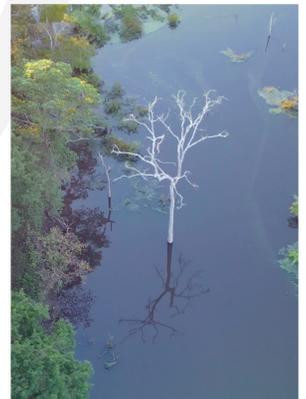




ibif
— BOLIVIA —

Caracterización de los recursos hídricos y determinación de la capacidad de recarga hídrica en la Provincia Guarayos

Santa Cruz - 2024



CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RECARGA HÍDRICA EN LA PROVINCIA GUARAYOS

Citación sugerida: Delfin, M. (2024). Caracterización de los recursos hídricos y determinación de la capacidad De recarga hídrica en la Provincia Guarayos. IBIF. Bolivia.

Esta obra cuenta con todos los derechos reservados:



Instituto Boliviano de Investigación Forestal

Avenida Ibérica, Calle 6 N° 39, Barrio las Palmas. Santa Cruz, Bolivia

www.ibifbolivia.org.bo

E-mail: ibif@ibifbolivia.org.bo

Autor: Mirko Delfin Soruco

Revisión y adaptación: Laurenz F. Romero Pimentel

Editor: IBIF

Diagramación: Pedro Anibal García C.

Esta publicación ha sido elaborada en el marco del programa Working Landscape financiado por el Ministerio de Relaciones Exteriores de los Países Bajos a través de Tropenbos International. Las opiniones y puntos de vista expresados en esta publicación son de responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente las de Tropenbos International ni el gobierno de los Países Bajos.



ÍNDICE

I.	Resumen Ejecutivo	12
II.	Descripción del Área de estudio	14
III.	Resumen de la Metodología y /o modelo aplicado	15
IV.	Caracterización, descripción y análisis de los factores vinculados a la recarga hídrica superficial, sub-superficial, subterráneo, y balance hídrico (a nivel de Provincia y Municipio)	17
V.	Provincia Guarayos	19
V.1	Análisis Socioeconómico	19
V.1.1	Población.....	19
V.1.2	Saneamiento Básico – Procedencia de Agua	20
V.2	Aspectos Productivos	21
V.2.1	Productos Principales	21
V.3	Análisis de Suelos.....	22
V.3.1	Análisis de Textura.....	22
V.4	Análisis de la Vegetación	24
V.5	Análisis Meteorológico	26
V.6	Análisis de Balance Hídrico	27
V.7	Análisis de afectación y pérdida de bosque por incendios forestal	29
V.8	Cambios en la cobertura boscosa por aplicación de la frontera agrícola	35
V.9	Identificación y descripción de áreas de recarga hídrica (Provincial y mapa a escala subcuencas).....	35
V.9.1	Análisis de la recarga hídrica – a nivel superficial de la provincia.....	38
V.9.2	Análisis de Recarga Hídrica – Subterránea a nivel Provincial.....	40
V.9.3	Análisis de recarga hídrica – subterránea a nivel provincial.	41
VI.	Municipio de Urubichá	44
VI.1	Análisis Socioeconómico	44
VI.1.1	Población	44
VI.1.2	Saneamiento Básico – Procedencia de Agua.....	45
VI.2	Aspectos Productivos.....	47
VI.2.1	Productos Principales.....	47
VI.3	Análisis de Suelos	48
VI.3.1	Análisis de Textura	48
VI.4	Análisis de la Vegetación.....	50
VI.5	Análisis Meteorológico	52
VI.6	Almacenamiento de Aguas Subterráneas.....	53

VI.7	Cobertura Vegetal	54
VI.7.1	Afloramiento Rocoso	54
VI.7.2	Agricultura	55
VI.7.3	Bosque Denso Amazónico en Llanura Inundada Estacionalmente	56
VI.7.4	Bosque Denso Chiquitano.....	57
VI.7.5	Curichi.....	58
VI.7.6	Inundación Estacional	59
VI.7.7	Lagunas.....	60
VI.7.8	Mancha Urbana Consolidada (Urbana).....	61
VI.7.9	Mancha Urbana No Consolidada (Rural).....	62
VI.7.10	Red Hídrica Permanente	63
VI.7.11	Bosque Denso Amazónico en Llanura húmedo	65
VI.8	Resultados de la Modelación de Recarga Hídrica	66
VI.8.1	Recarga Hídrica Superficial	66
VI.8.2	Recarga Hídrica Sub-superficial	68
VI.8.3	Recarga Hídrica Subterránea	71
VII.	Municipio de Ascensión de Guarayos	72
VII.1	Análisis Socioeconómico	72
VII.1.1	Población	72
VII.1.2	Saneamiento Básico – Procedencia de Agua.....	74
VII.2	Aspectos Productivos.....	76
VII.2.1	Productos Principales.....	76
VII.3	Análisis de Suelos	77
VII.3.1	Análisis de Textura	77
VII.4	Análisis de la Vegetación.....	79
VII.5	Análisis Meteorológico	80
VII.6	Almacenamiento de Aguas Subterráneas.....	81
VII.7	Cobertura Vegetal	82
VII.7.1	Afloramiento Rocoso.....	82
VII.7.2	Agricultura	83
VII.7.3	Bosque Denso Amazónico en Llanura Inundada Estacionalmente	83
VII.7.4	Bosque Denso Chiquitano.....	84
VII.7.5	Curichi	85
VII.7.6	Herbazal Graminoide Vivaz Llanura Inundada Estacionalmente	86
VII.7.7	Lagunas	87
VII.7.8	Mancha Urbana Consolidada (Urbana)	88
VII.7.9	Mancha Urbana No Consolidada (Rural).....	89
VII.7.10	Red Hídrica Permanente.....	90
VII.7.11	Suelo desnudo	91

VII.7.12	Bosque Denso Amazónico en Llanura húmedo	91
VII.8	Resultados de la Modelación de Recarga Hídrica	93
VII.8.1	Recarga Hídrica Superficial	93
VII.8.2	Recarga Hídrica Subsuperficial	95
VII.8.3	Recarga Hídrica Subterránea	97
VIII.	Municipio de El Puente	99
VIII.1	Análisis Socioeconómico	99
VIII.1.1	Población	99
VIII.1.2	Saneamiento Básico – Procedencia de Agua	102
VIII.2	Aspectos Productivos	103
VIII.2.1	Productos Principales	103
VIII.3	Análisis de Suelos	104
VIII.3.1	Análisis de Textura	104
VIII.4	Análisis de la Vegetación	106
VIII.5	Análisis Meteorológico	107
VIII.6	Almacenamiento de Aguas Subterráneas	108
VIII.7	Cobertura Vegetal	109
VIII.7.1	Afloramiento Rocoso	109
VIII.7.2	Agricultura	109
VIII.7.3	Bosque Denso Amazónico en Llanura Inundada Estacionalmente	110
VIII.7.4	Bosque Denso Chiquitano	111
VIII.7.5	Curichi	112
VIII.7.6	Herbazal Graminoide Vivaz Llanura Inundada Estacionalmente	112
VIII.7.7	Lagunas	113
VIII.7.8	Mancha Urbana Consolidada (Urbana)	114
VIII.7.9	Mancha Urbana No Consolidada (Rural)	114
VIII.7.10	Matorral Chiquitano	115
VIII.7.11	Red Hídrica Permanente	116
VIII.7.12	Suelo desnudo	117
VIII.8	Resultados de la Modelación de Recarga Hídrica	119
VIII.8.1	Recarga Hídrica Superficial	119
VIII.8.2	Recarga Hídrica Subsuperficial	121
VIII.8.3	Recarga Hídrica Subterránea	123
IX.	Conclusiones	125
X.	Bibliografía	128
XIV.	Metodología	130
	Aspectos Socioeconómicos	130
	Aspectos Productivos	130
	Análisis de vegetación	131
	Análisis meteorológico	133

Análisis de Cambio Climático	135
Análisis de aguas subterráneas relacionado con recarga Hídrica	136
Metodología de la Cobertura Vegetal y Uso Actual del Suelo	136
Imágenes Satelitales	137
Corrección Atmosférica	137
Digitalización Manual.....	138
Validación del Mapa del Mapa de Uso de Suelo	139
Mapa de Cobertura y Uso Actual del suelo para la Provincia Guarayos	139
Cartografiar el Sistema de Drenaje.....	139
Modelos de Elevación del Terreno	139
Procesamiento de la Información	139
Metodología de Recarga Hídrica	140
Suelo	143
Meteorología	144

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Elevación y Unidades Hidrográficas de Gestión. 14	
Figura 2. Red Hídrica y Lagunas de la Provincia Guarayos.....	15
Figura 3. Esquema Metodológico.....	18
Figura 4. Población en la Provincia Guarayos	20
Figura 5. Saneamiento Básico en la Provincia de Guarayos	21
Figura 6. Mapa de Textura de Suelos en la Provincia Guarayos	24
Figura 7. Mapa de Índice de Vegetación para la Provincia Guarayos.....	26
Figura 8. Mapa de Precipitación desde 1981 a 2022 empleando el Satélite CHIRPS para la Provincia Guarayos.....	27
Figura 9. Comparación del Mapa de Precipitación y Evapotranspiración Real para la Provincia Guarayos	29
Figura 10. Incendios Forestales en los últimos cinco años para la Provincia Guarayos	30
Figura 11. Análisis Multitemporal de Los Incendios para la Sub-Cuenca 18.	32
Figura 12. Mapa de Sub-Cuencas en la Provincia de Guarayos	37
Figura 13. Mapa de Recarga Superficial en la Provincia Guarayos .	39
Figura 14. Mapa de Recarga Sub-superficial en la Provincia Guarayos.....	41

Figura 15. Mapa de Población del Municipio de Urubichá.....	45
Figura 16. Mapa de Textura de Suelos en el M. de Urubichá.....	49
Figura 17. Mapa de Índice de Vegetación del M. de Urubichá	51
Figura 18. Precipitación anual para el Municipio de Urubichá.....	52
Figura 19. Modelo de Aguas Subterráneas de GRACE.....	53
Figura 20. Cobertura Vegetal Afloramiento Rocoso en el Municipio de Urubichá.....	54
Figura 21. Cobertura Vegetal Agricultura en el Municipio de Urubichá.....	55
Figura 22. Cobertura Vegetal Bosque Denso Amazónico en el Municipio de Urubichá.....	56
Figura 23. Cobertura Vegetal Bosque Denso Chiquitano en el Municipio de Urubichá.....	57
Figura 24. Cobertura Vegetal Curichi en el M. de Urubichá.....	58
Figura 25. Cobertura Vegetal Inundación Estacional en el Municipio de Urubichá.....	59
Figura 26. Cobertura Vegetal Lagunas en el M. de Urubichá.....	60
Figura 27. Cobertura Vegetal Mancha Urbana Consolidada en el Municipio de Urubichá	61
Figura 28. Cobertura Vegetal Mancha Urbana No Consolidada en el Municipio de Urubichá	62
Figura 29. Cobertura Vegetal Red Hídrica Permanente en el Municipio de Urubichá.....	63
Figura 30. Cobertura Vegetal Suelo Desnudo en el Municipio de Urubichá.....	64
Figura 31. Cobertura Vegetal Bosque Denso Amazónico en el Municipio de Urubichá	65
Figura 32. Recarga Superficial Para el Municipio de Urubichá	68
Figura 33. Recarga Subsuperficial Para el Municipio de Urubichá ..	70
Figura 34. Recarga Subterránea para el Municipio de Urubichá.....	71
Figura 35. Mapa de Población del Municipio de Ascensión de Guarayos.....	74
Figura 36. Mapa de Suelos del Municipio de Ascensión de Guarayos	79
Figura 37. Mapa de Índice de Vegetación del Municipio de Ascensión de Guarayos	80
Figura 38. Precipitación anual para el Municipio de Ascensión de Guarayos	81
Figura 39. Cobertura Vegetal Afloramiento Rocoso - Municipio de Ascensión de Guarayos.....	82
Figura 40. Cobertura Vegetal. Agricultura en el Municipio de Ascensión de Guarayos.....	83

Figura 41. Cobertura Vegetal Bosque Denso Amazónico en el Municipio de Ascensión de Guarayos	84
Figura 42. Cobertura Vegetal Bosque Denso Chiquitano en el Municipio de Ascensión de Guarayos	84
Figura 43. Cobertura Vegetal Curichi en el Municipio de Ascensión de Guarayos	85
Figura 44. Cobertura Vegetal Herbazal Graminoide en el Municipio de Ascensión de Guarayos	86
Figura 45. Cobertura Vegetal Lagunas en el Municipio de Ascensión de Guarayos	87
Figura 46. Cobertura Vegetal Mancha Urbana Consolidada - Municipio de Ascensión de Guarayos	88
Figura 47. Cobertura Vegetal Mancha Urbana No Consolidada en el Municipio de Ascensión de Guarayos	89
Figura 48. Cobertura Vegetal Red Hídrica Permanente - Municipio de Ascensión de Guarayos	90
Figura 49. Cobertura Vegetal Suelo Desnudo - Municipio de Ascensión de Guarayos	91
Figura 50. Cobertura Vegetal Bosque Denso Amazónico en el Municipio de Ascensión de Guarayos	92
Figura 51. Recarga Superficial Para el Municipio de Ascensión de Guarayos	94
Figura 52. Recarga Subsuperficial Para el Municipio de Ascensión de Guarayos	96
Figura 53. Recarga Subterránea Para el Municipio de Ascensión de Guarayos	98
Figura 54. Mapa de Población del Municipio de Ascensión de Guarayos	102
Figura 55. Mapa de Suelos del Municipio El Puente	105
Figura 56. Mapa de Vegetación del Municipio El Puente	106
Figura 57. Precipitación anual para el Municipio El Puente	107
Figura 58. Cobertura Vegetal Afloramiento Rocoso en el Municipio El Puente	109
Figura 59. Cobertura Vegetal Agricultura en el M. El Puente	109
Figura 60. Cobertura Vegetal Bosque Denso Amazónico en el Municipio El Puente	110
Figura 61. Cobertura Vegetal Bosque Denso Chiquitano en el Municipio El Puente	111
Figura 62. Cobertura Vegetal Curichi en el Municipio El Puente	112
Figura 63. Cobertura Vegetal Herbazal Graminoide en el Municipio El Puente	113
Figura 64. Cobertura Vegetal Lagunas en el Municipio El Puente	113

Figura 65. Cobertura Vegetal Mancha Urbana Consolidada en el Municipio El Puente	114
Figura 66. Cobertura Vegetal Mancha Urbana No Consolidada en el Municipio El Puente.....	114
Figura 67. Cobertura Vegetal Matorral Chiquitano en el Municipio El Puente	115
Figura 68. Cobertura Vegetal Red Hídrica Permanente en el Municipio El Puente	116
Figura 69. Cobertura Vegetal Suelo Desnudo en el Municipio El Puente	117
Figura 70. Recarga Superficial Para el Municipio El Puente	120
Figura 71. Recarga Subsuperficial Para el Municipio El Puente	122
Figura 72. Recarga Subterránea Para el Municipio El Puente	124
Figura 73. Esquema del Proceso de Corrección Atmosférica en ER MAPPER.....	138
Figura 74. Proceso de digitalización de los ríos en base al Mosaico.....	140
Figura 75. Dos tipos de acuíferos.....	141
Figura 76. Delimitación de las sub-cuencas en la Cuenca del Municipio de San Ignacio (colocar gráfica del área de estudio)	142
Figura 77. Mapa de Suelo del Municipio de San Ignacio (colocar mapa del área de estudio).....	143
Figura 78. Esquema del modelo de Percolación en el Municipio de San Ignacio (colocar esquema utilizando el área geográfica del área de estudio)	145

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficie de Cultivos en la Provincia Guarayos.....	22
Tabla 2. Rangos de Valores del NDVI y su descripción.....	25
Tabla 3. Resumen de Superficie afectada por Incendios en la Provincia Guarayos.....	31
Tabla 4. Resumen de superficie de pérdida de bosque por incendios forestales en la Provincia Guarayos	34
Tabla 5. Categorías de Cultivos Principales en el Municipio de Urubichá.....	50
Tabla 6. Rangos de Valores del NDVI y su descripción.....	1
Tabla 7. Categorías de Cultivos Principales en el Municipio de Ascensión de Guarayos.....	77
Tabla 8. Categorías de Cultivos Principales en el M. de El Puente.	103

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Esquema de la Metodología de Recarga Hídrica	16
Gráfico 2. Modelo de Componentes del Balance Hídrico vs la textura	23
Gráfico 3. Balance Hídrico para la Provincia de Guarayos.....	28
Gráfico 4. Pérdidas de Vegetación por Incendios entre el 2001 y 2022 en la Provincia de Guarayos.....	33
Gráfico 5. Superficie por año de cambio de cobertura de Bosque a No Bosque.....	35
Gráfico 6. Resumen de la Modelación en la Provincia Guarayos	36
Gráfico 7. Efecto de los Incendios en la Recarga Hídrica.....	38
Gráfico 8. Promedio de Recarga Superficial por Sub-Cuencas en la Provincia Guarayos	40
Gráfico 9. Esquema de la Recarga Subterránea.....	43
Gráfico 10. Población en el Municipio de Urubichá por sexo.....	44
Gráfico 11. Procedencia de Agua en el Municipio de Urubichá.....	46
Gráfico 12. Modelo de Componentes del Balance Hídrico vs la textura	48
Gráfico 13. Almacenamiento de Aguas Subterráneas en el Municipio de Urubichá.....	54
Gráfico 14. Modelo de Componentes del Balance Hídrico vs los Tipos de Cobertura.....	66
Gráfico 15. Promedio de Recarga Hídrica por Año en el Municipio de Urubichá.....	67
Gráfico 16. Promedio de Recarga Hídrica Subsuperficial por Año en el Municipio de Urubichá.....	68
Gráfico 17. Promedio de Recarga Hídrica Subterránea por Año en el Municipio de Urubichá.....	71
Gráfico 18. Población en el Municipio de Ascensión de Guarayos por sexo.	73
Gráfico 19. Procedencia de Agua en el Municipio de Ascensión de Guarayos	75
Gráfico 20. Modelo de Componentes del Balance Hídrico vs la textura	78
Gráfico 21. Almacenamiento de Aguas Subterráneas en el Municipio de Ascensión de Guarayos.....	82
Gráfico 22. Modelo de Componentes del Balance Hídrico vs los Tipos de Cobertura.....	93
Gráfico 23. Promedio de Recarga Superficial por Año en el Municipio de Ascensión de Guarayos.....	94
Gráfico 24. Promedio de Recarga Subsuperficial por Año en el	

Municipio de Ascensión de Guarayos	95
Grafico 25. Promedio de Recarga Subterránea por Año en el Municipio de Ascensión de Guarayos	97
Grafico 26. Población en el Municipio de El Puente por sexo.....	100
Grafico 27. Procedencia de Agua en el Municipio de El Puente....	101
Grafico 28. Modelo de Componentes del Balance Hídrico vs la textura	104
Grafico 29. Almacenamiento de Aguas Subterráneas en el Municipio El Puente	108
Grafico 30. Modelo de Componentes del Balance Hídrico vs los Tipos de Cobertura	118
Grafico 31. Promedio de Recarga Superficial por Año en el Municipio El Puente	119
Grafico 32. Promedio de Recarga Subsuperficial por Año en el Municipio El Puente.....	121
Grafico 33. Promedio de Recarga Subterránea por Año en el Municipio El Puente	123



Los recursos hídricos y la disponibilidad de agua para la población y las actividades productivas en los municipios de la Provincia Guarayos del Departamento de Santa Cruz, se encuentran amenazados por diversos factores, entre ellos la presión sobre los recursos naturales, los incendios forestales recurrentes, entre otros factores, situación que ha puesto en relevancia la necesidad de abordar la atención de la problemática, constituyéndose el estudio de “Caracterización de los recursos hídricos y determinación de la capacidad de Recarga Hídrica en la Provincia Guarayos” en una herramienta que coadyuve en la toma de decisiones por diversos actores locales para procesos de gestión hídrica y territorial de los municipios de El Puente, Ascensión de Guarayos, Urubichá.

El principal objeto de estudio es determinar la Recarga Hídrica en sus tres procesos, es decir, recarga superficial (Esguerrimiento), subsuperficial (Percolación) y subterránea, con la finalidad de conocer la variabilidad en el tiempo frente a diferentes actividades que determinan las condiciones de recarga como pueden ser los incendios, cambios de uso de suelo, deforestación, etc.

El estudio se realizó en la Provincia de Guarayos del Departamento de Santa Cruz que contempla dentro de sus límites administrativos a los Municipios de Urubichá, Ascensión de Guarayos y el Puente.

Para determinar la recarga hídrica en sus tres componentes se empleó el Modelo ArcSWAT (Soil Water Assessment Tool), que es un modelo basado en un conjunto de Herramientas para la Evaluación de Agua y Suelo en una Cuenca. En el modelo intervienen parámetros como la cobertura actual, suelos, pendiente y meteorología, todos estos parámetros son introducidos al modelo y se evalúa en función de la delimitación de la Cuenca, para ello la modelación fue desde el año 2001 al 2022, resaltar que el análisis de la cobertura del suelo actual juega un papel importante en estos procesos de modelación, es así, con el apoyo de imágenes satelitales se digitalizó todos los tipos de cobertura dentro de la Provincia a una escala representativa.

Como resultado de la modelación, encontramos que a nivel de la Provincia, se han encontrado zonas potenciales de recarga hídrica en sus tres procesos, es decir, zonas con alta cobertura boscosa (Bosque

Amazónico y Chiquitano) presentan recargas importantes en el orden de los 300 mm, claramente estos valores tienen una correlación con el tipo de cobertura de bosque, como también texturas de suelo del tipo franco arenoso arcilloso, factores como la pendiente y la precipitación que coadyuvan en la recarga hídrica, sin embargo coberturas con actividad agrícola, presentan valores intermedios en el orden de los 100 mm.

El estudio ha permitido observar cambios en la dinámica de la recarga hídrica, donde los Municipios con mayor recarga son Urubichá y Ascensión de Guarayos, sin embargo se recomienda acciones a ciertas sub cuencas, dado que en el medio plazo puede influir en las condiciones de la recarga, sobre todo el Municipio de Ascensión de Guarayos debido al cambio de Uso de Suelo que se viene dando año tras año.

Sin embargo el Municipio El Puente, es el que presenta la menor recarga hídrica en sus tres procesos, debido principalmente al cambio de uso de suelo hacia la agricultura en forma intensiva, es decir, que gran parte de los cuerpos de agua digitalizados en el año 2000, han ido perdiéndose y en otros casos han disminuido su volumen, ya que las parcelas habilitadas con fines productivos están cerca a los cuerpos de agua y en otros casos se han sobrepuesto a estos cuerpos de agua naturales. En este proceso de 23 años se han perdido 13.730 hectáreas en toda la Provincia que corresponde principalmente a Curichis naturales, claramente si las actividades de habilitación de tierras se intensifica año tras años, los impactos se reflejaría en la disponibilidad de agua.

Otra de las conclusiones del estudio han sido la recurrencia de incendios, que ha permitido observar en ciertas Sub-Cuencas la habilitación de tierras con fines productivos, esta problemática repercute tanto en la pérdida de cobertura de bosque como en la recarga hídrica.

Por último, el análisis de la variabilidad de la precipitación, ha permitido calcular una disminución de un 12% en estos 22 años, comparados con las precipitaciones de 1981 hasta el 2000.

II. Descripción del área de estudio



El estudio se concentra en la Provincia Guarayos, del que forman parte los Municipios de Urubichá, Ascensión de Guarayos y el Puente. La Provincia contempla diez Unidades Hidrográficas de Gestión (UHG), establecidas por el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego – VRHR, como se muestra en el Mapa.

Figura 1. Mapa de Elevación y Unidades Hidrográficas de Gestión

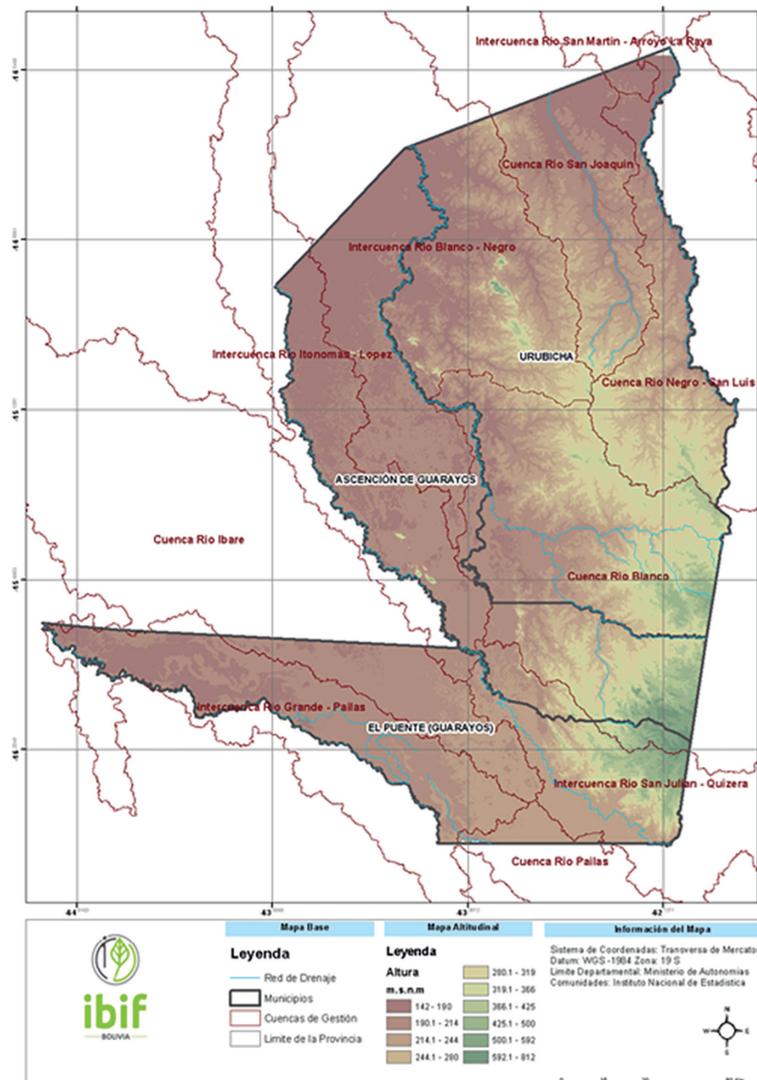
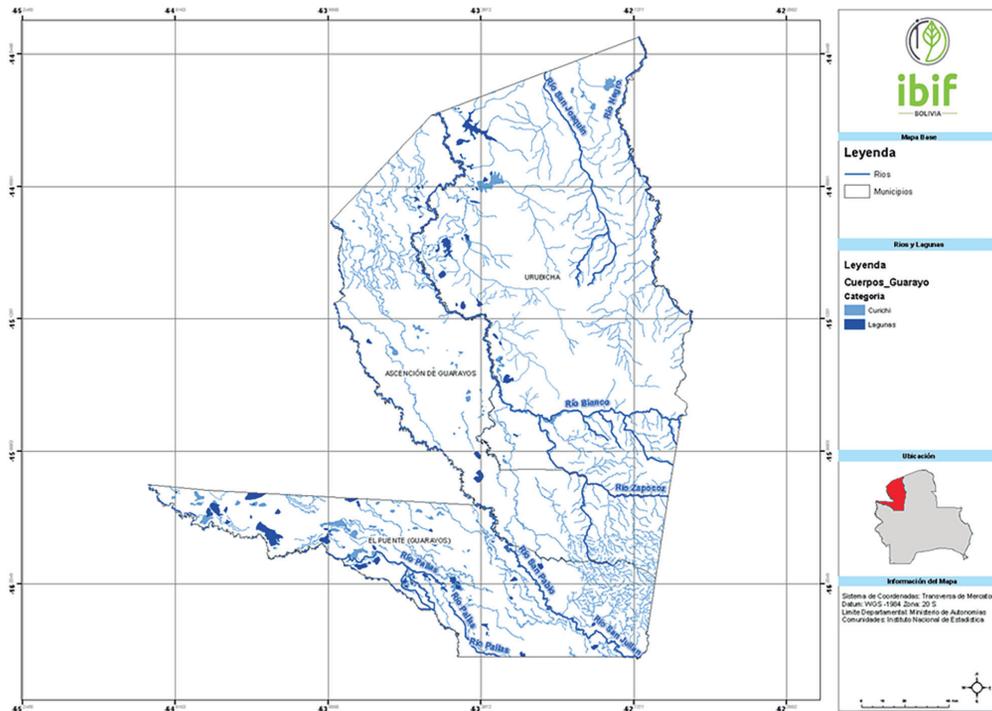


Figura 2. Red Hídrica y Lagunas de la Provincia Guarayos



III. Resumen de la Metodología y /o modelo aplicado

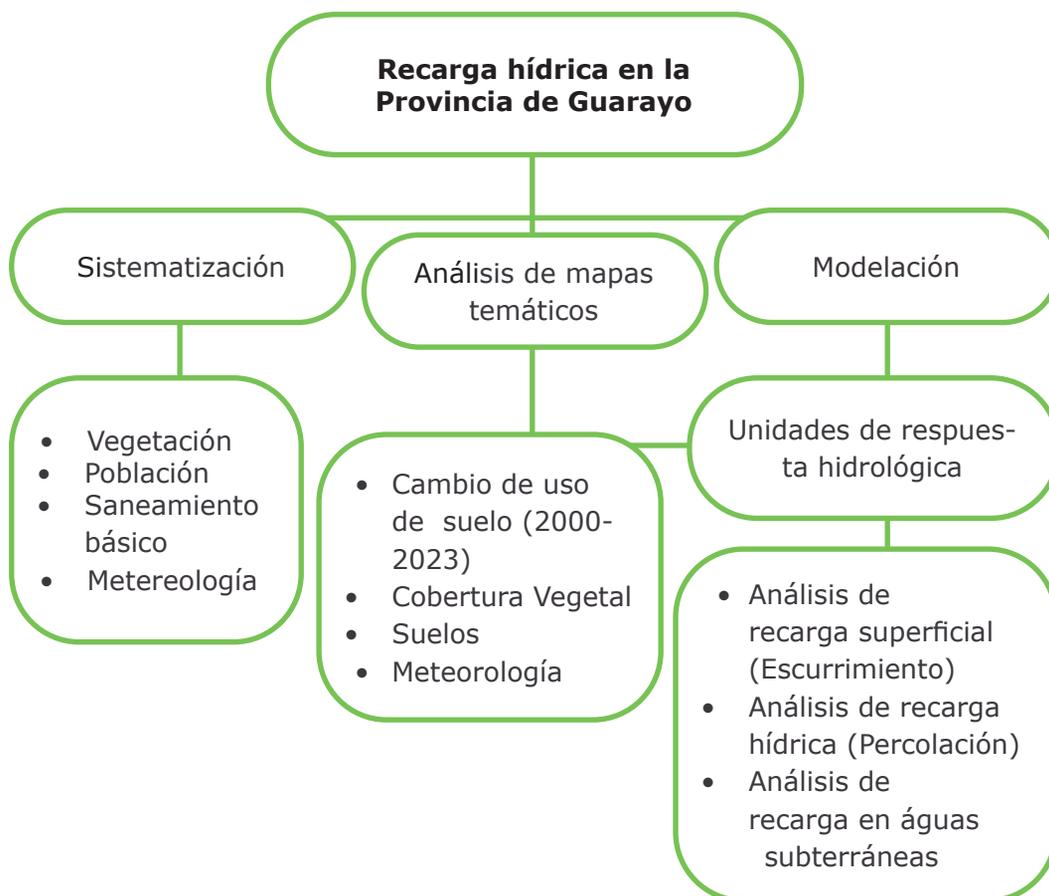


En el siguiente esquema se muestra un resumen de la metodología, que en los anexos se hace un detalle más extenso de cada uno de los componentes descritos. Resaltar que se realizó una sistematización de aspectos socioeconómicos sobre todo de población y procedencia de agua como aspectos productivos en base a información del Instituto de Nacional de Estadística (INE) como también información meteorológica para comprender la variabilidad climática. Todos estos aspectos secundarios permitieron de alguna manera entender la problemática asociada a los procesos de Recarga Hídrica.

Como segundo elemento y el más relevante se analizó el cambio de cobertura de suelo en dos momentos, uno en el año 2000 y otro en el año 2023, este insumo es parte fundamental del modelo de recarga, ya que cada tipo cobertura, puede influir significativamente en los procesos de recarga sea, superficial o subterránea, en este proceso se analiza

información meteorológica obtenida del Balance Hídrico Nacional 2018 y complementada hasta Abril 2023, y por último se hace una sistematización de los suelos en base a la FAO, que es una variable importante que se considera cuando se quiere modelar la recarga hídrica.

Gráfico 1. Esquema de la Metodología de Recarga Hídrica



Como tercera etapa, es la modelación, para ello se empleó el Modelo hidrológico SWAT (Herramientas de Evaluación de Suelo y Agua), es un Modelo semidistribuido que simula en tiempo continuo y está diseñado para evaluar impactos de prácticas de manejo de suelo. El modelo SWAT emplea para los cálculos Unidades de Respuesta Hidrológica, que son unidades homogéneas que se caracterizan por presentar características únicas de pendiente, cobertura vegetal y tipos de suelo, a su vez integra información diaria de datos meteorológicos. Por lo mencionado, dentro del modelo simula la recarga hídrica por cada subcuenca delimitada inicialmente para toda la Provincia.

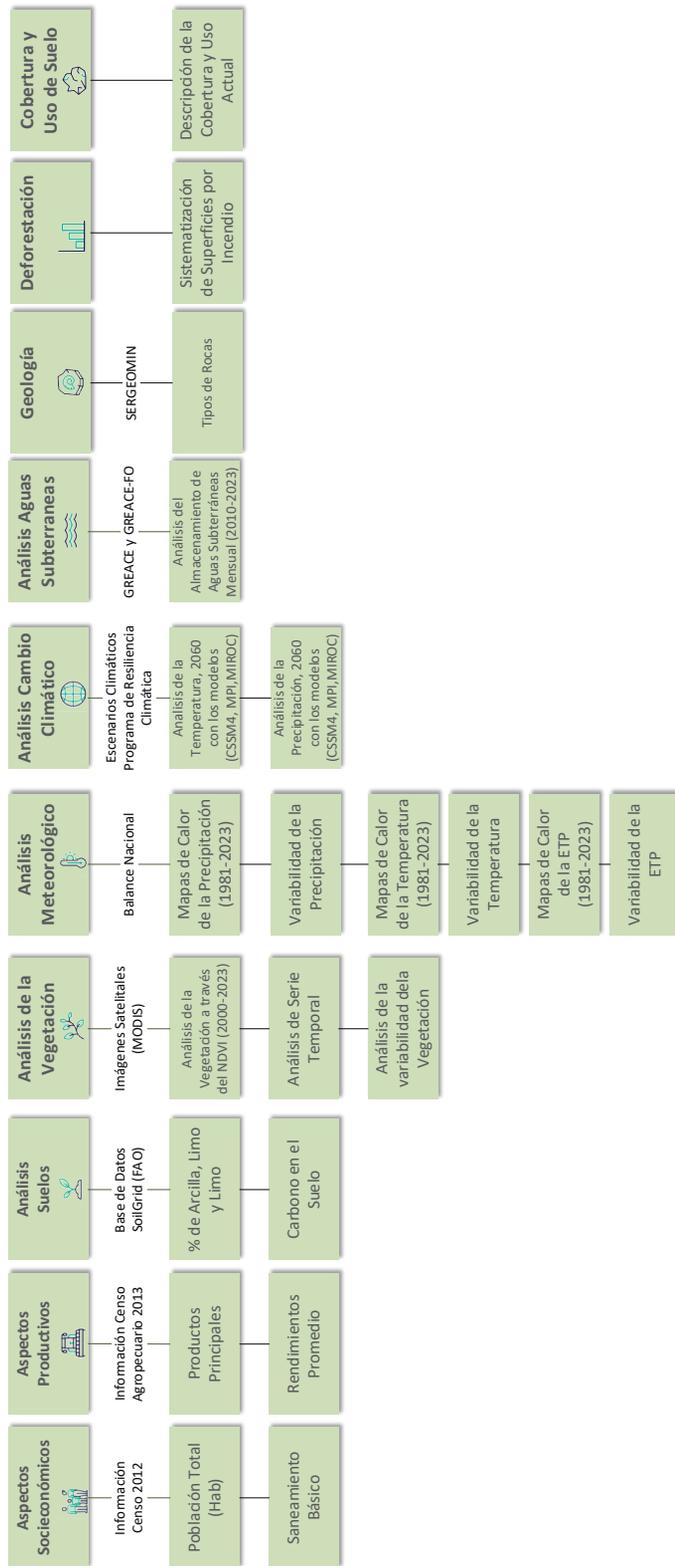
IV. Caracterización, descripción y análisis de los factores vinculados a la recarga hídrica superficial, subsuperficial, subterráneo y balance hídrico (a nivel de Provincia y Municipio)



La caracterización viene dada por el siguiente esquema, que resume todos los parámetros analizados y permite explicar los factores vinculados a la recarga Hídrica que son detalladas en los siguientes capítulos.



Figura 3. Esquema Metodológico





VI. ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO

VI.I. POBLACIÓN

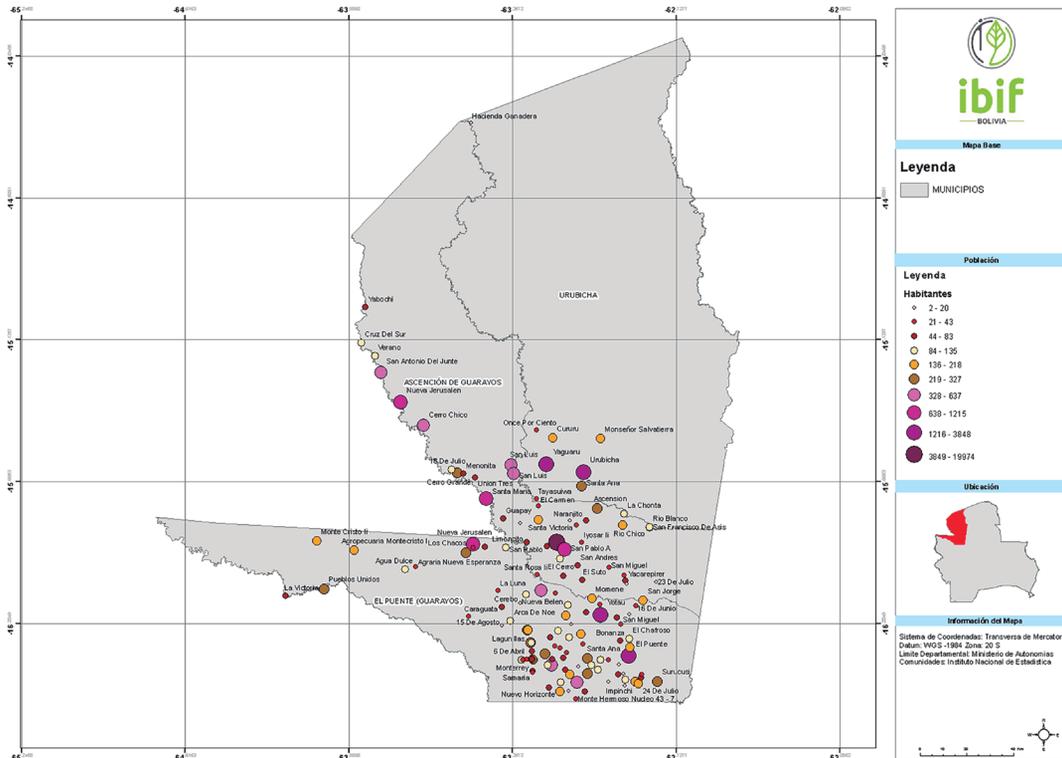
La Provincia de Guarayos tiene una población de 49.760 Habitantes, según el Instituto Nacional de Estadística (Censo 2012), donde el Municipio de Ascensión de Guarayos ocupa el primero con una población de 27.070 Habitantes, seguido del Municipio El Puente con 14.205 Habitantes, y por último el Municipio de Urubichá con 7.026 Habitantes.

Como se observa en el Mapa de Población, El Puente tiene 93 comunidades, que están dispersa en todo el municipio, mientras que Ascensión de Guarayos tiene 37 comunidades y están más localizados al centro del Municipio, y Urubichá solo tiene 8 comunidades localizadas cerca de la capital del municipio

En los tres municipios mencionados, la capital de Ascensión de Guarayos, tiene 19.974 Habitantes, que representa el 73% de toda la población, la capital El Puente 2.379 Habitantes, que representa el 16% y la capital Urubichá tiene una población de 3.848 habitantes, que representa el 54%.

Desde el punto de vista de la recarga hídrica, todas las capitales de los Municipios se abastecen de agua para consumo de lagunas cerca al Municipio, solo en el caso del El Puente se abastecen de un pauro con agua permanente. El impacto en términos de recarga estaría influenciado con asentamientos urbanos cerca a lagunas y podría influencia en la disponibilidad de agua.

Figura 4. Población en la Provincia Guarayos



VI.II. SANEAMIENTO BÁSICO – PROCEDENCIA DE AGUA

Como se puede observar en el Mapa de Saneamiento, en lo que respecta al tema de procedencia de agua, Ascensión de Guarayos tiene entre 630 y 4016 familias con acceso a diferentes tipos de procedencia de agua, donde el acceso por cañería de red se tienen más de 1094 familias.

Siguiendo este análisis, tanto Urubichá como El Puente, más de 230 familias tienen acceso al agua, principalmente a través de cañerías de red.

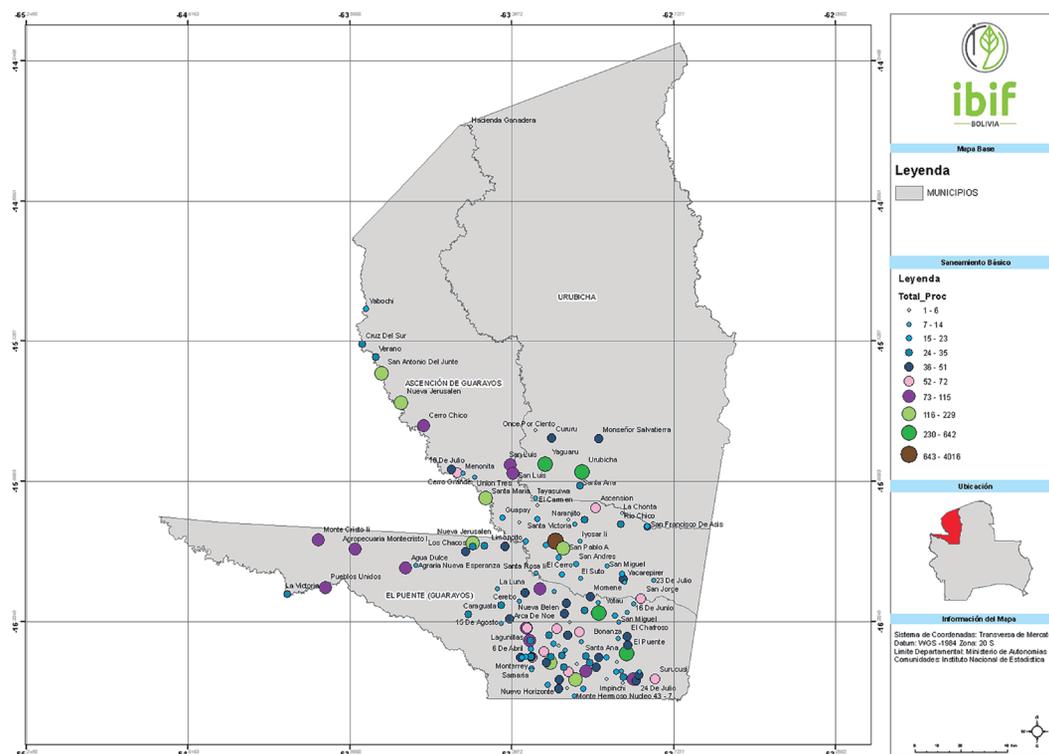
Observando el mapa, el Municipio de Urubichá tiene mayor procedencia de agua a través de pozos o norias que representa entre 10 y 46 familias.

Así también el Municipio El Puente tiene 1401 familias con acceso al agua a través del uso de bombas.

El acceso al agua por medio de pozos tiene un impacto en la recarga hídrica puesto que está asociado a un consumo cada vez mayor, ya sea por actividades de consumo humano o actividades agrícolas, donde la disponibilidad de agua es cada vez menor, debido a un crecimiento de la

población o una ampliación de las actividades agrícolas.

Figura 5. Saneamiento Básico en la Provincia de Guarayos



V.II. ASPECTOS PRODUCTIVOS

V.II.I PRODUCTOS PRINCIPALES

En base a la sistematización del Censo Agropecuario 2013, para la provincia Guarayos, podemos observar en la tabla 1, que la categoría de otros usos de la tierra representa la mayor superficie, 76.5%, y corresponde a tierras en barbecho, en descanso y pastos naturales. Como segunda categoría están los frutos o granos oleaginosas con 13.9% que es representado por los municipios de Ascensión de Guarayos y el Puente principalmente.

Esta información es a nivel de comunidades, y no a un catastro de cultivos como se hace en otros países, sin embargo permite comprender que cultivos hay en la zona.

Tabla 1. Superficie de Cultivos en la Provincia Guarayos

Categoría	Superficie (Ha)
TCV Forestales	12.45
Cultivo de plantas con las que se preparan bebidas estimulantes, especias y plantas aromáticas	53.16
Caña de azúcar y remolacha azucarera	110.75
Hortalizas	168.1847
Madera sin elaborar	688.82
Raíces y tubérculos comestibles ricos en almidón	805.7255
Frutas y nueces	1070.1988
Legumbres secas	3098.1961
Cereales	40491.02
Frutos o granos oleaginosos	46595.7228
Productos del forraje, fibras, plantas vivas, corte las flores y los brotes de la flor, tabaco no procesado, y caucho natural	135247.763
Otros Usos de la Tierra	744888.8651

Fuente. Censo Agropecuario 2013

El conocer la superficie productiva en la provincia, tiene una relación con la recarga hídrica, ya que coberturas densas como los bosques permiten facilitar procesos de mayor recarga en el suelo, mientras que cultivos comerciales, pero en menor cantidad. Claramente el municipio El Puente tiene una actividad importante en la agricultura y ganadería, lo cual se esperaría una recarga no tan alta como el municipio Urubichá donde gran parte de la superficie sigue siendo bosque.

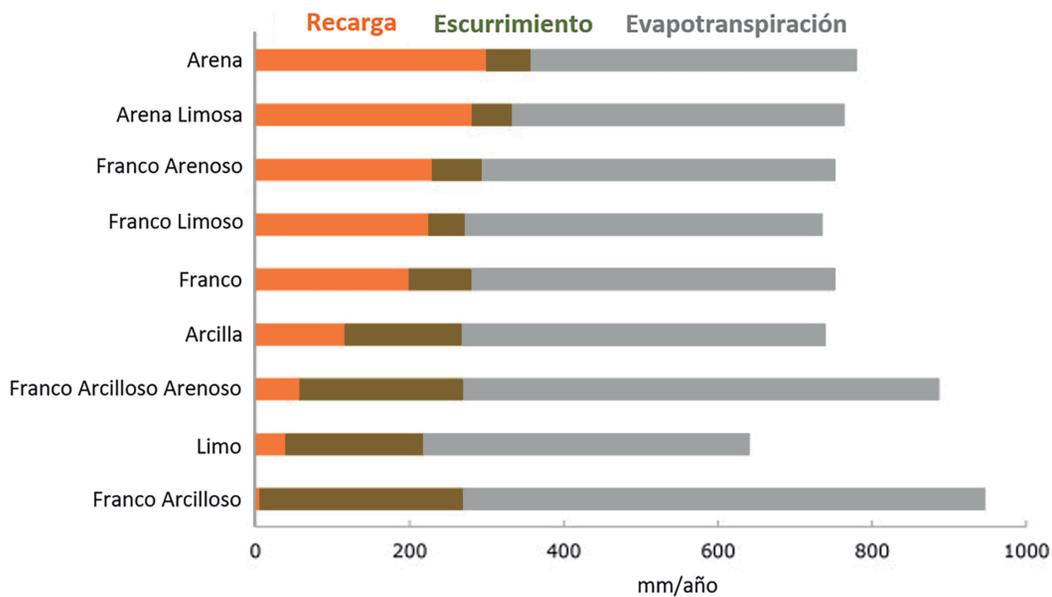
V.III. ANÁLISIS DE SUELOS

V.III.I. ANÁLISIS DE TEXTURA

Se puede observar en el mapa de suelos para toda la provincia que ha sido sistematizado por la FAO a escala 1:50.000 y procesado dentro del software R¹. Indicar que en la provincia predominan los suelos franco arcillosos en gran parte de la provincia, seguido de los suelos franco arenoso arcillosos. Este tipo de textura como se muestra en el siguiente gráfico 2, presentan una recarga menor a los 50 mm, y la siguiente textura menor a los 100mm, esto da una idea de cuánto influye la textura del suelo en los procesos de recarga, sin embargo hay otras variables que juegan un rol importante en la recarga hídrica como es la pendiente, la cobertura de suelo y las prácticas agrícolas que se realizan en la zona.

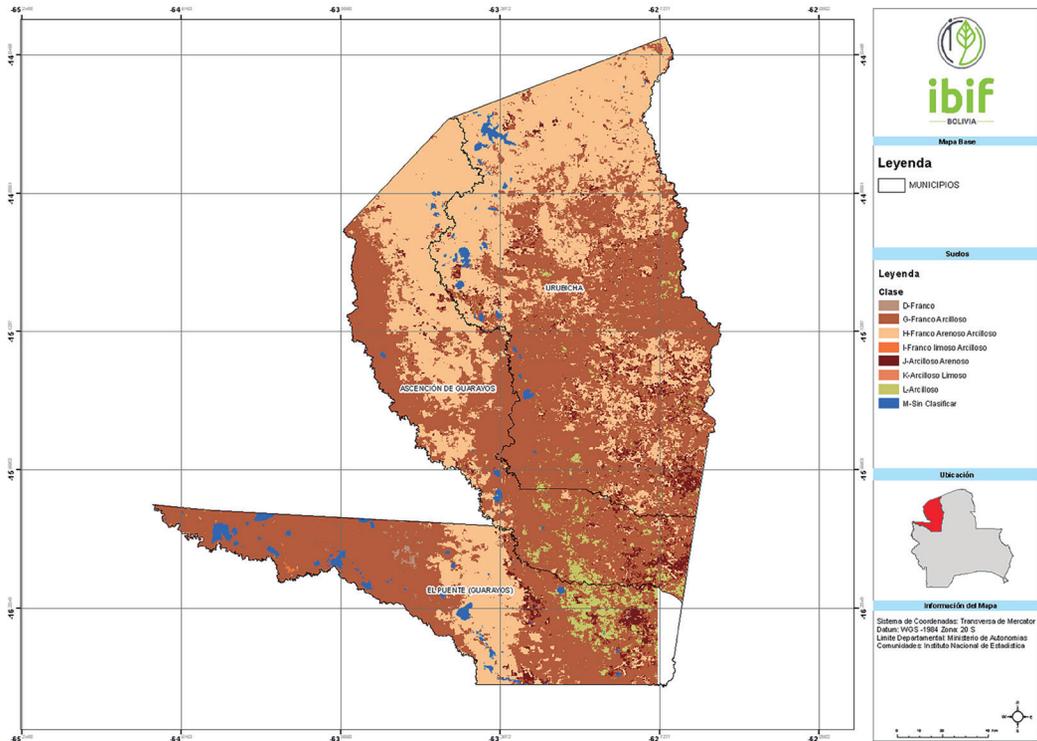
1 R es un ambiente de programación formado por un conjunto de herramientas muy flexibles para análisis Estadístico que pueden ampliarse fácilmente mediante paquetes, librerías o definiendo nuestras propias funciones.

Grafico 2. Modelo de Componentes del Balance Hídrico vs la textura²



2 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581815000907>

Figura 6. Mapa de Textura de Suelos en la Provincia Guarayos



V.IV. ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN

Los análisis de vegetación son importantes para conocer la dinámica y también para poder inferir que tipo de coberturas existen en una determinada zona, para ellos se aplicó el Índice de Vegetación Normalizada, denominado comúnmente NDVI, como este Índice, existen otros como el Índice SAVI, EVI, OSAVI, GNDVI, etc, que todos representa el estado de la vegetación con diferentes enfoques, sin embargo, el NDVI es uno de los índices más utilizados.

En la siguiente tabla se muestra una clasificación estándar para entender los valores del NDVI y el tipo de cobertura general que estaría comprendida en este índice.

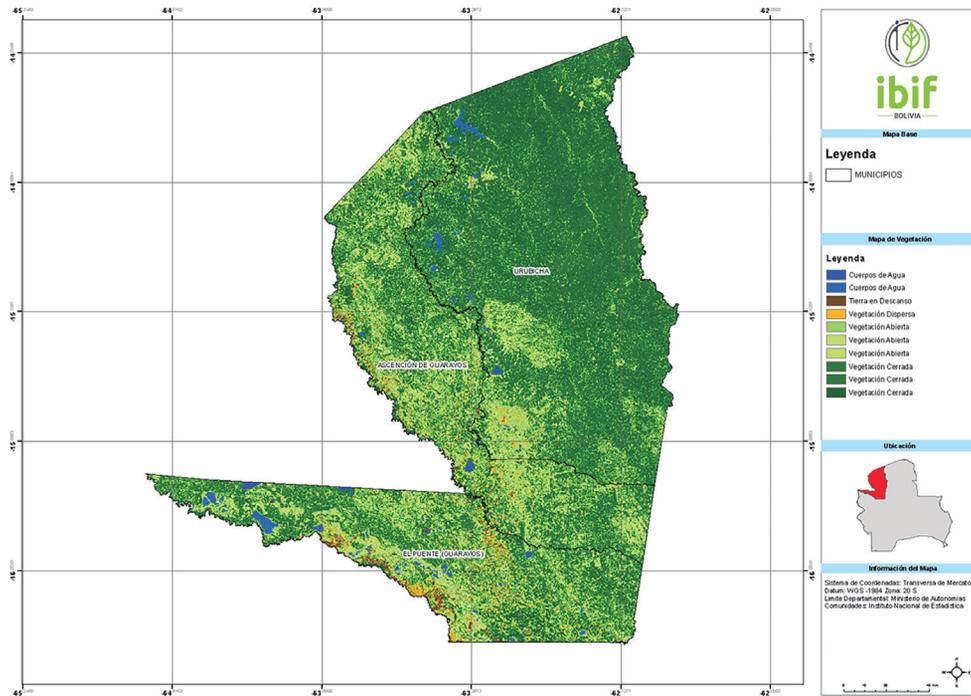
Tabla 2. Rangos de Valores del NDVI y su descripción.

Clase	Valores de NDVI	Cobertura de la tierra	Descripción
1	<-0.1	Clases no vegetales	Ríos, quebradas, lagunas, nubes
2	-0.1 - 0.15	Tierra desnuda	Tierras degradadas, asentamientos, vías, suelo sin cobertura vegetal
3	0.15 - 0.25	Vegetación dispersa	Tierras cultivadas, herbazales, arbustos, pastizales, terreno arado para cultivo
4	0.25 - 0.40	Vegetación abierta	Vegtación leñosa, vegetación arbustiva, bosque seco
5	>0.40	Vegetación cerrada	Plantas densas en crecimiento

Lo que se realizó en este apartado, es conocer cuáles son los tipos de cobertura, para ello se empleó una imagen satelital SENTINEL 2 del mes de Julio 2023, como se puede observar en la clasificación que se realizó. Por lo mencionado, hay una gran superficie de vegetación densa que está asociado principalmente al Bosque denso Amazónico o Chiquitano, también hay otra proporción de vegetación abierta, que está asociada a herbazales y también a una vegetación de bosque menos densa.

En el Mapa, se puede observar que el Municipio de Urubichá concentra una superficie importante de coberturas densas, según la clasificación de la tabla, que nuestro contexto se refiere al Bosque Chiquitano, lo cual favorece a los procesos de recarga, así también, está el Municipio de Ascensión de Guarayos.

Figura 7. Mapa de Índice de Vegetación para la Provincia Guarayos



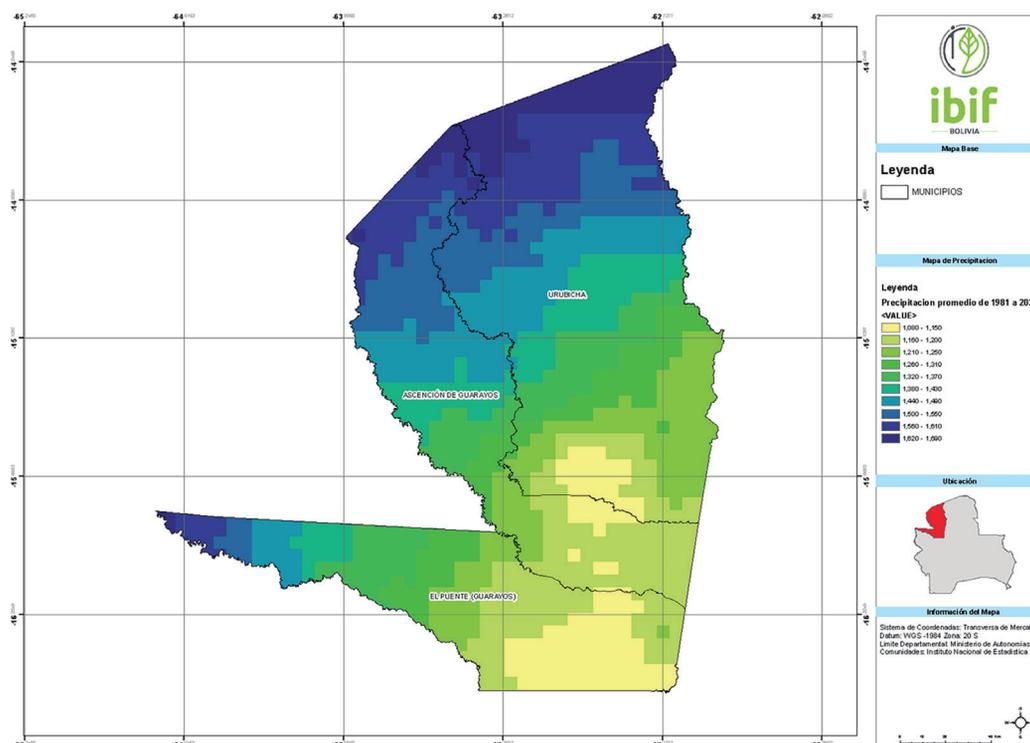
V.V. ANÁLISIS METEOROLÓGICO

En este análisis se realizó la sistematización de la precipitación promedio anual desde 1981 hasta el 2022, empleando el satélite CHIRPS muy empleado en el balance nacional, si bien se tiene datos de la estación de aeropuerto de Ascensión de Guarayos, pero no permite observar la variabilidad espacial, el propósito es observar la distribución de la precipitación en la Provincia.

Como se puede observar, los datos oscilan entre 1000 y 1600 mm anual, donde se observa en parte norte del Municipio de Urubichá es donde hay mayor precipitación, como también parte del Municipio de Ascensión de Guarayos.

En la parte Central de los Municipios mencionados anteriormente, se concentran precipitaciones entre los 1000 y 1320 mm respectivamente. Sin embargo, en el Municipio El Puente, se encuentran precipitaciones menores a los 1000 mm, estos valores muestran una precipitación no tan alta, lo cual puede estar asociado a eventos de sequía, tomando en cuenta que en el Municipio del Chapare se tiene una precipitación promedio anual de 5000 mm, los Municipios del Chaco menor a 800 mm.

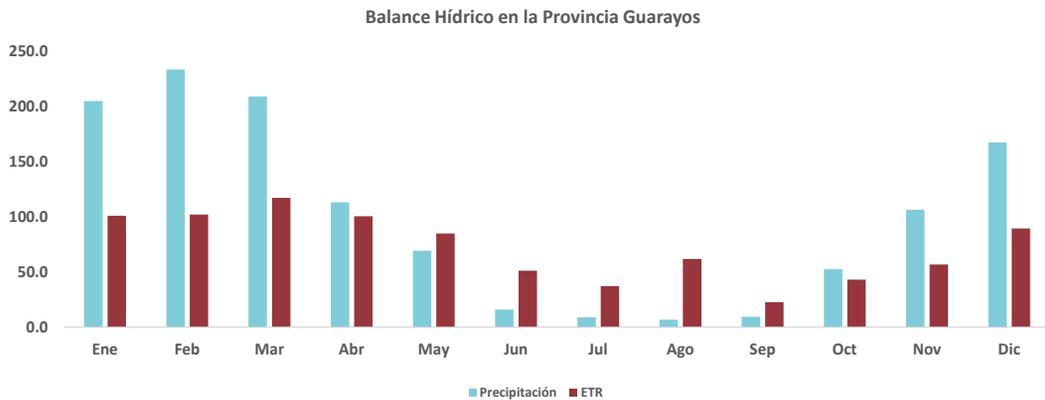
Figura 8. Mapa de Precipitación desde 1981 a 2022 empleando el Satélite CHIRPS para la Provincia Guarayos



V.VI. ANÁLISIS DE BALANCE HÍDRICO

El Balance Hídrico se realizó para toda la Provincia de Guarayos. En el siguiente gráfico podemos observar un resumen de la precipitación y la evapotranspiración. El Balance está en función de lo que entra al sistema en términos de precipitación y lo que sale o se evapora por los procesos del suelo y la planta. Este gráfico, muestra un resumen de toda la provincia.

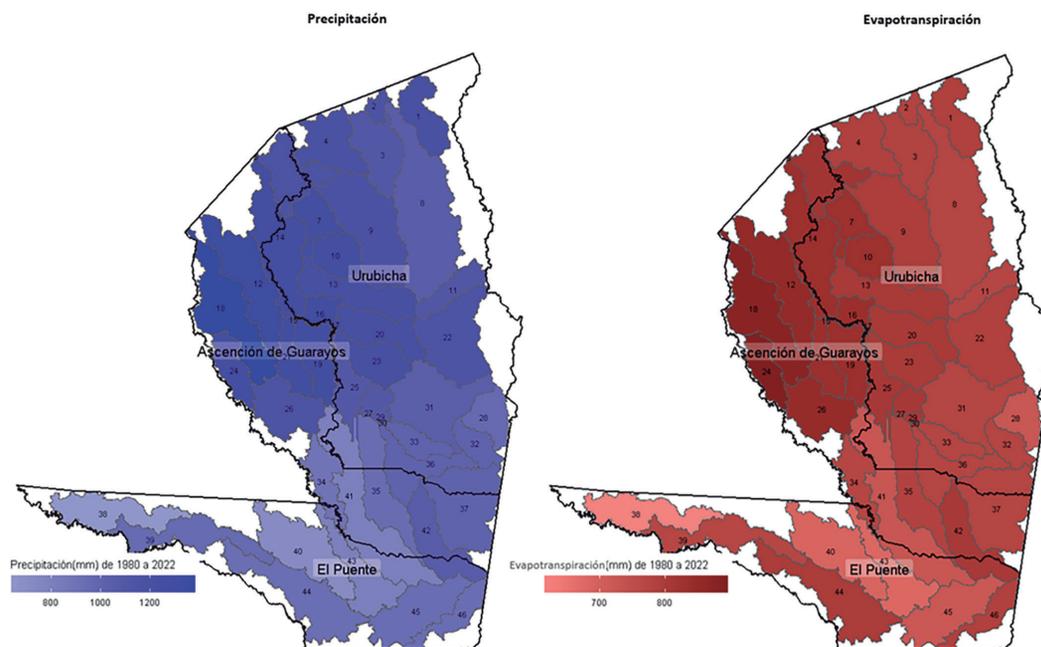
Gráfico 3. Balance Hídrico para la Provincia de Guarayos



Como se observa en el gráfico, hasta el mes de abril hay un exceso de la precipitación, esto tiene relación con la época de lluvia, y desde el mes de mayo hasta septiembre hay un déficit de agua, es decir se evapora más agua de la que se precipita. En los meses de invierno, hay déficit de agua, es decir, se pierde más agua de la que se precipita, claro está, que en esta época no evidencia cultivos de invierno, aun si en la provincia hubiera un déficit de agua, como se observa en los meses de estiaje, para Julio y agosto más de 80 mm de déficit de agua.

Como se puede observar en el mapa, en el Municipio de Ascensión de Guarayos se observa según la modelación que hay mayor precipitación sobre todo en la Sub-Cuenca 18 y en general en el Municipio de Urubichá también se observa una precipitación mayor a los 1000 mm y las zonas con menor precipitación se localizan en la parte sur, correspondiente al Municipio de El Puente, esto tiene una correlación con todos los parámetros ya explicados anteriormente.

Figura 9. Comparación del Mapa de Precipitación y Evapotranspiración Real para la Provincia Guarayos



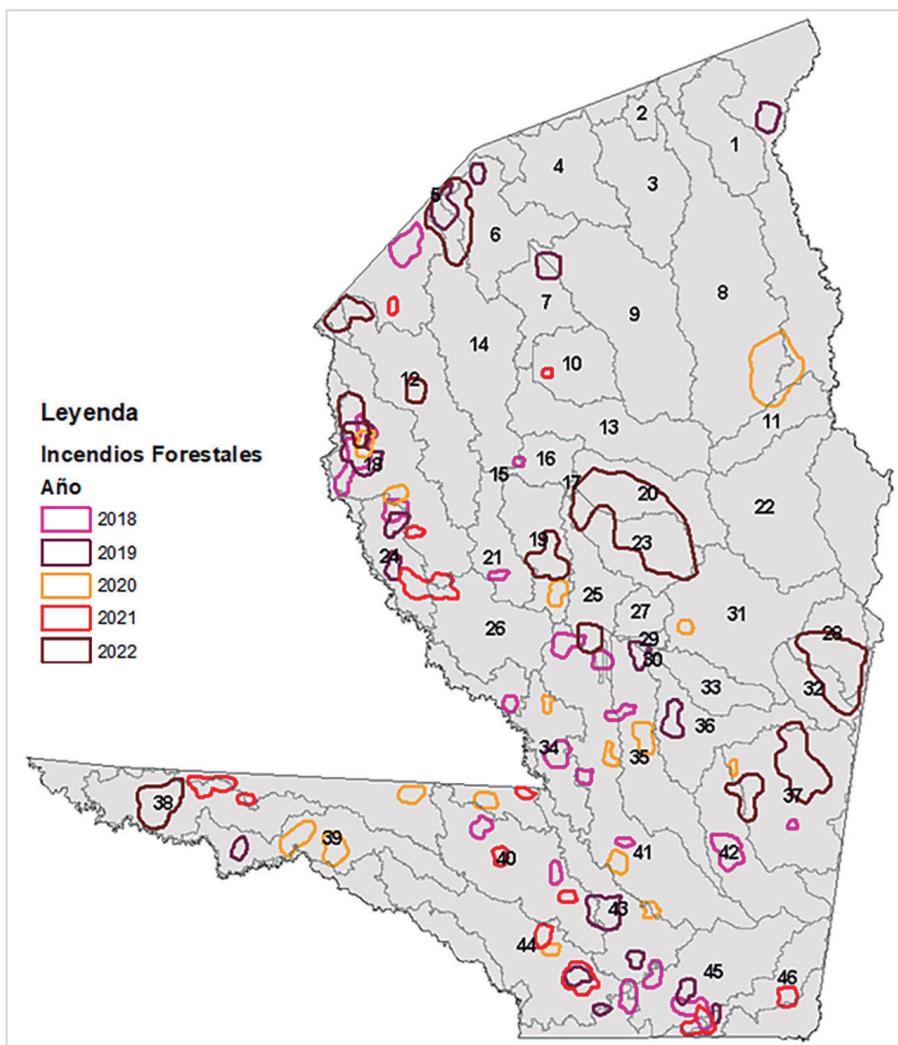
Respecto a la evapotranspiración (ETR), también en la Sub-Cuenca 24 hay mayor en el orden de los 900 mm, aun así, no se observa un déficit hídrico, puesto que se precipita más de lo que se evapora, y también por conservar una vegetación que mantiene un ciclo hídrico en la zona.

En la parte Sur del Municipio de El Puente en las Sub-Cuencas 36 y 40, la ETR es menor a los 700 mm, que es considerada una zona con riesgo de déficit hídrico, puesto que estas precipitaciones son un promedio anual.

V.VII. ANÁLISIS DE AFECTACIÓN Y PÉRDIDA DE BOSQUE POR INCENDIOS FORESTAL

En un análisis correspondiente a una sistematización y digitalización de los últimos cinco años (2018-2022) de incendios forestales para toda la Provincia Guarayos, se puede observar Sub-Cuencas afectadas como la 18,24,41 con incendios en forma recurrente.

Figura 9. Incendios Forestales en los últimos cinco años para la Provincia Guarayos

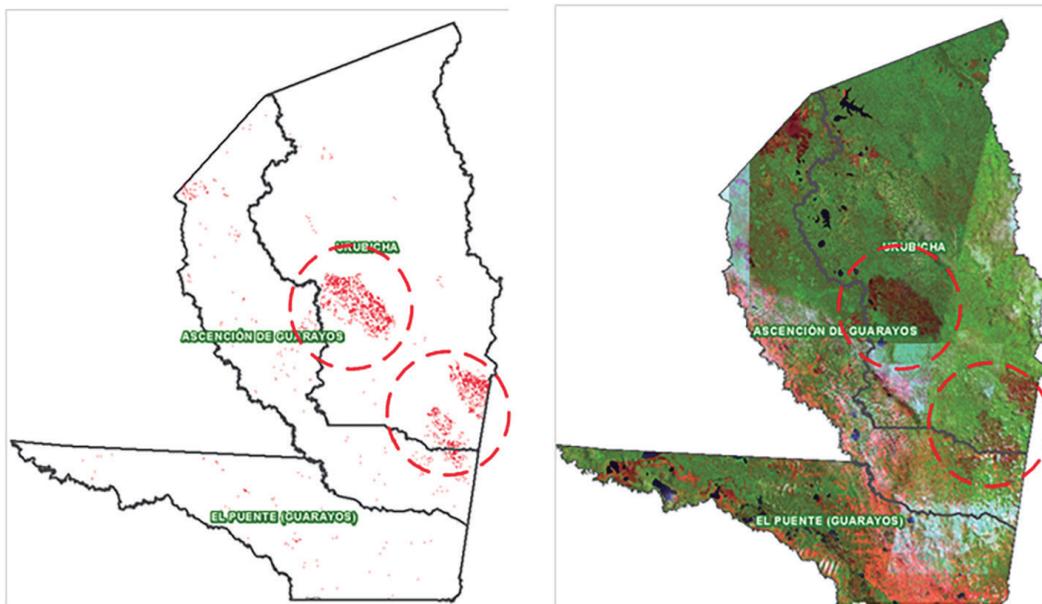


En la siguiente tabla, se hace una superposición de las Sub-Cuencas y los municipios, donde podemos identificar que para el Municipio de Ascensión de Guayaros la Sub-Cuenca-18 presenta, una recurrencia de incendios en los cuatro años, Para el Municipio de Urubichá la Sub-Cuenca-35 ha presenta en los tres primeros años incendios recurrentes, sin embargo, para el año 2022 la Sub-Cuenca 23, se ha registrado una superficie quemada mayor a 31 mil hectáreas aproximadamente y el Municipio de El Puente, para el 2022 se ha registrado una superficie afectada de 11 mil hectáreas que corresponde a la Sub-Cuenca 38.

Tabla 3. Resumen de superficie afectada por incendios forestales en la Provincia Guarayos

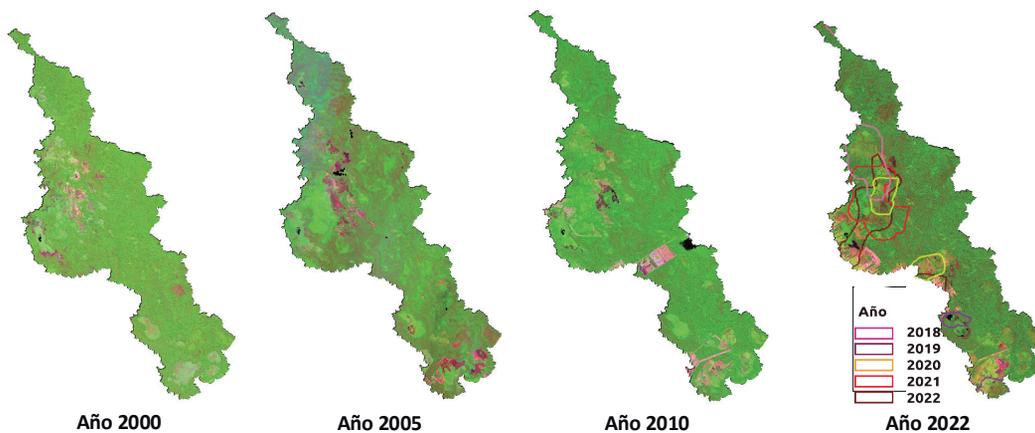
Municipios	Sub-Cuenca	2018	2019	2020	2021	2022
Municipio Ascención de Guarayos	5		163.56			16.32
	6		3306.06			7588.04
	12					7142.45
	14	378.50	3401.50			9470.07
	18	10790.47	10895.65	5150.26	2819.75	8358.48
	19			2815.03		8639.64
	21	1068.90				224.70
	24	2383.19	5304.81	263.73	4350.76	
	26	43.20			2631.99	
	34	3814.27		1095.23		
	37	538.06		718.66		23277.56
42	5837.97		1.16		1977.96	
Municipio El Puente	38				3962.54	11870.53
	39		1810.04	9639.50		
	40	3908.78	2039.56	126.39	3030.06	
	43	507.29	6869.44	822.53		
	44	605.43	3111.35	1352.49	8661.00	
	45	7325.63	2699.45		2416.18	
46	749.79	684.50		3826.41		
Municipio de Urubichá	7		2454.61			
	8			14708.40		
	9		1812.87			
	10				539.88	
	11			1384.77		
	16	168.37				15.33
	17					296.45
	20					24244.02
	23					31590.36
	25	1118.66				4239.29
	27	525.93				
	28					18578.96
	29		601.25			
	30		27.88			
	31			1285.28		355.51
32					7117.26	
35	1363.33	2141.21	4002.55			
36		4158.44	1.99		877.21	
41	8070.89		5008.49		577.84	

Como se puede observar en el mapa de afectación por incendios para el 2022, hay una correlación importante en lo que se sistematizó de HANSEN versus la imagen satelital SENTINEL 2 para el mes de octubre 2022, que se atribuye a cicatrices de incendio forestal.



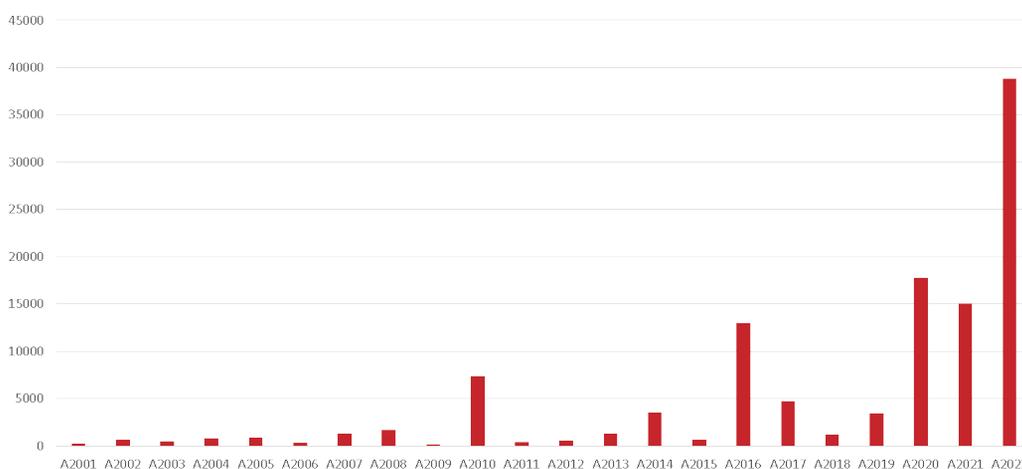
Por otra parte, se realizó un análisis para la Sub-Cuenca-18 desde el año 2000,2005,2010 y 2022, para observar si hay correlación con los incendios y la habilitación de tierras. Podemos observar que hay relación directa que para esta Sub-Cuenca, la recurrencia de incendios ha permitido la habilitación de tierras como se observar en la Figura.

Figura 10. Análisis Multitemporal de Los Incendios para la Sub-Cuenca 18.



Para el análisis de pérdida de masa forestal por incendios forestales, se sistematizó la pérdida de bosque del autor HANSEN¹, desde el 2001 hasta el 2022 donde cada año se hace una cuantificación en términos de superficie. Como se observa en la gráfica, se muestran las pérdidas por incendios forestales y actividades antrópicas indirectamente, si bien este análisis es realizado con sensores remotos, se hizo una validación con imágenes para ciertos años como el 2022 que se reporta pérdidas de masa forestal mayores a 35 mil hectáreas para ese periodo en la Provincia Guarayos.

Gráfico 4. Pérdidas de Boque por Incendios entre el 2001 y 2022 en la Provincia de Guarayos



En la siguiente tabla, se hace una superposición de las Sub-Cuencas y los municipios, donde podemos identificar que para el Municipio de Ascensión de Guayaros la Sub-Cuenca-37 presenta, una recurrencia de incendios en los seis años. Para el Municipio de Urubichá la Sub-Cuenca-8, presenta en los seis años una recurrencia de incendios y para el 2020 más de 11 mil hectáreas y el Municipio de El Puente, para el 2022 se ha registrado una superficie afectada de 390 hectáreas que corresponde a la Sub-Cuenca 44 respectivamente.

1 https://glad.umd.edu/dataset/Fire_GFL: El mapa coincide con las estimaciones de área basadas en muestras de pérdida de bosques debido a incendios ± SE para todos los continentes excepto África

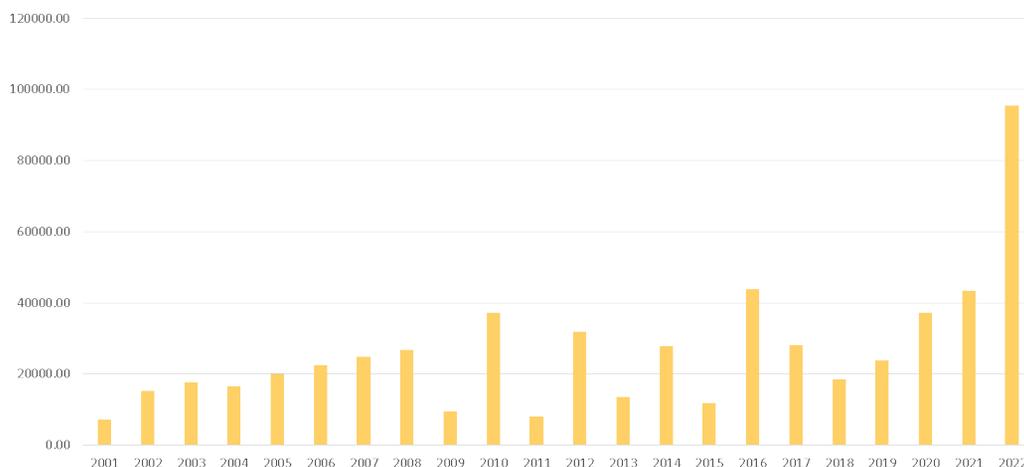
Tabla 3. Resumen de superficie de pérdida de bosque por incendios forestales en la Provincia Guarayos

Municipios	Sub-Cuencas	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Municipio de Ascensión de Guarayos	5						0.15
	6	139.61	6.62	4.30	233.80	162.92	99.65
	12	15.46	0.05	2.21	40.18	74.19	632.95
	14	102.24	0.70	63.76	29.16	20.36	56.06
	18	385.08	152.00	384.04	53.08	373.04	437.16
	19	9.39	0.98	78.30	78.66	149.18	567.46
	21	38.83	0.33	0.93	41.47	303.11	100.49
	24	421.53	8.64	365.48	64.75	62.24	42.19
	26	108.40	71.62	28.47	21.16	312.63	257.51
	34	110.59	245.98	19.74	37.79	15.72	37.05
Municipio El Puente	37	72.70	13.66	23.51	60.50	52.79	5005.80
	42	139.03	81.39	80.43	25.86	36.93	175.09
	38	32.61	0.20	0.35		1.88	77.64
	39	155.43	3.68	9.87	0.53	14.98	30.25
	40	236.22	54.83	15.12	30.96	328.55	230.49
	43	87.29	76.16	39.54	111.55	138.57	97.67
	44	182.16	25.10	131.83	65.84	178.57	390.93
Municipio de Urubichá	45	64.71	30.71	32.71	25.23	11.04	108.35
	46	33.01	13.34	7.76	7.64	4.73	37.50
	7	23.01	0.05	0.05	0.38	5.23	0.81
	8	3.77	6.82	2.03	11711.98	8096.56	34.68
	9	4.40	0.10	7.19	445.89	1009.73	133.62
	10	0.25		3.04	181.20	307.68	118.45
	11	4.78	0.10	1.44	1667.91	1486.38	0.20
	16	96.11	10.30	13.07	0.05	0.71	0.20
	17	1.20		2.80			66.10
	20	91.39	0.33	211.55	0.94	2.54	9449.74
	23	4.38	0.41	93.69	1.44	18.16	8617.52
	25	8.52	0.40	45.37	31.16	28.91	27.02
	27	1.83	0.56	16.23	19.44	17.68	0.73
	28	0.42	0.49	719.60	21.42	2.70	6623.23
	29	0.25		44.16	0.77	0.48	4.59
	30	0.60		12.49			0.15
	31	18.78	0.71	21.59	28.75	104.33	307.63
32	0.66	0.10	262.58	20.55	7.01	1440.77	
35	91.32	6.39	74.78	9.91	12.20	58.54	
36	56.90	3.26	234.00	16.11	55.23	1461.67	
41	222.80	204.34	68.76	247.56	47.58	78.38	
Total		2965.67	1020.35	3122.77	15333.59	13444.57	36808.44

V.VIII. CAMBIOS EN LA COBERTURA BOSCOSEA POR APLICACIÓN DE LA FRONTERA AGRÍCOLA

Se toma como referencia la plataforma de Vigilancia Forestal Mundial (GFW), en la que se cuantifica la Pérdida de bosque durante el periodo 2001-2022, y se define como una perturbación de un cambio de Bosque a No Bosque (agricultura, pastizal, urbano). En ese sentido se hizo una sistematización para toda la Provincia Guarayos con los siguientes resultados.

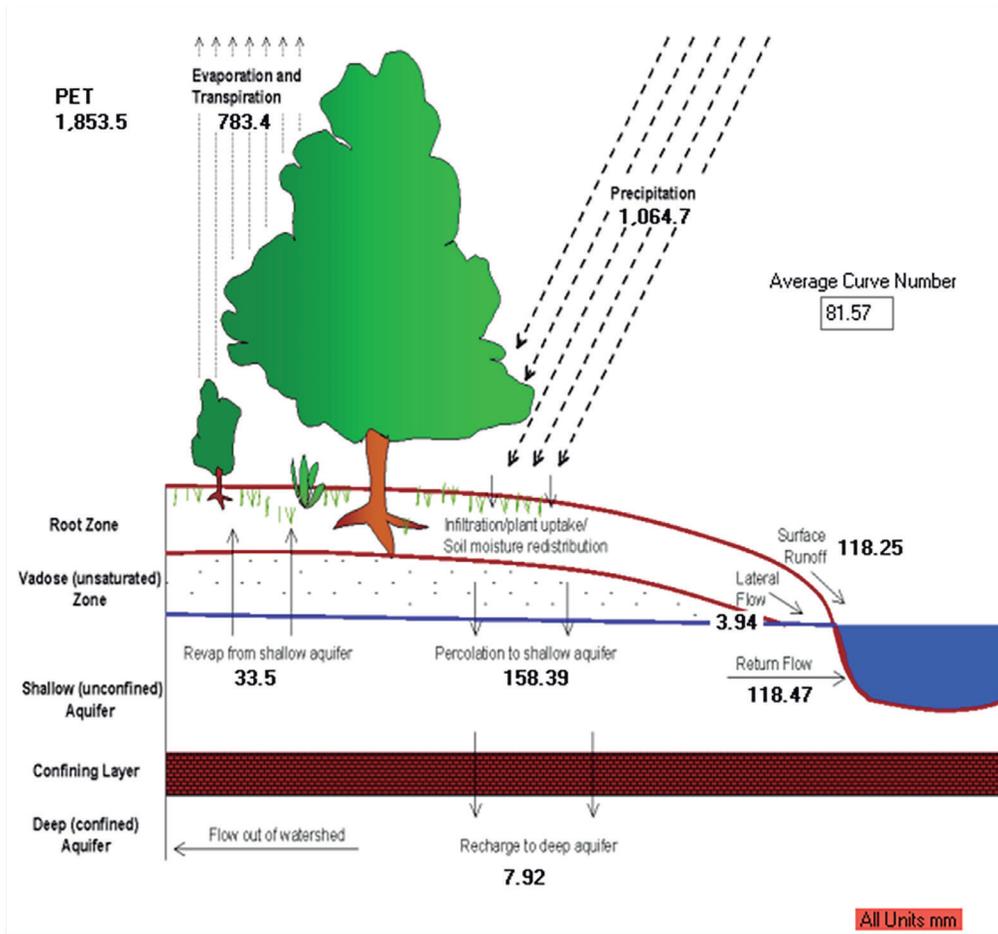
Gráfico 5. Superficie por año de cambio de cobertura de Bosque a No Bosque



V.IX. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA (PROVINCIAL Y MAPA A ESCALA SUBCUENCAS)

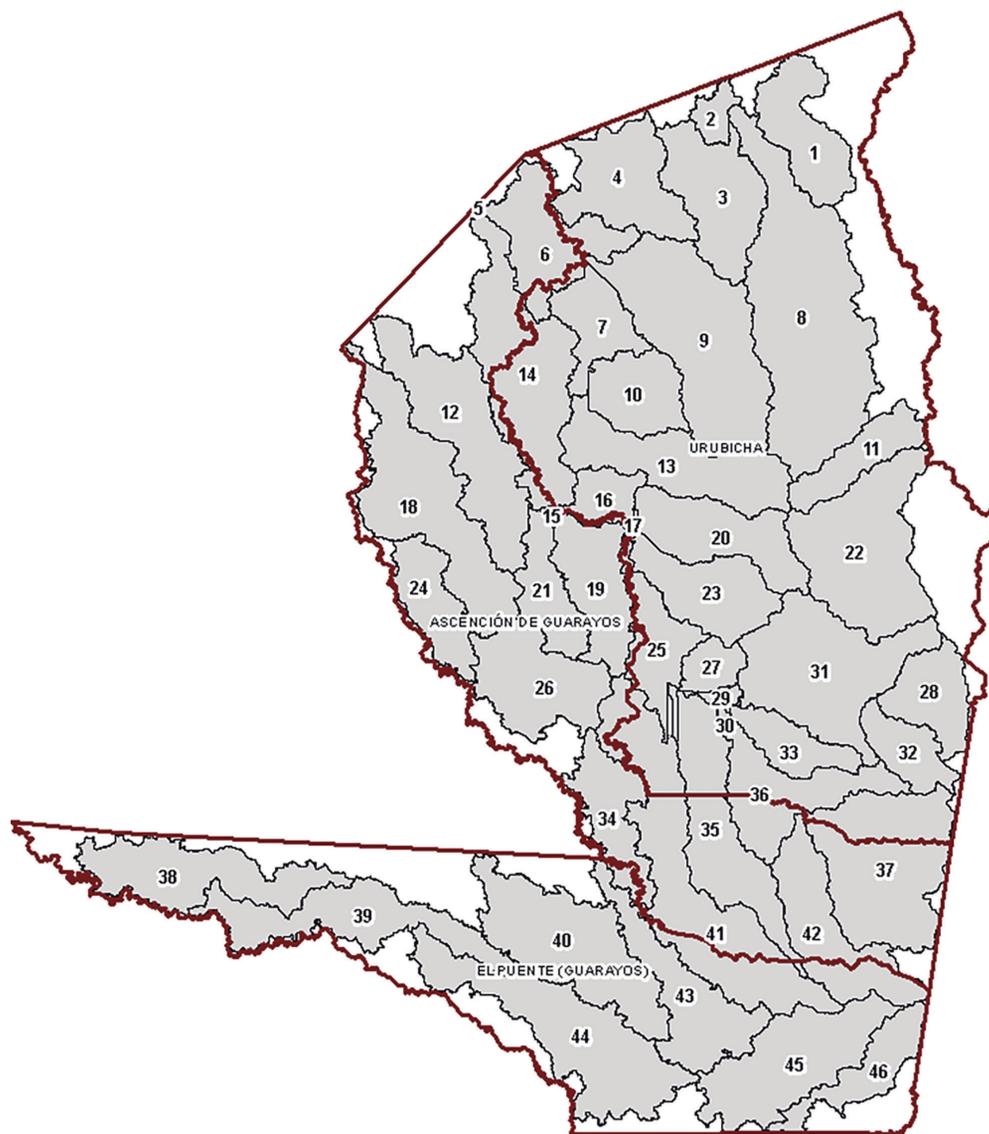
En la modelación de 41 años (1981-2022) con ArcSwat se puede observar que el promedio de lluvia es de 1064 mm, con una evapotranspiración de 783.4 mm, y una percolación en la zona no saturada del acuífero de 158.39 mm y un escurrimiento de 118.25 mm y una recarga subterránea de 7.92 mm. Este resumen de la modelación permite observar que hay una recarga en lo superficial (Esgurrimiento), en lo sub-superficial (percolación) y subterráneo, en toda la provincia, sin embargo, en los siguientes resultados se observará a nivel de subcuenca como está fluctuando esta recarga.

Gráfico 6. Resumen de la Modelación en la Provincia Guarayos



Se han identificado 41 subcuencas, como se puede observar en la figura 9 productos de la delimitación de cuencas. Si bien hay zonas donde no cubre todo el límite del municipio, esto se debe a que en algunas subcuencas sobresalen los límites municipales, y esto implicaba hacer un análisis más extenso del uso de suelo y cobertura. Sin embargo, el análisis muestra resultados importantes.

Figura 12. Mapa de Sub-Cuencas en la Provincia de Guarayos

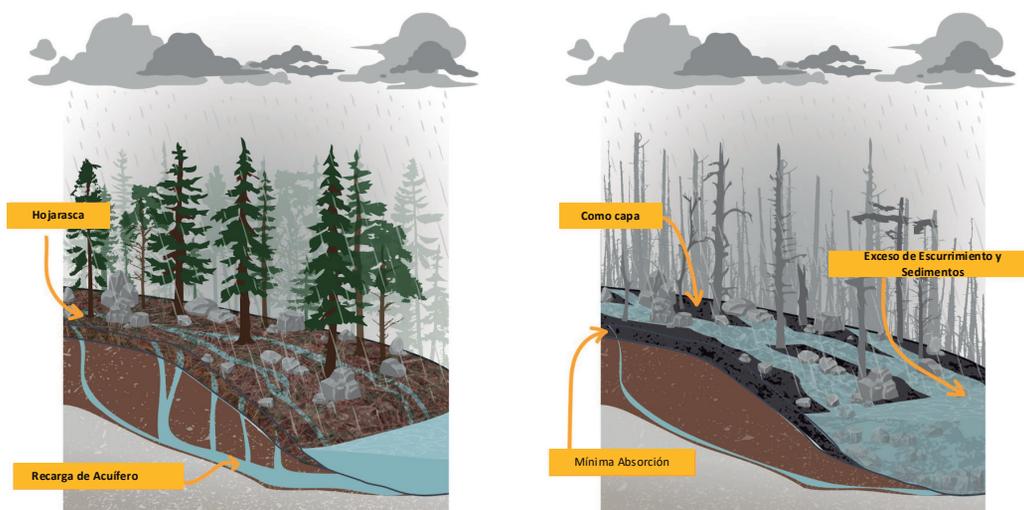


Para entender la recarga superficial y recarga de acuíferos se ejemplifica con una imagen del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), donde muestra que cualquier actividad como incendios o cambio de uso de suelo, provoca un exceso de escurrimiento, ya que hay una mínima absorción por las partículas que caen al suelo, y lo contrario es la imagen de la izquierda donde hay una importante recarga producto de la conservación del bosque.

V.IX.I ANÁLISIS DE LA RECARGA HÍDRICA – A NIVEL SUPERFICIAL DE LA PROVINCIA

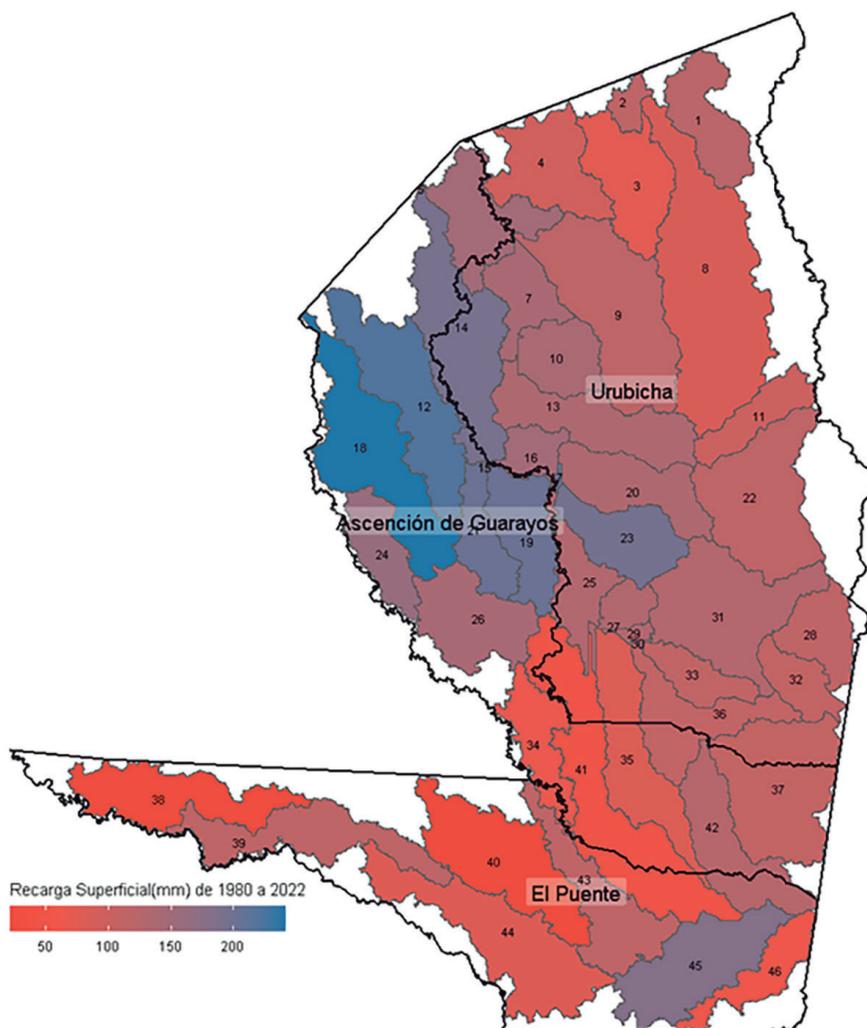
En el siguiente mapa se observa el promedio de recarga superficial o escurrimiento de los 41 años modelados, en principio los resultados muestran al Municipio de Ascensión de Guarayos con mayor escurrimiento, sobre todo la subcuenca 18. Así también la subcuenca 38 presenta el menor escurrimiento, es decir, menor a 50 mm. Indicar que la recarga superficial está dada por parámetros como el escurrimiento, precipitación y evaporación entre los parámetros más determinantes.

Grafico 7. Efecto de los Incendios en la Recarga Hídrica.



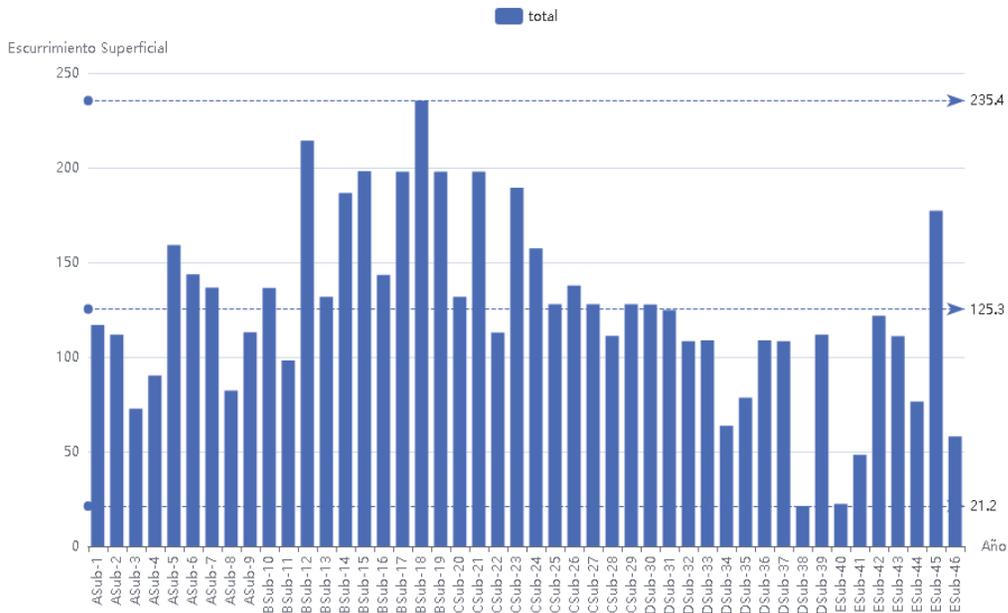
Fuente: https://labs.waterdata.usgs.gov/visualizations/fire-hydro/index.html?utm_source=twitter&utm_medium=usgs_datasci&utm_campaign=i70#

Figura 13. Mapa de Recarga Superficial en la Provincia Guarayos



Como se puede observar en el gráfico de líneas, se tiene como máximo valor de 235.4 mm, como promedio 125.3 y como mínimo de 21.2 mm.

Gráfico 8. Promedio de Recarga Superficial por Sub-Cuencas en la Provincia Guarayos

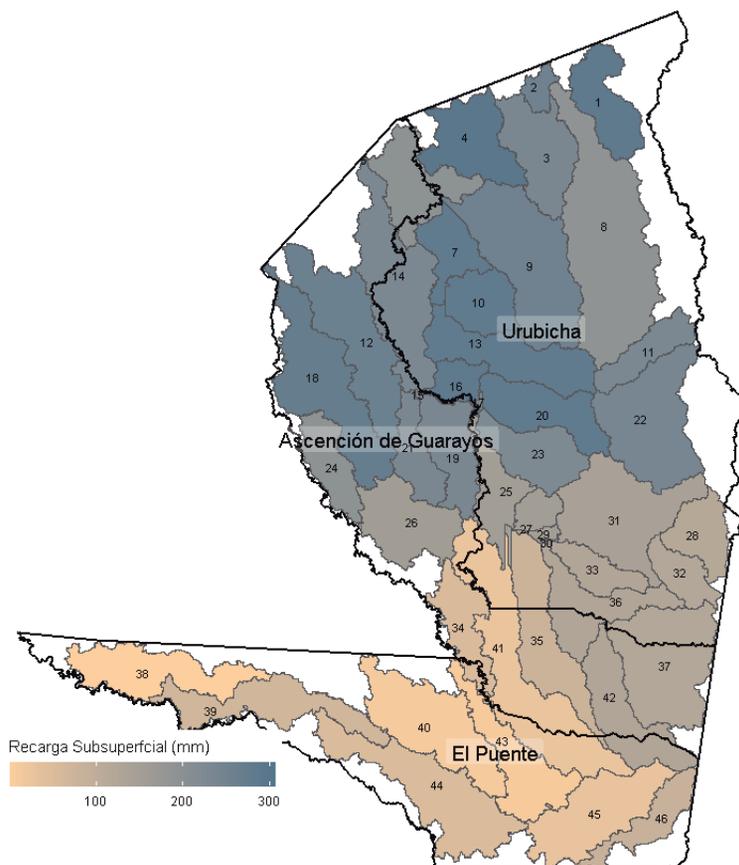


V.IX.II. ANÁLISIS DE RECARGA HÍDRICA - SUBSUPERFICIAL A NIVEL PROVINCIAL

En el siguiente análisis, se observa como la recarga subsuperficial, se concentra en la parte norte, y esto por una correlación muy clara, el tema de la cobertura boscosa que predomina en la zona y que proporciona almacenamiento y retención de humedad. Por otro lado en la parte sur, se observa una recarga promedio de 100 mm anual, donde se concentra la actividad agrícola, según el censo agropecuario de 2013, para el Municipio de Ascensión de Guarayos se tiene un superficie de 11.561 Ha para la categoría de granos oleaginosos y el El Puente con 34.692 Ha y Urubichá con 342 Ha.

Indicar que las variables asociadas a la recarga subsuperficial descritas en la metodología, es el caudal de agua subterránea o flujo normal dentro del cauce principal al día I (mm H2O), cantidad de agua que entra al suelo en respuesta a las deficiencias de agua al día (mm H2O) y cantidad de agua extraída del acuífero poco profundo por bombeo al día (mm H2O).

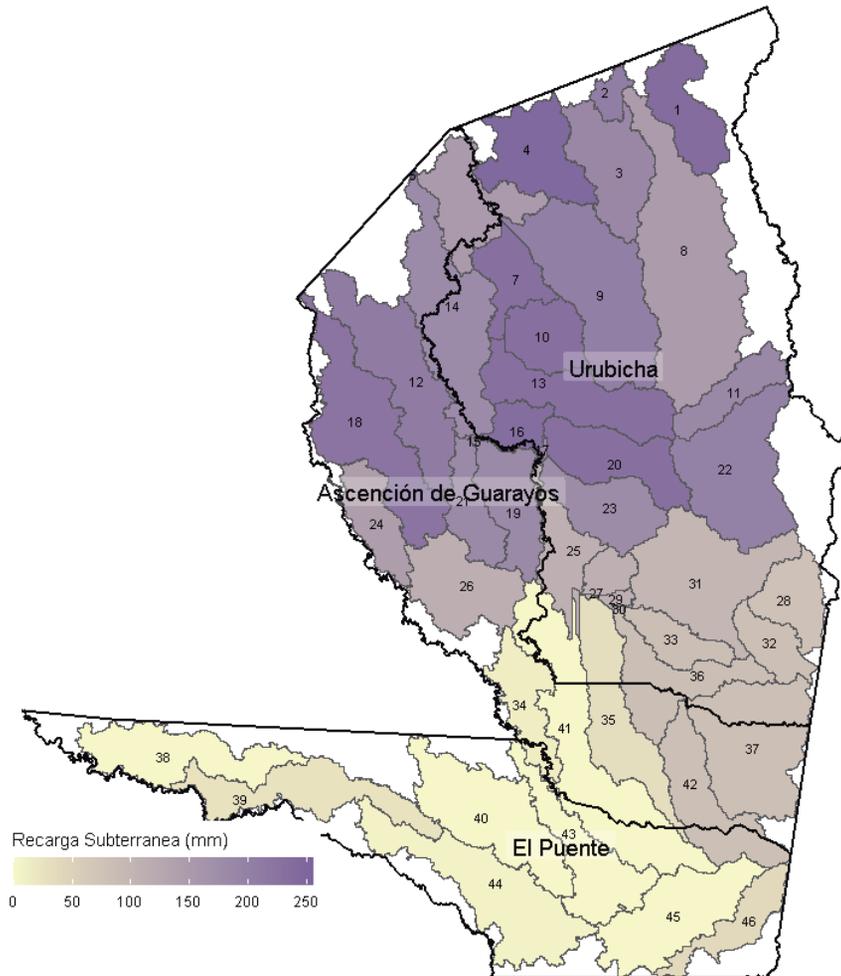
Figura 14. Mapa de Recarga Subsuperficial en la Provincia Guarayos



Resaltar que desde el punto de vista de modelación, esta recarga se refiere a la percolación o infiltración, y es la que se calcula como la cantidad de agua que ingresa en el subsuelo.

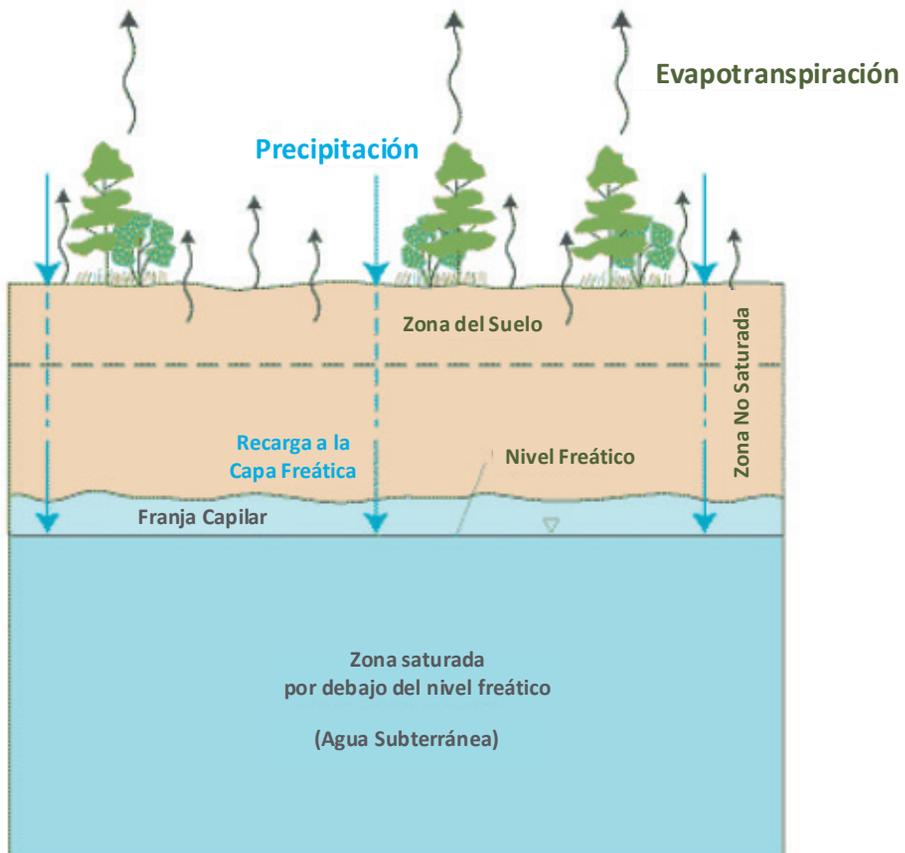
V.IX.III. ANÁLISIS DE RECARGA HÍDRICA – SUBTERRÁNEA A NIVEL PROVINCIAL

Respecto a la recarga hídrica subterránea, podemos observar que en toda la provincia se concentra en la parte norte, esto por factores como la cobertura boscosa que favorece estos procesos, segundo por los tipos de textura de suelo que son franco arenosos arcillosos y por una precipitación importante en esa zona. Esto es algo muy importante puesto que en estas zonas con color morado fuerte no hay un cambio de uso de suelo determinante, dada la existencia de cobertura vegetal de transición de bosque seco chiquitano a bosque tropical húmedo (bosque amazónico).



También podemos observar que en la parte sur el almacenamiento de agua subterránea es bajo frente a la parte norte; todo este análisis es un promedio de 42 años modelados. Para entender el modelado de agua subterránea, en la siguiente gráfica se observan dos zonas, que es la zona no saturada, que sería la recarga hídrica a nivel sub-superficial y la Zona Saturada que es el almacenamiento de agua subterránea.

Gráfico 9. Esquema de la Recarga Subterránea



VI. Municipio de Urubichá

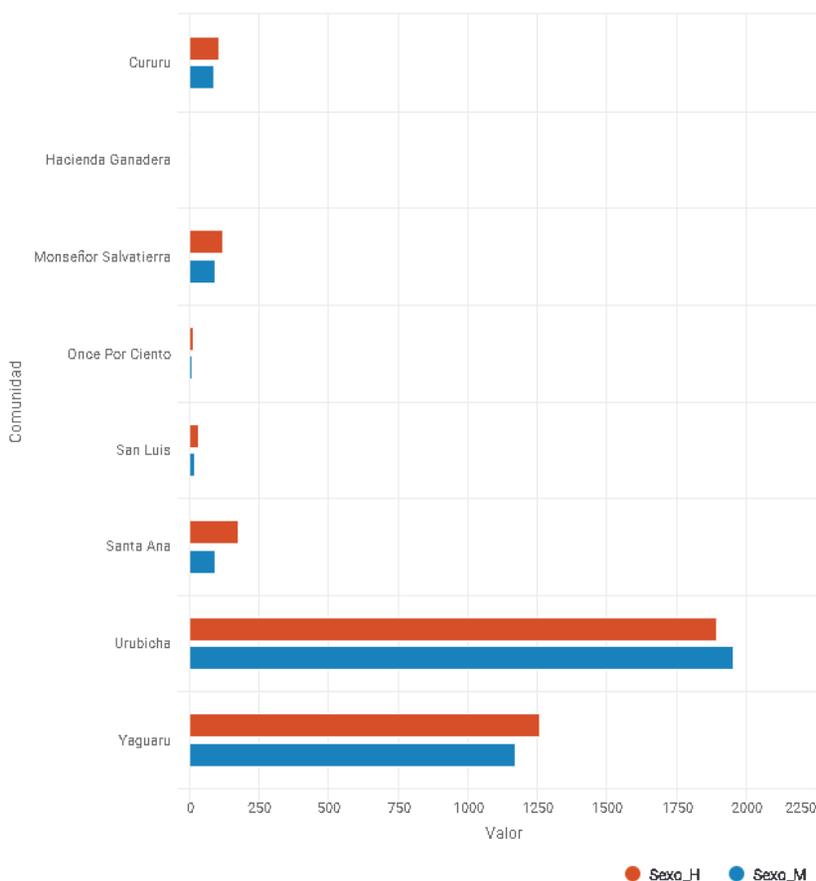


VI.I. ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO

VI.I.I. POBLACIÓN

El Municipio de Urubichá tiene una población de 7026 habitantes según el Instituto Nacional de Estadística (INE-2012). Resaltar que dentro del Municipio se cuenta con ocho comunidades, de las cuales Urubichá es la que presenta mayor población con 3848 Habitantes, seguido de la Comunidad de Yaguarú con 2430 Habitantes. Cabe destacar que la población diferenciada por sexo es casi uniforme en todas comunidades.

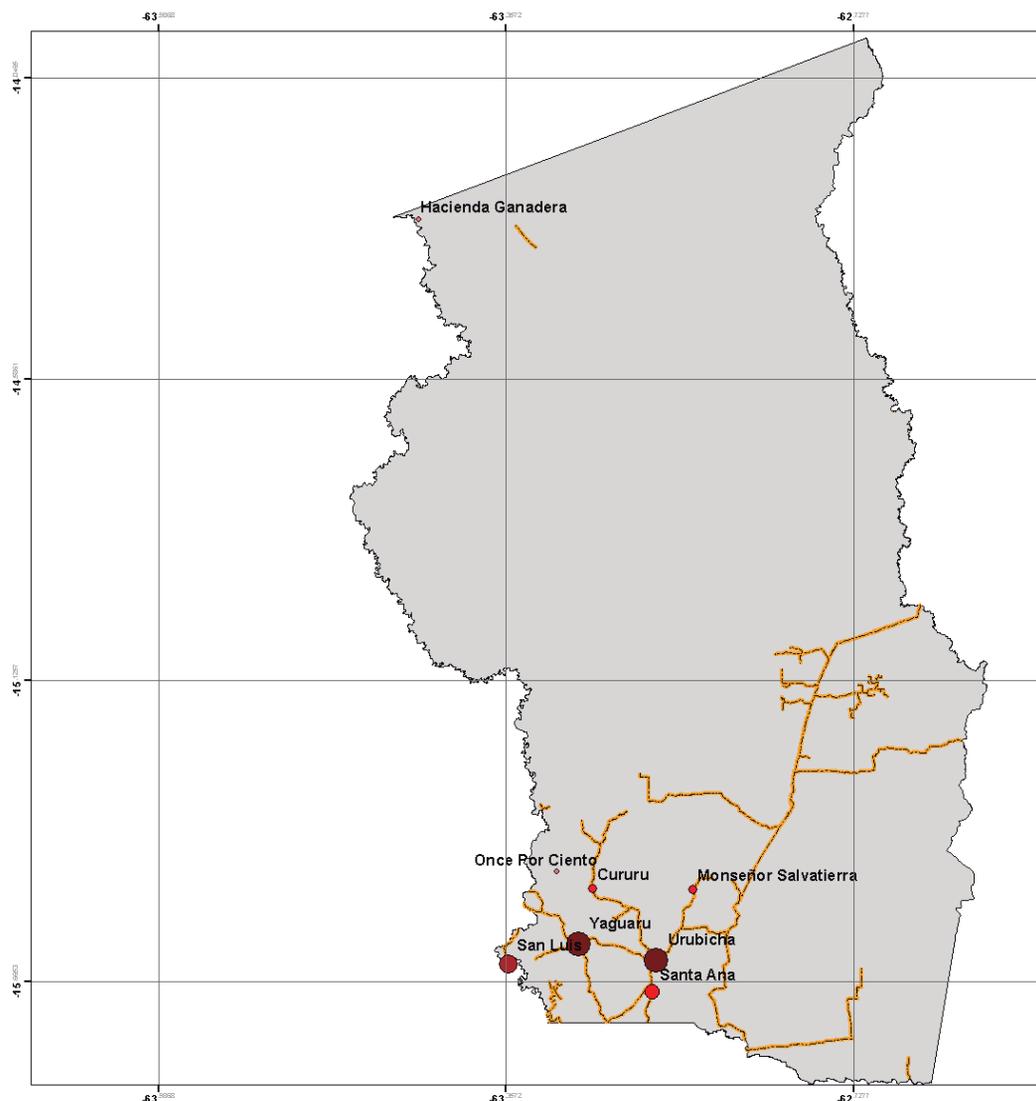
Gráfico 10. Población en el Municipio de Urubichá por sexo



Fuente: Instituto Nacional de Estadística- Censo de Población y Viviendas, 2012

En el siguiente mapa, se muestra, las localizaciones de las comunidades del Municipio de Urubichá.

Figura 15. Mapa de Población del Municipio de Urubichá

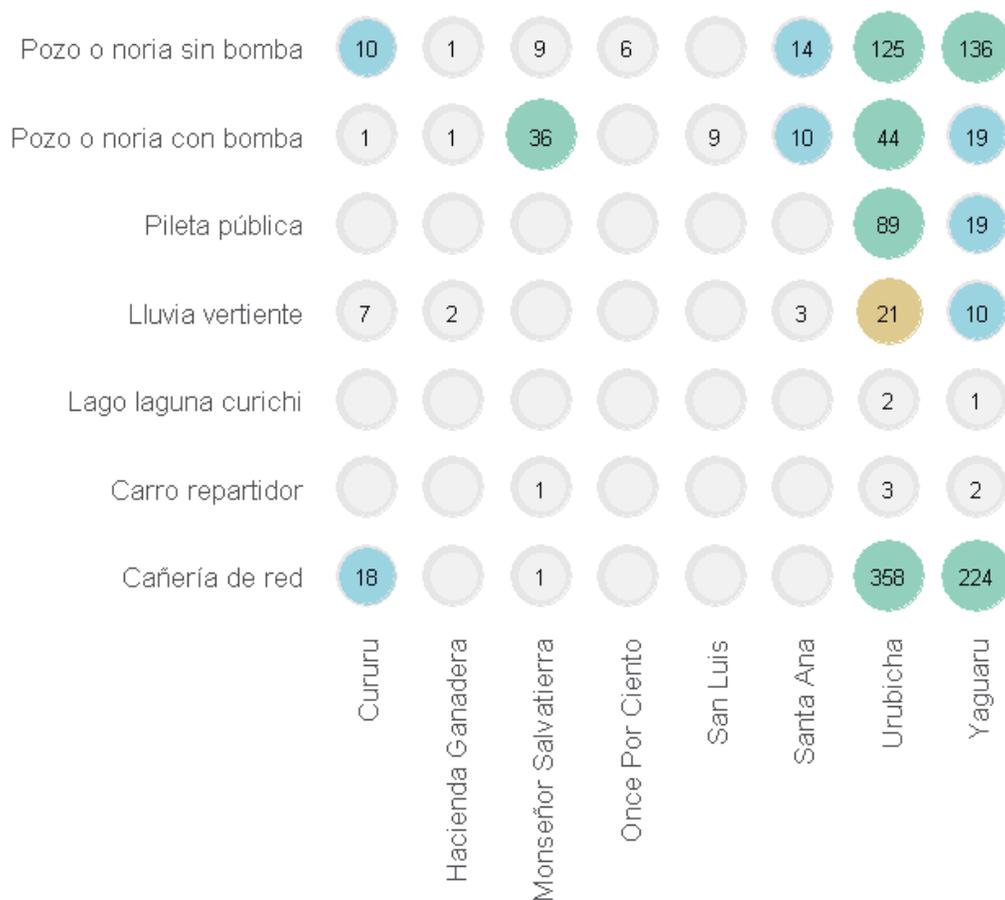


VI.I.II SANEAMIENTO BÁSICO – PROCEDENCIA DE AGUA

Indicar que en el gráfico 2, predomina el acceso a cañería por red con más de 358 familias en Urubichá, seguido de 224 para la comunidad de Yaguarú. Resaltar que ambas comunidades presentan más de 120 familias con acceso a pozos sin bomba o noria. Las demás comunidades tienen acceso a cañería de red, pero son menos de 20 familias en promedio.

Desde el punto de vista de recarga hídrica, no hay impacto directo, más sería un impacto en lo superficial, ya que las fuentes de agua para el suministro de agua para consumo humano son lagunas y de alguna forma podrían disminuir su volumen producto de procesos de sedimentación en caso de existir una agricultura cercana a estas fuentes de agua

Gráfico 11. Procedencia de Agua en el Municipio de Urubichá



Fuente. Instituto Nacional de Estadística, Censo, 2012

VI.II. ASPECTOS PRODUCTIVOS

VI.II.I PRODUCTOS PRINCIPALES

Según el Censo Agropecuario 2013, se puede observar que en casi el 96% predominan **otros usos de la tierra** que corresponde a Bosques naturales, pastizales, tierras en descanso y tierras en barbecho. También se observa que en la zona no hay una agricultura extensiva, si bien hay cultivos de cereales, no son en superficie extensa ya que ocupan solo 1000 Ha. Resaltar que la superficie total en cultivos corresponde a 2249 Km², que corresponde a un 21% del total de la superficie del Municipio. Este dato solo refleja lo que las comunidades han reportado lo que siembran o producen dentro del Municipio.

Tabla 4. Categorías de Cultivos Principales en el Municipio de Urubichá

Categoría	Superficie (Ha)	Superficie (Km2)	Porcentaje
Caña de azúcar y remolacha azucarera	3.9	0.0385	0.00%
Cereales	1007.0	10.0695	0.45%
Cultivo de plantas con las que se preparan bebidas estimulantes, especias y plantas aromáticas	0.7	0.0070	0.00%
Frutas y nueces	109.7	1.0971	0.05%
Frutos o granos oleaginosos	342.1	3.4205	0.15%
Hortalizas	2.1	0.0210	0.00%
Legumbres secas	51.3	0.5125	0.02%
Madera sin elaborar	12.6	0.1260	0.01%
Otros Usos de la Tierra	216843.1	2168.4311	96.41%
Productos del forraje, fibras, plantas vivas, corte las flores y los brotes de la flor, tabaco no procesado, y caucho natural	6457.3	64.5730	2.87%
Raíces y tubérculos comestibles ricos en almidón	95.7	0.9573	0.04%
Total	224925.3	2249.3	1.0

Superficie del Municipio de Urubichá (Km2)	10469.5
---	----------------

La información presentada, tiene relevancia en el estudio para poder comprender los tipos de actividades que existen en el Municipio, puesto que actividades como la agricultura intensiva, promueven un uso continuo del recurso agua y por lo tanto una disminución de la recarga, tanto superficial como sub-superficial. En este sentido, en el Municipio predomina la cobertura boscosa lo cual es una fuente importante de recarga, y menos del 1% corresponde a cultivos.

VI.III. ANÁLISIS DE SUELOS

VI.III.I ANÁLISIS DE TEXTURA

Como se observa en el mapa sistematizado de la plataforma de la FAO de soilgrid de la textura a dos metros, existen cinco clases identificadas, donde predomina la franco arcilloso. Son texturas moderadamente finas, con suelos que presentan buena retención de agua para las plantas. Así también en segunda proporción, franco arcillo arenoso, donde predominan las arcillas con un 45% y las arenas con un 20-35 y de limo un 28% y en menor proporción los arcillo arenosos, donde son suelos impermeables.

Desde el punto de vista de recarga hídrica, los suelos con arena son buenas texturas en términos de percolación, y los suelos más arcillosos, tienden a tener un mayor escurrimiento superficial, en ese sentido la parte norte tendría una tendencia mayor a la recarga que la parte sur con más tendencia al escurrimiento superficial.

La siguiente gráfica muestra los componentes del balance hídrico que señala como la textura influye en la recarga hídrica, en este caso particular de Urubichá predominan dos clases de textura mostradas en el gráfico; claramente los suelos francos arcillosos muestran una recarga mínima y más escurrimiento debido a la textura de arcilla, y los suelos franco arcilloso arenoso muestran una recarga mínima y mayor escurrimiento.

Gráfico 12. Modelo de Componentes del Balance Hídrico vs la textura

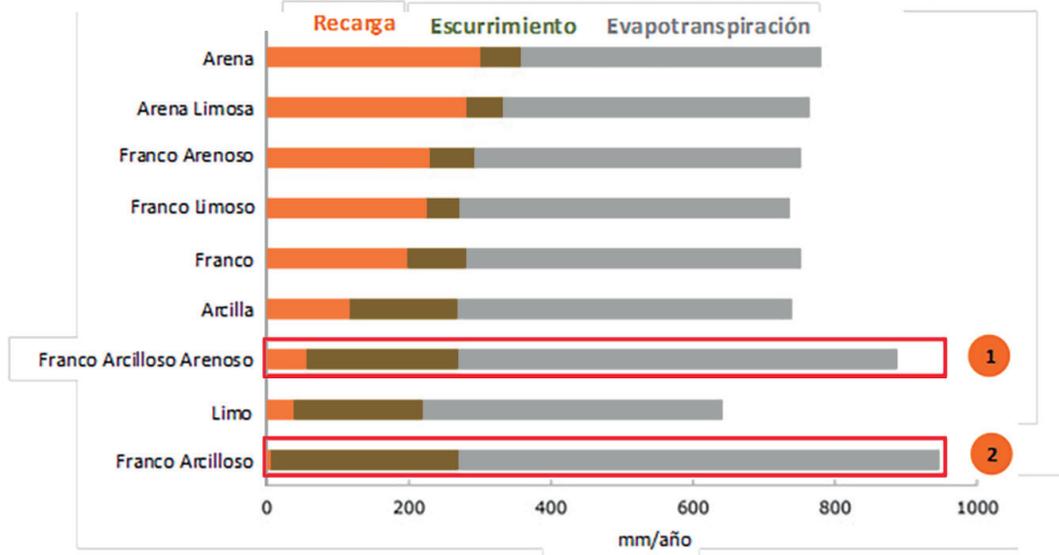
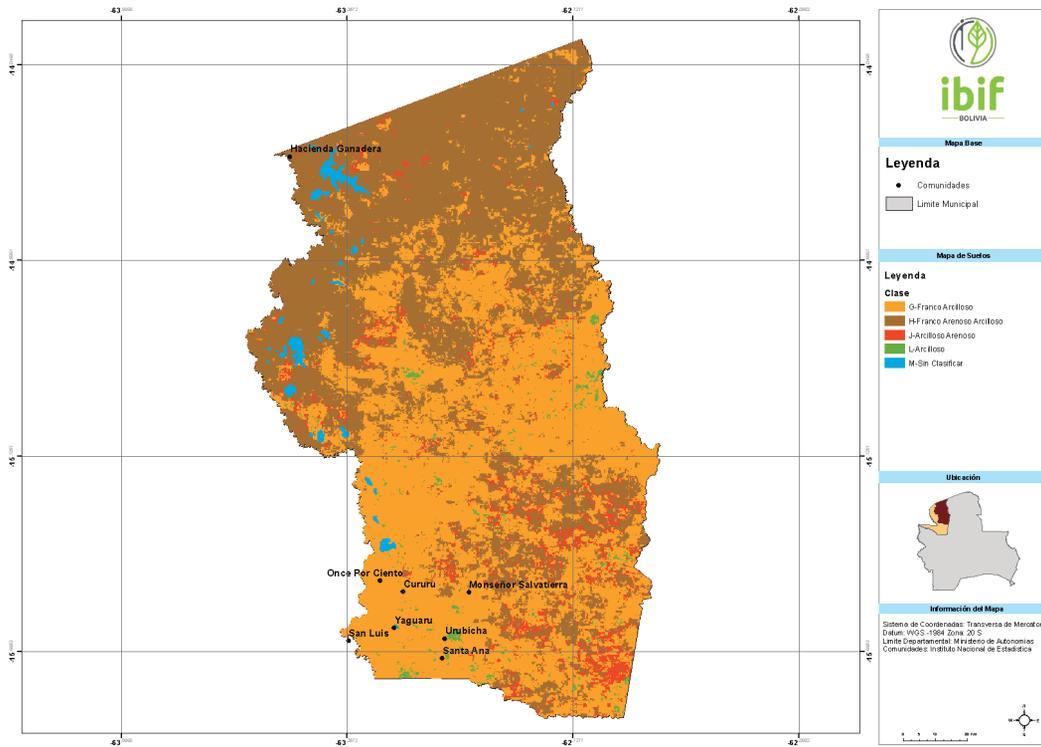


Figura 16. Mapa de Textura de Suelos en el Municipio de Urubichá



VI.IV. ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN

El análisis de vegetación con el empleo de imágenes satelitales permite observar la dinámica de la vegetación a través del Índice de Vegetación Normalizada – NDVI, el índice, tiene valores que oscilan entre -1 y 1, entendiendo que valores mayores 0.4 predominan en coberturas densas como son los bosques, según la tabla presentada a continuación.

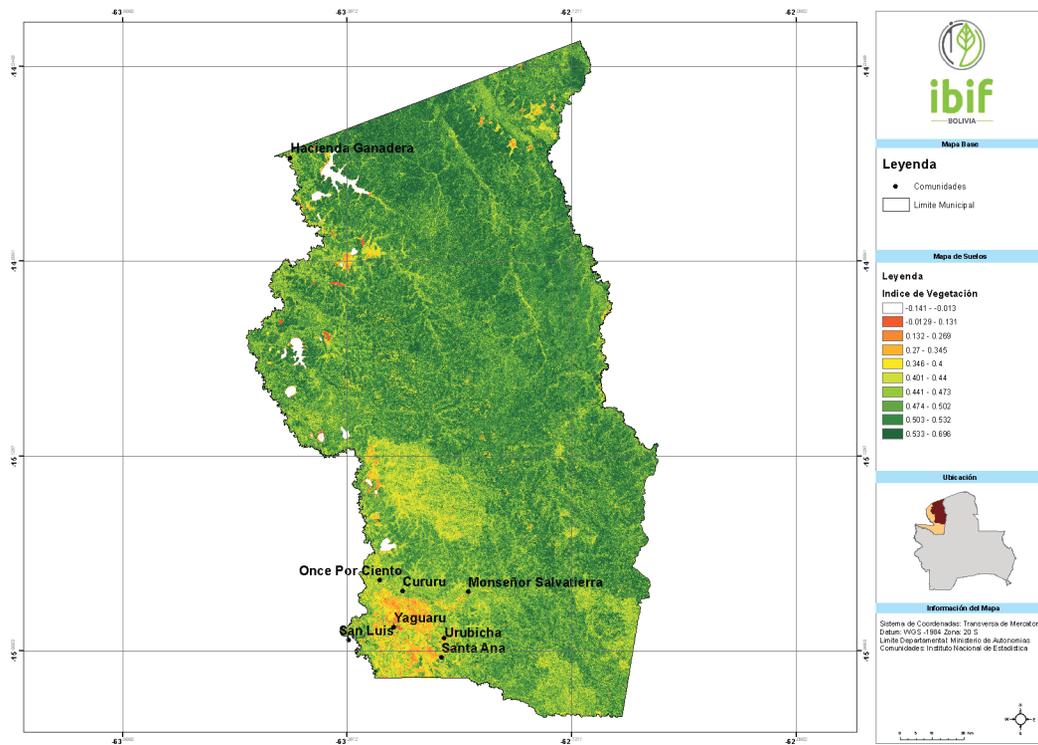
Tabla 5. Rangos de Valores del NDVI y su descripción.

Clase	Valores de NDVI	Cobertura de la tierra	Descripción
1	<-0.1	Clases no vegetales	Ríos, quebradas, lagunas, nubes
2	-0.1 - 0.15	Tierra desnuda	Tierras degradadas, asentamientos, vías, suelo sin cobertura vegetal
3	0.15 - 0.25	Vegetación dispersa	Tierras cultivadas, herbazales, arbustos, pastizales, terreno arado para cultivo
4	0.25 - 0.40	Vegetación abierta	Vegtación leñosa, vegetación arbustiva, bosque seco
5	>0.40	Vegetación cerrada	Plantas densas en crecimiento, bosques húmedos

El Índice como tal es buen indicador de la salud de las plantas, como también observar donde no hay vegetación, es así que el objetivo era observar en el tiempo, como varía el NDVI en el Municipio de Urubichá.

Como se puede observar en el gráfico de la vegetación, los valores están por encima de 0.4, lo que indica una alta presencia de actividad fotosintética, ligada a una cobertura de bosque denso, solo en la parte inferior izquierda que corresponde al Municipio se observan valores intermedios, debido a la mancha urbana y sus alrededores, pero en promedio hay alta densidad de cobertura de bosque.

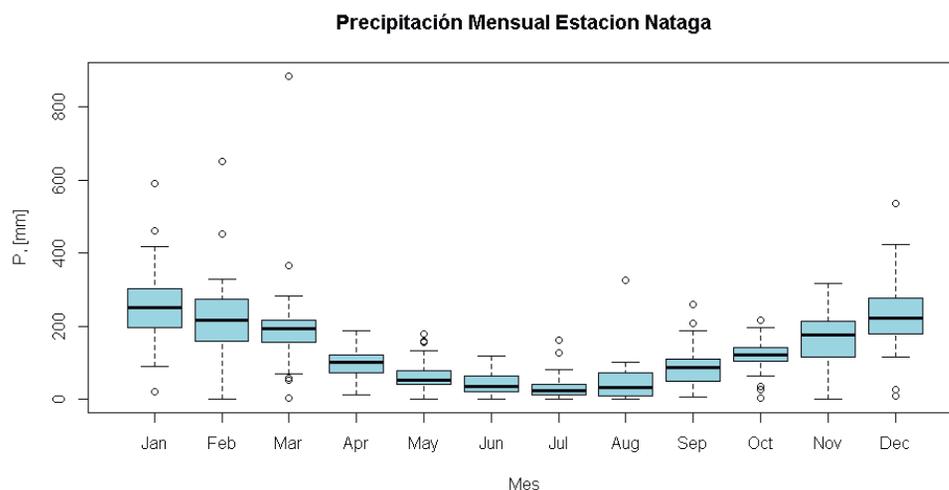
Figura 17. Mapa de Índice de Vegetación del Municipio de Urubichá



VI.V. ANÁLISIS METEOROLÓGICO

Como se puede observar en la gráfica de boxplot sistematizada desde 1981 hasta abril del 2023, muestra un ciclo hidrológico normal de las precipitaciones, es decir, los meses con mayor lluvia empiezan en enero y culminan en abril, y en Julio se tiene las precipitaciones mínimas de 31 mm acumulados en promedio.

Figura 18. Precipitación anual para el Municipio de Urubichá



Este análisis es importante en el tema de recarga hídrica, puesto que permite observar los meses con mayor precipitación que se correlaciona con una recarga importante para el Municipio. Indicar que los meses secos, se espera que las recargas sean mínimas.

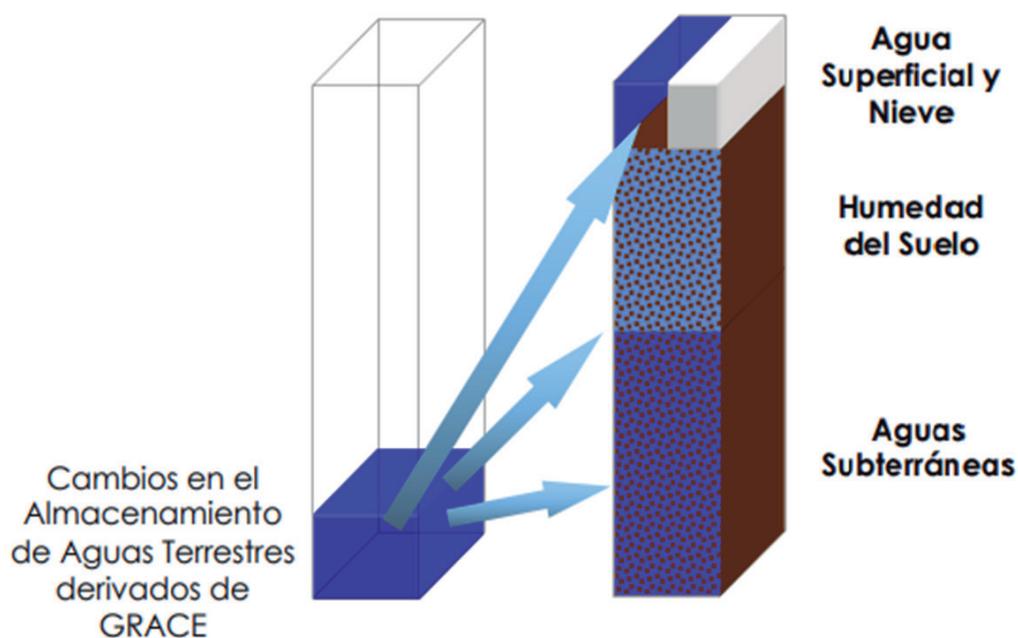
También indicar en la gráfica, que permite observar valores atípicos, cómo son los meses de marzo, donde han existido precipitaciones acumuladas de 800 mm. Probablemente sean casos extremos de registro de precipitación por parte del SENAMHI.

VI.VI. ALMACENAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

En este punto, se hace referencia al satélite GRACE que estima la profundidad mensual total de aguas subterráneas, esta información está disponible en el sitio de la nasa desde el 2002, sin embargo, para fines del estudio se realizó una sistematización desde el 2010 hasta el 2023 en forma mensual.

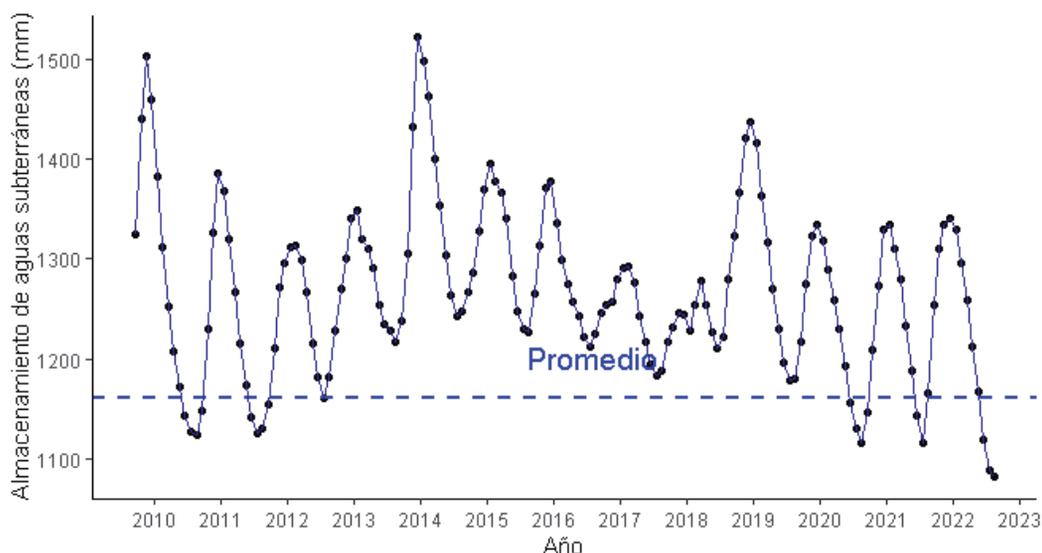
Los datos de GRACE se expresan como cambios en el almacenamiento de aguas terrestre y expresan en cm o equivalente al grosor de la cantidad de agua. En ese sentido, GRACE mide la columna total de aguas terrestre, como se observa en la siguiente imagen.

Figura 19. Modelo de Aguas Subterráneas de GRACE



Por lo mencionado anteriormente, el análisis con Grace muestra valores por encima de los 1200 mm, sin embargo, se observa en el análisis de serie de tiempo una disminución de la recarga a partir del año 2020. Este análisis es interesante en el sentido de observar cómo va fluctuando la dinámica de agua, claramente la cobertura boscosa juega un papel importante, puesto que se muestra una recarga por encima del Promedio.

Gráfico 13. Almacenamiento de Aguas Subterráneas en el Municipio de Urubichá



VI.VII. COBERTURA VEGETAL

VI.VII.I. AFLORAMIENTO ROCOSO

Esta cobertura está claramente identificada, se refiere principalmente a las piedras lajas que son encontradas en la región que varían desde pequeños afloramientos hasta grandes cúpulas. Como se muestra en la foto tomada en la región de Municipio de Urubichá.

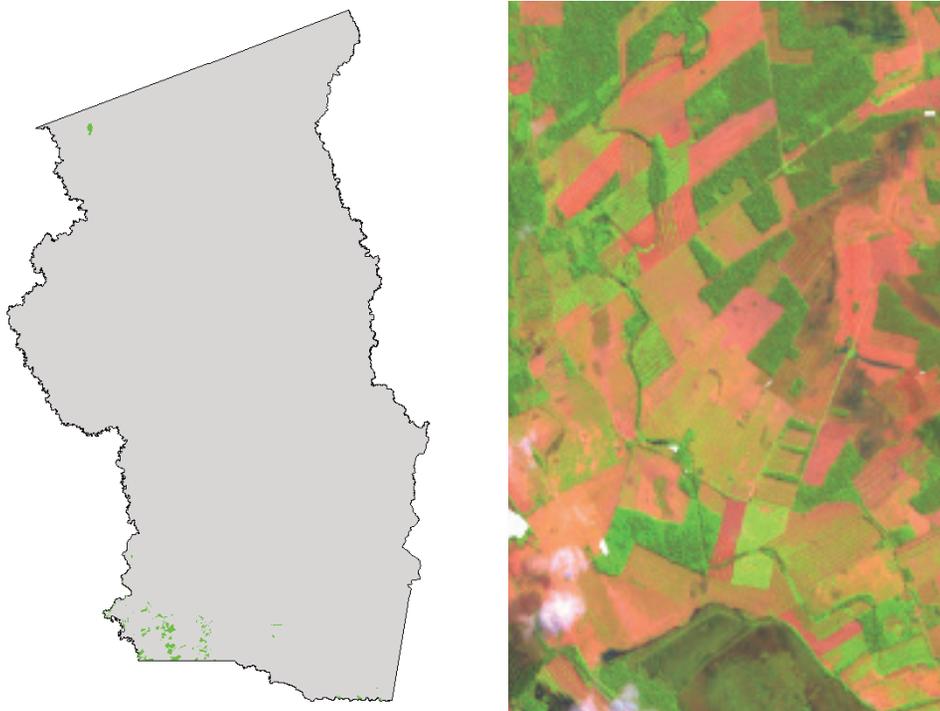
Figura 20. Cobertura Vegetal Afloramiento Rocoso en el Municipio de Urubichá



VI.VII.II. AGRICULTURA

La cobertura de agricultura es lo referente a un conjunto de parcelas con fines productivos. Esta clase está definida por una agricultura temporal en cuanto a la producción dentro de la provincia, aunque en ciertos municipios hay una actividad más intensiva, y se atribuye al cultivo de la soya y maíz entre los más representativos.

Figura 21. Cobertura Vegetal Agricultura en el Municipio de Urubichá

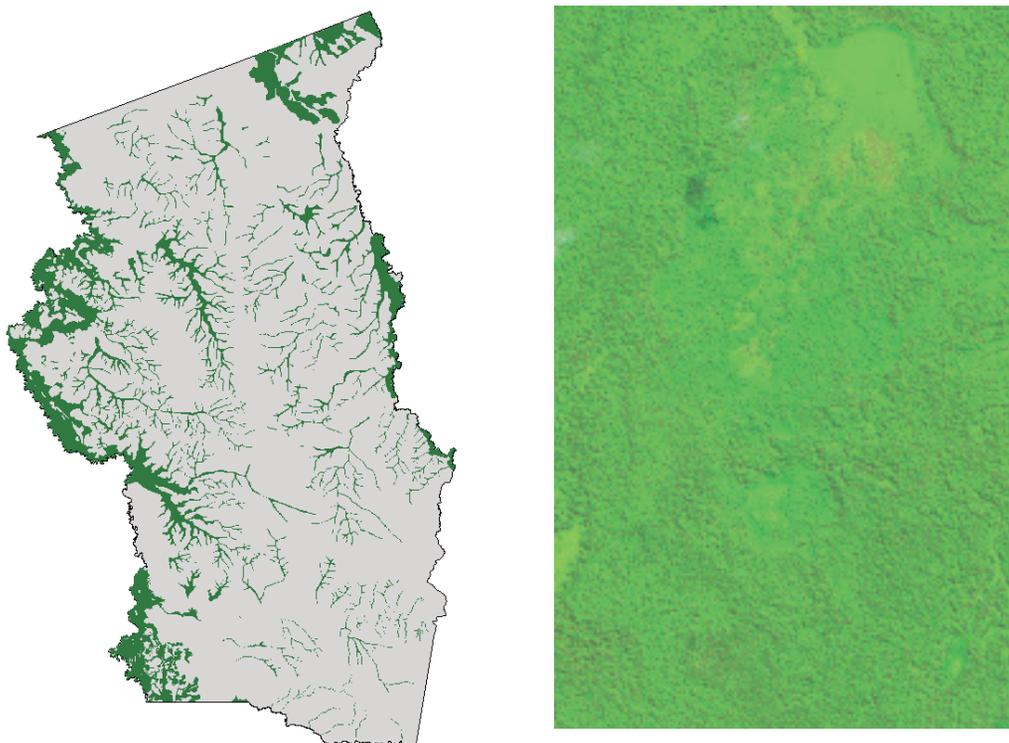


Nota: La fotografía corresponde a una imagen satelital cerca al centro poblado

VI.VII.III. BOSQUE DENSO AMAZÓNICO EN LLANURA INUNDADA ESTACIONALMENTE

En este tipo de bosque predominan por su complejidad y diversidad tres formaciones que es el bosque denso húmedo, luego los bosques pantanosos de llanura inundada que predominan por los bosques de Varzea, que se forman a las orillas de los ríos y luego los bosques de transición, formados por los bosques denso húmedo y formaciones de sabanas.

Figura 22. Cobertura Vegetal Bosque Denso Amazónico en el Municipio de Urubichá

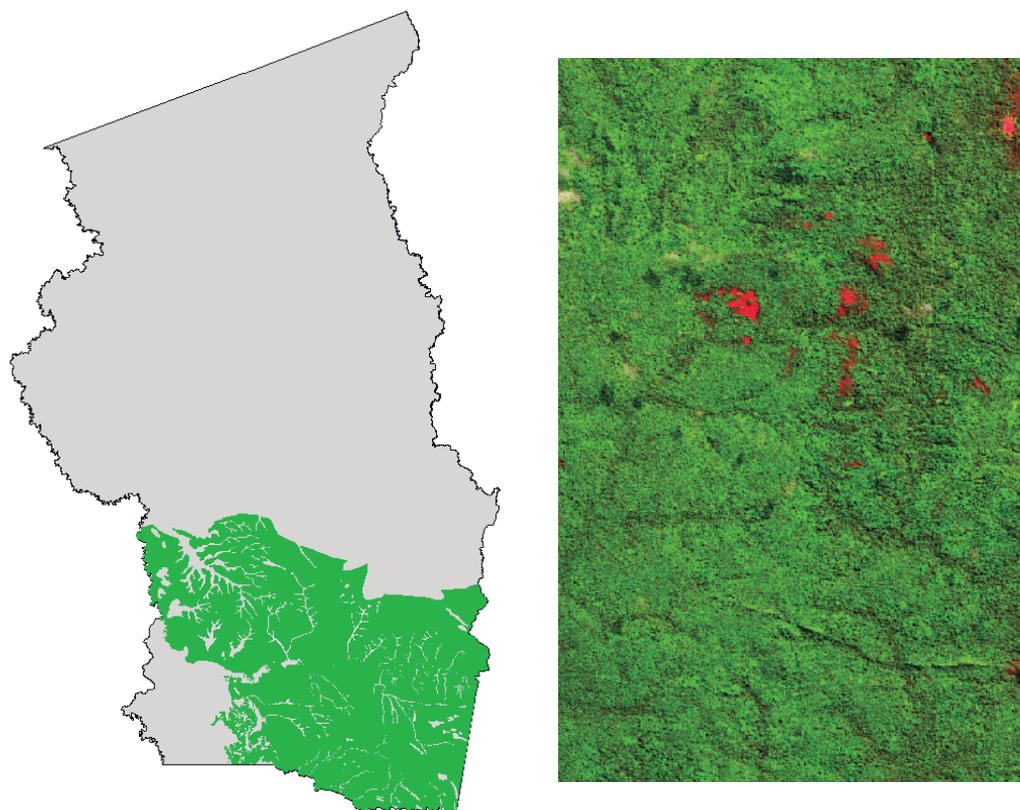


VI.VII.IV. BOSQUE DENSO CHIQUITANO

Es un Bosque denso deciduo y semidesiduo que se encuentra en gran parte de la región de la Chiquitania, y es un bosque predominante de uso forestal según el Plan de Uso de Suelo de Santa Cruz, sin embargo otras actividades como la expansión agrícola y la ganadería, podrían disminuir su capacidad en témas de recarga hídrica.

Como puede observarse en el mapa se localizan en la parte oeste colindante con el Municipio de Concepción y Ascensión de Guarayos.

Figura 23. Cobertura Vegetal Bosque Denso Chiquitano en el Municipio de Urubichá

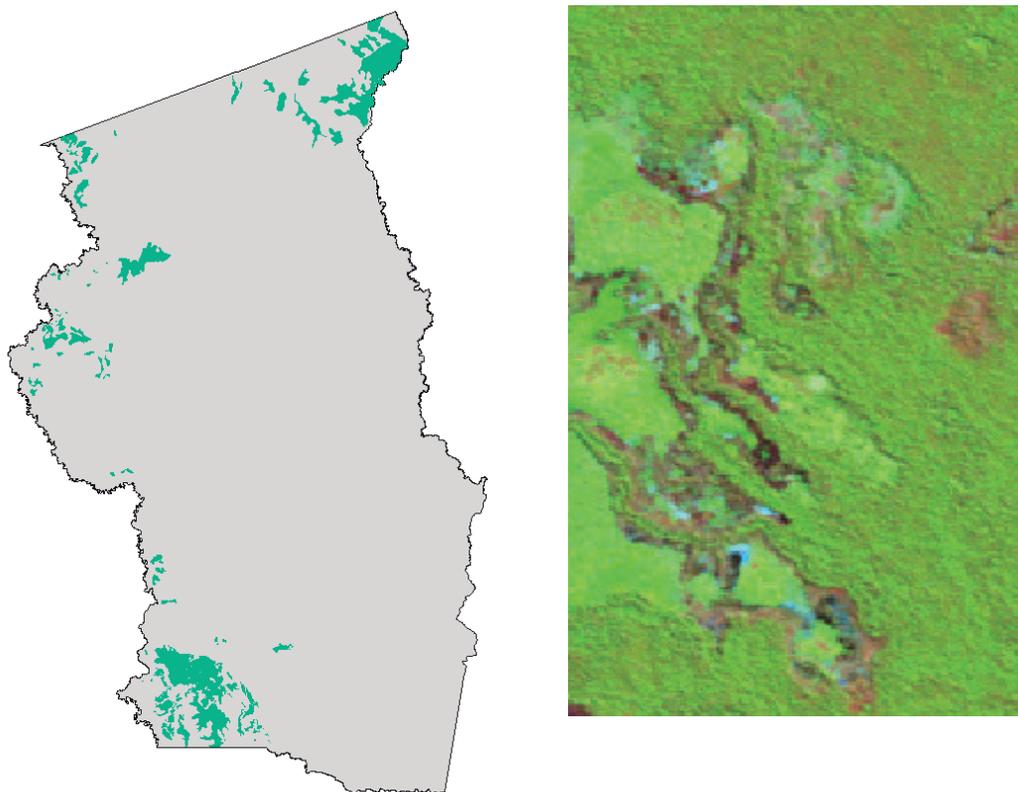


Nota: La fotografía corresponde a una imagen satelital

VI.VII.V. CURICHI

Los curichis son cuerpos de agua, normalmente humedales que están estacionalmente inundados, y tienen una presencia en gran parte de la región de la chiquitania, sobre todo dentro de las coberturas de Bosque denso amazónico. Como puede observarse en la imagen están distribuidos en gran parte de la provincia, sobre todo en la cobertura ya mencionada.

Figura 24. Cobertura Vegetal Curichi en el Municipio de Urubichá

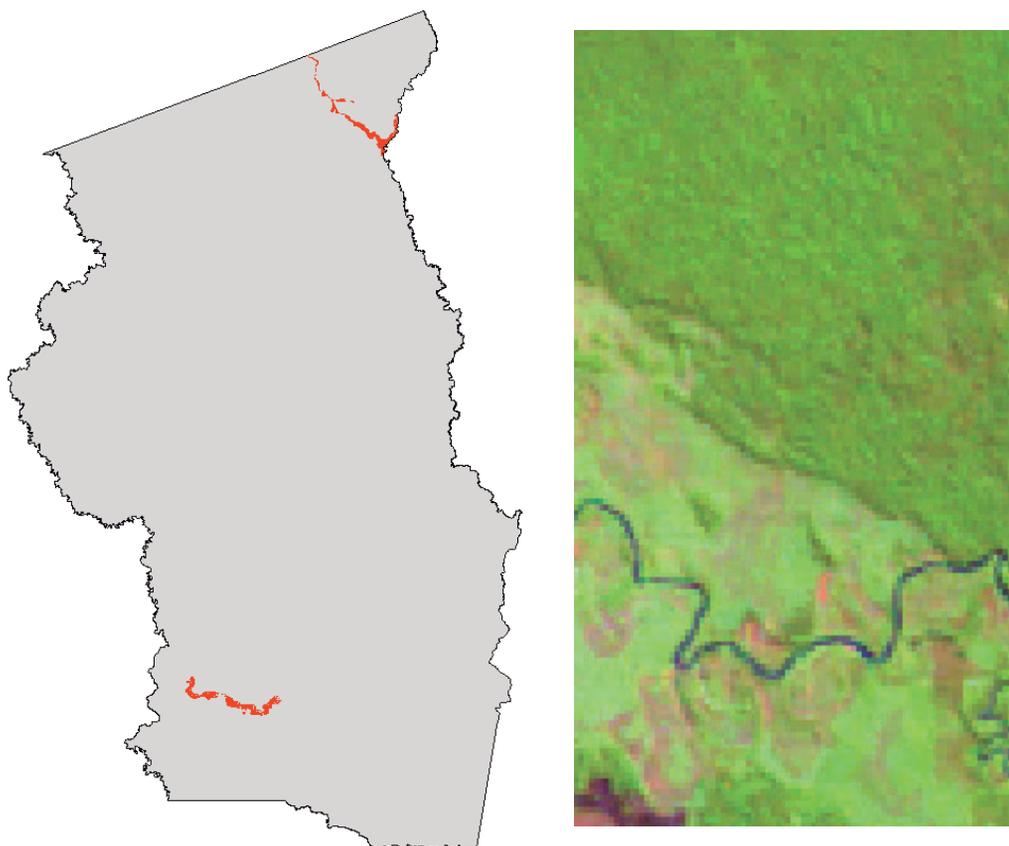


Nota: La fotografía corresponde a una imagen satelital

VI.VII.VI. INUNDACIÓN ESTACIONAL

Esta cobertura, si bien no es una clase de cobertura como tal, se ha observado en la imagen satelital, algunas zonas de inundación sobre todo pequeñas proporciones dentro de la provincia.

Figura 25. Cobertura Vegetal Inundación Estacional en el Municipio de Urubichá

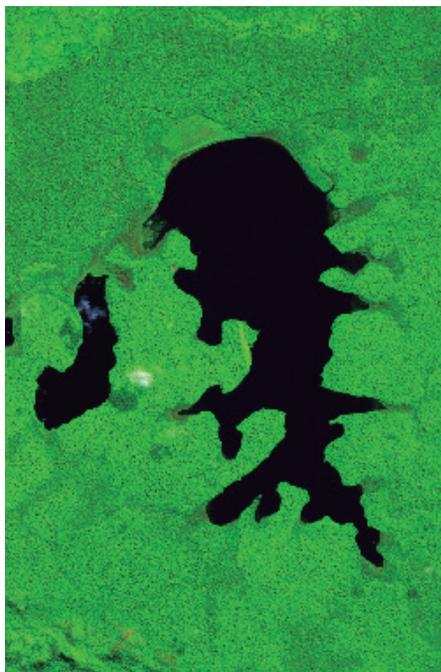
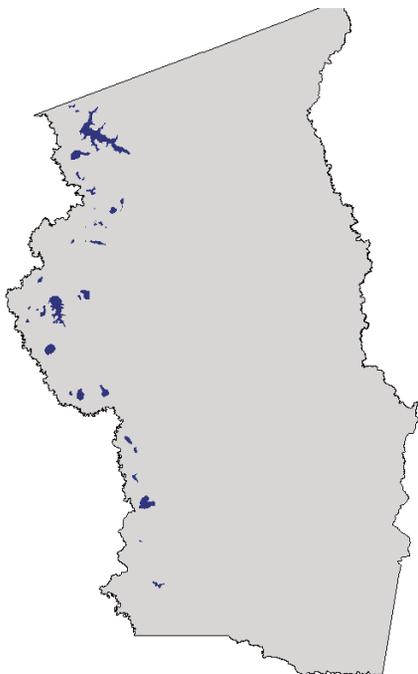


Nota: La fotografía corresponde a una imagen satelital

VI.VII.VII. LAGUNAS

Se refiere principalmente a cuerpos de agua, como lagunas, lagos en forma natural o represas. También están los curichis, aunque se manejó con otra categoría debido a la forma e intensidad del color en base a la imagen satelital.

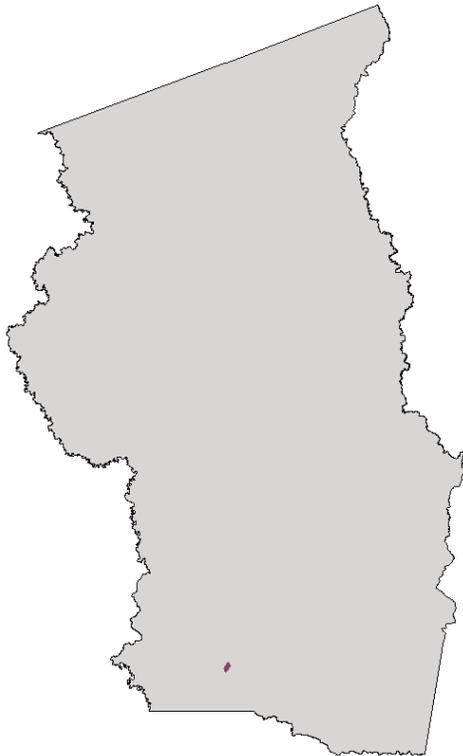
Figura 26. Cobertura Vegetal Lagunas en el Municipio de Urubichá



VI.VII.VIII. MANCHA URBANA CONSOLIDADA (URBANA)

Esta clase se refiere a centros poblados grandes y consolidados como son los Tres municipios de la provincia Guarayos.

Figura 27. Cobertura Vegetal Mancha Urbana Consolidada en el Municipio de Urubichá



Nota: La fotografía corresponde a una imagen satelital del centro Urbano de Urubichá

VI.VII.IX. MANCHA URBANA NO CONSOLIDADA (RURAL)

Lo clase de No consolidado está referido principalmente a Comunidades, que se han podido identificar dentro de la Imagen satelital.

Figura 28. Cobertura Vegetal Mancha Urbana No Consolidada en el Municipio de Urubichá

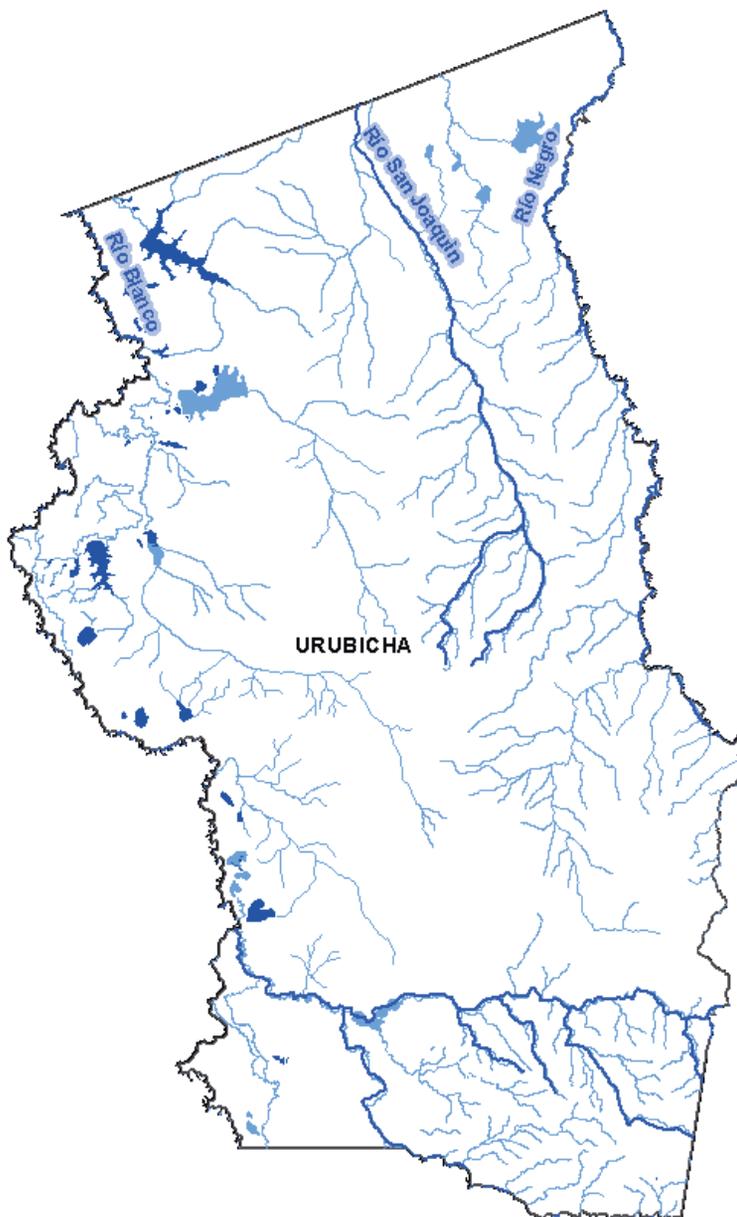


Nota: La fotografía corresponde a una imagen satelital de Bing Aerial de la Comunidad Yaguaru

VI.VII.X. RED HÍDRICA PERMANENTE

En esta clase están la cobertura de cuerpos de agua, principalmente ríos, para ellos se han identificado con la ayuda de la imagen satelital toda la red hídrica presente en la Provincia Guarayos.

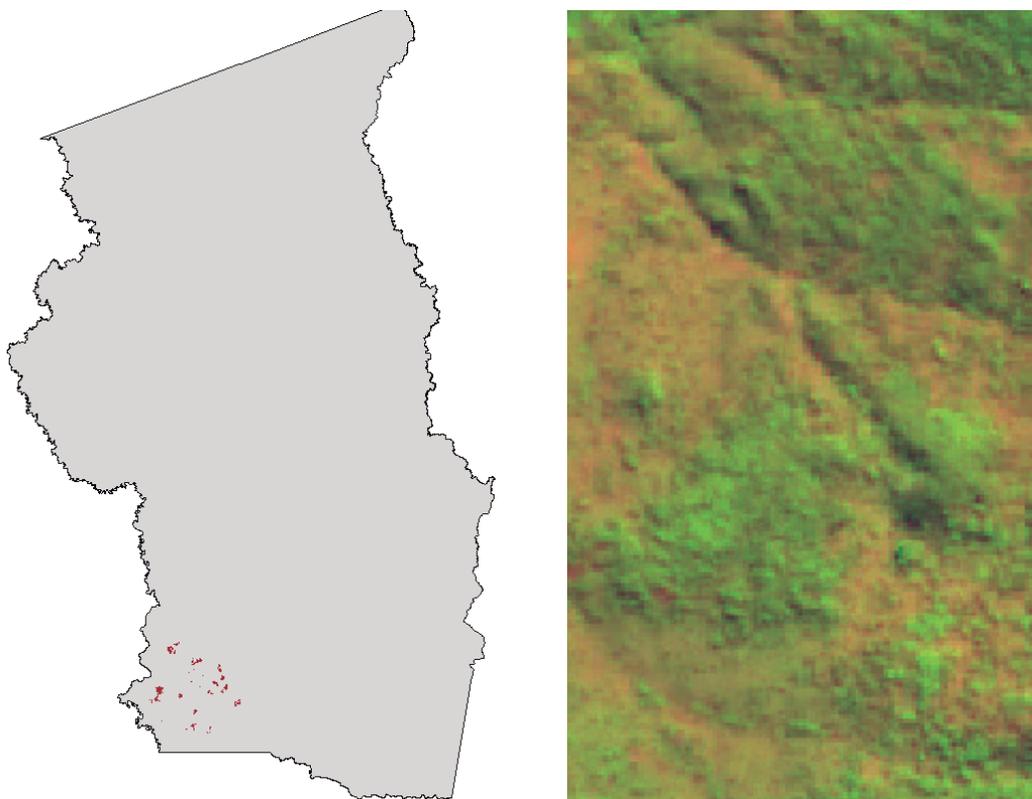
Figura 29. Cobertura Vegetal Red Hídrica Permanente en el Municipio de Urubichá



VI.VII.XI. SUELO DESNUDO

Esta categoría, se ha clasificado principalmente cerca al matorral chiquitano como también otras áreas localizadas en la provincia. Generalmente después de un incendio o una actividad de deforestación se presenta un suelo sin cobertura que se ha podido captar en la imagen.

Figura 30. Cobertura Vegetal Suelo Desnudo en el Municipio de Urubichá

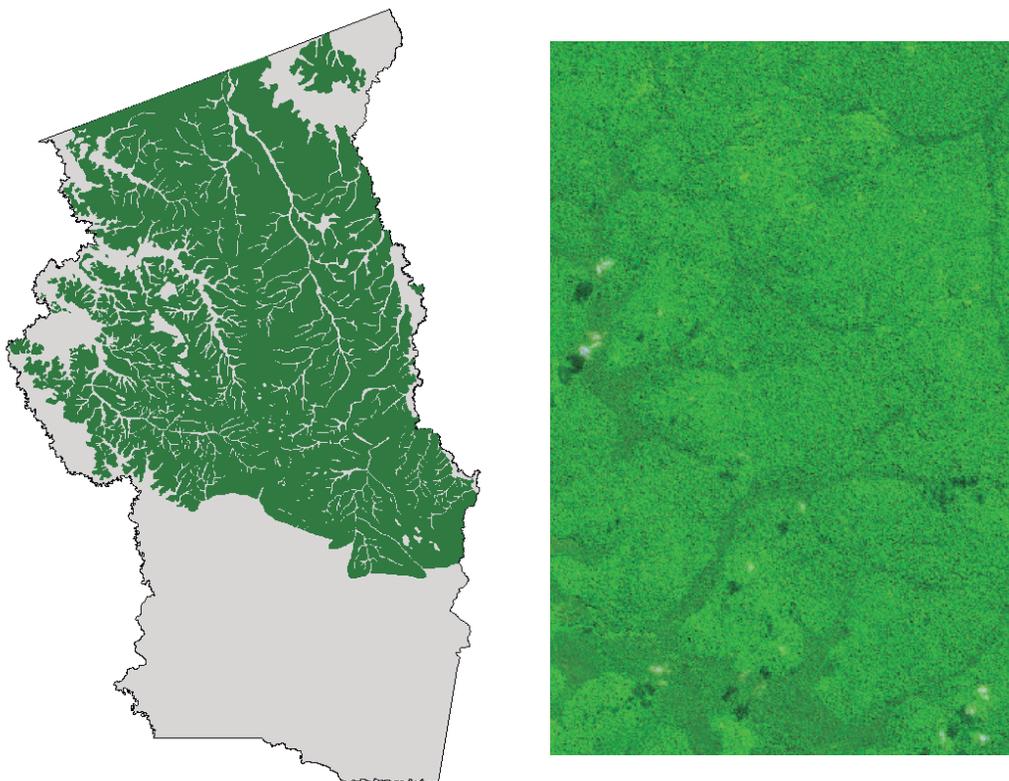


Nota: La fotografía corresponde a una imagen satelital

VI.VII.XII. BOSQUE DENSO AMAZÓNICO EN LLANURA HÚMEDO

Esta categoría es muy parecida a la del bosque denso con la diferencia que no está inundado estacionalmente, donde también predominan formaciones de bosques pantanosos y son suelos bien drenados.

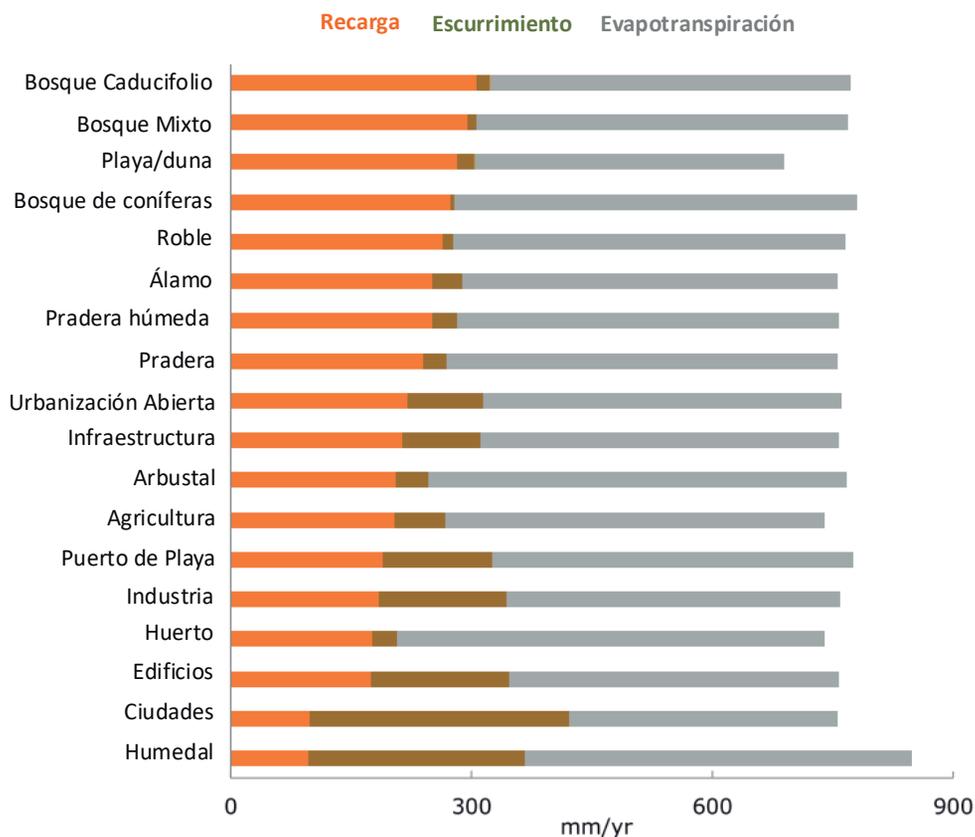
Figura 31. Cobertura Vegetal Bosque Denso Amazónico en el Municipio de Urubichá



Nota: La fotografía corresponde a una imagen satelital

La cobertura juega un papel importante en la recarga hídrica y en cualquier modelo que tenga que ver con modelación de recursos hídricos, es decir, comprender qué tipo de cobertura se tiene en el territorio, permite inferir como es la dinámica de la recarga en la zona de estudio. Por ejemplo, el siguiente gráfico muestra para una cuenca en particular como los diferentes tipos de cobertura influyen en la recarga hídrica. Se puede observar que todas las coberturas boscosas tienden a tener una mayor recarga frente a una cobertura de agricultura y así sucesivamente.

Gráfico 14. Modelo de Componentes del Balance Hídrico vs los Tipos de Cobertura

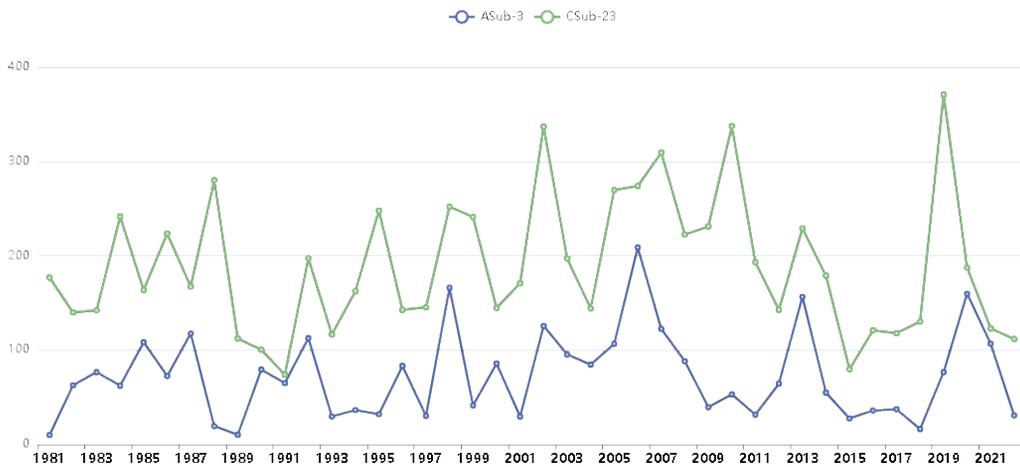


VI.VIII. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE RECARGA HÍDRICA

VI.VIII.I. RECARGA HÍDRICA SUPERFICIAL

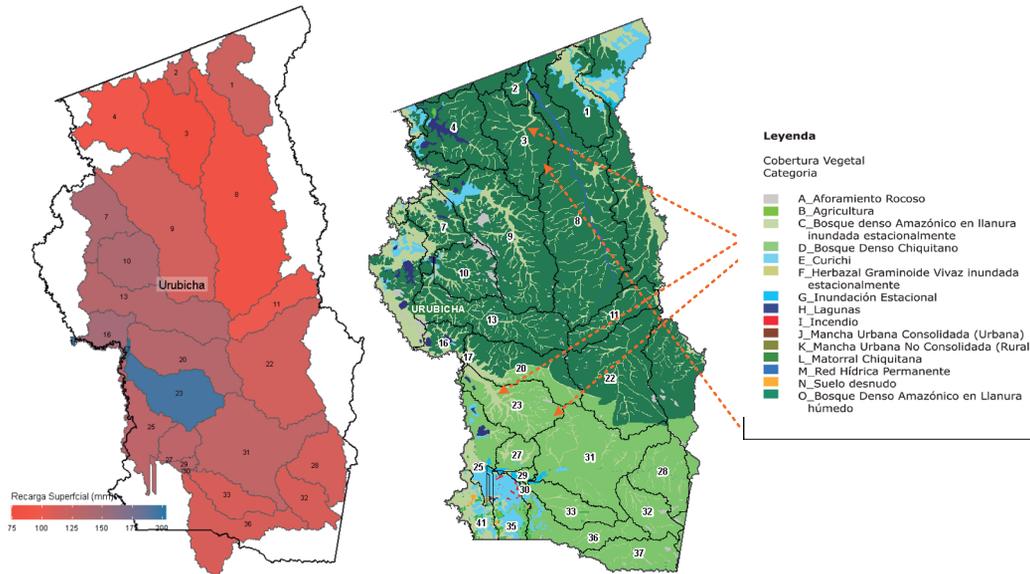
Como se puede observar en el Mapa solo para el Municipio de Urubichá, la subcuenca que presenta mayor recarga es la 23, y la sub-cuenca con menor recarga es la 3. La barra color celeste corresponde a la 23, donde se observa que al transcurrir los años hay una variabilidad, donde en el 2002 presentó mayor escurrimiento con 336 mm y el 2015 con menor escurrimiento de 79 mm.

Gráfico 15. Promedio de Recarga Hídrica por Año en el Municipio de Urubichá



Respecto a las subcuencas con mayor y menor recarga superficial, se observa que la Sub-Cuenca3, tiene menor escurrimiento y esto se debe al tipo de cobertura como también al tipo de suelo que corresponde a una textura franco arenoso arcilloso, mientras que la Sub-Cuenca23 presenta mayor escurrimiento, esto por tener un tipo de vegetación de llanura inundada, lo que provoca que, una vez saturado los horizontes, el suelo permite el escurrimiento.

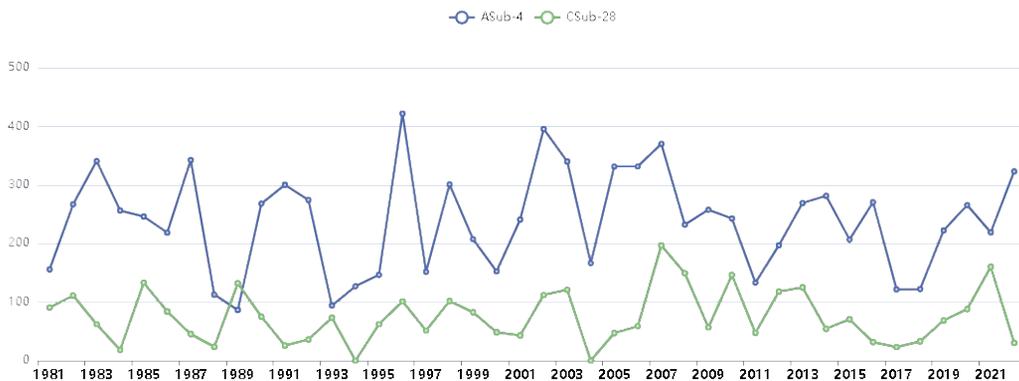
Figura 32. Recarga Superficial Para el Municipio de Urubichá



VI.VIII.II. RECARGA HÍDRICA SUB-SUPERFICIAL

Como se observa en la gráfica para el Municipio de Urubichá, la recarga en promedio está por encima de los 200 mm y esto explicado en los párrafos anteriores, donde la cobertura boscosa juega un papel importante y es uno de los Municipios muy poco intervenido por otras actividades como la agricultura o ganadería.

Gráfico 16. Promedio de Recarga Hídrica Sub-superficial por Año en el Municipio de Urubichá

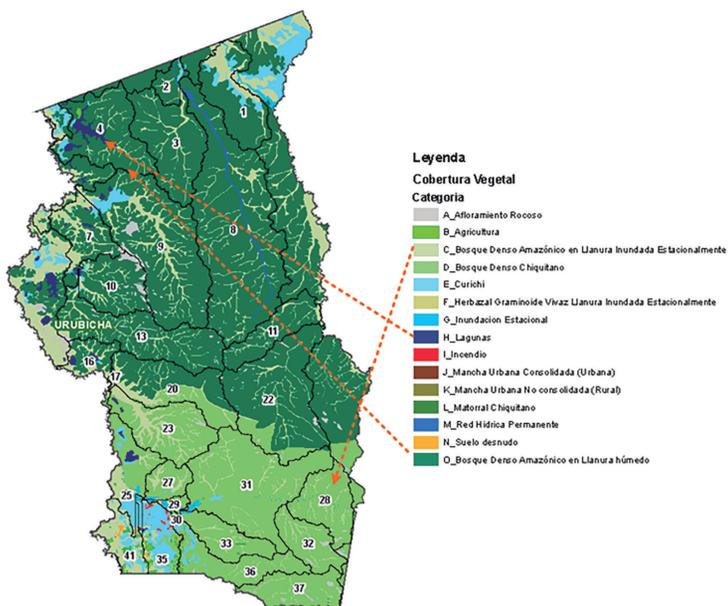
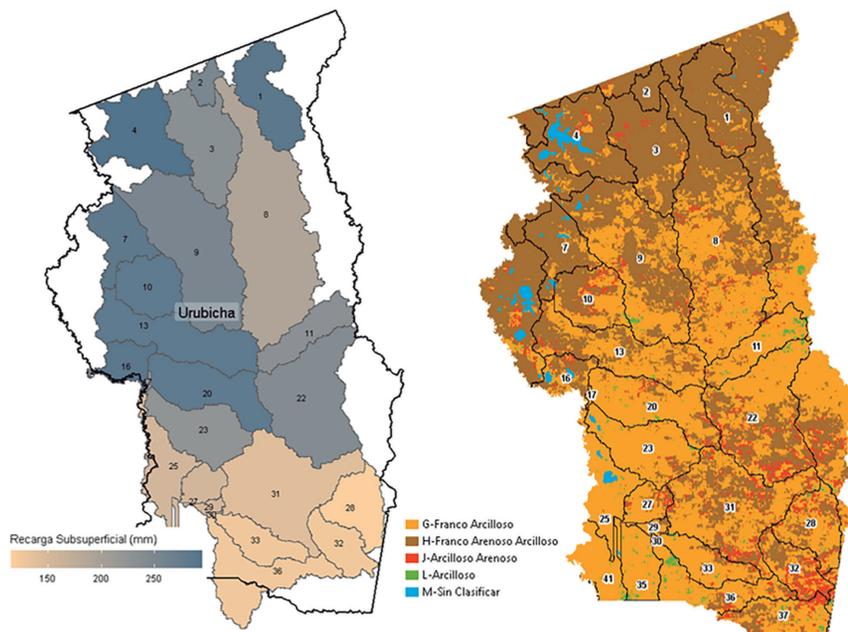


Como podemos observar, la Sub-Cuenca-4 presenta la mayor recarga subsuperficial, donde los años 1996 y 1998 muestran valores promedio mayor a los 400 mm. Como se muestra en el mapa, es una cuenca con presencia de cobertura de bosque y cuerpos de agua.

Respecto a la Sub-Cuenca-28, localizada en el sur del Municipio, se observan valores más bajos que la sub-cuenca anterior, donde son los años 2007 y 2020 los que han presentado valores cercanos a los 200 mm anuales.

Respecto a la parte de suelos, se observa que en la cuenca predominan los suelos Franco Arcillo Arenoso, que en promedio están en un 47.6% de arena, en la cual siguiendo la Gráfica 4, se ve que existe una recarga significativa en base al gráfico y a los resultados encontrados.

Figura 33. Recarga Subsuperficial Para el Municipio de Urubichá



XI.VIII.III. RECARGA HÍDRICA SUBTERRÁNEA

El comportamiento es similar al anterior análisis respecto a la recarga subsuperficial, aunque en menor cantidad, pero se puede observar que las dos subcuencas seleccionadas, por ejemplo, la Sub-Cuenca-4 tiene en promedio más de 150 mm de agua mientras que la Sub-Cuenca-32 presenta una recarga en promedio de 55 mm.

Gráfico 17. Promedio de Recarga Hídrica Subterránea por Año en el Municipio de Urubichá

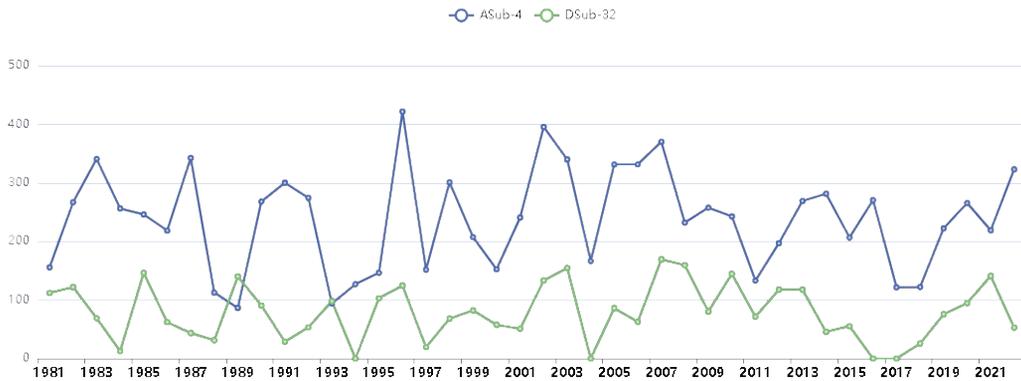
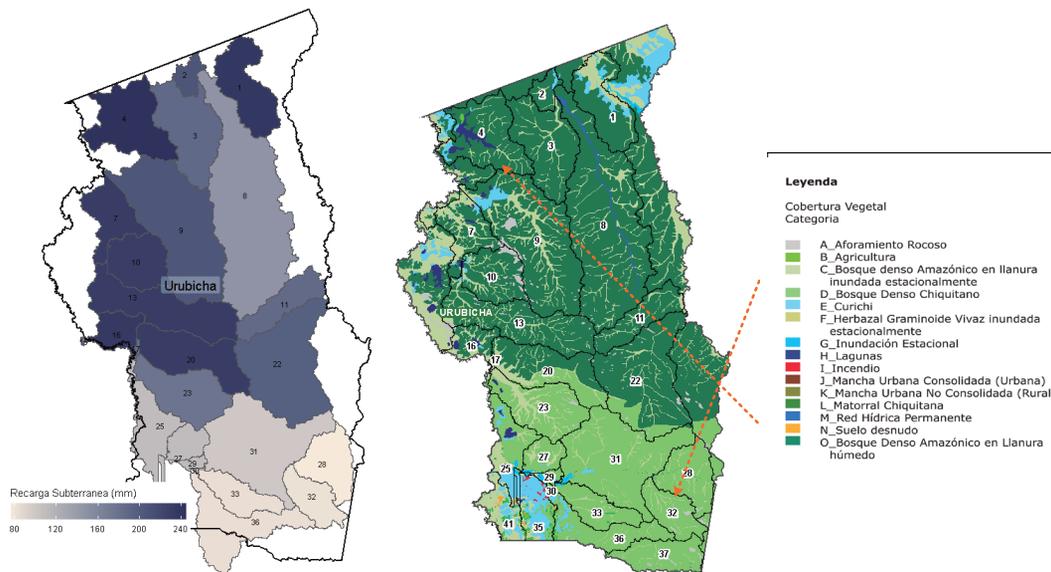


Figura 34. Recarga Subterránea para el Municipio de Urubichá



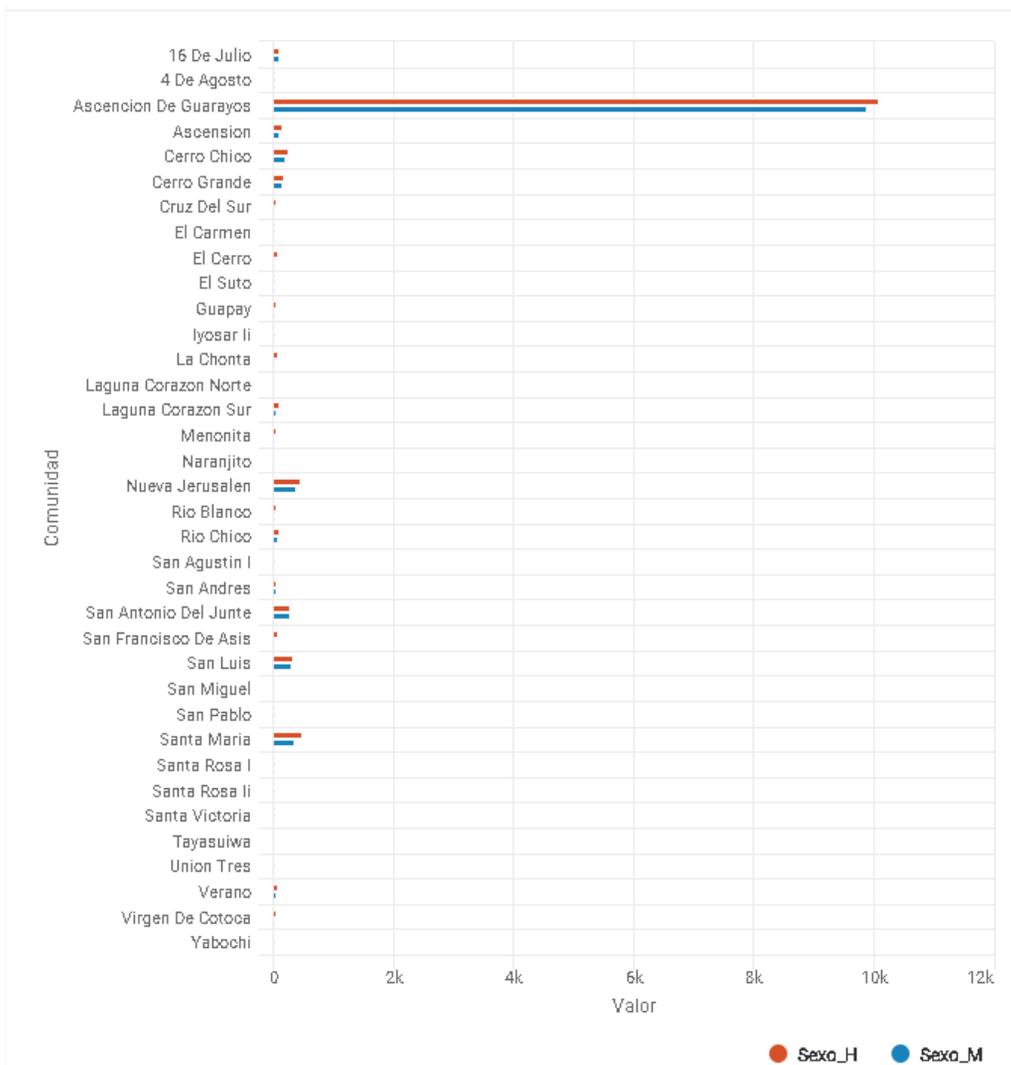


VII.I. ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO

VII.II. POBLACIÓN

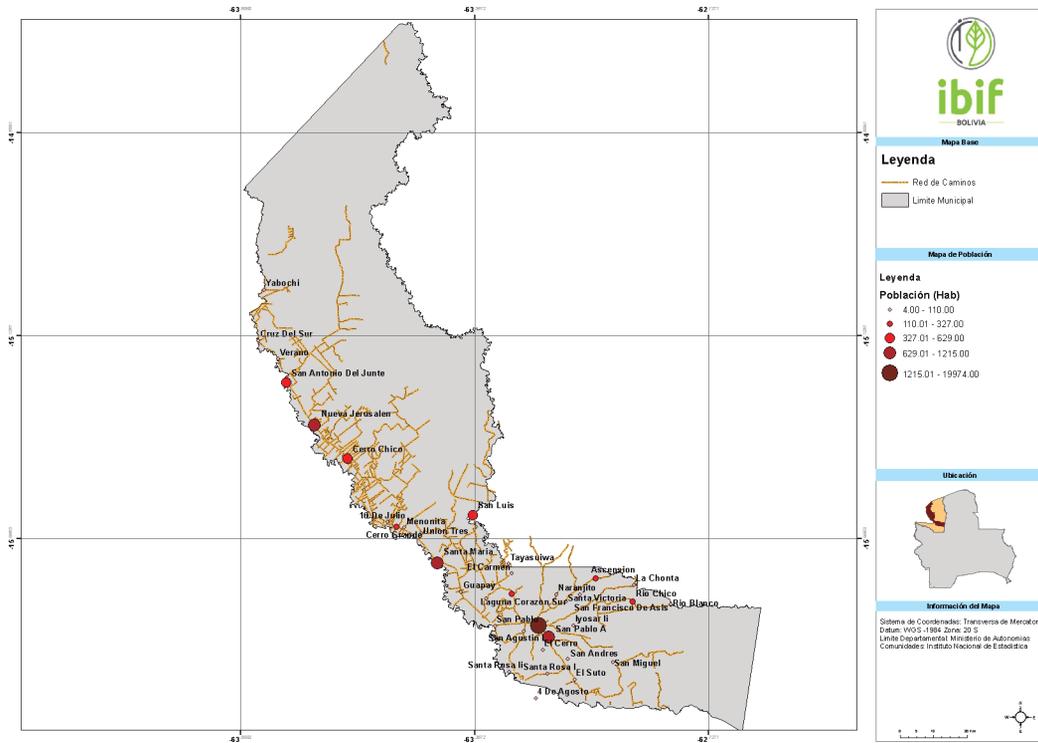
El Municipio de Ascensión de Guarayos tiene una población de 27.074 Habitantes según el Instituto Nacional de Estadística (INE-2012). Resaltar que dentro del Municipio se cuenta con 37 comunidades, de las cuales Ascensión de Guarayos es la que presenta mayor población con 19.974 Habitantes, seguido de la Comunidad de San Pablo con 1.215 Habitantes. Resaltar que la población por sexo es similar a Urubichá, como se observa en el siguiente gráfico.

Gráfico 18. Población en el Municipio de Ascensión de Guarayos por sexo.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística- Censo de Población y Viviendas, 2012

Figura 35. Mapa de Población del Municipio de Ascensión de Guarayos



VII.I.II. SANEAMIENTO BÁSICO – PROCEDENCIA DE AGUA

En el Municipio predominan los pozos o noria con 1922 familias, seguido de cañería de red con 1094 familias para Ascensión de Guarayos y resaltar que 268 familias acceden al agua por vertiente. Sin embargo, en la comunidad de San Pablo, solo ocho familias tienen pozos con bomba y otras ocho a través de norias, las demás familias no cuentan con este acceso.

Gráfico 19. Procedencia de Agua en el Municipio de Ascensión de Guarayos



Fuente. Instituto Nacional de Estadística, Censo, 2012

Desde el punto de vista de recarga hídrica, sobre el acceso al agua por bomba sería importante hacer un monitoreo, puesto que, sí influye directamente en la recarga hídrica en el sentido de la extracción continua de agua. Experiencias en otros Departamentos como Cochabamba han mostrado descensos importantes en el agua, es decir los niveles dinámicos de los pozos hace 20 años oscilaban entre 40 y 80 metros, ahora en más de 150 metros está el reuso de agua.

VII.II. ASPECTOS PRODUCTIVOS

VII.II.I PRODUCTOS PRINCIPALES

En el Municipio se observa una gran diversidad de grupos de cultivos, donde predomina "Otros Usos de la tierra" con el 63.79%, seguido de productos de forraje que ocupa el 21.44% y cereales con el 6.90%. Esto claramente muestra que hay una vocación productiva en la región, por lo tanto, puede tener un impacto en la recarga hídrica.

Resaltar que, en comunidades como San Agustín, Laguna Corazón y San Francisco de Asís, predominan cultivos como soya y frijoles, también tierras en descanso y Bosques o montes. Indicar que la Categoría de "Otros usos de la Tierra", corresponde a tierras en descansos, barbecho y bosque y NO cultivos.

Al igual que el Municipio de Urubichá, los valores reportado en las encuestas a las comunidades y la superficie del Municipio no coinciden o se acerca, debido que los avalores son aproximados de las consultas propias a la comunidad.

Tabla 6. Categorías de Cultivos Principales en el Municipio de Ascensión de Guarayos

Categoría	Superficie (Ha)	Superficie (Km2)	Porcentaje
Caña de azúcar y remolacha azucarera	20.34	0.20	0.01%
Cereales	19802.96	198.03	6.90%
Cultivo de plantas con las que se preparan bebidas estimulantes, especias y plantas aromáticas	8.61	0.09	0.00%
Frutas y nueces	539.5006	5.40	0.19%
Frutos o granos oleaginosos	11561.1493	115.61	4.03%
Hortalizas	68.8686	0.69	0.02%
Legumbres secas	1214.536	12.15	0.42%
Madera sin elaborar	300.86	3.01	0.10%
Otros Usos de la Tierra	191788.8324	1917.89	66.79%
Productos del forraje, fibras, plantas vivas, corte las flores y los brotes de la flor, tabaco no procesado, y caucho natural	61578.743	615.79	21.44%
Raíces y tubérculos comestibles ricos en almidón	265.8618	2.66	0.09%
TCV Forestales	12.45	0.12	0.00%
Total	287162.7	2871.6	1.0

Superficie del Municipio de Ascensión de Guarayos (Km2) 8673.4

La información presentada, tiene una importancia puesto que, según el cuadro sistematizado, actividades como los cultivos de cereales que representan 19 mil hectáreas, tienen una relevancia en la recarga hídrica sobre todo en la recarga subsuperficial donde la infiltración es más lenta que una cobertura de bosque.

VII.III. ANÁLISIS DE SUELOS

VII.III.I. ANÁLISIS DE TEXTURA

El Municipio presenta un gran porcentaje de suelo Franco Arcilloso en un 40%, al igual que el Municipio de Urubichá, son suelos con buena retención de agua, seguido de la clase Franco Arcillo Arenoso, esto muestra claramente un comportamiento similar a una cobertura boscosa, propia de la Provincia Guarayos y en menor proporción suelos Arcillosos, lo cual son suelos con casi nula infiltración. Todo este análisis permite comprender la dinámica posible de zonas de recarga hídrica.

En la siguiente gráfica expuesta para el Municipio, Guarayos tiene el mismo comportamiento en cuanto a las dos texturas representativas en el Municipio.

Gráfico 20. Modelo de Componentes del Balance Hídrico vs la textura

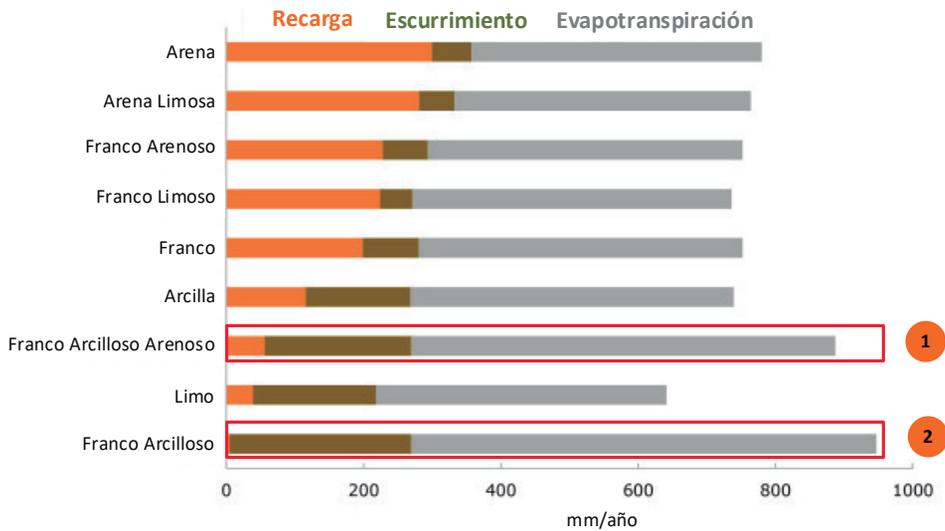
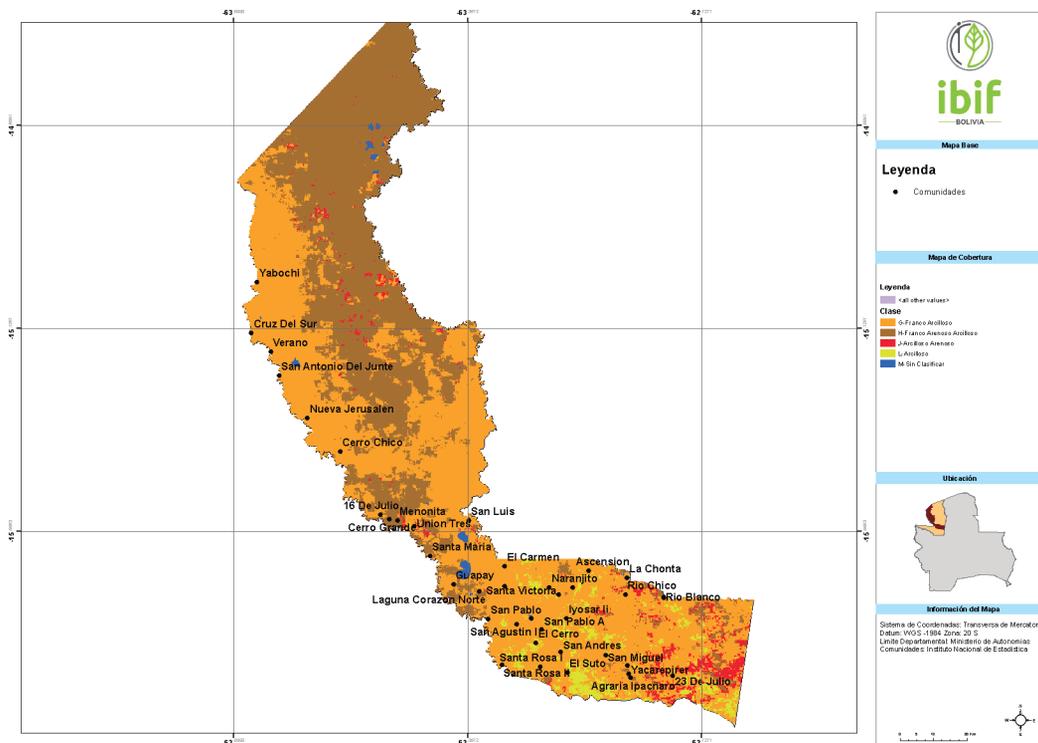


Figura 36. Mapa de Suelos del Municipio de Ascensión de Guarayos

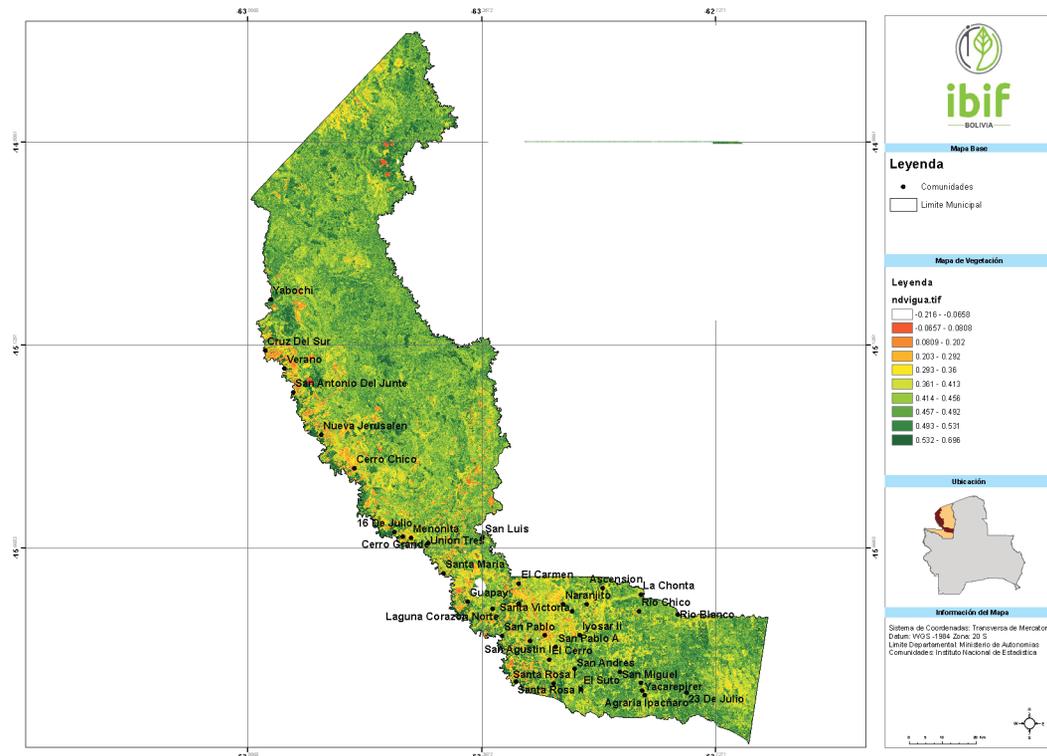


VII.IV. ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN

El Municipio de Ascensión de Guarayos, presenta un similar comportamiento al Municipio de Urubichá, es decir con valores por encima de la media del NDVI, sin embargo, también se observa un incremento de la agricultura en la parte noreste, donde los valores oscilan de 0.2 a 0.4 en promedio, indicar que se observa valores marcados en la época de invierno, donde los valores son bajos ya que es una agricultura temporal.

Resaltar que este análisis permite comprender la dinámica y por ende entender las posibles zonas de recarga hídrica, ya que el Municipio de Ascensión de Guarayos tiene una cobertura predominante de Bosque Denso Amazónico en Llanura Inundada Estacionalmente.

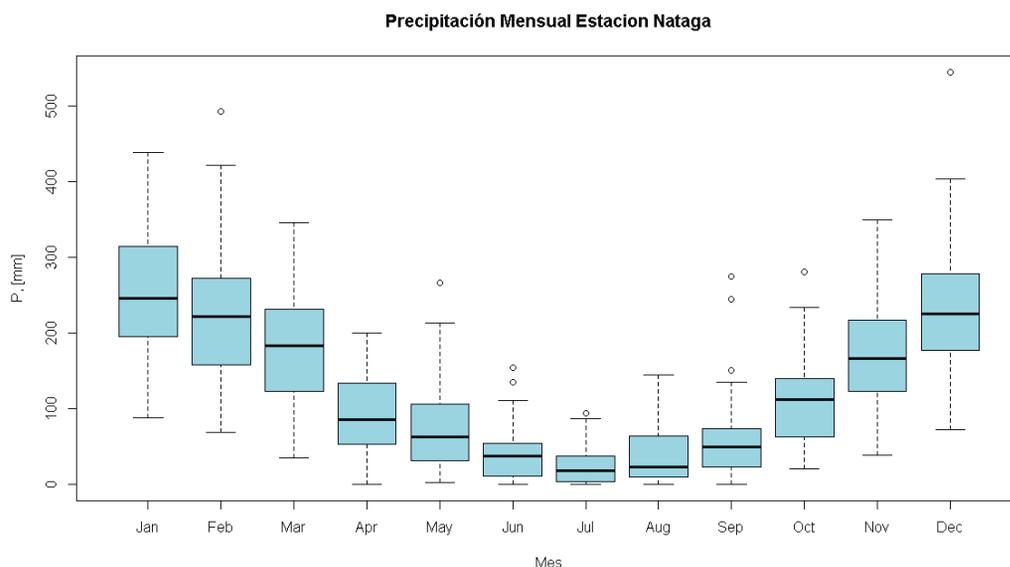
Figura 37. Mapa de Índice de Vegetación del Municipio de Ascensión de Guarayos



VII.V. ANÁLISIS METEOROLÓGICO

Para el Municipio de Ascensión de Guarayos, se realizó el mismo análisis con la información de la Estación Meteorología de Ascensión de Guarayos. Indicar que el ciclo hidrológico empieza en agosto y termina en Julio, muy característicos de muchas zonas de Bolivia. Indicar que las precipitaciones máximas registradas están en 243 mm y las mínimas menos de 20 mm, para el mes de Julio.

Figura 38. Precipitación anual para el Municipio de Ascensión de Guarayos

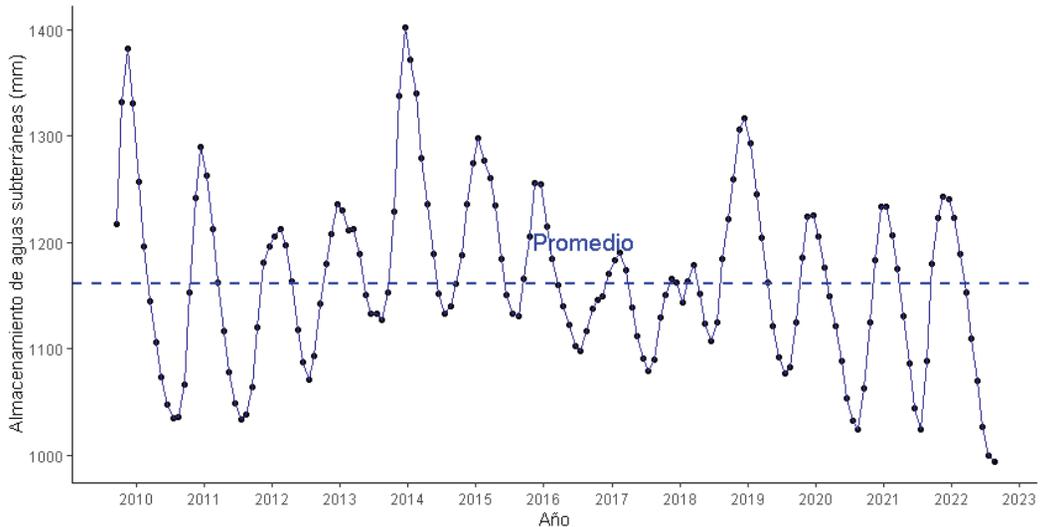


También observamos algunos datos atípicos o extremos en los meses de febrero y diciembre, con un registro de precipitación de 500 mm. Este análisis es relevante, ya que la información forma parte del modelo en la provincia para conocer la recarga hídrica en sus tres procesos.

VII.VI. ALMACENAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Como se explicó, el proceso de obtención de datos de almacenamiento de aguas subterráneas se puede observar en el gráfico de serie de tiempo, los valores están distribuidos sobre el promedio general en toda la provincia. Claramente se muestra una tendencia descendente desde el año 2019, esto puede deberse por algunas actividades principalmente agrícolas que podrían estar influenciando en el almacenamiento de agua.

Gráfico 21. Almacenamiento de Aguas Subterráneas en el Municipio de Ascensión de Guarayos

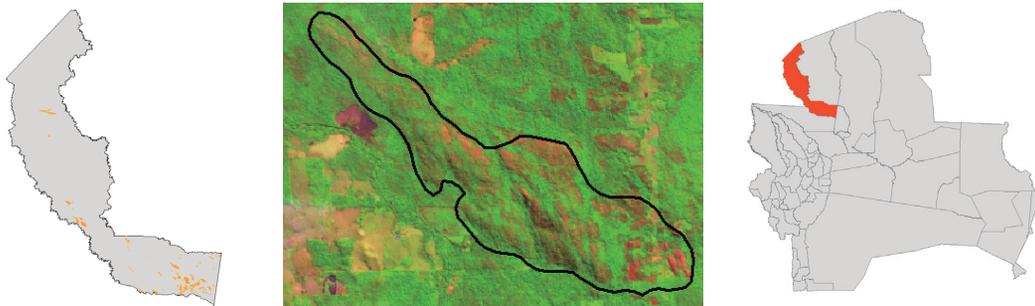


VII.VII. COBERTURA VEGETAL

VII.VII.I AFLORAMIENTO ROCOSO

Esta cobertura está claramente identificada, se refiere principalmente a las piedras lajas que son encontradas en la región de la Chiquitania que varían desde pequeños afloramientos hasta grandes cúpulas. Como se muestra en la foto tomada en la región de municipio de Ascension de Guarayos.

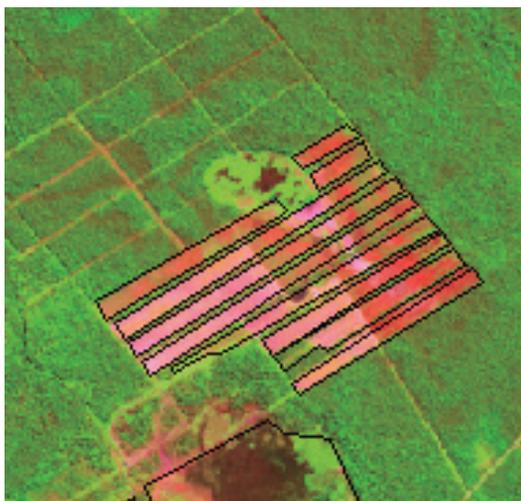
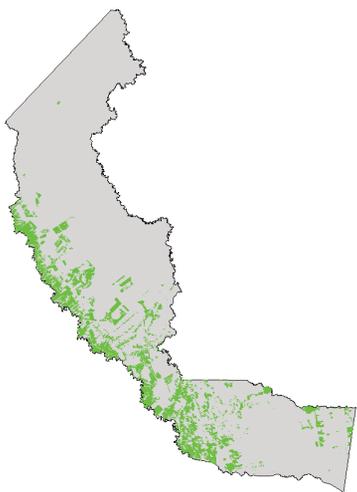
Figura 39. Cobertura Vegetal Afloramiento Rocoso - Municipio de Ascensión de Guarayos



VII.VII.II. AGRICULTURA

La cobertura de agricultura es lo referente a un conjunto de parcelas con fines productivos. Esta clase está definida por una agricultura temporal principalmente con cultivos de la soya y maíz entre los más representativos, así también cultivos de invierno como cultivos de sorgo.

Figura 40. Cobertura Vegetal. Agricultura en el Municipio de Ascensión de Guarayos

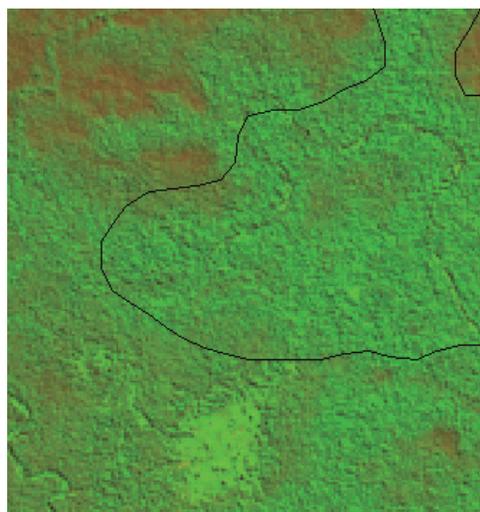
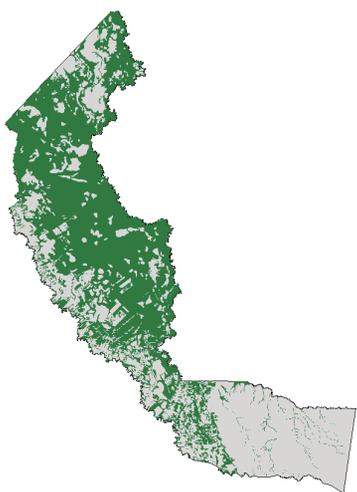


VII.VII.III.

BOSQUE DENSO AMAZÓNICO EN LLANURA INUNDADA ESTACIONALMENTE

En este tipo de bosque predominan por su complejidad y diversidad tres formaciones principales de superficies diferentes, la primera es el Bosque denso húmedo, luego los bosques pantanosos de llanura inundada que predominan por los bosques de Varzea, que se forman a las orillas de los ríos y luego los bosques de transición, formado por los bosques denso húmedo y formaciones de sabanas.

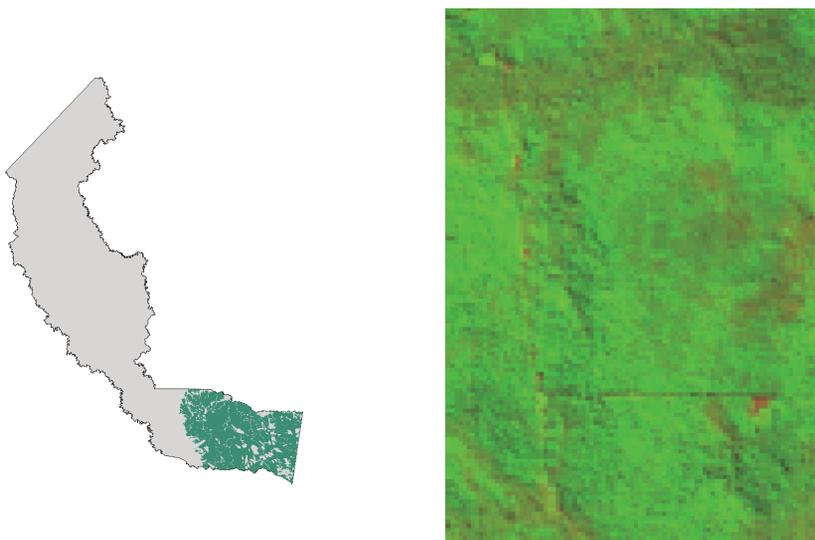
Figura 41. Cobertura Vegetal Bosque Denso Amazónico en el Municipio de Ascensión de Guarayos



VII.VII.IV. BOSQUE DENSO CHIQUITANO

Es un Bosque denso deciduo y semedeciduo que se encuentra en gran parte de la región de la Chiquitanía, y es un bosque amenazado por la expansión agrícola y la ganadería como también el aprovechamiento ilegal de madera. Como puede observarse en el mapa se localizan en la parte oeste colindante con el Municipio de San Ignacio de Velasco.

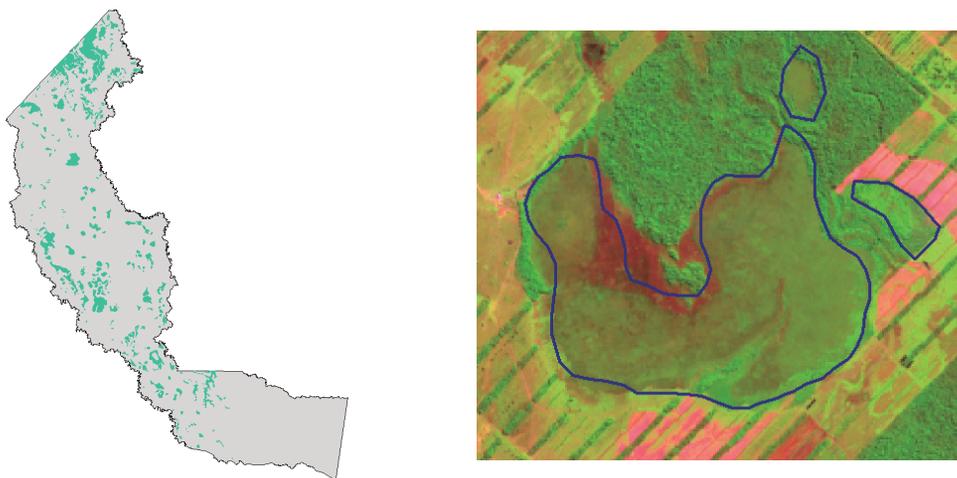
Figura 42. Cobertura Vegetal Bosque Denso Chiquitano en el Municipio de Ascensión de Guarayos



VII.VII.V. CURICHI

Los curichis son cuerpos de agua, normalmente humedales que están estacionalmente inundados, y tienen una presencia en gran parte de la región de la chiquitania, sobre todo dentro de las coberturas de Bosque denso amazónico. Como puede observarse en la imagen están distribuidos en gran parte de la provincia, sobre todo en la cobertura ya mencionada.

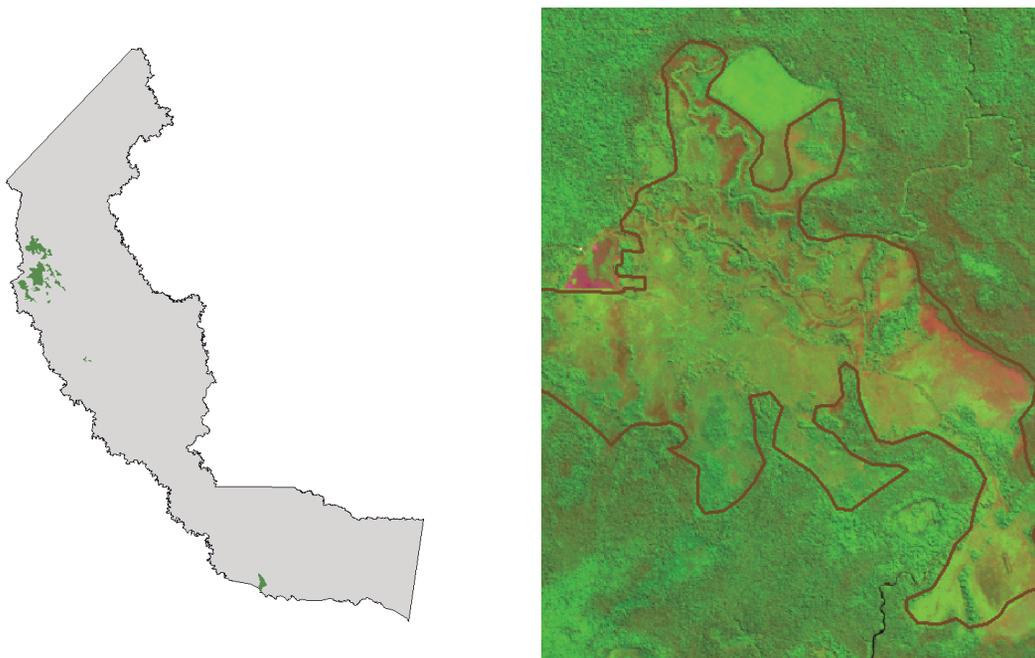
Figura 43. Cobertura Vegetal Curichi en el Municipio de Ascensión de Guarayos



VII.VII.VI. HERBAZAL GRAMINOIDE VIVAZ LLANURA INUNDADA ESTACIONALMENTE

A este tipo de cobertura corresponden herbáceas terrestres semiacuáticas, generalmente están localizadas dentro de llanuras de inundación cerca a los ríos, normalmente en las partes bajas. Como se observa en el Mapa, se localizan en la parte este de la provincia y más aún dentro del Municipio de El Puente.

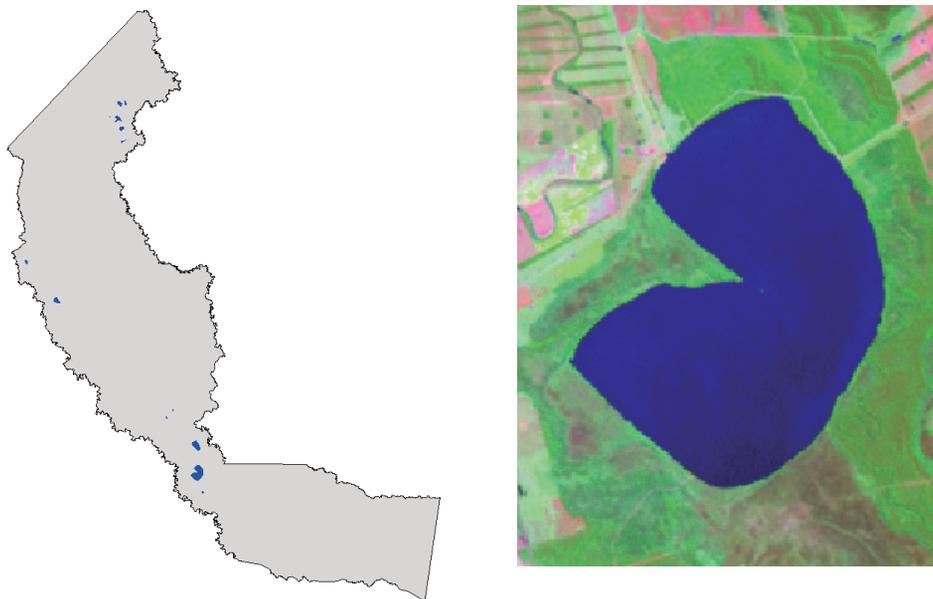
Figura 44. Cobertura Vegetal Herbazal Graminoide en el Municipio de Ascensión de Guarayos



VII.VII.VII. LAGUNAS

Se refiere principalmente a cuerpos de agua, como lagunas, lagos en forma natural o represas, también indirectamente están los curichis, aunque se manejó con otra categoría debido a la forma e intensidad del color en base a la imagen satelital.

Figura 45. Cobertura Vegetal Lagunas en el Municipio de Ascensión de Guarayos



VII.VII.VIII. MANCHA URBANA CONSOLIDADA (URBANA)

Esta clase se refiere a centros poblados grandes y consolidados como las capitales de municipios de la Provincia.

Figura 46. Cobertura Vegetal Mancha Urbana Consolidada Municipio de Ascensión de Guarayos



VII.VII.IX. MANCHA URBANA NO CONSOLIDADA (RURAL)

Lo clase de No consolidado está referido principalmente a Comunidades, que no son centros poblados nucleados, como se puede observar en la figura.

Figura 47. Cobertura Vegetal Mancha Urbana No Consolidada en el Municipio de Ascensión de Guarayos



VII.VII.X. RED HÍDRICA PERMANENTE

Esta clase pertenece a la red hídrica, principalmente ríos, para ello se han podido identificar con la ayuda de la imagen satelital.

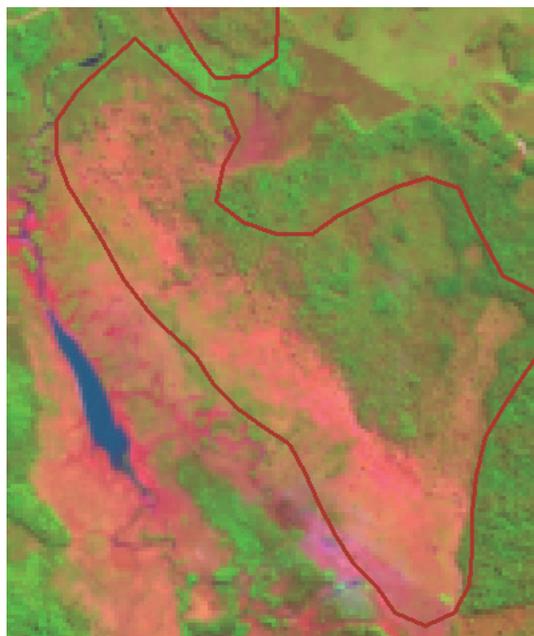
Figura 48. Cobertura Vegetal Red Hídrica Permanente - Municipio de Ascensión de Guarayos.



VII.VII.XI. SUELO DESNUDO

Esta categoría, se ha clasificado principalmente cerca al matorral chiquitano como también otras áreas localizadas en la provincia. Generalmente después de un incendio o una actividad de deforestación se presenta un suelo sin cobertura que se ha podido ver en la imagen.

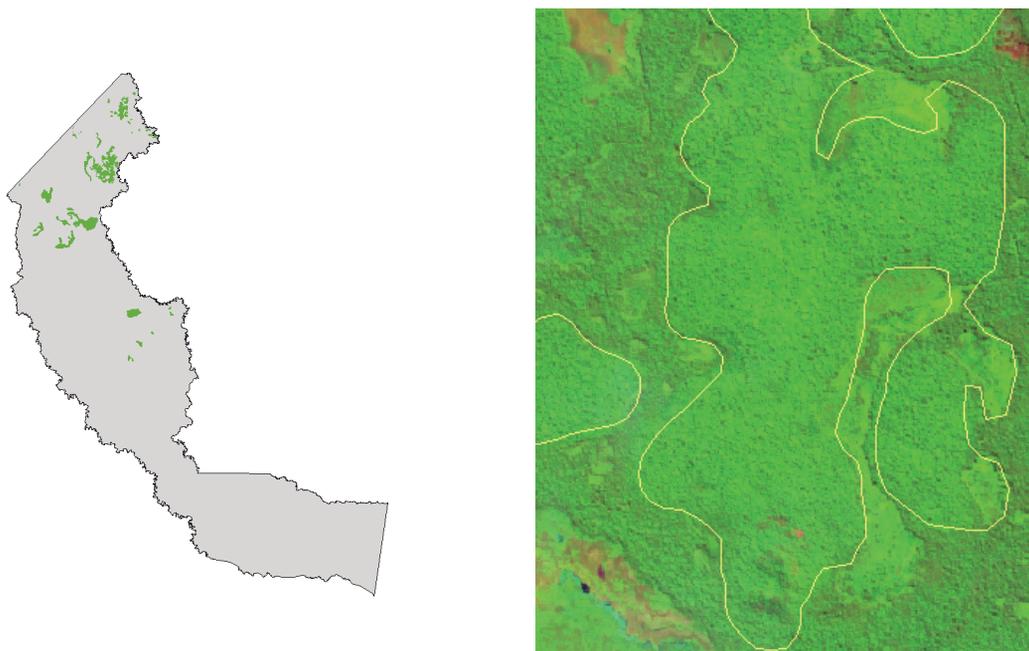
Figura 49. Cobertura Vegetal Suelo Desnudo - Municipio de Ascensión de Guarayos



VII.VII.XII. BOSQUE DENSO AMAZÓNICO EN LLANURA HÚMEDO.

Esta categoría es muy parecida a la del bosque denso con la diferencia que no está inundado estacionalmente, donde también predominan formaciones de bosques pantanosos y son suelos bien drenados.

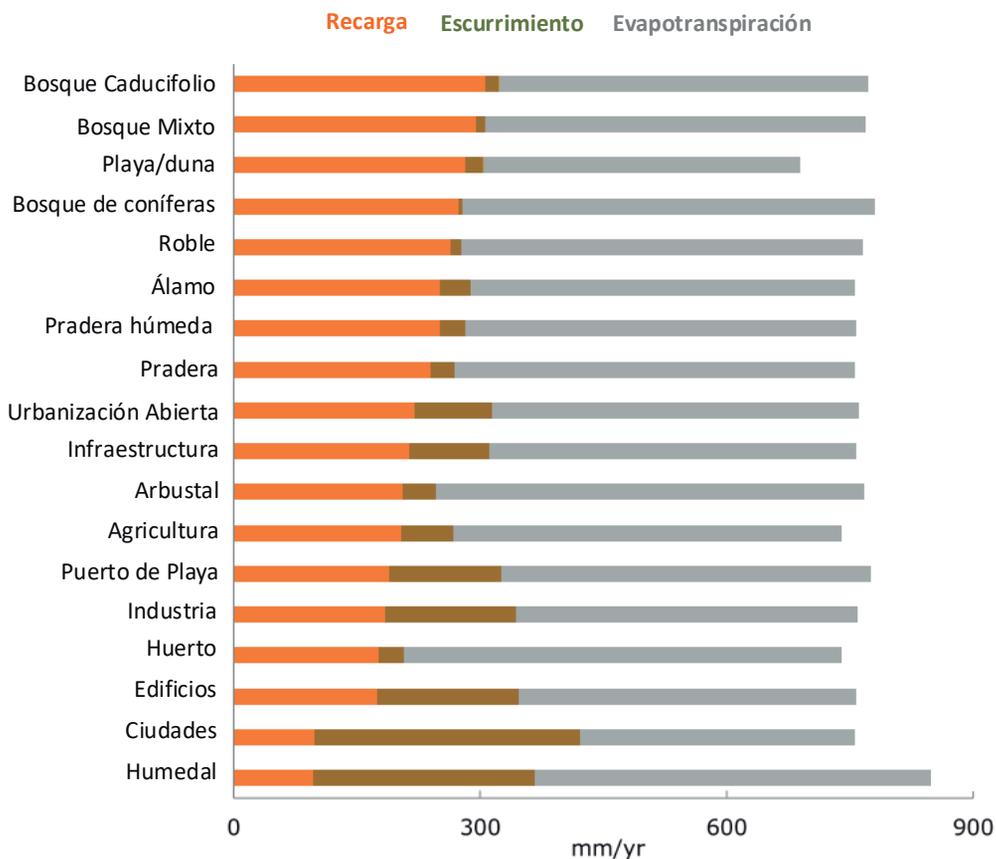
Figura 50. Cobertura Vegetal Bosque Denso Amazónico en el Municipio de Ascensión de Guarayos



Como se explicó la importancia de la cobertura en la recarga hídrica, en el Municipio se tiene en gran superficie el Bosque Chiquitano y Amazónico, lo cual es importante en términos de recarga hídrica.

Gráfico 22. Modelo de Componentes del Balance Hídrico vs los Tipos de Cober-

tura

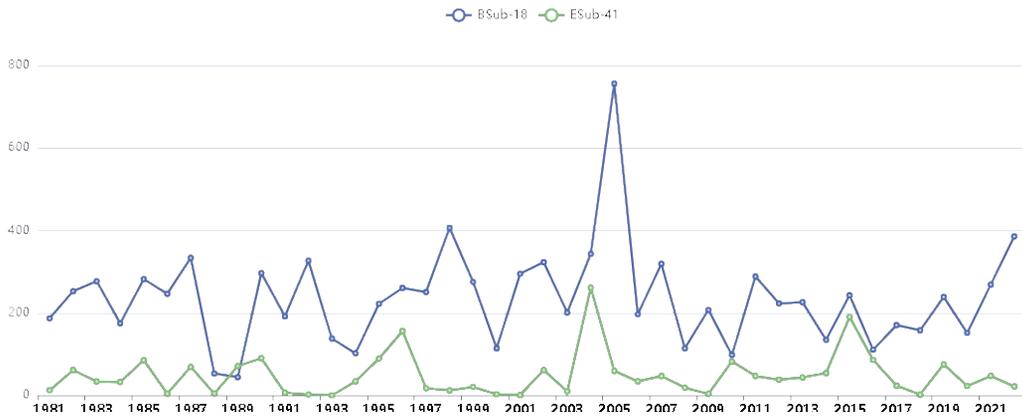


VII.VIII. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE RECARGA HÍDRICA

VII.VIII.I. RECARGA HÍDRICA SUPERFICIAL

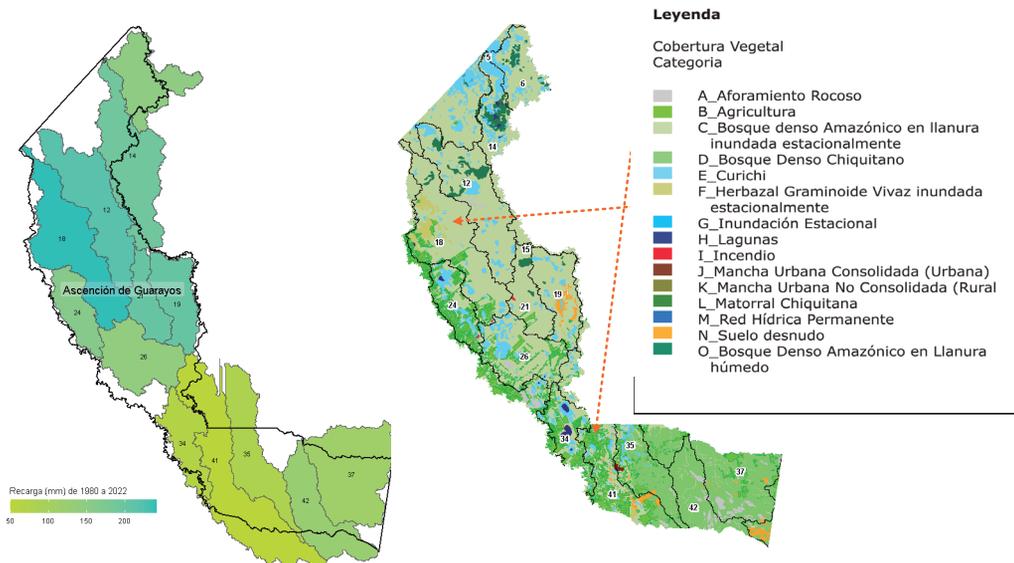
En este municipio, se observa en el mapa que la Sub-Cuenca 18 tiene la mayor recarga en promedio desde 1981 hasta el 2022, es importante resaltar que es una Sub-Cuenca en la que predomina el bosque Denso Amazónico inundado estacionalmente, y también se observa una agricultura no tan intensiva como en otras Sub-Cuencas.

Gráfico 23. Promedio de Recarga Superficial por Año en el Municipio de Ascensión de Guarayos



Respecto a la Sub-Cuenca 41, tiene la menor recarga hídrica desde el punto de vista de escurrimiento, donde se observa en la gráfica años como el 2004 con valores por encima de los 200 mm en promedio. También indicar que predomina una agricultura muy intensiva en esta subcuenca. Si asociamos este último parámetro con el tipo de suelo, predominan los suelos franco-arcillosos que en teoría deberían promover un mayor escurrimiento, sin embargo, debido a la actividad agrícola y otros factores como la temperatura, existe una evaporatranspiración representativa, lo que hace que una cierta cantidad de agua se pierda como escurrimiento.

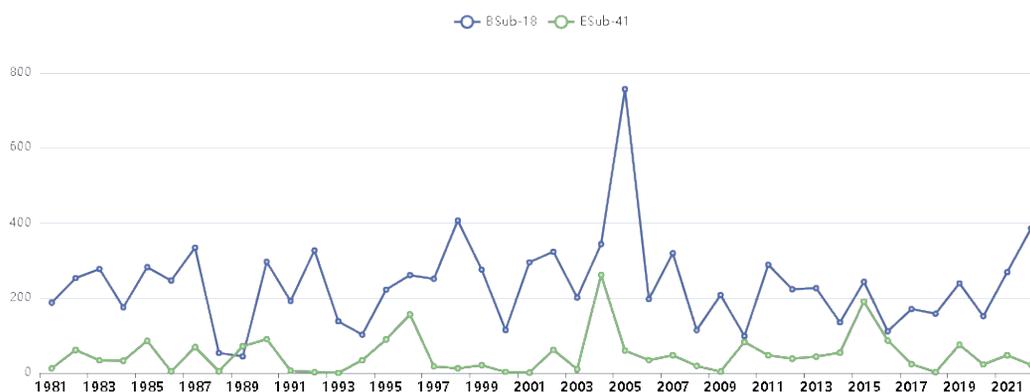
Figura 51. Recarga Superficial Para el Municipio de Ascensión de Guarayos



VII.VIII.II. RECARGA HÍDRICA SUBSUPERFICIAL

Sin duda este parámetro Percolación o recarga subsuperficial tiene correlación con la recarga superficial (Ecurrimiento). Podemos observar que las recargas en promedio están por debajo de los 300 mm como promedio anual, así también, podemos observar que la Sub-Cuenca-18, presenta la mayor recarga, con valores importantes para los años 1996, 1998 y 2008, y es muy variable debido a la actividad que existe en el Municipio, principalmente la agricultura y ganadería.

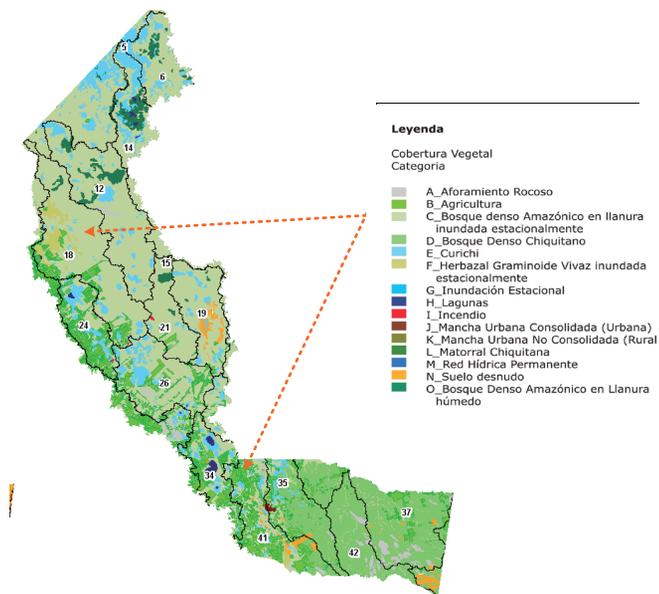
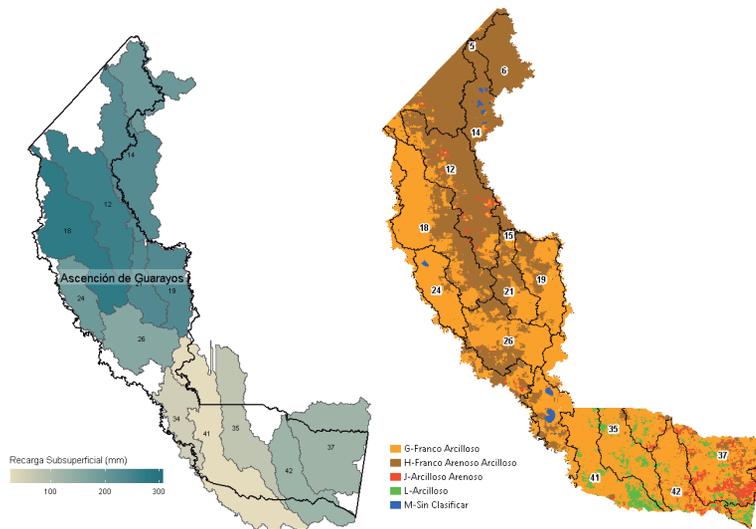
Gráfico 24. Promedio de Recarga SubsUPERficial por Año en el Municipio de Ascensión de Guarayos



Respecto a la Sub-Cuenca-41, presenta una recarga inferior menor a los 100 mm anual. Y si comparamos este dato con el escurrimiento para la misma subcuenca, tiene un comportamiento similar, es decir, que a menor escurrimiento hay menor infiltración, esto debido a la actividad agrícola intensiva en esta Sub-Cuenca.

Respecto a la textura de suelo, observamos que la Sub-Cuenca-18 se localiza dentro de textura franco-arcillosa y franco arenoso arcillosa, que viendo la gráfica 11 como modelo, muestra que en esas texturas hay una recarga mínima menor a 50 mm, pero también a ese tipo de cobertura de bosque muestra una recarga de 300 mm, lo cual muestra una correlación con los datos encontrados en esa Sub-Cuenca.

Figura 52. Recarga Subsuperficial Para el Municipio de Ascensión de Guarayos

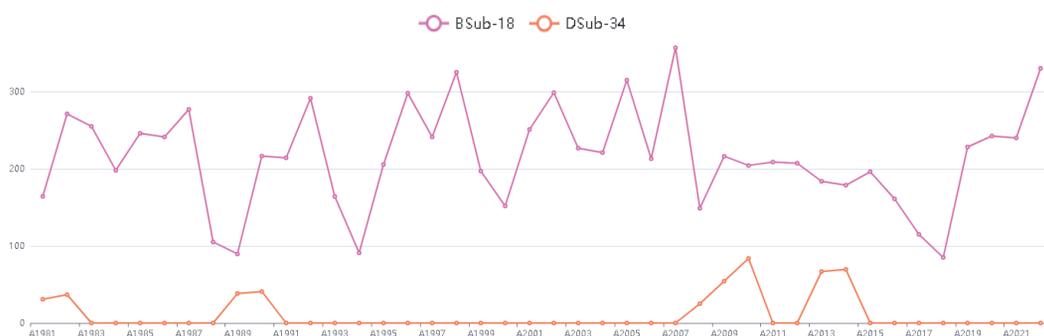


VII.VIII.III. RECARGA HÍDRICA SUBSUPERFICIAL RECARGA HÍDRICA SUBTERRÁNEA

Como análisis de la recarga hídrica, se identifica a la Sub-Cuenca 18, como una cuenca de comparación frente a otras Sub-Cuencas, ya que presenta recargas importantes en los tres procesos.

En este gráfico se han elegido dos Sub-Cuencas, la 18 y la 34, podemos observar que la Sub-Cuenca 18 presenta una recarga anual importante, esto ya debido a una intermedia superficie agrícola y una cobertura de bosque inundado lo cual favorece en la recarga de aguas subterráneas.

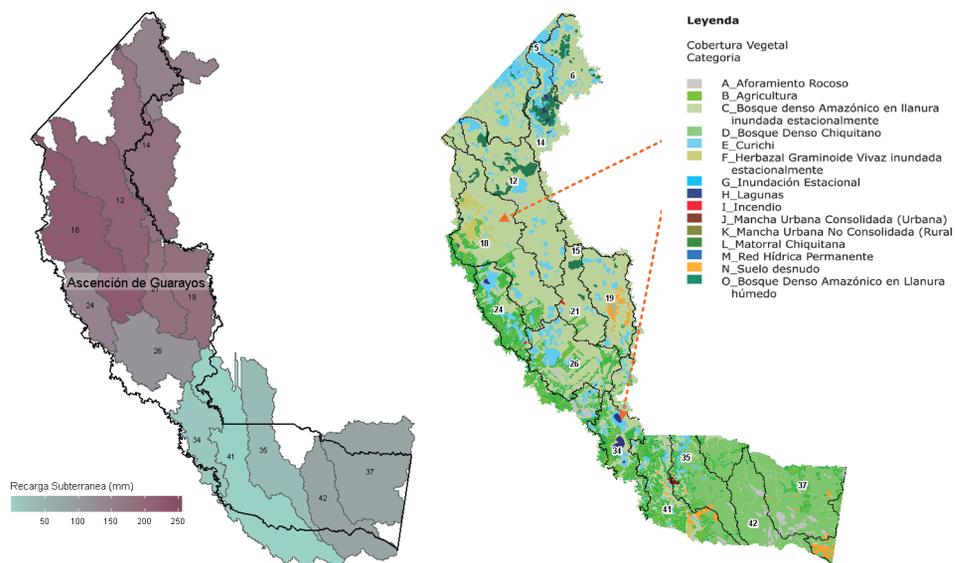
Gráfico 25. Promedio de Recarga Subterránea por Año en el Municipio de Ascensión de Guarayos



Respecto a la Sub-Cuenca-34, se observa una actividad intensiva de la agricultura, donde los cuerpos de agua naturales han ido desapareciendo por actividades agrícolas cercanas a estos cuerpos de agua.

Esta disminución muestra años con valores de cero, donde no hay una recarga como tal y también años con recargas cercanas a los 100 mm, esta variabilidad tiene varias explicaciones, una de ellas es el tema de la temperatura o actividades de mal manejo en la zona sea del tipo agrícola o ganadero. Si bien las lagunas son fuente importante de recarga, no olvidemos que la Sub cuenca predominan suelos franco arcillosos, lo cual indicaría que las lagunas en su lecho están formados por arcilla, lo cual es lenta la recarga hacia los suelos más profundos o aguas subterráneas.

Figura 53. Recarga Subterránea Para el Municipio de Ascención de Guarayos



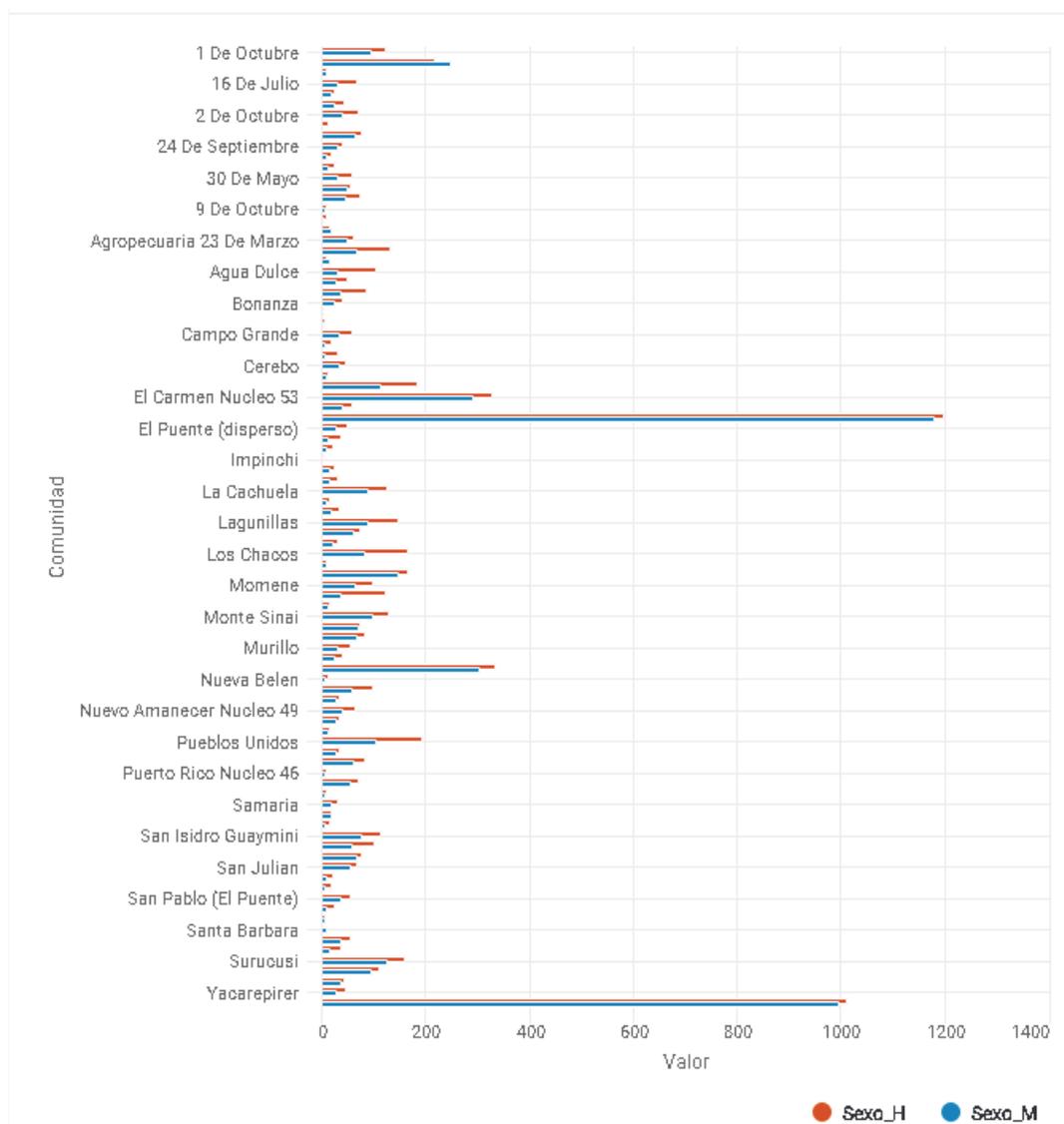


VIII.I. ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO

VIII.I.I. POBLACIÓN

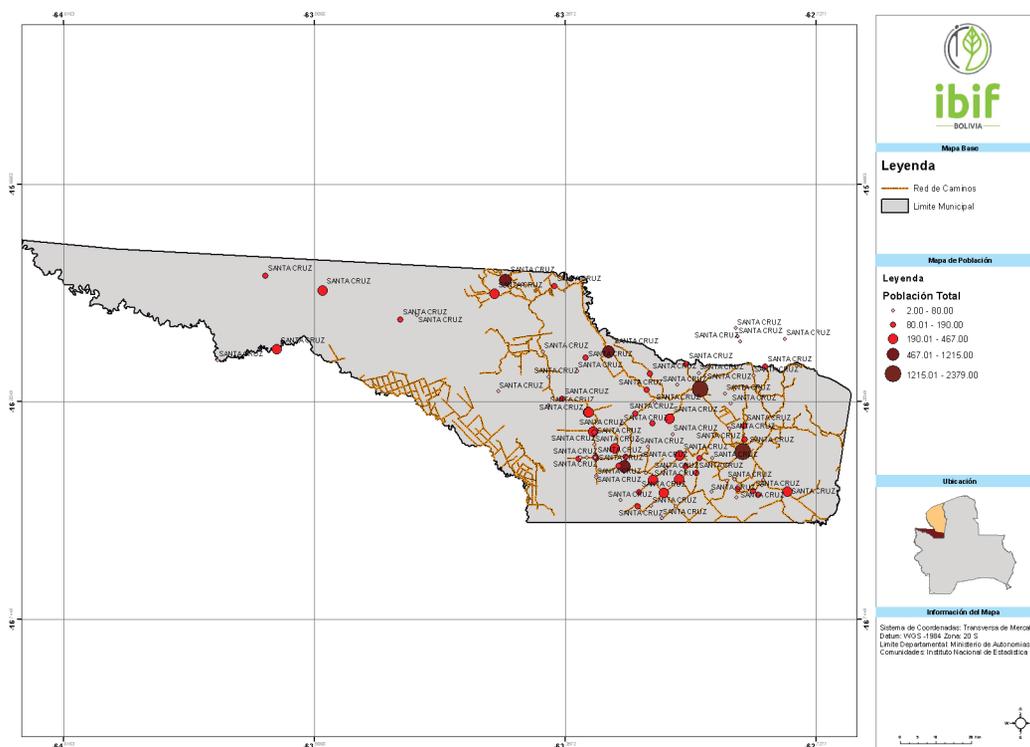
El Municipio El Puente, tiene una población de 14.205 Habitantes según el Instituto Nacional de Estadística (INE-2012). Resaltar que dentro del Municipio se cuenta con 93 comunidades, dentro de las cuales El Puente presenta la mayor población con 2379 Habitantes, seguido de la Comunidad de Yotau con 2007 Habitantes. En el siguiente gráfico se muestra la distribución por tipo de sexo.

Gráfico 26. Población en el Municipio de El Puente por sexo.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística- Censo de Población y Viviendas, 2012

Figura 54. Mapa de Población del Municipio de El Punte



SANEAMIENTO BÁSICO PROCEDENCIA DE AGUA

Respecto al Saneamiento Básico, la comunidad El Punte, predominan el acceso al agua para consumo humano a través de cañería de red con un total de 400 familias aproximadamente según el Censo de Población, así también, la comunidad de Yotau acceden al agua aproximadamente 200 familias a través de pozos con bomba y otras 200 familias aproximadamente sin Bomba, mientras que en las demás comunidades predomina el uso de la bomba.

Este es uno de los Municipios con una vulnerabilidad significativa en tema de recarga hídrica, por lo que es una zona, con una vocación agrícola y ganadera, donde unas 200 familias acceden al recurso agua a través de pozos con bomba, probablemente este valor de familias haya incrementado en estos 10 años y también el número de pozos.

Como se puede observar en el gráfico, claramente es uno de los Municipios con mayor número de comunidades, y por ende hay una cierta tendencia a un uso del agua en forma elevada, tanto para fines de consumo poblacional, como también para actividades agropecuarias.

VIII.II. ASPECTOS PRODUCTIVOS

VIII.II.I. PRODUCTOS PRINCIPALES

El Municipio de El Puente tiene numerosas comunidades y predomina el grupo de "Otros usos de las Tierra" con el 72.92%, seguido de forrajes con un 14.58% y productos de oleaginosas con un 7.52%. Estas tres categorías hacen un total de 95.02 %. Mencionar que, en las Comunidades de 23 de Julio, San Francisco, Nueva Ascensión y Pueblos Unidos, predominan cultivos como soya, maíz, braquiara y sorgo entre los principales.

Al igual que en los dos Municipios anteriores, estos valores son fruto de una encuesta realizada a nivel de comunidades lo cual el Censo Agropecuario refleja un análisis de comparación sobre la superficie del Municipio.

Tabla 7. Categorías de Cultivos Principales en el Municipio de El Puente

Categoría	Superficie (Ha)	Superficie (Km2)	Porcentaje
Caña de azúcar y remolacha azucarera	86.56	0.87	0.02%
Cereales	19681.11	196.81	4.27%
Cultivo de plantas con las que se preparan bebidas estimulantes, es	43.85	0.44	0.01%
Frutas y nueces	420.9857	4.21	0.09%
Frutos o granos oleaginosos	34692.5235	346.93	7.52%
Hortalizas	97.2161	0.97	0.02%
Legumbres secas	1832.4101	18.32	0.40%
Madera sin elaborar	375.36	3.75	0.08%
Otros Usos de la Tierra	336256.9212	3362.57	72.92%
Productos del forraje, fibras, plantas vivas, corte las flores y los bro	67211.72	672.12	14.58%
Raíces y tubérculos comestibles ricos en almidón	444.1387	4.44	0.10%
Total	461142.8	4611.4	1.0

Superficie del Municipio El Puente (Km2)

6744.52

Como se observa en la tabla del Censo Agropecuario 2013, claramente predominan cultivos de cereales con más de 19 mil hectáreas, oleaginosas con 34692 has, forraje con 67211 has. Como se explicó, los tipos de coberturas de tipo bosques la infiltración es más alta que un tipo de cobertura de cultivos.

VIII.III. ANÁLISIS DE SUELOS

VIII.III.I ANÁLISIS DE TEXTURA

En este Municipio, se presentan ocho clases identificadas, donde predominan suelos Franco arcillosos, lo cual está asociado a zonas con bastantes cuerpos de agua y también buena retención de agua. Luego como segunda clase predominante los suelos franco arenoso-arcillosos, esta textura es apta para la agricultura. En menor proporción se encuentran los suelos arcillosos.

Resaltar que hay una proporción de superficie con suelos franco arenoso, lo cual permite tener una recarga hídrica significativa en lo subsuperficial muy diferente a los suelos arcillosos, como se observa en el mapa.

Gráfico 28. Modelo de Componentes del Balance Hídrico vs la textura

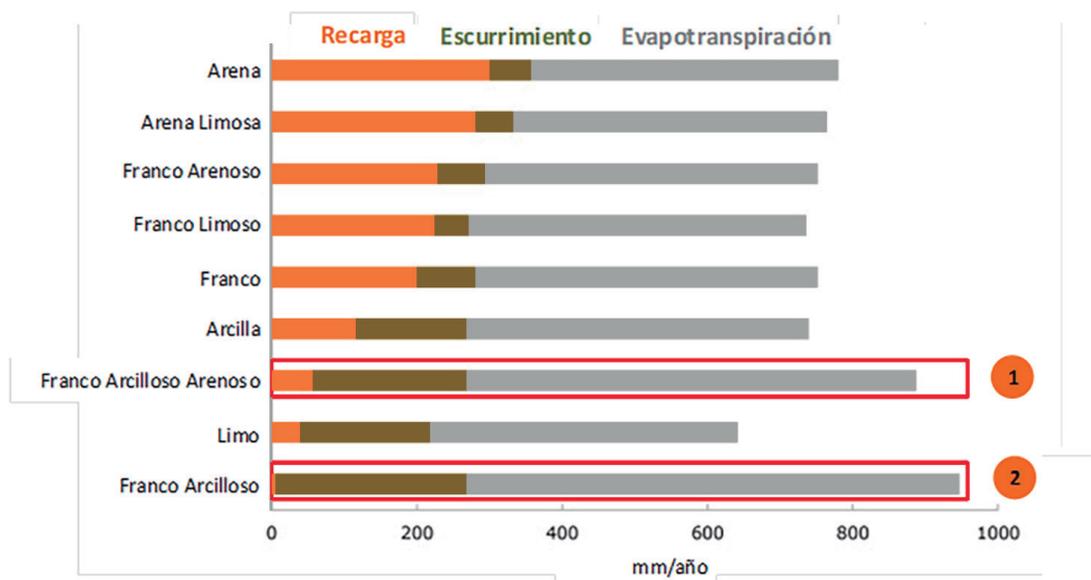
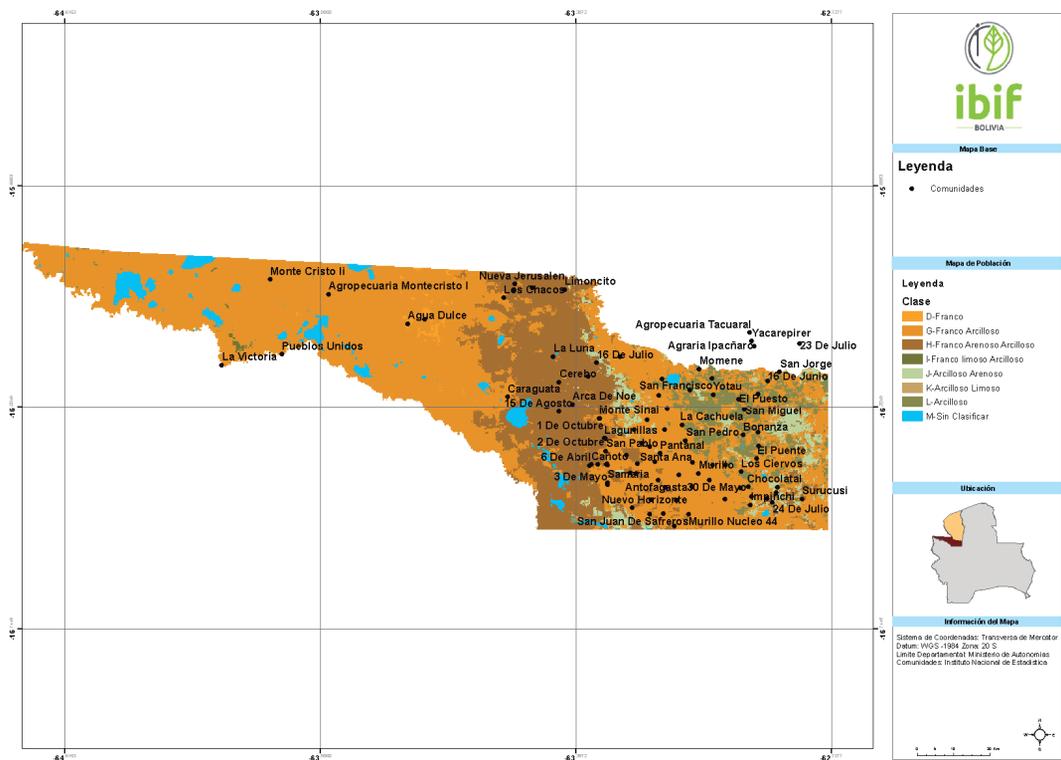


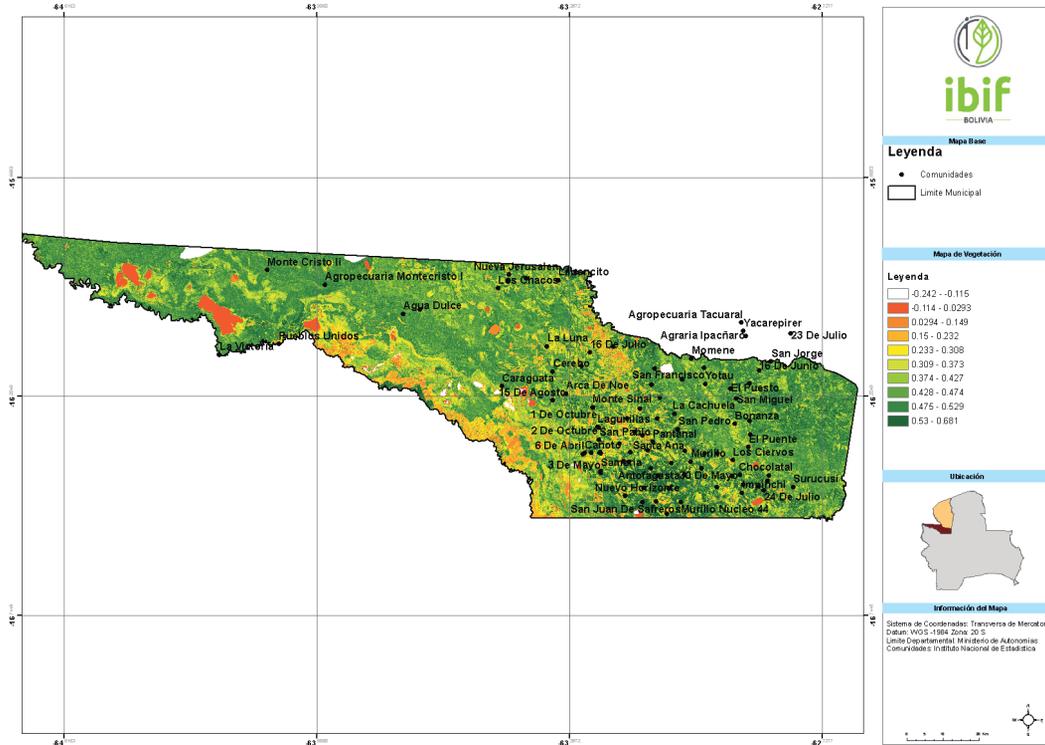
Figura 55. Mapa de Suelos del Municipio El Puente



VIII.IV. ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN

El Municipio El puente, también presenta valores medios del NDVI, que no necesariamente corresponde a la cobertura boscosa, ya que es un Municipio que tiene una vocación netamente productiva, sin embargo, se muestran valores atípicos correspondientes a procesos de habilitación de tierras. Este análisis se lo corroborará con la dinámica de cambio de uso de suelo. Con este análisis se puede observar valores de 0.2 a 0.4 que corresponden a la agricultura y valores por encima de 0.5, corresponden a la parte boscosa en este caso es el Bosque Denso Chiquitano.

Figura 56. Mapa de Vegetación del Municipio El Puente

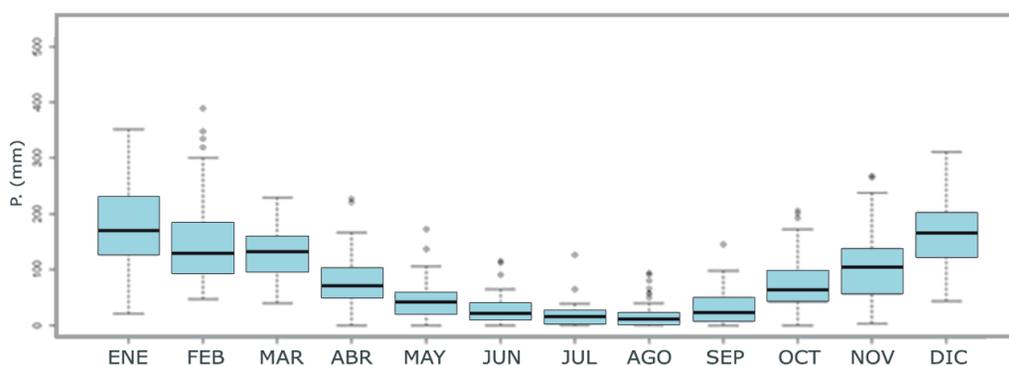


VIII.V. ANÁLISIS METEOROLÓGICO

En el Municipio El Puente, las precipitaciones comparadas con los otros dos Municipios está por debajo del promedio, es decir, el Municipio de Urubichá tiene una precipitación promedio de 124 mm/ anual, mientras que en el Municipio El Puente es de 85 mm.

Indicar que las precipitaciones para el mes de enero están en 177 mm, y para Urubichá en 258 mm. Todo este análisis permite mostrar que el Municipio El Puente tiene menor cantidad de lluvia al año, lo que presume una recarga hídrica menor a los otros dos Municipios.

Figura 57. Precipitación anual para el Municipio El Puente

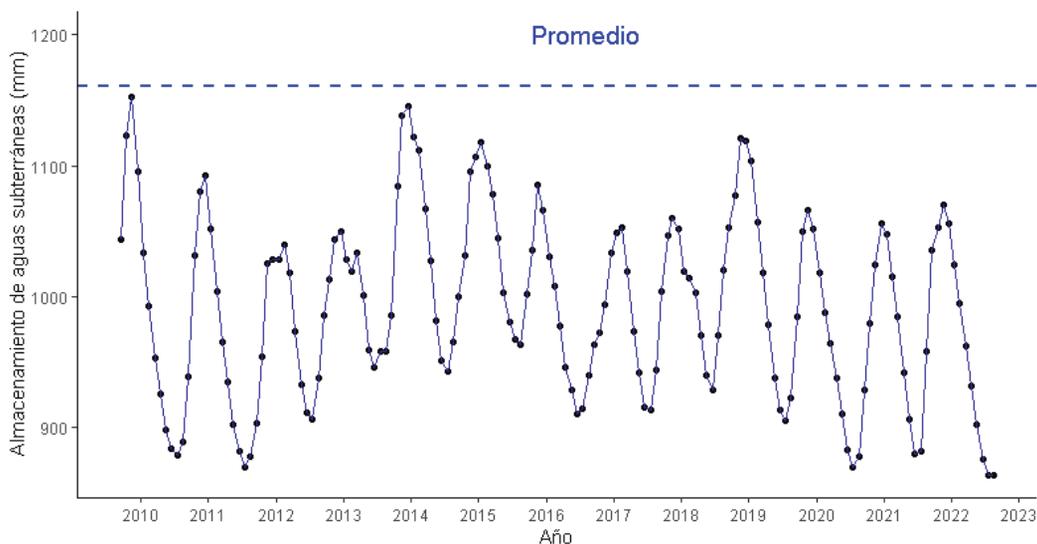


Esta afirmación se tiene que cruzar con los otros elementos como la textura del suelo, cobertura, etc. Sin embargo, dadas las actividades agrícolas y de saneamiento analizados en los anteriores puntos, parece indicar una recarga hídrica menor, que más adelante se profundizará sobre este tema.

VIII.VI. ALMACENAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

En el gráfico 28 se puede observar como el almacenamiento de agua es inferior al promedio en toda la provincia. Este comportamiento sumado a las otras variables analizadas como actividad agrícola, procedencia de agua, tipos texturas de suelos, tienen una correlación en cuanto al almacenamiento de agua en este Municipio. Se puede observar en el gráfico ciertas fluctuaciones en ciertos años, que está directamente relacionada con años con alta precipitación o con años poca precipitación, lo que se traduciría en años con sequía.

Gráfico 29. Almacenamiento de Aguas Subterráneas en el Municipio El Puente

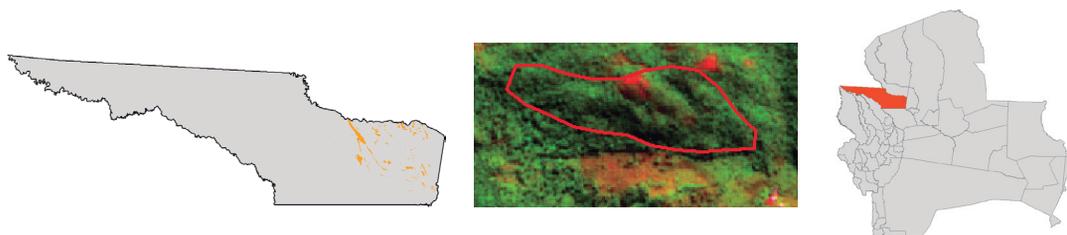


VIII.VII. COBERTURA VEGETAL

VIII.VII.I AFLORAMIENTO ROCOSO

Esta cobertura está claramente identificada, se refiere principalmente a las piedras lajas que son encontradas en la región de la Chiquitania que varían desde pequeños afloramientos hasta grandes cúpulas. Como se muestra en la foto tomada en la región de El puente.

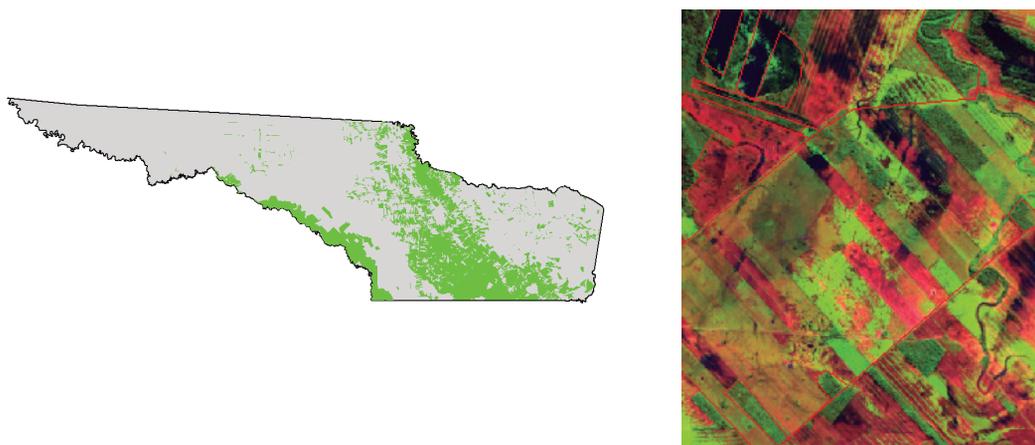
Figura 58. Cobertura Vegetal Afloramiento Rocoso en el Municipio El Puente



VIII.VIII.II. AGRICULTURA

La cobertura de agricultura es lo referente a un conjunto de parcelas con fines productivos. Esta clase está definida por una agricultura temporal en cuanto a la producción dentro de la provincia, aunque en ciertos municipios hay una actividad más intensiva, y se atribuye al cultivo de la soya, maíz entre los más representativos.

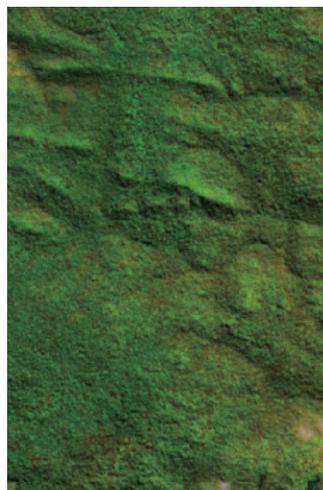
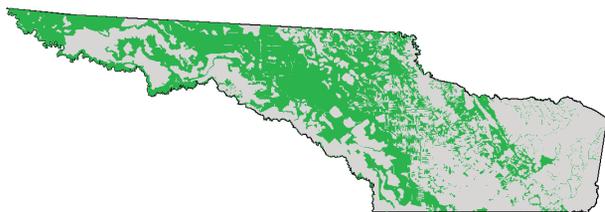
Figura 59. Cobertura Vegetal Agricultura en el Municipio El Puente



VIII.VIII.III. BOSQUE DENSO AMAZÓNICO EN LLANURA INUNDADA ESTACIONALMENTE

En este tipo de bosque predominan por su complejidad y diversidad tres formaciones principales de superficies diferentes, la primera es el Bosque denso húmedo, luego los bosques pantanosos de llanura inundada que predominan por los bosques de Varzea, que se forman a las orillas de los ríos y luego los bosques de transición, formados por los bosques denso húmedo y formaciones de sabanas.

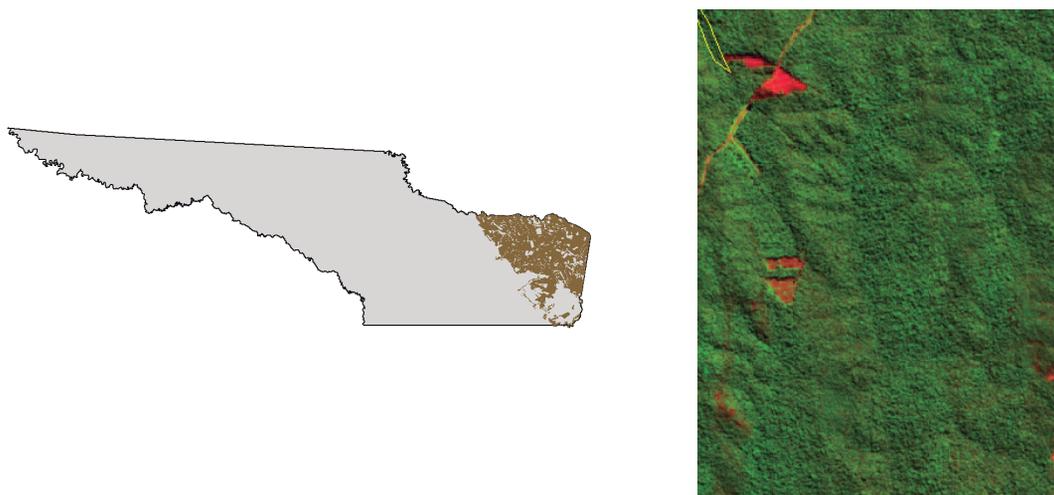
Figura 60. Cobertura Vegetal Bosque Denso Amazónico en el Municipio El Puente



VIII.VII.IV. BOSQUE DENSO CHIQUITANO

Es un Bosque denso deciduo y semedeciduo que se encuentra en gran parte de la región de la Chiquitanía, y es un bosque amenazado por la expansión agrícola y la ganadería como también el aprovechamiento ilegal de madera. Como puede observarse en el mapa se localizan en la parte oeste colindante con el Municipio de San Ignacio de Velasco.

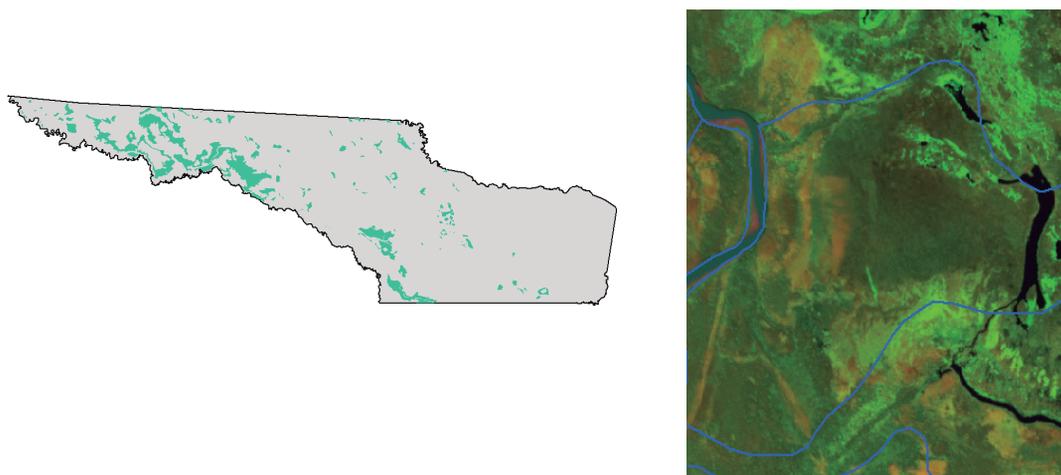
Figura 61. Cobertura Vegetal Bosque Denso Chiquitano en el Municipio El Puente



VII.VII.V. CURICHI

Los curichis son cuerpos de agua, normalmente humedales que están estacionalmente inundados, y tienen una presencia en gran parte de la región de la chiquitania, sobre todo dentro de las coberturas de Bosque denso amazónico. Como puede observarse en la imagen están distribuidos en gran parte de la provincia, sobre todo en la cobertura ya mencionada.

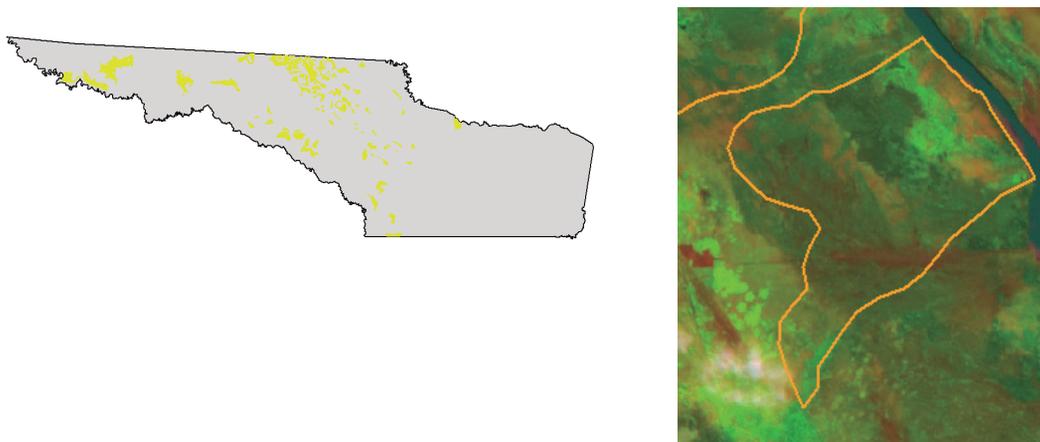
Figura 62. Cobertura Vegetal Curichi en el Municipio El Punte



VII.VII.VI. HERBAZAL GRAMINOIDE VIVAZ LLANURA INUNDADA ESTACIONALMENTE

Este tipo de cobertura corresponde a herbáceas terrestres semiacuáticas, generalmente están localizadas dentro de llanuras de inundación cerca a los ríos, generalmente en las partes bajas. Como se observa en el Mapa, se localizan en la parte este de la provincia y más aún dentro del Municipio de El Punte.

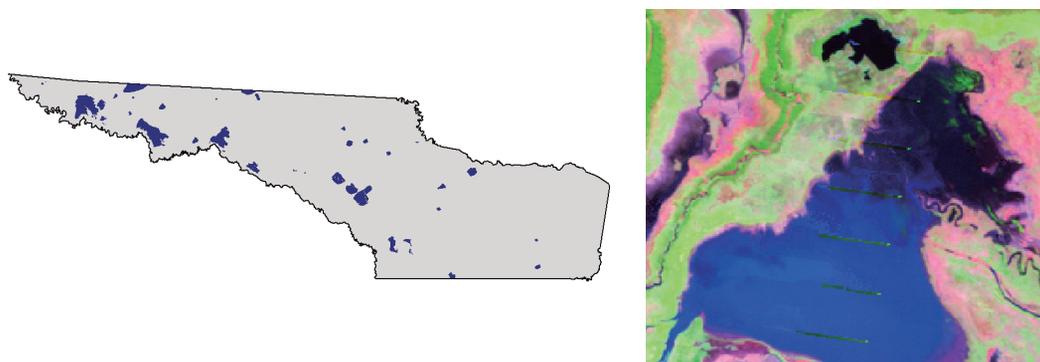
Figura 63. Cobertura Vegetal Herbazal Graminoide en el Municipio El Puente



VII.VII.VII. LAGUNAS

Se refiere principalmente a cuerpos de agua, como lagunas, lagos en forma natural o represas, también indirectamente están los curichis, aunque se manejó con otra categoría debido a la forma e intensidad del color en base a la imagen satelital.

Figura 64. Cobertura Vegetal Lagunas en el Municipio El Puente



VII.VII.VIII. MANCHA URBANA CONSOLIDADA (URBANA)

Esta clase se refiere a centros poblados grandes y consolidados como son los Tres municipios de la provincia Guarayos.

Figura 65. Cobertura Vegetal Mancha Urbana Consolidada en el Municipio El Puente



VII.VII.IX. MANCHA URBANA NO CONSOLIDADA (RURAL)

Lo clase de No consolidado está referido principalmente a Comunidades, que se han podido identificar dentro de la Imagen satelital.

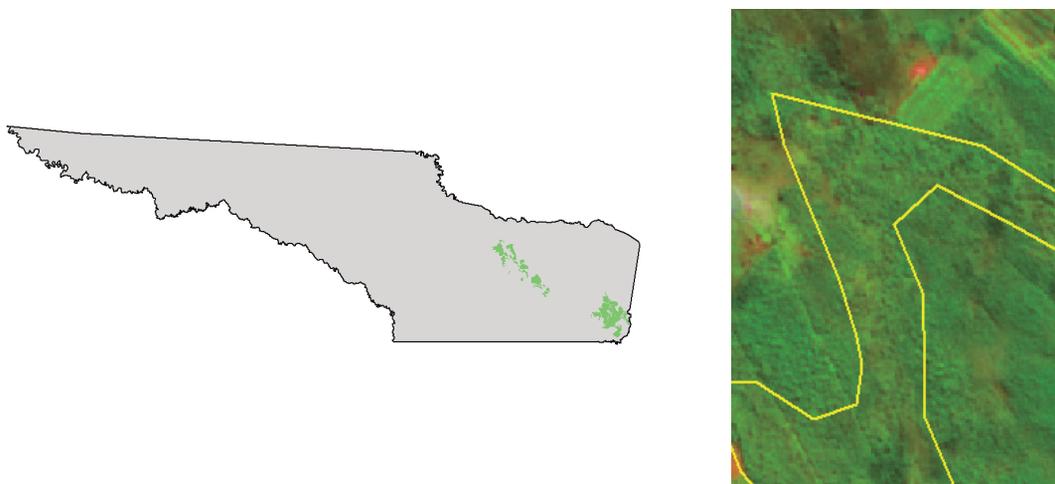
Figura 66. Cobertura Vegetal Mancha Urbana No Consolidada en el Municipio El Puente



VII.VII.IX. MATORRAL CHIQUITANO

La clase de matorral se refiere a vegetación sucesional de baja cobertura vegetal que se localizan en la parte alta de la cuenca por decir así, y sobre todo se desarrollan en los afloramientos rocosos.

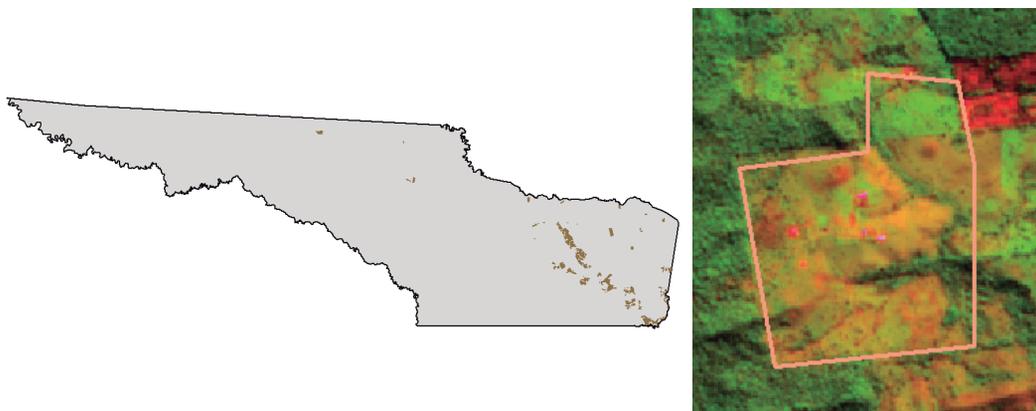
Figura 67. Cobertura Vegetal Matorral Chiquitano en el Municipio El Puente



VII.VII.XII. SUELO DESNUDO

Esta categoría, se ha clasificado principalmente cerca al matorral chiquitano como también otras áreas localizadas en la provincia. Generalmente después de un incendio o una actividad de deforestación se presenta un suelo sin cobertura que se ha podido ver en la imagen.

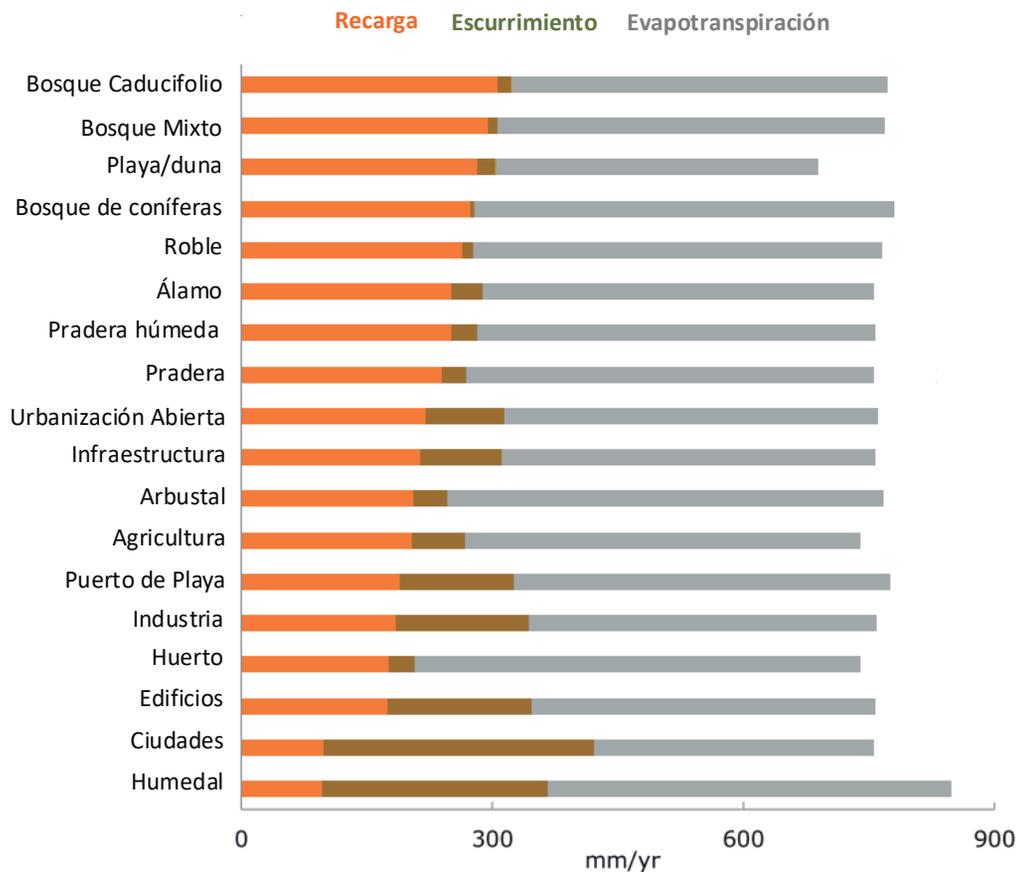
Figura 69. Cobertura Vegetal Suelo Desnudo en el Municipio El Puente



La cobertura juega un papel importante en la recarga hídrica y en cualquier modelo que tenga que ver con modelación de recursos hídricos, es decir, comprender qué tipo de cobertura se tiene en el territorio, permite inferir como es la dinámica de la recarga en la zona de estudio.

Por ejemplo, en el siguiente gráfico se muestra para una cuenca en particular cómo los diferentes tipos de cobertura influyen en la recarga hídrica. Se puede observar que todas las coberturas boscosas tienden a tener una mayor recarga frente a una cobertura de agricultura y así sucesivamente.

Gráfico 30. Modelo de Componentes del Balance Hídrico vs los Tipos de Cobertura



VIII.VIII.

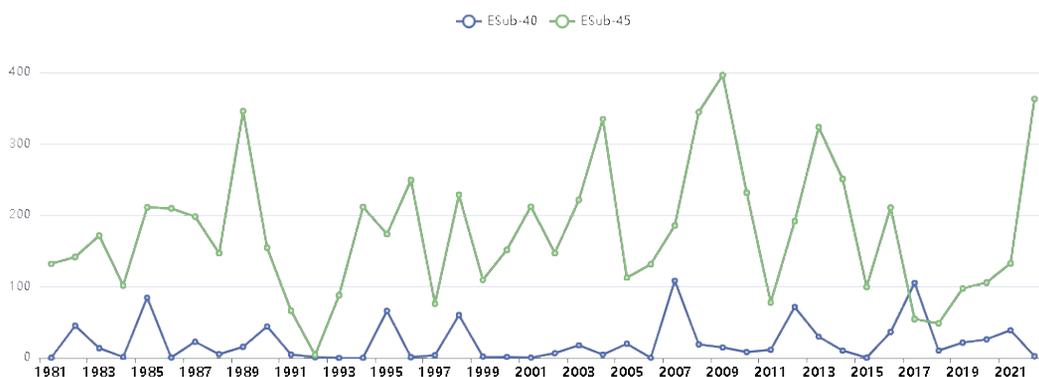
RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE RECARGA HÍDRICA

VIII.VIII.I.

RECARGA HÍDRICA SUPERFICIAL

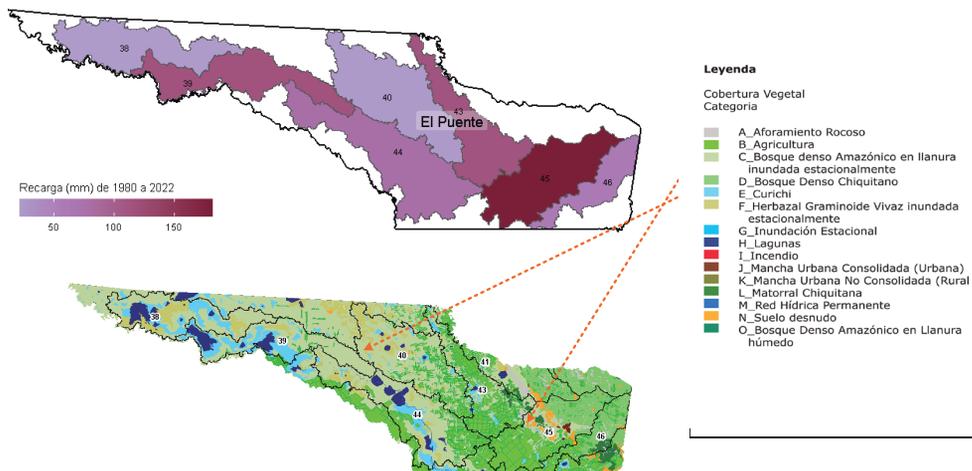
Es uno de los Municipios que tiene menor recarga superficial (escurrimiento), comparado con los otros dos municipios y esto se puede explicar de varios puntos, el primero que hay una agricultura intensiva en todo el Municipio y también por factores meteorológicos y la textura de suelo. Este último punto, si bien predominan suelos arcillosos puede favorecer más el escurrimiento que la infiltración como se observa en el gráfico, aunque también se observan valores bajos en ciertos años como el 2001.

Gráfico 31. Promedio de Recarga Superficial por Año en el Municipio El Puente



Analizando todas las subcuencas que comprenden el municipio, la Sub-Cuenca 45, presenta un escurrimiento importante, donde el 2010 se observa un escurrimiento promedio anual de 300 mm. Respecto a la Sub-Cuenca-40, seleccionada como aquella que presenta el menor escurrimiento, puede deberse a la presencia de agricultura con superficies menores que la anterior Sub-Cuenca y también por presentar cuerpos de agua lo que promueve una retención del agua y no tanto un escurrimiento como tal.

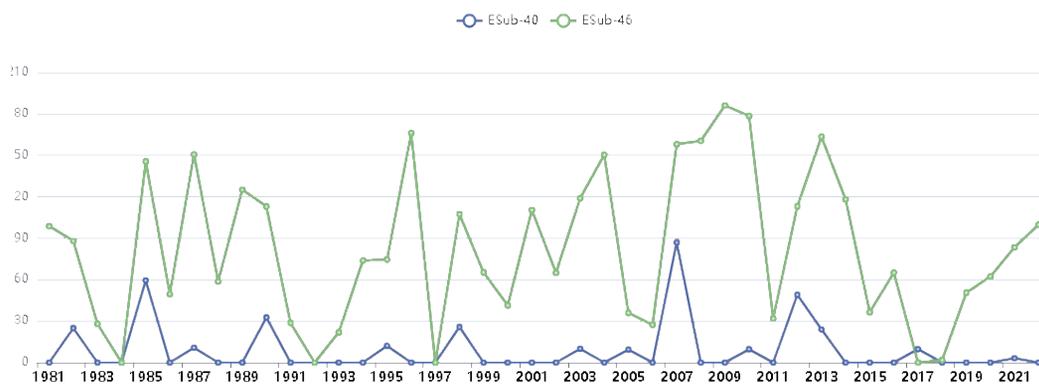
Figura 70. Recarga Superficial Para el Municipio El Puente



VIII.VIII.II. RECARGA HÍDRICA SUBSUPERFICIAL

Como se puede observar, en el Municipio, se tiene la menor recarga hídrica frente a los otros dos Municipios, en promedio se encuentra por debajo de los 100mm. En este sentido se han seleccionado dos Subcuencas, una con mayor recarga que es la Sub-Cuenca-46, donde hay años con valores altos como el 1996 y 2009 y valores bajos como el año 2011 en promedio.

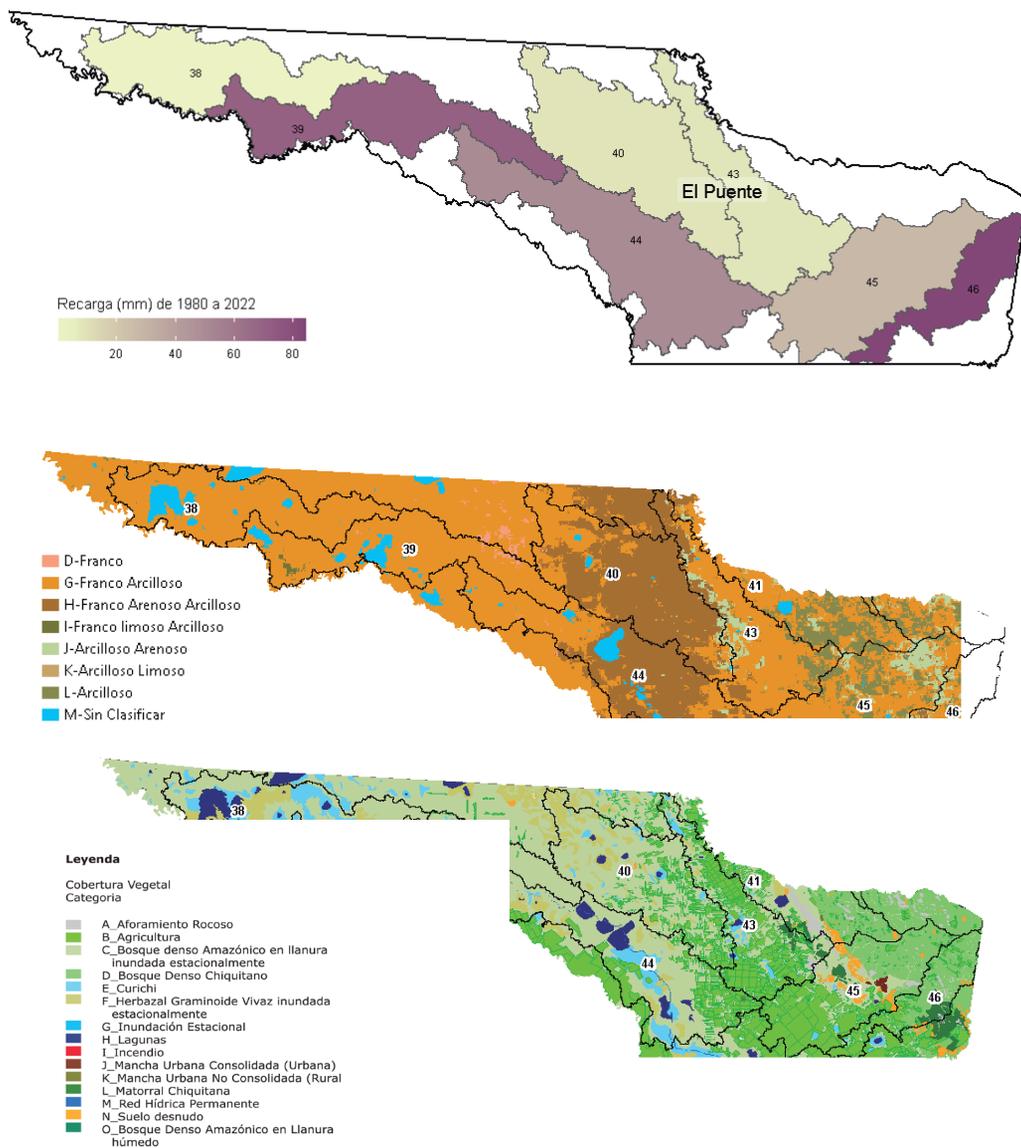
Grafico 32. Promedio de Recarga Subsuperficial por Año en el Municipio El Puente



Respecto a la Sub-Cuenca-40, presenta valores muy bajos, en general valores de cero en algunos años, esto quiere decir que no hay una recarga como tal, más que del tipo superficial o de escurrimiento. Esto puede deberse a que toda esta Sub-Cuenca presenta cuerpos de agua y una agricultura en casi toda la cuenca; así también presenta una vegetación de herbazal inundado estacionalmente.

Respecto a la relación con el componente de suelos, presenta suelos franco-arcillosos, donde este tipo de textura presenta recargas mínimas, lo cual tiene una coherencia con los resultados encontrados.

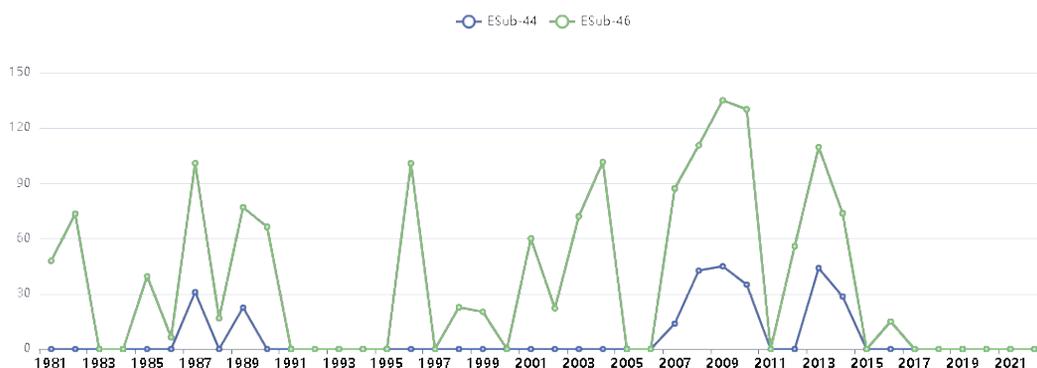
Figura 71. Recarga Subsuperficial Para el Municipio El Puente



VIII.VIII.III. RECARGA HÍDRICA SUBTERRÁNEA

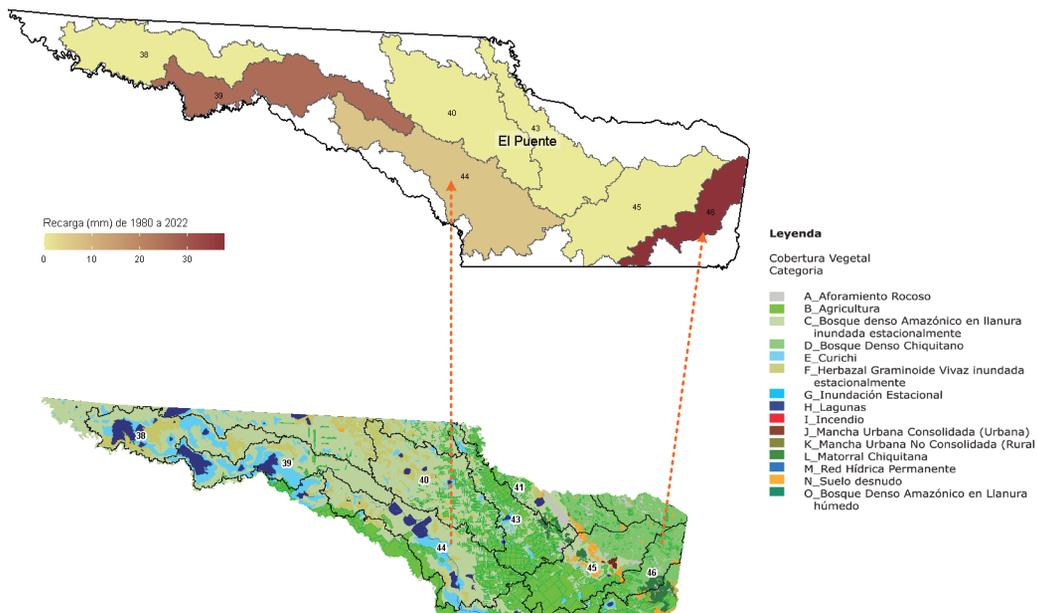
El Municipio es uno de los tres que tiene menor recarga tanto superficial, subsuperficial y por ende subterránea, esto tiene una correlación marcada, principalmente por la actividad intensiva de la agricultura en el Municipio, y se presume la falta de medidas de conservación de suelos, ya que se ha podido observar en el cambio de uso como los cuerpos de agua naturales van desapareciendo.

Gráfico 33. Promedio de Recarga Subterránea por Año en el Municipio El Puente



Para ejemplificar este comportamiento se han seleccionado dos subcuencas, la Sub-Cuenca-46, que tiene una recarga significativa y la Sub-Cuenca-44, donde presentan valores de cero en algunos años, como también valores cercanos a los 60 mm para los 2009 y 2013.

Figura 72. Recarga Subterránea Para el Municipio El Puente



IX. Conclusionen



El análisis de recarga hídrica en la Provincia Guarayos tiene las siguientes conclusiones:

Se ha observado que tanto la recarga superficial, sub-superficial y subterránea tiene correlación con zonas con alta cobertura boscosa, sobre todo en el Bosque Chiquitano Húmedo.

El Municipio con mayor recarga y por lo tanto donde se tienen que tomar acciones para mantener esa recarga es el Municipio de Urubichá, ya que no se observa cambios representativos en el Cambio de Uso de Suelo.

El segundo Municipio es Ascensión de Guarayos, si bien tiene ciertas Sub-Cuencas como la 18 con alta recarga, no se dejan de observar cambios en el tiempo de habilitación de tierras, lo que podría en mediano plazo afectar la recarga.

El Municipio de El Puente, es el que tiene menor recarga hídrica en sus tres componentes, esto claramente por el cambio de uso de suelo muy significativo, que ha llevado a sobreponer la agricultura y ganadería bovina sobre cuerpos de agua naturales.

Se ha identificado la Sub-Cuenca-35 en la que se tiene que evitar algunas actividades dentro del Municipio de Urubichá como también la Sub-Cuenca-28, si bien no hay una actividad de cambio de uso Suelo, se observan algunas zonas con objetivos de extracción mineral.

En el Municipio de Ascensión de Guarayos una de las Sub-Cuencas con menor recarga en sus tres componentes es la Sub-Cuenca-41, por lo cual se sugiere realizar acciones en el mediano plazo y esto debido a la habilitación de parcelas con fines productivos.

El Municipio de El Puente, es el que presenta niveles bajos de recargas hídricas y esto debido a factores como la habilitación intensiva de tierras. En ese sentido, una de las Sub-Cuencas es la 46, donde cada vez se observa una superposición de parcelas hacia los cuerpos de agua.

Respecto al análisis de fuentes de agua, resaltar que en el periodo del 2000 al 2023 se han perdido 13.730 hectáreas de espejos de agua, producto de la sobre posición de las parcelas sobre los cuerpos de agua, el municipio con mayor impacto sobre esta problemáticas es El Puente. Respecto al municipio de Urubichá no se han identificado esta problemática, sin embargo, se observan parcelas cerca a los cursos de los ríos, menores a los 50 metros.

Otro aspecto importante son los humedales, si bien en el estudio no se profundizó en este aspecto, pero en las observaciones de campo, se puede observar un humedal importante en el Municipio de Urubichá, donde se observa una disminución muy percibida por los técnicos de los Municipios de Urubichá, este aspecto resalta puesto que se observa algunas parcelas cerca a estos humedades naturales, que tienen un función relevante en cuanto a la recarga hídrica.

Otro aspecto relevante es el tema de contaminación por actividad agropecuaria, si bien no es un objetivo puntual del estudio, pero se analizó con imágenes satelitales del producto Sentinel3 para el año 2023 datos cualitativos para ciertas lagunas con presencia de clorofila, como también sedimentos.

Respecto a la variabilidad de las lluvias, analizando el historial meteorológico, se evidenció una disminución de las lluvias de un 12% menos entre el periodo comprendido 2000 al 2022. Este aspecto tiene su base técnica por factores del cambio climático y cambios de uso de suelo.

Respecto a la incidencia de los incendios forestales, indicar que las Sub-Cuencas 23 y 20, son las que han tenido mayor afectación por los incendios forestales en el año 2022, y para el año 2020 las sub Cuencas 8 y 11, son las que han tenido 16.093 hectáreas afectadas, resaltar que esta superficie también comprende la deforestación.

Para el Municipio de Ascensión de Guarayos, la Sub-Cuenca 18, ha tenido una recurrencia de incendios en los últimos cinco años, que luego se ha podido evidenciar la habilitación de tierras para fines productivos.

RECOMENDACIONES

Todo el análisis realizado en la Provincia Guarayos como también la separación de los resultados por Municipio permite mostrar algunas recomendaciones a nivel general y a nivel puntual.

Se recomienda poder realizar un análisis de las características de los suelos, esto permitiría establecer los contenidos de textura en mayor definición y escala, puesto que en el estudio se usó los datos de FAO a una escala menor. Si bien no parte del análisis el tema de calidad hídrica, se recomienda al menos por parte de los municipios un monitoreo trimestral de las principales lagunas, ya que se puede presumir un cierto grado de sedimentación por las parcelas cerca a estos cuerpos de agua y ríos.

Algo a resaltar es contar información primaria, y esto tiene que ver con contar al menos con estación en el Municipio de Urubichá, ya que la estación meteorológica de Ascensión de Guarayos cubre la representatividad del Municipio El Puente.

Otra recomendación es contar con evaluaciones de zonas con incendios recurrentes donde la vegetación ya entra en un proceso de degradación y esto repercute fuertemente en las recargas hídricas, se ha visto sobre todo en el Municipio El Puente.

Es importante que a nivel de la Provincia se tenga un Sistema de Monitoreo de las fuentes de agua, y esto se logra con recursos no tan altos para fortalecer las capacidades de los técnicos en interpretación de las imágenes satelitales sobre el mapa de cobertura actualizado hasta la fecha, esta es una herramienta fundamental en la conservación y monitoreo de recursos naturales.

Es importante establecer políticas de conservación por parte de las instancias públicas subnacionales (Departamental, Municipal) en las cuencas de mayor recarga hídrica, así como en la cuencas de mayor vulnerabilidad orientadas a mejorar las condiciones de recarga, y acciones de promoción e implementación de prácticas productivas sostenibles.

BIBLIOGRAFÍA

AGRECOL Andes, P. (2019). Propuestas para proteger las zonas de recarga hídrica en nuestras comunidades. Cochabamba: Live Graphics. <https://www.agrecolandes.org/wp-content/uploads/2019/02/Bolet%C3%ADn-3.-Propuestas-para-Recarga-Hi%CC%81drica.pdf>

Campanini, O. (2020). Los incendios en la Chiquitanía el 2019. Políticas devastadoras, acciones irresponsable y negligencia gubernamental. Centro de Documentación e Información Bolivia, CEDIB La Libre.

FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos.

FAO, & UNESCO. (1971). Mapa mundial de suelos. <https://www.fao.org/3/as361s/as361s.pdf>

Fernández, M., Navarro, L., & Wolf, F. (2015). Challenges and opportunities for the Bolivian biodiversity observation network. *Biodiversity*, 16 (2-3): 86-98.

Figueredo, J. (2019). Metodología para determinar zonas de recarga hídrica en municipios o comunidades con recursos financieros limitados. Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia. Bogotá. 24 p.

Flores-Valencia, M., & Maillard, O. (2021). Detección y cuantificación de los incendios forestales 2020: Un análisis de la afectación en municipios, Tierras de Producción Forestal Permanente (TPFP) y áreas protegidas del departamento de Santa Cruz, Bolivia. Doc. Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano, Santa Cruz, Bolivia. 68 p.

Fundación AGRECOL Andes. (2019). PROTEGIENDO NUESTRAS ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA Y FUENTES DE AGUA.

González Carrasco, W. C. (2011). Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la subcuenca del río Zaratí, Panamá. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2932>

HELVETAS, S. I. (2014). Valoración de efectos e impactos de intervenciones de gestión, manejo y protección de áreas de recarga hídrica. Bolivia.

Hurtado, J., & Yáñez, D. (2015). Aplicación del modelo hidrológico SWAT (SOIL & WATER ASSESSMENT TOOL) para análisis de caudal de

escorrentía superficial en la cuenca hidrográfica del río Las Juntas.

INAB. (2003). Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural. Manual Técnico. Guatemala. 106 p.

METODOLOGÍA

En el siguiente esquema se muestra la metodología para la sistematización de los diferentes parámetros, que serán insumos para la modelación de la Recarga Hídrica, a continuación se hace un detalle de cada parámetro:

ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

En esta sección se hace una sistematización de los datos del Censo 2012 referidas a saneamiento básico con 20 variables sistematizadas a nivel de comunidades, a saber: saneamiento básico, energía, basura y fuentes de agua. Resaltar que si bien hay una desactualización de la información en estos 10 años concurridos hasta el 2022, es importante que las Unidades Técnicas de los Municipios puedan actualizar los datos según información primaria como son los PTDI o información de las comunidades actuales o comunidades nuevas.

Esta información es relevante y aporta un análisis si bien no directo en la recarga hídrica de los Municipios pero si en el uso de fuentes de agua, que podría de alguna forma incidir en la recarga hídrica, más adelante se detallará en los resultados este aspecto.

ASPECTOS PRODUCTIVOS

Al igual que la anterior sección, se realizó una sistematización de la información del Censo Agropecuario 2013, del Instituto Nacional de Estadística. El objetivo de esta información, es conocer los tipos de cultivos, superficies y los principales cultivos en la zona, ya que esto permitiría relacionar de alguna forma con los procesos de recarga hídrica.
Análisis de suelos

Esta información forma parte de conocer los tipos de suelos expresados en la textura a una profundidad de dos metros, esta información es obtenida del portal de la FAO a través del modelo soilgrid que tiene una escala de 1:50000.

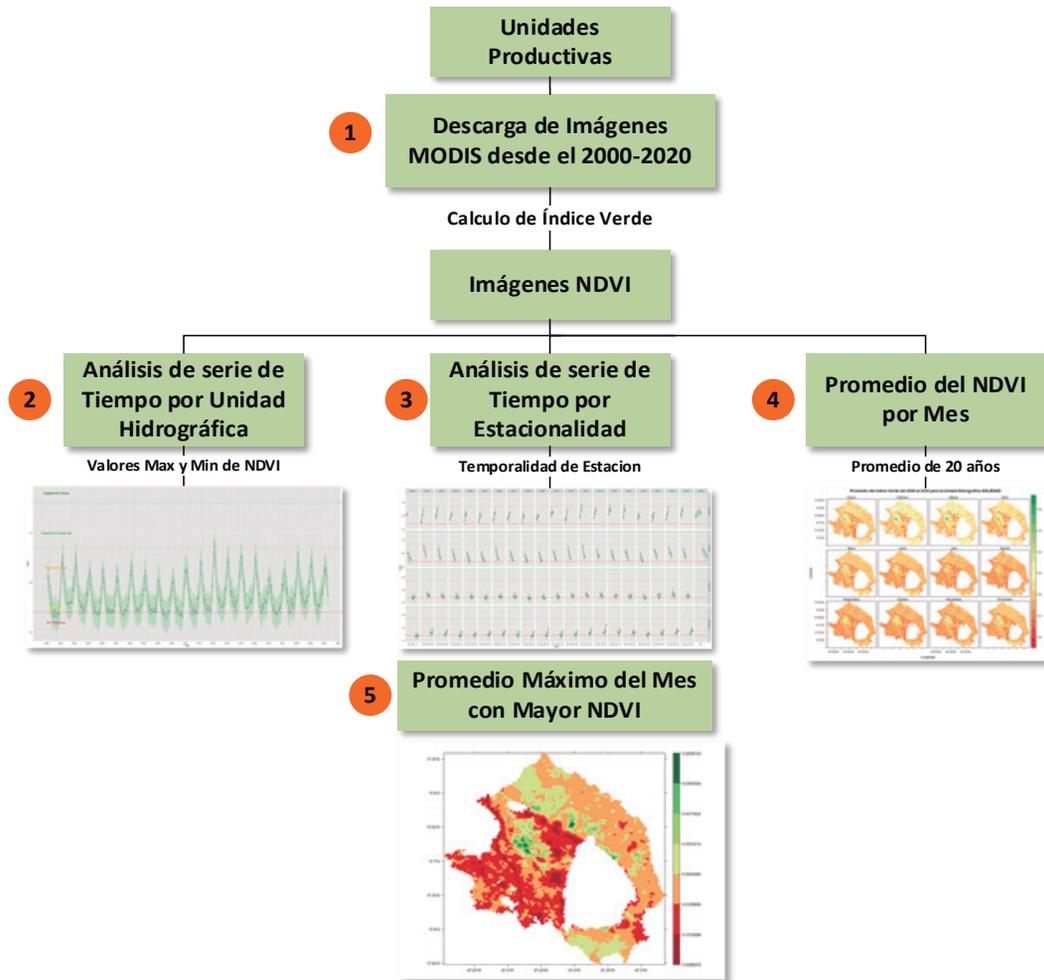
Esta información forma parte del modelo de recarga hídrica ya que suelos impermeables o muy compactados (arcilla), no permiten una buena infiltración en las capas profundas del suelo, lo que provoca escurrimiento mientras que suelos permeables como arenas, limo, facilitan la recarga hídrica. Por lo mencionado la textura juega un papel importante, como también otros parámetros como la densidad aparente y el contenido de humedad, sin embargo para fines del estudio esta

considerados todos estos aspectos.

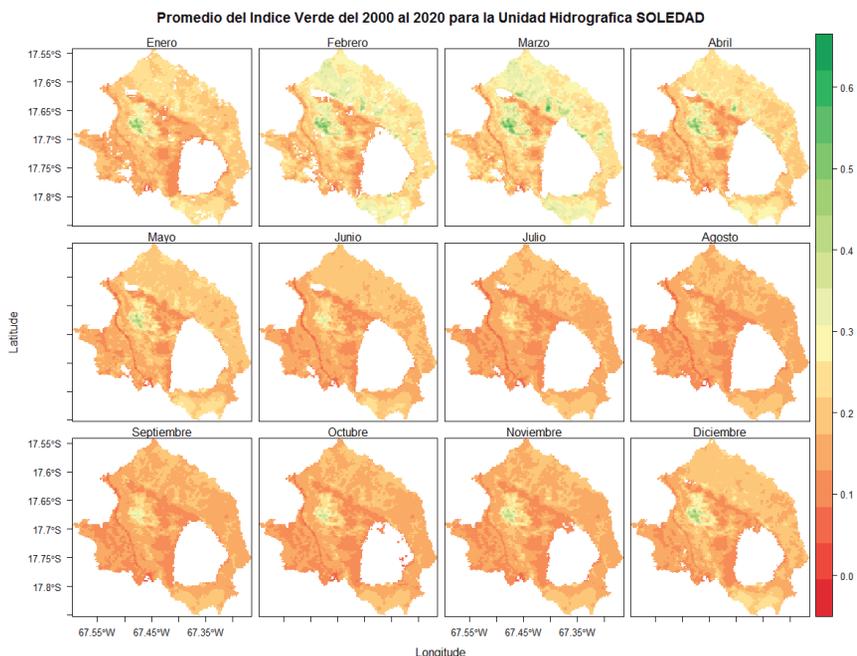
ANÁLISIS DE VEGETACIÓN

Para poder identificar la vegetación presente en la Provincia de Guayayos, se recurre a identificar la actividad fotosintética que se logra con el empleo de imágenes de baja resolución (6.25 Ha por píxel) del Sensor MODIS y calcular el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI). Este análisis permite identificar áreas con alto valor de vegetación lo que puede atribuirse a zonas boscosas o a otras coberturas como pastizales o cultivos. Esta información ayudara a zonificar inicialmente áreas con alto potencial de vegetación para luego entrar en el detalle de la digitalización con imágenes de alta resolución que se explica más adelante.

Lo que se busca con este análisis es observar la variabilidad de 23 años de la vegetación traducida a través de un Índice de Vegetación Normalizada. Este análisis no forma parte del análisis de recarga hídrica, ya que solo es orientativo y permite luego precisar con imágenes de alta resolución, zonas deforestadas o zonas con actividad intensiva de agricultura, factor que influye en la recarga.



Como resultado de este análisis se tiene la dinámica de la cobertura mensual, realizado para un período de 23 años con una temporalidad de 16 días.



Para la clasificación del NDVI se recurrirá a la siguiente tabla que es orientativa en cuanto a los rangos que se tiene

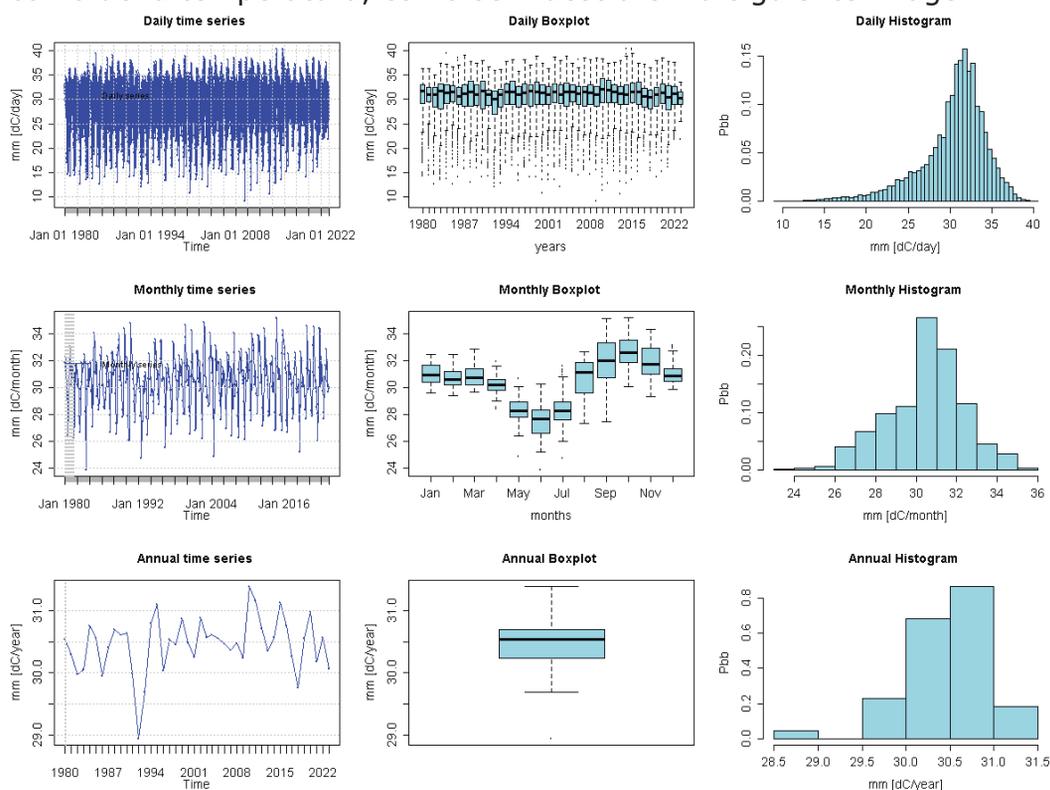
Clase	Valores de NDVI	Cobertura de la tierra	Descripción
1	<-0.1	Clases no vegetales	Ríos, quebradas, lagunas, nubes
2	-0.1 - 0.15	Tierra desnuda	Tierras degradadas, asentamientos, vías, suelo sin cobertura vegetal
3	0.15 - 0.25	Vegetación dispersa	Tierras cultivadas, herbazales, arbustos, pastizales, terreno arado para cultivo
4	0.25 - 0.40	Vegetación abierta	Vegetación leñosa, vegetación arbustiva, bosque seco
5	>0.40	Vegetación cerrada	Plantas densas en crecimiento, bosques húmedos

ANÁLISIS METEOROLÓGICO

Este análisis es sistematizado del Balance Nacional Meteorológico del 2016, es decir que se tiene un registro desde 1981 hasta 2016, los parámetros que han sido parte del balance, son precipitación diaria, temperatura máxima y mínima, velocidad del viento, humedad y evapotranspiración, sin embargo en las dos estaciones sistematizadas, que son Ascensión de Guarayos (Aereopuerto) y el Municipio El Puente no cuenta con la Información de velocidad ni evapotranspiración.

En ese sentido se recurrió a datos de satélite como el ERA5, que es un satélite con un registro desde 1970 hasta la fecha, es así que generó la información de lluvia y temperatura para el Municipio de Urubichá como también se generó la información faltante desde el 2016 hasta abril 2023.

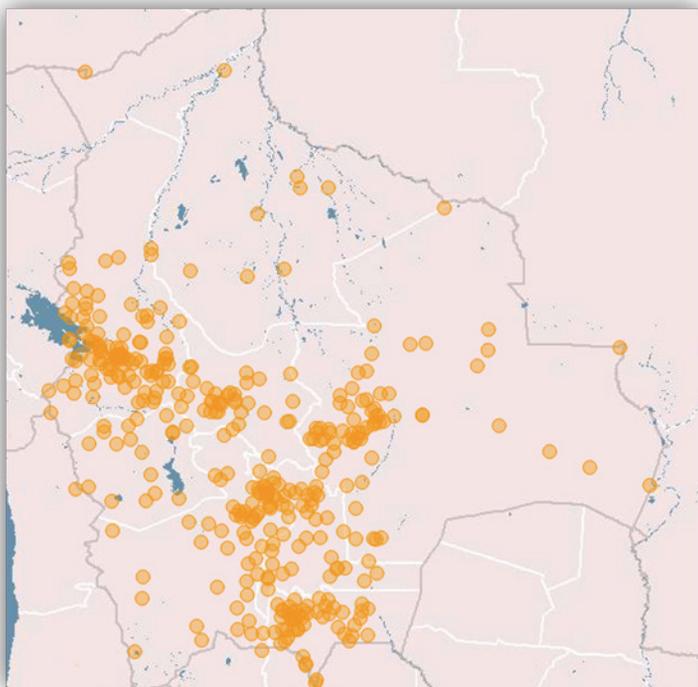
Entre los análisis que se realizaron es observa la variabilidad a lo largo de los años analizados como también la tendencia de la precipitación como de la temperatura, como se muestra en la siguiente imagen.



Análisis de Cambio Climático

En esta sección se realizó un análisis de escenario climático (2060) en base a los datos sistematizados por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) y procesados por la Universidad de Nebraska del proyecto: "Programa de Resiliencia al Cambio Climático en Bolivia - PPCR". Esta Información ha sido publicada en el año 2014, con la particularidad de alta resolución de 4 Km² de cada grilla generada para Bolivia.

En la siguiente figura se muestran las locaciones de las estaciones meteorológicas del MMAyA y el SENAMHI en conjunto, de las cuales han sido objeto para la construcción de los mapas de escenario climáticos. Los modelos de escenario climáticos son tres lo que han definido para el país, el modelo CCSM4 (Nacional Center for Atmospheric Research NCAR), MPI(Max Planck Intitute for Meteorology), MIROC (Modelo Japonés)



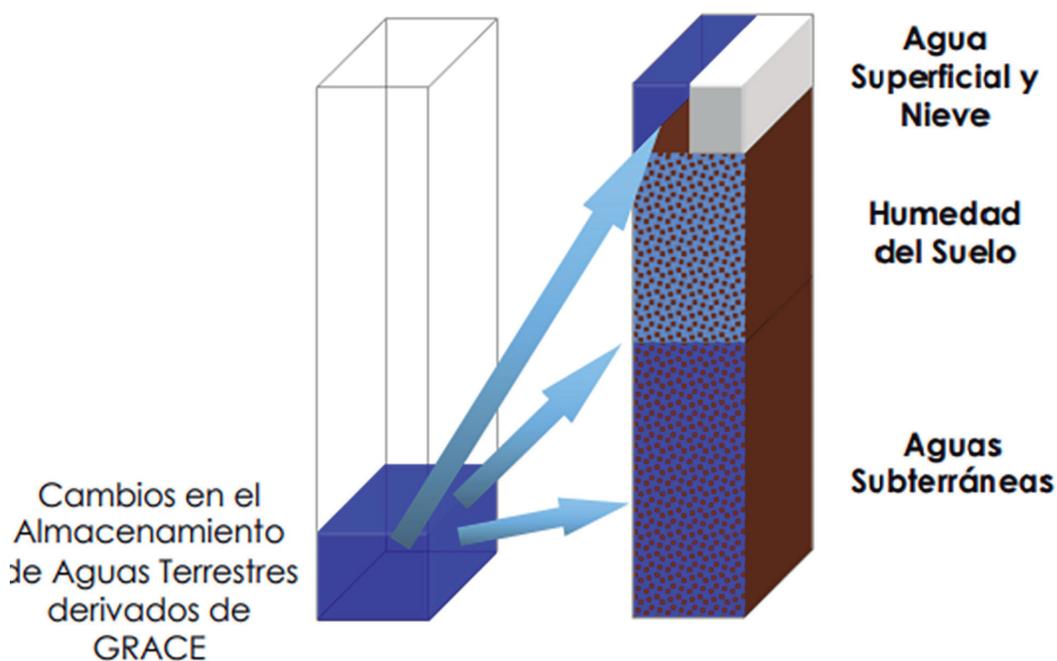
<http://rccdp.unl.edu/>

El propósito de este análisis es observar la tendencia de la precipitación y temperatura para un escenario futuro 2060, y luego poder definir algunas acciones en base a los tres escenarios.

ANÁLISIS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS RELACIONADO CON RECARGA HÍDRICA

Generalmente para monitorear aguas subterráneas, se emplean pozos para observar los niveles de agua, pero hoy en día existen mediciones a través del satélite GRACE que estiman la profundidad mensual total de aguas subterráneas, esta información está disponible en el sitio de la nasa desde el 2002, sin embargo para fines del estudio se realizó una sistematización desde el 2010 hasta el 2023 en forma mensual.

Los datos de GRACE se expresan como cambios en el almacenamiento de aguas terrestre y expresan en cm o equivalente al grosor de la cantidad de agua, en sentido, GRACE mide la columna total de aguas terrestre, como se observa en la siguiente imagen.



El objetivo es modelar la cantidad en términos de volumen, de agua en la provincia de Guarayos, para lo cual se ha espacializado la información.

METODOLOGÍA DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO ACTUAL DEL SUELO

Para la obtención de los mapas de Cobertura Vegetal y Uso Actual del Territorio de la Provincia Guarayos, se empleó los lineamientos que se describen a continuación:

IMÁGENES SATELITALES

En esta sección se empleó imágenes del Satélite Landsat 5y7 y SENTINEL 2B, para ello se descargó imágenes desde Junio del 2000 hasta Junio del 2023 (desde 2016 fueron Sentienel2), con el objetivo de conocer la dinámica de la cobertura en diferentes años.

CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA

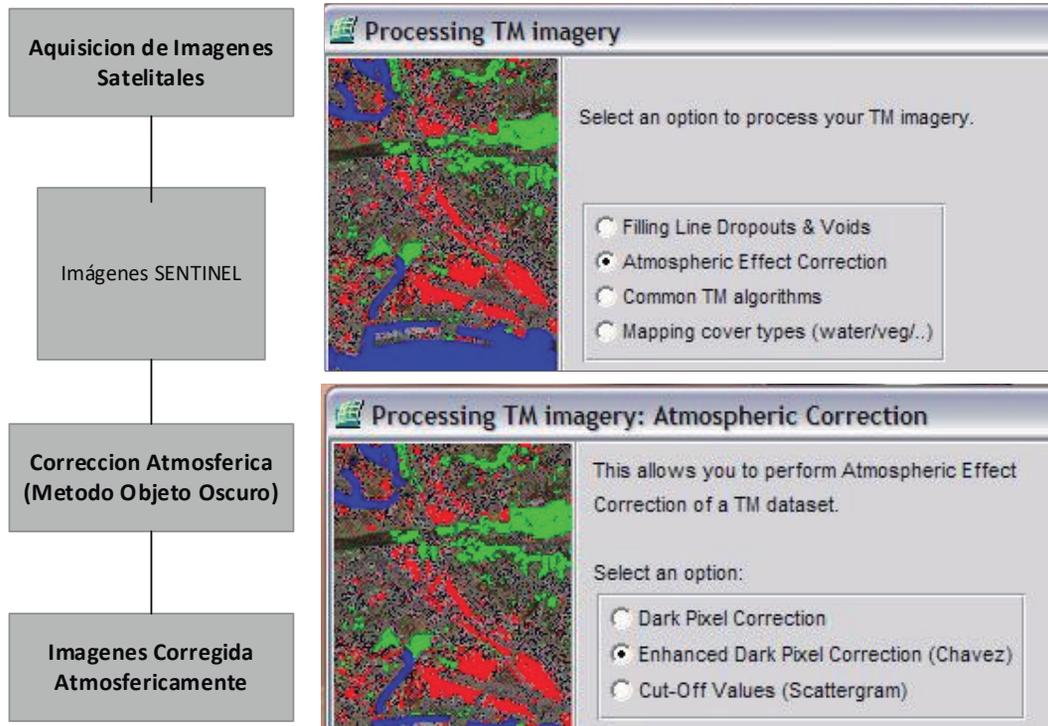
Los valores de los píxeles en las imágenes satelitales expresan la cantidad de energía radiante recibida por el sensor en la forma de valores relativos no calibrados, llamados Números Digitales (ND) o brillo. Para muchas aplicaciones en la teledetección cuando se usa una Clasificación No Supervisada¹, no es necesario convertir estos valores (Eastman, 2004). Pero si se trata de realizar comparaciones entre imágenes de distintas fechas, de las mismas áreas, será necesario realizar las correcciones de los datos de manera que sean comparables. (Integral, n.d.)

En este sentido, se realizó una corrección atmosférica por efecto de la dispersión y absorción provocada por los aerosoles, conocida como Dispersión de Rayleigh². Esta corrección se llama Dark Object (Objeto Oscuro), lo que permite es eliminar el ruido causado por las partículas en la atmosfera. Este proceso se lo realizo con ER Mapper para las imágenes Landsat, como se puede observar en el siguiente esquema.

1 Las clasificaciones no supervisadas son aquellas en las que el algoritmo basa su efecto en la búsqueda de clases con suficiente separabilidad espectral como para conseguir diferenciar unos elementos de otros.

2 Se conoce como dispersión de Rayleigh de la luz del sol en la atmósfera y explica porque el cielo es azul, ya que las partículas –en función de su tamaño producen más dispersión en la banda azul del espectro electromagnético, lo que dificulta su interpretación en las bandas.

Figura 73. Esquema del Proceso de Corrección Atmosférica en ER MAPPER



DIGITALIZACIÓN MANUAL

Para la obtención del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo 2023, fue a través de la digitalización Manual sobre la imagen satelital (Mosaico) construida a una resolución de 2,24 metros, debido a que en el estudio se precisa una escala de 1:25000, en ese sentido se procedió a identificar todas las coberturas y sus respectivos usos actuales, sobre esa escala de trabajo.

Para el mapa de cobertura Vegetal, se realizó un trabajo de fotointerpretación, llegando a delimitar unidades referidas a la cobertura como: Cultivos, Afloramiento Rocosos (Piedras lajas), Pastizales, etc Las unidades reflejan claramente lo observado en las fotografías aéreas y posteriormente son validados en campo.

VALIDACIÓN DEL MAPA DE USO DE SUELO

En esta etapa el objetivo era poder validar el mapa de Uso de Suelo, para ello se empleó información secundaria para poder inferir las clases de cobertura.

MAPA DE COBERTURA Y USO ACTUAL DEL SUELO PARA LA PROVINCIA GUARAYOS

Con el empleo de información secundaria, se procedió a vectorizar las capas de cobertura vegetal, y obtener las clases respectivas con sus áreas correspondientes para el año 2023. Siguiendo el mismo procedimiento, se termina de digitalizar y se verifica la topología para luego asignar las categorías de tipo de uso para el mapa de uso actual del territorio.

CARTOGRAFIAR EL SISTEMA DE DRENAJE

Para la obtención del sistema de drenaje se han empleado diferentes fuentes de información que se describen a continuación:

Construcción de un Mosaico de Imágenes de Alta resolución

Se construyó un mosaico a una resolución de 2,24 metros empleando el Software SasPLANNER y el satélite BING AERIAL. Se generaron 3752 escenas, que luego fueron unidas empleado el Software ERDAS con su algoritmo "Constructor de Mosaicos".

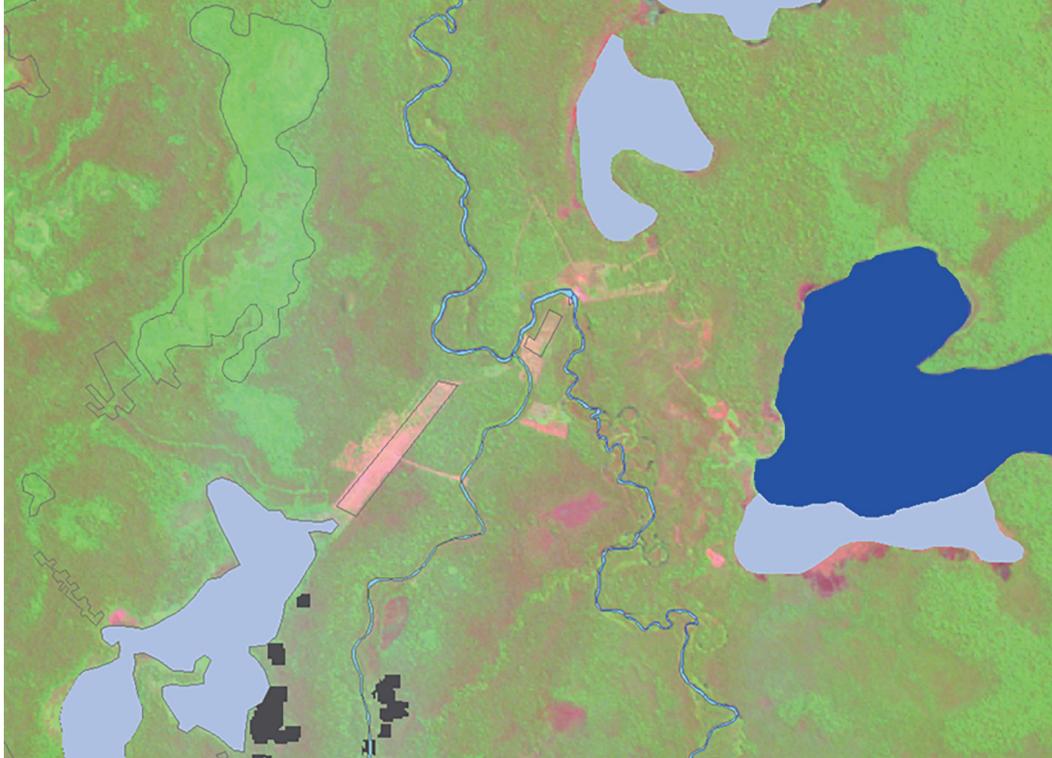
MODELOS DE ELEVACIÓN DEL TERRENO

Se descargó cinco modelos de elevación de la zona de estudio, empleando el modelo ALOS PALSAR <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/> el cual tiene una resolución de 12,5 metros por pixel, lo que permitirá generar mayor detalle para el modelo de Recarga Hídrica.

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Todos los archivos espaciales obtenidos de diferentes fuentes tanto primarias como secundarias, han sido proyectados a la zona 20 S. El proceso consistió en digitalizar y poligonizar todos los ríos sobre el mosaico de alta resolución. En la medida que se digitalizaba se codificaba si era una quebrada o un río y se etiquetaba con su respectivo nombre en el caso que se conociera, como se puede observar en la siguiente imagen.

Figura 74. Proceso de digitalización de los ríos en base al Mosaico



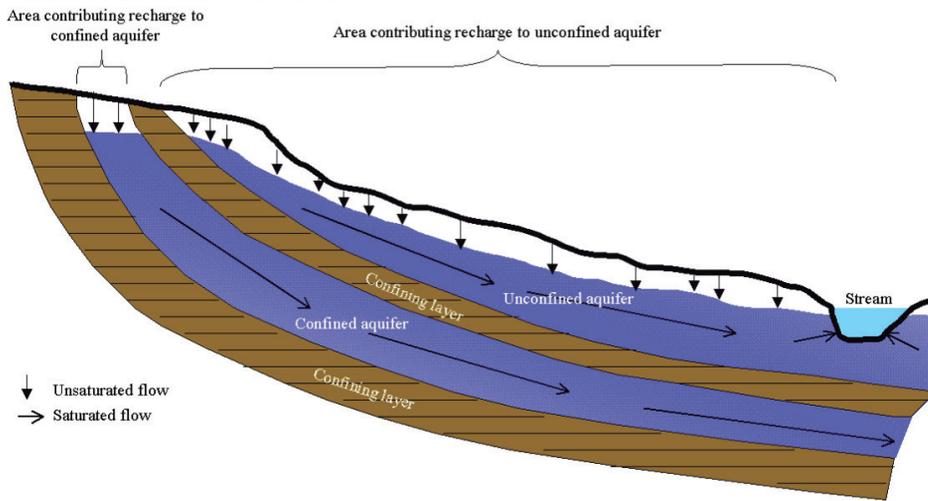
METODOLOGÍA DE RECARGA HÍDRICA

Los procesos de recarga hídrica, están asociados a la filtración y/o percolación de las aguas pluviales, generando almacenamientos en el subsuelo en distintos estratos, y filtraciones que generan cuerpos de aguas superficiales.

Se empleó el Modelo SWAT (herramienta de evaluación de agua y suelo), el cual fué desarrollado para predecir el impacto de las prácticas de manejo de la tierra, en la producción de agua, sedimentos y sustancias agrícolas químicas, tanto en cuencas grandes como complejas. Es un modelo de tipo continuo en el tiempo, es decir para procesos hidrológicos a largo plazo. El modelo SWAT requiere información sobre clima, propiedades del suelo, topografía, y uso de suelo como prácticas de manejo de la tierra en la cuenca. (Rene, Pidal, Benigno, & Borja, 2015)

Para evaluar la recarga a través de la percolación, es importante entender como son los confinamientos de los acuíferos.

Figura 75. Dos tipos de acuíferos



La recarga de acuíferos No confinados, es a través de la percolación hacia el nivel freático desde la superficie terrestre, mientras que la recarga de los acuíferos Confinados por percolación solo se da agua arriba hacia el final del acuífero confinado, como se observa en la figura, donde la geología permite que el acuífero confinado este expuesta a la superficie terrestre.

En este sentido el modelo SWAT modela dos tipos de acuíferos para cada subcuenca. El acuífero poco profundo no confinado, que contribuye hacia el rio principal y el acuífero confinado que contribuye en algún punto fuera de la cuenca.

Por lo mencionado se realizará como prueba piloto el análisis del acuífero poco profundo, que tiene la siguiente ecuación.

$$aq_{sh,i} = aq_{sh,i-1} + Wrchrg_{,sh} - Q_{gw} - W_{revap} - W_{pump,sh}$$

Donde:

$aq_{sh,i-1}$: es la cantidad de agua almacenada en el acuífero poco profundo al día $i-1$ (mmH₂O),

$wrchrg$: es la cantidad de recarga que entra al acuífero poco profundo al día i (mmH₂O),

Q_{gw} : caudal de agua subterránea of flujo normal dentro del cauce principal al día I (mm H₂O),

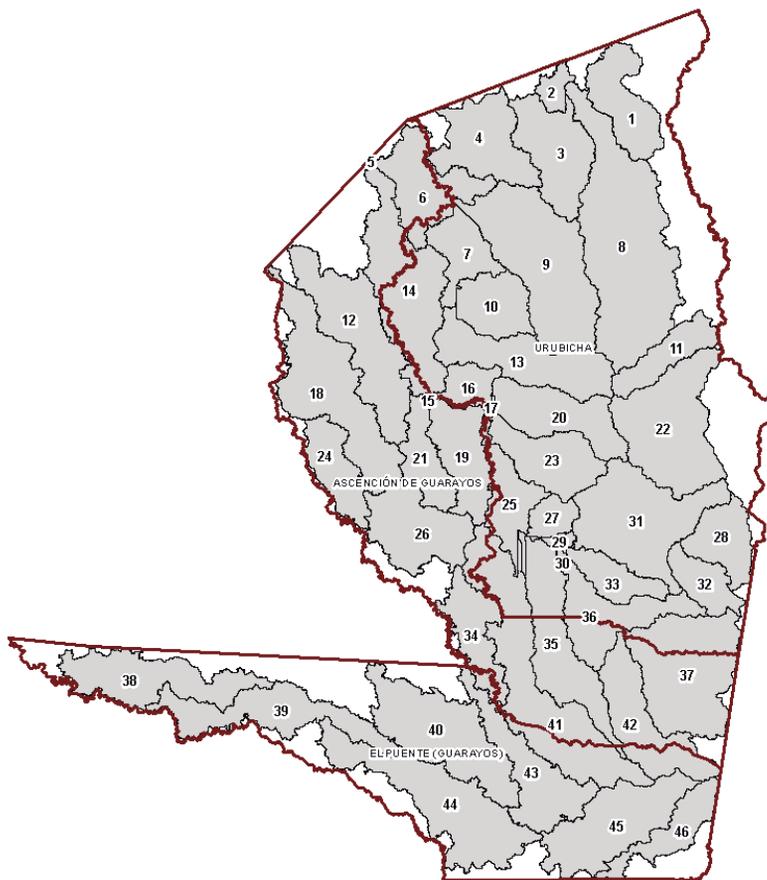
Wrevap: cantidad de agua que entra al suelo en respuesta a las deficiencias de agua al día (mm H₂O)

Wpump,sh: es la cantidad de agua extraída del acuífero poco profundo por bombeo al día (mm H₂O).

Delimitación de la cuenca:

En el proceso del modelado de la Provincia Guarayos toma como punto de partida el análisis a nivel de la cuenca a nivel 5 y de ahí se realizó el proceso de obtener las sub cuencas. Este proceso inicial está fuertemente relacionadas a nivel de las cuencas, pero lo mencionado permitirá luego conocer que sub cuencas es que tiene mayor o recarga y cual no, y a si permitirá definir acciones en temas de conservación, todo este proceso será en base al modelo de Elevación que se obtuvo del primer análisis.

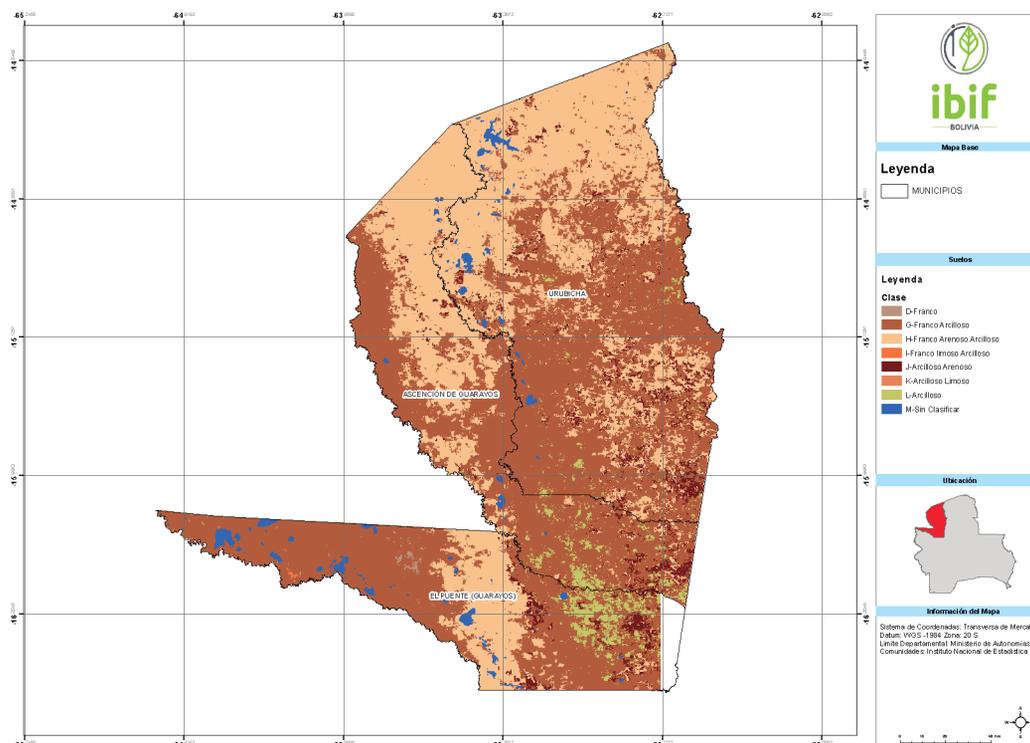
Figura 76. Delimitación de las sub-cuencas en la Provincia Guarayos



SUELO

El mapa de suelo y su estructura, se construyó en base a la información sistematizada por la FAO, a escala 1:50.000 y procesado dentro del software R1. Indicar que en la provincia predominan los suelos franco arcillosos en gran parte de la provincia, seguido de los suelos franco arenoso arcillosos; este tipo de textura presentan una recarga menor a los 50 mm, y la siguiente textura menor a los 100mm, esto da una idea de cuánto influye la textura del suelo en los procesos de recarga, sin embargo hay otras variables que juegan un rol importante en la recarga hídrica como es la pendiente, la cobertura de suelo y las prácticas agrícolas que se realizan en la zona.

Figura 77. Mapa de textura de suelos Provincia Guarayos

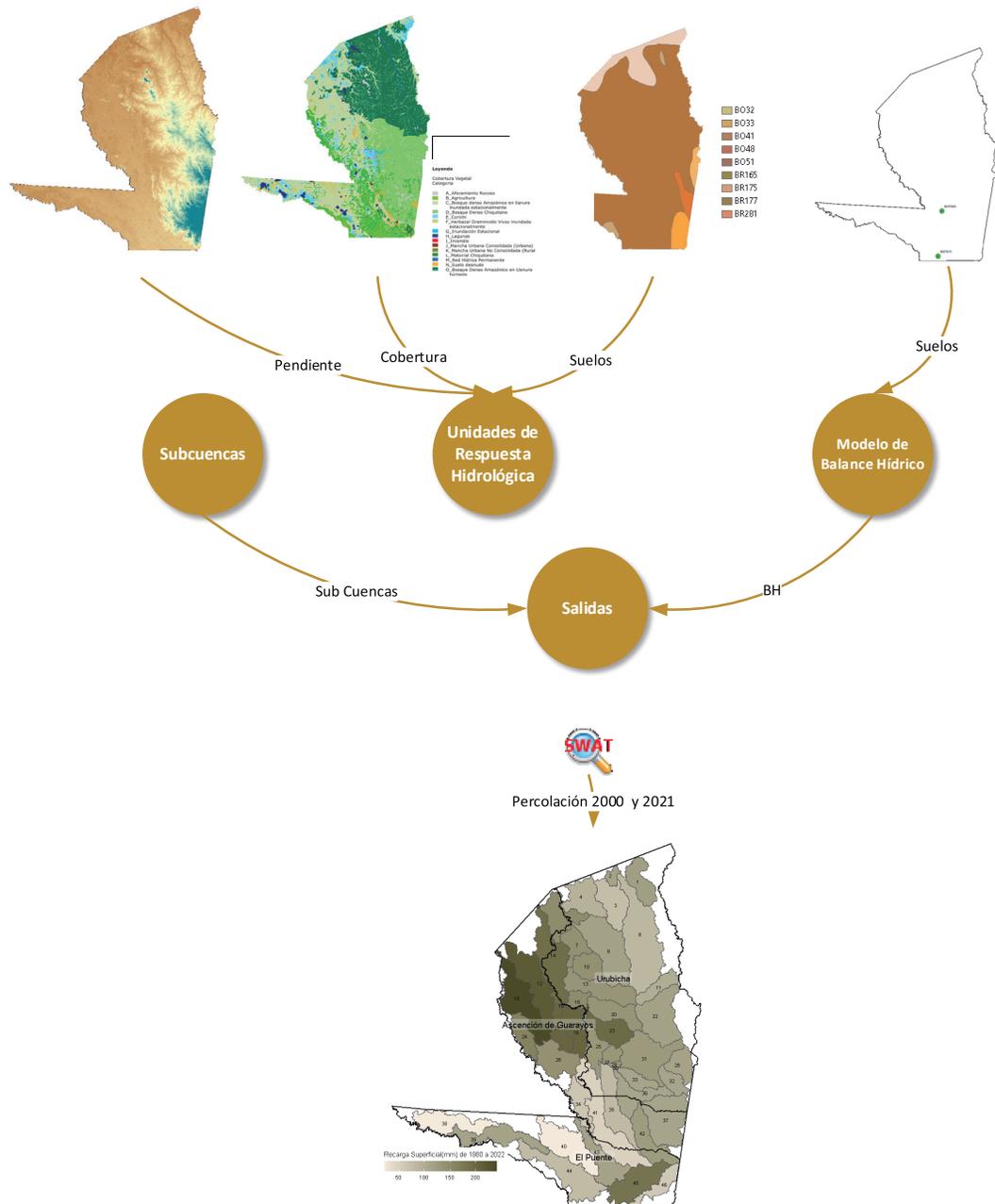


1 R es un ambiente de programación formado por un conjunto de herramientas muy flexibles para análisis Estadístico que pueden ampliarse fácilmente mediante paquetes, librerías o definiendo nuestras propias funciones.

METEOROLOGÍA

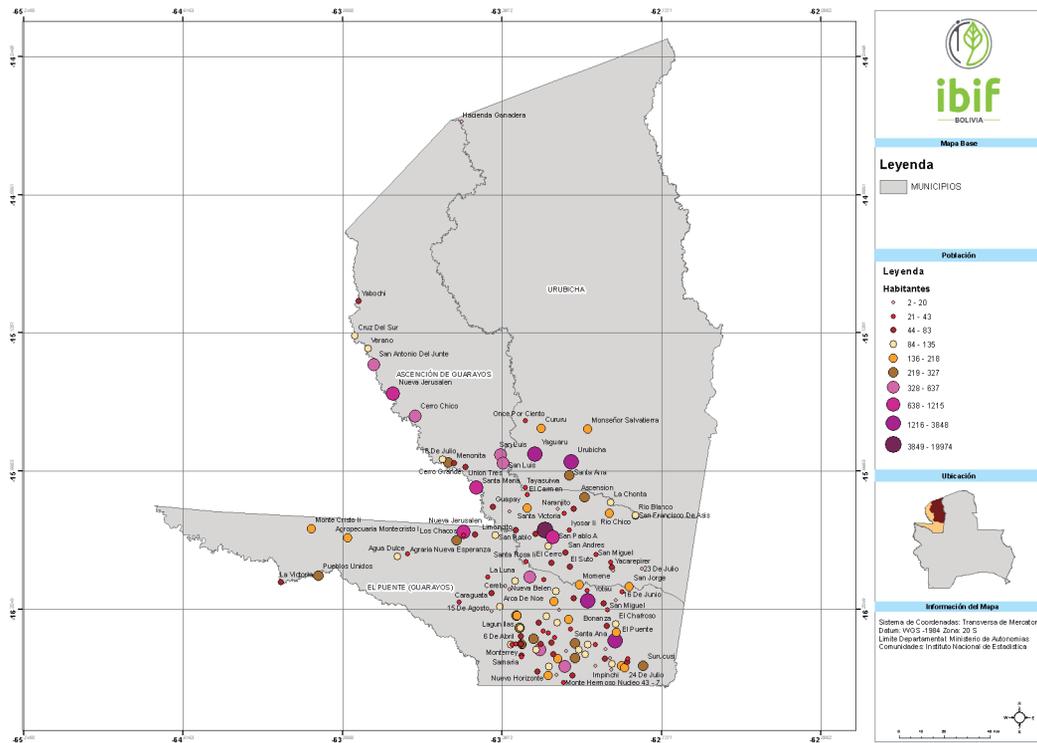
Como se explicó en el punto de clima, se empleará la información de las estaciones del balance hídrico Nacional, para ello se sistematizará desde 1989 hasta el 2018 y se hará un relleno de datos con el satélite CHIRPS y ERA5, que han dado buenos resultados a nivel del oriente por presentar topografías planas y mayor representatividad. Análisis de la modelación con el parámetro percolación Como se observa en el siguiente esquema, el cruce entre los cuatro mapas principales de entrada que requiere el modelo, permitirá obtener a nivel de sub cuenca cual es la percolación que se tiene. En el esquema se muestra para la Provincia Guayayos.

Figura 78. Esquema del modelo de percolación en la Provincia Guarayos

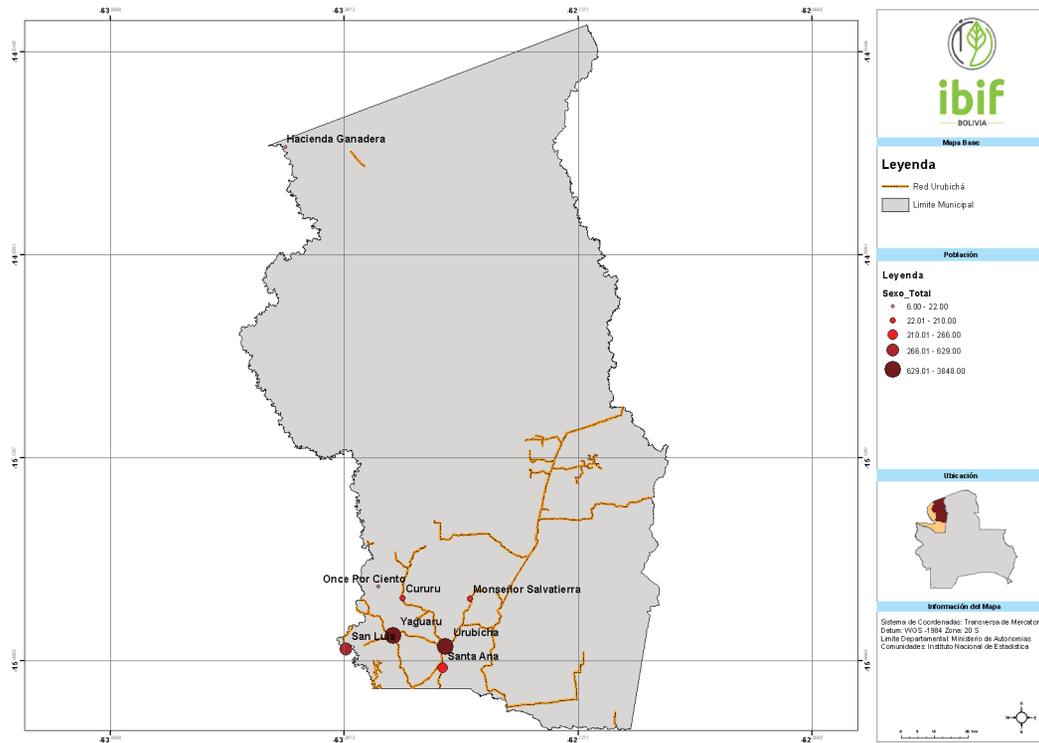


ANEXOS

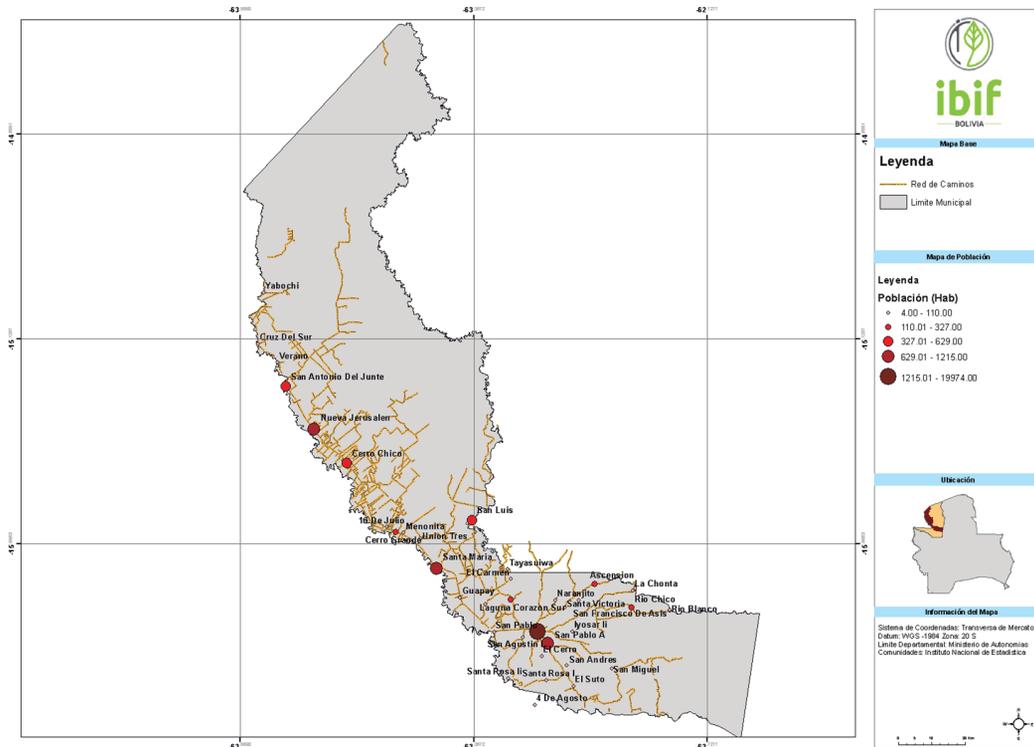
Anexo 1: Mapa de Población de la Provincia Guarayos



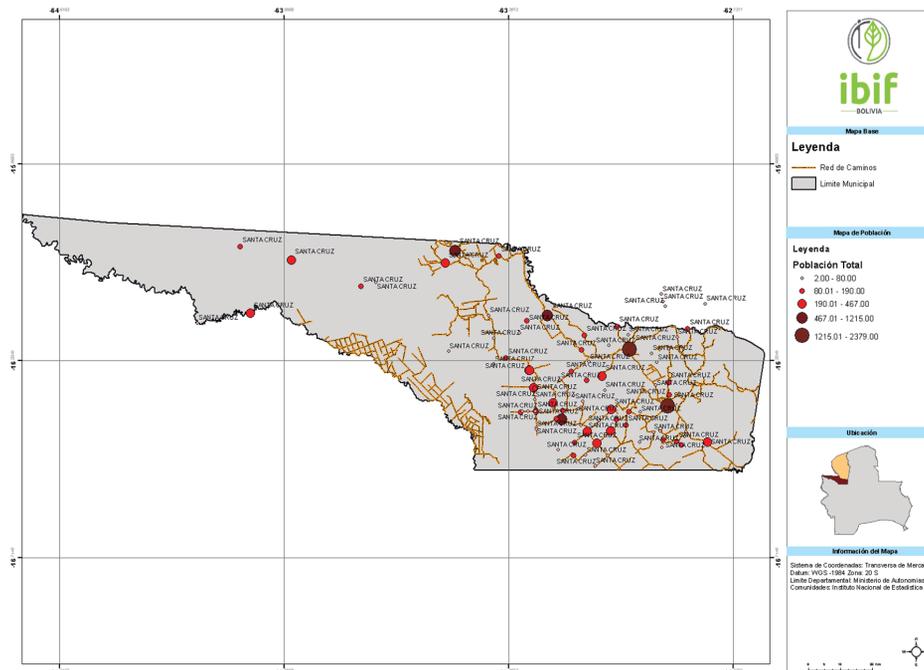
Anexo 2. Mapa de Población del Municipio de Urubichá



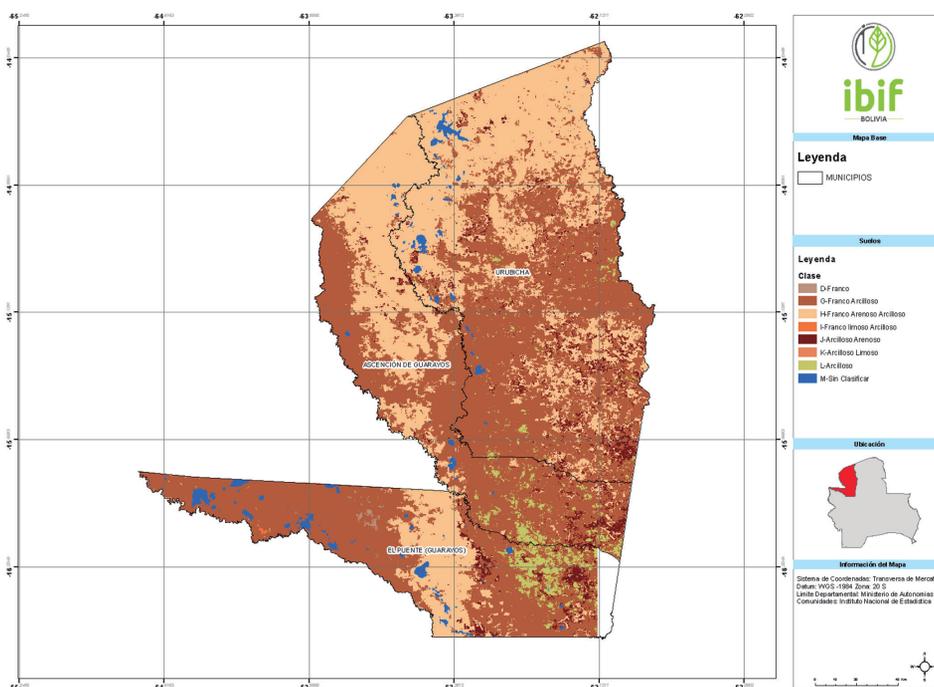
Anexo 3. Mapa de Población del Municipio de Ascensión de Guarayos



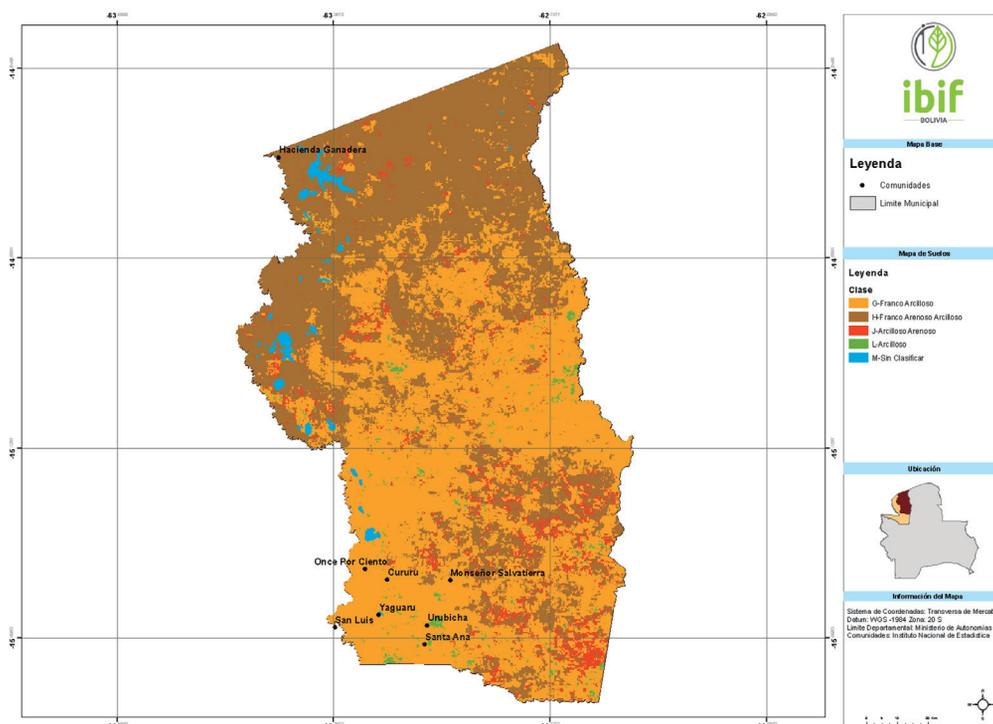
Anexo 4. Mapa de Población del Municipio de El Puente



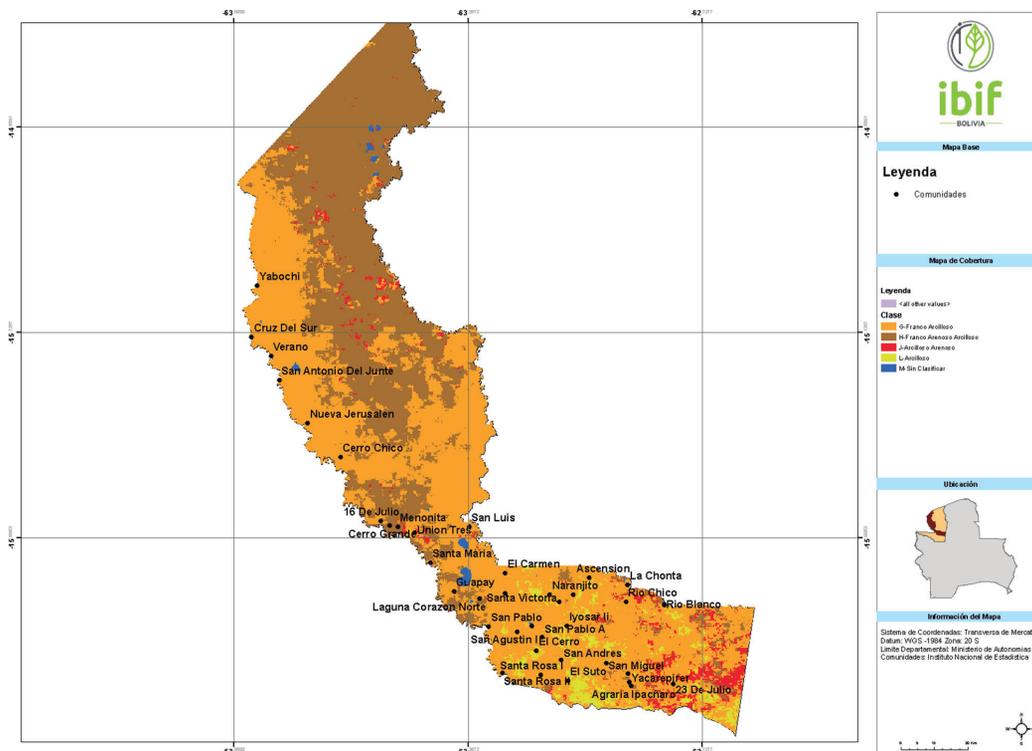
Anexo 5. Mapa de textura de suelos para la Provincia Guarayos



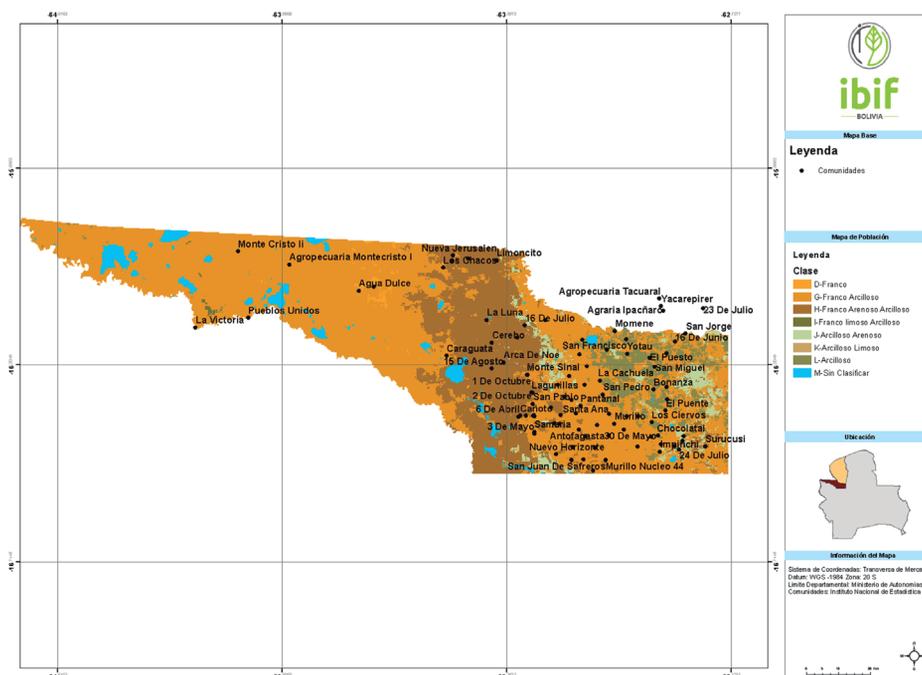
Anexo 6. Mapa de textura de suelos para el Municipio de Urubichá



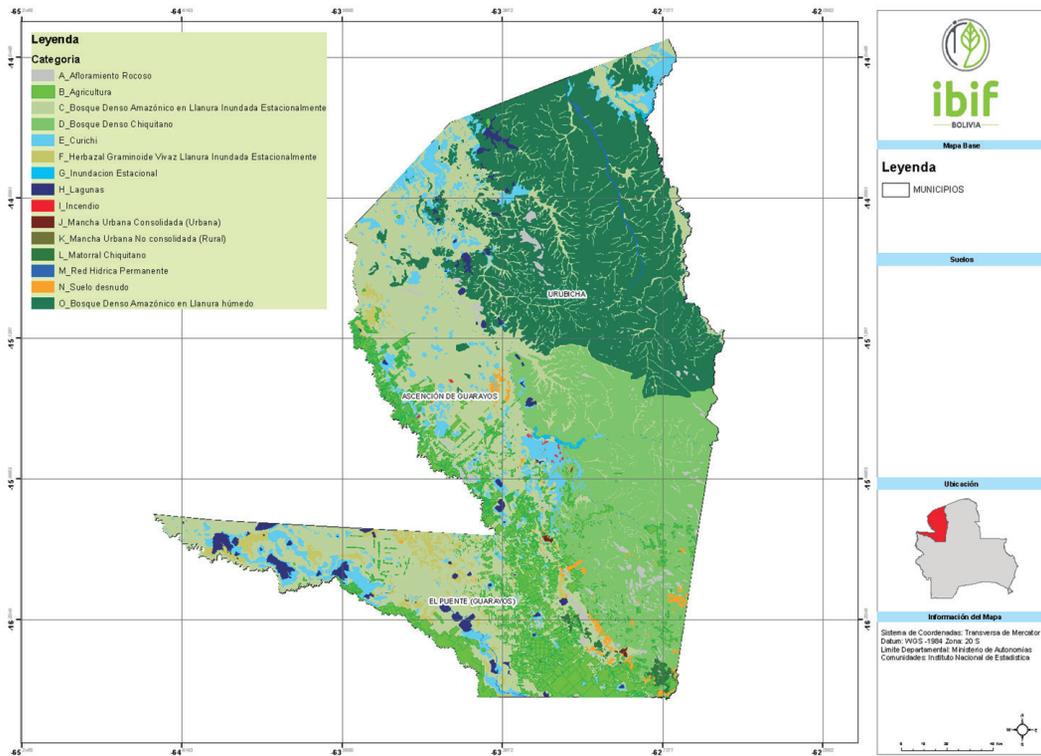
Anexo 7. Mapa de Población de Suelos de Ascensión de Guarayos



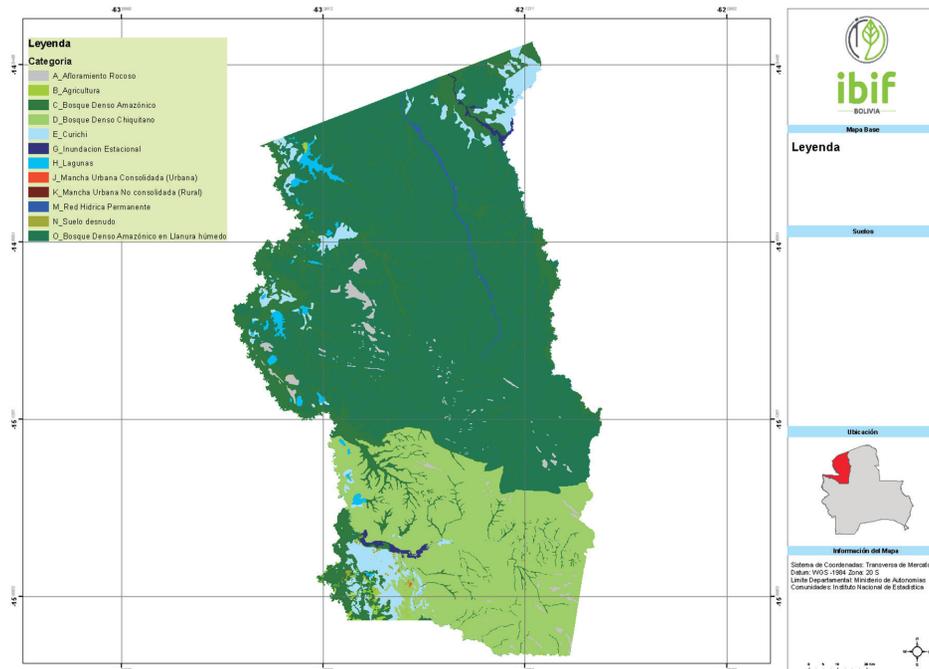
Anexo 8. Mapa de Población de Suelos de El Puente



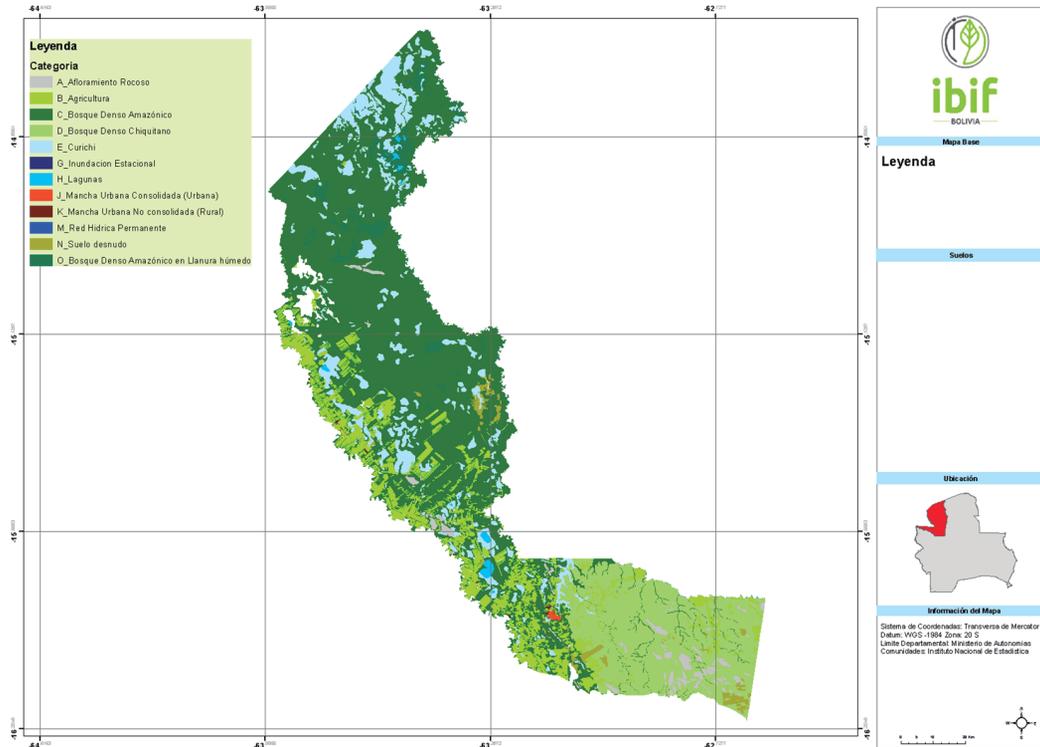
Anexo 9. Cobertura de Suelo en la Provincia Guarayos



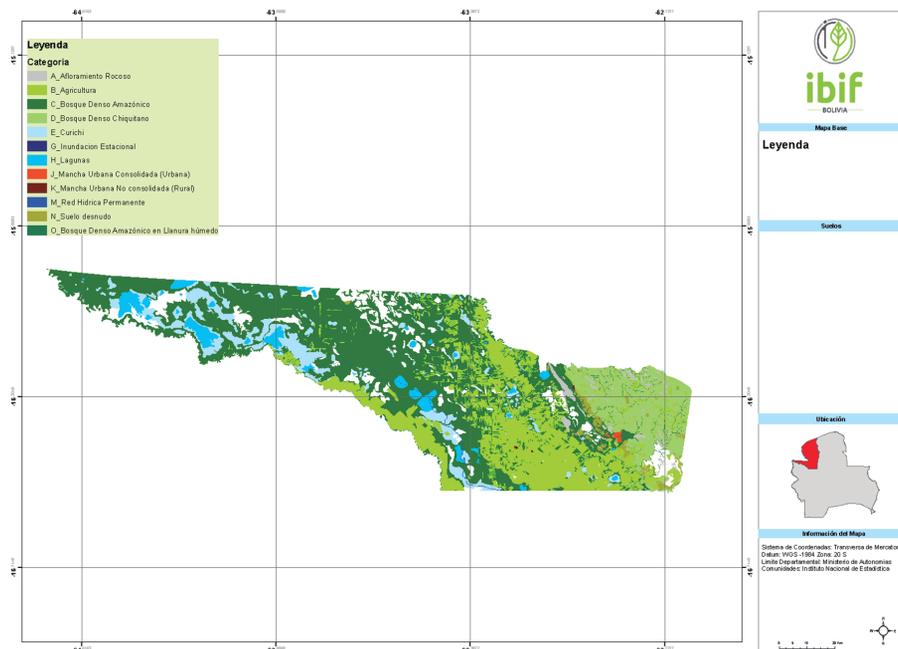
Anexo 10. Cobertura de Suelo en el Municipio de Urubichá



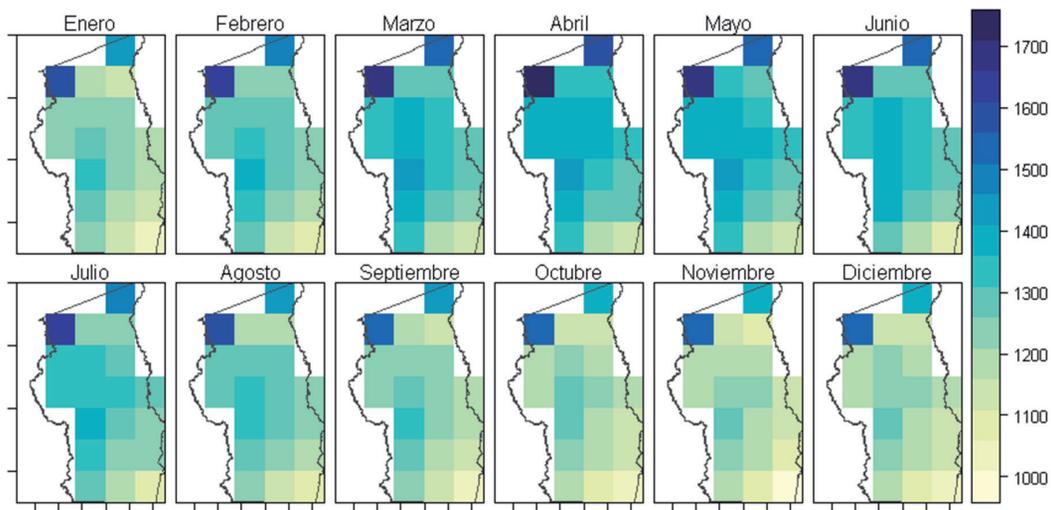
Anexo 11. Cobertura de Suelo en el Municipio de Ascención de Guarayos



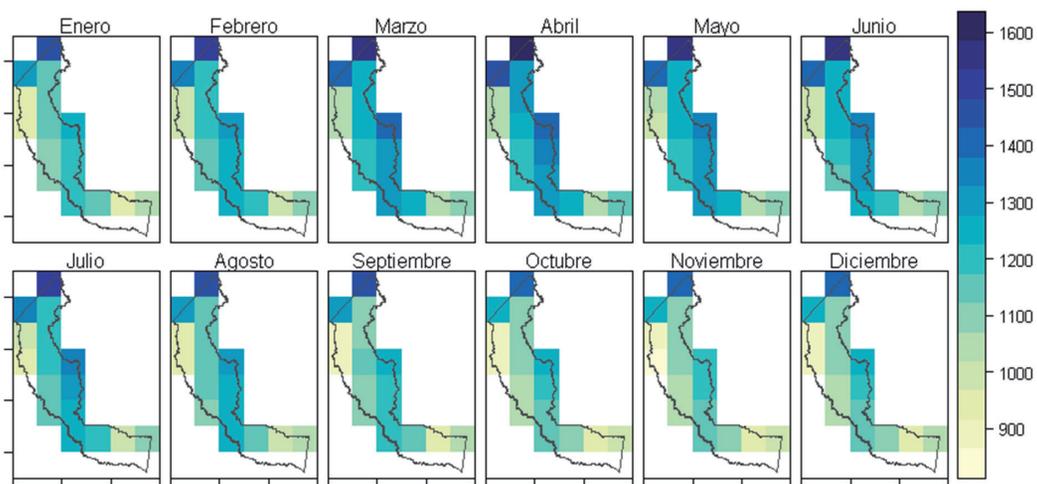
Anexo 12. Cobertura de Suelo en el Municipio El Puente



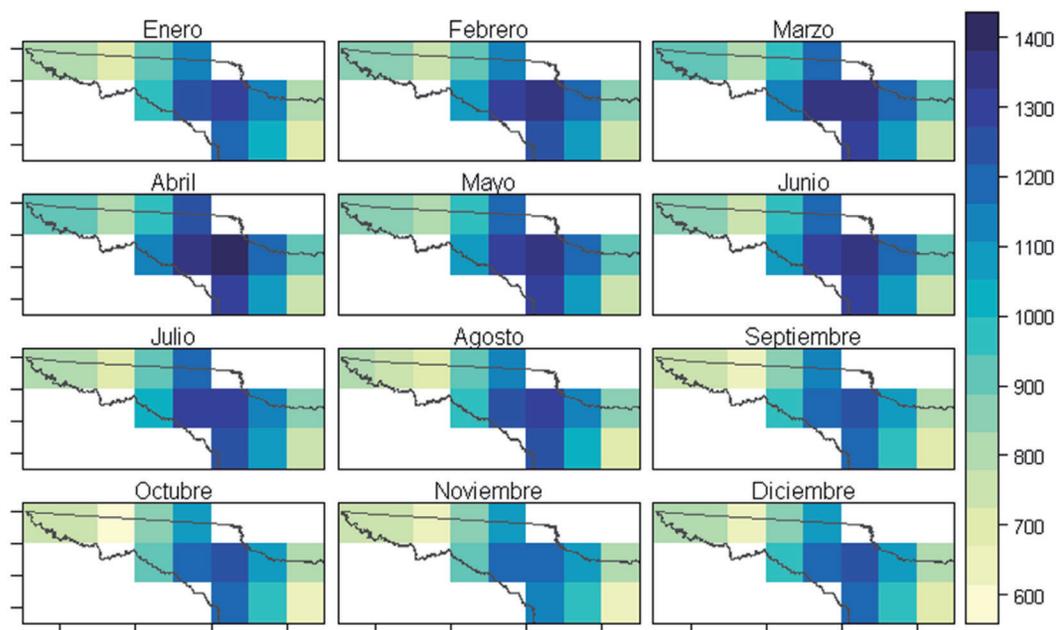
Anexo 13. Almacenamiento de Agua en el Municipio de Urubichá



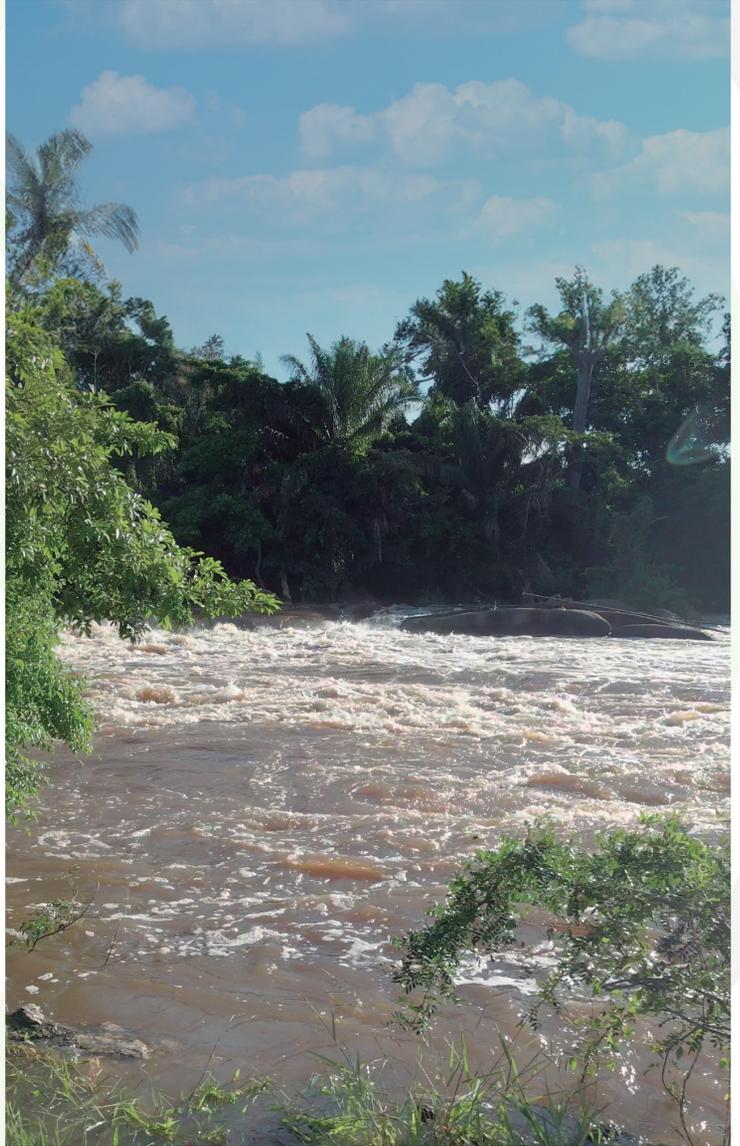
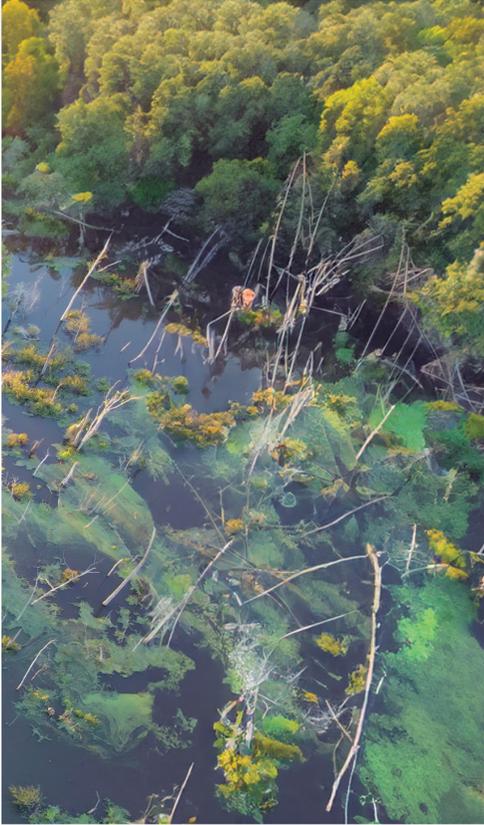
Anexo 14. Almacenamiento de Agua en el Municipio de Ascensión de Guarayos



Anexo 15. Almacenamiento de Agua en el Municipio de El Puente







**Caracterización de los recursos
hídricos y determinación de la
capacidad de recarga hídrica en la
Provincia Guarayos**