones informáticas de teledetección son muy variados (Pérez, & Muñoz, 2006).

Las correcciones geométricas son necesarias realizarlas básicamente debido a dos motivos: A las variaciones espaciales ocurridas en el proceso de captura de la información e inherentes al movimiento del sensor (aleteo, cabeceo, variaciones en altura y velocidad, etc). Por necesidad de ajustar, dicha información, a un sistema de referencia determinado (sistema geodésico, proyección cartográfica, etc.) (Arozarena, 2001).

c. Aplicaciones del tratamiento digital de las imágenes landsat 8

1) NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada)

Existen diversas metodologías para estudiar mediante imágenes satelitales los cambios estacionales que ocurren en la vegetación; uno de ellos es la aplicación de índices vegetativos relacionados con el verdor. El NDVI mide la relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres. Aplicado a las comunidades de plantas, el índice arroja valores de intensidad del verdor de la zona, y da cuenta de la cantidad de vegetación presente en una superficie y su estado de salud o vigor vegetativo. El NDVI es un índice no dimensional, y por lo tanto sus valores van de -1 a $+1$. En la práctica, los valores que están por debajo de $0,1$ corresponden a los cuerpos de agua y a la tierra desnuda, mientras que los valores más altos son indicadores de actividad fotosintética de las zonas de matorral, en el bosque templado, la selva y la actividad agrícola (Chuvieco, 2010).

2) SAVI (Índice de vegetación ajustado al suelo)

El índice de suelo ajustado, también tiene en cuenta la reflectividad del suelo y permite aislar la información que aporta la vegetación, de la que procede del suelo que está bajo ella. Al usar este índice, dos coberturas vegetales de igual actividad fotosintética, pero sobre suelos muy diferentes, aparecerán con igual (o muy similar) índice SAVI, a diferencia de lo que puede suceder en el NDVI

clásico. Es importante considerar, que si la cobertura de vegetación no es suficientemente densa, los valores medidos de reflectancia, pueden deberse, no sólo a la vegetación, sino también al suelo subyacente. En la imagen número 5, podemos apreciar que en la imagen de la izquierda los píxeles tienen cobertura vegetal del 100%, en cambio en la imagen de la derecha, el píxel del centro, en amarillo, posee una cobertura del 15% aproximadamente, donde el valor registrado por sensor, está fuertemente influenciado por la reflectancia del suelo (Huete, 1988).

Para lograr el objetivo de separar las radiancias del suelo y la vegetación, se añadió una constante L al denominador del NDVI, donde L puede tomar valores entre 0 y 1, dependiendo de la densidad de la vegetación (valores más altos del índice, para densidades más bajas). Para mantener el mismo rango de variación que el NDVI, el resultado debe multiplicarse por $1 + L$. Basándose en un modelo de transferencia radiativa, mostró que un valor de $L = 0.5$ permitía mejorar el ajuste, especialmente, para densidades intermedias de vegetación y sobre todo porque un valor de L (Huete, 1988).

3) NDSI (Índice de suelos de diferencia normalizada)

El índice de diferencia normalizada de suelos (NSI), destaca las áreas construidas y en suelo desnudo, dado a que estas superficies son más reflectivas en el SWIR que en el NIR. (Roger, & Kearney, 2004)

4) NDWI (Índices de agua de diferencia normalizada)

El índice de contenido de agua en hojas (LWCI), se basa en la interrelación entre las reflectividades en el infrarrojo de onda corta (SWIR) y en el NIR. (Huete, 1988)

5) TS (Temperatura de superficie)

Por su parte, la temperatura de superficie constituye el principal indicador de la distribución de la energía disponible en la superficie de la Tierra, a través de su efecto en el flujo de calor latente y sensible a la atmósfera, flujo de calor sensible hacia el suelo y radiación hacia la atmósfera, por ello es un parámetro clave en los procesos físicos a las diferentes escalas espaciales, locales, regionales y globales (Wan, Wang, & LI, 2004)

I. SISTEMA REFERENCIAL ESPACIAL

Los sistemas de referencia espacial son utilizados para poder ubicar los objetos geográficos en un mapa. Un sistema de referencia espacial es un conjunto de parámetros que se utiliza para representar una geometría (Basterra, 2010)

Existen varios SRS, de los cuales destacan los siguientes:

Tabla 2. Sistemas de referencia espacial.

| SRS | Organización |
|------|---------------------------------|
| WGS | World Geodesic System |
| NSRS | Nacional Geodetic Survey |
| EPSG | European Petroleum Survey Group |

Fuente: Basterra I, 2010

Los SRS se pueden clasificar en:

1. Indirectos.

Un sistema indirecto usa referencias a objetos cuya posición es conocida, por ejemplo límites estatales, direcciones o monumentos.

2. Directos

Un sistema directo debe de hacer referencia al datum de algún SRS, el datum se representa por medio de un identificador estándar, por ejemplo: WGS84 o EPSG: 4326 (Basterra, 2010)

Un datum es un modelo matemático en el cual se incluyen un conjunto de parámetros, con estos se pueden calcular la posición de los objetos geográficos en la superficie terrestre. La mayoría de los datum son creados para su uso de manera regional, pero el WGS84 puede ser usado globalmente. Los parámetros del datum son los siguientes:

1. Las dimensiones del elipsoide de referencia (diámetro mayor, menor y el achatamiento de los polos).
2. Las coordenadas del punto de origen (Basterra, 2010)

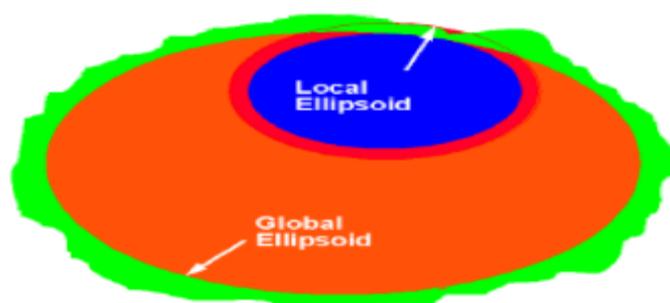


Figura 4. Dimensiones del elipsoide de referencia.

Fuente: Imagen tomada de <http://www.wgs84.com/wgs84/wgs84.htm>

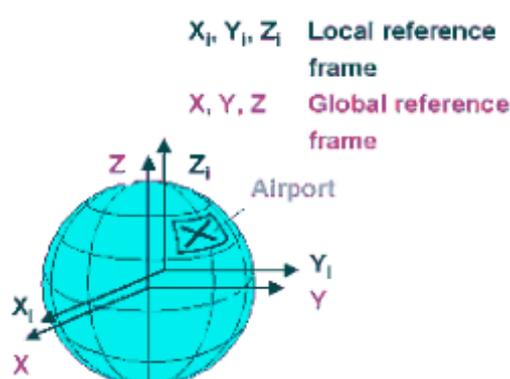


Figura 5. Coordenadas del punto de origen.

Fuente: Imagen tomada de <http://www.wgs84.com/wgs84/wgs84.htm>

J. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

El análisis digital de datos engloba una serie de técnicas de manipulación numérica de datos contenidos en imágenes digitales. Este análisis requiere para su realización de un software y hardware adecuados a más de las imágenes adecuadas. El procesamiento digital de imágenes, es la aplicación de 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. Tiene la ventaja de permitir una rápida comparación de fenómenos multitemporales por la accesibilidad a la información que posee (Basterra, 2010).

1. Imágenes satelitales

Las imágenes satélites representan las formas de captura indirecta de la información espacial. Son almacenadas como matrices (cada matriz corresponde a una banda del sensor), donde el elemento de la imagen es llamado píxel y tienen un valor proporcional a la energía reflejada o emitida de la

superficie terrestre para el área de la imagen. El píxel es la unidad visual más pequeña que se puede representar en una imagen digital. El sensor detecta la radiación media de un objeto o elemento sobre la superficie correspondiente al tamaño del píxel. Este valor es traducido por el sensor a un valor numérico entero denominado Nivel Digital (ND), también conocido como valor de brillo o escala de grises; a partir de este se realiza el procesamiento digital de las imágenes. El arreglo de varios píxeles genera la imagen que se puede interpretar como una matriz n-dimensional (los valores registrados de norte a sur en las filas y de oeste a este en las columnas), siendo n el número de bandas espectrales que tenga el sensor (ver figuras 6 y 7) (Basterra, 2010).

Una imagen en forma genérica es una representación en 2 dimensiones de un objeto de 2 o 3 dimensiones. Esta representación puede ser definida por colores o diferentes niveles de gris. Esta puede ser obtenida por muchos medios, ya sea un sensor electrónico o radar mientras que fotografías se refieren a una imagen que fue obtenida sólo mediante medios fotográficos sobre un film (Chuvioco, 2010)

Los sensores convierten los valores de reflectividad en valores numéricos también llamados valores radiométricos que se extienden entre 0 y 255 (8 bits). Estos valores son almacenados en matrices numéricas compuestas de píxeles (generalmente cuadrados). El valor numérico que codifica cada pixel se denomina nivel digital (ND).

El píxel se define a través de su posición (fila/columna) y su valor, 0 (0% de reflectividad) Negro y 255 (100% reflectividad): Blanco.

Los ND de la imagen son almacenados en códigos binarios (bit – 0 ó 1), estas imágenes se organizan en una serie de archivos (file), cada uno de los cuales se descomponen en registros (records). Normalmente la imagen cuenta con un archivo de cabecera (header file) en donde se almacenan sus metadatos.

La distribución de los archivos de una escena está en estrecha relación con el formato en la que se gravan los ND de la imagen, siendo los métodos más habituales de grabación:

- Bandas Secuenciales (Band Sequential, BSQ).
- Bandas Intercaladas por líneas (Band Interleavedby line, BIL)
- Bandas Intercaladas por pixel (Band Interleavedby pixel, BIP)

Junto a estos formatos tradicionales existen otros HDF (Hierarchical data Format), GeoTIFF, KML (KeyholeMarkupLanguage), que son utilizados por el dominio público, para difundir imágenes georreferenciadas (Chuvieco, 2010)

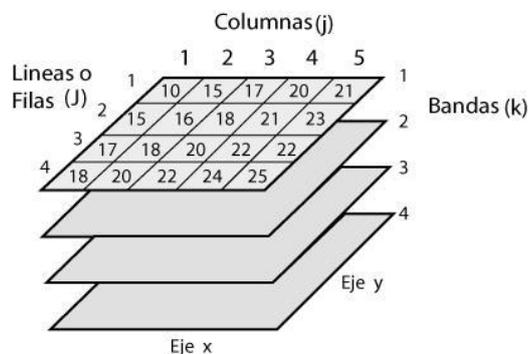


Figura 6. Representación Matricial de una imagen satelital

Fuente: Chuvieco, 2010

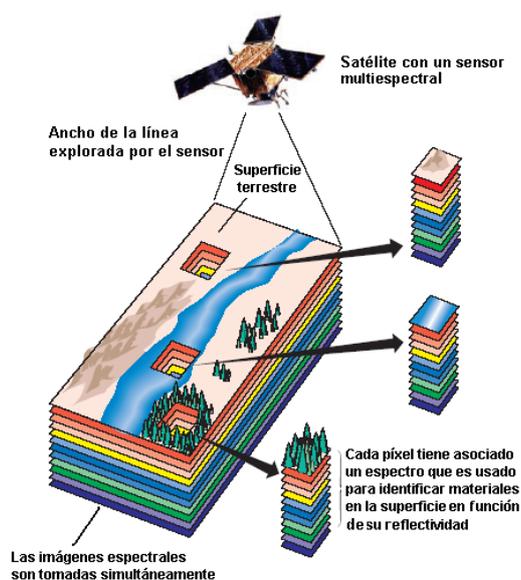


Figura 7. Representación multispectral de una imagen satelital

Fuente: Chuvieco, 2010

2. Sistemas Digitales

a. Hardware

Las características básicas del hardware necesario para un procesamiento digital de imágenes, puede observarse en el siguiente esquema:

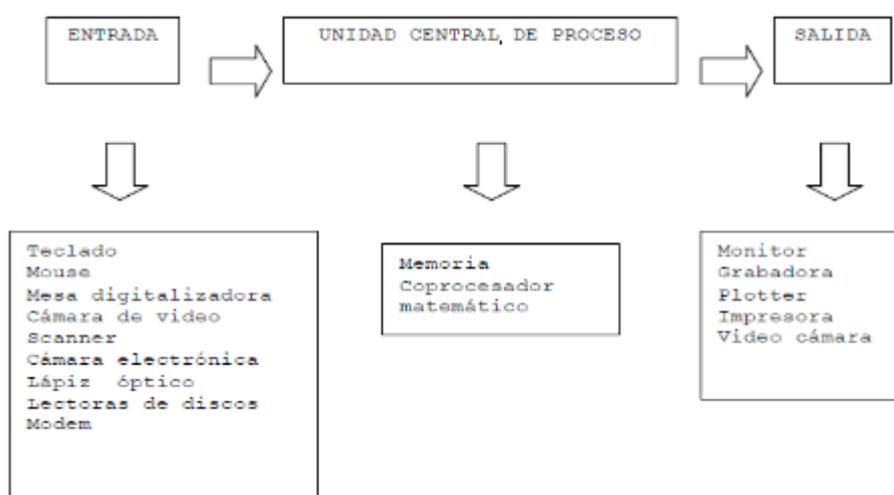


Figura 8. Esquema del hardware para procesar imágenes.

Fuente: Basterra, 2010

b. Software

Son programas que permiten la manipulación del equipo para solucionar, mediante algoritmos, problemas inherentes al procesamiento de datos. Las características que deben poseer, son las siguientes:

- Velocidad
- confiabilidad (debe advertir datos erróneos)
- interactividad
- versatilidad
- portátil (Basterra, 2010)

3. Tratamiento de la Información

a. Caracterización Estadística de las Imágenes

Para poder cuantificar mejor las características de las imágenes, es necesario conocer algunos parámetros estadísticos, que deben calcularse. Estos cálculos, podemos dividirlos en dos grandes grupos, según que las operaciones a realizarse sean para cada banda de la información, o entre las distintas bandas. Algunos de los parámetros estadísticos a los que recurre el procesamiento digital, son: histograma, entropía, valores máximo-mínimo-media, varianza, desviación Standard, para cada banda y coeficiente de correlación para el análisis entre bandas (Basterra, 2010).

b. Histograma de una imagen

Es la función que representa la frecuencia de ocurrencia de cada uno de los niveles de gris (proporcionales a la radiometría) en una imagen digital. La forma de representación, puede ser en forma numérica o gráfica (Basterra, 2010).

Histogram of rcfrc

| Class | Lower Limit | Upper Limit | Frequency | Prop. | Cum. Freq. | Cum. Prop. |
|-------|-------------|-------------|-----------|--------|------------|------------|
| 0 | 0.0000 | 0.9999 | 819 | 0.0014 | 819 | 0.0014 |
| 1 | 1.0000 | 1.9999 | 92 | 0.0002 | 911 | 0.0016 |
| 2 | 2.0000 | 2.9999 | 0 | 0.0000 | 911 | 0.0016 |
| 3 | 3.0000 | 3.9999 | 0 | 0.0000 | 911 | 0.0016 |
| 4 | 4.0000 | 4.9999 | 0 | 0.0000 | 911 | 0.0016 |
| 5 | 5.0000 | 5.9999 | 0 | 0.0000 | 911 | 0.0016 |
| 6 | 6.0000 | 6.9999 | 0 | 0.0000 | 911 | 0.0016 |
| 7 | 7.0000 | 7.9999 | 893 | 0.0016 | 1804 | 0.0032 |
| 8 | 8.0000 | 8.9999 | 0 | 0.0000 | 1804 | 0.0032 |
| 9 | 9.0000 | 9.9999 | 0 | 0.0000 | 1804 | 0.0032 |
| 10 | 10.0000 | 10.9999 | 0 | 0.0000 | 1804 | 0.0032 |
| 11 | 11.0000 | 11.9999 | 0 | 0.0000 | 1804 | 0.0032 |
| 12 | 12.0000 | 12.9999 | 0 | 0.0000 | 1804 | 0.0032 |
| 13 | 13.0000 | 13.9999 | 19 | 0.0000 | 1823 | 0.0032 |

Figura 9. Histograma Numérico

Fuente: Basterra, 2010

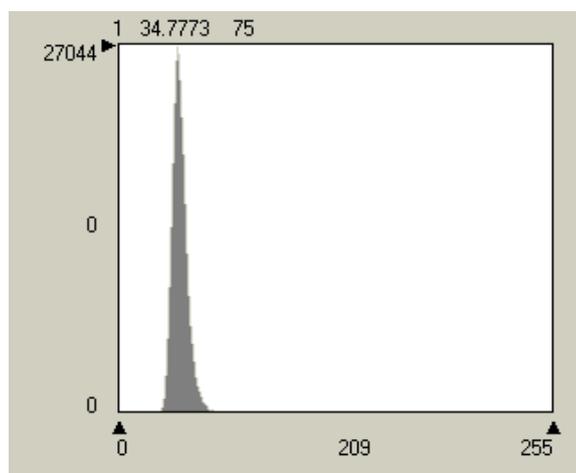


Figura 10. Histograma Gráfico

Fuente: Basterra, 2010

La estrechez del histograma, se manifestará en poco contraste en los valores de gris de la imagen.

c. Operaciones entre bandas

Son procesos aplicados a las imágenes, mediante los cuales, obtenemos imágenes resultantes de realizar operaciones matemáticas píxeles a píxeles entre los distintos valores en las distintas bandas. El resultado es una nueva banda con el mismo tamaño y estructura de la imagen original, pero con

sus valores que no responden ya, a la radiancia obtenida por el sensor sino a los provenientes de la operación aplicada. Una de las operaciones más utilizadas son los denominados índices. El más conocido es el de vegetación, pero existen otro para detección de suelos desnudos (Basterra, 2010).

d. Índice de vegetación

El notable contraste de reflectividad en la vegetación sana que existe entre la zona del infrarrojo cercano y la zona del rojo, es el fundamento que permite determinar el índice de vegetación. El índice de vegetación, es un valor que se obtiene de aplicar operaciones entre dos bandas, según se observa en la fórmula, y que permite obtener una probabilidad de encontrar vegetación en la imagen (Basterra, 2010).

$$Iv = \frac{Bir - Br}{Bir + Br} \quad 0 < Iv < 1$$

Donde:

Bir = valor del pixel en la banda infrarroja

Br = valor del pixel en banda visible rojo

Iv = 0 indica escasa probabilidad de encontrar vegetación

Iv = 1 indica mucha probabilidad de encontrar vegetación

e. Composición a color

Es un proceso mediante el cual, se asigna a tres bandas de una imagen, uno de los colores primarios del monitor R G B de manera tal, que se los superpone y se visualizan simultáneamente las tres bandas en pantalla. Cada valor de pixel, en cada banda, intervendrá con el porcentaje que le corresponde por su reflectancia original.

Una de las composiciones en color más utilizadas es la denominada Composición Falso Color Standard, que se obtiene desplazando la representación de las bandas hacia el infrarrojo. Es decir, a la banda del verde, se le asigna el color azul, a la banda del rojo, se le asigna el color verde y a la banda del infrarrojo se le asigna el color rojo (Basterra, 2010).

Especial mención merecen las imágenes de satélite que nos proporciona la constelación de satélites Landsat. En su libro Teledetección Ambiental, (Chuvieco, Teledeteccion Ambiental, 2010) considera a la teledetección no solo como la observación y adquisición remota de imágenes de la superficie terrestre mediante sensores aéreos y espaciales, sino también como el tratamiento y procesamiento de esta adquisición; siendo la teledetección un vocablo de la traducción del inglés remote sensig.

4. Sistema de teledetección espacial.

De una forma general se puede determinar que existen cinco componentes en el sistema de teledetección espacial los cuales se detallan a continuación: El primer componente es la fuente de energía. La más habitual es el sol, en cuyo caso se habla de Teledetección pasiva ya que los sensores remotos dependen de esta fuente de energía externa.

El segundo componente es la cubierta terrestre. Cada grupo de objetos de la cubierta (masas de vegetación, mantos de nieve, cuerpos de agua, suelos o superficies urbanas), dependiendo de sus características y naturaleza reaccionan de forma distinta ante el flujo de energía incidente. Una parte de este flujo es absorbido por los objetos, otra es transmitida a los objetos vecinos y, finalmente, otra parte del flujo es reflejada (Vega, 2010)

K. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Los SIG por sus siglas en inglés (Geographic Information System) son un Sistema de Información diseñado para trabajar con datos referenciados por coordenadas espaciales o geográficas y sus correspondientes datos no espaciales. Es un sistema computarizado que permite la entrada, almacenamiento, representación y salida eficiente de datos espaciales (mapas) y atributos (descriptivos) de acuerdo con especificaciones y requerimientos concretos (Navarro, 2011).

1. Componentes de un SIG

El SIG se define como una tecnología de manejo de información geográfica formada por equipos electrónicos computarizados (hardware), programados adecuadamente (software), que permiten manejar una serie de datos espaciales (información geográfica) y realizar análisis complejos con éstos, siguiendo los criterios impuestos por el equipo científico (Arciniegas, 2011)

El SIG trabaja con dos niveles de información, integrados: la cartografía digital y las bases de datos geo referenciadas, que reflejan los atributos del espacio, y une ambos en una sola base de datos geográfica que describe los objetos geográficos y las relaciones entre los mismos.

L. MAPA

Es una representación de una parte o del total de la superficie de la tierra proyectado con un sistema de coordenadas y dibujado a escala en dos dimensiones. Un mapa es también un conjunto de puntos, líneas y polígonos, definidos por su localización en el espacio referenciado a un sistema de coordenadas. Los mapas son modelos simplificados de la realidad. (Sandra, 2009)

Mapa es una imagen o representación donde se representa gráficamente a partir de medidas longitudinales un territorio determinado en una superficie bidimensional, en un mapa, se identifican rutas para establecer destinos de un punto a otro, en un mapa se ubican localidades, y también se pueden observar los distintos tipos de terreno que pueda presentar dicha superficie (Orozco, 2014)

1. Tipos de mapas

a. Mapas base

Refleja de una manera exacta y representativa, las relaciones de una selección de diferentes accidentes geográficos contiene curvas de nivel, relieve, ríos y laguna, vías, centros poblados, infraestructura: represas, canales de riego y acequias, línea férrea, poliductos (Maldonado, 2016)

Los mapas base recopilan los datos clave para ofrecer una base reutilizable para diversos mapas. Los mapas base proporcionan una base o un lienzo para su trabajo. Pueden ser de finalidad general, (como los mapas base topográficos, de imágenes o callejeros), o bien centrarse en un tema en concreto, (como los mapas base hidrológicos o geológicos). Es posible dibujar cualquier dato sobre un mapa base. El mapa base proporciona un contexto geográfico y detalles de referencia (Orozco, 2014)

b. Mapas de territorio

Un mapeo territorial es una herramienta que sintetiza uno o varios aspectos de la realidad existente en un determinado espacio y tiempo. Expresa la percepción que tiene la población indígena de una comunidad sobre su territorio y los usos que se dan a cada uno, reflejados en actividades o en áreas de protección (Metodología de mapeo territorial comunidades nativas Cacataibo., 2008)

c. Mapas temáticos

Representan una temática especial que se expresa sobre el territorio (cobertura vegetal y uso del suelo, riegos naturales, cobertura de servicios básicos, cantidad de habitantes, clima, plantaciones forestales, áreas protegidas, etc.) (Maldonado, 2016)

Los mapas temáticos son aquellos que muestran un determinado tema localizado en un territorio. En general, la base es un mapa político, que sirve como orientación para localizar los fenómenos que se representan en el mapa temático.

Resultan elocuentes y fácilmente memorizables. No hay límite en cuanto al contenido de los mapas temáticos. Los temas pueden ser muy diversos, con mayor o menor grado de abstracción y generados por distintas disciplinas (Departamento de Geografía. Facultad de Filosofía y Fetras UBA., 2010)

Estos mapas muestran información espacial para indicar la ubicación y la distribución de fenómenos específicos. Estos mapas pueden mostrar solo una capa temática de datos o bien agrupar varias capas para resaltar patrones y las relaciones entre ellos. Los mapas Web temáticos pueden contener atractivas ventanas emergentes para incluir atributos, información fotográfica sobre las entidades y acceso a otra información en la Web (Orozco, 2014)

M. GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de radionavegación basado en la localización mediante satélites. Señala la posición geográfica del lugar donde uno se encuentra, hora, fecha, velocidad de desplazamiento, indica hacia dónde nos dirigimos, permite almacenar la posición de varios puntos y ayuda a dirigirse hacia un punto determinado hacia el cual queremos llegar; funcionan en cualquier lugar de mundo, 24 horas al día, con cualquier condición meteorológica (Puch, 2012)

El GPS es el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) que nos permite fijar a escala mundial la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave. La precisión del GPS puede llegar a determinar los punto de posición con errores mínimos de cms (GPS diferencia), aunque en la práctica hablemos de metros (Muñoz, 2014)

N. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El análisis de componentes principales estudia las relaciones que se presentan entre p variables correlacionadas se puede transformar el conjunto original de variables en otro conjunto de nuevas variables incorreladas entre sí (que no tenga repetición o redundancia en la información) llamado conjunto de componentes principales. Las nuevas variables son combinaciones lineales de las anteriores y se van construyendo según el orden de importancia en cuanto a la variabilidad total que recogen de la muestra. De modo ideal, se buscan $m < p$ variables que sean combinaciones lineales de las p originales y que estén incorreladas, recogiendo la mayor parte de la información o variabilidad de los datos. Si las variables originales están incorreladas de partida, entonces no tiene sentido realizar un análisis de componentes principales. (Santiago, 2011).

O. ANOVA

El análisis de la varianza es un método para comparar dos o más medias, que es necesario porque cuando se quiere comparar más de dos medias es incorrecto utilizar repetidamente el contraste basado en la *t* de Student. Por dos motivos:

En primer lugar, y como se realizarían simultánea e independientemente varios contrastes de hipótesis, la probabilidad de encontrar alguno significativo por azar aumentaría. En cada contraste se rechaza la H_0 si la *t* supera el nivel crítico, para lo que, en la hipótesis nula, hay una probabilidad α . Si se realizan m contrastes independientes, la probabilidad de que, en la hipótesis nula, ningún estadístico supere el valor crítico es $(1 - \alpha)^m$, por lo tanto, la probabilidad de que alguno lo supere es $1 - (1 - \alpha)^m$, que para valores de α próximos a 0 es aproximadamente igual a αm .

Por otro lado, en cada comparación la hipótesis nula es que las dos muestras provienen de la misma población, por lo tanto, cuando se hayan realizado todas las comparaciones, la hipótesis nula es que todas las muestras provienen de la misma población y, sin embargo, para cada comparación, la estimación de la varianza necesaria para el contraste es distinta, pues se ha hecho en base a muestras distintas.

El método que resuelve ambos problemas es el anova, aunque es algo más que esto: es un método que permite comparar varias medias en diversas situaciones; muy ligado, por tanto, al diseño de experimentos y, de alguna manera, es la base del análisis multivariante. (Abraira, 2000)

V. MATERIALES Y MÉTODOS

A. CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR

1. Localización

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



Figura 12. Mapa de ubicación de la ciudad de Riobamba

Elaborado por: Ing. Paulina Díaz

2. Ubicación geográfica

Coordenadas proyectadas UTM zona 17 Sur.

DATUM WGS 84

X: 759607 E

Y: 9814770 N

Altitud: 2754 msnm **Fuente:** (Gobierno Autonomo Descentralizado Municipal de Riobamba, 2016)

3. Límites

Tabla 3. Límites de la ciudad de *Riobamba*,

| | |
|---------------|--|
| Norte: | Cantones Guano y Penipe |
| Sur: | Cantones Colta y Guamote |
| Este: | Cantón Chambo y la provincia Morona Santiago |
| Oeste: | Provincias Bolívar y Guayas |

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba, 2016

Realizado por: Felipe Lema

4. Características climáticas

La temperatura promedio anual es 14°C y la precipitación promedio anual está entre 200 a 500 mm.

5. Características ecológicas

1) **Características del suelo**

Debido a la estacionalidad marcada y a la humedad relativamente baja de estos ecosistemas la concentración de carbono orgánico en el suelo es menor que en los páramos húmedos. Por ejemplo, la aridez de la porción noroccidental del volcán Chimborazo se explica tanto por el efecto de sombra de lluvia como por el uso intensivo histórico. En otros sitios con mayor predominancia de suelos con alto contenido de carbono, uno de los principales efectos de la degradación del suelo es la reducción de la porosidad del suelo por la disminución en la capacidad de infiltración e incremento en el drenaje y flujos superficiales contribuyendo al proceso de erosión. (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2012)

6. Materiales y equipos

a. **Materiales**

1) **De campo**

GPS de precisión, Libreta para campo, Cámara fotográfica.

2) **De oficina**

Software GIS, Computadora portátil, Imagen de satélite Landsat 8, Impresoras

B. METODOLOGÍA

1. Obtención de los indicadores ambientales

Para el cumplimiento del presente objetivo se realizará en base a un proceso digital de la imagen de satélite, mediante un conjunto de fórmulas para determinar los indicadores ambientales de la ciudad de Riobamba. Los cuales nos permitirán hacer un análisis de la situación actual del territorio

a. Obtención de la imagen de satélite

Usaremos una imagen multiespectral Landsat 8 actualizada, la cual la descargaremos 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).

b. Corrección geométrica y procesamiento digital de la imagen

Previo a la obtención de los indicadores ambientales necesarios para la construcción del ICA (índice de calidad ambiental) urbana propuesto para la ciudad de Riobamba, la imagen satelital se someterá a procesos fundamentales: 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.

c. NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada)

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 (Chuvienco, 2010) .

Fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

Donde:

NDVI = Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

NIR= Banda Infrarroja cercana (Banda 5), transformada previamente a valores de reflectancia.

R= Banda Visible (rojo) (Banda 4), transformada previamente a valores de reflectancia.

NIR y R denotan la reflectividad del infrarrojo cercano (NIR) y rojo (R), respectivamente, de la imagen Landsat 8.

d. NDSI (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)

Fórmula:

$$\text{NSI} = (\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR})$$

Donde:

NDSI = Índice de suelo de diferencia normalizado

SWIR = Infrarrojo de onda corta (Banda 6).

NIR = Infrarrojo cercano (Banda 5).

e. 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).

Fórmula:

$$\text{SAVI} = [(\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R} + \text{L})] (1 + \text{L})$$

Donde:

NIR = Infrarrojo cercano (Banda 5)

R = Banda Visible (rojo) (Banda 4)

Siendo L un coeficiente de ajuste de la vegetación, equivalente a 1, recomendado para densidades bajas de vegetación.

L= 1 (para bajas densidades de vegetación)

L= 0,5 (para medias densidades de vegetación)

L= 0,25 (para altas densidades de vegetación) (Chuvieco, 2010).

f. NDWI (Índices de agua de diferencia normalizada)

Se basa en la interrelación entre las reflectividades en el infrarrojo de onda corta (SWIR) y en el NIR (Hunt, 1987)

Fórmula:

$$\text{NDWI} = (\text{NIR} - \text{SWIR2}) / (\text{NIR} + \text{SWIR2})$$

Donde:

NDWI = Índice de agua de diferencia normalizada

NIR = Infrarrojo cercano (Banda 5).

SWIR2 = Infrarrojo de onda corta 2 (Banda 7).

g. TS (Temperatura de Superficie)

1) Conversión a radiancia en el techo de la atmósfera (TOA)

Fórmula:

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL$$

Donde:

$L\lambda$ = Es el valor de radiancia espectral en el techo de la atmósfera (TOA) medida en valores de (Watts /m² * srad * μm)

ML = Banda – Es el factor multiplicativo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de la banda)

AL = Banda – Es el factor aditivo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE_ADD_BAND_x, donde x es el número de la banda)

Q_{cal} = Producto estándar cuantificado y calibrado por valores de pixel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen (Chuvieco, 2010)

2) Temperatura de brillo en grados Kelvin, para una radiancia L

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

Fórmula:

$$TL = K2 / \ln ((K1 / L\lambda) + 1) - 272.15$$

Dónde:

TL: Temperatura de brillo en grados Kelvin, para una radiancia L.

K1: Constante de calibración 1 en W/ (m²*sr*um).

K2: Constante de calibración 2 en grados Kelvin (adimensional).

Lλ: Radiancia espectral del sensor

3) Cálculo de la emisividad de la superficie de la tierra (LSE)

Fórmula:

$$Pv = \text{Square} (NDVI - NDVIMIN) / (NDVIMAX + NDVIMIN)$$

Donde:

Pv: Proporción de la vegetación

NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada. (Chuvieco, 2010)

4) Emisividad de la superficie

La siguiente ecuación permitirá calcular la emisividad de las coberturas.

Fórmula:

$$e = 0.004PV + 0.986$$

Donde:

Las emisividades de las cubiertas de vegetación y de suelo, respectivamente; se asumió que estas fueron de 0.004 y 0, 0.986, respectivamente.

Pv: Fracción de vegetación, obtenida por medio del NDVI, uno de los índices de vegetación más usado (Choudhury, 1994).

5) Temperatura de la superficie de la tierra

Fórmula:

$$TS = BL / 1 + W * (BL / \rho) * \ln \epsilon$$

Donde:

TS: Temperatura de superficie

BT: Temperatura de brillo del satélite

W: Longitud de onda media de la banda termal considerada

$p = h * c / \sigma$, ($1.438 * 10^{-2}$ mK), donde:

h: Constante de Planck ($6,626 * 10^{-34}$ Js)

c: Es la velocidad de la luz ($2.998 * 10^8$)

σ : Constante de Boltzman ($1,38 * 10^{-23}$ J/K).

ϵ : Emisividad de la superficie

$p = 14380$ (MarcadorDePosición1).

2. Estimación del índice de calidad ambiental urbano

Para el cumplimiento de este objetivo partiremos de que los indicadores ambientales analizados guardan una estructura de correlación alta previo a la realización del ANOVA se comprobará la homogeneidad ya que esta prueba es una generalización del contraste de igualdad de medias para dos muestras independientes. Se aplica para contrastar la igualdad de medias de tres o más poblaciones independientes y con distribución normal, consecuentemente se utilizará un análisis de componentes principales (ACP) con el fin de determinar las dimensiones subyacentes (componentes) en los promedios de los indicadores ambientales de la zona urbana

La obtención del índice permitirá crear un cuadro donde se muestra su comportamiento en cada una de los barrios y áreas especiales, con el que se podrá: establecer una escala cualitativa de calidad

ambiental, adoptando las clases muy deficiente, regular, buena y muy buena, conocer patrones geográficos de distribución de la calidad ambiental en la ciudad; e identificar las parroquias o áreas especiales que presentan situaciones críticas o aceptables de calidad ambiental. De esta forma, la información derivada puede ser usada por los tomadores de decisiones, para la planificación y gestión ambiental urbana. (Escobar, 2006)

3. Características de los indicadores ambientales obtenidos de la imagen satelital

Para el cumplimiento de este objetivo se basará en la recopilación de la información obtenida en los objetivos uno y dos, los mismos que serán sintetizados y representados en una tabla las características de cada indicador ambiental, para luego validar la información en el campo de estudio.

VI. RESULTADOS

A. OBTENCIÓN DE LOS INDICADORES AMBIENTALES

Para el cumplimiento del presente objetivo se realizó en base a un proceso digital de la imagen de satélite, mediante la aplicación de un conjunto de fórmulas para determinar los indicadores ambientales de la ciudad de Riobamba. Los cuales nos permitirán hacer un análisis de la situación actual del territorio

1. 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 se constituye en la base sobre la cual se corte la imagen satelital, insumo sobre el cual se realizará el tratamiento digital.



Figura 12. Imagen satelital con la delimitación del área en estudio.

Elaborado por: Felipe Lema

2. Obtención de la imagen de satélite

La imagen multispectral Landsat 8 actualizada, descargamos 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 nos permite el análisis de la imagen de una manera más eficiente.

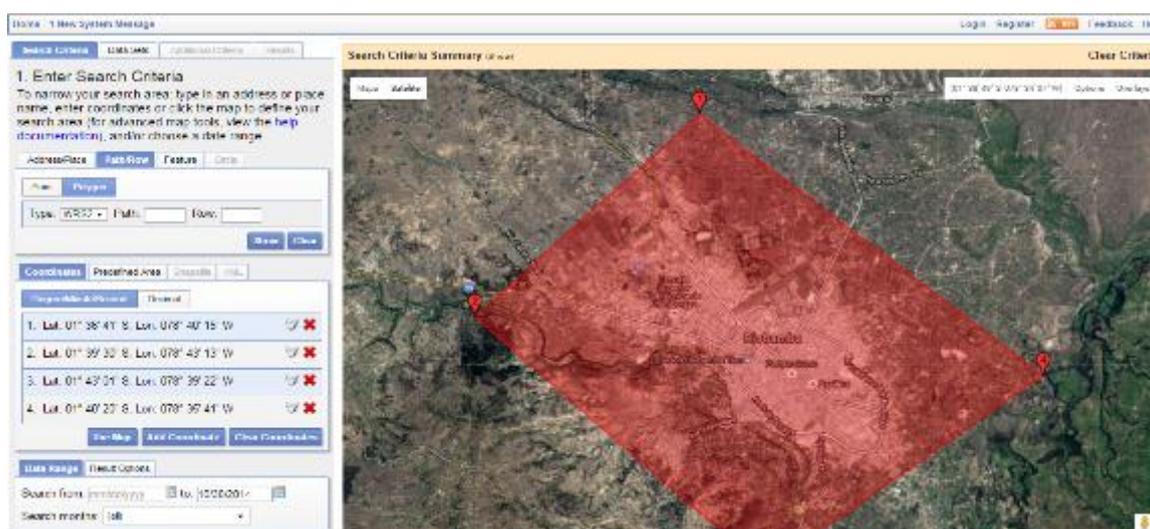


Figura 13. Selección del polígono de la imagen satelital.

Elaborado por: Felipe Lema

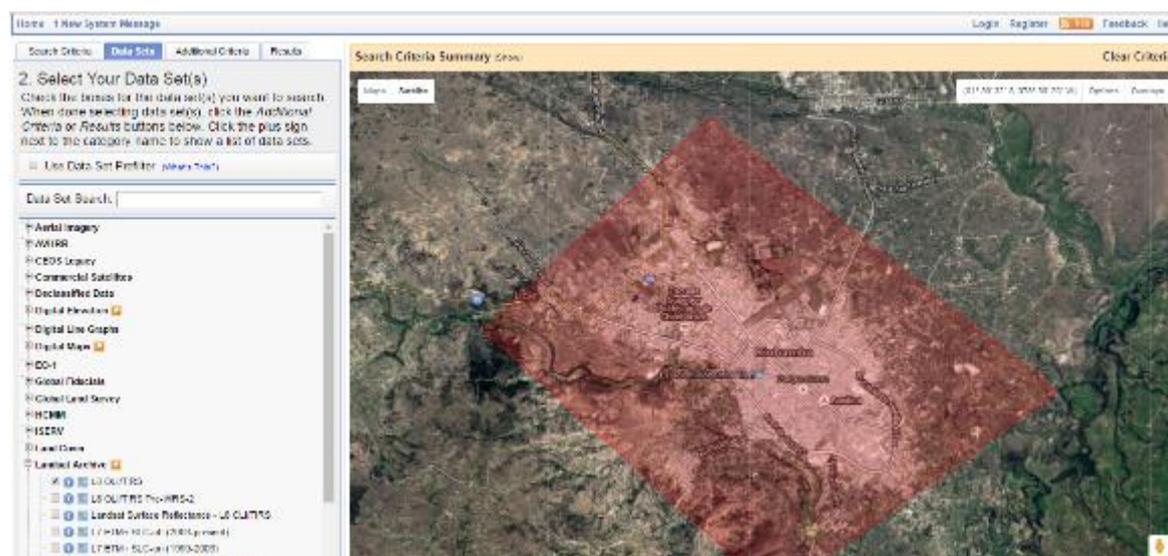


Figura 14. Selección de la imagen satelital landsat 8.

Elaborado por: Felipe Lema

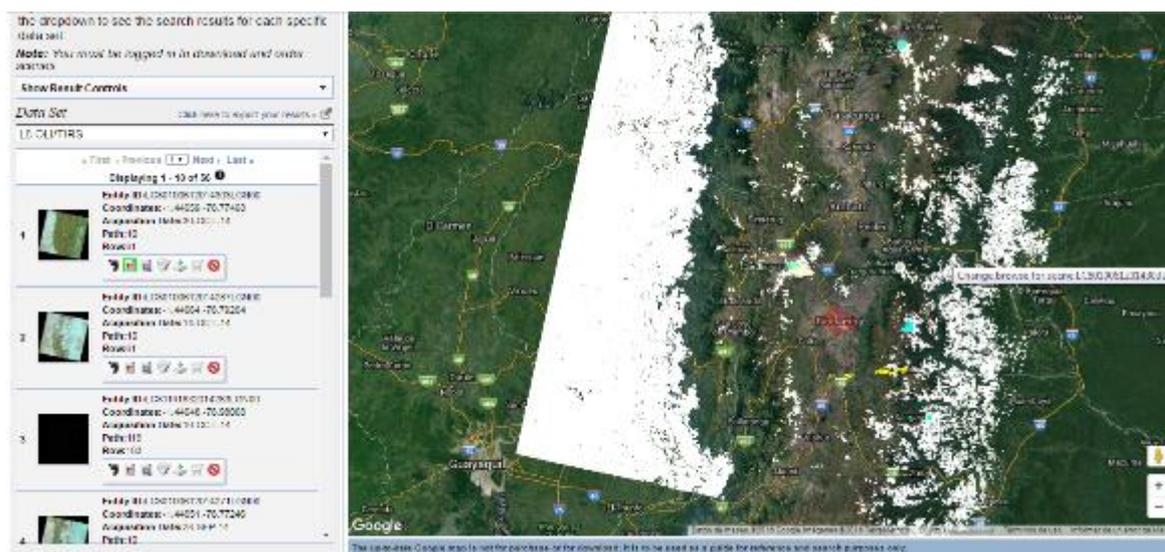


Figura 15. Selección de las imágenes donde no exista nubosidad.

Elaborado por: Felipe Lema

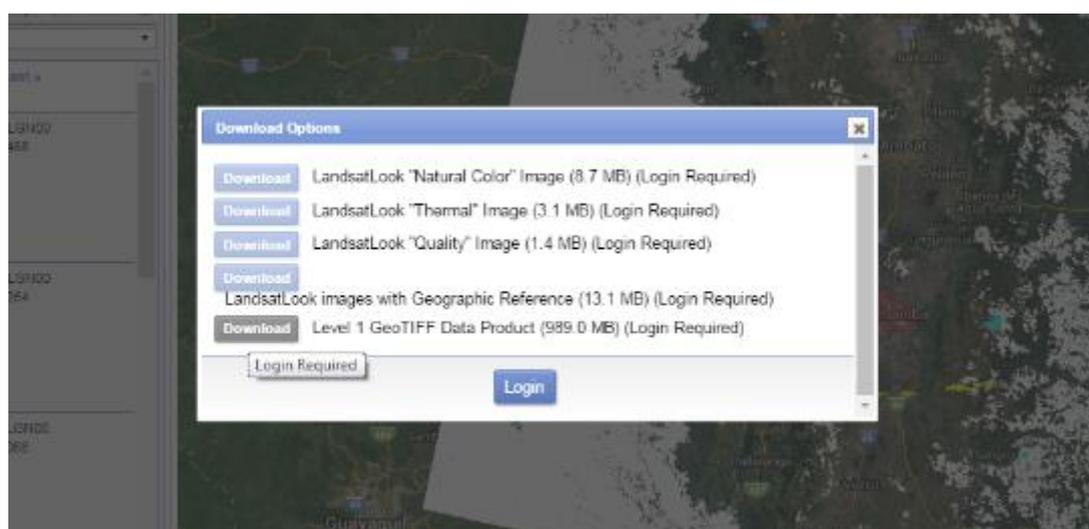


Figura 16. Selección de los productos de datos a descargar.

Elaborado por: Felipe Lema

3. Corrección geométrica y procesamiento digital de la imagen

Previo a la obtención de los indicadores ambientales necesarios para la construcción del ICA (índice de calidad ambiental) urbana propuesto para la ciudad de Riobamba, la imagen satelital se someterá a procesos fundamentales como: 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.

Comprende el pre-tratamiento de la imagen satelital, es decir se realiza las correcciones de la imagen, con el fin de eliminar cualquier anomalía y procesar los datos adecuadamente para posteriores análisis e interpretaciones. Consecuentemente la radiancia registrada por el sensor no es una representación exacta de la radiancia efectivamente reflejada por las coberturas. Esto significa que la imagen adquirida en formato numérico presenta una serie de anomalías con respecto a la escena real detectada. Estas anomalías están en la localización de los pixeles que componen la matriz de datos. Las operaciones de corrección pretenden minimizar estas alteraciones, como producto se obtiene una imagen corregida que es lo más próximo posible, radiométricamente, a la verdadera energía radiante y características espaciales del área de estudio.

a. Cálculo del valor de reflectancia de los datos de satélite a datos de radiancia espectral OLI

La imagen presenta niveles digitales (ND) enteros, según la metodología de conversión para Landsat 8 del USGS y traducida por el IGAC, los mismos se deben transformar a valores de reflectividad, para su posterior análisis de acuerdo a su variación en distintos rangos espectrales, lo que nos permitió discriminar las diferentes coberturas terrestres.

Los datos del sensor OLI fueron convertidos a valores de reflectancia en el techo de la atmósfera (TOA), usando para ello los coeficientes de reflectancia reescalados, suministrados en el archivo de metadatos.

Fórmula:

$$\rho\lambda' = M\rho Q_{cal} + A\rho$$

Donde:

$\rho\lambda'$ = reflectancia TOA planetaria, sin corrección para el ángulo solar. Tenga en cuenta que $\rho\lambda'$ no contiene una corrección para el ángulo de sol.

$M\rho$ = banda específica factor de cambio de escala multiplicativo de los metadatos (Reflectance_Mult_Band_x, donde x es el número de la banda)

$A\rho$ = factor de cambio de escala aditivo Band - específica de los metadatos (Reflectance_Add_Band_x, donde x es el número de la banda)

Q_{cal} = cuantificada y los valores de píxel de productos estándar calibrados (DN).

(Metadatos significa que el archivo texto se pueden encontrar junto con los datos)

Tabla 4. Factor multiplicativo MULT_BAND para el cálculo de la reflectancia

| COEFICIENTES MULTIPLICATIVOS | FACTOR |
|-------------------------------------|---------------|
| REFLECTANCE_MULT_BAND_1 | 2.0000E-05 |
| REFLECTANCE_MULT_BAND_2 | 2.0000E-05 |
| REFLECTANCE_MULT_BAND_3 | 2.0000E-05 |
| REFLECTANCE_MULT_BAND_4 | 2.0000E-05 |
| REFLECTANCE_MULT_BAND_5 | 2.0000E-05 |
| REFLECTANCE_MULT_BAND_6 | 2.0000E-05 |
| REFLECTANCE_MULT_BAND_7 | 2.0000E-05 |
| REFLECTANCE_MULT_BAND_8 | 2.0000E-05 |
| REFLECTANCE_MULT_BAND_9 | 2.0000E-05 |

Fuente: Metadatos Landsat 8

Elaborado por: Felipe Lema

Tabla 5. Factor multiplicativo ADD_BAND para el cálculo de la reflectancia.

| COEFICIENTES MULTIPLICATIVOS | FACTOR |
|-------------------------------------|---------------|
| REFLECTANCE_ADD_BAND_1 | -0.100000 |
| REFLECTANCE_ADD_BAND_2 | -0.100000 |
| REFLECTANCE_ADD_BAND_3 | -0.100000 |
| REFLECTANCE_ADD_BAND_4 | -0.100000 |
| REFLECTANCE_ADD_BAND_5 | -0.100000 |
| REFLECTANCE_ADD_BAND_6 | -0.100000 |
| REFLECTANCE_ADD_BAND_7 | -0.100000 |
| REFLECTANCE_ADD_BAND_8 | -0.100000 |
| REFLECTANCE_ADD_BAND_9 | -0.100000 |

Fuente: Metadatos Landsat 8

Elaborado por: Felipe Lema

- 1) **Calculadora raster función para calcular la reflectancia de la banda 4 para el 30/102014, 15/09/2015 y 05/01/2016**

Fórmula:

$$\rho\lambda' = M\rho Q_{cal} + A\rho$$

Reflectancia B4 = (2.0000E-05 * ("LC80100612015258LGN00_B4_clip_rbba.tif")) + -0.100000

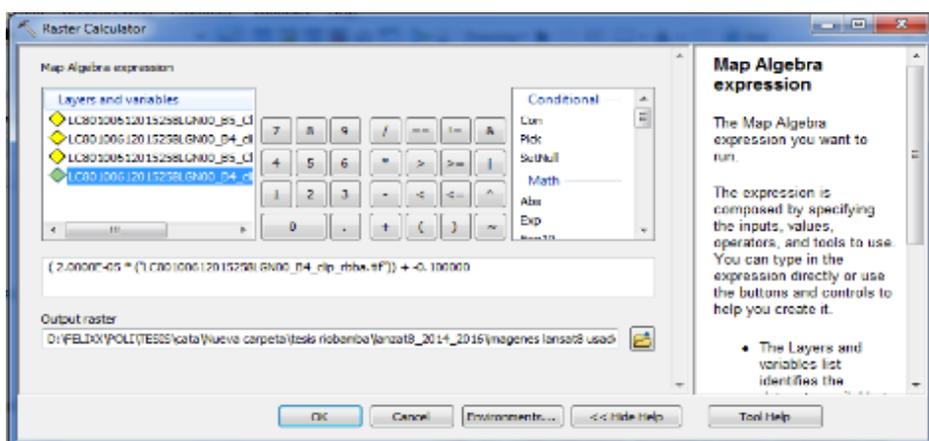


Figura 17. Raster calculator de la reflectancia de la banda 4.

Elaborado por: Felipe Lema

2) **Banda 4 corregida en relación a la reflectancia**

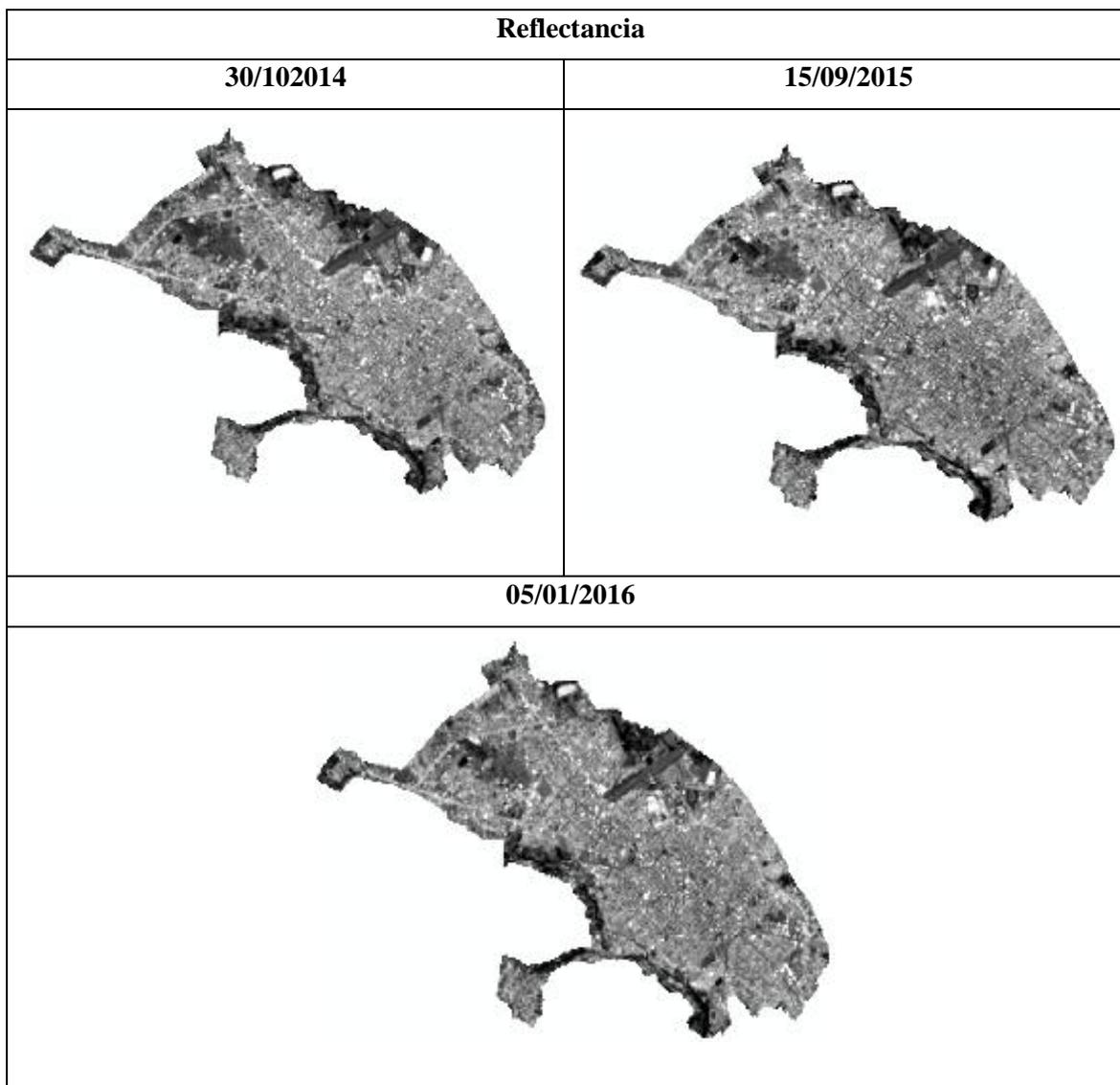


Figura 18. Bandas 4 corregidas con relación a la reflectancia.

Elaborado por: Felipe Lema

3) **Calculadora raster función para calcular la reflectancia de la banda 5 para el 30/10/2014, 15/09/2015 y 05/01/2016**

Fórmula.

$$\rho_{\lambda'} = M\rho_{Qcal} + A\rho$$

Reflectancia B5 = (2.0000E-05 * ("LC80100612015258LGN00_B5_Clip_rbba.tif")) + -0.100000

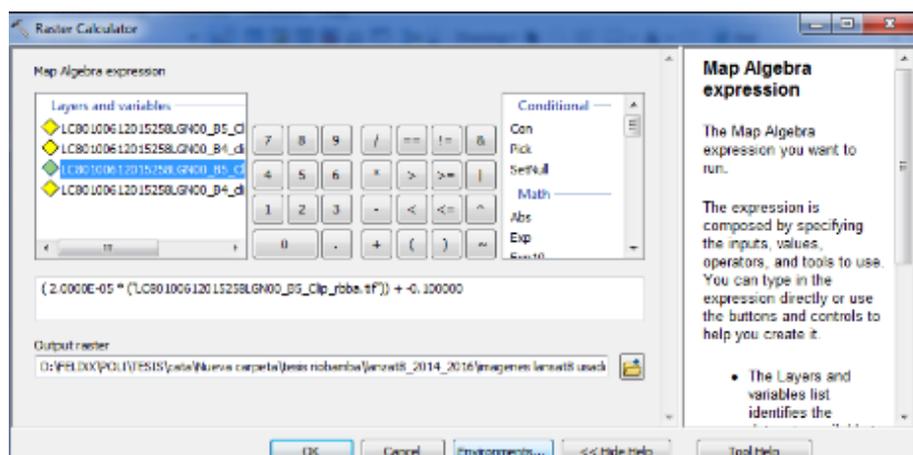


Figura 19. Raster calculator de la reflectancia de la banda 5.

Elaborado por: Felipe Lema

4) Banda 5 corregidas con relación a la reflectancia

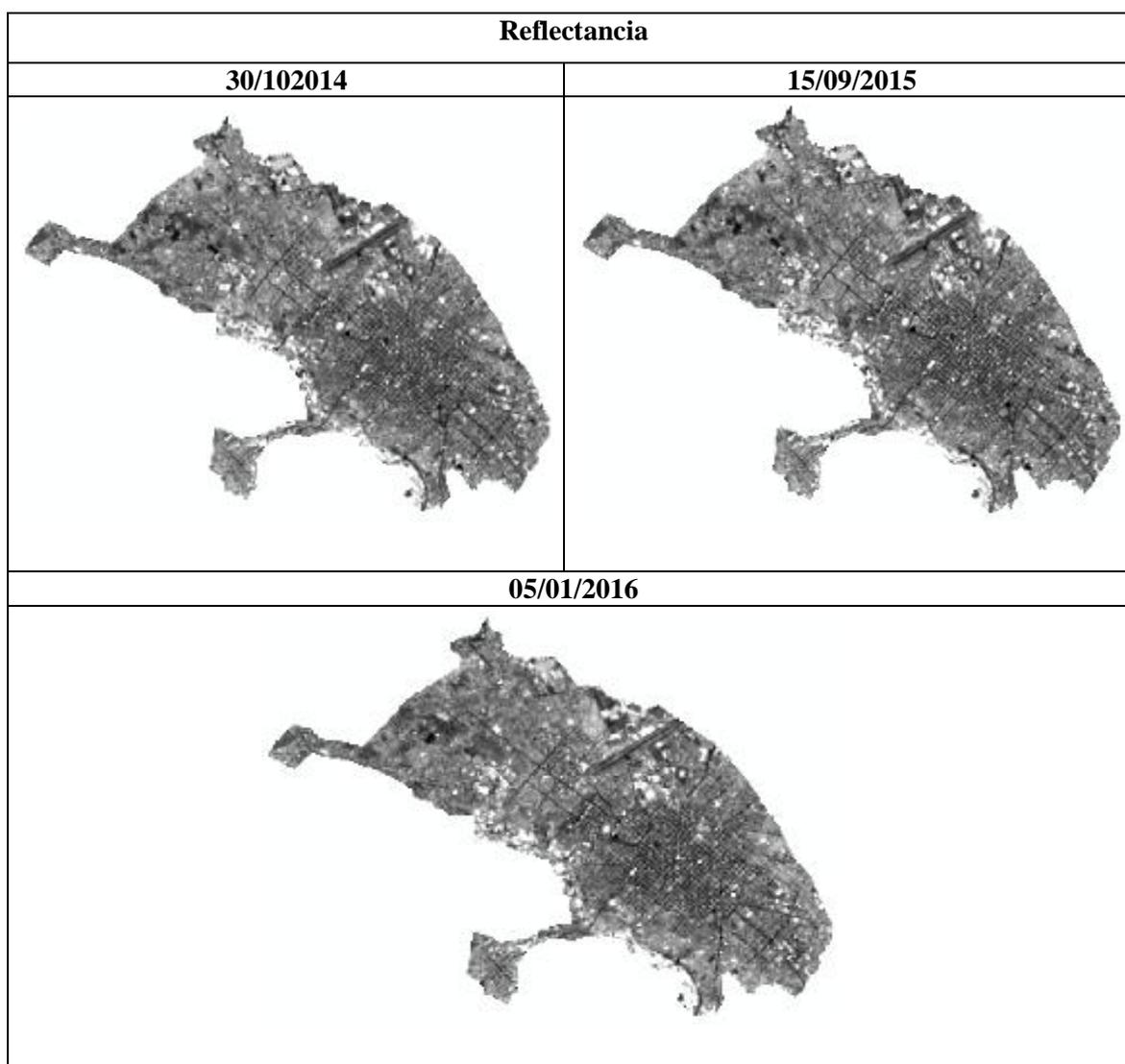


Figura 20. Bandas 5 corregidas con relación a la reflectancia.

b. Sun elevación

Se aplicó los valores de la calculadora de la trama para ambos valores RED y NIR de reflectancia de la banda (4 y 5 bandas).

Fórmula:

$$\text{Band 4 corrected_reflectance} = (\text{"4th_rflctnce"}) / \text{Sin (Sun elevation)}$$

Tabla 6. Datos de la elevación del sol por año.

| AÑO | SUN ELEVATION |
|------------|---------------|
| 30/10/2014 | 64.09053478 |
| 15/09/2015 | 63.68953212 |
| 05/012016 | 55.23479130 |

Fuente: Metadatos Landsat 8

Elaborado por: Felipe Lema

1) Calculadora raster función para la reflectancia de la banda 4 con el ángulo del sol

Tabla 7. Fórmulas para el cálculo de la reflectancia de la banda 4 en función del ángulo del sol.

| Año | Fórmula |
|------------|--|
| 30/10/2014 | Sun elevación reflec-banda 4 = ("LC80100612015258LGN00_B4_clip_rbba_reflectacia.tif") / Sin (64.09053478) |
| 15/09/2015 | Sun elevación refle- banda 4 = ("LC80100612015258LGN00_B4_clip_rbba_reflectacia.tif") / Sin (63.68953212) |
| 05/012016 | Sun elevación refle-banda 4 = ("LC80100612015258LGN00_B4_clip_rbba_reflectacia.tif") / Sin (55.23479130) |

Elaborado por: Felipe Lema

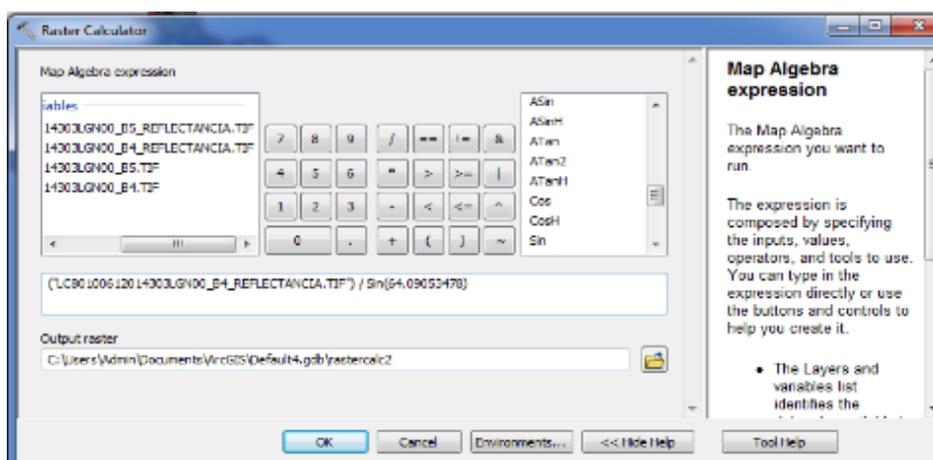


Figura 21. Raster calculator en función del ángulo del sol para la reflectancia de la banda 4.

Elaborado por: Felipe lema

2) Reflectancia de la banda 4 corregidas en función al ángulo del sol

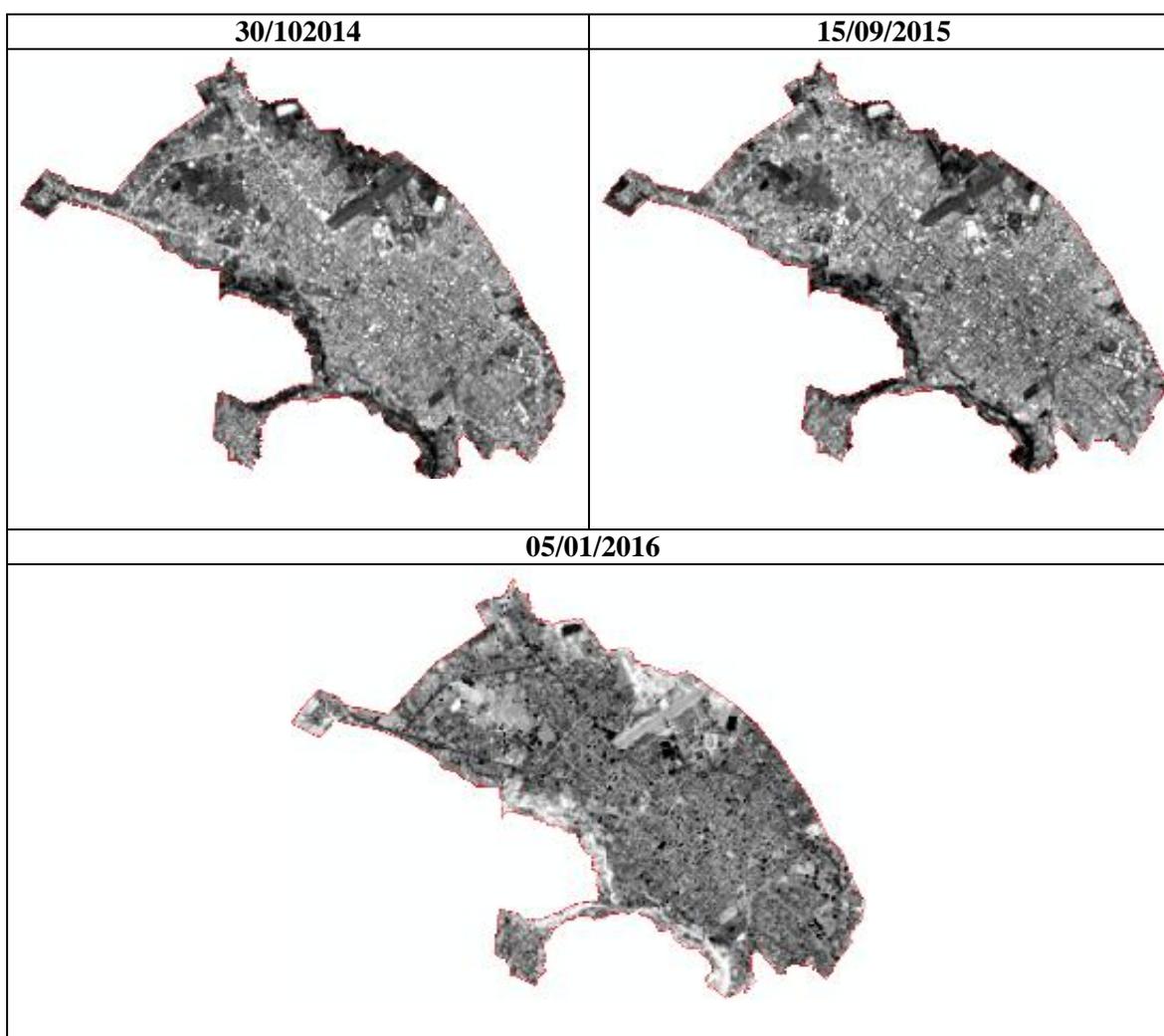


Figura 22. Bandas 4 corregidas con relación al ángulo del sol.

3) Calculadora raster función para la reflectancia de la banda 5 con el ángulo del sol

Tabla 8. Fórmulas para el cálculo de la reflectancia de la banda 5 en función del ángulo del sol.

| Año | Fórmula |
|------------|---|
| 30/10/2014 | Sun elevación reflec-banda 5 = ("LC80612015258LGN00_B5_Clip_rbba_reflectancia.tif") / Sin (64.09053478) |
| 15/09/2015 | Sun elevación reflec-banda 5 = ("LC80612015258LGN00_B5_Clip_rbba_reflectancia.tif") / Sin (63.68953212) |
| 05/012016 | Sun elevación reflec-banda 5 = ("LC801612015258LGN00_B5_Clip_rbba_reflectancia.tif") / Sin (55.23479130) |

Elaborado por: Felipe Lema

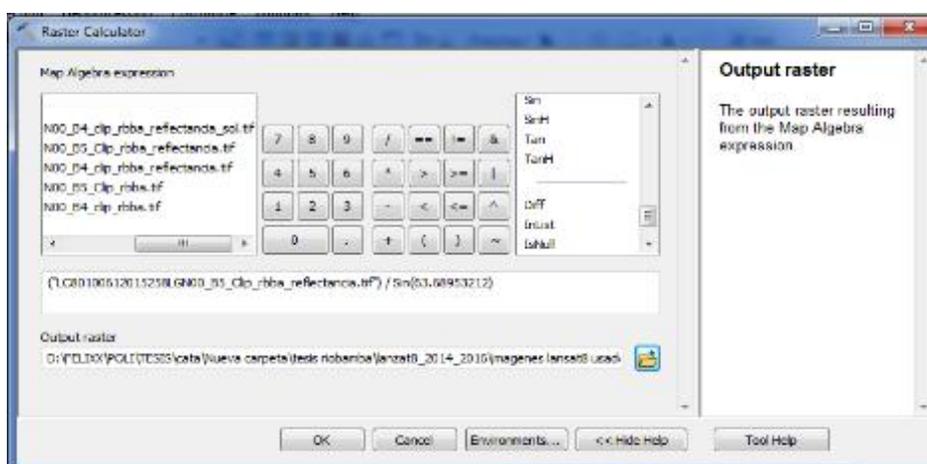


Figura 23. Raster calculator función del ángulo del sol de la reflectancia de la banda 5

Elaborado por: Felipe Lema

4) **Banda 5 corregida para las tres fechas**

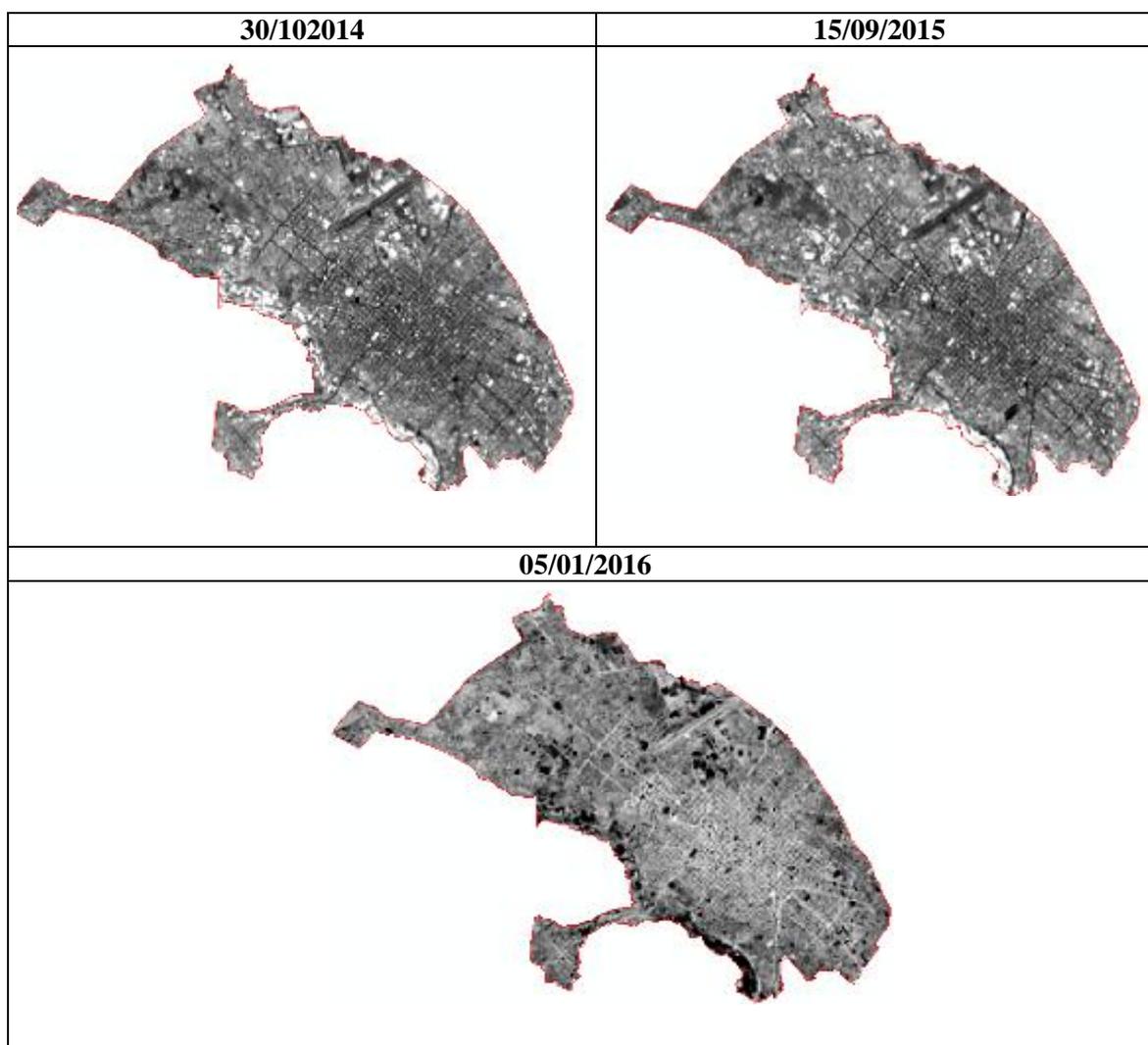


Figura 24. Bandas 5 corregidas con relación al ángulo del sol.

Elaborado por: Felipe Lema

4. **Obtención del NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada)**

El Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) es un índice que nos permite generar una imagen que muestra la biomasa relativa. La absorción de la clorofila en la banda roja y relativamente alta reflectancia de la vegetación en la banda de infrarrojo cercano (NIR) está utilizando para el cálculo del NDVI.

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.

El NDVI se prefiere para la vigilancia mundial de vegetación, ya que ayuda a compensar los cambios en las condiciones de iluminación, pendiente de la superficie, de aspecto y otros factores extraños (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).

Fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

Donde:

NDVI = Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

NIR= Banda Infrarroja cercana (Banda 5), transformada previamente a valores de reflectancia.

R= Banda Visible (rojo) (Banda 4), transformada previamente a valores de reflectancia.

NIR y R denotan la reflectividad del infrarrojo cercano (NIR) y rojo (R), respectivamente, de la imagen Landsat 8.

a. Calculadora raster función para calcular el NDVI

Fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{"LC80100612015258LGN00_B5_Clip_rbba_reflectancia_sol.tif"} - \text{"LC80100612015258LGN00_B4_clip_rbba_reflectancia_sol.tif"}) / (\text{"LC80100612015258LGN00_B5_Clip_rbba_reflectancia_sol.tif"} + \text{"LC80100612015258LGN00_B4_clip_rbba_reflectancia_sol.tif"})$$

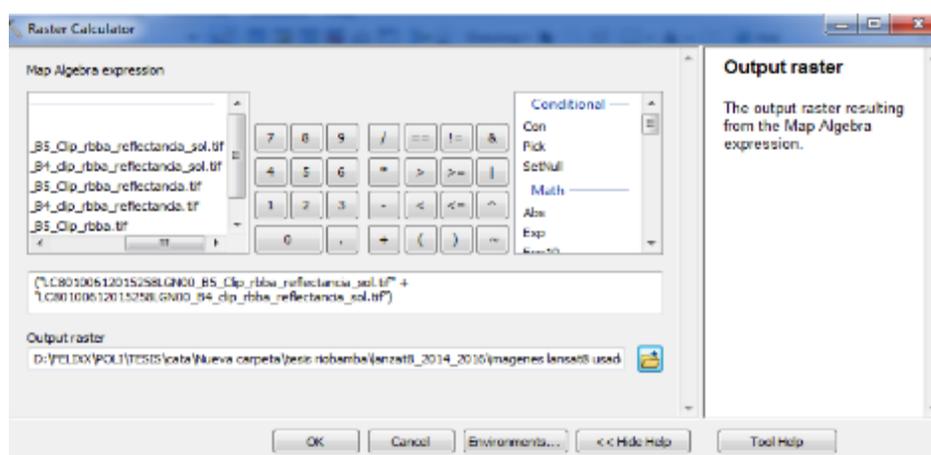


Figura 25. Raster calculator para el cálculo del NDVI

Elaborado por: Felipe Lema

b. Índice de vegetación de diferencia normalizada

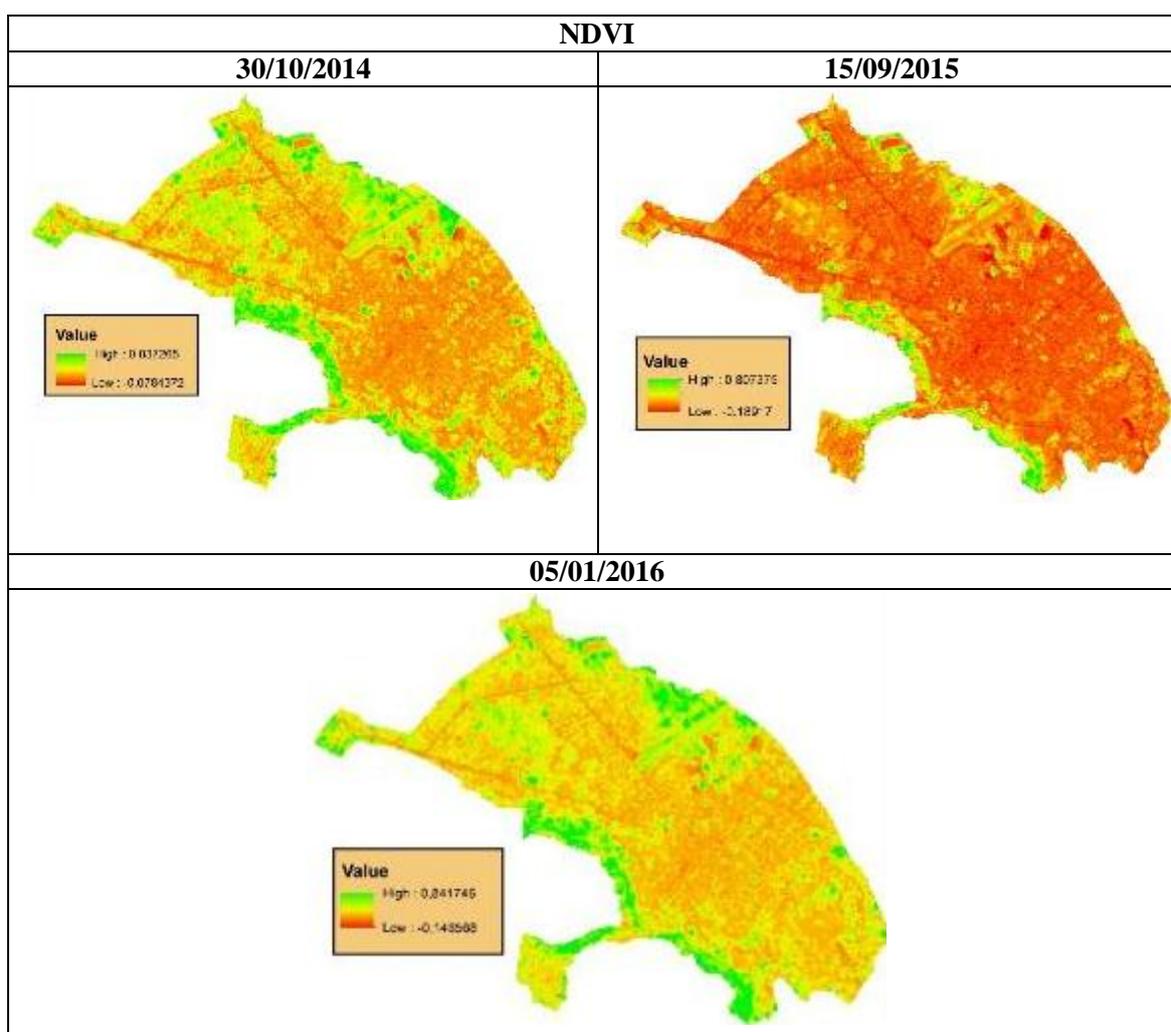


Figura 26. Índice de vegetación de diferencia normalizada

Elaborado por: Felipe lema

Este índice se calculó utilizando la longitud de onda roja (0,6 a 0,7 μm) y la cercana al infrarrojo (0,7 a 1,1 μm). La razón por la cual se utilizan estas dos longitudes de onda, es porque las plantas más sanas tienden a absorber gran cantidad de la onda roja y a reflejar la mayor parte de la onda cercana al infrarrojo. En la Figura 27 se puede apreciar un ejemplo de cómo se utiliza el NDVI para conocer el estado de vegetación. En la imagen, la planta sana a la izquierda absorbe mayor cantidad de luz visible (roja) y refleja mayor cantidad de luz en la banda cercana al infrarrojo, mientras que la de la izquierda, menos sana, absorbe menor cantidad de luz visible (roja) y refleja menor cantidad de luz cercana a la infrarroja. (National Aeronautics and Space Administration, 2010)

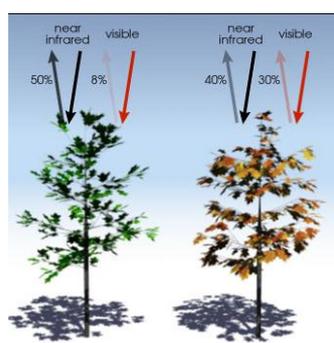


Figura 27. Absorción de la luz en la vegetación
Fuente: (National Aeronautics and Space Administration, 2010)

La ecuación que se utilizó para realizar el cálculo del NDVI arroja como resultado valores entre -1 y 1, los valores más cercanos a 1 indican vegetación sana, aquellos por encima de 0 representan tierra o vegetación con muy baja capacidad fotosintética y los valores por debajo de cero y muy cercanos a -1 representan cuerpos que no tenga la capacidad de reflejar la onda cercana al infrarrojo y al mismo tiempo absorber el la luz roja, lo que significa ausencia de vegetación.

c. Valores máximos y mínimos del NDVI

Tabla 9. Valores del NDVI máximos y mínimos

| Año | Máximo | Mínimo |
|------------|----------|------------|
| 30/10/2014 | 0,837265 | -0,0784372 |
| 15/09/2015 | 0,807375 | -0,18917 |
| 05/01/2016 | 0,841746 | -0,148568 |

Realizado por: Felipe Lema

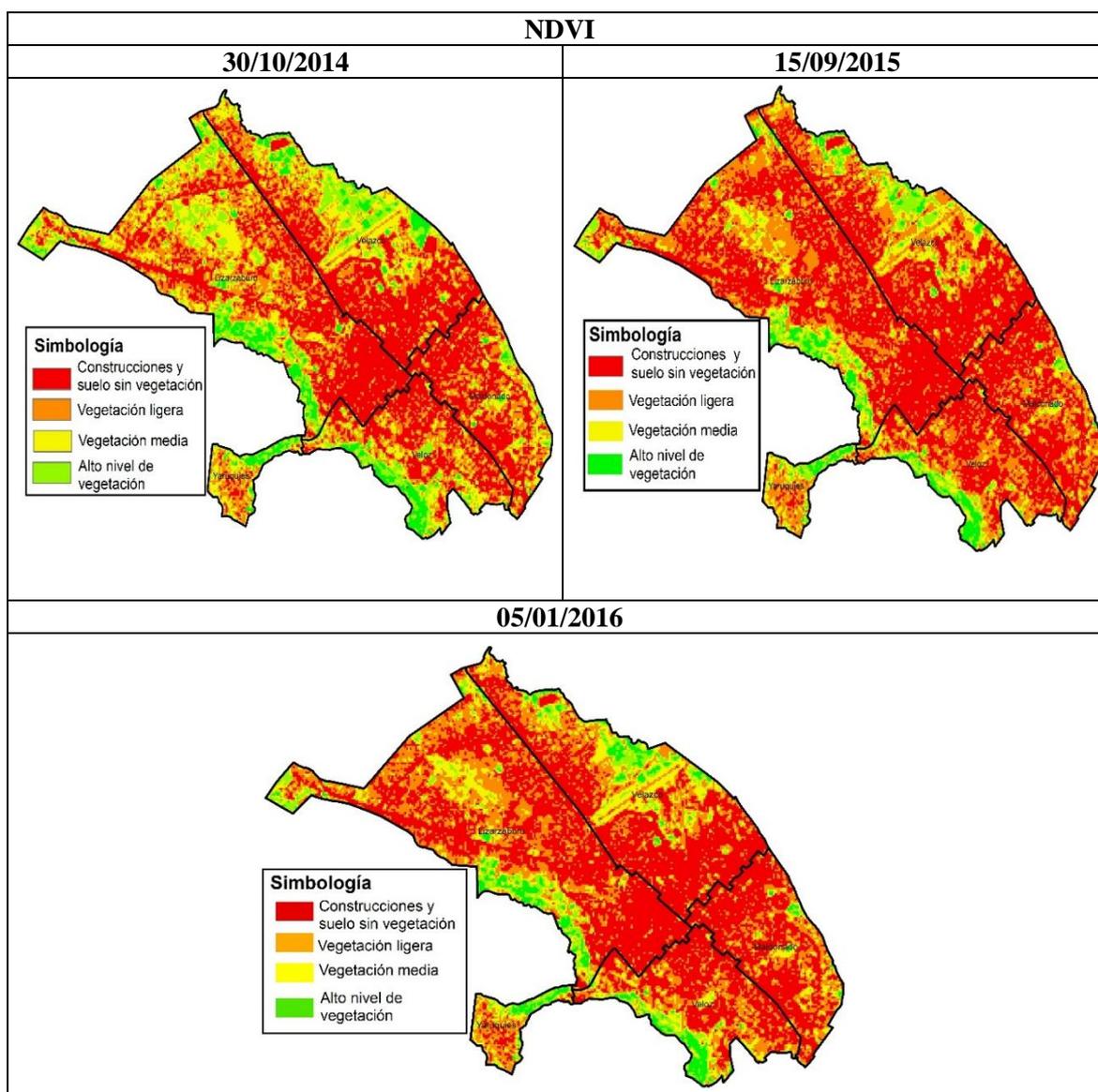
d. Valor del NDVI por parroquias de la ciudad de Riobamba

Tabla 10. Valores del NDVI por parroquias de la ciudad de Riobamba

| NDVI | Parroquia | Mínimo | Máximo |
|------------|-------------|--------------|-----------|
| 30/10/2014 | Lizarzaburu | -0,0784372 | 0,837265 |
| | Velasco | -0,0466949 | 0,815405 |
| | Velóz | -0,0300566 | 0,818212 |
| | Maldonado | -0,0251201 | 0,0776336 |
| | Yaruquíes | -0,0625228 | 0,786554 |
| 15/09/2015 | Lizarzaburu | -0,8917 | 0,788343 |
| | Velasco | -0,0451868 | 0,741514 |
| | Velóz | -0,0182715 | 0,807375 |
| | Maldonado | -0,0400534 | 0,688862 |
| | Yaruquíes | -0,0366708 | 0,726795 |
| 05/01/2016 | Lizarzaburu | -0,0679423 | 0,834595 |
| | Velasco | -0,145868 | 0,841746 |
| | Velóz | -0,000391632 | 0,836651 |
| | Maldonado | -0,110208 | 0,785615 |
| | Yaruquíes | 0,0369016 | 0,792403 |

Elaborado por: Felipe Lema

e. Normalizado índice de vegetación diferencial en polígono



Mapa 28. Normalizado índice de vegetación diferencial en polígono

Realizado por: Felipe Lema

Mediante el análisis de las variables del NDVI de los 3 años se puede determinar que para el 30/10/2014 la vegetación estuvo más sana o madura, 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 Velasco.

f. Valores del NDVI por hectáreas de la ciudad de Riobamba

Tabla 11. Valores del NDVI por hectáreas de la ciudad de Riobamba

| NDVI | 30/10/2014 (ha) | 15/09/2015 (ha) | 05/01/2016(ha) |
|--|-----------------|-----------------|----------------|
| Construcciones y suelo sin vegetación | 1381,69 | 1686,26 | 1382,31 |
| Vegetación ligera | 760,48 | 748,44 | 865,94 |
| Vegetación media | 493,05 | 254,58 | 400,64 |
| Alto nivel de vegetación | 158,48 | 102,16 | 142,84 |

Elaborado por: Felipe Lema

g. Valores por hectáreas del NDVI por parroquias de la ciudad de Riobamba de los años

Tabla 12. Valores por hectáreas del NDVI por parroquias de la ciudad de Riobamba

| NDVI | Parroquia | Construcciones y suelo sin vegetación (ha) | Vegetación ligera (ha) | Vegetación media (ha) | Alto nivel de vegetación (ha) |
|------------|-------------|--|------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 30/10/2014 | Lizarzaburu | 471,94 | 327,96 | 247,98 | 63,71 |
| | Velasco | 398,53 | 193,01 | 125,04 | 37,72 |
| | Velóz | 220,79 | 105,04 | 64,76 | 36,35 |
| | Maldonado | 245,22 | 102,19 | 42,83 | 8,47 |
| | Yaruquíes | 45,22 | 32,27 | 12,44 | 12,23 |
| 15/09/2015 | Lizarzaburu | 681,92 | 305,93 | 88,04 | 35,25 |
| | Velasco | 437,88 | 204,00 | 82,55 | 30,02 |
| | Velóz | 282,65 | 85,65 | 37,96 | 20,79 |
| | Maldonado | 234,22 | 124,85 | 32,48 | 6,79 |
| | Yaruquíes | 49,58 | 28,00 | 13,55 | 9,31 |
| 05/01/2016 | Lizarzaburu | 533,60 | 386,55 | 135,14 | 56,14 |
| | Velasco | 365,56 | 215,17 | 131,99 | 41,28 |
| | Velóz | 232,81 | 114,94 | 50,49 | 28,71 |
| | Maldonado | 203,04 | 121,20 | 67,23 | 7,33 |
| | Yaruquíes | 47,30 | 28,09 | 15,77 | 9,38 |

Elaborado por: Felipe Lema

- h. Representación en diagrama de barras la variación de los diferentes indicadores en los tres fechas correspondientes

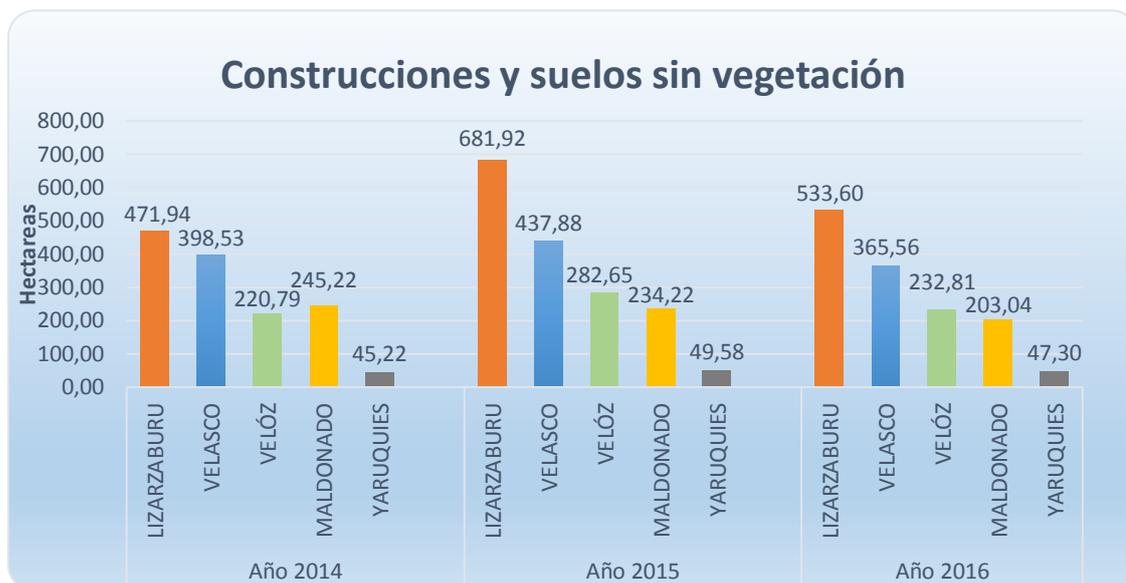


Figura 29. Construcciones y suelos sin vegetación por parroquias
Elaborado por: Felipe Lema

De acuerdo al análisis de la figura se puede deducir que el 15/09/2015 fue el año donde hubo mayor incremento a lo que corresponde suelo desnudo y construcciones, siendo el suelo desnudo lo de mayor variación, siendo la parroquia Lizarzaburu las más representativa con una extensión de 681,92 ha aproximadamente que es superior al del 30/10/2014 que tiene 471,94 ha y del 05/01/2016 que fue de 533,60 ha.

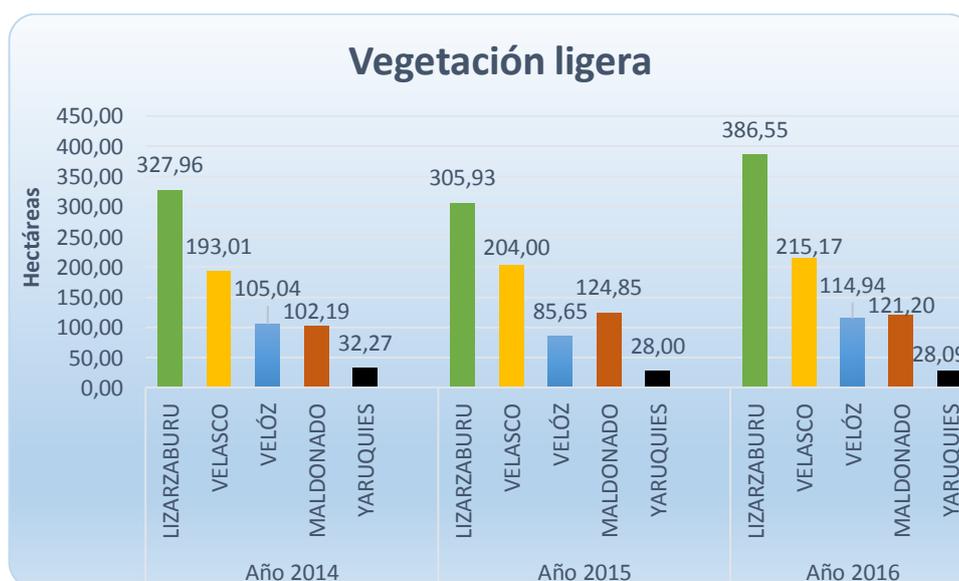


Figura 30: Vegetación ligera por parroquias
Elaborado por: Felipe Lema

A lo que corresponde a vegetación ligera se pudo determinar que el 05/01/2016 fue el año que tuvo mayor vegetación ligera siendo más preponderante en las parroquias Lizarzaburu, Velóz y Maldonado teniendo una extensión en total con las demás parroquias de 865,94 ha aproximadamente, que es muy superior al 30/10/2014 que fue de 760,48 ha y del 15/09/2015 que es de 748,44 ha.



Figura 31. Vegetación media por parroquias

Elaborado por: Felipe Lema

A lo que corresponde a vegetación media el año más representativo fue el 30/10/2014 con una extensión de 429,05 ha aproximadamente siendo Lizarzaburu la parroquia más significativa con una extensión de 247,98 ha, y a lo que se refiere al 15/09/2015 se tuvo una extensión de 254,58 ha y 400,64 ha a lo que corresponde al 05/01/2016.

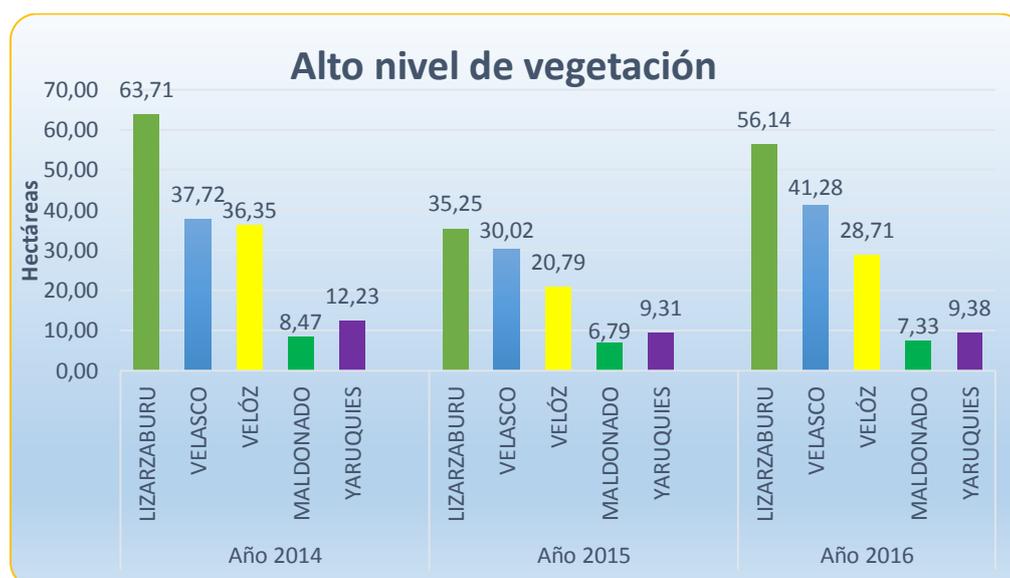


Figura 32. Alto nivel de vegetación por parroquias

Elaborado por: Felipe Lema

A lo que corresponde a este indicador las parroquias más representativas son, para 30/10/2014 Lizarzaburu con una extensión de 63,71 ha aproximadamente, Velasco con 37,72 ha, y a lo que corresponde al 05/01/2016 la parroquia más representativa es Lizarzaburu que tiene una extensión de 56,14 ha, y 41,28 ha en la parroquia Velasco.

5. NDSI (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)

Son operaciones que se realizan entre bandas, dividiendo los valores digitales de una banda por los correspondientes en otra banda espectral y que permiten discriminar de mejor manera el tipo de suelo para enfatizar distintas cubiertas, especialmente en trabajos de exploración minera. 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 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 SWIR) 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 realizarán áreas en proceso de erosión, la misma se deriva del siguiente algoritmo (Verduga, 2002).

Fórmula:

$$\text{NSI} = (\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR})$$

Donde:

NDSI = Índice de suelo de diferencia normalizado

SWIR = Infrarrojo de onda corta (Banda 6)

NIR = Infrarrojo cercano (Banda 5)

a. Calculadora raster función para el cálculo del NDSI

Formula:

$$\text{NSI} = \text{"LC80100612015258LGN00_B6_clip_rbba.tif"} - \text{"LC80100612015258LGN00_B5_Clip_rbba.tif"} / \text{"LC80100612015258LGN00_B6_clip_rbba.tif"} + \text{"LC80100612015258LGN00_B5_Clip_rbba.tif"}$$

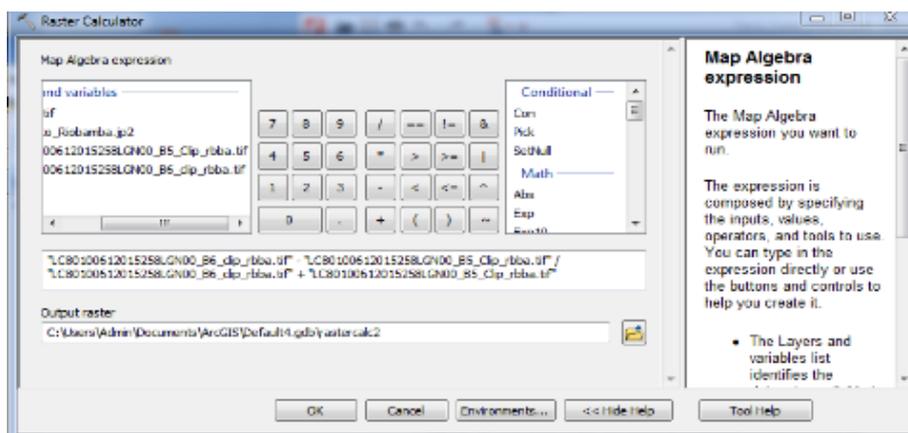


Figura 33. Raster calculator para el cálculo del NDSI

Elaborado por: Felipe Lema

b. Índice de diferencia normalizada de suelo

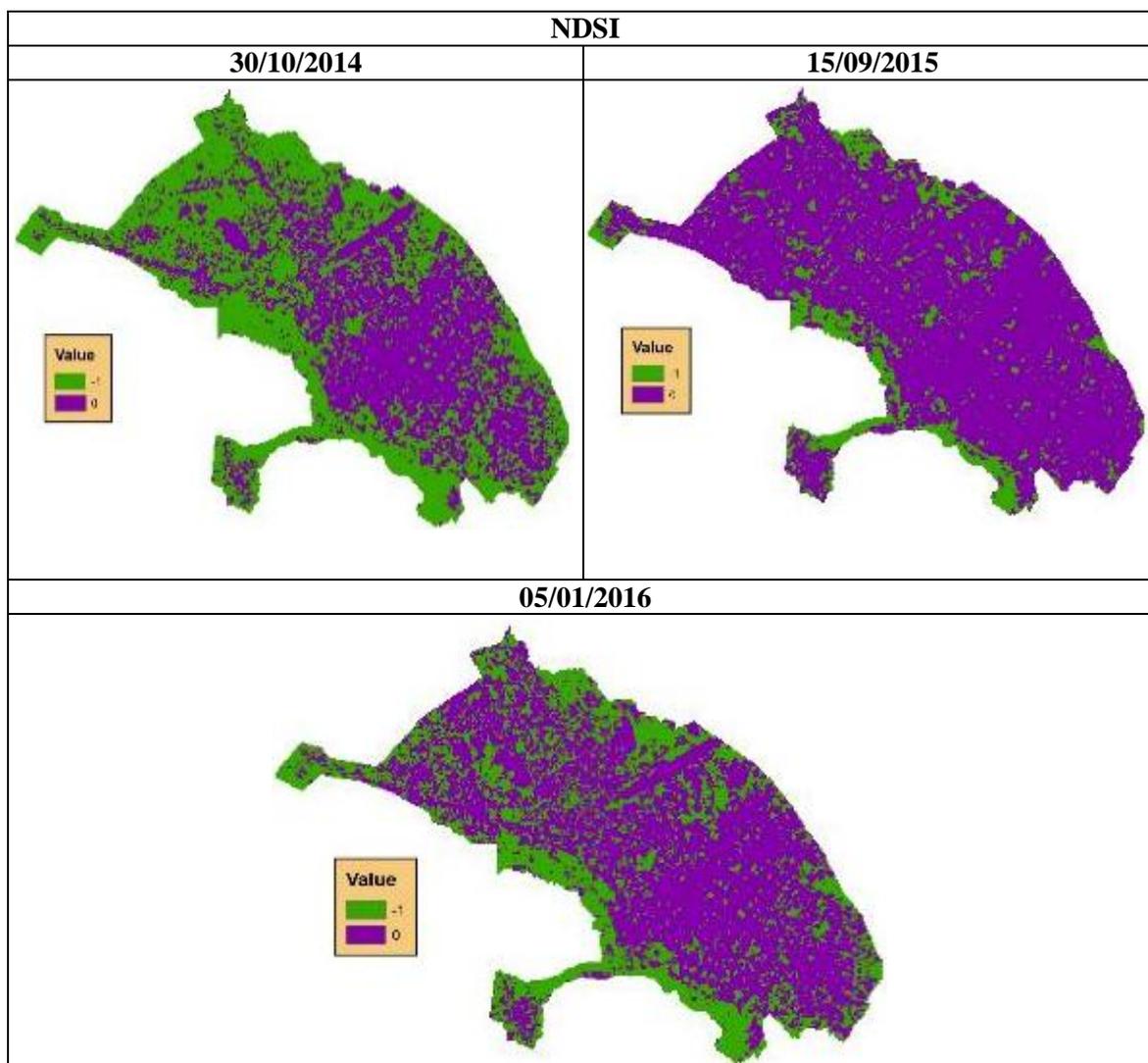


Figura 34. Índice de diferencia normalizada de suelo

Elaborado por: Felipe Lema

c. Valores máximos y mínimos del NDSI

Tabla 13. Valores máximos y mínimos del NDSI

| AÑO | MAX | MIN |
|------------|-----|-----|
| 30/10/2014 | -1 | 0 |
| 15/09/2015 | -1 | 0 |
| 05/01/2016 | -1 | 0 |

Elaborado por: Felipe Lema

d. Índice de diferencia normalizada de suelo en polígono

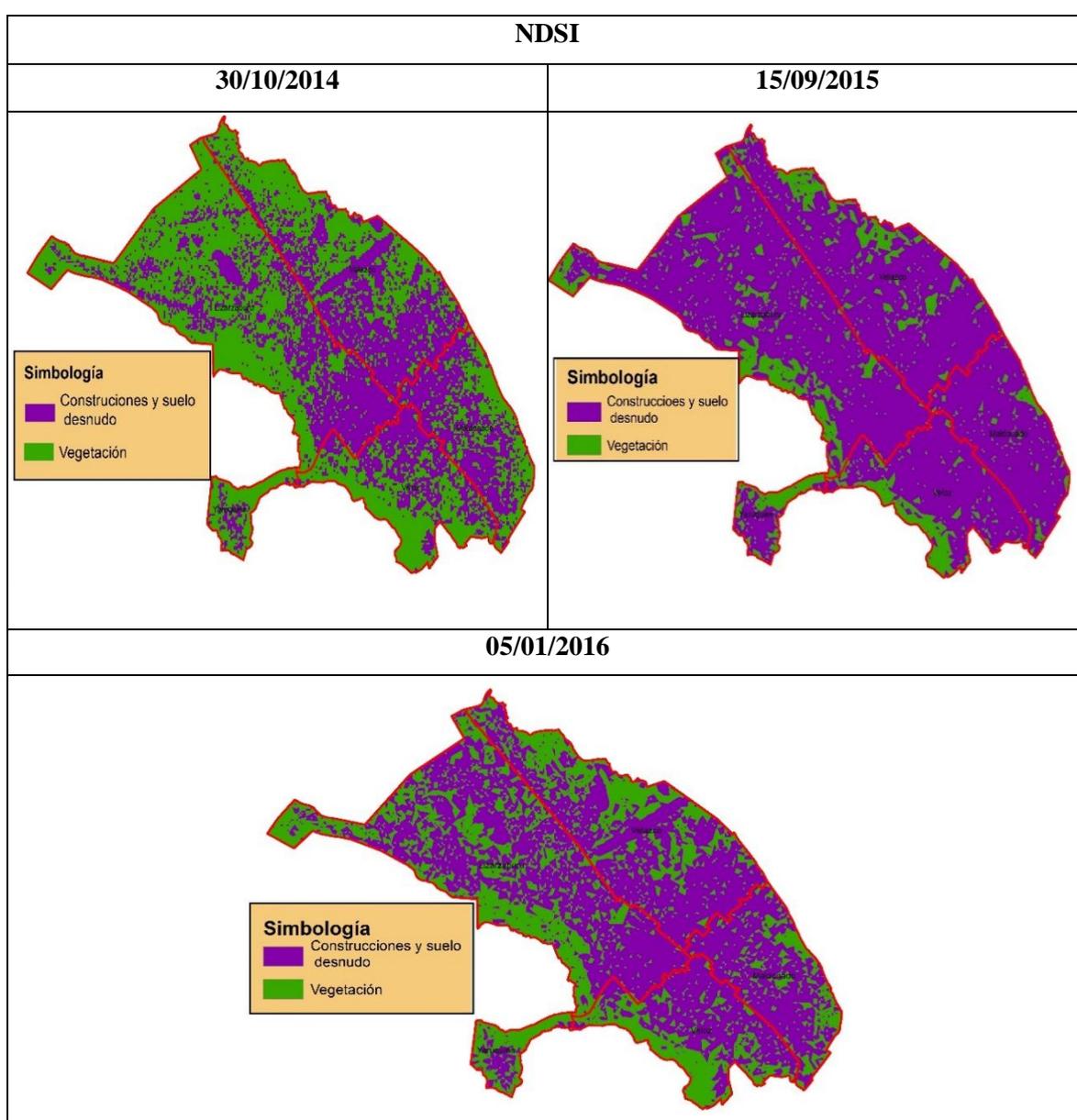


Figura 35. Índice de diferencia normalizada de suelo en polígono

Elaborado por: Felipe Lema

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 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.

e. Valores del NDSI por hectáreas

Tabla 14. Valores del NDSI por hectáreas de la ciudad de Riobamba

| NDSI | 30/10/2014 (ha) | 15/09/2015 (ha) | 05/01/2016 (ha) |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Vegetación | 1559,91 | 464,34 | 1038,82 |
| Suelo desnudo y construcciones | 1232,89 | 2328,64 | 1757,02 |

Elaborado por: Felipe Lema

f. Valores por hectáreas del NDSI por parroquias de la ciudad de Riobamba

Tabla 15. Valores por hectáreas del NDSI por parroquias de la ciudad de Riobamba

| NSID | Parroquia | Suelo desnudo y construcciones (ha) | Vegetación (ha) |
|-------------|------------------|--|------------------------|
| 30/10/2014 | Lizarzaburu | 409,41 | 702,45 |
| | Velasco | 385,02 | 369,15 |
| | Velóz | 182,39 | 245,05 |
| | Maldonado | 233,29 | 165,21 |
| | Yaruquíes | 22,79 | 78,06 |
| 15/09/2015 | Lizarzaburu | 925,77 | 185,66 |
| | Velasco | 637,17 | 117,41 |
| | Velóz | 340,91 | 86,70 |
| | Maldonado | 369,11 | 29,74 |
| | Yaruquíes | 55,68 | 44,83 |
| 05/01/2016 | Lizarzaburu | 185,66 | 435,26 |
| | Velasco | 117,41 | 257,73 |
| | Velóz | 86,70 | 175,72 |
| | Maldonado | 29,74 | 102,19 |
| | Yaruquíes | 44,83 | 68,17 |

Elaborado por: Felipe Lema

- g. **Representación en diagrama de barras la variación de los diferentes indicadores en las tres fechas correspondientes**



Figura 36. Suelo desnudo y construcciones por parroquias.

Elaborado por: Felipe Lema

Con el análisis de la figura de acuerdo al índice de suelo se pudo determinar que el 15/09/2015 tiene 2328,64 ha aproximadamente que corresponden a suelo desnudo y construcciones, siendo el suelo desnudo el que mayor variación tiene ya que las construcciones no tienden a aumentar a gran magnitud, 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 que es de 676,22 ha, esta variación existente entre los diversos años se debe a factores tanto antrópicos y naturales.

6. 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)

Fórmula:

$$SAVI = [(NIR - R) / (NIR + R + L)] (1 + L)$$

NIR = Infrarrojo cercano (Banda 5)

R= Banda Visible (rojo) (Banda 4),

Siendo L un coeficiente de ajuste de la vegetación, equivalente a 1, recomendado para densidades bajas de vegetación.

L= 1 (para bajas densidades de vegetación)

L= 0,5 (para medias densidades de vegetación)

L= 0,25 (para altas densidades de vegetación) (Chuvieco, 2010).

a. Calculadora raster función para el cálculo del SAVI

Fórmula:

$$NSI = \frac{("LC80100612016005LGN00_B5_REFLECTANCIA_SOL.TIF" - "LC80100612016005LGN00_B4_REFLECTANCIA_SOL.TIF")}{("LC80100612016005LGN00_B5_REFLECTANCIA_SOL.TIF" + "LC80100612016005LGN00_B4_REFLECTANCIA_SOL.TIF" + 1) * (1 + 1)}$$

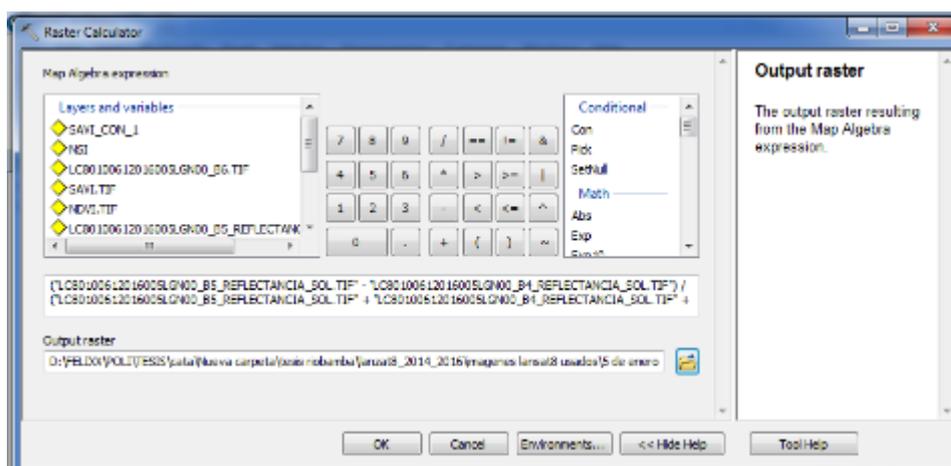


Figura 37. Raster calculator para el cálculo del SAVI.

Elaborado por: Felipe Lema

b. Índice de vegetación ajustado al suelo

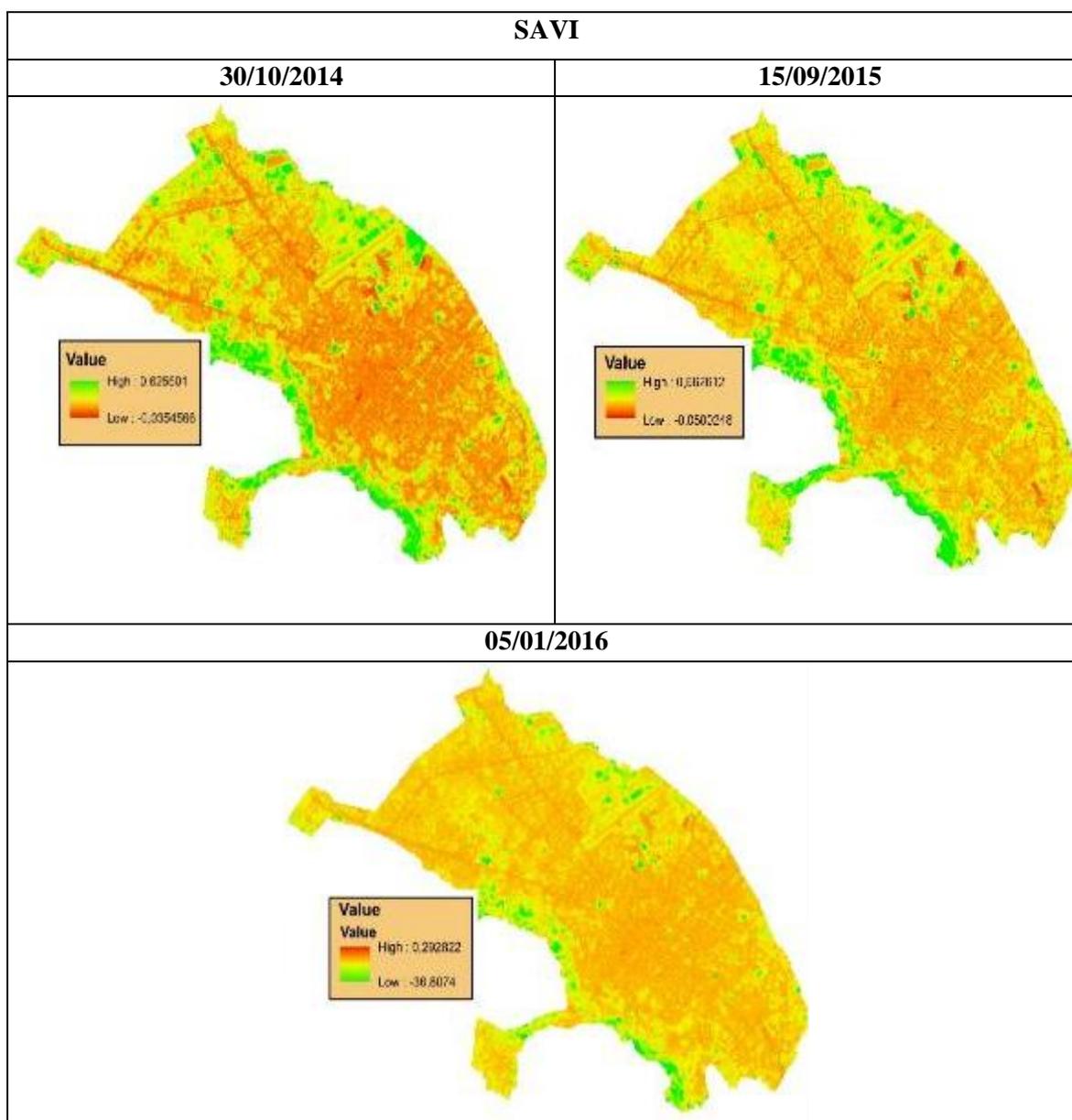


Figura 38. Índice de vegetación ajustado al suelo

Elaborado por: Felipe Lema

c. Valores máximos y mínimos del SAVI por año

Tabla 16. Valores máximos y mínimos del SAVI

| AÑO | Máximo | Mínimo |
|------|----------|------------|
| 2014 | 0,625501 | -0,0354566 |
| 2015 | 0,662612 | -0,0502248 |
| 2016 | 0,292822 | -36,8074 |

Elaborado por: Felipe Lema

d. Índice de vegetación ajustado al suelo en polígono

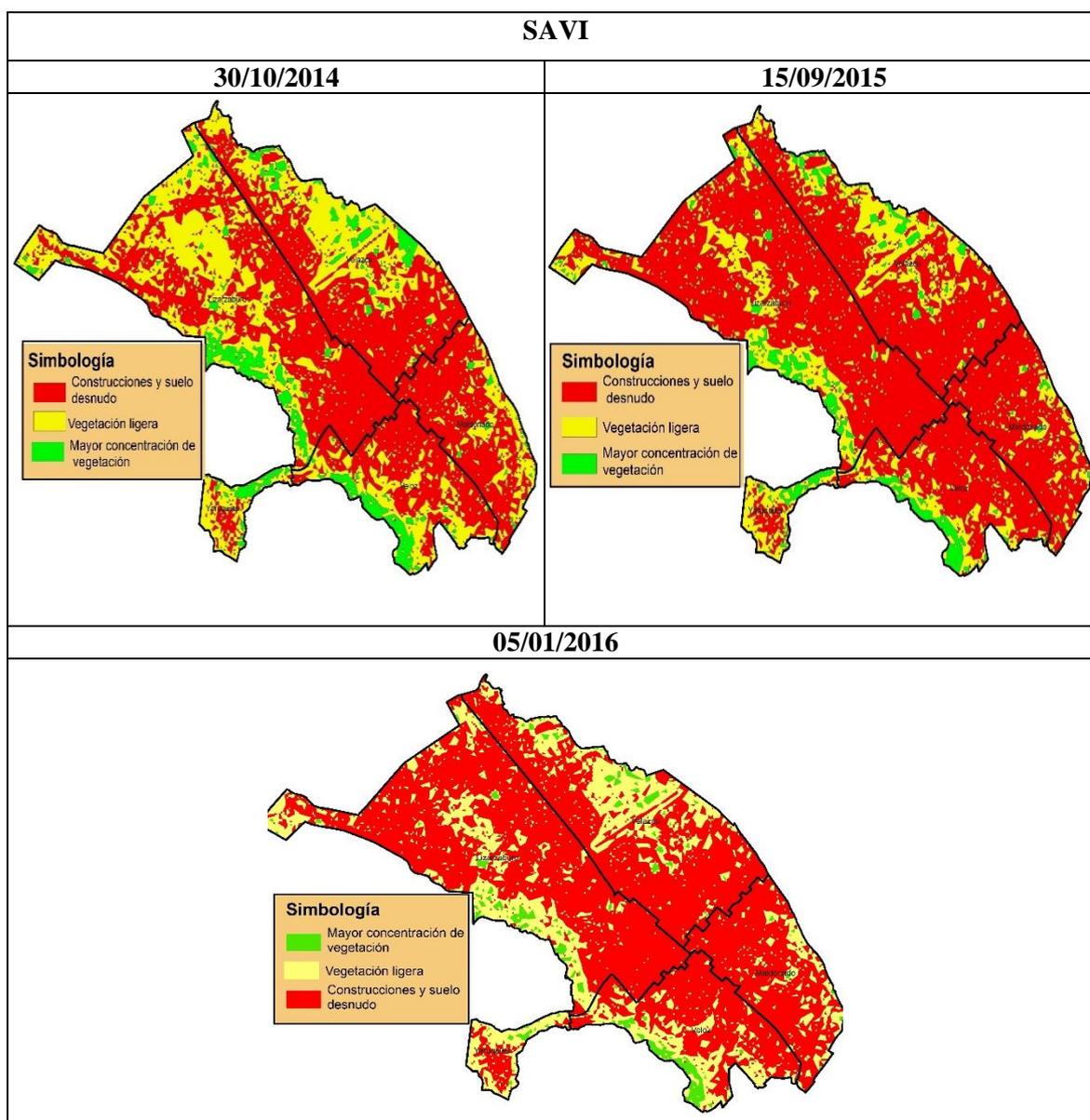


Figura 39. Índice de vegetación ajustado al suelo en polígono

Elaborado por: Felipe Lema

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, Velóz y Yaruquies, 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.

e. Valores del SAVI por hectáreas de la ciudad de Riobamba

Tabla 17. Valores del SAVI por hectáreas

| SAVI | 30/10/2014 (ha) | 15/09/2015 (ha) | 05/01/2016 (ha) |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| Suelo desnudo y construcciones | 1600,06 | 2010,77 | 1978,68 |
| Vegetación ligera | 1015,83 | 647,36 | 729,97 |
| Mayor concentración de vegetación | 176,92 | 134,36 | 84,42 |

Elaborado por: Felipe Lema

f. Valores del SAVI por hectáreas de cada parroquia urbana de la ciudad de Riobamba

Tabla 18. Valores por hectáreas del SAVI por parroquias de la ciudad de Riobamba

| SAVI | Parroquia | Suelo desnudo y construcciones (ha) | Vegetación ligera (ha) | Mayor concentración de vegetación (ha) |
|------------|-------------|-------------------------------------|------------------------|--|
| 30/10/2014 | Lizarzaburu | 575,59 | 472,54 | 63,57 |
| | Velasco | 415,37 | 286,60 | 52,76 |
| | Velóz | 273,22 | 112,29 | 41,54 |
| | Maldonado | 284,37 | 106,20 | 8,19 |
| | Yaruquíes | 51,51 | 38,21 | 10,86 |
| 15/09/2015 | Lizarzaburu | 830,46 | 230,80 | 50,19 |
| | Velasco | 518,68 | 193,37 | 42,47 |
| | Velóz | 328,40 | 72,03 | 26,94 |
| | Maldonado | 263,22 | 126,54 | 8,95 |
| | Yaruquíes | 70,01 | 24,62 | 5,82 |
| 05/01/2016 | Lizarzaburu | 823,31 | 256,71 | 31,49 |
| | Velasco | 454,30 | 270,00 | 30,14 |
| | Velóz | 333,82 | 76,31 | 17,46 |
| | Maldonado | 292,79 | 102,65 | 3,32 |
| | Yaruquíes | 74,46 | 24,31 | 2,00 |

Elaborado por: Felipe Lema

- g. Representación en diagrama de barras de la variación de los diferentes indicadores en las tres fechas correspondientes

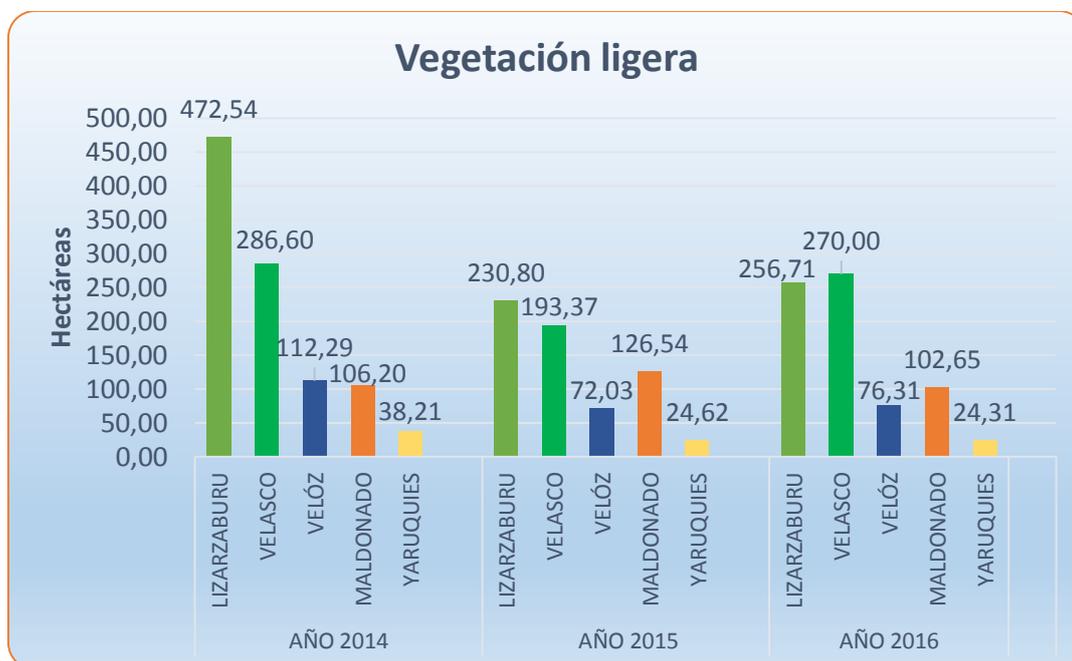


Figura 40. Vegetación ligera por parroquias.

Elaborado por: Felipe Lema

De acuerdo al índice de vegetación ajustada al suelo se pudo determinar que para 30/10/2014 se tiene 1015,83 ha aproximadamente, para el 15/09/2015 posee 647,36 ha y para el 05/01/2016 tiene 729,97 ha correspondientes a vegetación ligera, siendo la parroquia Lizarzaburu del 2014 la más representativa con 472,54 ha, estas variaciones de las coberturas vegetales en la superficie terrestre se deben principalmente a variaciones climáticas como la precipitación ya que el año 2014 fue el año donde hubo mayores precipitaciones y el año 2015 fue uno de los años más secos con lo cual afecta de manera directa a la vegetación presente en Enero del año 2016.

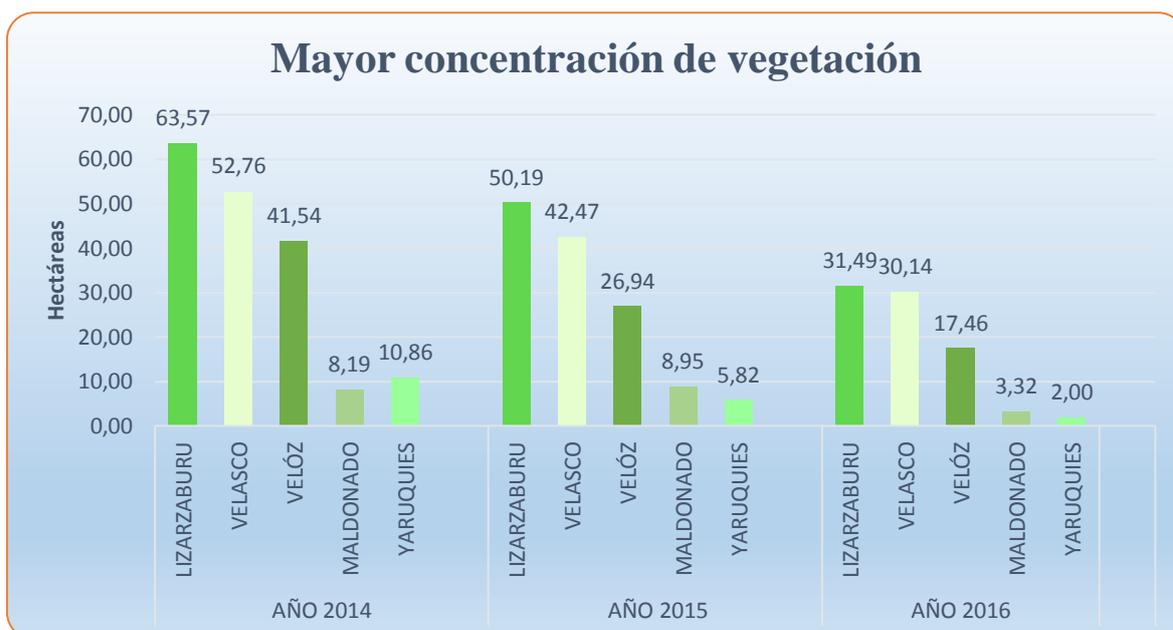


Figura 41. Mayor concentración vegetación por parroquias

Elaborado por: Felipe Lema

Este indicador corresponde a la vegetación sana y a los lugares donde existe mayor concentración de vegetación, para lo cual se puede apreciar en la figura que Lizarzaburu y Velóz son las parroquias con mayor concentración de vegetación, a más de factores climáticos y antrópicos se debe a su ubicación geográfica ya que se encuentran a lado del río Chibunga que es un factor que modifica la vegetación de un lugar.

7. NDWI (Índices de agua de diferencia normalizada)

Son cocientes para determinar o resaltar agua. Se utiliza como medida para estimar la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo.

Tiene uso extendido en ciencias ambientales e hídricas, ya que brinda información relevante para utilizar en modelos de balance hídrico, predicción climática entre otros.

Fórmula:

$$\text{NDWI} = (\text{NIR} - \text{SWIR2}) / (\text{NIR} + \text{SWIR2})$$

Donde:

NDWI = Índice de agua de diferencia normalizada

NIR = Infrarrojo cercano (Banda 5)

SWIR2 = Infrarrojo de onda corta 2 (Banda 7)

a. Calculadora raster función para el cálculo del NDWI

Fórmula:

$$\text{NDWI} = \frac{\text{"LC80100612014303LGN00_B5_REFLECTANCIA_SOL.TIF"} - \text{"B7.TIF"}}{\text{"LC80100612014303LGN00_B5_REFLECTANCIA_SOL.TIF"} + \text{"B7.TIF"}}$$

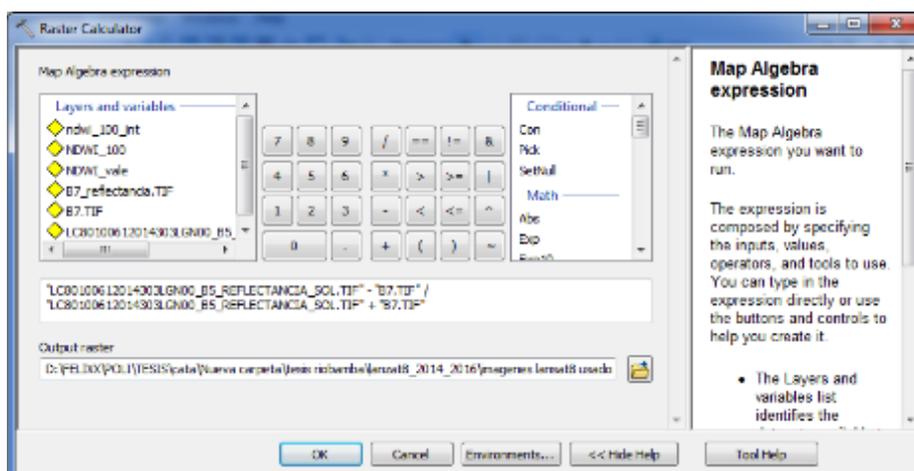


Figura 42. Raster calculador para el cálculo del NDWI.

Elaborado por: Felipe Lema.

b. Índices de agua de diferencia normalizada

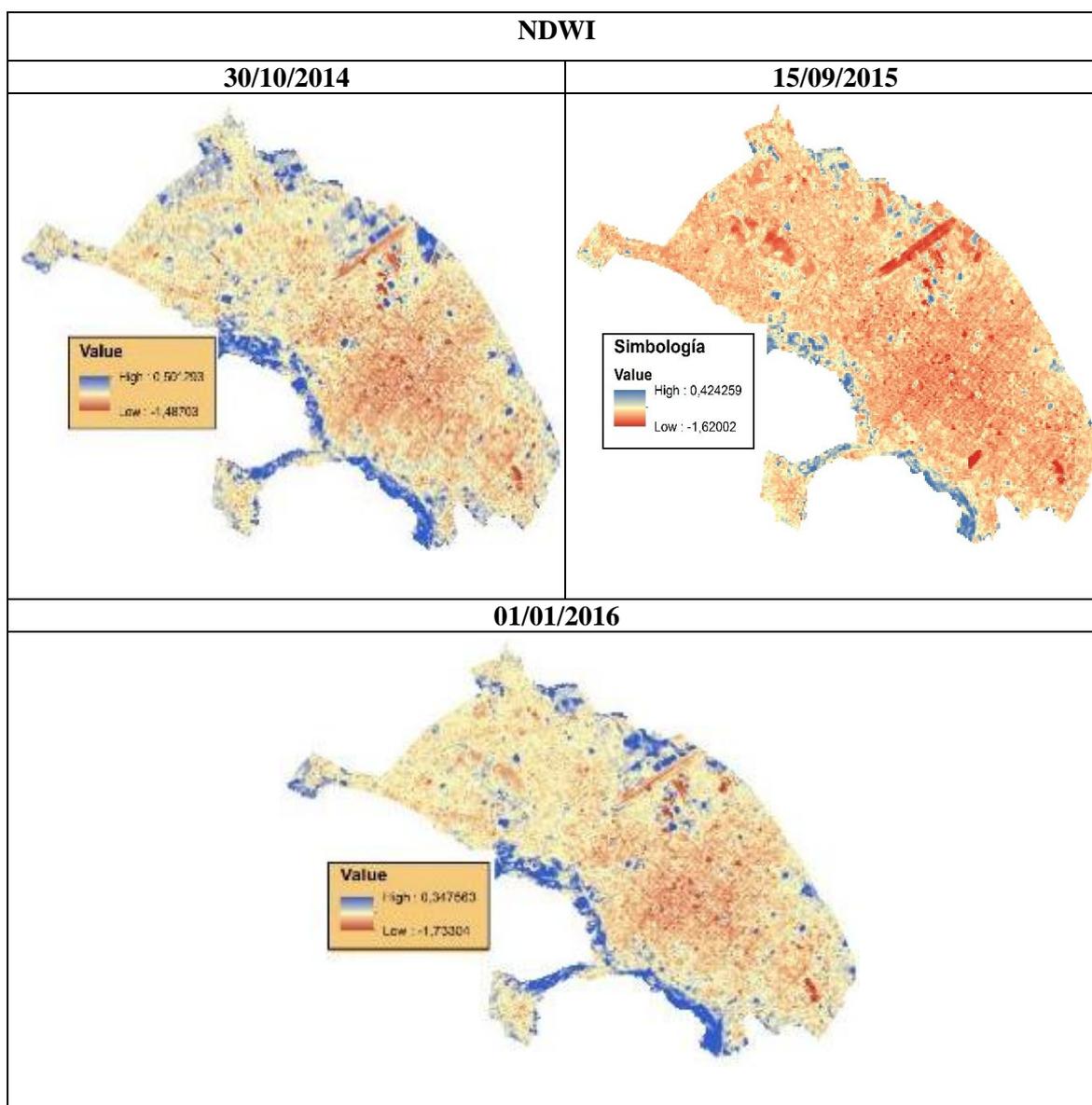


Figura 43. Índice de agua de diferencia normalizada

Elaborado por: Felipe Lema

c. Valores máximos y mínimos del NDWI por año

Tabla 19. Valores máximos y mínimos del DNWI

| Año | Máximo | Mínimo |
|------------|----------|----------|
| 30/10/2014 | 0,501293 | -1,48703 |
| 15/09/2015 | 0,501293 | -1,48703 |
| 05/01/2016 | 0,347563 | -1,73304 |

Elaborado por: Felipe Lema

d. Índices de agua de diferencia normalizada a polígono

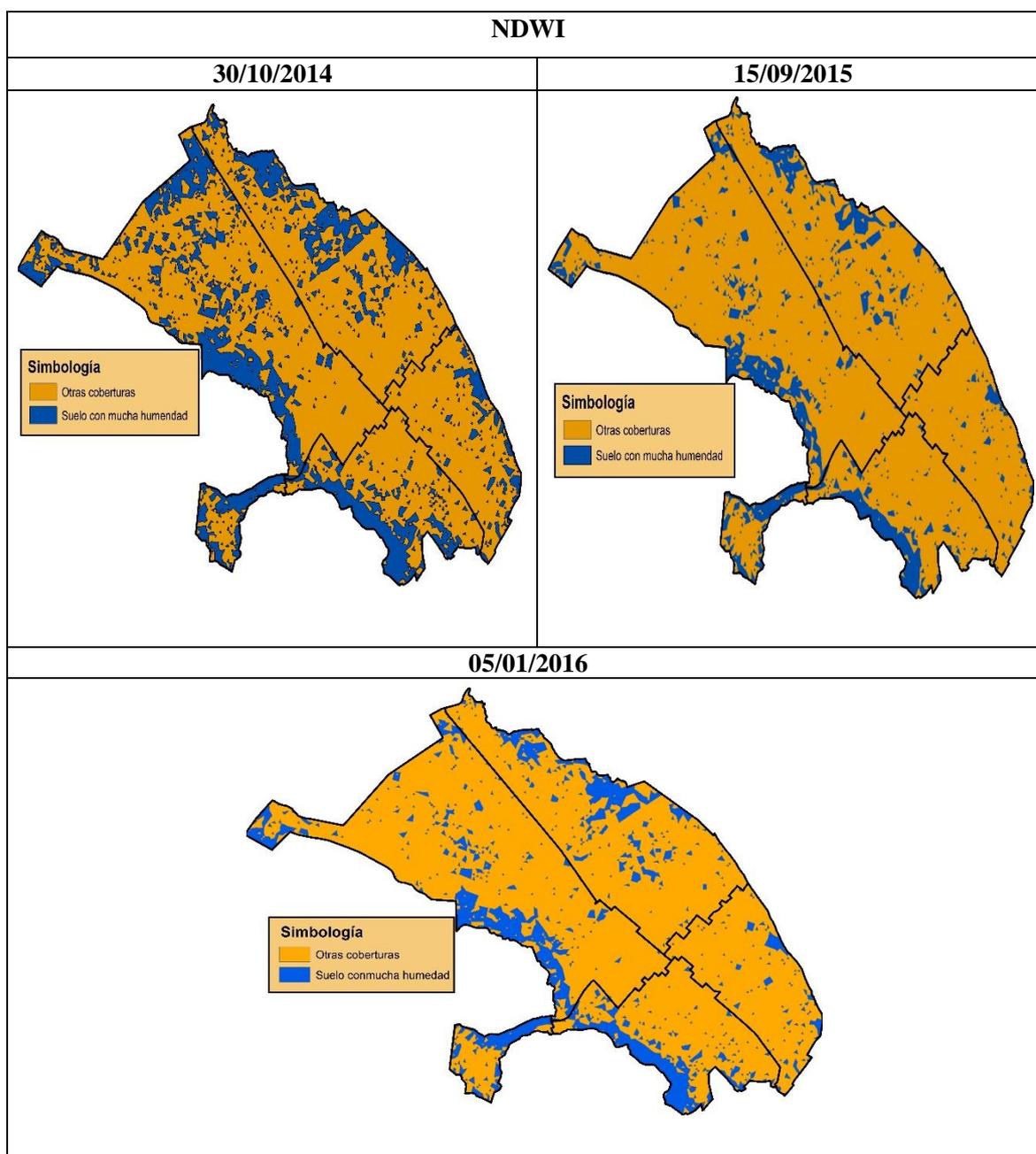


Figura 44. Índice de agua de diferencia normalizada en polígono.

Elaborado por: Felipe Lema

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 Yaruquies, 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.

e. NDWI por hectáreas de la ciudad de Riobamba

Tabla 20. Valores del NDWI por hectáreas de la ciudad de Riobamba

| NDWI | 30/10/2014 (ha) | 15/09/2015(ha) | 05/01/2016 (ha) |
|-------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Otras coberturas | 1981,39 | 2213,69 | 2231,04 |
| Suelo con humedad | 811,51 | 579,04 | 563,04 |

Elaborado por: Felipe Lema

f. Valores del NDWI por hectáreas por parroquia urbana de la ciudad de Riobamba

Tabla 21. Valores por hectáreas del NDWI por parroquias de la ciudad de Riobamba

| NDWI | Parroquia | Otras coberturas (ha) (suelo, construcciones etc.) | Suelo con humedad (ha) |
|------------|-------------|--|---------------------------|
| 30/10/2014 | Lizarzaburu | 768,28 | 343,06 |
| | Velasco | 555,45 | 199,09 |
| | Velóz | 323,45 | 104,27 |
| | Maldonado | 263,72 | 135,12 |
| | Yaruquíes | 70,48 | 29,97 |
| 15/09/2015 | Lizarzaburu | 980,38 | 131,81 |
| | Velasco | 559,71 | 194,19 |
| | Velóz | 369,67 | 58,29 |
| | Maldonado | 227,84 | 170,36 |
| | Yaruquíes | 76,09 | 24,39 |
| 05/01/2016 | Lizarzaburu | 960,10 | 151,49 |
| | Velasco | 609,64 | 145,27 |
| | Velóz | 355,47 | 72,37 |
| | Maldonado | 233,55 | 165,38 |
| | Yaruquíes | 72,28 | 28,53 |

Elaborado por: Felipe Lema

- g. **Representación en diagrama de barras la variación de los diferentes indicadores en las tres fechas correspondientes**



Figura 45. Otras coberturas por parroquias

Elaborado por: Felipe Lema

Otras coberturas corresponde a suelo desnudo, suelo en proceso de erosión y áreas construidas lo cual se puede apreciar que el 15/09/2015 y 05/01/2016 son los más representativos siendo los picos más altos la parroquia Lizarzaburu que supera los 900 ha, mientras que en el 30/10/2014 su pico más alto llega a las 768,28 ha esta variabilidad se debe a diversos factores tanto ambientales y antrópicos que tienen una gran influencia en el territorio.



Figura 46. Suelo húmedo por parroquias

Elaborado por: Felipe Lema

A lo que corresponde a la humedad de suelo y vegetación con abundante humedad la parroquia Lizarzaburu del 30/10/2014 es la que tiene mayor representación con una extensión aproximada de 343,06 ha, mientras que en las parroquias Velasco y Maldonado no existe gran variación y se mantiene constante la humedad esto se debe a que en estas parroquias existen terrenos baldíos en los cuales se siembra constantemente y tienen un sistema de riego por canales lo cual mantiene en constante humedad el suelo.

8. TS (Temperatura de Superficie)

a. Conversión a radiancia en el techo de la atmósfera (TOA)

Los productos estándar Landsat 8 LDCM, suministrados por el USGS eros center consisten en una serie cuantificada, calibrada y escalada de niveles digitales ND, los cuales representan los datos de una imagen multiespectral adquirida por ambos sensores: OLI (Operational Land Imagen) y el TIRS (Thermal Infrared Sensor).

Los datos de las bandas del sensor TIRS y OLI están derivados en 16 bits en formato no cifrado y pueden ser reescalados a los valores de reflectancia y radiancia en el techo de la atmósfera TOA, usando para ello los coeficientes radiométricos provistos en el archivo de metadato MTL.txt, tal y como se describe a continuación. (National Aeronautics and Space Administration, 2010)

1) Valor de radiancia espectral en el techo de la atmósfera

Fórmula:

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL$$

Donde:

$L\lambda$ = Es el valor de radiancia espectral en el techo de la atmósfera (TOA) medida en valores de (Watts /m² * srad * μm)

ML = Banda – Es el factor multiplicativo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de la banda)

AL = Banda – Es el factor aditivo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE_ADD_BAND_x, donde x es el número de la banda)

Q_{cal} = Producto estándar cuantificado y calibrado por valores de pixel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen.

2) Calculadora raster función para el cálculo de la radiancia

Fórmula:

$$L\lambda = 3.3420E-04 * "LC80100612015258LGN00_B10_clip_rbba.tif" + 0.10000$$

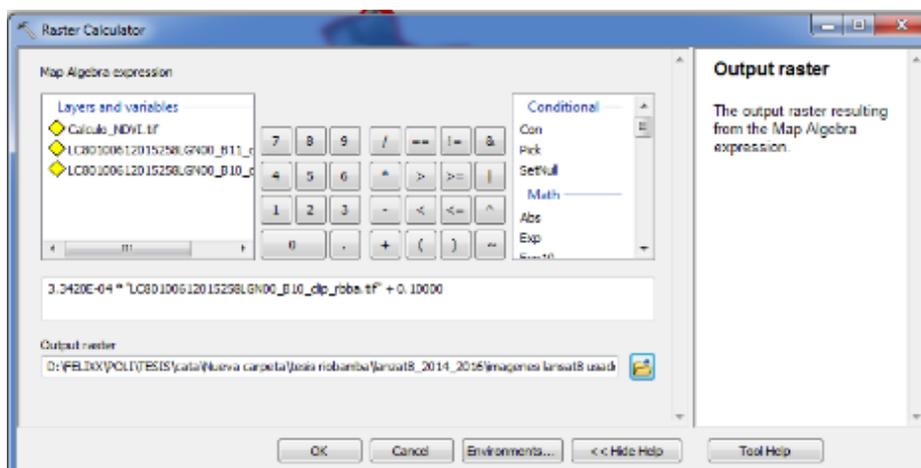


Figura 47. Raster calculator para el cálculo de la radiancia de la banda 10.

Elaborado por: Felipe Lema

3) Radiancia de la banda 10

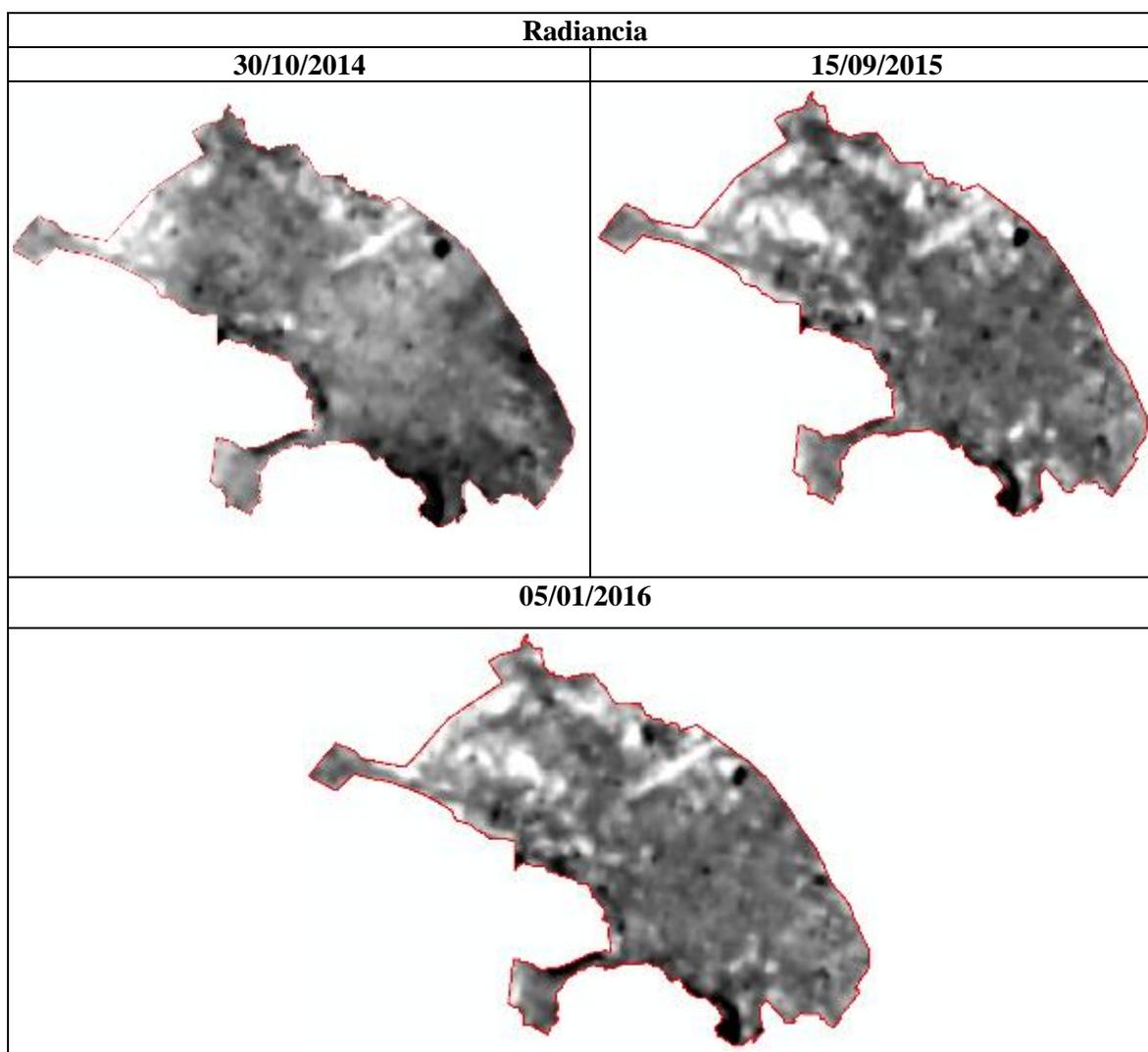


Figura 48. Radiancia de la banda 10

Elaborado por: Felipe Lema

4) Calculadora raster función para el cálculo de la radiancia

Fórmula:

$$L\lambda = 3.3420E-04 * "LC80100612015258LGN00_B11_clip_rbba.tif" + 0.10000$$

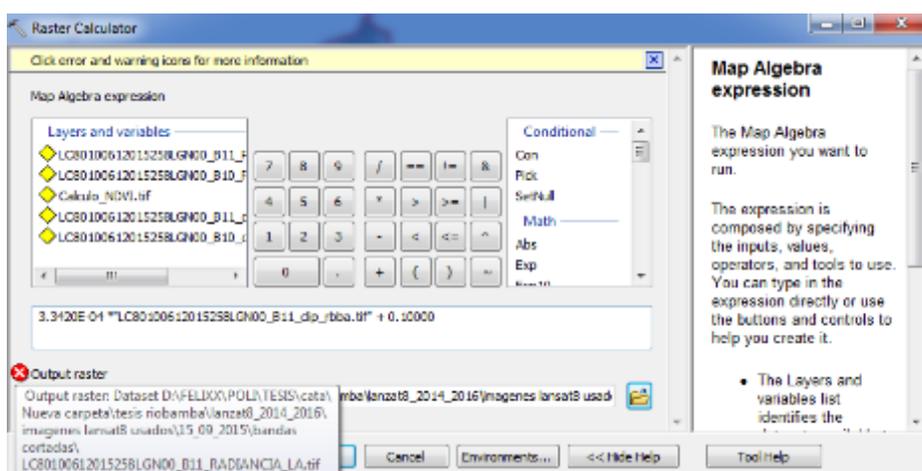


Figura 49. Raster calculador para el cálculo de la radiancia de la banda 11

Elaborado por: Felipe Lema

5) Radiancia de la banda 11

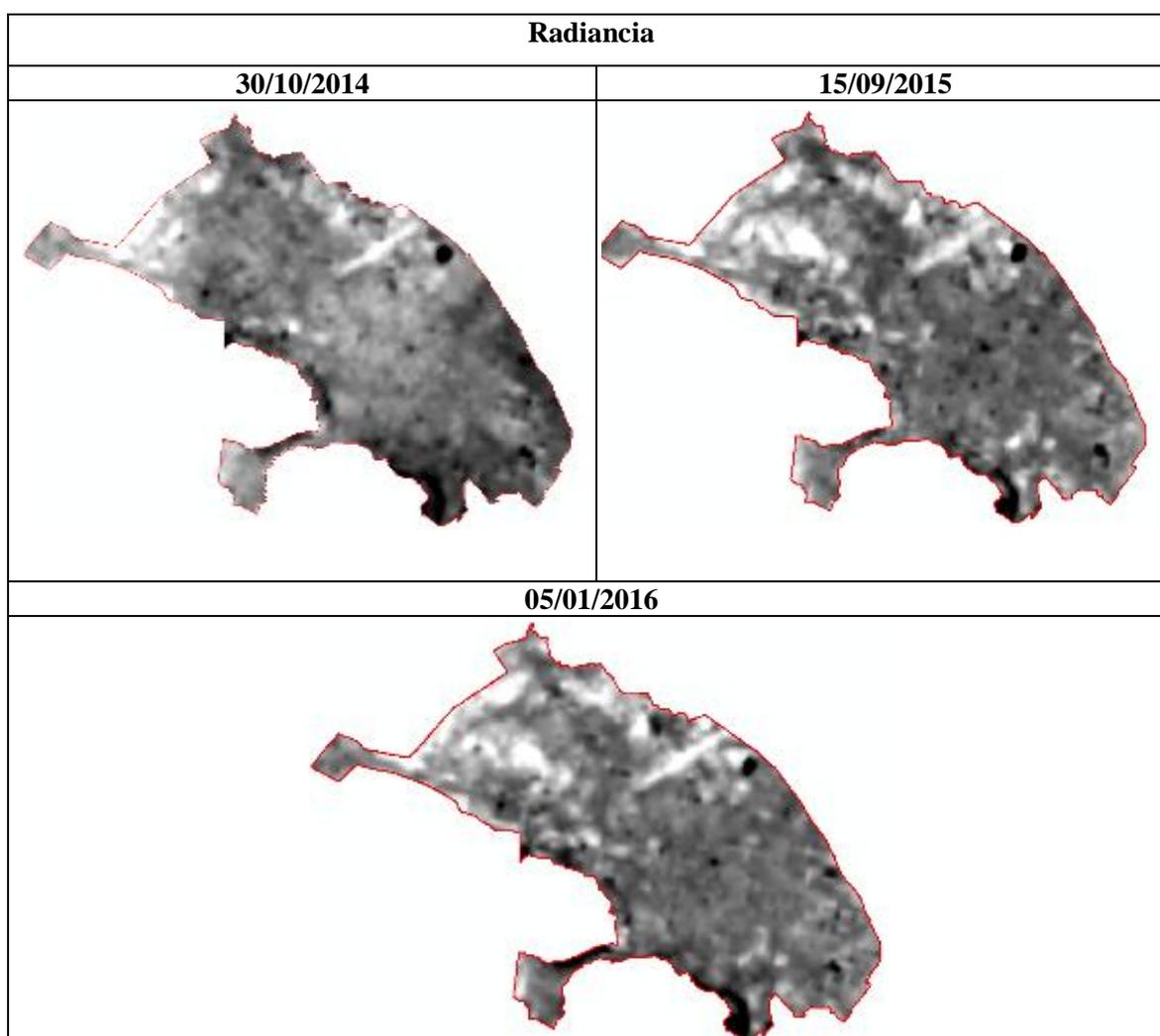


Figura 50. Radiancia de la banda 11

Elaborado por: Felipe Lema

b. Temperatura de brillo en grados Kelvin, para una radiancia L

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)

Fórmula:

$$TL = K2 / \ln ((K1 / L\lambda) + 1) - 272.15$$

Dónde:

TL: Temperatura de brillo en grados Kelvin, para una radiancia L.

K1: Constante de calibración 1 en W/ (m²*sr*um).

K2: Constante de calibración 2 en grados Kelvin

Lλ: Radiancia espectral del sensor

Debido a que el cálculo nos da como resultado temperaturas en grados Kelvin, es necesario al final de la fórmula restarle el valor 272.15 que es el factor de conversión para grados Celsius

1) Calculadora raster función para el cálculo de la temperatura de brillo en grados Kelvin, para la banda 10.

Fórmula:

$$TL = K2 / \ln ((K1 / L\lambda) + 1) - 272.15$$

$$TL = 1321.0789 / \ln (774.8853 / "LC801006120152_B10_RADIANCIA_LA.tif" + 1) - 272.15$$

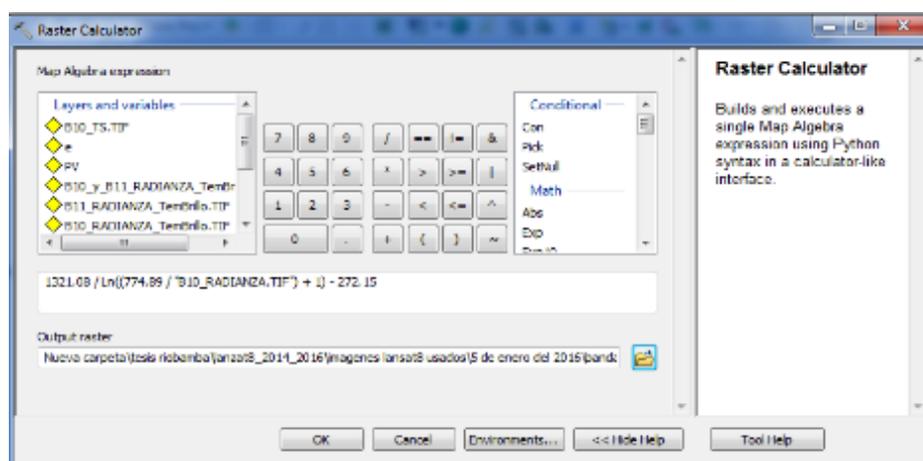


Figura 51.Raster calculator para la temperatura de brillo de la banda 10.

Elaborado por: Felipe Lema

2) **Temperatura de brillo en grados Kelvin, para la banda 10**

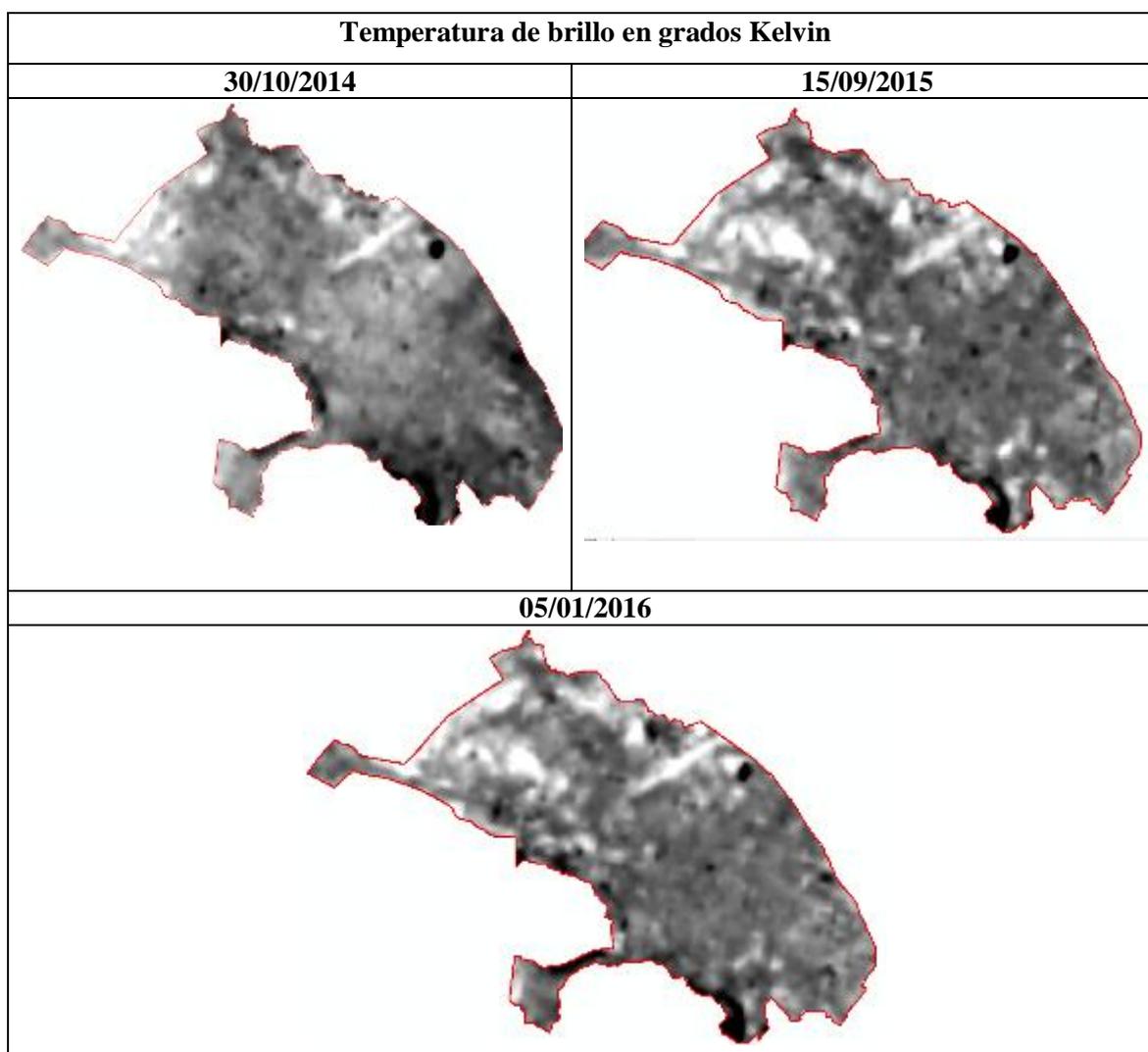


Figura 52. Temperatura de brillo de la banda 10.

Elaborado por: Felipe Lema

3) **Calculadora raster función para el cálculo de la temperatura de brillo en grados Kelvin, para la banda 11**

Fórmula:

$$TL = K2 / \ln((K1 / L\lambda) + 1) - 272.15$$

$$TL = 1201.1442 / \ln(480.8883 / "LC80100612015258LGN00_B11_RADIANCIA_LA.tif" + 1) - 272.15$$

c. Cell Statistics

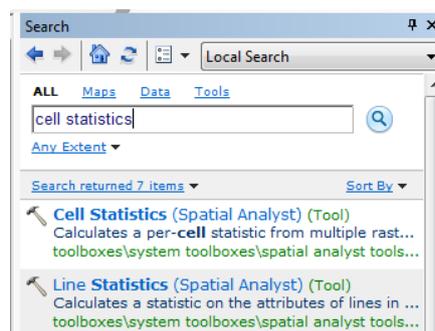


Figura 55. Cell Statistics

Elaborado por: Felipe Lema

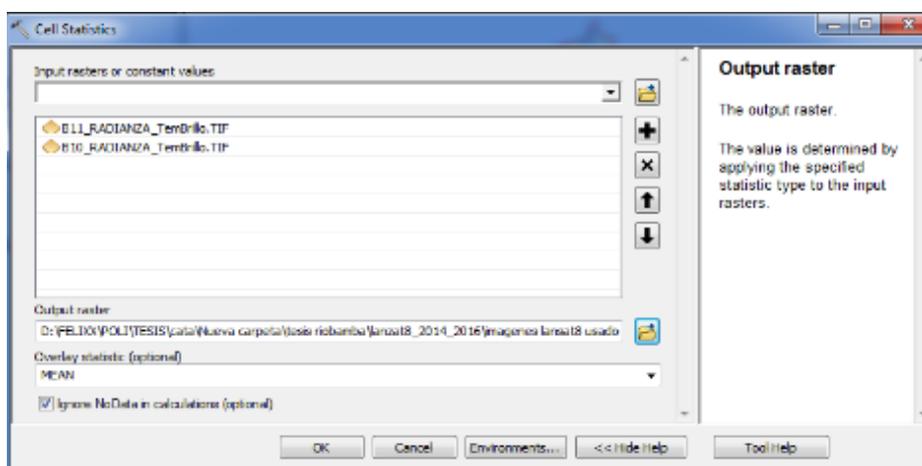


Figura 56. Cell Statistics cara combinar la banda 10 y 11

Elaborado por: Felipe Lema

Una vez obtenido los rangos de temperatura de ambas bandas térmicas (10 y 11), procedemos a combinarlas para obtener así una sola capa de temperaturas, a través de la herramienta Cell Statistics en ArcGis, donde se carga ambas capas de temperatura de brillo calculadas y overlay statistic seleccionamos MEAN, este cálculo se realiza para los 3 años de estudio. .

1) Mapas resultado de la aplicación de los Cell statistics

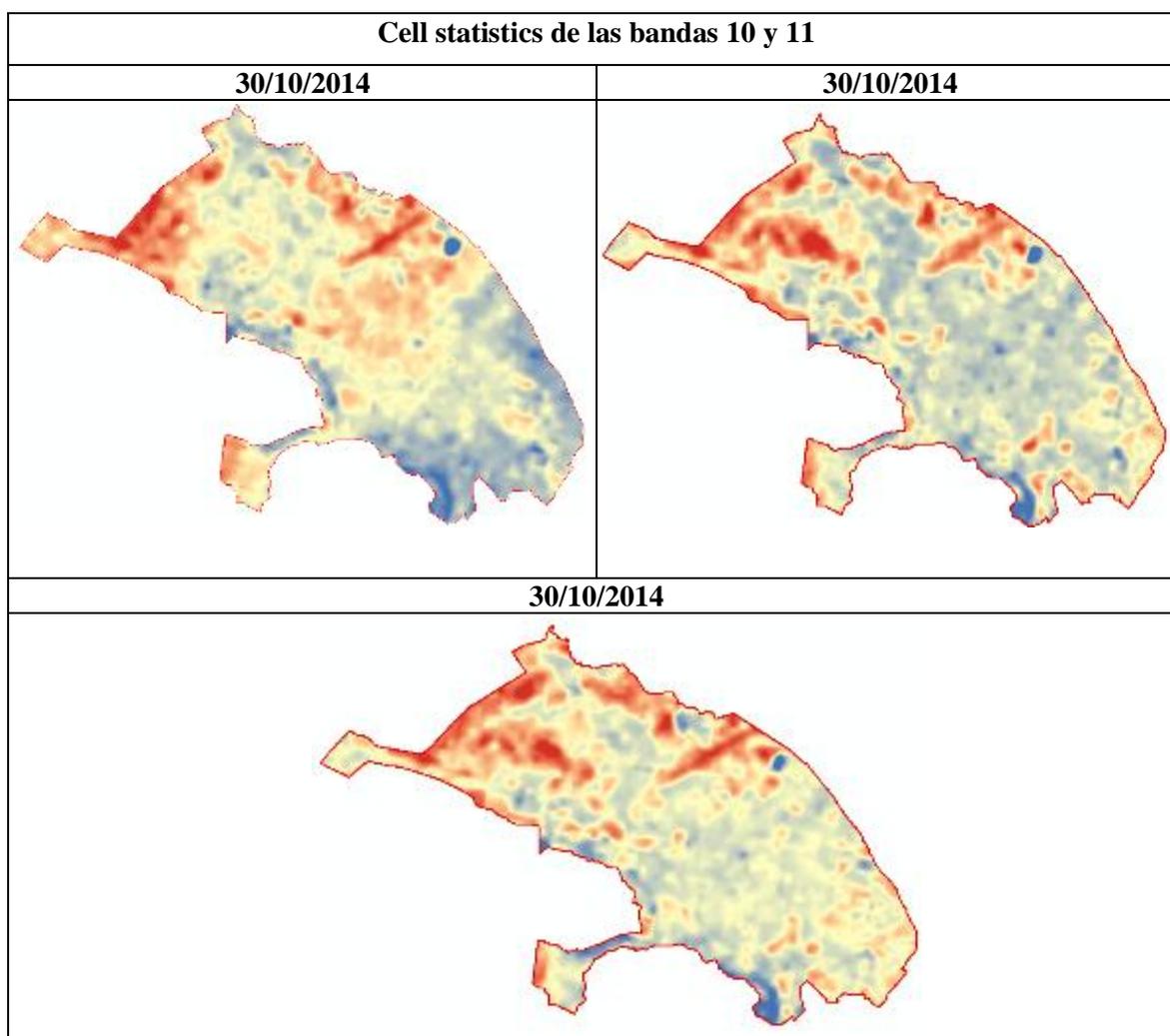


Figura 57. Mapas resultado de Cell statistics de las bandas 10 y 11

Elaborado por: Felipe Lema

Esta temperatura de brillo está referida como la de un cuerpo negro; por tanto fue necesario introducir la emisividad de la superficie de la tierra, considerando los tipos de uso, para obtener la temperatura cinética de superficie. (Weng, 2003).

d. Derivación de LSE (Emisividad de la superficie de la tierra) a partir del NDVI

1) Calculadora raster función para el cálculo la derivación del LSE

Fórmula:

$$Pv = \text{Square} (\text{NDVI} - \text{NDVIMIN}) / (\text{NDVIMAX} + \text{NDVIMIN})$$

$$Pv = \text{Square} ("NDVI.tif" + 0.0784372 / 0.837265 - 0.0784372)$$

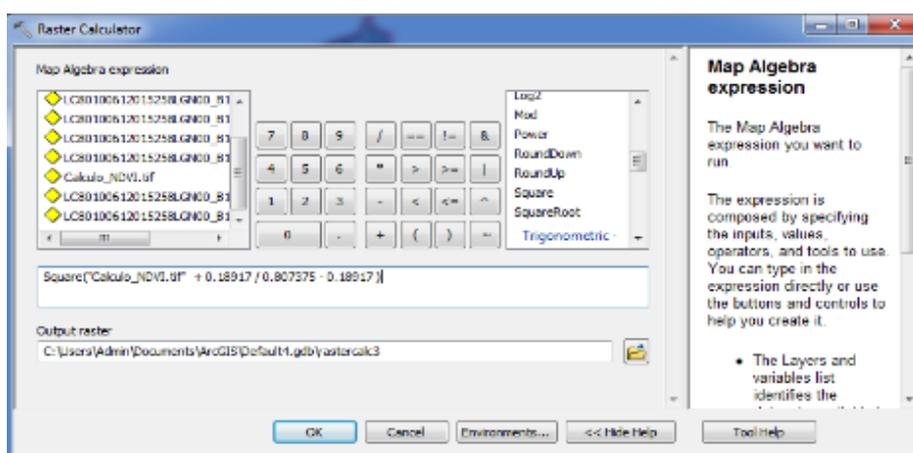


Figura 58. Calculadora raster función para el cálculo la derivación del LSE
Elaborado por: Felipe Lema

2) Emisividad de la superficie de la tierra a partir de NDVI

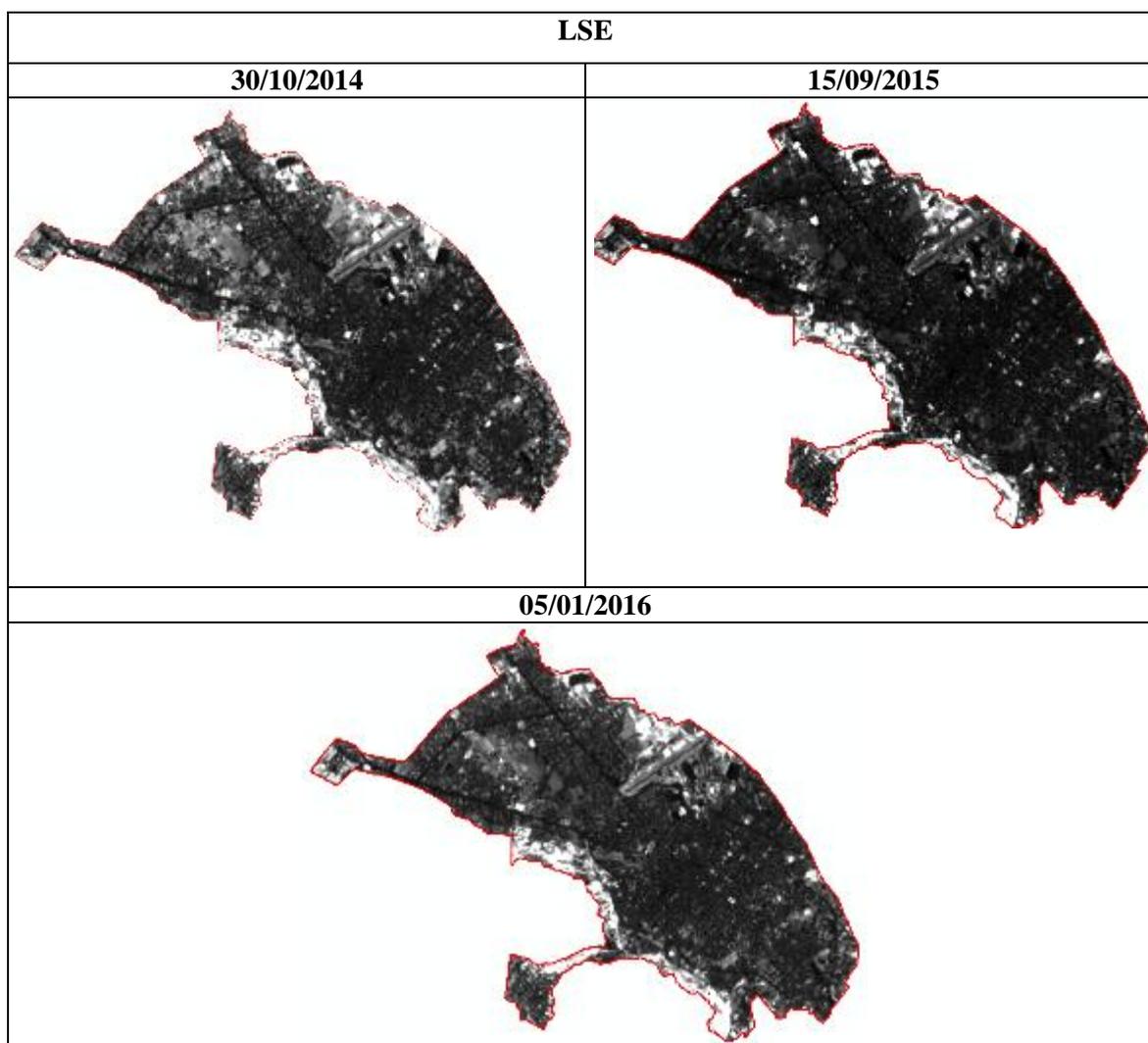


Figura 59. Emisividad de la superficie de la tierra a partir del NDVI

Elaborado por: Felipe Lema

e. Emisividad de la superficie

1) Calculadora raster función para el cálculo la emisividad de la superficie

Fórmula:

$$e = 0.004PV + 0.986$$

$$e = 0.004 * NDVI_PV + 0.986$$

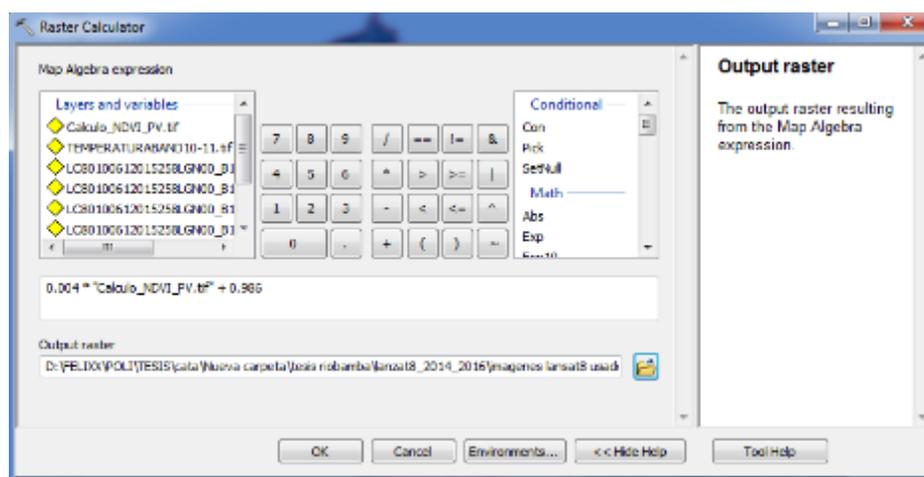
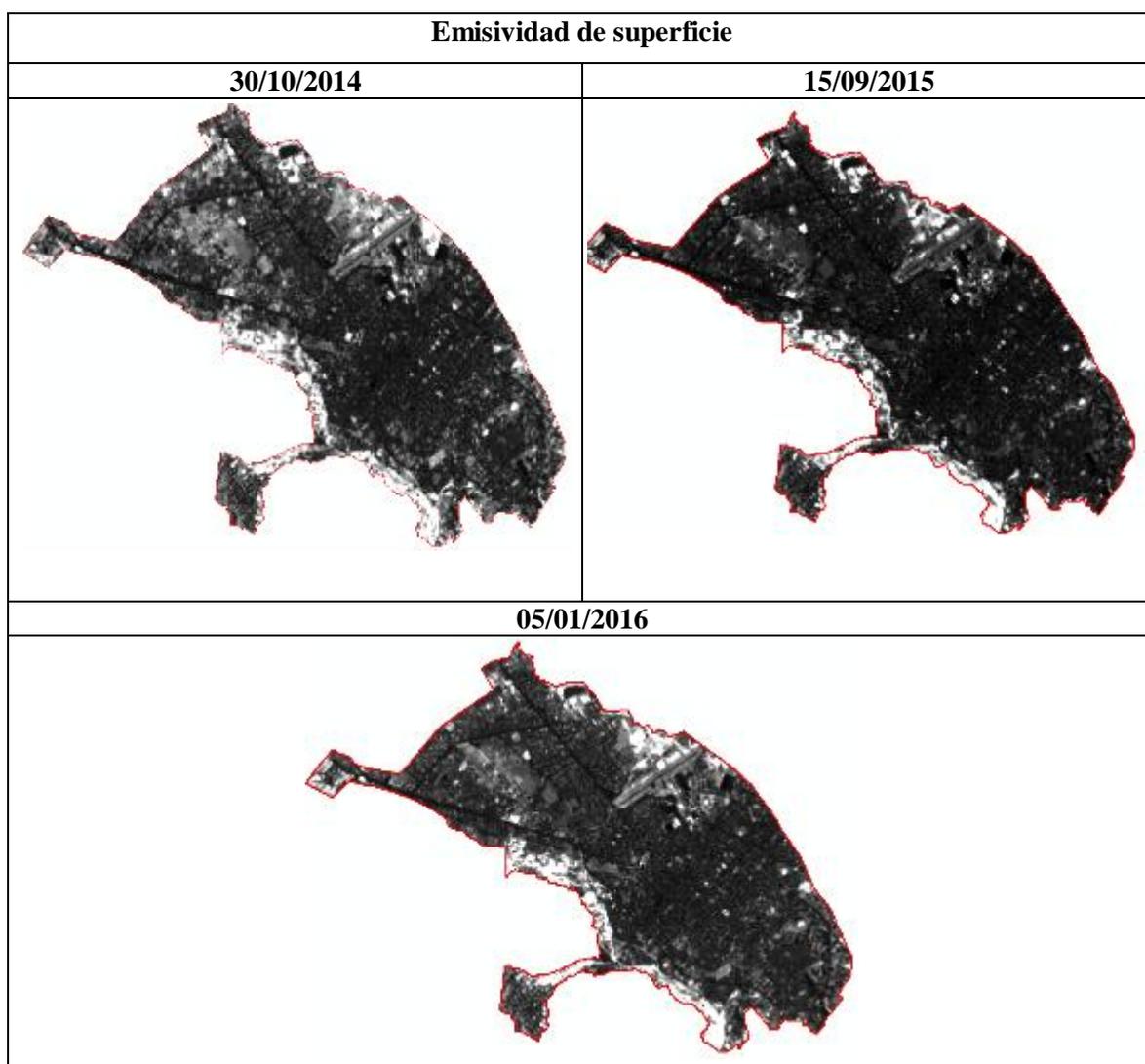


Figura 60. Calculadora raster función para la emisividad de la superficie.

Elaborado por: Felipe Lema

Para la aplicación de esta metodología, se necesitan valores de emisividad del suelo y de la vegetación. Para este fin, un valor de emisividad típica de 0,99 para la vegetación. La elección de un valor típico para el suelo es una cuestión más crítica, debido a la mayor emisividad de valores de variación para los suelos en comparación con los de vegetación. Una posible solución es utilizar el valor medio para las emisividades de suelos que incluyen en la biblioteca espectral ASTER (<http://asterweb.jpl.nasa.gov>) y se filtró de acuerdo con función de filtro TM6 banda. De esta manera teniendo en cuenta un total de 49 espectros de suelos, se obtiene un valor medio de 0.973 (con una desviación estándar de 0,004). El uso de estos datos (suelo TM6 y emisividades vegetación de 0,97 y 0,99, respectivamente) (Jose, A. Sobrinoa, Juan C. Jimenez-Muñoz, 2004).

1) Mapa de la emisividad de la superficie**Figura 61.** Emisividad de la superficie**Elaborado por:** Felipe Lema

f. Temperatura de la superficie de la tierra

Fórmula:

$$TS = BL / 1 + W * (BL / \rho) * \ln \epsilon$$

Donde:

TS: Temperatura de superficie

BT: temperatura de brillo del satélite

W: Longitud de onda media de la banda termal considerada

$\rho = h * c / \sigma$, ($1.438 * 10^{-2}$ mK), donde:

h: Constante de Planck ($6,626 * 10^{-34}$ Js)

c: Es la velocidad de la luz ($2.998 * 10^8$)

σ : Constante de Boltzman ($1,38 * 10^{-23}$ J/K).

ϵ : Emisividad de la superficie

$\rho = 14380$

1) Calculadora raster función para el cálculo la TS.

Fórmula:

$$TS = BL / 1 + W * (BL / \rho) * \ln \epsilon$$

$$TS = "B10_RADIANCIA_TemBrillo.TIF" / 1 + "LC80100612014303LGN00_B10.TIF" * ("B10_RADIANCIA_TemBrillo.TIF" / 14380) * \ln("e")$$

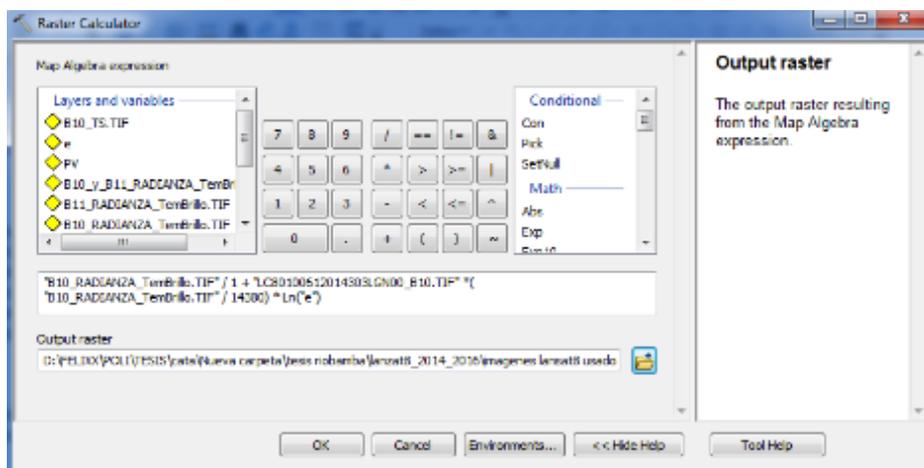


Figura 62. Raster calculator para el cálculo del TS

Elaborado por: Felipe Lema

2) Temperatura de la superficie

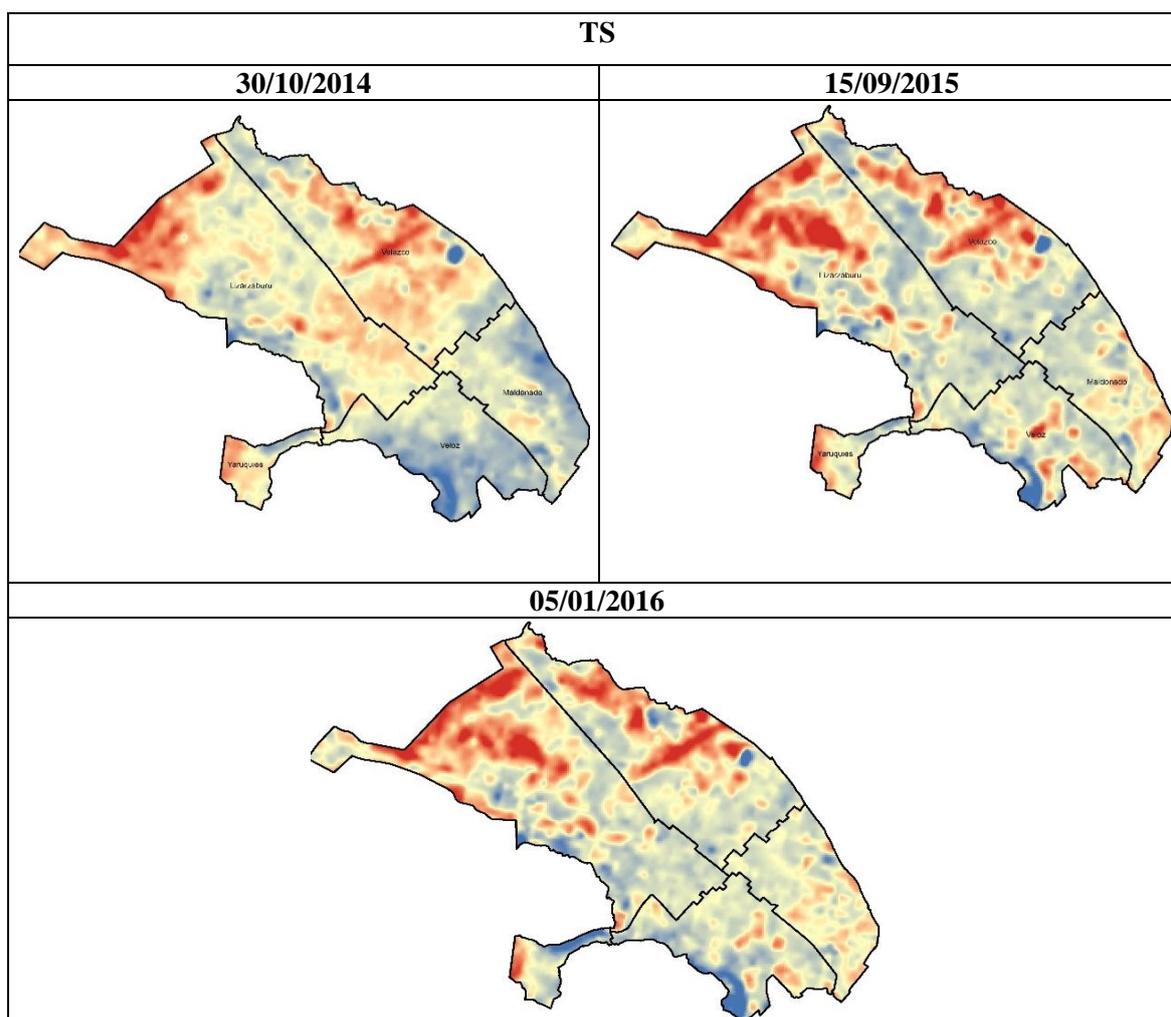


Figura 63. Temperatura de superficie

Elaborado por: Felipe Lema

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.

3) Valor de la superficie por parroquia

Tabla 22. Valores de la TS por parroquias de la ciudad de Riobamba

| TS | Parroquias | Mínima °C | Máxima °C |
|------------|-------------|-----------|-----------|
| 30/10/2014 | Lizarzaburu | 24,92 | 39,63 |
| | Velasco | 11,69 | 37,43 |
| | Velóz | 23,96 | 32,58 |
| | Maldonado | 25,13 | 32,65 |
| | Yaruquíes | 26,81 | 35,29 |
| 15/09/2015 | Lizarzaburu | 26,29 | 41,33 |
| | Velasco | 16,57 | 41,97 |
| | Velóz | 24,75 | 39,53 |
| | Maldonado | 28,55 | 36,84 |
| | Yaruquíes | 28,32 | 38,43 |
| 05/01/2016 | Lizarzaburu | 25,46 | 39,97 |
| | Velasco | 17,8 | 39,49 |
| | Velóz | 25,27 | 35,38 |
| | Maldonado | 27,91 | 35,05 |
| | Yaruquíes | 26,02 | 36,84 |

Elaborado por: Felipe Lema

4) Representación de la variación de la temperatura en las 3 fechas correspondientes.

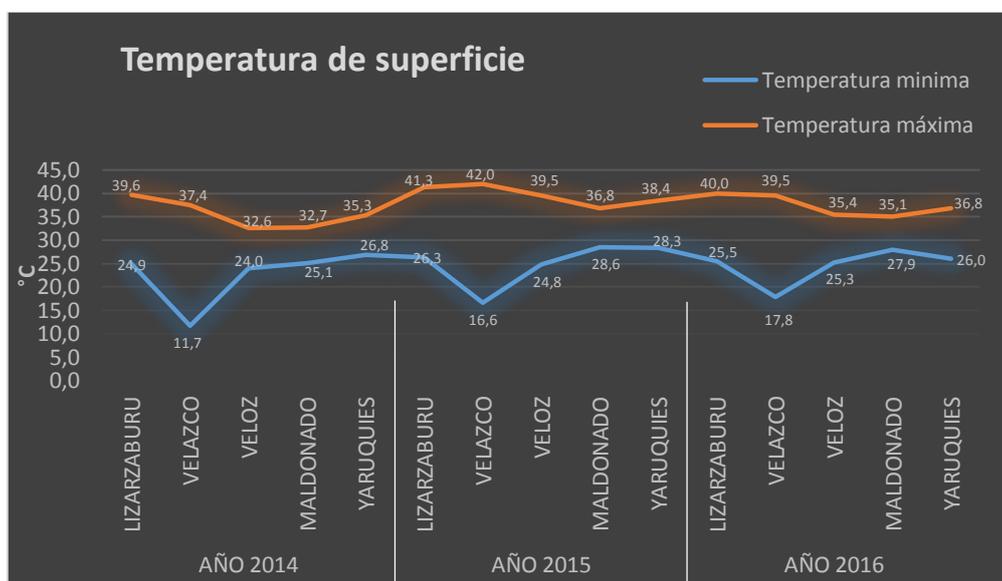


Figura 64. Temperatura de superficie por parroquias

Elaborado por: Felipe Lema

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 el 15/09/2015 tuvo la temperatura más alta de 42°C en la parroquia Velóz y la más baja fue de 11,7°C en la parroquia Velasco correspondiente al 30/10/2014, al calcular la temperatura promedio se pudo determinar que en el año 30/10/2014 tuvo una temperatura mínima de 22,5°C y máxima de 35,52°C, a lo que corresponde el 15/09/2015 la temperatura promedio mínima fue de 24,9°C y la máxima de 39,62°C y lo que respecta al 05/01/2016 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.

B. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO

1. Análisis de la varianza con un factor (ANOVA)

El análisis de varianza (ANOVA) de un factor nos sirve para comparar varios grupos en una variable cuantitativa. Esta prueba es una generalización del contraste de igualdad de medias para dos muestras independientes. Se aplica para contrastar la igualdad de medias de tres o más poblaciones independientes y con distribución normal.

a. NDVI(Índice de vegetación de diferencia normalizada)

1) Construcciones y suelos sin vegetación sin vegetación

Tabla 23. Análisis de varianza para las construcciones y suelos sin vegetación.

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-----------|-----------|----|-----------|-------|---------|
| AÑO | 12342,04 | 2 | 6171,02 | 2,96 | 0,1093 |
| PARROQUIA | 453108,58 | 4 | 113277,15 | 54,28 | <0,0001 |
| Error | 16695,98 | 8 | 2087,00 | | |
| Total | 482146,60 | 14 | | | |
| C.V. | 15,40 | | | | |

Elaborado por: Felipe Lema

Tabla 24. Prueba de Tukey al 5% para las construcciones y suelos sin vegetación

| Parroquias | Media | Rango |
|------------------|--------|-------|
| Lizarzaburu | 562,49 | A |
| Velasco | 400,66 | B |
| Velóz | 245,42 | C |
| Maldonado | 227,49 | C |
| Yaruquies | 47,37 | D |
| Error: 2086,9971 | gl: 8 | |

Elaborado por: Felipe Lema

En la prueba de Tukey al 5% para las construcciones y suelo sin vegetación según las parroquias se pudo determinar que existe significancia estadística entre las diferentes parroquias Lizarzaburu, Velasco y Yaruquíes, así mismo se puede determinar que no existe significancia estadística entre la parroquia Velóz y Maldonado, además se identificó que Lizarzaburu tiene la media más alta con 562,46ha y la más baja corresponde a la parroquia Yaruquíes con 47,37ha.

2) Vegetación ligera

Tabla 25. Análisis de varianza para la vegetación ligera

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-----------|-----------|----|----------|--------|---------|
| AÑO | 1672,13 | 2 | 836,06 | 2,39 | 0,1535 |
| PARROQUIA | 170189,31 | 4 | 42547,33 | 121,66 | <0,0001 |
| Error | 2797,90 | 8 | 349,74 | | |
| Total | 174659,34 | 14 | | | |
| C.V. | 11,81 | | | | |

Elaborado por: Felipe Lema

Tabla 26. Prueba de Tukey al 5% para la vegetación ligera

| Parroquias | Media | Rango |
|-----------------|--------|-------|
| Lizarzaburu | 340,15 | A |
| Velasco | 204,06 | B |
| Maldonado | 116,08 | C |
| Velóz | 101,88 | C |
| Yaruquíes | 29,45 | D |
| Error: 349,7374 | gl: 8 | |

Elaborado por: Felipe Lema

En la prueba de Tukey al 5% para la vegetación ligera según parroquias se pudo determinar que existe significancia estadística entre las diferentes parroquias Lizarzaburu, Velasco y Yaruquíes, así mismo se puede determinar que no existe significancia estadística entre la parroquia Velóz y Maldonado, además se identificó que Lizarzaburu tiene la media más alta con 340,15ha y la más baja corresponde a la parroquia Yaruquíes con 29,45ha.

3) Vegetación media

Tabla 27. Análisis de varianza para la vegetación media

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-----------|----------|----|---------|------|---------|
| AÑO | 5782,60 | 2 | 2891,30 | 2,28 | 0,1650 |
| PARROQUIA | 39715,19 | 4 | 9928,80 | 7,82 | 0,0072 |
| Error | 10162,83 | 8 | 1270,35 | | |
| Total | 55660,61 | 14 | | | |
| C.V. | 46,56 | | | | |

Elaborado por: Felipe Lema

Tabla 28. Prueba de Tukey al 5% para la vegetación media

| Parroquias | Media | Rango |
|-------------------|--------------|--------------|
| Lizarzaburu | 157,05 | A |
| Velasco | 113,19 | AB |
| Velóz | 51,07 | B |
| Maldonado | 47,51 | B |
| Yaruquíes | 13,92 | B |
| Error: 1270,3533 | gl: 8 | |

Elaborado por: Felipe Lema

En la prueba de Tukey al 5% para la vegetación media según parroquias se pudo determinar que existe significancia estadística solo en la parroquia Lizarzaburu mientras que con las demás parroquias no es muy representativas las diferencias existentes por lo cual se clasifica dentro un mismo rango (B), la media más alta en este indicador está representado por la parroquia Lizarzaburu que tiene una extensión de 157,05ha.

4) Alto nivel de vegetación

Tabla 29. Análisis de varianza para el alto nivel de vegetación

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| AÑO | 338,09 | 2 | 169,05 | 4,65 | 0,0457 |
| PARROQUIA | 4072,91 | 4 | 1018,23 | 28,01 | 0,0001 |
| Error | 290,80 | 8 | 36,35 | | |
| Total | 4701,81 | 14 | | | |
| C.V. | 22,41 | | | | |

Elaborado por: Felipe Lema

Tabla 30. Prueba de Tukey al 5% para alto nivel de vegetación

| Parroquias | Media | Rango |
|-------------------|--------------|--------------|
| Lizarzaburu | 51,70 | A |
| Velasco | 36,34 | AB |
| Velóz | 28,62 | B |
| Yaruquíes | 10,31 | C |
| Maldonado | 7,53 | C |
| Error: 36,3506 | gl: 8 | |

Elaborado por: Felipe Lema

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 que tiene 51,70 ha correspondiente al rango “A”, en el rango “C” se encuentra la parroquia Maldonado con 7,53 ha.

b. ANOVA con el NDSI (Índice de diferencia normalizada de suelos)

1) Suelo desnudo y construcciones

Tabla 31. Análisis de varianza para el suelo desnudo y construcciones

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| AÑO | 120161,38 | 2 | 60080,69 | 7,11 | 0,0168 |
| PARROQUIA | 707655,64 | 4 | 176913,91 | 20,95 | 0,0003 |
| Error | 67570,06 | 8 | 8446,26 | | |
| Total | 895387,09 | 14 | | | |
| C.V. | 25,94 | | | | |

Elaborado por: Felipe Lema

Tabla 32. Prueba de Tukey al 5% para suelo desnudo y construcciones

| Parroquias | Media | Rango |
|-------------------|--------------|--------------|
| Lizarzaburu | 670,47 | A |
| Velasco | 506,18 | AB |
| Maldonado | 299,68 | B |
| Velóz | 258,48 | BC |
| Yaruquies | 36,98 | C |
| Error: 8446,2576 | gl: 8 | |

Elaborado por: Felipe Lema

En la prueba de Tukey al 5% para suelo desnudo y construcciones según parroquias se pudo determinar que existe significancia estadística entre las parroquias siendo la media más representativa la de la parroquia Lizarzaburu que tiene 670,47 ha correspondiente al rango “A”, en el rango “C” se encuentra a parroquia Yaruquies con 36,98 ha que es con la parroquia que mayor significancia posee.

c. ANOVA con el NDWI(Humedad en el suelo)

1) Otras coberturas (suelo, construcciones, etc.)

Tabla 33. Análisis de varianza para otras coberturas

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------|------------|-----------|-----------|----------|----------------|
| AÑO | 7773,27 | 2 | 3886,64 | 1,33 | 0,3164 |
| PARROQUIA | 1242186,22 | 4 | 310546,55 | 106,53 | <0,0001 |
| Error | 23321,05 | 8 | 2915,13 | | |
| Total | 1273280,54 | 14 | | | |
| C.V. | 12,60 | | | | |

Elaborado por: Felipe Lema

Tabla 34. Prueba de Tukey al 5% para otras coberturas

| Parroquias | Media | Rango |
|-------------------|--------------|--------------|
| Lizarzaburu | 902,92 | A |
| Velasco | 574,93 | B |
| Velóz | 349,53 | C |
| Maldonado | 241,70 | C |
| Yaruquies | 72,95 | D |
| Error: 2915,1308 | gl: 8 | |

Elaborado por: Felipe Lema

En la prueba de Tukey al 5% para otras coberturas según parroquias se pudo determinar que existe significancia estadística entre las parroquias siendo la media más representativa la de la parroquia Lizarzaburu que tiene 902,92 ha correspondiente al rango “A”, en el rango “C” se encuentra la parroquia Yaruquies con 72,95 ha que es con la parroquia que mayor significancia posee.

2) Suelo con humedad

Tabla 35. Análisis de varianza para suelo con humedad

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| AÑO | 7735,71 | 2 | 3867,85 | 1,34 | 0,3153 |
| PARROQUIA | 67610,72 | 4 | 16902,68 | 5,85 | 0,0168 |
| Error | 23127,42 | 8 | 2890,93 | | |
| Total | 98473,85 | 14 | | | |
| C.V. | 41,28 | | | | |

Elaborado por: Felipe Lema

Tabla 36. Prueba de Tukey al 5% para el suelo con humedad

| Parroquias | Media | Rango |
|-------------------|--------------|--------------|
| Lizarzaburu | 208,79 | A |
| Velasco | 179,52 | A |
| Maldonado | 156,95 | AB |
| Velóz | 78,31 | AB |
| Yaruquies | 27,63 | B |
| Error: 2890,9276 | gl: 8 | |

Elaborado por: Felipe Lema

En la prueba de Tukey al 5% para suelo con humedad según 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 Yaruquies con 27,63 ha que es con la parroquia que mayor significancia tiene.

d. ANOVA con el SAVI (Índice de vegetación ajustada al suelo)

1) Vegetación ligera

Tabla 37. Análisis de varianza para la vegetación ligera

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-----------|-----------|----|----------|-------|---------|
| AÑO | 14954,63 | 2 | 7477,32 | 2,24 | 0,1684 |
| PARROQUIA | 175565,58 | 4 | 43891,39 | 13,17 | 0,0014 |
| Error | 26658,86 | 8 | 3332,36 | | |
| Total | 217179,07 | 14 | | | |
| C.V. | 36,18 | | | | |

Elaborado por: Felipe Lema

Tabla 38. Prueba de Tukey al 5% para la vegetación ligera.

| Parroquias | Media | Rango |
|------------------|--------|-------|
| Lizarzaburu | 320,02 | A |
| Velazco | 249,99 | AB |
| Maldonado | 111,80 | BC |
| Veloz | 86,88 | C |
| Yaruquies | 29,05 | C |
| Error: 3332,3576 | | |

Elaborado por: Felipe Lema

En la prueba de Tukey al 5% para vegetación ligera en SAVI, según parroquias se pudo determinar que existe significancia estadística entre las diferentes parroquias siendo la media más representativa la de la parroquia Lizarzaburu que tiene 320,02 ha correspondiente al rango “A” y en lo que corresponde al rango “C” se encuentra la parroquia Yaruquies con una extensión de 29,05 ha que es con la parroquia que mayor significancia posee.

2) Mayor concentración de vegetación

Tabla 39. Análisis de varianza para mayor concentración de vegetación

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-----------|---------|----|---------|-------|---------|
| AÑO | 857,64 | 2 | 428,82 | 12,68 | 0,0033 |
| PARROQUIA | 4550,91 | 4 | 1137,73 | 33,63 | <0,0001 |
| Error | 270,62 | 8 | 33,83 | | |
| Total | 5679,17 | 14 | | | |
| C.V. | 22,05 | | | | |

Elaborado por: Felipe Lema

Tabla 40. Prueba de Tukey al 5% para la mayor concentración de vegetación.

| Parroquias | Media | Rango |
|-------------------|--------------|--------------|
| Lizarzaburu | 48,42 | A |
| Velasco | 41,79 | AB |
| Velóz | 28,65 | B |
| Maldonado | 6,82 | C |
| Yaruquies | 6,23 | C |
| Error: 33,8275 | | |

Elaborado por: Felipe Lema

En la prueba de Tukey al 5% para mayor concentración de vegetación en SAVI, según 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 Yaruquies con una extensión respectiva de 6,23 ha y 6,82ha que es con la parroquias que mayor significancia posee.

e. ANOVA con la temperatura de superficie

1) Temperatura de superficie mínima

Tabla 41. Análisis de varianza para la temperatura de superficie mínima

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| AÑO | 16,42 | 2 | 8,21 | 4,20 | 0,0565 |
| PARROQUIA | 291,41 | 4 | 72,85 | 37,29 | <0,0001 |
| Error | 15,63 | 8 | 1,95 | | |
| Total | 323,47 | 14 | | | |
| C.V. | 5,83 | | | | |

Elaborado por: Felipe Lema

Tabla 42. Prueba de Tukey al 5% para la temperatura mínima

| Parroquias | Media | Rango |
|-------------------|--------------|--------------|
| Maldonado | 27,20 | A |
| Yaruquies | 27,05 | A |
| Lizarzaburu | 25,56 | A |
| Velóz | 24,66 | A |
| Velasco | 15,35 | B |
| Error: 1,9535 | | |

Elaborado por: Felipe Lema

En la prueba de Tukey al 5% para la temperatura mínima, según parroquias se pudo determinar que no existe gran significancia estadística entre todas las parroquias, pero si existe entre 2 categorías siendo estas la “A” dentro de las cuales se encuentra la parroquia Lizarzaburu, Veloz, Maldonado y

Yaruquíes, siendo Velóz la parroquia que menor temperatura media posee con 24,66°C, y dentro de la categoría “B” se encuentra la parroquia Velasco con la temperatura media mínima de 15,35°C.

2) Temperatura de superficie máxima

Tabla 43. Análisis de varianza para la temperatura de superficie máxima

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| AÑO | 42,27 | 2 | 21,14 | 21,38 | 0,0006 |
| PARROQUIA | 68,04 | 4 | 17,01 | 17,21 | 0,0005 |
| Error | 7,91 | 8 | 0,99 | | |
| Total | 118,22 | 14 | | | |
| C.V. | 2,65 | | | | |

Elaborado por: Felipe Lema

Tabla 44. Prueba de Tukey al 5% para la temperatura máxima

| Parroquias | Media | Rango |
|-------------------|--------------|--------------|
| Lizarzaburu | 40,31 | A |
| Velasco | 39,63 | AB |
| Yaruquíes | 36,85 | BC |
| Velóz | 35,83 | C |
| Maldonado | 34,85 | C |
| Error: 0,9884 | | |

Elaborado por: Felipe Lema

En la prueba de Tukey al 5% para la temperatura máxima según parroquias se pudo determinar que existe significancia estadística entre 2 categorías siendo esta la “A” dentro de la cual se encuentra la parroquia Lizarzaburu siendo esta parroquia la que tiene mayor temperatura que es de 40,31°C y dentro de la categoría “C” se encuentra las parroquias Maldonado y Velóz teniendo esta la mayor temperatura que es de 36,85°C.

2. Análisis de componentes principales

Tabla 45. Matriz de correlación/Coeficiente

| 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.Mi | T.Ma |
|---------------------------------------|---------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|------|
| 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** | 1,00 | | | | | | | | | |
| Suelo desnudo y construcciones | 0,95** | 0,85** | 0,51n | 0,56* | 1,00 | | | | | | | | |
| Vegetación | 0,58* | 0,75** | 0,94** | 0,90** | 0,34n | 1,00 | | | | | | | |
| Otras coberturas | 0,97** | 0,96** | 0,76** | 0,84** | 0,90** | 0,68* | 1,00 | | | | | | |
| Suelo con humedad | 0,63* | 0,71** | 0,86** | 0,62* | 0,50n | 0,75** | 0,59* | 1,00 | | | | | |
| Suelo desnudo y construcciones | 0,98** | 0,95** | 0,68* | 0,75** | 0,94** | 0,59* | 0,98** | 0,57* | 1,00 | | | | |
| Vegetación ligera SAVI | 0,77** | 0,86** | 0,97** | 0,85** | 0,61* | 0,89** | 0,80** | 0,89** | 0,73** | 1,00 | | | |
| Mayor concentración de vegetación | 0,78** | 0,72** | 0,78** | 0,85** | 0,62* | 0,74** | 0,78** | 0,66* | 0,70** | 0,82** | 1,00 | | |
| T.S Mínimo | -0,35n | -0,26n | -0,38n | -0,40n | -0,28n | -0,30n | -0,32n | -0,34n | -0,25n | -0,44n | -0,56n | 1,00 | |
| T.S Máximo | 0,62* | 0,58* | 0,41n | 0,46n | 0,69** | 0,23n | 0,63* | 0,29n | 0,61* | 0,48n | 0,48n | -0,27n | 1,00 |

Elaborado por: Felipe Lema

** : 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 significativas son: La 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.

Tabla 46. Matriz de correlación/Probabilidades

| VARIABLES | C.S.S.V | V.L | V.M | A.N.V | S.D.C | V | O.C | S.C.M.H | S.D.C | V.L.S | M.C.V.S | T.Mi |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|---------|---------|
| Construcciones y suelo sin v. | | | | | | | | | | | | |
| Vegetación ligera | <0,0001** | | | | | | | | | | | |
| Vegetación media | 0,0043** | 0,0001** | | | | | | | | | | |
| Alto nivel de vegetación | 0,0019** | 0,0001** | <0,0001** | | | | | | | | | |
| Suelo desnudo y construcciones | <0,0001** | 0,0001** | 0,0500n | 0,0287* | | | | | | | | |
| Vegetación | 0,0244* | 0,0012** | <0,0001** | <0,0001** | 0,2144n | | | | | | | |
| Otras coberturas | <0,0001** | <0,0001** | 0,0011** | 0,0001** | <0,0001** | 0,0056** | | | | | | |
| Suelo con humedad | 0,0117* | 0,0030** | <0,0001** | 0,0145* | 0,0572n | 0,0013** | 0,0204* | | | | | |
| Suelo desnudo y construcciones. | <0,0001** | <0,0001** | 0,0053** | 0,0012** | <0,0001** | 0,0210* | <0,0001** | 0,0251* | | | | |
| Vegetación ligera SAVI | 0,0008** | <0,0001** | <0,0001** | 0,0001** | 0,0155* | <0,0001** | 0,0004** | <0,0001** | 0,0022** | | | |
| Mayor concentración de v. | 0,0006** | 0,0025** | 0,0005** | 0,0001** | 0,0146* | 0,0015** | 0,0006** | 0,0072** | 0,0039** | 0,0002** | | |
| T.S Mínimo | 0,1961n | 0,3530n | 0,1582n | 0,1390n | 0,3052n | 0,2783n | 0,2407n | 0,2120n | 0,3706n | 0,0988n | 0,0311* | |
| T.S Máximo | 0,0135* | 0,0231* | 0,1253n | 0,0876n | 0,0047** | 0,4179n | 0,0116* | 0,2987n | 0,0167* | 0,0711n | 0,0700n | 0,3293n |

Elaborado por: Felipe Lema

** : Altamente significativo < 0,05 < 0,01

* : Significativo < 0,05 > 0,01

n : No significativo > 0,05 > 0,01

La matriz de correlación/probabilidades nos permite corroborar la información de la matriz de correlación/coeficiente. Se tiene un mayor grado de correlación altamente significativo cuando su valor es menor a 0,05 y 0,01 esto se entiende que los rendimientos de las acciones se mueven en la misma dirección, tienen una dependencia total, es significativo cuando el valor es menor a 0,05 y mayor a 0,01 es decir existe dependencia pero no tanta y no es significativo cuando el valor es mayor a 0,05 y mayor a 0,01, es decir no existe dependencia en ningún caso.

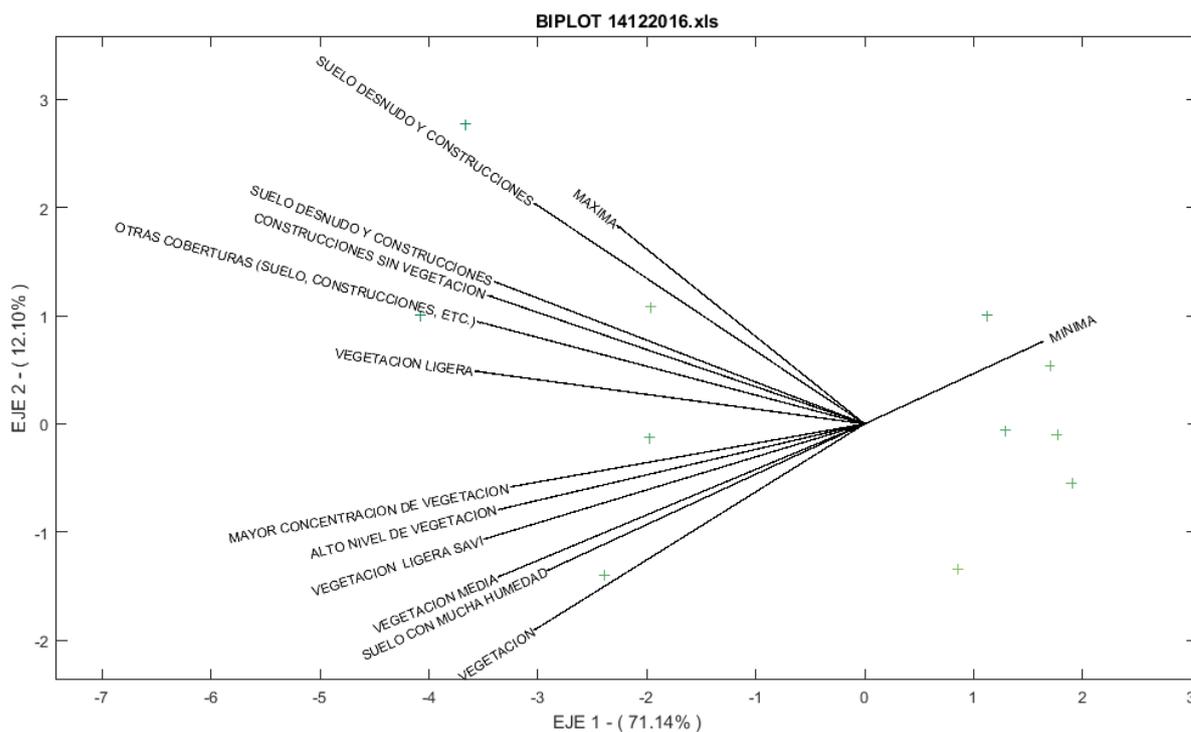


Figura 65. Gráfico Biplot del Análisis de Componentes Principales

Elaborado por: Felipe Lema

Biplot nos permite analizar entre las variables que tienen mayor relación entre sí, como podemos ver 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.

3. Usos de suelo de los distintos barrios de la ciudad de Riobamba

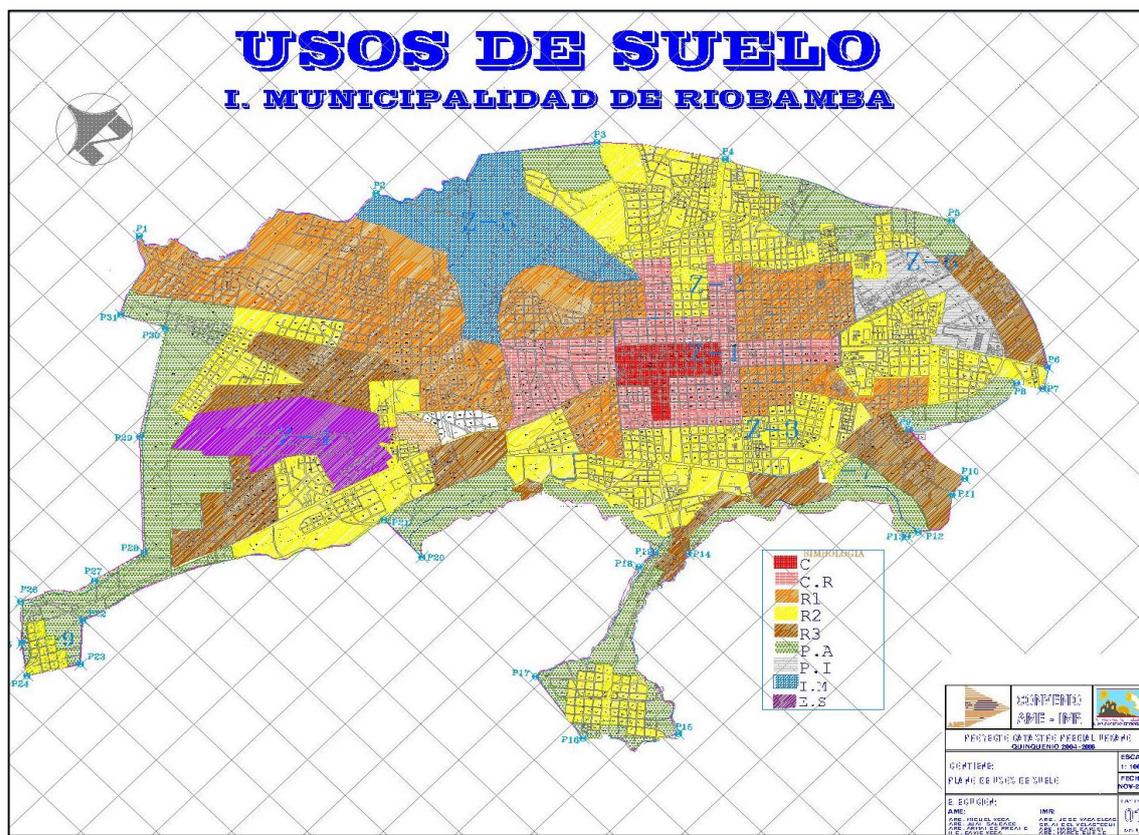


Figura 66. Mapa de uso de suelo de la ciudad de Riobamba

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba

A partir de la información primaria de estratos socioeconómicos en que está dividida la ciudad (ocho niveles), la densidad de viviendas y su ocupación o función, los 133 barrios y áreas especiales de la ciudad fueron clasificados en nueve clases de uso del suelo, cuya descripción se encuentra en el siguiente cuadro.

Tabla 47. Usos de suelo de la ciudad de Riobamba

| Usos de suelo | Descripción |
|----------------------------|--|
| Comercial (C) | Corresponde especialmente el área con mayor movimiento económico, constituido por centros administrativos y comerciales y barrios antiguos o históricos. |
| Comercial residencial (CR) | Se caracteriza por ser lugares próximos o consiguientes al centro administrativo e histórico. |
| Residencial 1 (R1) | Corresponden a viviendas unifamiliares, se encuentra en mayor porcentaje en la parroquia Velasco, se caracteriza por tener edificios altos. |
| Residencial 2 (R2) | Corresponden a viviendas unifamiliares, en las que permite comercios y servicios de nivel barrial, sectorial y equipamientos barriales sectoriales y zonales. |
| Residencial 3 (R3) | Corresponde especialmente a sectores donde existen casas en proceso de construcción, las calles no son rectas y se encuentran en mal estado, no cuentan con todos los servicios básicos. |
| Educación superior (ES) | Correspondiente al establecimiento superior más representativo de la ciudad de Riobamba siendo esta la ESPOCH. |
| Producción agrícola (PA) | Corresponden a sectores dentro de la zona urbana de la ciudad de Riobamba donde existe producción agrícola a pequeña escala, |
| Producción Industrial (PI) | La zona industrial se caracteriza por la presencia de grandes empresas situadas en la ciudad de Riobamba. |
| Instalación militar (IM) | Corresponde a sectores de entrenamiento, vivienda y áreas administrativas correspondientes a las fuerzas armadas. |

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba

4. Índice de calidad ambiental Urbana

Tabla 48. Índice de calidad ambiental urbana a partir de imágenes satelitales

| Parroquias | NDVI | | | NDSI | 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 | | |
| Lizarzaburu | A | A | A | A | A | A | A | A | A | 30 | 3.33 |
| Velasco | B | AB | AB | AB | A | AB | AB | B | AB | 27 | 3 |
| Maldonado | 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 |
| Yaruquies | D | B | C | C | B | C | C | A | BC | 22.5 | 2.5 |
| | | | | | | | | | | 14,37/5=2.78 | Regular |

Tabla 49. 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 dió 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 49) y se le dió otro tipo de valor que se encuentran en V2 (Tabla 49) 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 sumar y a sacar un promedio que nos dio el ICA por parroquias siendo la parroquia Lizarzaburo 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.

C. CARACTERÍSTICAS DE LOS INDICADORES AMBIENTALES OBTENIDOS DE LA IMAGEN SATELITAL

Para el cumplimiento de este objetivo se basó en la recopilación de la información obtenida en los objetivos uno y dos, los mismos que serán sintetizados y representados las características de cada indicador ambiental, para luego validar la información en el campo de estudio.

1. Caracterización de los indicadores ambientales más representativos

Tabla 50. Indicadores ambientales más representativos.

| Año | Indicador | Variable | Hectáreas | Descripción |
|------------|-----------|--------------------------------|-----------|--|
| 05/01/2016 | NDVI | Vegetación ligera | 865,94 | Un NDVI se utiliza para monitorear la sequía, vigilar y predecir la producción agrícola, para poder prever las zonas de fuego peligrosas, y trazar el avance del desierto. El NDVI se prefiere para la vigilancia mundial de vegetación, ya que ayuda a compensar los cambios en las condiciones de iluminación. |
| 30/10/2014 | | Vegetación Media | 493,05 | |
| 30/10/2014 | | Alto nivel de vegetación | 158,48 | |
| 15/09/2015 | NDSI | Suelo desnudo y construcciones | 2328,64 | 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. |
| 30/10/2014 | SAVI | Vegetación ligera | 1015,83 | 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. |
| | | Mayor concentración vegetación | 176,96 | |
| 30/10/2014 | NDWI | Suelo húmedo | 811,51 | Permite resalta mejor lo que es el territorio con contenido de humedad, la cobertura vegetal con abundante humedad y los cuerpos de agua. |
| Año | Indicador | Máxima | Mínima | Descripción |
| 30/10/2014 | TS | 39,6 | 11,7 | La temperatura de superficie corresponde de manera general a lo que es la temperatura del suelo que siempre será muy diferente a la |
| | | | | |

| | | | | |
|------------|--|------|------|---|
| 15/09/2015 | | 42,0 | 16,6 | temperatura ambiente, en la ciudad de Riobamba llegan a tener altas temperaturas debido a su tipo de suelo y áreas asfalto. |
|------------|--|------|------|---|

Realizado por: Felipe Lema

2. Identificación de zonas representativas de los diferentes indicadores ambientales

a. NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada)

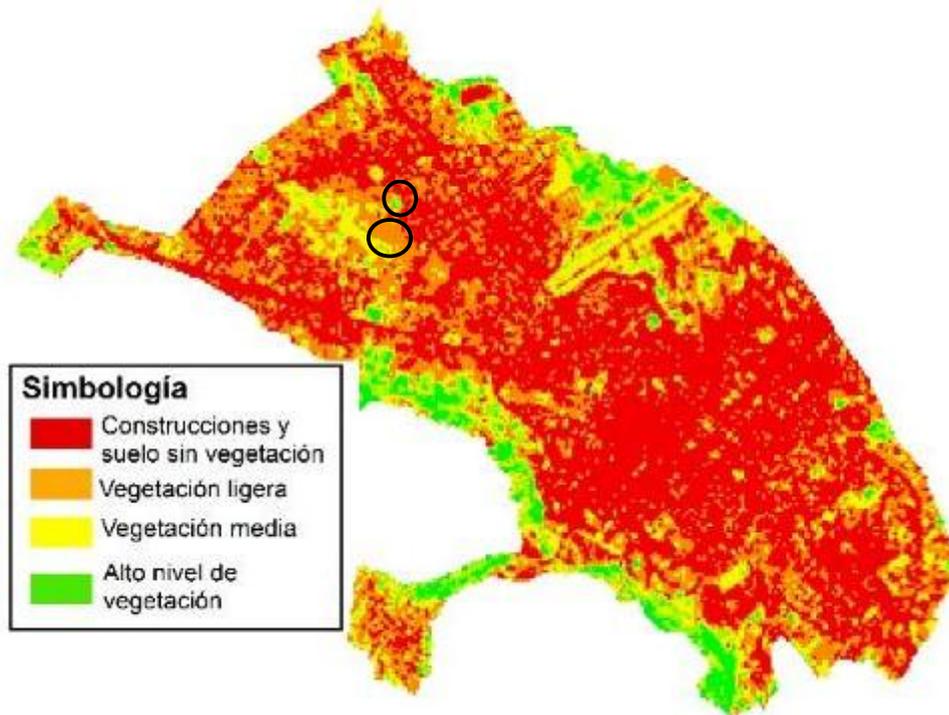


Figura 67. Zonas representativas del SAVI.



Figura 68. Canchas de football en el barrio los Manzanares de la parroquia Lizarzaburu

Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 69. Terreno baldío localizado en la parroquia Velasco

Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 70. Terreno baldío de la ESPOCH localizado en la parroquia Lizarzaburu

Fuente: (Google Earth, 2016)

A lo que corresponde al índice de vegetación de diferencia normalizada, los lugares más representativos son las canchas del barrio los Manzanares correspondiente a alto nivel de vegetación o que corresponde también a vegetación sana donde existe mucha humedad, el terreno baldío del Comil correspondiente a vegetación media y alto nivel de vegetación, por ultimo tenemos el terreno baldío de la ESPOCH correspondiente a vegetación ligera caracterizado por vegetación esporádica y con poca vigorosidad.

b. NDSI (Índice de diferencia normalizada de suelos)

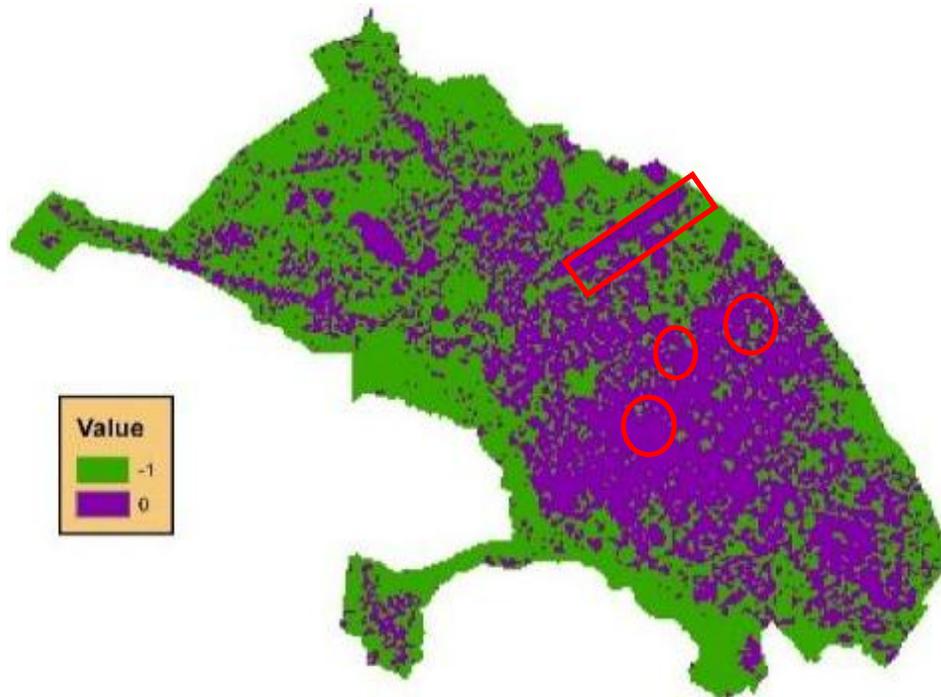


Figura 71. Zonas representativas del NDSI



Figura 72. Aeropuerto de Riobamba localizado en la parroquia Velasco

Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 73. Terreno baldío en el barrio San Antonio del Aeropuerto de parroquia Velasco

Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 74. Zona industrial fábrica de cerámica

Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 75. Zona comercial centro de Riobamba

Fuente: (Google Earth, 2016)

Al realizar el análisis de uso de suelo de la ciudad de Riobamba se identificó que prevalece en Riobamba es de tipo: residencial, residencial – comercial e industrial, existiendo también lotes baldíos y áreas dedicados para la agricultura pero en pequeñas extensiones.

c. SAVI (Índice de vegetación ajustada al suelo)

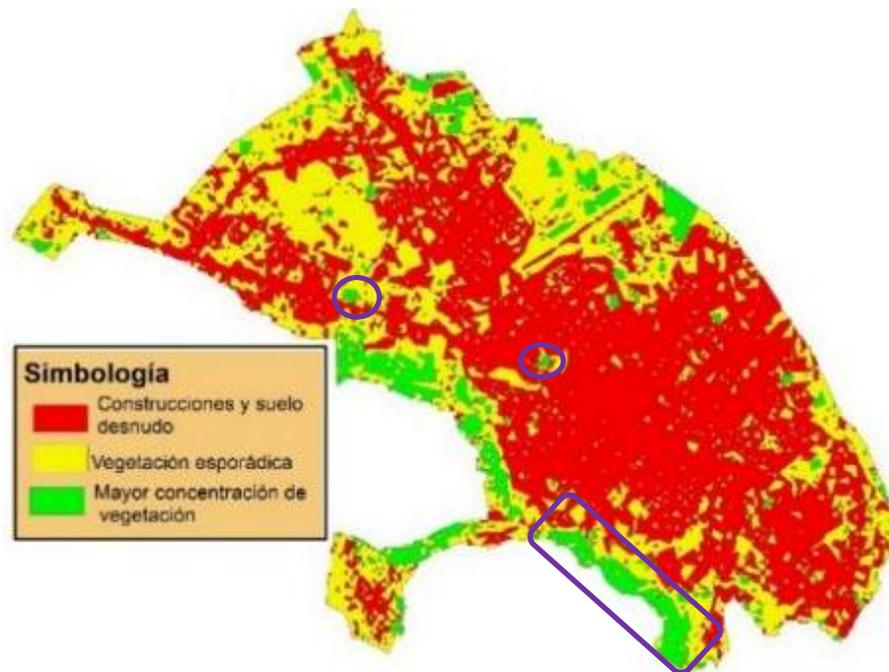


Figura 76. Zonas representativas del SAVI



Figura 77. El parque Ecológico localizado en la parroquia Velóz

Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 78. Estadio Olímpico de la Ciudad de Riobamba

Fuente: (Google Earth, 2016)

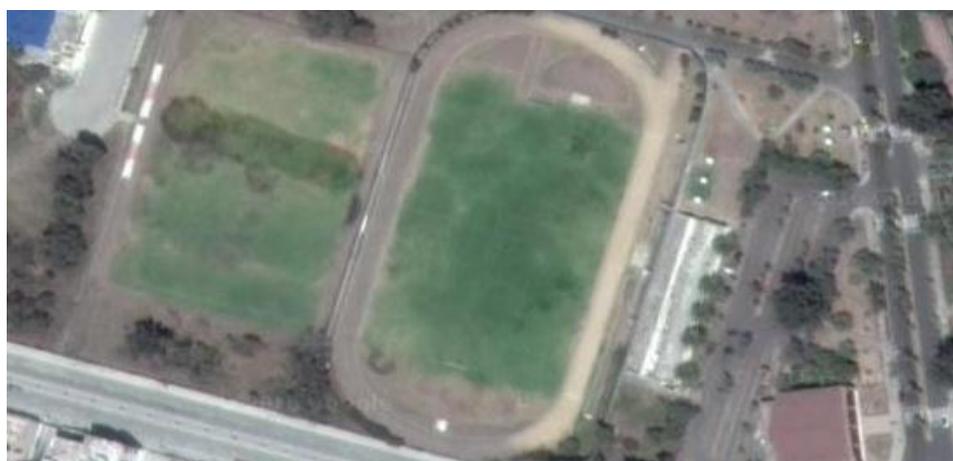


Figura 79. Estadio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Fuente: (Google Earth, 2016)

A lo que corresponde al índice de vegetación ajustada al suelo, los lugares más representativos son el estadio de Riobamba, el Parque Ecológico y el estadio de la ESPOCH, estos sitios corresponden al grupo de alto nivel de vegetación lo que corresponde también a vegetación sana, esto se debe a que en estos sitios el riego es constante lo cual ayuda a que la planta no pierda su vigorosidad.

d. NDWI (Índices de agua de diferencia normalizada)

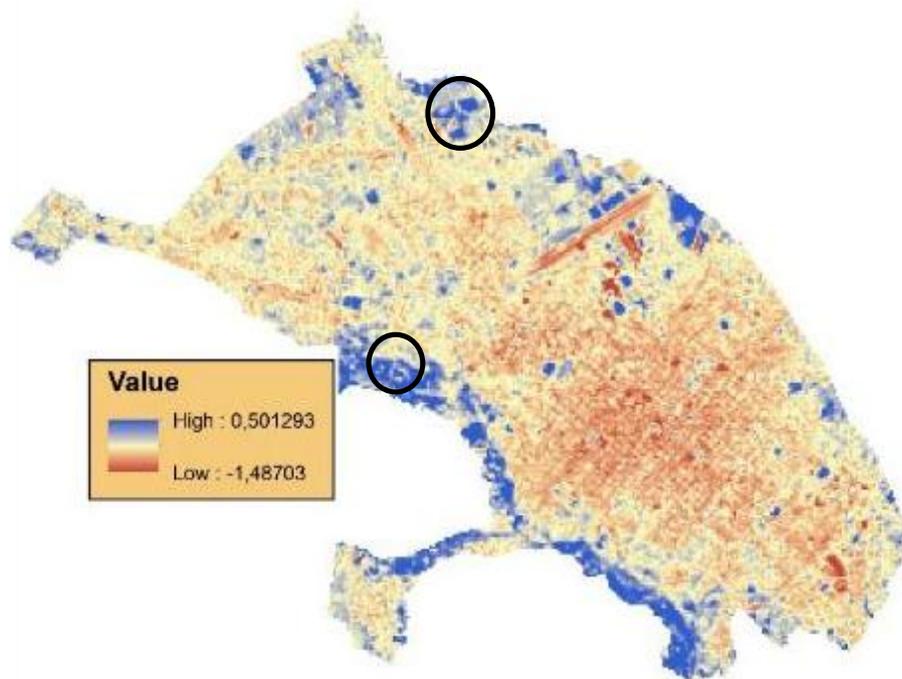


Figura 80. Zonas representativas del NDSI



Figura 81. Área de cultivos correspondiente al barrio el Batán

Fuente: (Google Earth, 2016)



Figura 82. Área correspondiente al barrio San Miguel de Tapi en la parroquia Velasco

Fuente: (Google Earth, 2016)

A excepción de los lugares cercanos al Río Chubunga, existen también otros lugares representativos con lo que corresponde a suelo húmedo, estos lugares en específico son terrenos baldíos ubicados en las zonas extremas de la ciudad de Riobamba en los cuales se siembra constantemente y tienen un sistema de riego por canales lo cual mantiene en constante humedad el suelo.

e. TS (Temperatura de Superficie)

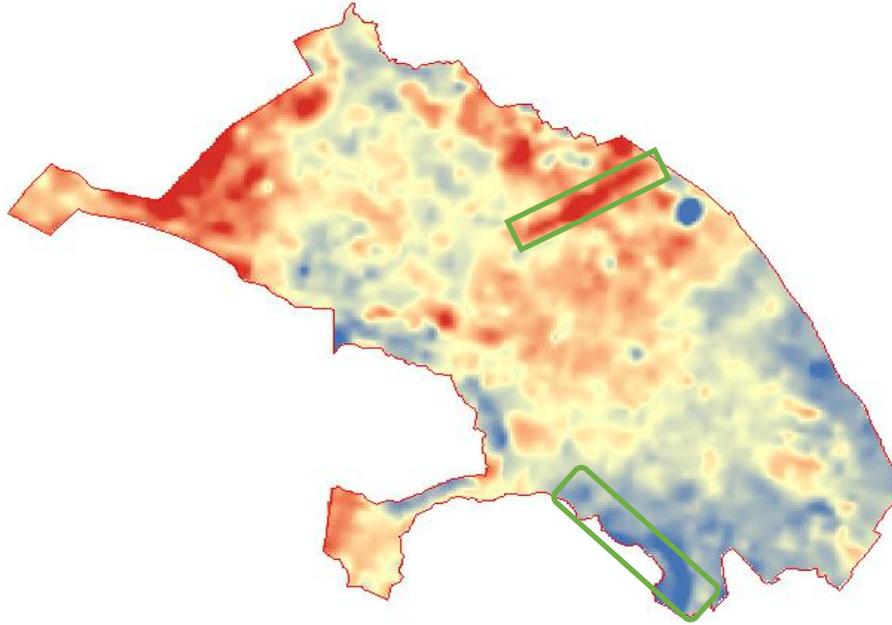


Figura 83. Zonas representativas del TS



Figura 84. Aeropuerto de Riobamba localizado en la parroquia Velasco, donde la temperatura de superficie llega hasta los 42°C

Fuente: (Google Earth, 2016)

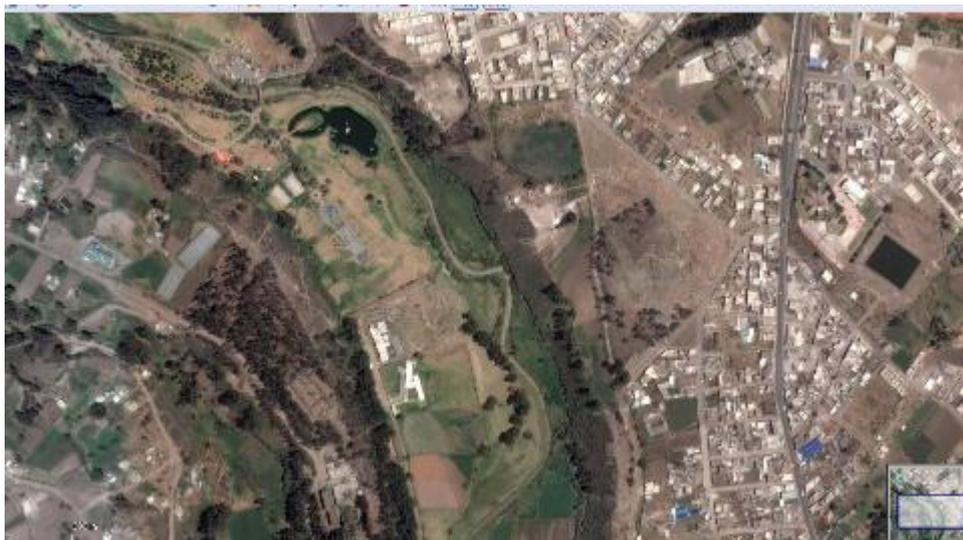


Figura 85. Parque Ecológico localizado en la parroquia Velóz, donde se tuvo una temperatura de superficie de 11°C

Fuente: (Google Earth, 2016)

Las zonas industriales residencial, residencial – comercial cubiertas en su mayoría por techos de color gris tienen una temperatura superficial mayor a la de las zonas verdes que hallamos dentro de la ciudad y en las zonas externas. Esto demuestra en casos puntuales que la diferencia en la TS entre las diferentes estructuras tiene un valor considerable. Estos datos arrojan importantes resultados en cuanto al confort térmico dentro de las instalaciones como oficinas o fábricas, pues una temperatura superficial mayor aumentará la temperatura interna de estas estructuras siendo estas de 1 a 3 °C mayor a la temperatura de la zona periferia.

Una variable que facilite que la temperatura de suelo llegue a niveles altos es el tipo de suelo, estos es a que Riobamba posee un tipo de suelo arenoso con restos de material piro plástico en proceso de erosión cuyas características es retener el calor y no la humedad, esto se ve representado principalmente en los terrenos baldíos.

VII. CONCLUSIONES

A. 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.

B. Se determinó que el NDVI, determina la calidad de vegetación de la ciudad de Riobamba obteniendo un rango entre -0.078 a 0.83, lo que determina que va desde suelo desnudo y construcciones hasta mayor concentración de vegetación, siendo Lizarzaburu del 30/10/2014 la más representativa con relación a las demás parroquias.

C. Del análisis de NDVI y SAVI se determinó que son dos índices que permiten diferenciar la cobertura vegetal de la cobertura urbana, y que dentro de las coberturas vegetales facilitan la identificación de aquellas que tienen mayor capacidad de retención de humedad en las hojas. También son dos variables importantes en el momento de analizar la relación entre las coberturas y la TS, debido a que se correlacionan de manera significativa y permiten reconocer los tipos de cobertura que por sus características fenológicas favorecen el calentamiento de la superficie terrestre.

D. El déficit hídrico relaciona la temperatura superficial y el índice de vegetación, es decir a mayor temperatura mayor déficit hídrico; lo contrario sucede con la cobertura vegetal, a mayor temperatura menor cobertura vegetal. En el año 2014 el déficit hídrico fue moderado, en la ciudad de Riobamba es característico del lugar debido a su ubicación topográfica, ya que se caracteriza por ser una zona seca con precipitaciones anuales de 200 a 500 mm.

E. Con lo que respecta el NDWI la parroquia Lizarzaburu del año 2014 es que mayor cantidad de humedad posee siendo esto de 243,06 ha, cabe recalcar también que la humedad del suelo en las parroquias Maldonado y Velasco no varía en gran cantidad en los 3 años, esto se debe a que existen terrenos baldíos en los cuales se tiene cultivos a pequeña escala lo que hace que este tipo de suelo se mantengan húmedo.

F. Mediante la aplicación del análisis de varianza con un factor en el programa SPSS se pudo determinar, que los indicadores ambientales obtenidos con medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) es decir no existe significancia estadística entre los diversos años, pero si existe entre las parroquias.

G. Con el análisis de componentes principales la distribución espacial de los indicadores ambientales evidencia una alta correlación entre ellos, positiva o negativa, lo cual intuitivamente parece estar explicando un mismo fenómeno, la variable más significativas son suelo desnudo y construcciones que tienen relación con la temperatura máxima y vegetación ligera de SAVI, a lo que corresponde a tipos de vegetación se pudo determinar que se relacionan entre sí y con el suelo húmedo.

H. La aplicación de cálculos a los indicadores ambientales obtenidos del modelo estadístico ANOVA en el programa InfoStat, se pudo categorizar mediante escalas arbitrarias máximas y mínimas a las variables ambientales más representativas, determinando así el ICA de la ciudad de Riobamba correspondiente a 2,78 que se encuentra dentro de la categoría regular.

I. Se determinó que los resultados obtenidos de las variables de los índices de calidad ambiental estudiados, concuerdan con la información obtenida de las fotos aéreas, lo cual valida los resultados obtenidos in situ.

VIII. RECOMENDACIONES

A. Realizar un análisis multitemporal con las diferentes imágenes satelitales con la finalidad de detectar cambios en el uso de la tierra y climáticos, aumento de la erosión, así como el seguimiento de cultivos, avance de la frontera urbanística, variación de la vegetación, entre otros.

B. Trabajar con imágenes satelitales de mejor resolución espacial debido a que las imágenes Landsat 8 tienen una resolución de 30 metros de altura, que permitan obtener a mejor detalle los resultados de los índices de calidad ambiental e identificar de manera más precisos datos que se obtengan mediante la aplicación de fórmulas matemáticas.

C. Detectar cambios en la temperatura superficial comparada con años anteriores, para estudios de cambio climático en sitios específicos.

D. Realizar un estudio más detallado por barrios de los mismos indicadores ambientales para tener información precisa que sirva para la gestión y planificación de la ciudad, en base a la generación de políticas públicas.

E. Trabajar con un computador que posea un buen sistema operativo y memoria RAM ya que el procesamiento de estas imágenes requieren de mucho tiempo y espacio de memoria en el disco duro debido a que los archivos con cuales se trabaja pesan varias gigas.

F. Se actualice el uso de suelo de la ciudad de Riobamba debido a que se está trabajando con datos correspondientes al 2003, esto hace que haya confusión al momento de procesar y comparar los resultados obtenidos de las imágenes satelitales.

G. De los resultados obtenidos se pudo identificar que la ciudad de Riobamba carece de espacios verdes para la recreación, con ello se propone realizar proyectos encaminados a la creación de nuevos espacios verdes con la finalidad de tratar de cumplir el estándar internacional de 9 metros cuadrados por persona propuesto por Organización Mundial de la Salud.

H. La aplicación de los indicadores obtenidos se lo puede realizar en varios programas estadísticos informativos como el “INFOSAT”, “SPSS”, pero se recomienda utilizar otros programas y modelos estadísticos que permitan estimar el ICA de la ciudad de Riobamba y así realizar comparaciones entre los resultados de cada modelo estadístico para la gestión urbana en futuras investigaciones.

IX. 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 realizó 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 extensión en hectáreas que ocupa cada variable del indicador en la ciudad de Riobamba, siendo el NDVI más representativo el del 30/10/2014 correspondiente a vegetación media con 247,98 ha, a lo respecta a el NDSI el más representativo es el del 15/09/2015 correspondiente a suelo desnudo y construcciones con una extensión aproximada de 2328,64 ha, y con lo que respecta al NDWI la fecha más representativa es el 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 es el ANOVA y componentes principales, cuyos resultados nos 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 claves: índice de calidad ambiental, calidad ambiental urbano, imágenes de satélite de lantsad



X. SUMMARY

The present research proposes: to estimate the urban environmental quality index, based on satellite images of lantsad 8, whose processing was carried out on the basis of five indices (vegetation, ground, water and surface temperature) whose results of the digital process, were transformed to polygons in order to obtain an approximate data corresponding extension in hectares that occupy each variable of the indicator in the city of Riobamba, Being the NDVI more representative the one of 10/30/2014 corresponding to the average vegetation with 247,98 ha, with respect to the NDSI the most representative is the 15/09/2015 corresponding to bare ground and constructions with an approximate extension of 2328, 64 ha. and with respect to the NNDWI the most representative date is the 10/30/2014, corresponding to ground moisture with an extension of 697.71 ha. For the determination of the superficial temperature the methodology of conversion of satellite images of the United States Geological Service (USGS) was used, the data of temperature were transformed to °C since originally they are in °K. Identifying the lowest temperature of 11,7°C and maximum of 42°C. For the determination of ICA was made based on the application of statistical models such as ANOVA and main components, whose results allowed us to determine the statistical significance between parishes and the correlation between each variable of the environmental quality indexes, which by means of arbitrary maximum scales and minimum it was possible to determine that the environmental quality index of the Riobamba city is 2,78 corresponding to regular.

Key Words: ENVIRONMENTAL QUALITY INDEX, URBAN ENVIRONMENTAL QUALITY, LANTSAD SATELLITE IMAGES 8.



XI. BIBLIOGRAFÍA

- Abraira, V. (2000). *Métodos multivariantes en bioestadística análisis de la varianza*. Recuperado el 2 de mayo de 2016, de http://www.hrc.es/bioest/Anova_1.html
- Administracion de Parques Nacionales. (2005). *Protocolo para el pre procesamiento de imagenes satelitales Landsat para aplicaciones de la administracion de parques nacionales*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/34487/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Alexander, A. (2013). *Productos LDCM - Landsat 8*. Bogotá, Colombia. Recuperado el Martes de Mayo de 2016, de <http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- Arciniegas, M. (2011). *Fundamentos de los sistemas de información geográfica*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://catalogo.iaen.edu.ec/cgi-rtyuibin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=24791>
- Arozarena, A. (2001). *Teledetección y sistemas de tratamiento digital de imágenes*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6489/3/T-UCE-0004-17.pdf>
- Basterra, I. (2010). *Teledetección imágenes satelitales procesamiento digital de imágenes*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://ing.unne.edu.ar/dep/goeciencias/fotointer/pub/teoria2011/parte02/tdi.pdf>
- Cabrera, C., Maldonado, M & Arévalo, W. (2004). *Relaciones entre calidad ambiental y calidad de vida en Lima metropolitana. Departamento académico de ingeniería geográfica*. Lima, Perú. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de [file:///C:/Users/Admin/Downloads/Villa%20Roa%20Liliana%20&%20Villa%20Roa%20Tatiana%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Admin/Downloads/Villa%20Roa%20Liliana%20&%20Villa%20Roa%20Tatiana%20(2).pdf)
- Castaño, S., Ruíz, J & Vela, A. (2008). *La teledetección y sus bases. Sección de teledetección y sistemas de información geográfica*. Quito, Ecuador. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6489/3/T-UCE-0004-17.pdf>
- Choudhury, G. (1994). *Multidimensional transform inversion whit applications to the transient M/G/1 queue*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022010000100006
- Chuvieco, E. (2010). *Teledeteccion ambiental*. Alcalá de Henares, España: Ariel. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://www.fao.org/3/a-i2560s/i2560s07.pdf>
- Cultura y Naturaleza Internacional. (2007). *Medio ambiente urbano*. Loja, Ecuador. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de http://naturalezaycultura.org/espanol/images/docs/GEO_LOJA_02.pdf

- Daza, W. (2008). *La intervención en el espacio público como estrategia para el mejoramiento de la calidad de vida urbana*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/arquitectura/tesis23.pdf>
- Departamento de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras UBA. (2010). *Cátedra de cartografía*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de https://www.educ.ar/dinamico/UnidadHtml__get__49e58845-3459-4baa-b5ee-2f343f9fc627/14657/data/afdcf928-c849-11e0-81f9-e7f760fda940/index1.ht
- Escobar, L. (2006). *Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas*. *Eure*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022010000100006
- Gao, B & Kaufman, Y. (2002). *La selección de los 1.375 micrómetros MODIS canal de percepción remota de cirrus nubes y aerosoles estratosférico desde el espacio*, *journal of the atmospheric sciences*, 52 (23). Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <https://translate.google.com.ec/translate?hl=es&sl=en&u=http://landsat.usgs.gov/landsat8.php&prev=search>
- Gobierno Autonomo Descentralizado Municipal de Riobamba. (2016). *Ubicación geográfica del cantón Riobamba*. Riobamba, Chimborazo, Ecuador. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://www.iadb.org/en/topics/urban-development/housing,2850.html>.
- 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 2016, de <http://www.girobi.com/recursos/pdf/AplicacionSIGaEAE.pdf>
- Google Earth. (2016). *Imágenes satelitales de la ciudad de Riobamba*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2016, de <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
- Holzman, M. (2012). *Estimación del estrés hídrico en cultivos y su relación con rendimientos en la región Pampeana, mediante imágenes de temperatura*. Argentina. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6489/3/T-UCE-0004-17.pdf>
- Huete, A. (1988). *A soil-adjusted vegetation index (SAVI)*, *remote sensing of environment*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003442578890106X>
- Hunt, R. (1987). *Measurement of leaf relative water content by infrared reflectance*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de https://ecaths1.s3.amazonaws.com/sigposg/Leaf%20relative%20water%20content%20infrared%20reflectance_Hunt_1987.pdf

- Sobrinoa, J., & Muñoz, J. (2004). *Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5*. http://www.uv.es/ucg/articulos/2005/Publications_2004_10.pdf. Obtenido de http://www.uv.es/ucg/articulos/2005/Publications_2004_10.pdf
- Labrador, G. (2012). *Satélites de teledetección para la gestión del territorio*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de http://www.gmrcanarias.com/wp-content/uploads/2016/01/20_catalogo_satelites_es.pdf
- 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 2016, de http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_htmls/chap-ter11/chapter11
- Lillesand, T. (2014). *El índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI)*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://sistemasdeinformaciongeografica911.blogspot.com/2014/05/el-indice-diferencial-de-vegetacion.html>
- Lloyd, C. (2013). *Mapbox: The next generation of map design*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <https://www.mapbox.com>
- Maldonado, P. (2016). *Demografía: conceptos y técnicas fundamentales*. España: Plaza y Valdés Editores. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/4238/1/23T0467%20.pdf>
- Metodología de mapeo territorial comunidades nativas Cacataibo. (2008). *Mapeo territorial*. Recuperado el Martes de Mayo de 2016, de http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TIPULA%202008%20Metodologia%20de%20Mapeo%20Territorial-SPANISH.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). *Índice de Calidad Ambiental Urbana*. Bogotá, Colombia. Recuperado el Martes de Mayo de 2016, de <http://www.ideam.gov.co/web/siac/urbano>
- Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2012). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental*. Subsecretaría de Patrio Natural. Quito, Ecuador.
- Muñoz, P. (2014). *ArcView*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://es.scribd.com/doc/5560197/ArcView-3-2#scribd>
- National Aeronautics and Space Administration. (2010). *Earth Observatory*. Recuperado el Martes de Mayo de 2016, de http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php
- Navarro, M. (2011). *Sistema de información geográfica*. Barcelona, España. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=xip1wtr8k58C&oi=fnd&pg=PA15&dq=Navarro+2011.%09SISTEMAS+DE+INFORMACI%C3%93N+GEOGR%C3%81FICA+\(SIG\).&ots=OiilmAApIt&sig=1O8-](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=xip1wtr8k58C&oi=fnd&pg=PA15&dq=Navarro+2011.%09SISTEMAS+DE+INFORMACI%C3%93N+GEOGR%C3%81FICA+(SIG).&ots=OiilmAApIt&sig=1O8-)

fAgkpetSz00xu5FZd8IErrg#v=onpage&q=Navarro%202011.%09SISTEMAS%20DE%20INFORMACI%C3%93N

- Orozco, D. (2014). *Mapa y mapa topográfico*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://conceptodefinicionde/mapa/http://www.bibliois.es.com.ar/Contenido/500/550/mapa+topografico.pdf>
- Pérez, C., & Muñoz, A. (2006). *Teledetección nociones y aplicaciones*. Salamanca, España. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6489/3/T-UCE-0004-17.pdf>
- 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 2016, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6489/3/T-UCE-0004-17.pdf>
- Posada, E. (2012). *Manual de practicas de percepción remota*. Bogota, Colombia. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- Puch, C. (2012). *Manual práctico de G.P.S. Introducción al sistema global de posición*. Madrid, España. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://cata.iaen.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.blionumber=24791jhypdf>
- 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 2016, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022010000100006
- Santiago, F. (2011). *Análisis de componentes principales*. Madrid, España. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://www.fuenterrebollo.com/Economicas/ECONOMETRIA/MULTIVARIANTE/ACP/ACP.pdf>
- Sistema Nacional de Información Ambiental de Nicaragua. (s/f). *Marco conceptual y metodológico para la construcción de indicadores ambientales*. Nicaragua. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de http://www.bio-nica.info/biblioteca/Marena2006PAMs_cco.pdf
- Therburg, D. (2002). *Modelo de indicadores ambientales*. Mendoza, Argentina. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/3152/therburgdincalopezproyeccion3.pdf
- United States Geological Survey. (2014). *Landsat data continuity misión (LDCM)*. USGS EROS. EEUU. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- Vásconez, S. (2000). *Hacia una nueva gestión ambiental urbana*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/43648.pdf>
- Vega, M. (2010). *Teledetección y medio ambiente*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de http://www.aet.org.es/files/guia_teledeteccion_medio_ambiente.pdf

- 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 2016, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6489/3/T-UCE-0004-17.pdf>
- Wan, Z., Wang, P & LI, X. (2004). *Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drouht in the southern great plains*. Recuperado el 3 de Mayo de 2016, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6489/3/T-UCE-0004-17.pdf>
- Weng, Q. (2003). *Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. Photogrammetric engineering and remote sensing*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://qihaoweng.net/refereed%20journal/rse04.pdf>
- Zalazar , P & Jacobo, C . (s/f). *Desarrollo de criterios e indicadores ambientales para la construcción en la región NEA*. Recuperado el 2 de Mayo de 2016, de <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2002/07-Tecnologicas/T-021.pdf>

XII. ANEXOS

A. ANEXOS 1. METADATOS PARA CALCULAR LOS INDICADORES AMBIENTALES DEL 30 DE OCTUBRE DEL 2014.

```
GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
REQUEST_ID = "0501410309703_00008"
LANDSAT_SCENE_ID = "LC80100612014303LGN00"
FILE_DATE = 2014-10-30T19:40:41Z
STATION_ID = "LGN"
PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.4.0"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
DATA_TYPE = "L1T"
ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
SENSOR_ID = "OLI_TIRS"
WRS_PATH = 10
WRS_ROW = 61
NADIR_OFFNADIR = "NADIR"
TARGET_WRS_PATH = 10
TARGET_WRS_ROW = 61
DATE_ACQUIRED = 2014-10-30
SCENE_CENTER_TIME = 15:26:51.8719763Z
CORNER_UL_LAT_PRODUCT = -0.39618
CORNER_UL_LON_PRODUCT = -79.79943
CORNER_UR_LAT_PRODUCT = -0.39563
CORNER_UR_LON_PRODUCT = -77.75207
CORNER_LL_LAT_PRODUCT = -2.50463
CORNER_LL_LON_PRODUCT = -79.79832
CORNER_LR_LAT_PRODUCT = -2.50113
CORNER_LR_LON_PRODUCT = -77.74906
CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 633600.000
CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -43800.000
CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 861600.000
CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -43800.000
CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 633600.000
CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -276900.000
CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 861600.000
CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -276900.000
PANCHROMATIC_LINES = 15541
PANCHROMATIC_SAMPLES = 15201
REFLECTIVE_LINES = 7771
REFLECTIVE_SAMPLES = 7601
THERMAL_LINES = 7771
THERMAL_SAMPLES = 7601
FILE_NAME_BAND_1 = "LC80100612014303LGN00_B1.TIF"
FILE_NAME_BAND_2 = "LC80100612014303LGN00_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 = "LC80100612014303LGN00_B3.TIF"
FILE_NAME_BAND_4 = "LC80100612014303LGN00_B4.TIF"
```

```
FILE_NAME_BAND_5 = "LC80100612014303LGN00_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 = "LC80100612014303LGN00_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 = "LC80100612014303LGN00_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_8 = "LC80100612014303LGN00_B8.TIF"
FILE_NAME_BAND_9 = "LC80100612014303LGN00_B9.TIF"
FILE_NAME_BAND_10 = "LC80100612014303LGN00_B10.TIF"
FILE_NAME_BAND_11 = "LC80100612014303LGN00_B11.TIF"
FILE_NAME_BAND_QUALITY = "LC80100612014303LGN00_BQA.TIF"
METADATA_FILE_NAME = "LC80100612014303LGN00_MTL.txt"
BPF_NAME_OLI = "L08BPF20141030141316_20141030155209.01"
BPF_NAME_TIRS = "LT8BPF20141030150204_20141030155303.01"
CPF_NAME = "L8CPF20141001_20141231.01"
RLUT_FILE_NAME = "L8RLUT20130211_20431231v09.h5"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 37.62
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 119.86327938
SUN_ELEVATION = 64.09053478
EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9930185
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 2
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 186
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 7.276
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 5.673
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 4.556
GROUND_CONTROL_POINTS_VERIFY = 64
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY = 5.272
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 770.78754
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -63.65189
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 789.29584
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -65.18031
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 727.32941
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -60.06310
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 613.32513
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -50.64859
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 375.32437
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -30.99441
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 93.33976
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.70803
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 31.46050
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.59802
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 694.11523
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -57.32026
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 146.68527
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -12.11332
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_10 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_10 = 0.10033
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_11 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_11 = 0.10033
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 1.210700
```

```

REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_6 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_8 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_9 = -0.099980
END_GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_8 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_8 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_9 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_9 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_10 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_10 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_11 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_11 = 1
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2733E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.3039E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.2015E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 1.0132E-02
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.2001E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5419E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.1971E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1466E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.4231E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -63.66462
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -65.19335

```

```
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -60.07511
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -50.65872
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -31.00061
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.70957
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.59854
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -57.33173
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -12.11574
RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000
REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.10000
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.89
K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.89
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.08
K2_CONSTANT_BAND_11 = 1201.14
END_GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 17
GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
ORIENTATION = "NORTH_UP"
RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE END
```

**B. ANEXOS 2. METADATOS PARA CALCULAR LOS INDICADORES
AMBIENTALES DEL 15 DE SEPTIEMBRE DEL 2015.**

```
GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
REQUEST_ID = "0501509156530_00009"
LANDSAT_SCENE_ID = "LC80100612015258LGN00"
FILE_DATE = 2015-09-15T21:20:03Z
STATION_ID = "LGN"
PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.5.1"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
DATA_TYPE = "L1T"
ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
SENSOR_ID = "OLI_TIRS"
WRS_PATH = 10
WRS_ROW = 61
NADIR_OFFNADIR = "NADIR"
TARGET_WRS_PATH = 10
TARGET_WRS_ROW = 61
DATE_ACQUIRED = 2015-09-15
SCENE_CENTER_TIME = "15:26:38.2867705Z"
CORNER_UL_LAT_PRODUCT = -0.39619
CORNER_UL_LON_PRODUCT = -79.81291
CORNER_UR_LAT_PRODUCT = -0.39564
CORNER_UR_LON_PRODUCT = -77.76553
CORNER_LL_LAT_PRODUCT = -2.50464
CORNER_LL_LON_PRODUCT = -79.81181
CORNER_LR_LAT_PRODUCT = -2.50117
CORNER_LR_LON_PRODUCT = -77.76254
CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 632100.000
CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -43800.000
CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 860100.000
CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -43800.000
CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 632100.000
CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -276900.000
CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 860100.000
CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -276900.000
PANCHROMATIC_LINES = 15541
PANCHROMATIC_SAMPLES = 15201
REFLECTIVE_LINES = 7771
REFLECTIVE_SAMPLES = 7601
THERMAL_LINES = 7771
THERMAL_SAMPLES = 7601
FILE_NAME_BAND_1 = "LC80100612015258LGN00_B1.TIF"
FILE_NAME_BAND_2 = "LC80100612015258LGN00_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 = "LC80100612015258LGN00_B3.TIF"
FILE_NAME_BAND_4 = "LC80100612015258LGN00_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 = "LC80100612015258LGN00_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 = "LC80100612015258LGN00_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 = "LC80100612015258LGN00_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_8 = "LC80100612015258LGN00_B8.TIF"
```

```
FILE_NAME_BAND_9 = "LC80100612015258LGN00_B9.TIF"
FILE_NAME_BAND_10 = "LC80100612015258LGN00_B10.TIF"
FILE_NAME_BAND_11 = "LC80100612015258LGN00_B11.TIF"
FILE_NAME_BAND_QUALITY = "LC80100612015258LGN00_BQA.TIF"
METADATA_FILE_NAME = "LC80100612015258LGN00_MTL.txt"
BPF_NAME_OLI = "LO8BPF20150915150142_20150915154820.01"
BPF_NAME_TIRS = "LT8BPF20150915145748_20150915154953.01"
CPF_NAME = "L8CPF20150701_20150930.02"
RLUT_FILE_NAME = "L8RLUT20150303_20431231v11.h5"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 35.81
CLOUD_COVER_LAND = 35.81
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "NOMINAL"
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 80.29323237
SUN_ELEVATION = 63.68953212
EARTH_SUN_DISTANCE = 1.0056872
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 2
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 219
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 6.808
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 5.104
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 4.505
GROUND_CONTROL_POINTS_VERIFY = 87
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY = 5.280
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 751.49060
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -62.05834
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 769.53558
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -63.54850
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 709.12042
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -58.55940
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 597.97028
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -49.38058
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 365.92801
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -30.21845
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 91.00297
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.51505
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 30.67287
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.53298
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 676.73779
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -55.88523
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 143.01295
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -11.81006
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_10 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_10 = 0.10033
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_11 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_11 = 0.10033
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 1.210700
```

```
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_6 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_8 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_9 = -0.099980
END_GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_8 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_8 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_9 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_9 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_10 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_10 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_11 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_11 = 1
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2414E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2712E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.1714E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.8781E-03
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.0449E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5033E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.0670E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1179E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.3625E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -62.07075
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -63.56121
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -58.57111
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -49.39046
```

```

RADIANCE_ADD_BAND_5 = -30.22450
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.51656
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.53348
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -55.89641
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -11.81242
RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000
REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.100000
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANT
K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.8853
K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.8883
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.0789
K2_CONSTANT_BAND_11 = 1201.1442
END_GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 17
GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
ORIENTATION = "NORTH_UP"
RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE END

```

C. ANEXOS 3. METADATOS PARA CALCULAR LOS INDICADORES AMBIENTALES DEL 5 DE ENERO DEL 2016

```

GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
REQUEST_ID = "0701605172800_00005"
LANDSAT_SCENE_ID = "LC80100612016005LGN00"

```

FILE_DATE = 2016-05-18T21:13:51Z
STATION_ID = "LGN"
PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.6.2"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
DATA_TYPE = "L1T"
ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
SENSOR_ID = "OLI_TIRS"
WRS_PATH = 10
WRS_ROW = 61
NADIR_OFFNADIR = "NADIR"
TARGET_WRS_PATH = 10
TARGET_WRS_ROW = 61
DATE_ACQUIRED = 2016-01-05
SCENE_CENTER_TIME = "15:26:46.6576110Z"
CORNER_UL_LAT_PRODUCT = -0.39619
CORNER_UL_LON_PRODUCT = -79.80213
CORNER_UR_LAT_PRODUCT = -0.39563
CORNER_UR_LON_PRODUCT = -77.75476
CORNER_LL_LAT_PRODUCT = -2.50463
CORNER_LL_LON_PRODUCT = -79.80102
CORNER_LR_LAT_PRODUCT = -2.50114
CORNER_LR_LON_PRODUCT = -77.75176
CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 633300.000
CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -43800.000
CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 861300.000
CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -43800.000
CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 633300.000
CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -276900.000
CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 861300.000
CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -276900.000
PANCHROMATIC_LINES = 15541
PANCHROMATIC_SAMPLES = 15201
REFLECTIVE_LINES = 7771
REFLECTIVE_SAMPLES = 7601
THERMAL_LINES = 7771
THERMAL_SAMPLES = 7601
FILE_NAME_BAND_1 = "LC80100612016005LGN00_B1.TIF"
FILE_NAME_BAND_2 = "LC80100612016005LGN00_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 = "LC80100612016005LGN00_B3.TIF"
FILE_NAME_BAND_4 = "LC80100612016005LGN00_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 = "LC80100612016005LGN00_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 = "LC80100612016005LGN00_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 = "LC80100612016005LGN00_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_8 = "LC80100612016005LGN00_B8.TIF"
FILE_NAME_BAND_9 = "LC80100612016005LGN00_B9.TIF"
FILE_NAME_BAND_10 = "LC80100612016005LGN00_B10.TIF"
FILE_NAME_BAND_11 = "LC80100612016005LGN00_B11.TIF"
FILE_NAME_BAND_QUALITY = "LC80100612016005LGN00_BQA.TIF"
METADATA_FILE_NAME = "LC80100612016005LGN00_MTL.txt"
BPF_NAME_OLI = "LO8BPF20160105150924_20160105155204.01"
BPF_NAME_TIRS = "LT8BPF20151225202015_20160110080819.04"
CPF_NAME = "L8CPF20160101_20160331.03"
RLUT_FILE_NAME = "L8RLUT20150303_20431231v11.h5"

```
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 54.65
CLOUD_COVER_LAND = 54.65
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
TIRS_SSM_MODEL = "FINAL"
TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "ESTIMATED"
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 129.67603046
SUN_ELEVATION = 55.23479130
EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9833211
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 4
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 94
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 8.134
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 5.833
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 5.669
GROUND_CONTROL_POINTS_VERIFY = 48
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY = 7.040
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 786.06537
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -64.91354
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 804.94049
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -66.47225
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 741.74579
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -61.25361
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 625.48187
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -51.65249
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 382.76370
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -31.60875
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 95.18985
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.86081
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 32.08408
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.64951
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 707.87329
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -58.45641
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 149.59273
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -12.35342
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_10 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_10 = 0.10033
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_11 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_11 = 0.10033
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 1.210700
```

```
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_6 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_8 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_9 = -0.099980
END_GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_8 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_8 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_9 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_9 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_10 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_10 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_11 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_11 = 1
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2985E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.3297E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.2253E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 1.0333E-02
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.3230E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5725E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.3001E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1694E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.4712E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -64.92652
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -66.48555
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -61.26586
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -51.66283
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -31.61507
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.86238
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.65004
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -58.46810
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -12.35589
RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000
REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05
```

```
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.100000
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.8853
K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.8883
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.0789
K2_CONSTANT_BAND_11 = 1201.1442
END_GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 17
GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
ORIENTATION = "NORTH_UP"
RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILEEND
```

D. ANEXO 4.DATOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE LA ESPOCH

| FECHA | TEMPERATURA °C | | | H. RELATIVA % | | | TENSIÓN VAPOR mib | PUNTO ROCIO °C | PRECIPITACIÓN mm | HELIOFANIA | | VIENTO | | PRESIÓN ATM. mm hg |
|----------|----------------|--------|--------|---------------|---------|--------|----------------------|-------------------|---------------------|------------|--------|-----------|---------------|-----------------------|
| | Media | Máxima | Minima | Media | Máxima | Minima | | | | Horas | % | Dirección | Velocidad m/s | |
| | MES: ENERO | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 16.1 | 24.8 | 10.6 | 68.8 | 93.0 | 36.0 | 11.4 | 8.9 | 0.0 | 9.5 | 79.0 | SE | 1.7 | 547.8 |
| 2 | 15.2 | 24.0 | 11.7 | 71.4 | 93.0 | 36.0 | 11.4 | 8.9 | 0.0 | 6.9 | 57.0 | SE | 3.0 | 547.9 |
| 3 | 16.0 | 25.0 | 9.6 | 66.4 | 92.0 | 35.0 | 11.3 | 8.8 | 0.0 | 8.6 | 77.0 | SE | 2.0 | 547.9 |
| 4 | 15.6 | 25.3 | 11.0 | 64.2 | 94.0 | 31.0 | 11.3 | 8.8 | 0.0 | 8.9 | 71.0 | SE | 2.0 | 548.3 |
| 5 | 16.3 | 25.7 | 9.0 | 70.7 | 94.0 | 32.0 | 11.3 | 8.8 | 0.0 | 9.9 | 82.0 | SE | 1.5 | 548.7 |
| 6 | 17.1 | 25.8 | 11.4 | 71.6 | 95.0 | 33.0 | 12.2 | 9.9 | 0.0 | 7.4 | 62.0 | SE-NE | 2.0 | 549.1 |
| 7 | 16.3 | 25.7 | 11.6 | 66.7 | 94.0 | 31.0 | 12.1 | 9.8 | 0.0 | 9.9 | 82.0 | SW-NE | 2.0 | 548.4 |
| 8 | 17.2 | 26.0 | 12.0 | 73.2 | 95.0 | 35.0 | 12.5 | 9.8 | 0.0 | 8.8 | 79.0 | SE | 2.2 | 547.5 |
| 9 | 16.9 | 24.8 | 12.6 | 67.3 | 92.0 | 30.0 | 11.9 | 10.3 | 4.0 | 6.0 | 50.0 | SE | 2.2 | 547.5 |
| 10 | 16.7 | 25.2 | 10.0 | 69.4 | 94.0 | 40.0 | 12.0 | 9.7 | 0.4 | 8.8 | 79.0 | SE | 2.2 | 547.5 |
| 11 | 16.6 | 25.4 | 12.6 | 72.6 | 96.0 | 35.0 | 12.1 | 9.7 | 0.0 | 4.5 | 37.0 | NW | 2.2 | 547.8 |
| 12 | 14.6 | 22.0 | 11.2 | 80.5 | 96.0 | 36.0 | 13.4 | 11.4 | 1.4 | 7.9 | 66.0 | SE-NE | 1.4 | 547.9 |
| 13 | 16.0 | 25.3 | 11.2 | 70.3 | 96.0 | 46.0 | 13.2 | 11.1 | 6.7 | 3.2 | 27.0 | SE | 3.0 | 547.8 |
| 14 | 15.8 | 24.3 | 11.0 | 65.5 | 96.0 | 26.0 | 12.3 | 10.0 | 9.8 | 8.9 | 72.0 | SE | 2.8 | 548.3 |
| 15 | 16.6 | 25.1 | 11.0 | 65.5 | 96.0 | 32.0 | 11.3 | 8.8 | 0.0 | 8.7 | 74.0 | SE | 2.0 | 548.0 |
| 16 | 14.9 | 23.6 | 8.9 | 72.0 | 96.0 | 32.0 | 11.0 | 8.4 | 0.0 | 10.4 | 87.0 | NE-SE | 2.4 | 547.6 |
| 17 | 16.3 | 23.2 | 11.6 | 66.0 | 95.0 | 39.0 | 11.6 | 9.2 | 0.0 | 3.5 | 29.0 | NW-SE | 1.8 | 547.6 |
| 18 | 15.5 | 22.6 | 10.2 | 71.5 | 95.0 | 39.0 | 11.8 | 9.3 | 0.0 | 6.9 | 57.0 | SE-NE | 1.6 | 548.1 |
| 19 | 14.0 | 19.4 | 11.2 | 81.6 | 96.0 | 61.0 | 12.1 | 9.8 | 0.0 | 3.5 | 29.0 | SE-NE | 2.0 | 547.9 |
| 20 | 14.9 | 24.5 | 10.8 | 75.6 | 96.0 | 39.0 | 13.6 | 11.5 | 2.1 | 1.6 | 13.0 | SE | 1.0 | 548.4 |
| 21 | 14.8 | 22.5 | 11.0 | 75.6 | 96.0 | 42.0 | 13.3 | 11.2 | 2.0 | 5.4 | 45.0 | SE | 1.8 | 548.7 |
| 22 | 16.3 | 24.8 | 11.5 | 70.6 | 96.0 | 34.0 | 12.6 | 11.2 | 12.6 | 3.7 | 31.0 | SE | 2.0 | 548.5 |
| 23 | 15.3 | 23.4 | 11.5 | 70.3 | 95.0 | 39.0 | 12.1 | 10.4 | 0.4 | 9.9 | 82.0 | SE | 2.4 | 548.5 |
| 24 | 14.1 | 22.1 | 11.2 | 80.0 | 96.0 | 40.0 | 12.2 | 9.9 | 0.0 | 9.2 | 77.0 | SE | 2.4 | 548.1 |
| 25 | 15.4 | 25.0 | 9.6 | 65.0 | 96.0 | 24.0 | 10.7 | 7.9 | 1.3 | 0.2 | 2.0 | SE | 1.0 | 548.9 |
| 26 | 14.5 | 26.7 | 7.2 | 61.9 | 93.0 | 15.0 | 9.6 | 6.2 | 2.1 | 8.7 | 72.0 | NE | 2.4 | 548.5 |
| 27 | 14.0 | 25.7 | 3.8 | 48.2 | 84.0 | 16.0 | 7.5 | 2.6 | 0.0 | 10.0 | 83.0 | SE | 2.2 | 548.0 |
| 28 | 14.0 | 24.0 | 7.8 | 68.1 | 95.0 | 41.0 | 10.6 | 7.7 | 0.0 | 10.9 | 91.0 | SE | 3.0 | 548.2 |
| 29 | 14.9 | 22.2 | 11.0 | 68.2 | 96.0 | 35.0 | 11.2 | 8.6 | 0.0 | 3.9 | 32.0 | SE | 2.0 | 547.8 |
| 30 | 15.2 | 23.2 | 11.4 | 64.6 | 94.0 | 32.0 | 11.0 | 8.3 | 0.0 | 2.8 | 23.0 | SE | 1.2 | 548.2 |
| 31 | 14.9 | 22.2 | 11.0 | 68.2 | 96.0 | 35.0 | 11.2 | 8.6 | 0.0 | 3.9 | 32.0 | SE | 2.0 | 547.8 |
| A | 483.5 | 752.3 | 327.0 | 2150.1 | 2929.0 | 1081.0 | 352.5 | 277.3 | 43.7 | 210.2 | 1747.0 | SE | 63.2 | 16443.9 |
| DE DATOS | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 30 | 30 | 31 | 31 | 31 | | 30 | 30 |
| A | 15.6 | 24.3 | 10.5 | 69.4 | 94.5 | 34.9 | 11.8 | 9.2 | 31 | 31 | 6.8 | 56.4 | 2.1 | 548.1 |
| 24 Hs. | 17.2 | 26.7 | 12.6 | 81.6 | 96.0 | 61.0 | 13.6 | 11.5 | 12.6 | 10.9 | 91.0 | | 3.0 | 549.1 |
| L | 9 | 27 | 10-12. | 20 | VIARIOS | 20 | 20 | 20 | 22 | 28 | 28 | | 2-11-28. | 6 |
| DÍAS | 1 | 1 | 2 | 1 | 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 3 | 1 |
| 14 Hs. | 14.0 | 19.4 | 3.8 | 48.2 | 84.0 | 15.0 | 7.5 | 2.6 | 0.0 | 0.2 | 2.0 | | 1.0 | 547.5 |
| 20-28-29 | 2 | 12 | 2 | 1 | 2 | 31 | 1 | 1 | 14 | 1 | 1 | | 2.0 | 547.8 |
| DÍAS | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 28 | 28 | VIARIOS | 25 | 25 | | 25 | 9 |

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH, 2016

| FECHA | TEMPERATURA °C | | | HUMEDAD RELATIVA % | | | TENSIÓN VAPOR mib | PUNTO ROCIO °C | PRECIPITACIÓN mm | HELIOFANIA | | VIENTO | | PRESIÓN ATM. mm hg | |
|---------------|----------------|--------|--------|--------------------|--------|--------|----------------------|-------------------|---------------------|------------|--------|-----------|---------------|-----------------------|-------|
| | Media | Máxima | Minima | Media | Máxima | Minima | | | | Horas | % | Dirección | Velocidad m/s | | |
| | MES: OCTUBRE | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 13.1 | 19.7 | 8.5 | 46.6 | 85.0 | 20.0 | 9.1 | 5.6 | 0.0 | 7.2 | 60.0 | NE | 3.4 | 548.7 | |
| 2 | 10.8 | 19.5 | 5.0 | 53.6 | 79.0 | 26.0 | 9.4 | 6.0 | 0.0 | 2.8 | 23.0 | NW-E | 1.2 | 548.5 | |
| 3 | 11.1 | 19.6 | 7.0 | 61.3 | 86.0 | 30.0 | 10.7 | 7.2 | 0.0 | 5.3 | 44.0 | SE | 2.2 | 548.9 | |
| 4 | 13.0 | 20.8 | 9.5 | 57.0 | 86.0 | 24.0 | 10.0 | 7.0 | 0.0 | 3.6 | 30.0 | SE | 2.0 | 548.2 | |
| 5 | 13.7 | 21.0 | 7.2 | 60.3 | 89.0 | 19.0 | 9.2 | 5.8 | 0.0 | 7.8 | 65.0 | NE | 2.0 | 548.4 | |
| 6 | 13.9 | 22.7 | 6.7 | 58.6 | 88.0 | 23.0 | 10.5 | 7.7 | 0.0 | 6.2 | 52.0 | SE | 2.5 | 548.1 | |
| 7 | 13.8 | 23.2 | 10.2 | 65.2 | 89.0 | 27.0 | 12.1 | 9.7 | 1.0 | 3.8 | 32.0 | SE | 3.0 | 548.2 | |
| 8 | 13.9 | 22.8 | 9.8 | 61.3 | 84.0 | 24.0 | 11.5 | 9.0 | 0.6 | 5.0 | 42.0 | SE | 2.6 | 547.5 | |
| 9 | 13.6 | 23.4 | 9.8 | 66.3 | 90.0 | 22.0 | 11.5 | 9.0 | 0.8 | 3.1 | 26.0 | NW | 1.6 | 547.3 | |
| 10 | 13.0 | | | 69.4 | 92.0 | 27.0 | 11.4 | 8.8 | 0.0 | 1.7 | 14.0 | | 1.0 | 549.4 | |
| 11 | 11.6 | 21.6 | 7.0 | 69.3 | 91.0 | 34.0 | 10.4 | 7.4 | 34.2 | 4.8 | 40.0 | SE | 1.9 | 548.7 | |
| 12 | 12.0 | 18.5 | 9.0 | 73.4 | 91.0 | 35.0 | 11.3 | 8.8 | 2.2 | 4.6 | 38.0 | SE | 1.8 | 549.0 | |
| 13 | 12.7 | 19.3 | 9.3 | 64.0 | 91.0 | 27.0 | 10.7 | 8.0 | 0.8 | 2.9 | 24.0 | SE | 2.3 | 549.3 | |
| 14 | 12.2 | 19.3 | 8.8 | 68.1 | 89.0 | 30.0 | 11.4 | 8.9 | 0.0 | 4.0 | 33.0 | SE | 2.0 | 549.3 | |
| 15 | 12.5 | 20.2 | 8.8 | 64.1 | 90.0 | 28.0 | 10.9 | 8.1 | 0.5 | 7.9 | 66.0 | SE-NE | 2.6 | 549.1 | |
| 16 | 12.5 | 19.9 | 8.3 | 63.6 | 89.0 | 27.0 | 11.3 | 8.7 | 0.0 | 6.1 | 51.0 | SE | 2.0 | 548.7 | |
| 17 | 12.9 | 21.3 | 9.2 | 65.0 | 88.0 | 27.0 | 11.0 | 8.4 | 0.0 | 5.0 | 42.0 | SE-NE | 1.5 | 548.7 | |
| 18 | 14.3 | 23.0 | 10.0 | 61.4 | 88.0 | 20.0 | 11.4 | 8.8 | 0.0 | 5.9 | 49.0 | SE | 1.5 | 548.4 | |
| 19 | 14.4 | 22.4 | 9.2 | 56.1 | 88.0 | 22.0 | 11.1 | 8.5 | 0.0 | 3.3 | 27.0 | SE | 0.8 | 548.6 | |
| 20 | 13.5 | 21.7 | 9.0 | 61.4 | 88.0 | 27.0 | 11.6 | 9.2 | 1.3 | 5.7 | 47.0 | SE | 1.8 | 548.3 | |
| 21 | 13.4 | 21.2 | 9.9 | 64.7 | 90.0 | 25.0 | 11.5 | 9.0 | 0.0 | 8.0 | 67.0 | SE | 1.4 | 548.4 | |
| 22 | 14.3 | 22.7 | 9.6 | 58.5 | 87.0 | 27.0 | 11.4 | 8.8 | 6.4 | 7.0 | 58.0 | SE | 1.8 | 548.1 | |
| 23 | 13.7 | 20.6 | 8.7 | 61.5 | 91.0 | 27.0 | 11.4 | 8.9 | 0.6 | 6.8 | 57.0 | SE | 1.5 | 548.8 | |
| 24 | 13.9 | 21.4 | 9.2 | 61.1 | 88.0 | 24.0 | 10.3 | 7.3 | 3.9 | 4.1 | 24.0 | NE | 1.5 | 548.1 | |
| 25 | 14.0 | 21.5 | 9.4 | 59.4 | 83.0 | 15.0 | 10.5 | 7.4 | 0.9 | 5.5 | 45.0 | NE | 2.5 | 547.9 | |
| 26 | 14.8 | 23.9 | 10.9 | 55.2 | 85.0 | 23.0 | 10.5 | 7.7 | 0.6 | 7.3 | 61.0 | SE | 2.5 | 548.7 | |
| 27 | 14.1 | 22.1 | 6.4 | 59.7 | 89.0 | 16.0 | 12.2 | 9.9 | 0.5 | 6.7 | 56.0 | SE | 2.0 | 547.5 | |
| 28 | 15.0 | 23.0 | 10.4 | 57.8 | 88.0 | 22.0 | 11.4 | 8.8 | 8.3 | 3.6 | 7.4 | 62.0 | SE | 2.0 | 547.5 |
| 29 | 14.9 | 23.2 | 10.5 | 57.8 | 86.0 | 17.0 | 11.0 | 8.3 | 1.3 | 8.4 | 70.0 | SE | 2.0 | 547.8 | |
| 30 | 15.1 | 24.2 | 9.8 | 51.6 | 86.0 | 14.0 | 11.1 | 8.4 | 0.8 | 8.8 | 73.0 | SE | 59.1 | 16452.0 | |
| 31 | 14.4 | 24.0 | 8.0 | 49.9 | 86.0 | 14.0 | 11.1 | 8.4 | 61.7 | 174.9 | 1457.0 | SE | 30.0 | 30.0 | |
| SUMA | 417.3 | 645.2 | 265.1 | 1871.4 | 2725.0 | 749.0 | 327.0 | 244.8 | 61.7 | 310.0 | 310.0 | | 2.0 | 548.4 | |
| DÍAS DE DATOS | 31.0 | 30.0 | 30.0 | 31.0 | 31.0 | 31.0 | 30.0 | 30.0 | 31.0 | 31.0 | 31.0 | | 3.4 | 549.4 | |
| MEDIA | 13.5 | 21.5 | 9.8 | 60.4 | 87.9 | 24.2 | 12.2 | 9.9 | 34.2 | 8.8 | 73.0 | | 1 | 11 | |
| MÁX. 24 Hs. | 15.1 | 24.2 | 10.9 | 73.4 | 92.0 | 35.0 | 12.2 | 28 | 11 | 31 | 31 | | 1 | 1 | |
| FECHA | 30 | 30 | 26 | 12 | 10 | 12 | 28 | 28 | 11 | 31 | 31 | | 1 | 1 | |
| Nº DE DÍAS | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 0.8 | 546.9 | |
| MIN. 24 Hs. | 10.8 | 18.5 | 5.0 | 46.6 | 79.0 | 14.0 | 11 | 1 | 14 | 1 | 1 | | 20 | 30 | |
| FECHA | 2 | 12 | 2 | 1 | 2 | 31 | 1 | 1 | 14 | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| Nº DE DÍAS | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 19 | 1 | 1 | | 1 | 1 | |

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH, 2016

| AÑO: 2015 | | | | | | | | | | MES: SEPTIEMBRE | | | | | |
|---------------|----------------|--------|--------|---------------|--------|--------|---------------------|-------------------|---------------------|-----------------|--------|-----------|---------------|-----------------------|--|
| FECHA | TEMPERATURA °C | | | H. RELATIVA % | | | TENSIÓN VAPOR mb | PUNTO ROCIO °C | PRECIPITACIÓN mm | HELIOFANIA | | VIENTO | | PRESIÓN ATM. mm hg | |
| | Media | Máxima | Mínima | Media | Máxima | Mínima | | | | Horas | % | Dirección | Velocidad m/s | | |
| 1 | 12.4 | 18.5 | 9.0 | 78.2 | 96.0 | 46.0 | 12.2 | 9.8 | 0.7 | 3.9 | 32.0 | SE | 2.8 | 549.1 | |
| 2 | 11.9 | 19.8 | 9.2 | 77.5 | 96.0 | 42.0 | 11.4 | 8.9 | 0.5 | 2.7 | 22.0 | SE | 2.2 | 549.5 | |
| 3 | 12.6 | 21.0 | 6.4 | 66.9 | 94.0 | 35.0 | 10.5 | 7.7 | 0.0 | 7.4 | 62.0 | SE-NE | 3.4 | 548.7 | |
| 4 | 12.8 | 20.5 | 6.8 | 68.2 | 93.0 | 35.0 | 11.4 | 8.8 | 0.0 | 6.0 | 50.0 | SE | 3.8 | 548.8 | |
| 5 | 11.9 | 20.6 | 3.9 | 66.6 | 88.0 | 42.0 | 9.7 | 6.5 | 0.0 | 6.3 | 52.0 | SE | 3.0 | 548.9 | |
| 6 | 14.0 | 21.5 | 9.9 | 70.3 | 93.0 | 39.0 | 11.8 | 9.4 | 0.0 | 6.7 | 56.0 | SE | 2.3 | 548.8 | |
| 7 | 13.2 | 21.4 | 8.4 | 67.5 | 93.0 | 38.0 | 11.0 | 8.4 | 0.3 | 5.3 | 44.0 | SE | 2.0 | 548.6 | |
| 8 | 13.2 | 21.6 | 7.6 | 61.0 | 92.0 | 35.0 | 10.4 | 7.5 | 0.0 | 10.0 | 83.0 | NE | 4.5 | 548.2 | |
| 9 | 11.8 | 21.0 | 5.6 | 67.7 | 93.0 | 33.0 | 10.0 | 6.9 | 0.1 | 6.5 | 54.0 | NE | 3.2 | 547.7 | |
| 10 | 12.5 | 21.9 | 3.9 | 62.3 | 95.0 | 30.0 | 9.7 | 6.4 | 0.0 | 9.5 | 79.0 | SE-NE | 2.6 | 548.2 | |
| 11 | 12.8 | 22.0 | 6.8 | 59.8 | 90.0 | 26.0 | 8.9 | 5.1 | 0.4 | 8.8 | 73.0 | NE | 2.8 | 549.1 | |
| 12 | 12.1 | 22.2 | 2.4 | 56.9 | 83.0 | 23.0 | 7.6 | 3.0 | 0.0 | 9.9 | 82.0 | NE | 2.5 | 549.3 | |
| 13 | 12.2 | 22.8 | 3.0 | 58.9 | 87.0 | 24.0 | 7.8 | 3.3 | 0.0 | 10.5 | 87.0 | NE | 2.8 | 549.6 | |
| 14 | 12.1 | 22.6 | 3.0 | 57.3 | 92.0 | 22.0 | 7.2 | 2.4 | 0.0 | 10.6 | 88.0 | SE-NE | 4.0 | 549.2 | |
| 15 | 12.5 | 23.4 | 2.2 | 60.0 | 92.0 | 29.0 | 9.0 | 5.3 | 0.0 | 10.9 | 91.0 | NE | 3.2 | 549.7 | |
| 16 | 13.4 | 22.4 | 7.6 | 68.0 | 95.0 | 39.0 | 10.9 | 8.2 | 0.0 | 3.4 | 28.0 | SE | 3.0 | 549.0 | |
| 17 | 14.8 | 23.9 | 9.4 | 65.4 | 93.0 | 36.0 | 11.4 | 8.8 | 0.0 | 8.5 | 71.0 | SE | 2.0 | 548.4 | |
| 18 | 14.3 | 22.4 | 10.5 | 71.8 | 93.0 | 44.0 | 12.1 | 9.7 | 0.0 | 2.3 | 19.0 | NE-SE | 2.4 | 547.9 | |
| 19 | 13.6 | 21.2 | 9.9 | 73.8 | 91.0 | 41.0 | 11.9 | 9.5 | 0.0 | 2.5 | 21.0 | SE | 1.4 | 548.5 | |
| 20 | 13.9 | 21.8 | 10.0 | 72.1 | 91.0 | 40.0 | 11.8 | 9.4 | 0.0 | 3.2 | 27.0 | NE | 2.0 | 548.6 | |
| 21 | 14.0 | 23.2 | 10.5 | 71.3 | 91.0 | 38.0 | 11.7 | 9.2 | 0.2 | 4.2 | 35.0 | SE | 1.5 | 548.3 | |
| 22 | 14.2 | 21.6 | 10.4 | 64.5 | 92.0 | 37.0 | 11.1 | 8.5 | 0.0 | 5.7 | 47.0 | SE | 2.3 | 548.2 | |
| 23 | 13.2 | 20.2 | 9.8 | 64.4 | 89.0 | 39.0 | 11.1 | 8.4 | 0.0 | 3.6 | 30.0 | SE | 1.6 | 547.9 | |
| 24 | 13.7 | 21.5 | 6.0 | 61.3 | 89.0 | 39.0 | 10.0 | 7.0 | 0.0 | 8.1 | 67.0 | SE | 2.2 | 548.2 | |
| 25 | 13.2 | 20.2 | 9.6 | 68.1 | 92.0 | 38.0 | 10.4 | 7.5 | 0.0 | 3.9 | 32.0 | NE | 2.4 | 548.8 | |
| 26 | 13.7 | 20.5 | 9.7 | 67.6 | 88.0 | 42.0 | 11.1 | 8.5 | 0.0 | 4.1 | 34.0 | SE | 2.6 | 548.3 | |
| 27 | 13.9 | 22.8 | 7.3 | 67.9 | 94.0 | 32.0 | 10.8 | 8.1 | 0.0 | 7.4 | 62.0 | SE-NE | 4.0 | 548.8 | |
| 28 | 14.2 | 22.7 | 8.8 | 67.0 | 94.0 | 31.0 | 11.1 | 8.5 | 0.0 | 9.0 | 75.0 | SE | 4.2 | 548.1 | |
| 29 | 14.4 | 24.5 | 6.4 | 62.2 | 95.0 | 25.0 | 9.9 | 6.8 | 0.0 | 9.5 | 79.0 | SE | 3.2 | 547.5 | |
| 30 | 14.2 | 24.0 | 8.7 | 71.4 | 93.0 | 33.0 | 12.0 | 9.7 | 0.0 | 4.2 | 35.0 | NW | 1.8 | 547.3 | |
| 31 | | | | | | | | | | | | | | | |
| SUMA | 396.7 | 653.8 | 222.2 | 1996.2 | 2757.0 | 1053.0 | 315.9 | 227.2 | 2.2 | 194.6 | 1617.0 | SE | 81.7 | 16457.2 | |
| DÍAS DE DATOS | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | | 30 | 30 | |
| MEDIA | 13.2 | 21.8 | 7.4 | 66.5 | 91.9 | 35.1 | 10.5 | 7.6 | | 6.5 | 53.9 | | 2.7 | 548.6 | |
| MÁX. 24 Hs. | 14.8 | 24.5 | 10.5 | 78.2 | 96.0 | 46.0 | 12.2 | 9.8 | 0.7 | 10.9 | 91.0 | | 4.5 | 549.7 | |
| FECHA | 17 | 29 | 18-21 | 1 | 1-2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15 | 15 | | 8 | 15 | |
| Nº DE DÍAS | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| MIN. 24 Hs. | 11.8 | 18.5 | 2.2 | 56.9 | 83.0 | 22.0 | 7.2 | 2.4 | 0.0 | 2.3 | 19.0 | | 1.4 | 547.3 | |
| FECHA | 9 | 1 | 15 | 12 | 12 | 14 | 14 | 14 | VARIOS | 18 | 18 | | 19 | 30 | |
| Nº DE DÍAS | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 24 | 1 | 1 | | 1 | 1 | |

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH, 2016