



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

INGENIERÍA EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA

**“DISEÑO DE UN PROCESO GEOESTADÍSTICO DE ZONIFICACIÓN
HOMOGÉNEA BÁSICA Y ECONÓMICA MEDIANTE LA TÉCNICA
MULTIVARIANTE DE CLUSTER Y LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE
KRIGING, PARA EL CANTÓN CHAGUARPAMBA – PROVINCIA DE LOJA”**

**TESIS DE GRADO
PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA**

**PRESENTADO POR:
RAÚL MARCELO CHÁVEZ REINOSO**

**RIOBAMBA-ECUADOR
2010**

AGRADECIMIENTO

En el desarrollo de la presente Tesis, rendido a sus pies y con todo mi amor agradezco a mi Dios, dueño de mi vida, pilar de mis fuerzas y eje de mi mundo para el cumplimiento de un sueño profesional y todo para su gloria.

También debo mencionar que he recibido el valioso apoyo del Dr. Celso Recalde y el Dr. Luis Vera, sin lo cual no habría podido llevar a cabo con éxito el estudio, a los cuales les expreso un sincero agradecimiento.

Al Dr. Richard Pachacama, Director de la Escuela de Física y Matemática, por su motivación y apoyo moral brindado en el transcurso académico de la carrera, dentro y fuera de las aulas.

DEDICATORIA

El trabajo, dedicación puesto en cada paso para la culminación de esta Tesis, la dedico a mi Dios, el eje de mi vida, todo para su gloria

De igual forma, dedico mi trabajo a mis padres Jorge Chávez y Gladis Reinoso, por su continuo apoyo, en cada derrota, en cada fracaso, y en cada caída, siempre a mi lado y por haber creído en una meta tan anhelada.

Yo, Raúl Marcelo Chávez Reinoso, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
CAPÍTULO I.....	14
ANÁLISIS DEL MERCADO DE TIERRAS RURALES EN ECUADOR.....	14
1.1 INTRODUCCIÓN.....	14
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	17
A) OBJETIVO GENERAL:	17
B) OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	17
1.4 PROCESO DE ZONIFICACIÓN PARA EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AGROPECUARIA – SIGAGRO, DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA, ACUACULTURA Y PESCA – MAGAP	17
1.5 ANÁLISIS DE MERCADOS	19
1.5.1 MERCADO.....	19
1.5.2 MERCADO PERFECTO.....	19
1.5.3 PRECIO	19
1.5.4 VALOR.....	20
1.5.5 VALOR ECONÓMICO.....	20
1.5.6 TIERRA RURAL.....	20
1.5.7 ZONAS HOMOGÉNEAS	21
CAPÍTULO II	22
GEOESTADÍSTICA.....	22
2.1 CONCEPTO.....	22
2.2 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS ESPACIALES – AEDE	22
2.2.1 MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.....	22
A) MEDIA DE LA MUESTRA	22
B) MEDIANA DE LA MUESTRA	23
C) MODA.....	23
2.2.2 MEDIDAS DE DISPERSIÓN	23
A) VARIANZA DE LA MUESTRA	23
B) DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA.....	23
C) RANGO.....	23
2.2.3 MEDIDAS DE LOCALIZACIÓN	23
A) PRIMER CUARTIL (Q1)	24
B) SEGUNDO CUARTIL (Q2).....	24
C) TERCER CUARTIL (Q3).....	24

2.3	CORRELACIÓN ESPACIAL	24
2.3.1	LA DETECCIÓN Y MEDICIÓN DE LA AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL	25
2.4	VARIOGRAMA EXPERIMENTAL.....	26
2.5	MODELOS DE TRANSICIÓN	28
2.5.1	MODELO ESFÉRICO.....	28
2.5.1	MODELO EXPONENCIAL.....	29
2.5.2	MODELO GAUSSIANO	29
2.5.3	MODELO POTENCIAL	29
2.6	MODELOS DE EFECTO PEPITA PUROS	30
2.6.1	ANÁLISIS DE ANISOTROPÍA.....	30
2.6.1.1	ANISOTROPÍA GEOMÉTRICA	31
2.6.1.2	ANISOTROPÍA ZONAL.....	31
2.7	EFFECTO PROPORCIONAL	31
2.8	PROBLEMAS EN EL MODELAJE DE SEMIVARIOGRAMAS	32
2.9	ESTIMACIÓN	33
2.10	TRIANGULACIÓN.....	33
2.11	INVERSO DE LA DISTANCIA	34
2.12	KRIGING.....	34
2.12.1	DEFINICIÓN.....	34
2.12.2	KRIGEAJE SIMPLE	35
2.12.3	KRIGEAJE ORDINARIO	36
2.13	KRIGEAJE UNIVERSAL (KU).....	37
2.14	DISEÑO DE CLUSTERS.....	39
2.15	MEDICIÓN DE LA SIMILITUD.....	39
2.16	MÉTODOS NO JERÁRQUICOS.....	40
2.16.1	MÉTODO DE LAS K-MEDIAS	40
2.16.2	TABLAS DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA.....	40
	CAPÍTULO III.....	42
	GENERACIÓN DE LAS UNIDADES ESTRUCTURALES PARA ZONIFICACIÓN	42
3.1	DEFINICIÓN DE UNIDADES DE ESTUDIO.....	42
3.1.1	UNIDAD BIOFÍSICA	42
3.1.1.1	VARIABLES BIOGEOESTRUCTURALES	42
3.1.1.2	VARIABLES HIDROESTRUCTURALES	42
3.1.1.3	VARIABLES AMBIENTALES	42
3.1.2	UNIDAD TECNOESTRUCTURAL	42
3.2	ESCALAS DE PRECISIÓN	43

3.3 SELECCIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES DE VALORACIÓN	44
3.3 UNIDAD BIOFISICA.....	45
3.4.1 PENDIENTE.....	45
A. DESCRIPCIÓN.....	45
B. METODOLOGÍA	46
C. CLASES Y RANGOS.....	46
3.4.2 APTITUD AGROPECUARIA Y FORESTAL	47
A. DESCRIPCIÓN.....	47
A.1 PENDIENTE.....	47
A.2 SUELOS.....	48
A.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS FACTORES DEL SUELO.....	48
A.4 CLIMA.....	50
A.5 PRECIPITACIÓN.....	50
A.6 DÉFICIT HÍDRICO	51
A.7 TEMPERATURA	51
B. METODOLOGÍA	53
C. CLASES Y RANGOS.....	53
C.1 CLASES	54
C.2 CUADROS DE ASIGNACIÓN DE CATEGORÍAS	57
3.4.3 SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA.....	59
A. DESCRIPCIÓN.....	59
A.1 SIN	60
A.2 BAJA.....	60
A.3 MEDIA.....	61
A.4 ALTA	61
B. METODOLOGÍA	61
B.1 EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS	61
B.2 FACTORES CONDICIONANTES	65
B.3 DEFINICIÓN DEL MODELO	66
B.4 PENDIENTES.....	66
B.5 GEOLOGÍA (TIPOS DE ROCAS).....	67
B.6 DESARROLLO DE LA CAPA DE GEOLOGÍA	69
C. CLASES Y RANGOS.....	70
C.1 CLASES DE SUELOS (TEXTURA)	70
C.2 FACTOR HIDROLÓGICO (PRECIPITACIÓN).....	71
3.4.4 SUSCEPTIBILIDAD A EROSIÓN.....	71

A. DESCRIPCIÓN.....	71
B. METODOLOGÍA	72
B.1 TEXTURA DEL SUELO.....	73
B.2 PROFUNDIDAD EFECTIVA DEL SUELO	73
B.3 PENDIENTE.....	74
B.4 INTENSIDADES DE LLUVIA.....	74
B.5 USO DE LA TIERRA	74
C. CLASES Y RANGOS.....	78
C.1 SIN SUSCEPTIBILIDAD.....	78
C.2 SUSCEPTIBILIDAD MODERADA	78
C.3 SUSCEPTIBILIDAD ALTA.....	78
C.4 SUSCEPTIBILIDAD MUY ALTA	78
3.4.5 SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIÓN	78
A. DESCRIPCIÓN.....	78
A.1 INUNDACIÓN	79
A.2 SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIONES	79
B. METODOLOGÍA	79
C. CLASES Y RANGOS.....	81
C.1 SIN	81
C.2 BAJA.....	81
C.3 MEDIA.....	81
C.4 ALTA	82
3.5 UNIDAD SOCIOECONÓMICA	82
3.5.1 DEMANDA SOBRE EL RECURSO TIERRA.....	82
A. DESCRIPCIÓN.....	82
B. METODOLOGÍA	82
C. CLASES Y RANGOS.....	83
3.5.2 ACCESIBILIDAD VIAL	84
A. DESCRIPCIÓN.....	84
B. METODOLOGÍA	85
B.1 FASE 1	86
B.2 FASE 2.....	87
C. CLASES Y RANGOS.....	89
3.5.3 DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS BÁSICOS.....	90
A. DESCRIPCIÓN.....	90
3.5.4 ACCESIBILIDAD AL ÁREA URBANA	92

A. DESCRIPCIÓN.....	92
B. METODOLOGÍA	92
B1. FASE 1	93
B.2 FASE 2	94
B3. FASE 3	96
C. CLASES Y RANGOS.....	97
CAPÍTULO IV	99
PROCESO METODOLÓGICO PARA ZONIFICACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA	99
4.1 ZONIFICACIÓN BIOFÍSICA.....	99
4.2 CANTÓN SELECCIONADO	100
4.3 ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DEL CANTÓN.....	100
4.4 DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA	101
4.5 DEFINICIÓN DE ZONAS HOMOGÉNEAS	101
4.6 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS ESPACIALES (AEDE) DE LA UNIDAD BIOFÍSICA	102
4.6.1 AEDE PENDIENTE	102
A. HISTOGRAMA	103
B. AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL	103
C. ANÁLISIS.....	104
4.6.2 AEDE MOVIMIENTOS EN MASA.....	104
A. HISTOGRAMA	105
B. AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL	105
C. ANÁLISIS.....	106
4.6.3 AEDE APTITUD AGROPECUARIA FORESTAL.....	106
A. HISTOGRAMA	107
B. AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL	107
C. ANÁLISIS.....	108
4.6.4 AEDE SUSCEPTIBILIDAD A EROSIÓN	108
A. HISTOGRAMA	109
B. AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL	109
C. ANÁLISIS.....	110
4.6.5 AEDE SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIÓN	110
A. HISTOGRAMA	111
B. AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL	111
C. ANÁLISIS.....	112

4.7 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES DE LA UNIDAD BIOFÍSICA	112
4.8 DISEÑO DE CLUSTERS PARA LA UNIDAD BIOFÍSICA.....	113
4.9 MAPA DE ZONIFICACIÓN HOMOGÉNEA BIOFÍSICA	115
4.10 ZONIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA	116
4.11 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS ESPACIALES (AEDE) DE LA UNIDAD BIOFÍSICA	117
4.11.1 AEDE DEMANDA SOBRE EL RECURSO.....	117
A. HISTOGRAMA	117
B. AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL	118
C. ANÁLISIS.....	119
4.11.2 AEDE ACCESIBILIDAD VIAL.....	119
A. HISTOGRAMA	119
B. AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL	120
C. ANÁLISIS.....	120
4.11.3 AEDE SERVICIOS BÁSICOS.....	121
A. HISTOGRAMA	121
B. AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL	122
C. ANÁLISIS.....	122
4.11.4 AEDE ACCESIBILIDAD AL ÁREA URBANA	123
A. HISTOGRAMA	123
B. AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL	124
C. ANÁLISIS.....	124
4.12 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES DE LA UNIDAD SOCIOECONÓMICA	125
4.13 DISEÑO DE CLUSTERS PARA LA UNIDAD SOCIOECONÓMICA	125
4.14 MAPA DE ZONIFICACIÓN HOMOGÉNEA BIOFÍSICA	126
4.15 ANÁLISIS DE LOS PRECIOS MUESTREADOS.....	128
A. AEDE DEL VARIABLE PRECIO	128
B. HISTOGRAMA	128
C. ANÁLISIS.....	129
D. DISPERSOGRAMA DE LA VARIABLE PRECIOS	129
E. VARIOGRAMA DE LA VARIABLE PRECIOS	131
F. APLICACIÓN DE UN MODELO DE KRIGING LINEAL	132
4.17 HOMOGENIZACIÓN DE ZONAS DE PRECIO INVESTIGADO.....	133
4.18 ESTABLECIMIENTO DE ZONAS HOMOGÉNEAS ECONÓMICAS	138
4.18.1 RECOPIACIÓN DE DATOS.....	139

4.18.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	139
4.19 ESTABLECIMIENTO DE ZONAS DE VALORACIÓN	141
4.20 APROXIMACIÓN AL PRECIO	144
CAPÍTULO V.....	145
5.1 CONCLUSIONES	145
5.2 RECOMENDACIONES.....	147
RESUMEN.....	148
SUMMARY	149
ANEXOS.....	150
ANEXO A.....	150
1. UNIDAD BIOFÍSICA; MAPAS DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO;	150
<input type="checkbox"/> VARIABLE APTITUD.....	150
<input type="checkbox"/> VARIABLE EROSIÓN.	150
<input type="checkbox"/> VARIABLE INUNDACIÓN.	150
<input type="checkbox"/> VARIABLE MOVIMIENTOS EN MASA.....	150
<input type="checkbox"/> VARIABLE PENDIENTE.....	150
2. UNIDAD SOCIOECONÓMICA; MAPAS DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO;.....	150
<input type="checkbox"/> VARIABLE DE DEMANDA SOBRE EL RECURSO.....	150
<input type="checkbox"/> VARIABLE DE DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS BÁSICOS.....	150
<input type="checkbox"/> VARIABLE DE ACCESIBILIDAD VIAL.	150
<input type="checkbox"/> VARIABLE DE ACCESIBILIDAD AL ÁREA URBANA.....	150
ANEXO B.....	150
<input type="checkbox"/> ANEXO B1: ESQUEMA DE PONDERACIÓN DE VARIABLES PARA ZONIFICACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA.....	150
<input type="checkbox"/> ANEXO B2: DISEÑO MUESTRAL.....	150
<input type="checkbox"/> ANEXO B3: FICHA DE INVESTIGACIÓN DE CAMPO.	150
<input type="checkbox"/> ANEXO B4: INSTRUCTIVO PARA EL USO DE LA FICHA DE INVESTIGACIÓN DE CAMPO.	150
ANEXO C.....	150
<input type="checkbox"/> MAPA DE MUESTRAS.....	150
<input type="checkbox"/> MAPA DE ZONIFICACIÓN BIOFÍSICA.	150
<input type="checkbox"/> MAPA DE ZONIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA.....	150
<input type="checkbox"/> MAPA DE PRECIOS.....	150
BIBLIOGRAFÍA.....	151

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. CLASIFICACIÓN DE VARIABLES DEL MODELO.....	45
CUADRO 2. CLASES, RANGOS E INTERVALOS DE PENDIENTES	46
CUADRO 3. CLASES, RANGOS Y DESCRIPCIÓN DE PENDIENTES.....	47
CUADRO 4. INDICADORES DE TEXTURA	48
CUADRO 5. INDICADORES DE PROFUNDIDAD EFECTIVA.....	49
CUADRO 6. INDICADORES DE PEDREGOSIDAD	49
CUADRO 7. INDICADORES DE DRENAJE	50
CUADRO 8. INDICADORES DE LAS ZONAS DE HUMEDAD MEDIANTE LA INTERACCIÓN PRECIPITACIÓN – DÉFICIT HÍDRICO	51
CUADRO 9. INDICADORES DE LAS ZONAS DE TEMPERATURA.....	52
CUADRO 10. CLASES Y SUBCLASES DE APTITUD AGROPECUARIA Y FORESTAL	54
CUADRO 11. APTITUD AGROPECUARIA Y FORESTAL EN FUNCIÓN DE LA PENDIENTE.....	57
CUADRO 12. MODIFICACIONES A LAS CLASES DE APTITUD AGROPECUARIA Y FORESTAL EN FUNCIÓN DE LAS CUATRO CLASES DE PROFUNDIDAD	57
CUADRO 13. MODIFICACIONES A LAS CLASES DE APTITUD AGROPECUARIA Y FORESTAL EN FUNCIÓN DE LAS CINCO CLASES DE TEXTURA	57
CUADRO 14. MODIFICACIONES A LAS CLASES DE APTITUD AGROPECUARIA Y FORESTAL EN FUNCIÓN DE LAS CINCO CLASES DE PEDREGOSIDAD.....	58
CUADRO 15. MODIFICACIONES A LAS CLASES DE APTITUD AGROPECUARIA Y FORESTAL EN FUNCIÓN DE LAS CUATRO CLASES DE DRENAJE.....	58
CUADRO 16. MODIFICACIONES A LAS CLASES DE APTITUD AGROPECUARIA Y FORESTAL EN FUNCIÓN DE LAS CUATRO ZONAS DE HUMEDAD.....	58
CUADRO 17. MODIFICACIONES A LAS CLASES DE APTITUD AGROPECUARIA Y FORESTAL EN FUNCIÓN DE LAS CUATRO ZONAS DE TEMPERATURA.....	59
CUADRO 18. CLASIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIÓN.....	60
CUADRO 19. MATRIZ TEXTURA Y PENDIENTE (S1).....	63
CUADRO 20. CLASIFICACIÓN DE LOS GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD POR TEXTURA Y PENDIENTE (S1).....	63
CUADRO 21. MATRIZ S1 POR GEOLOGÍA (S2).....	64
CUADRO 22. CLASIFICACIÓN DE LOS GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD S1 POR GEOLOGÍA (S2):	64
CUADRO 23. MATRIZ S2 POR ISOYETAS.....	64
CUADRO 24. PONDERACIÓN DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA.	65
CUADRO 25. RECLASIFICACIÓN Y PONDERACIÓN DE LA CAPA DE PENDIENTES	67
CUADRO 26. CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE ROCAS.	69
CUADRO 27. RECLASIFICACIÓN DE LAS CLASES TEXTURALES DEL MAPA DE SUELOS.....	70
CUADRO 28. CATEGORÍAS RELATIVAS PARA CADA VARIABLE	75
CUADRO 29. CATEGORÍA RELATIVA PARA LA VARIABLE PROTECCIÓN VEGETAL	76
CUADRO 30. VARIABLE PENDIENTE	76
CUADRO 31. VARIABLE SUELOS (TEXTURA)	77
CUADRO 32. VARIABLE SUELOS (PROFUNDIDAD)	77
CUADRO 33. VARIABLE INTENSIDAD DE LLUVIA (I30)	77
CUADRO 34. SUSCEPTIBILIDAD A EROSIÓN.....	77
CUADRO 35. CLASES TEXTURALES DE SUELO PARA SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIÓN.....	79
CUADRO 36. MATRIZ CLASIFICACIÓN DE TEXTURA DE SUELOS Y PENDIENTES.	80

CUADRO 37. LEYENDA DE LAS ZONAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIÓN.	81
CUADRO 38. CLASIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIÓN.	81
CUADRO 39. CLASIFICACIÓN DE DEMANDA SOBRE EL RECURSO TIERRA	83
CUADRO 40. RANGOS DE PROXIMIDAD Y TIEMPOS DE RECORRIDO	87
CUADRO 41. RANGOS DE PROXIMIDAD Y PENDIENTE	87
CUADRO 42. RANGOS DE ACCESIBILIDAD VIAL	88
CUADRO 43. TIPO DE ACCESIBILIDAD Y VÍA	89
CUADRO 44. ANÁLISIS DE ACCESIBILIDAD VIAL	89
CUADRO 45. CLASIFICACIÓN DE ACCESIBILIDAD VIAL	89
CUADRO 46. CLASIFICACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS BÁSICOS.....	91
CUADRO 47. PONDERACIÓN DE LA RED VIAL	94
CUADRO 48. PONDERACIÓN DE USO DE LA TIERRA	95
CUADRO 49. PONDERACIÓN DE PENDIENTES	96
CUADRO 50. RANGOS DE CCT SIMPLIFICADOS.....	96
CUADRO 51. CLASIFICACIÓN DE ACCESIBILIDAD A SERVICIOS SOCIALES	97
CUADRO 52. CARACTERIZACIÓN DE ZONAS HOMOGÉNEAS	102
CUADRO 53. PONDERACIONES PARA IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIOS	134
CUADRO 54. RANGOS DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIO.....	135
CUADRO 55. FACTOR DE FUENTE DE LAS ZONAS HOMOGÉNEAS BIOFÍSICAS.....	143
CUADRO 56. FACTOR DE UBICACIÓN DE LAS ZONAS HOMOGÉNEAS SOCIOECONÓMICAS.	144

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 VARIABLE ALEATORIA REGIONALIZADA.	22
FIGURA 2. EJEMPLO DE VARIOGRAMA (MODELO ESFÉRICO) MOSTRANDO SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES; EFECTO PEPITA, RANGO Y MESETA.....	27
FIGURA 3. GRÁFICOS DIRECCIONALES QUE MUESTRAN UNA VARIACIÓN ESPACIAL EN FUNCIÓN DE LA DIRECCIÓN.	28
FIGURA 4. (A) MODELO ESFÉRICO, (B) RELACIÓN ENTRE EL VARIOGRAMA $\gamma(h)$ Y EL CORRELOGRAMA $\rho(h)$, (C) MODELO EXPONENCIAL, (D) MODELO GAUSSIANO Y (E) MODELO POTENCIAL.	30
FIGURA 5. ANISOTROPÍA.	31
FIGURA 6. ANISOTROPÍA EFECTO PROPORCIONAL.	32
FIGURA 7. EJEMPLO DE TERRENO CON PENDIENTE DE 30°	46
FIGURA 8. DETERMINACIÓN DE ACCESIBILIDAD VIAL	86
FIGURA 9. DETERMINACIÓN DE ACCESIBILIDAD AL ÁREA URBANA	93
FIGURA 10. UBICACIÓN ESPACIAL DEL CANTÓN	100
FIGURA 11. USO DEL LA TIERRA DEL CANTÓN CHAGUARPAMBA - ESCALA 1:50.000....	101
FIGURA 12. DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA DEL CANTÓN CHAGUARPAMBA - ESCALA 1:50.000.....	101
FIGURA 13. ZONAS DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL CANTÓN CHAGUARPAMBA – ESCALA 1:20.000.....	135
FIGURA 14. PROCESO DE HOMOGENIZACIÓN DE PRECIOS INVESTIGADOS	136
FIGURA 15. DETERMINACIÓN DE ZONAS HOMOGÉNEAS ECONÓMICAS.....	139
FIGURA 16. ESQUEMA DEL PROCESO DE DETERMINACIÓN DE ZONAS DE PRECIO HOMOGENIZADO.....	140
FIGURA 17. DETERMINACIÓN DE ZONAS DE VALORACIÓN.	141
FIGURA 18. FACTORES DE MODIFICACIÓN DEL PRECIO DE LA TIERRA.....	142

CAPÍTULO I

ANÁLISIS DEL MERCADO DE TIERRAS RURALES EN ECUADOR

1.1 Introducción

La discusión sobre este punto no es nuevo y puede sintetizarse en dos vertientes; i) por un lado los defensores de la “nueva economía institucional” que afincan sus esperanzas en la potencialidad de la comunidad y las ventajas del manejo de recursos en forma colectiva y los neoliberales que apuestan al mercado, puesto que se observa un avance en la privatización de las tierras comunales.

No hay duda que los campesinos y comunidades indígenas en el caso ecuatoriano están produciendo mayoritariamente para el mercado, en este caso el mercado interno y productos relacionados con la canasta básica de alimentos. No hay duda tampoco de que las políticas macroeconómicas fueron desfavorables para la producción campesina durante las largas décadas de la fase de sustitución de importaciones que en el país, llegó hasta mitad de la década de los 80. Así y todo, los campesinos no dejaron de producir, aunque bajo esta modalidad se estuvieran empobreciendo cada vez más. El mercado, entonces tenía serias "fallas" y no permitía -según los neoliberales, debido a la intromisión del Estado en las políticas erradas de subsidios y precios- el funcionamiento transparente de este. Una vez eliminadas estas trabas, y con los procesos de desregulación y privatización avanzados, el mercado empezaría a operar como el mejor asignado de los recursos en beneficio de todos. Lo que se ha comprobado es que a nivel rural se ha incrementado la pobreza y concentrado entre los indígenas, la mayoría de los cuales se encuentran organizados en comunas. Así pues, hay que eliminar los últimos obstáculos privatizando la tierra comunal.

En toda esta argumentación hay algunas falacias, pero sobre todo hay un desconocimiento u ocultamiento de cómo funcionan los mercados, es decir de lo que se denomina "el mercado real" (Hewitt de Alcantara, 1993). Ahora bien, en Ecuador los mercados se concretizan cuando actores económicos muy diversificados y con diverso poder entablan relaciones en espacios económicos también muy específicos. Los mercados son instituciones culturales y políticamente específicas. Por lo mismo hay diversos tipos de mercados, algunos de los cuales no funcionan con la lógica de los neoliberales sino de acuerdo a la posición y fuerza de los grupos sociales. Kervin, también insiste en esta perspectiva al puntualizar las diferencias que existirían desde el lado de la oferta y de la demanda en los mercados de tierras. Así, en la primera perspectiva, la tierra no se asignaría al más capaz de cultivarla sino a las personas que con mayor peso económico buscan satisfacer aspiraciones de carácter social, político o especulativo. En cambio para los campesinos, la oferta de tierras se daría más por razones de "apuro", lo que los conduce con frecuencia al endeudamiento.

Es indudable que el mercado de mano de obra, muy activo en el país a través de los fenómenos migratorios desde la década de los años 50, ha causado profundos estragos entre las familias comuneras.

Así, por ejemplo, uno de sus impactos más profundos ha sido la "feminización" de la agricultura minifundista en la sierra. La mayoría de comunidades privilegia el trabajo en el mercado capitalista, donde fluye la principal mano de obra, y margina el trabajo agropecuario, ahora en manos de mujeres, niños y ancianos. Se ha disuelto el "equipo familiar" y se han debilitado enormemente las relaciones de reciprocidad entre las familias. Es con esta mano de obra que las comunidades deben enfrentar las nuevas relaciones con el mercado nacional y mundial.

Un segundo impacto ha sido el progresivo "traspaso" de tierra obtenida por reforma agraria o colonización hacia el sector privado. Un fenómeno que indica los límites de los procesos redistributivos de los años 60 y 70. En el Ecuador, uno de los principales mecanismos de oferta de tierras agrícolas- fenómeno que ya se inicia en los años 70- proviene justamente de este sector de campesinos beneficiarios de reforma agraria (COTECA-FAO, 1995). El análisis del mercado de tierra "real" muestra que, el campesinado es el principal oferente de tierras y no tanto los empresarios como podría esperarse.

Un tercer impacto es el desarrollo de varios tipos de mercados entre los campesinos: un mercado "intracampesino" más simétrico en las áreas deprimidas, donde oferentes y demandantes son pequeños campesinos que mueven una porción importante de los recursos comuneros privatizados, bajo arreglos en donde predominan los lazos de parentesco y la cultura. En áreas menos deprimidas y donde existen buenas posibilidades productivas, existe en cambio, un mercado caracterizado por la diferenciación campesina. En este caso, la demanda proviene de campesinos con niveles de acumulación sobre tierras en manos de campesinos más tradicionales. No obstante, también existirían procesos de resistencia campesina a las presiones del mercado. Esta se concretaría en la minifundización de las propiedades a través de mercados informales vinculados con las relaciones de parentesco, es decir que buscan "arreglos más simétricos entre ellos".

En realidad en el caso ecuatoriano, los campesinos indígenas de la sierra con tierras marginales escaparían a las tendencias de concentración capitalista al menos en el corto plazo, pues la "resistencia" concretada en un mercado informal de tierras intracampesino o intracomunitario y las pocas posibilidades de inversión productiva en malas tierras, no constituirían incentivos para que grandes capitalistas se apropien vía mercado del espacio campesino. A largo plazo, las posibilidades de formalización del mercado de tierras y la diferenciación campesina latente en algunas comunidades, generarían una lenta concentración de tierras en beneficio de campesinos con posibilidades de acumulación. A lo más, podría constituirse una burguesía indígena o campesina con propiedades medias.

Un cuarto impacto, es indudablemente el desarrollo de proceso de concentración de tierras con ingredientes altamente especulativos en áreas con buen potencial productivo, en donde la participación campesina tanto como ofertante de tierras así como demandante es mínima (caso de las áreas bananeras, de cultivos agro-industriales, de flores y hortalizas). En este caso, los capitales provienen del área urbana o de sectores empresariales rurales vinculados con productos de alta rentabilidad y orientados hacia la exportación.

Investigaciones recientes sobre comunidades indígenas de la sierra ecuatoriana no hacen más que confirmar las tendencias señaladas sobre la debilidad de ciertos rasgos inherentes a la dimensión comunal y las dificultades cada vez más grandes de implementarlos cuando escasean los recursos en tierra. Así, se constata la dificultad creciente para implementar relaciones de reciprocidad y solidaridad entre las familias, la inexistencia de un trabajo comunal agropecuario, el desgaste de las relaciones de intercambio con otras unidades domésticas, en un contexto en el que predominan las parcelas familiares y escasea o desaparece el territorio comunal (Martínez, 1996). A pesar de ello, la "minga" todavía se mantiene vigente pero vinculada a trabajos de beneficio social de la comunidad (caminos, arreglo de acequias, construcción de escuelas, casas comunales, etc.), en ningún caso, vinculada a trabajos productivos o de uso de suelo comunal. Las tierras en este caso, se dividen en parcelas de usufructo o propiedad familiar y tierras comunales de pastoreo. Al no existir una producción mercantil agropecuaria, no hay presión por la división de las tierras altas, en gran medida porque la presión poblacional se canaliza hacia la migración. En este sentido, en muchas comunidades de la sierra ecuatoriana, la cercanía a las ciudades ha permitido que la migración sirva como "colchón" de las presiones por la tierra de páramo. Pero no en todas partes funciona este modelo. En Cayambe (Prov. de Pichincha), por ejemplo, las ex-cooperativas de la reforma agraria con buenas tierras para agricultura y lechería han empezado a dismantelar la propiedad colectiva sin necesidad de un marco institucional previo. Las nuevas generaciones de campesinos, ejercieron fuerte presión por ocupar las áreas de pastoreo colectivas de las cooperativas, hasta que finalmente el proceso de subdivisión se concretó, para lo cual se adoptó la forma organizativa comunal.

En Ecuador como resultado de las reformas agrarias y de la dinámica del modelo de sustitución de importaciones, se vienen consolidando explotaciones de tamaño medio, este proceso de "medianización", a su vez, se combina con tendencias hacia la concentración de tierras en casos como los de México, Paraguay, Brasil y Bolivia, entre otros. Lo novedoso de este último fenómeno es la coincidencia de una fuerte concentración territorial pero también significativas inversiones de capital y tecnología. Aún más, en este tipo de propiedades el componente capital suele alcanzar valores más altos que los de la tierra misma.

Lo que interesa resaltar, sin embargo, es la constitución de un nuevo tipo de unidades agropecuarias como producto de las divisiones y subdivisiones de grandes haciendas. En esta dirección, "Hay una visión de acuerdo con la cual un fenómeno distintivo de la expansión capitalista de las últimas décadas habría sido el fortalecimiento de las explotaciones medianas, mayores que las campesinas no capitalizadas y menores que los latifundios tradicionales. Este fortalecimiento habría estado ligado a la fragmentación de grandes propiedades a través de ventas, herencias o reformas agrarias. Precisamente los requerimientos de una mayor inversión de capital por hectárea habrían empujado en la dirección de retener volúmenes menores de tierras pero que fueran especialmente aptas".

Cristóbal Kay, al hacer un balance sobre las tendencias del desarrollo del capitalismo en el agro latinoamericano, enfatiza el papel del nuevo tipo de unidades productivas, en el

contexto de la aplicación de medidas neoliberales, señala que los "antiguos latifundistas que retuvieron una reserva han podido capitalizarla y prosperar bajo el neoliberalismo. Además, el aumento del mercado de tierras ha permitido que nuevos tipos de empresarios (como los agroindustriales, los agrónomos, los administradores agrícolas y los comerciantes) adquieran tierras e inviertan más en la agricultura, que en el pasado" (Kay 1994: 66-7).

1.2 Título del Proyecto

DISEÑO DE UN PROCESO GEOESTADÍSTICO DE ZONIFICACIÓN HOMOGÉNEA BÁSICA Y ECONÓMICA MEDIANTE LA TÉCNICA MULTIVARIANTE DE CLUSTER Y LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE KRIGING, PARA EL CANTÓN CHAGUARPAMBA – PROVINCIA DE LOJA.

1.3 Objetivos del Proyecto

a) Objetivo General:

- i. Implementar un proceso Geoestadístico que consiste en la Zonificación Biofísica y un Modelo de Kriging Geográfico para la Zonificación Socioeconómica que podrá ser adaptado en los nueve cantones del Programa de Regularización y Administración de Tierras Rurales – PRAT.

b) Objetivos Específicos:

- i. Implementar un proceso Geoestadístico con Clusters para una Zonificación Homogénea Biofísica.
- ii. Desarrollar un proceso Geoestadístico con Clusters para una Zonificación Homogénea Socioeconómica
- iii. Generar un Modelo de Krigeaje para la Zonificación de Precios de la ha de terreno en el Sector Rural.

1.4 Proceso de Zonificación para el Sistema de Información Geográfica Agropecuaria – SIGAGRO, del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca – MAGAP

El Ecuador desde 1972, ha considerado la elaboración de estrategias de desarrollo basadas en la utilización racional y controlada de los recursos naturales locales, para lo cual se han emprendido una serie de evaluaciones de los recursos a nivel nacional. Programas como el PRONAREG han realizado el Inventario Nacional de Recursos Naturales en el país desde la década de los 70s, cuyos resultados constituyen en la actualidad una base esencial para la elaboración de planes de desarrollo que aporten a la

economía del país, bajo estrategias y políticas de planificación nacional. (Coloquio Ecuador 86, 1986).

En el sector rural del Ecuador, la tierra ha sido considerada como la fuente principal de riqueza, situación social y de poder, cuyo desarrollo está condicionado por el acceso a los derechos de propiedad de la tierra y por la seguridad de esos derechos. En la actualidad es política del sector agropecuario la titulación y regulación de tierras rurales, así como el manejo y conservación de los recursos naturales.

La Titulación y Regulación de Tierra Rural, considera como un elemento esencial al catastro multifinanciado, el mismo que se constituye en un inventario estructurado que contiene información respecto de la identificación, descripción, ubicación geográfica, clasificación y valuación de predios y de los bienes inmuebles ubicados sobre ellos.

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca MAGAP comprometido con esta política debido al gran número de predios rurales no legalizados viene ejecutando desde el año 2002 el Programa de Regularización y Administración de Tierras Rurales PRAT, cuyo objetivo general es Modernizar el Sistema de Información Predial. Este programa está siendo financiado parcialmente mediante el contrato de préstamo No.- 137/OC-EC, suscrito entre la República del Ecuador y el Banco Interamericano de Desarrollo BID. (Presidencia de la República del Ecuador, 2007).

El Programa de Regularización y Administración de Tierras Rurales PRAT contempla la elaboración y aplicación de un proceso de Valoración de Tierras en ocho cantones seleccionados para la ejecución del programa: Baba y Palenque (Provincia de Los Ríos), Salitre (Provincia del Guayas), Pimampiro (Provincia de Imbabura), Chillanes (Provincia de Bolívar), Chaguarpamba y Saraguro (Provincia de Loja) y La Joya de Los Sachas (Provincia Francisco de Orellana), el mismo que podrá ser adaptado por los demás organismos seccionales del país.

Este proceso es desarrollado por la Dirección del Sistema de Información Geográfica para el Sector Agropecuario, SIGAGRO del MAGAP; conforme a lo señalado en el Acuerdo Ministerial N° 099, de fecha 22 de marzo de 2006, el mismo que aprueba el instructivo para la elaboración y aplicación de un Proceso de Valoración de Tierras Rurales por parte de SIGAGRO insumo requerido por la Unidad ejecutora del Programa UE- PRAT.

El Proceso de Valoración de Tierras Rurales complementará al catastro individual rural a nivel cantonal, el mismo que permitirá dimensionar el valor real de un predio y consecuentemente derivar la obligación económica de un propietario con el estado. Igualmente pretende constituirse en una herramienta que permita la toma de decisiones y la formulación de políticas y acciones puntuales concernientes al uso racional del recurso tierra.

El espacio geográfico utiliza coordenadas (latitud-longitud) para localizar los elementos del mundo real. La expresión geográfica del conjunto completo de mediciones que disponemos da lugar a su modelo de distribución espacial, plasmado en mediciones que

disponemos da lugar a su modelo de distribución espacial, representado en forma cartográfica.

Por el contrario, el espacio de datos es más familiar para nosotros. Sin embargo no podemos recorrer este espacio de datos como si fuera el espacio geográfico, pero podemos recurrir a técnicas geoestadísticas para dar una conceptualización que nos ayudará a entender a qué tipo de distribución obedecen.

Consiguientemente siendo información temática que recolecta información de todas las variables que intervienen en este proceso de valoración, se debe implementar una herramienta Geoestadística de nombre “Cálculo de la Similaridad Cartográfica”, que básicamente constituye comparaciones entre las series de datos de los múltiples mapas, tratando de compararlos, encontrando así similitudes en los patrones de datos de las variables geofrenciadas.

1.5 Análisis de Mercados

1.5.1 Mercado

El mercado es un espacio en el que se da libertad a las de cada quien para ofrecer y hacer valer su producto por medio de estrategias, bien sean publicitarias o de relación con otros individuos; para así conseguir sustento y obtener un mejor nivel de vida.

1.5.2 Mercado Perfecto

La Competencia perfecta (en el mismo sentido de mercado perfecto) caracteriza a los mercados ideales en la microeconomía, los requisitos para definir mercados perfectos son los siguientes:

- Se deben intercambiar enes homogéneos (*todos perfectamente homogéneos*). Esto se consigue mayormente en productos del sector primario.
- En el mercado domina la transparencia total y cada participante dispone absolutamente de toda la información.
- Existen un sinfín de oferentes y demandantes.
- No se presenta ninguna forma de falla de mercado.

Los mercados perfectos sirven mayormente, al partir de suposiciones irreales, sólo para ilustraciones abstractas y teóricas de los mecanismos en la microeconomía. Para el análisis de la realidad económica es relevante la *Teoría de los Mercados Imperfectos*.

1.5.3 Precio

En un Modelo de Economía Globalizada el precio es la cantidad o valor en dinero que se le da a un título en sus operaciones de compraventa. Existen dos tipos de precios: el limitado, el cual indica el máximo precio al que opera en el caso de una orden de compra y el mínimo precio al que operará en el caso de la venta, o de mercado, el cual se refiere a operar al mejor precio posible.

Es así que de acuerdo con los Términos de Referencia - PRAT, 2003. El Precio de una Tierra Rural será el monto de dinero asignado a un terreno (bien inmueble) considerando parámetros valorizadores (físicos y socio-económicos) y de acuerdo al sistema económico actual el precio está condicionado por la oferta y la demanda, estructura del mercado, disponibilidad de la información de los compradores y vendedores, capacidad de negociación de los agentes, etc.

Es de esperar que en mercados que se acerquen a una estructura de competencia perfecta -situación hipotética en la que se cumplen supuestos como la existencia de un gran número de oferentes y demandantes, información perfecta de todos los agentes, ausencia de costos de transacción, entre otros- el precio se acerque a los costos, al igual que en los casos en que los demandantes (potenciales compradores) tienen un gran poder de mercado, por ejemplo el caso del monopsonio, que se presenta cuando existen varios oferentes de un mismo bien pero un solo demandante.

1.5.4 Valor

Es el grado de aprecio que tenemos por un bien que nos sirve para satisfacer necesidades. (Términos de Referencia – PRAT, 2003.)

1.5.5 Valor Económico

El valor económico de algún bien o servicio es medido por la suma de las “intenciones por pagar” de muchos individuos por ese producto. Esto significa que la “intención por pagar” refleja las preferencias individuales del determinado bien o producto.

1.5.6 Tierra Rural

La Tierra es un recurso natural que existe desde tiempos inmemoriales, no es por lo tanto un bien que se produce o fabrica, razón por la cual, al ser la tierra una mercancía preexistente su cuantificación, ponderación o determinación de valor se vuelve compleja.

La tierra tanto rural como urbana en el sistema económico vigente se encuentra condicionada y por lo tanto se sujeta a la oferta y demanda del mercado. Términos de Referencia – PRAT, 2003.

La tierra comprende el ambiente físico, que incluye el clima, el relieve, el suelo, la hidrología y la vegetación, debido a que ellos influyen directamente en el potencial empleo de la tierra; incluye los resultados de las actividades humanas pasadas y presentes, por ejemplo desbroce de vegetación o salinización del suelo. Sin embargo las características puramente económicas y sociales no se incluyen en el concepto de tierra; estas forman parte del contexto económico y social. (FAO, 1977).

1.5.7 Zonas Homogéneas

Es el área territorial delimitada, donde las características físicas como el uso del suelo, aptitud agrícola y forestal, existencia y disponibilidad de servicios públicos e infraestructura, tienen un nivel de homogeneidad cuantitativa y cualitativa, conceptualizados en los términos y condiciones aplicables a nivel nacional. Constituyen espacios geográficos con características similares, en base al análisis de variables indicadoras. (Términos de Referencia – PRAT, 2003.)

2.1 Concepto

La Geoestadística se define como la aplicación de la Teoría de Funciones Aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales, o simplemente, el estudio de las variables numéricas distribuidas en el espacio, siendo una herramienta útil en el estudio de las mismas. Su punto de partida es asumir una intuición topo-probabilística.

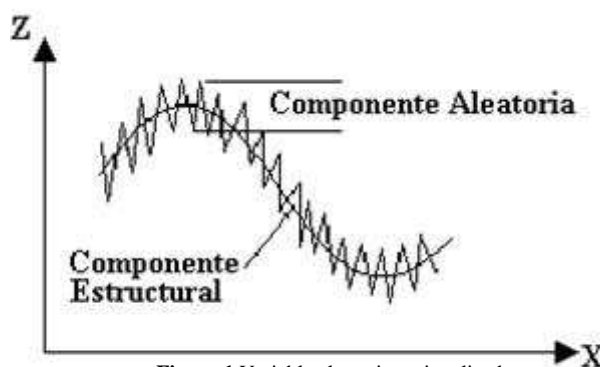


Figura 1 Variable aleatoria regionalizada.

Se puede interpretar este fenómeno en términos de Función Aleatoria (FA), es decir, a cada punto x del espacio se le asocia una Variable Aleatoria (VA) $Z(x)$, para dos puntos diferentes x e y , se tendrán dos variables aleatorias $Z(x)$ y $Z(y)$ diferentes pero no independientes, y es precisamente su grado de correlación el encargado de reflejar la continuidad del fenómeno en estudio, de modo que el éxito de esta técnica es la determinación de la función de la correlación espacial de los datos, su estimador el kriging, tiene como objetivo encontrar la mejor estimación posible a partir de la información disponible.

2.2 Análisis Exploratorio de Datos Espaciales – AEDE

El Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) es un conjunto de técnicas destinadas a detectar esquemas de asociación espacial, concentraciones locales y regímenes espaciales presentes en un conjunto de datos para que las características de localización resulten esenciales.

Similarmente son conceptos y estimadores de la Estadística Clásica, los mismos que son;

2.2.1 Medidas de Tendencia Central

a) Media de la muestra

Promedio numérico de los datos regionalizados;

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad [1]$$

b) Mediana de la muestra

El propósito de la mediana de la muestra es reflejar la tendencia central de la muestra, de manera que no esté influida por los valores extremos. Dado que las observaciones de una muestra son x_1, x_2, \dots, x_n , acomodados en orden de magnitud creciente, la mediana de la muestra es;

$$\bar{x} \begin{cases} x_{(n+1)/2}, & \text{si } n \text{ es impar;} \\ \frac{1}{2}(x_{n/2} + x_{n/2+1}), & \text{si } n \text{ es par.} \end{cases} \quad [2]$$

c) Moda

Es el valor de la variable que más veces se repite y en consecuencia, en una distribución de frecuencias, es el valor de la variable que viene afectada por la máxima frecuencia de la distribución.

2.2.2 Medidas de Dispersión

a) Varianza de la muestra

Se define como la media aritmética del cuadrado de las desviaciones de los valores de la variable de los valores de la variable a la media aritmética;

$$s^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad [3]$$

b) Desviación estándar de la muestra

$$s = \sqrt{s^2} \quad [4]$$

c) Rango

$$x_{\max} - x_{\min} \quad [5]$$

2.2.3 Medidas de Localización

Son indicadores usados para señalar que porcentaje de datos dentro de una distribución de frecuencia se encuentran ubicados;

- 3 Cuartiles que dividen a la distribución en 4 partes iguales.
- 9 Deciles que dividen a la distribución en 10 partes iguales.
- 99 Percentiles que dividen a la distribución en 100 partes iguales.

a) Primer cuartil (Q1)

Aquel valor de una serie que supera el 25% de los datos y es superado por el 75% restante.

$$Q1 = L_i + \frac{\sum \frac{f_i}{4} - f_o}{f_i} \times L_c \quad [6]$$

Donde,

$\sum \frac{f_i}{4}$: Posición de Q1, la cual se localiza en la primera frecuencia acumulada que la contenga, siendo la clase de Q1, la correspondiente a tal frecuencia acumulada.

b) Segundo cuartil (Q2)

Coincide con el valor de la mediana, es decir el 50% de la serie.

c) Tercer cuartil (Q3)

El 75% de la distribución.

$$Q3 = L_i + \frac{\sum \frac{3f_i}{4} - f_o}{f_i} \times L_c \quad [7]$$

Donde,

$\frac{3\sum f_i}{4}$: Mediana de la serie

2.3 Correlación Espacial

Definida de manera simple la Autocorrelación Espacial (AE), es la concentración o dispersión de los valores de una variable en un mapa. Dicho de otra manera, la AE refleja el grado en que objetos o actividades en una unidad geográfica son similares a otros objetos o actividades en unidades geográficas próximas. Este tipo de autocorrelación prueba la primera ley geográfica de

Tobler (1970), de que todo está relacionado con todo lo demás, pero que las cosas cercanas están más relacionadas que las cosas distantes.

La Dependencia Espacial (DE) se produce cuando “el valor de la variable dependiente en una unidad espacial es parcialmente función del valor de la misma variable en unidades vecinas”. Es decir cuando la autocorrelación es substantiva y no existe un factor de aleatoriedad. En el análisis de datos agregados geográficamente es frecuente que los valores de las variables estén autocorrelacionadas espacialmente o sean espacialmente dependientes. La diferencia entre AE y DE está fundamentalmente en el uso de las palabras y que estriba en que el primer caso se hace simultáneamente referencia a un fenómeno y técnica estadística y la segunda a una explicación teórica.

Además de la autocorrelación y dependencia espaciales, se agrega otro concepto estadístico igualmente importante y que es la Heterogeneidad Espacial (HE). La HE se refiere a la variación de las relaciones entre variables en el espacio. En términos teóricos, la heterogeneidad espacial se debe a una variación real y substantiva que evidencia la existencia y la validez del contexto geográfico en la definición de un comportamiento social.

La HE se puede presentar debido a (1) simplemente un problema estadístico por consecuencia de la heteroscedasticidad en un modelo de regresión, o bien (2) al igual que la DE por la existencia de una variación espacial substantiva de la variable en cuestión; en este último caso igualmente el problema de la heteroscedasticidad estará presente.

La Heteroscedasticidad se refiere a la inconsistencia en los residuales de un análisis de regresión. Y en este respecto es que la DE y la HE tienen implicaciones tanto metodológicas como teóricas importantes. La implicación metodológica de ignorar la DE en el análisis de regresión es que todos los coeficientes serán ineficientes para mostrar la magnitud de la relación entre las variables. Por otro lado, la consecuencia de ignorar la HE es que, además de tener coeficientes ineficientes, las pruebas de significancia estadística sobre los mismos coeficientes también, serán cuestionables debido a la inflación en los errores estándar. La implicación teórico-social de la DE y la HE es que el contexto geográfico tienen un efecto parcial en el comportamiento humano.

2.3.1 La detección y medición de la Autocorrelación Espacial

La técnica más antigua y más típica para la detección y medición de la AE es el *Coefficiente de Morán*. El diseño es similar al coeficiente de correlación de Pearson (1896). Sus valores varían entre +1 y -1, en donde el primer valor significa una autocorrelación positiva perfecta (*perfecta concentración*), y el segundo significa una autocorrelación negativa perfecta (*perfecta dispersión*)¹; el cero significa un patrón espacial totalmente aleatorio. La diferencia entre los dos coeficientes, Morán y Pearson, se basa en que el primer caso, la asociación

¹ Visualmente hablando, una dispersión perfecta de valores sería el caso de los cuadrados en un tablero de ajedrez, en donde solo hay dos valores posibles y la distribución de los mismos es dispersa y simétrica.

de valores en el conjunto de datos es determinado por una matriz de distancias o contigüidad que predefine a los valores vecinos (los valores para el cómputo del coeficiente).

La fórmula del *Coficiente de Morán*² es:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=n} W_{ij}} \times \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=n} W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2}, \quad [8]$$

Donde;

n : Número de las unidades, es decir las áreas o puntos en el mapa.

W_{ij} : Matriz de distancias que definen las áreas o puntos geográficos i y j son o no vecinos.

Este coeficiente de Morán se sujeta a una prueba de significancia estadística de valores Z , es decir, bajo el supuesto de una distribución normal.

2.4 Variograma Experimental

Se denomina variograma experimental a aquel que es obtenido por estimación a partir de los datos de una muestra. El estimador más común se basa en el método de los momentos, puede escribirse como sigue:

Donde,

$$2\gamma = \frac{1}{|N(h)|} \sum_{N(h)} Z((x_i) - Z(x_j))^2, \quad h \in R^d, \quad [9]$$

$$N(h) = \{(x_i, x_j) : x_i - x_j = h; i, j = 1, \dots, n\} \Rightarrow |N(h)| \Rightarrow \text{Número de pares distinto.}$$

Por definición, el variograma pasa por el origen, esto es $2\gamma(0) = 0$. Sin embargo, frecuentemente el variograma exhibe una discontinuidad en el origen una característica denominada *efecto pepita* o “*nugget effect*” (Figura 2.)

² Aquí se muestra la fórmula para una variable continua, Ver Estadística Espacial, Dr. Ramón Giraldo Henao, pág. 16.

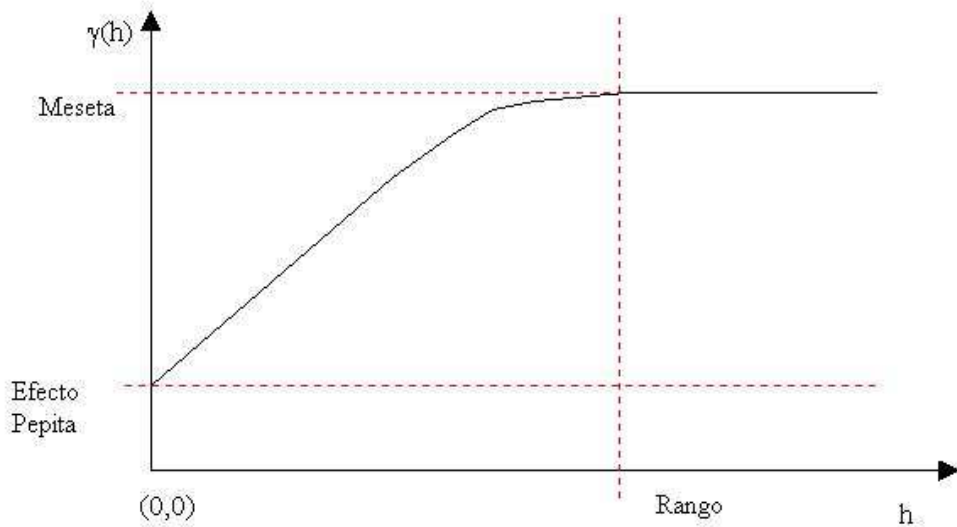


Figura 2. Ejemplo de Variograma (modelo esférico) mostrando sus características principales; efecto pepita, rango y meseta.

Este efecto puede deberse a dos posibles causas; errores de medición o microvariaciones del fenómeno estudiado, relacionándolo con la escala de observación. Si la microvariación es continua la única razón para el efecto pepita sería un error de medición, pero si no lo es, puede modelar el proceso a una escala muy pequeña como ruido blanco.

La meseta o “*sill*” se presenta cuando el variograma deja de crecer y alcanza un valor constante, dentro de cierta distancia. Este valor es simplemente la varianza *a priori* de la función aleatoria. En estos casos, la covarianza existe y el proceso es estacionario de segundo orden.

A medida que la separación h entre dos puntos aumenta, la correlación entre ambos puntos, típicamente decrecerá. A un cierto valor de h la correlación se hace prácticamente nula y más allá este valor se puede decir que los puntos no están correlacionados. A esta distancia se le llama rango.

A menudo la correlación espacial entre puntos del espacio no es igual en todas las direcciones. Cuando ocurre lo anterior, se tiene un proceso anisotrópico y el variograma no es sólo función de la distancia h sino que también de la dirección en la que h crece. Se pueden distinguir entre dos tipos de anisotropía, geométrica y zonal.

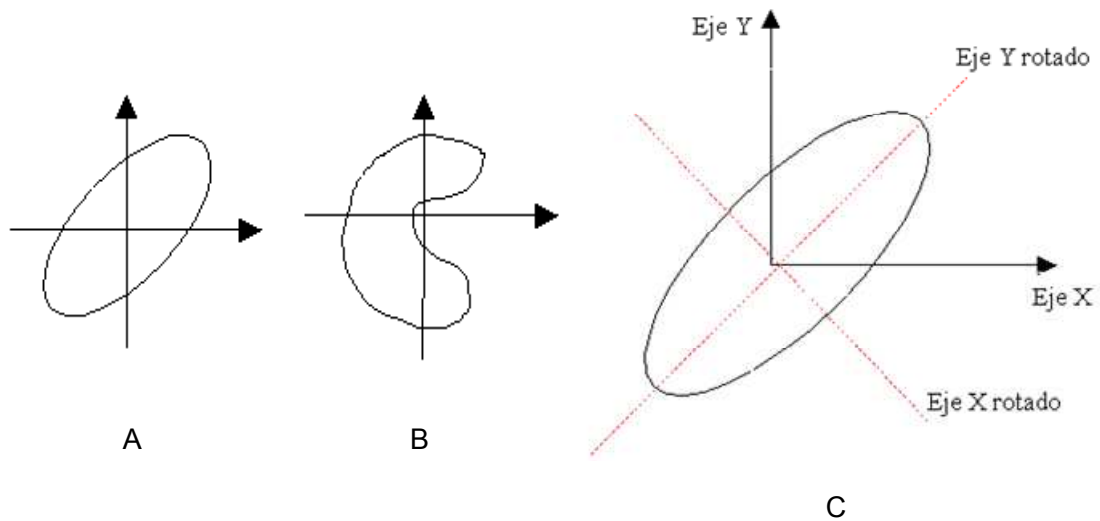


Figura 3. Gráficos direccionales que muestran una variación espacial en función de la dirección.

Un conocimiento previo del fenómeno bajo estudio puede ayudar bastante en el análisis de la anisotropía. En el caso de cultivos agrícolas o forestales a menudo se pueden determinar patrones reconocibles, en ciertas orientaciones, debido a las líneas de regadío o de plantación. Si se detecta anisotropía geométrica se puede tratar de controlar mediante una transformación de coordenadas como se muestra en la Figura 3.

Una vez que se ha obtenido el variograma experimental y se ha estudiado su comportamiento, el paso siguiente es encontrar algún modelo paramétrico que ajuste adecuadamente los datos muestrales. En general, los modelos disponibles se aplican sobre procesos isotrópicos dado que la anisotropía puede ser tratada con transformaciones geométricas. Los modelos más comunes pueden ser agrupados dentro de tres clases; modelos de transición, modelos sin meseta y modelos de efecto pepita puros.

2.5 Modelos de Transición

2.5.1 Modelo Esférico

$$\gamma(h) = c \times \left[1.5 \frac{|h|}{a} - \left(0.5 \frac{|h|}{a} \right)^3 \right] \quad \text{si } |h| \leq a, \quad c \text{ en otro caso} \quad ,$$

[10]

Donde a es el rango y c es la meseta o varianza. Este modelo tiene un comportamiento lineal en el origen y alcanza la meseta a una distancia igual al rango a . Si se asume estacionariedad de segundo orden la relación entre el variograma estandarizado y el correlograma tiene la forma que se muestra en la figura 3.

2.5.1 Modelo Exponencial

$$\gamma(|h|) = c \times \left[1 - e^{-\frac{3|h|}{a}} \right], \quad [11]$$

Donde c es la meseta o varianza y a es prácticamente el rango, esto es, la distancia en la que el valor del variograma alcanza el 95% del valor de la meseta. El modelo es asintótico y tiene un comportamiento lineal en el origen (Figura 3.).

2.5.2 Modelo Gaussiano

$$\gamma(|h|) = c \times \left[1 - e^{-\frac{3|h|^2}{a^2}} \right], \quad [12]$$

Donde c es la meseta o varianza y a es prácticamente el rango (valor al 95% de la meseta). Este modelo también alcanza asintóticamente la meseta y tiene la forma típica de la curva Gaussiana (Figura3.).

2.5.3 Modelo Potencial

$$\gamma(|h|) = c \times |h|^a, \quad [13]$$

Donde c es la varianza positiva y a es una potencia entre 0 y 2. Este modelo es de interés debido a que presenta una variedad de formas al variar el valor de a (Figura3.).

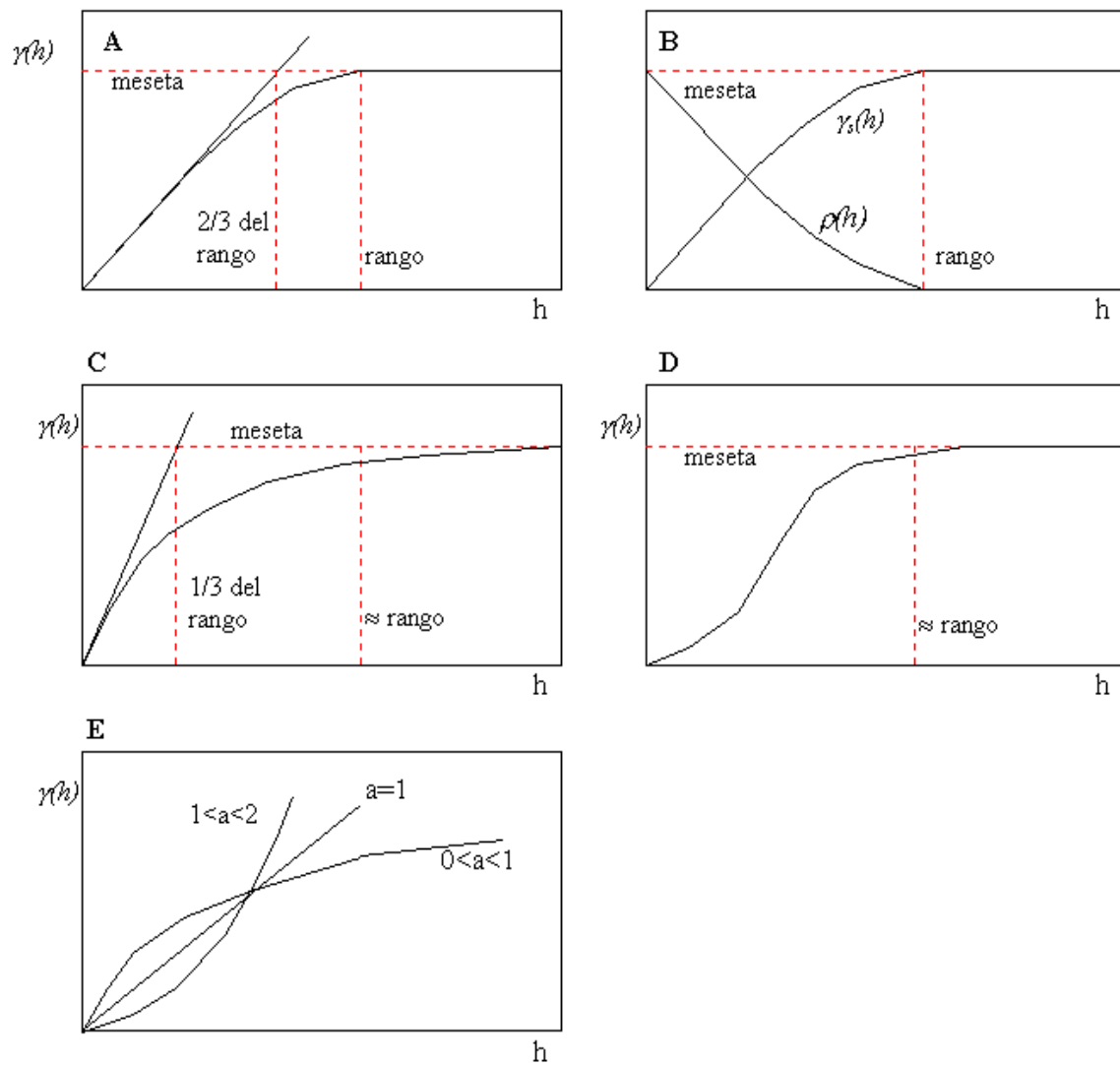


Figura 4. (A) Modelo Esférico, (B) Relación entre el variograma $\gamma(h)$ y el correlograma $\rho(h)$, (C) Modelo Exponencial, (D) Modelo Gaussiano y (E) Modelo Potencial.

2.6 Modelos de Efecto Pepita Puros

Son modelos que asumen un comportamiento constante. La discontinuidad en el origen sigue un modelo discontinuo de transición que asigna el valor 0 cuando $|h|$ es igual a 0 y el valor de la discontinuidad c en cualquier otro caso.

2.6.1 Análisis de anisotropía

Conviene aquí realizar un análisis sobre el comportamiento de la variabilidad del atributo en estudio. Se conoce que el semivariograma describe las características de continuidad espacial de la variable regionalizada en una dirección, pero este comportamiento puede variar según la dirección que se analice. Se exige por este motivo un análisis del comportamiento de la continuidad en distintas direcciones, *el Análisis de Anisotropía*.

Cuando el semivariograma calculado en diferentes direcciones (norte-sur, este-oeste, y en direcciones intermedias de 45° o de 22.5°, con tolerancia de 22.5°), muestra similar comportamiento, se dice que el fenómeno es *Isotrópico*, cuando muestran diferentes comportamientos es *Anisotrópico*. Los tipos de anisotropías más comunes son la Geométrica y la Zonal.

2.6.1.1 Anisotropía Geométrica

Está presente cuando los semivariogramas en diferentes direcciones tiene la misma meseta pero distintos alcances (Figura 5).

2.6.1.2 Anisotropía Zonal

Está presente cuando los semivariogramas en diferentes direcciones tiene diferentes mesetas y alcances (Figura 5).

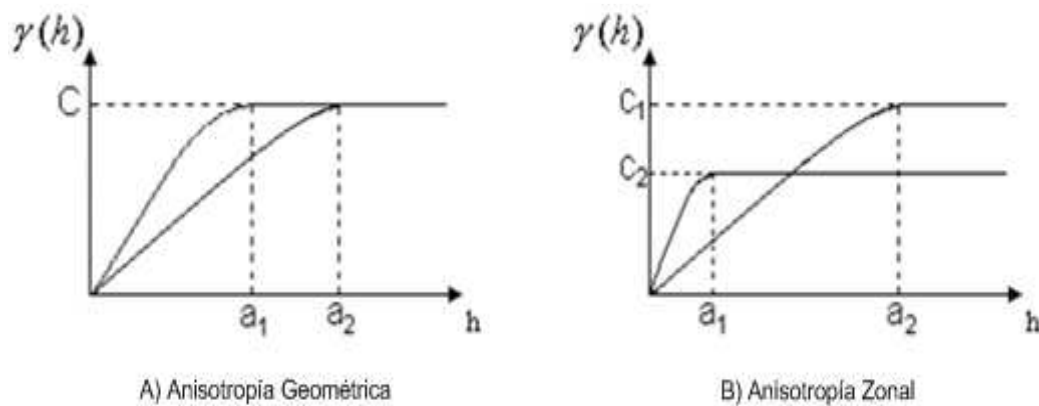


Figura 5. Anisotropía.

En estos casos conviene realizar transformaciones de coordenadas con el objetivo de obtener modelos Isotrópicos.

2.7 Efecto Proporcional

Cuando en el cálculo del semivariograma se detecta que existe una relación lineal entre el valor medio de las muestras usadas en el cálculo de cada $\gamma(h)$ y la desviación estándar correspondiente, se dice que existe un efecto proporcional (heterocedasticidad). Este efecto se puede detectar ploteando los valores de X_m contra σ , es decir, que el coeficiente de variación (σ / X_m) sea aproximadamente constante, ocurre cuando los datos presentan una distribución (figura 6.). La solución a este problema, consiste en dividir cada valor del semivariograma local por el cuadrado de la media local, y obtener lo que se conoce como semivariograma relativo.

$$F(h) = \gamma(h) / X_{m^2}(h), \quad [14]$$

$$F(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \frac{[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2}{[(Z(x_i) - Z(x_i + h))/2]^2}, \quad [15]$$

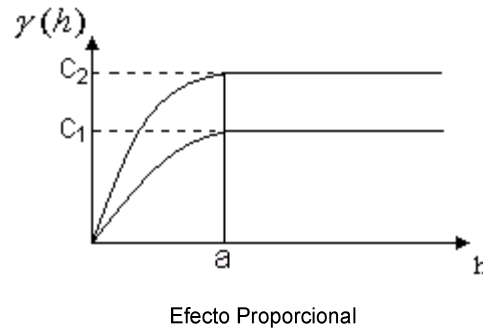


Figura 6. Anisotropía Efecto Proporcional.

Puede ser calculado usando los pasos anteriormente presentados para el cálculo de los semivariogramas tradicionales.

2.8 Problemas en el modelaje de semivariogramas

Los problemas más comunes al modelar semivariogramas que complican este proceso se presentan en los siguientes casos:

- 1.- La anisotropía geométrica está presente: Indica que los semivariogramas direccionales tienen la misma meseta pero diferentes alcances, ésta puede ser corregida a través de una transformación lineal de coordenadas que permita reducir una elipse a un círculo.
- 2.- La anisotropía zonal está presente: Indica que tanto las mesetas como los alcances son diferentes para los semivariogramas direccionales, puede ser corregido separando el semivariograma en sus componentes isotrópicos horizontal y anisotrópico vertical.
- 3.- La tendencia de los datos está presente: Indica que los valores medidos aumentan o disminuyen dramáticamente en la zona estudiada con el aumento de la distancia. Esto puede ser resuelto aplicando polinomios a la ecuación del semivariograma, es decir un análisis de tendencia.
- 4.- El efecto proporcional está presente: Indica que la desviación estándar local es proporcional al cuadrado de la media local y que los datos presentan una distribución lognormal, puede ser resuelto dividiendo cada valor del semivariograma local por el cuadrado de la media local, es decir usando semivariogramas relativos.
- 5.- Existencia de estructuras anidadas: Indica que diferentes procesos operan a diferentes escalas, como por ejemplo alguno o todos los siguientes: A muy

pequeñas distancias la variabilidad puede estar presente debido a cambios de una composición mineral a otra. A pequeñas distancias la variabilidad puede estar presente debido a errores. A grandes distancia la variabilidad puede estar presente debido a casos transitorios de desgaste mineral. El cual puede ser resuelto aplicando varios modelos simultáneamente.

6.- Existencia de efecto hueco: Indica que muy pocos pares están disponibles para la comparación a una distancia específica. Y puede ser resuelto recuperando más casos para la distancia definida.

7.- La periodicidad está presente: Indica que el comportamiento del semivariograma repite por sí mismo periodicidades, por ejemplo; El valor de la meseta puede aumentar o disminuir sistemáticamente, o un caso en que los valores son tomados alternativamente a través de diferentes estratos, como piedras areniscas, esquistos, etc. Esto puede ser resuelto si es un problema real y no un artificio del análisis, la periodicidad puede ser también un fenómeno real mostrado por zonas ricas y pobres repetidas a espacios similares.

2.9 Estimación

Todo lo expresado hasta aquí tiene un único objetivo, conocer la información disponible para realizar estimaciones, es decir, estimar valores desconocidos a partir, no sólo de los conocidos, sino también de su estructura de continuidad espacial. A diferencia de otra gran variedad de métodos de interpolación que no utilizan estas características y que se emplean actualmente con diferentes fines. Sin pretender hacer una comparación profunda de las características y ventajas de éstos métodos, veamos algunos ejemplos.

2.10 Triangulación

Este método consiste en ajustar un plano que pase por las tres muestras más cercanas y adyacentes a la localización que se desea estimar.

La ecuación del plano es:

$$Z = ax + by + c, \quad [16]$$

Cada muestra tiene coordenadas (x, y, z) que representan el valor muestreado. Con el objetivo de obtener la ecuación del plano que pase por las tres muestras se construye el siguiente sistema de ecuaciones lineales:

$$\begin{aligned} ax_1 + by_1 + c &= z_1 \\ ax_2 + by_2 + c &= z_2 \\ ax_3 + by_3 + c &= z_3 \end{aligned}$$

y así obtenemos los coeficientes a, b y c, entonces el valor de z en cualquier localización dentro del triángulo correspondiente se puede obtener sustituyendo sus coordenadas en la ecuación de [16].

2.11 Inverso de la distancia

Este método se basa en una combinación lineal dada por:

$$Z(x) = \sum \lambda_i Z(x_i), \quad [17]$$

En la que λ_i son los pesos proporcionales al inverso de la distancia euclidiana entre las localizaciones muestreadas y la que se desea estimar, estos pesos son calculados por:

$$\lambda_i = (1/d_i) / \sum 1/d_j, \quad [18]$$

Donde: d_i es la distancia entre la localización a estimar y la localización de la muestra i. Generalizando obtenemos:

$$Z(x) = \frac{\left[\sum_i^n 1/d_i Z(x_i) \right]}{\sum_i^n \frac{1}{d_j}}, \quad [19]$$

Se pueden obtener distintos estimadores si escribimos la ecuación anterior como:

$$Z(x) = \left[\sum_i^n \frac{1}{d_i} Z(x_i) \right] / \sum_i^n \frac{1}{d_i}, \quad [20]$$

Estas dos técnicas de estimación utilizan directamente los valores muestreados en el proceso de estimación y refieren pesos de acuerdo a las distancias entre los datos, sin tener en cuenta la continuidad espacial de la información disponible.

2.12 Kriging

2.12.1 Definición

Se define como un método geoestadístico que considera características espaciales de autocorrelación de variables regionalizadas, debiendo existir una cierta continuidad espacial, o que permita que los datos muestreados obtenidos,

puedan ser usados para parametrizar una estimación de puntos donde el valor de la $v.r.^3$ se desconoce.

Utiliza distancias ponderadas de estimación por medias móviles, con los adecuados pesos obtenidos a partir de un variograma representativo de la media de las diferencias del cuadrado de valores irregularmente distribuidos de Z_i en intervalos de distancias especificadas (rezagos).

Se dispone de los valores muestreados $Z(x_i)$, $i = 1, \dots, n$ y deseamos estimar un valor de la característica observada en el panel $Z(v)$ por una combinación lineal de $Z(x_i)$.

$$Z(v) = \sum \lambda_i Z(x_i), \quad [21]$$

Donde $Z(v)$ es el valor estimado y λ_i son los pesos del krigeaje, de modo que los λ_i sean obtenidos de tal forma que proporcione un estimador insesgado $E[Z'(v) - Z(v)] = 0$ y de varianza mínima $Var[Z'(v) - Z(v)]$. La geoestadística exige como primera etapa y fundamental el conocimiento del comportamiento estructural de la información, es decir, se debe contar además, con el modelo del semivariograma teórico que refleje fielmente las características de variabilidad y correlación espacial de la información disponible, discutido anteriormente.

En el caso minero, particularmente, por la forma en que se presenta la información, de estar condicionada en una dirección por diversos parámetros, se debe obtener modelos de variogramas verticales y horizontales, el primero, que caracteriza la correlación espacial en esta dirección, es decir a través de los estratos, y el segundo en los estratos, obteniéndose un modelo conjunto para la estimación de bloques. Los bloques a estimar son definidos con dimensiones convenientes a la unidad de selección minera, teniendo en cuenta el espaciamiento entre muestre y el alcance estructural, es decir, la distancia hasta la cual las muestras se encuentran correlacionadas espacialmente. Teniendo en cuenta las hipótesis de la geoestadística se pueden obtener las ecuaciones del krigeaje para los siguientes casos, Función Aleatoria Estacionaria de Esperanza Nula o Conocida, Método conocido como Krigeaje Simple, para una Función Aleatoria Estacionaria de Esperanza Desconocida y una Función Aleatoria Intrínseca, Método conocido para los dos últimos casos como Krigeaje Ordinario.

A continuación se presenta el sistema Krigeaje para estos casos:

2.12.2 Krigeaje Simple

$$\text{Estimador: } Z(v) = \sum \lambda_i Z(x_i) + m(1 - \sum \lambda_i), \quad [22]$$

³ Variable Regionalizada de Estudio: $v.r.$

$$\text{Sistema: } \sum \lambda_i C(x_i, x_j) = C(x_j, v) \quad j = 1, \dots, n, \quad [23]$$

$$\text{Varianza del Kriging: } \sigma^2 = C(v, v) - \sum \lambda_i C(x_i, v), \quad [24]$$

2.12.3 Kriging Ordinario

En términos de la covarianza;

$$\text{Estimador: } Z(v) = \sum \lambda_i Z(x_i), \quad [18]$$

$$\text{Sistema: } \sum \lambda_i C(x_i, x_j) - \mu = C(x_j, v) \quad i, j = 1, \dots, n, \quad [25]$$

$$\text{Varianza de Kriging: } \sigma^2 = C(v, v) - \sum \lambda_i C(x_i, v) + \mu, \quad [26]$$

En términos del semivariograma

$$\text{Estimador: } Z(v) = \sum \lambda_i Z(x_i), \quad [21]$$

$$\text{Sistema: } \sum \lambda_i (x_i, x_j) + \mu = (x_j, v) \quad j = 1, \dots, n, \quad [27]$$

$$\text{Varianza de Kriging: } \sigma^2 = \sum \lambda_i (x_i, v) - \gamma(v, v) + \varpi, \quad [28]$$

En todos los casos el sistema puede ser escrito matricialmente de la forma, $K\lambda = C$, siendo necesario hacer algunas aclaraciones:

1.- El Sistema Kriging tiene solución única y solo sí la matriz de K es definida estrictamente positiva, es decir: $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j C(x_i, x_j) \geq 0$, o en términos de

variograma; $-\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j) \geq 0$, y no existen datos con las mismas coordenadas.

2.- El Kriging, el cual es un estimador imparcial, es también un interpolador exacto, es decir, para iguales soportes de observación $V_\alpha (\alpha = 1, \dots, n)$ y de estimación V, los valores real Z_α y estimado Z' son iguales, además de que la varianza de kriging σ_k^2 es cero.

3.- Las expresiones del sistema de kriging y de la varianza de kriging son completamente generales, es decir, son aplicables cualquiera sean los soportes de observación, estimación y el modelo estructural empleado.

4.- El Sistema Kriging y la varianza de kriging dependen sólo del modelo estructural $C(h)$ o $\gamma(h)$ obtenido y de la geometría del soporte de observación. Esta característica da la posibilidad de que la varianza de kriging

sea usada cuidadosa y convenientemente para el estudio de redes y la clasificación de recursos.

En el proceso de krigeaje, la matriz que se obtiene tiene dimensiones de hasta $(N + 1) \times (N + 1)$, cuando existen muchos datos en el área de influencia definido por los alcances esta matriz es grande, lo que implica tiempo para la solución del sistema, sin embargo excepto para las localizaciones vecinas de la localización a estimar, los pesos son ceros o próximos a cero, conocido como el Efecto Pantalla del Krigeaje.

2.13 Krigeaje Universal (KU)

Uno de los problemas encontrados al modelar semivariogramas, es la existencia de tendencia en los datos, es decir, que los valores medidos aumentan o disminuyen en alguna dirección en el área de estudio. Este es el caso de un fenómeno no estacionario, lo que hace imposible la aplicación del krigeaje presentado hasta aquí. Con el objetivo de solucionar este problema Matheron⁴ propuso dos aproximaciones, primero el Krigeaje Universal (KU), que consiste en extraer de la variable original $Z(x)$ la parte no estacionaria por medio de una componente determinística $m(x)$ que representa la derivada, hasta encontrar la parte estacionaria del fenómeno, obteniéndose un componente estocástico $R(x)$ relacionados por la siguiente expresión:

$$Z(x) = m(x) + R(x), \quad [29]$$

Para el componente determinístico se sugiere utilizar una función polinomial de las coordenadas para modelar la tendencia, es decir:

$$m(x) = \sum_{l=0}^K a_l f^l(x), \quad [30]$$

Donde a_l son coeficientes y f^l es la función que describe la tendencia. Así pueden obtenerse simples, lineales, cuadráticas, etc. Para una derivada simple el KU se reduce al Krigeaje Ordinario. Obteniéndose finalmente el Sistema Krigeaje Universal.

⁴ Matheron, G., 1970, "La Théorie des Variables Regionalisées et ses Applications" Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, Fascicule 5, Ecole de Mines de Paris, 212 p.

$$\sum_{\beta=1}^N \lambda_{\beta} \gamma(x_{\alpha}, x_{\beta}) + \sum_{l=0}^K a_l f^l(x_{\beta}) = \gamma(x_{\alpha}, x_o) , [31]$$

$$\sum_{\alpha=1}^N \lambda_{\alpha} f^l(x_{\alpha}) = f^l(x_o)$$

Con varianza de estimación:

$$\sigma_{KU}^2 = \sum_{\alpha=1}^N \lambda_{\alpha} \gamma(x_{\alpha}, x_{\beta}) + \sum_{l=0}^K a_l f^l(x_o) , [32]$$

Para la interpolación de Kriging o krigeaje, es necesario conocer previamente cuatro aspectos básicos acerca de los datos de elevación a interpolar; **a)** el semivariograma, **b)** el efecto nugget, **c)** la anisotropía y **d)** la presencia o no de un componente estructural o “*drift*”, el software de **SAS**, cuenta con una versión muy completa de la aplicación de la técnica Kriging, en la cual es posible definir los parámetros de interpolación de estos cuatro elementos básicos, determinados mediante la construcción de un semivariograma experimental.

El semivariograma experimental es posible indicar en el *Procedure Variogram*, el modelo que ajusta la variación de la semivarianza máxima entre pares de puntos conocida como *sill*, el *rango* del semivariograma y el tipo de variación (Isotrópica o Anisotrópica).

Mediante el ajuste de un semivariograma experimental, también es posible determinar si existe un EFECTO NUGGET en los datos. Si bien por definición en cualquier modelo de semivariograma (0)=0, cuando existe un EFECTO NUGGET en los datos, el límite de (h) cuando h tiende a cero es diferente de cero. Para una variable continua como la elevación, el EFECTO NUGGET se puede presentar como producto de errores de medición y variaciones sobre distancias mucho más pequeñas que los intervalos de muestreo utilizados.

Por otra parte, con el semivariograma experimental es posible determinar la presencia de un componente estructural o tendencia de variación conocida como “DRIFT”. En datos de elevación la presencia de un “DRIFT” responde a si el terreno presenta una pendiente general, lo que sucedería si la unidad de manejo se encuentra en la ladera de una montaña; si por el contrario la unidad se ubica en una zona plana se diría entonces que no existe un DRIFT en los datos.

Una gran parte de la evidencia de dichas tendencias está contenida en el semivariograma, donde la presencia de un “DRIFT” produce una curva parabólica suave, cóncava hacia arriba cerca del origen y que puede ser ajustada con un modelo gaussiano.

De acuerdo a lo anterior, Kriging tiene dos formas para ser aplicado, como “ORDINARY KRIGING” o “UNIVERSAL KRIGING”. El primero asume que la variación en los valores está libre de cualquier componente estructural

(DRIFT). El segundo asume que dicha tendencia de variación espacial está presente en los datos. Esta puede ser ajustada de dos formas: con un modelo lineal o con uno cuadrático.

2.14 Diseño de Clusters

El Análisis Cluster, también conocido como Análisis de Conglomerados, Taxonomía Numérica o Reconocimiento de Patrones, es una técnica estadística multivariante cuya finalidad es dividir un conjunto de objetos en grupos de forma que los perfiles de los objetos en un mismo grupo sean muy similares entre sí (cohesión interna del grupo) y los de los objetos de clusters sean distintos (aislamiento externo del grupo).

Existen dos grandes tipos de análisis de clusters: aquéllos que asignan los casos a grupos diferenciados que el propio análisis configura, sin que unos dependan de otros, se conocen como *no jerárquicos* (por ejemplo algoritmos de las H-medias y de las K-medias), y aquéllos que configuran grupos con estructura arborescente, de forma que clusters de niveles más bajos van siendo englobados en otros niveles superiores, se denominan *jerárquicos* (por ejemplo Lance-Williams). Los métodos no jerárquicos pueden, a su vez, producir *clusters disjuntos* (cada caso pertenece a un y sólo un cluster), o bien *solapados* (un caso puede pertenecer a más de un grupo).

En el análisis cluster, el concepto de *valor teórico* es el conjunto de variables que representan las características utilizadas para comparar objetos. Dado que el valor teórico del análisis de clúster incluirá todas aquellas variables que serán evaluadas en las Unidades Biofísica y Tecnoestructural, el objetivo será la comparación de objetos o pesos, basándose en el valor teórico, no en la estimación del valor teórico en sí mismo.

2.15 Medición de la Similitud

Dada una matriz fila o columna de dimensión $n \times n$, $v: v = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ y $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$. La distancia euclidiana entre estas dos matrices; $d(v, w)$ es:

$$d(v, w) = \sqrt{(v_1 - w_1)^2 + (v_2 - w_2)^2 + (v_3 - w_3)^2 + \dots + (v_n - w_n)^2}$$

[33]

Y para aplicarlo a un espacio geográfico con n variables, la distancia euclidiana entre los puntos.

Por ejemplo, en el espacio, la distancia euclidiana entre n puntos p_1, p_2, \dots, p_n es:

$$d(p_1, p_2, \dots, p_n) = \sqrt{(x_{n1} - x_{m1})^2 + (y_{n1} - y_{m1})^2 + \dots + (z_{nk} - z_{mk})^2}$$

,

[34]

2.16 Métodos No Jerárquicos

Se usan para agrupar objetos, pero no variables, en un conjunto de k clusters ya predeterminado. No se tiene que especificar una matriz de distancias ni se tienen que almacenar las iteraciones. Todo esto permite trabajar con un número de datos mayor que en el caso de los métodos jerárquicos.

Se parte de un conjunto inicial de clusters elegidos al azar, que son los representantes de todos ellos; luego se van cambiando de modo iterativo. Se usa habitualmente el método de las k -medias.

2.16.1 Método de las k -medias

Es un método que permite asignar a cada observación el cluster que se encuentra más próximo en términos del centroide (media de la distribución). En general, la distancia empleada es la euclídea.

Pasos:

1. Se toma al azar k clusters iniciales.
2. Para el conjunto de observaciones, se vuelve a calcular las distancias a los centroides de los clusters y se reasignan a los que estén más próximos. Se vuelven a recalcular los centroides de los k clusters después de las reasignaciones de los elementos.
3. Se repiten los dos pasos anteriores hasta que no se produzca ninguna reasignación, es decir, hasta que los elementos se estabilicen en algún grupo.

Usualmente, se especifican k centroides iniciales y se procede al paso (2) y, en la práctica, se observan la mayor parte de reasignaciones en las primeras iteraciones.

2.16.2 Tablas de análisis de la varianza

El objetivo que se persigue al formar los clusters es que los centroides estén los más separados entre sí como sea posible y que las observaciones dentro de cada cluster estén muy próximas al centroide. Lo anterior se puede medir con el estadístico F de Snedecor:

$$F_{n,m} = \frac{\chi_n^2 / n}{\chi_m^2 / m} \quad [35]$$

Y equivale al cociente de dos distribuciones chi-cuadrado divididas entre sus grados de libertad.

El estadístico F se calcula así, como un cociente de *medias de cuadrados*. En el caso del análisis de cluster:

$$F = \frac{\textit{medias de cuadrados entre clusters}}{\textit{medias de cuadrados dentro de clusters}} \quad [36]$$

Si F mayor que 1, las distancias entre los centroides de los grupos son mayores que las distancias de los elementos dentro de los grupos. Esto es lo que pretende para que los clusters estén suficientemente diferenciados entre sí.

Se basa en semillas de conglomerado, agrupando en torno a ellas todos los objetos que caen dentro de una determinada distancia y cada objeto ya asignado no se considera para posteriores análisis.

CAPÍTULO III

GENERACIÓN DE LAS UNIDADES ESTRUCTURALES PARA ZONIFICACIÓN

3.1 Definición de Unidades de Estudio

3.1.1 Unidad Biofísica

La comprenden tres tipos de variables:

3.1.1.1 Variables Biogeoestructurales

Corresponden a los elementos físicos de la tierra integrados por: relieve, suelo, clima y vegetación de cada una de las áreas de estudio, organizados en un espacio e interrelacionados entre sí constituyendo una estructura definitiva.

3.1.1.2 Variables Hidroestructurales

La hidroestructura describe la influencia de las características y los requerimientos hídricos integrados dentro de una realidad espacial delimitada.

3.1.1.3 Variables Ambientales

Constituyen las condiciones ecológicas del escenario de los recursos naturales. La unidad ambiental determina las potencialidades de conservación presentes en el área de estudio.

3.1.2 Unidad Tecnoestructural

Representa los beneficios que ofrecen a un espacio geográfico los elementos tecnológicos existentes, considerando fundamentalmente la accesibilidad a la infraestructura radicada en el ordenamiento espacial de cada cantón.

La integración de estas unidades posibilita la identificación de zonas homogéneas biofísica y económica. Por otra parte el estudio de precios de la tierra, constituye el acercamiento al valor económico de la tierra del área de estudio.

El modelo plantea que en la determinación de zonas de valoración se establecerán clases o categorías de tierra bajo condiciones homogéneas tanto biogeoestructurales, hidroestructurales, ambientales y tecnoestructurales. El diseño de esta metodología geostatística está basado en el supuesto de que cada una de las variables ejerce una influencia individual sobre el valor de la tierra.

Para la ejecución del modelo de valoración es necesario definir los requerimientos de información, el modo de organizar la información y la manera de interrelacionar las unidades estructurales dentro del Proceso Geoestadístico de Valoración, los cuales se detallan a continuación:

- a) La escala de la cartografía temática recomendada para la Valoración de Tierras Rurales es de detalle, es decir 1:5.000. Debido a la limitada disponibilidad de esta información en el país, y a los altos costos que demanda la generación, uso y manejo de la información, se tomó la decisión de adoptar la escala 1:20.000 como escala de trabajo, excepcionalmente se ajustará la información de escalas menores como 1:25.000, 1:50.000 y 1:250.000.
- b) Los lineamientos cartográficos de la metodología de valoración son:

El Sistema de Proyección:	Universal Transversa de Mercator, UTM
Datum:	WGS 84
Zonas:	17SUR, 17NORTE y 18 SUR (Ecuador continental)

3.2 Escalas de Precisión

Escalas de trabajo 1:20.000

$$PRECISIÓN HORIZONTAL = \left[\frac{1}{4} \frac{mm}{m} \times E \right]$$

$$PRECISIÓN HORIZONTAL = \left[\frac{0.25mm}{1.000 \frac{mm}{m}} \times 20.000 \right]$$

$$PRECISIÓN HORIZONTAL = [0.00025m \times 20.000]$$

$$PRECISIÓN HORIZONTAL = 5m$$

Unidad Mínima Visible UMV

$$UMV = 5mm \times 5mm$$

Unidad Mínima Cartografiable UMC

Escalas de trabajo 1:20.000

$$UMC = 25mm^2 \times 400 \frac{m^2}{mm^2}; \text{ a escala } 1:20.000$$

$$UMC = 10.000m^2$$

Igual proceso se utilizó para determinar la UMC en otras escalas.

- c) Los datos geográficos de las variables de valoración han sido generados y almacenados en forma de capas temáticas en formato Feature class de ESRI para una Geodatabase Personal.
- d) La estructura de datos de las variables de valoración se han definido bajo parámetros ESRI para una Geodatabase Corporativa, según requerimientos del SIGTierras.

3.3 Selección y Definición de Variables de Valoración

Un paso importante en la construcción de un modelo es la elección de variables a incluir en el análisis, con el objeto de seleccionar las variables representativas y descartar a aquellas de menor importancia. Esta primera fase en el desarrollo de la metodología geoestadística de valoración constituyó un proceso participativo, el mismo que provocó en un inicio la pretensión de incluir un cúmulo de variables; tanto físicas como socioeconómicas, situación que podía conducir a desviar el objetivo de la valoración.

Para subsanar esta circunstancia se debió sustentar la inclusión o exclusión de las variables mediante análisis y discusión de cada una de las variables. Para desarrollar este proceso se manejó información cartográfica escala 1:50.000 disponible en el PRAT, información cartográfica existente en SIGAGRO a escala 1:50.000 y 1:200.000 e información generada a escala 1:5.000 y 1:20.000 con el objeto de contar con todas las variables identificadas durante este proceso.

El análisis y selección permitió la identificación de las siguientes variables: aptitud agropecuaria y forestal, susceptibilidad a movimientos en masa, susceptibilidad a erosión, susceptibilidad a inundación, necesidad de riego, conservación de la cuenca hidrográfica, integridad de paisaje, demanda sobre el recurso tierra, accesibilidad vial, accesibilidad a servicios sociales, disponibilidad de servicios básicos y accesibilidad al área urbana.

Para definir las variables y los indicadores de las dos unidades que se utilizaron durante el proceso geoestadístico de zonificación, se consideran criterios tanto físicos como económicos, factibles de ponderar en base a la importancia del efecto que cada variable ejerce sobre el valor de la tierra rural en el Ecuador.

El SIGAGRO, a través del Método de Concertación de Expertos realizó la jerarquización de cada una de las variables, esta evaluación se la realizó en base al análisis de un indicador específico para cada variable presente en el modelo, proporcionando así la completa conceptualización de las variables y el proceso de generación de variables derivadas de otras variables básicas dentro del proceso de valoración⁵.

La conceptualización de unidades posibilitará la identificación de zonas homogéneas biofísicas y económicas, base fundamental para el proceso de valoración. El siguiente cuadro presenta la clasificación de variables del modelo las cuales se definirán posteriormente por unidades.

Cuadro 1. Clasificación de variables del Modelo

UNIDADES	ORDEN	VARIABLES
UNIDAD BIOFÍSICA	1	PENDIENTE
	2	APTITUD AGROPECUARIA Y FORESTAL
	3	SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA
	4	SUSCEPTIBILIDAD A EROSIÓN
	5	SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIÓN
UNIDAD SOCIOECONÓMICA	1	DEMANDA SOBRE EL RECURSO
	2	ACCESIBILIDAD VIAL
	3	DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS BÁSICOS
	4	ACCESIBILIDAD AL ÁREA URBANA

3.3 UNIDAD BIOFISICA

3.4.1 Pendiente

a. Descripción

⁵ Ver Anexo 1: Esquema de Ponderación de Variables.

La pendiente o inclinación de un terreno, es la relación que existe entre el desnivel que se debe superar y la distancia horizontal que se debe recorrer. La distancia horizontal se la mide en el mapa. La pendiente se calcula como un ángulo medido desde el plano horizontal hacia el terreno, expresado en grados sexagesimales (0° a 90°) o como porcentaje (100 multiplicado por la tangente del ángulo, es así que un ángulo con pendiente de 45 grados es igual a 100 por ciento).

$$\text{Pendiente}(m) = \frac{\text{Diferencia de nivel (Altitud)}}{\text{Distancia Horizontal}}$$

$$\tan(\alpha) = \text{Pendiente del terreno } (m)$$

$$\% \text{Pendiente}(m) = \tan(\alpha) \times 100$$

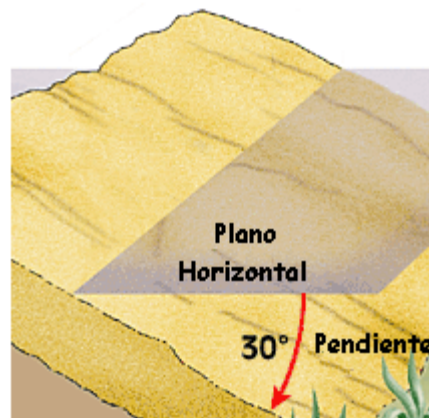


Figura 7. Ejemplo de Terreno con pendiente de 30°

El factor topográfico de la pendiente es un importante elemento primario para la caracterización del espacio físico en diferentes temáticas biofísicas, las cuales son muy necesarias y que conlleven al uso y aprovechamiento racional y sustentable del entorno natural al hombre.

b. Metodología

A partir de un DTM (Modelo digital del terreno, concretamente un modelo digital de elevación (MDE), ya que la variable a representar en el modelo es la cota o altura del terreno) (b), se determinaron las pendientes con la ayuda del software TNT mips, para luego agruparlas en las clases indicadas anteriormente por medio de una Geofórmula para su posterior edición y corrección topológica en ArcView y ArcGIS.

c. Clases y Rangos

Para la determinación de las clases y rangos de pendientes a partir del mapa de pendientes del terreno, se adoptó la Clasificación de Pendientes propuesta por del Programa MAG-PRONAREG-ORSTOM, 1983 la cual se resume en el cuadro 1.1

Cuadro 2. Clases, Rangos e Intervalos de Pendientes

CLASE	RANGO	INTERVALO
	%	Grado sexagesimal (Plano Vertical)
1	0 - 5	$0^\circ - 3^\circ$
2	5 - 12	$3^\circ - 7^\circ$

3	12 – 25	7° - 16°
4	25 –50	16° - 27°
5	50 –70	27° - 35°
6	>70	> 35°

Cuadro 3. Clases, Rangos y Descripción de Pendientes

CLASE	RANGO %	DESCRIPCIÓN
1	0-5	Pendiente débil
2	5-12	Pendiente suave
3	12-25	Pendiente moderada
4	25-50	Pendiente fuerte
5	50-70	Pendiente muy fuerte
6	>70	Pendiente abrupta

3.4.2 Aptitud Agropecuaria y Forestal

a. Descripción

Como ya fue mencionado, la metodología geoestadística, adoptada utiliza únicamente variables físicas, pendiente, suelo: textura, profundidad efectiva del suelo, pedregosidad, drenaje, y clima: temperatura, precipitación y déficit hídrico, las que se describen como sigue:

a.1 Pendiente

Característica importante en el uso y manejo de los suelos, resultante de dividir la diferencia de nivel entre dos puntos (alto y bajo) por las distancias horizontales entre ellos, expresado en porcentaje. El grado de pendiente puede determinar limitaciones ya sea de mecanización y riego o dificultades para el cultivo debido a la inclinación del terreno. Este factor determina las medidas de conservación y las prácticas de manejo necesarias para la preservación del suelo y agua. A medida que el terreno presenta más pendiente requiere de más manejo, incrementando los costos de mano de obra y equipo.

La caracterización de este elemento obedece a la agrupación en rangos que posibilite su comprensión y análisis, determinándose para el presente estudio seis clases de pendiente, detalladas en la variable pendiente, las mismas que fueron establecidas en el Inventario de Suelos realizado por PRONAREG – ORSTOM a nivel de país.

a.2 Suelos

Las propiedades del suelo ejercen una fuerte influencia en la forma en que el hombre usa la tierra. El suelo es un recurso irrecuperable y la presión existente sobre el uso de la tierra hace este recurso cada día más valioso. Es necesario entonces en cualquier programa de planificación examinar, no solo los sistemas actuales de explotación sino también cómo puede ser la mejor forma de manejarlo y usarlo.

a.3 Características de los factores del Suelo

En el presente estudio se toman las características mensurables del suelo principalmente físicas que se puedan ponderar, y que tengan efectos significativos sobre los cultivos o determinado uso que se le quiera dar a la tierra, que se expresan en función de criterios ajustados a las condiciones particulares del Ecuador y caracterizados en el inventario de los recursos naturales del país, realizados por instituciones estatales y seccionales, como: principalmente por el Ex-PRONAREG hoy SIGAGRO del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, el ex INERHI, el CEDEGE, CRM, CREA, entre otros.

- a) **Textura**, se refiere técnicamente a la clasificación de las partículas de acuerdo a su tamaño y la proporción en la que se encuentran. De acuerdo al tamaño las partículas se clasifican en: arena (2.0 a 0.05 mm), limo (0.05 a 0.002 mm), y arcilla (menos de 0.002 mm). Para caracterizar este elemento se agrupó las clases texturales, en cinco categorías:

Cuadro 4.Indicadores de textura

CLASE	SIGLA	CATEGORÍA	CLASE TEXTURAL
1	G	Gruesa	arenosa , arenoso franco
2	Mg	Moderadamente Gruesa	franco arenoso, franco limoso
3	M	Media	franco, limoso, franco arcilloso (< 35% de arcilla), franco arcillo arenoso, franco arcillo limoso
4	F	Fina	franco arcilloso (> a 35%), arcilloso, arcillo arenoso, arcillo limoso
5	Mf	Muy fina	arcilloso (> 60%)

- b) **Profundidad efectiva**, se define como profundidad efectiva del suelo al espesor de las capas del suelo (superficiales y subsuelo) en las cuales las raíces pueden penetrar sin dificultad, en busca de agua, nutrimentos y sostén. Su límite inferior está definido por capas u horizontes compactos, por la cantidad de materiales gruesos (grava, piedras y/o roca), presencia

de la capa freática alta, concentraciones de elementos o minerales tóxicos (salinidad, carbonatos), que son limitantes para el desarrollo de las raíces.

La profundidad efectiva del suelo se mide en centímetros de manera perpendicular a la superficie terrestre. Para la caracterización de las unidades edafológicas se agrupó cuatro clases de profundidad efectiva, las mismas que se presentan en el Cuadro 3.2:

Cuadro 5. Indicadores de profundidad efectiva

CLASE	SIGLA	RANGO (cm)	DESCRIPCIÓN
1	s	0 – 20	Superficial
2	pp	21 – 50	Poco profundo
3	M	51 – 100	Moderadamente profundo
4	P	>100	Profundo

c) **Pedregosidad**, es el contenido de piedras y rocas que interfieren en las labores de labranza, crecimiento de raíces y el movimiento de agua. Se propone cinco clases en función del porcentaje de piedras que cubre a la unidad cartografiada.

Cuadro 6. Indicadores de pedregosidad

CLASE	SIGLA	DESCRIPCIÓN	RANGO (%)
1	s	Sin o muy pocas piedras	<10
2	p	Con pocas piedras	11-25
3	fr	Con frecuentes piedra	26-50
4	a	Con abundantes piedras	50-75
5	ma	Pedregoso y/o rocoso	> 75

d) **Drenaje**, es la rapidez con que el agua se desplaza, ya sea por escurrimiento superficial o por su movimiento a través del perfil hacia espacios subterráneos. Al drenaje se lo agrupó en cuatro clases:

Cuadro 7. Indicadores de drenaje

CLASE	SIGLA	DESCRIPCIÓN
1	E	Excesivo
2	B	Bueno
3	M	Moderado
4	Md	Mal drenado

- **Excesivo:** El agua se elimina del suelo rápidamente, ya sea por que posee texturas gruesas (arenosa) o bien pendientes escarpadas y expuestas, es decir sin cobertura vegetal.
- **Bueno:** El agua se elimina del suelo con facilidad pero no con rapidez.
- **Moderado:** El agua se elimina del suelo con cierta lentitud, de modo que el perfil permanece saturado durante periodos cortos pero apreciables.
- **Mal drenado:** El agua del suelo se elimina tan lentamente que la capa freática permanece cerca a la superficie o sobre ésta la mayor parte del tiempo.

a.4 Clima

En general el clima de una localidad está definido por las estadísticas a largo plazo de los caracteres que describen el tiempo de esa localidad, como: temperatura, humedad, viento y precipitación, entre otros. En climatología se denomina tiempo al estado de la atmósfera en un lugar y momento determinados. Así pues, el clima de una región resulta del conjunto de relaciones atmosféricas que se presentan típicamente a lo largo de los años.

La importancia del clima es tan elevada y alcanza a tantos aspectos de la vida humana, que su consideración resulta imprescindible en los estudios del medio biofísico que abarquen zonas con distintos climas, como es el caso de la clasificación de tierras. Por otra parte, el clima es uno de los factores determinantes en el tipo de suelo y de vegetación; e influye por lo tanto, en la utilización de la tierra.

a.5 Precipitación

Cantidad de agua caída en una zona determinada, ya sea en forma de lluvia, nieve, granizo o rocío, desde las nubes a la superficie de la tierra.

El término precipitación es utilizado para determinar la caída de agua, tanto en estado sólido como en estado líquido. Se mide en alturas de precipitación, su

unidad es el milímetro que equivale a la altura obtenida por la caída de un litro de agua sobre la superficie de un metro cuadrado.

a.6 Déficit Hídrico

Definida como la variable que resulta de la comparación de la evapotranspiración potencial y de la precipitación permite determinar, periodos o valores absolutos de déficit de agua para el aprovechamiento de especies vegetales. Para el presente estudio se realizó una categorización de la humedad en función de la precipitación y del déficit hídrico.

Cuadro 8. Indicadores de las zonas de humedad mediante la interacción precipitación – déficit hídrico

SIGLA	ZONAS DE HUMEDAD	PRECIPITACIÓN (mm)	DÉFICIT HÍDRICO (mm)
MS	Muy Seca	< 500	> 850
MS	Muy Seca	350 - 800	600 – 800
S	Seca	500 - 1300	500 – 850
S	Seca	700 - 1000	350 – 600
H	Húmeda	600 - 1500	250 – 500
H	Húmeda	800 - 1500	150 – 350
H	Húmeda	800 - 1200	50 – 150
MH	Muy Húmeda	1500 - 3000	<250
MH	Muy Húmeda	1000 - 1500	<50

a.7 Temperatura

La temperatura es el elemento climático que indica el grado de calor o frío sensible en la atmósfera, teniendo como fuente generadora de dicho calor el sol. La tierra no recibe igual energía solar en todas sus partes, por lo tanto hay variación de temperatura y esta es dada por muchas causas: la altitud, distancia al mar, la latitud, vegetación, diferencia de temperatura del día y noche, hora del día, época del año y otros factores.

Cuadro 9. Indicadores de las zonas de temperatura

SIGLA	ZONAS DE TEMPERATURA	TEMPERATURA (°C)
C	Cálida	> 21
T	Templada	14 – 21
F	Fría	10 – 14
MF	Muy Fría	< 10

La Aptitud Agropecuaria y Forestal, fue desarrollada por el PRONAREG y adoptada por el Sistema de Información Geográfica para el Sector Agropecuario (SIGAGRO), para clasificación de Tierras aplicable en el territorio ecuatoriano. Adicionalmente con el objeto de clasificar y certificar la aptitud agropecuaria y forestal, se realizó una revisión de diferentes sistemas de clasificación que han sido utilizados en el país.

Con base en estas revisiones practicadas y con la participación del equipo multidisciplinario con el que cuenta la institución, se obtuvo una metodología que combina algunos principios, conceptos y procedimientos de los sistemas o esquemas del PRONAREG.

El esquema metodológico propuesto, parte de los siguientes elementos conceptuales:

- Ecuador es un país que a pesar de tener una pequeña extensión territorial, cuenta con gran diversidad de condiciones biofísicas.
- Todas las tierras del país son factibles de clasificación, con excepción de las áreas que han sido sujetas de urbanización en los diferentes asentamientos humanos.
- Se diferencian rangos en los niveles de los factores limitantes.
- Las clases y subclases de aptitud agropecuaria y forestal, presentan un ordenamiento de mayor a menor intensidad de uso posible.
- Como factores que limitan la utilización de las tierras, se han considerado aquellos que afecten directamente a los usos agropecuarios y forestales en forma permanente en cuanto a su crecimiento, manejo y conservación; de fácil medición o estimación, como son: el suelo, pendientes y clima.

La aptitud se determinará para unidades de tierras, definidas y cartografiadas como porciones de territorio, diferenciables a través de un conjunto de características – cualidades, las cuales le confieren una relativa homogeneidad. Las características – cualidades, que diferencian y permiten la cartografía de

unidades de tierras, constituyen, las condiciones agroecológicas que facilitarán y será la base en la clasificación de tierras con fines catastrales.

b. Metodología

En el mundo se han desarrollado un gran número de sistemas de clasificación de tierras con diferentes enfoques y propósitos generalmente con fines agrícolas y de uso, manejo y conservación de suelos, utilizando métodos convencionales cualitativos, cuantitativos y paramétricos.

Se ha usado el término tierra y no suelo en consideración a que la palabra tierra es más amplia, porque puede incluir varios suelos que pueden ser diferentes pero sin embargo, tienen la misma capacidad de producción y similar vocación natural; además para su clasificación interviene otros aspectos que se encuentran sobre la superficie del perfil del suelo, como el clima, configuración topográfica (pendiente), los cuales no se toman en cuenta ampliamente en la clasificación taxonómica de suelos.

El factor que se considera determinante en la clasificación de tierras con fines catastrales es la pendiente, pues su variabilidad incide directamente en las diferentes prácticas agronómicas y mecánicas para el cultivo de la tierra.

Adicionalmente se considera al suelo con los factores: textura, la profundidad efectiva del suelo, pedregosidad, y drenaje, las cuales califican las diferentes propiedades físicas del suelo y como factores que en forma temporal o permanente pueden modificar la capacidad de uso de la tierra.

Estos factores fueron considerados dentro del esquema adoptado en virtud de que, a juicio de expertos, son los que principalmente definen la aptitud física para el crecimiento, manejo y conservación, de una unidad de tierra cuando es utilizada para propósitos específicos como usos agropecuarios y forestales.

Finalmente, se incorporó a la metodología, la evaluación climática, representada por la precipitación, temperatura y déficit hídrico, como factores de incidencia, en la potencialidad de las tierras para determinado uso.

c. Clases y Rangos

Se agrupan en 4 grandes categorías de uso recomendado, donde los riesgos de daños al suelo y limitaciones en su uso, se hace progresivamente mayor de la C1 a la C4, dando a este nivel información de carácter general sobre la presencia de las limitaciones para el uso agrícola de los suelos.

Las subclases en cambio, es una subdivisión de las clases de Aptitud que agrupan los suelos con limitaciones y riesgos similares.

Las clases y subclases de aptitud agropecuaria y forestal que se emplean en la metodología, se ordenan en forma decreciente en cuanto a la intensidad de uso

soportable sin poner en riesgo la estabilidad -física- del suelo, se presentan a continuación:

Cuadro 10. Clases y subclases de Aptitud Agropecuaria y Forestal

CATEGORIA	CLASE	SUBCLASE	
CULTIVOS (C)	C1	C1	
	C2	C2	
		C2s	
		C2c	
	C3	C3	
		C3s	
		C3c	
	C4	C4	
		C4s	
		C4c	
	PASTOS(P)	P	P
	BOSQUES(B)	Bprd	Bprd
Bprt		Bprt	
USO NO AGROPECUARIO FORESTAL	UNA	UNA	

Para las clases y subclases de la aptitud agropecuaria y forestal se consideran las categorías: cultivos, pastos, bosques productores, bosques protectores y zona con uso no agropecuario y forestal. A continuación se describen las categorías clases y subclases de la clasificación:

c.1 Clases

Cultivos (C)

Identifican todas las tierras aptas para agricultura (anuales, permanentes, temporales o de ciclo corto), bien sea mecanizada o manual y se refiere a un uso intensivo o extensivo. Se entenderá que estas unidades de tierras quedan clasificadas como aptas si sus cualidades satisfacen por completo, los requerimientos de utilización establecidos.

Las unidades son clasificadas de acuerdo a las condiciones físicas del suelo, pendiente y clima.

C1

Tierras aptas para una amplia diversidad de cultivos transitorios y perennes, ya que se puede realizar fácilmente la mecanización y el riego. Estas tierras a pesar de su buena aptitud natural, pueden necesitar la reintegración de elementos nutritivos consumidos por las cosechas y arrastrados por la infiltración, rotación de las cosechas para combatir las enfermedades y plagas y así obtener mayores rendimientos o el empleo de abonos verdes a fin de reponer la materia orgánica.

C2

Áreas donde se reduce la posibilidad de elección de cultivos transitorios y perennes. La mecanización es fácil y el riego de fácil a difícil. Por esto estas tierras requieren prácticas de manejo cuidadosas, aunque fáciles de aplicar como conservación de las aguas, drenaje simple, regadío simple, mejora de la fertilidad por medio de fertilizantes u otras correcciones del suelo, combatir la erosión y conservar la humedad en las tierras, mediante labranza en contorno, cultivos en fajas, cultivos de cobertura, rotación de los cultivos, sistemas sencillos de terrazas y control de inundaciones.

C2s

Ídem C2, pero con moderadas limitaciones físicas del suelo que desvaloriza moderadamente, la aptitud de la tierra.

C2c

Ídem C2, pero las características climáticas de la zona, deprecian la aptitud agrícola.

C3

Áreas que presentan limitaciones, que requieren prácticas de manejo de aplicación intensiva en el manejo de obras mecánicas de conservación de suelos (canales de desviación, cercas vivas, terrazas), conservación de las aguas, drenaje, fertilización y enmiendas minerales, la elección de cultivos se reduce a perennes ó manejo de diversificación de cultivos. Las prácticas de riego deben ser especializadas y la mecanización es muy difícil.

C3s

Ídem C3, pero con una importante limitación física del suelo que deprecia la aptitud de la tierra.

C3c

Ídem C3, pero las características climáticas de la zona, deprecian la aptitud agrícola.

C4

Dentro de esta clase se incluyen tierras que restringen su uso a vegetación semi-permanente y permanente. Requiere prácticas de manejo y conservación más rigurosas y algo difíciles de aplicar. La mecanización aunque muy difícil, no se la recomienda por el desgaste acelerado del recurso suelo, el riego debe ser totalmente especializado. Por esto estas tierras requieren prácticas de manejo de aplicación especiales y rigurosas como remoción de piedras, combatir la erosión y conservar la humedad en las tierras mediante labranza en contorno, cultivos en fajas, cultivos de cobertura, rotación de los cultivos, sistemas sencillos de terrazas, enmiendas orgánicas animales, aplicación de compost, abono verde, fertilización y enmiendas minerales, y drenajes simples.

C4s

Ídem C4, pero con muy importantes limitaciones físicas del suelo que deprecia la aptitud de la tierra.

C4c

Ídem C4, pero las características climáticas de la zona, deprecian la aptitud agrícola.

Pastos

En el sistema establecido para la determinación de la aptitud agropecuaria y forestal, se ha considerado a las tierras que por una o varias razones deben ser utilizadas exclusivamente para pastoreo, sin que esto impida alternar con cultivos o con sistemas de manejo (Agro-silvopastoril, silvopastoril, etc.), utilizándose también para cultivos específicos como el cultivo de arroz.

P

Estas tierras no deben estar expuestas a la erosión por lluvia o por viento, aunque tuviera que eliminarse la cubierta vegetal. Si la cubierta vegetal está en buenas condiciones, no habrá necesidad de emplear prácticas o restricciones de carácter especial, pero a fin de obtener una producción satisfactoria, habrán de utilizarse algunas medidas necesarias de conservación, como en el pastoreo, cuidando de dotar al ganado de un pastoreo de acuerdo a su capacidad de carga.

Bosques

Comprenden aquellas tierras que, por limitaciones fuertes de suelos, clima, pendientes y otras intrínsecas, se encuentra en las unidades de uso no adecuadas para cultivos ni pastos, siendo el bosque y la vida silvestre los usos más adecuados. Esta unidad puede alternar con el mantenimiento de la cobertura vegetal natural; la producción y reproducción de especies nativas; su manejo deberá tener la finalidad exclusiva de proteger el recurso de los diferentes tipos de erosión.

Bprd

Estas tierras son adecuadas para soportar una vegetación permanente, pudiéndose dedicar a bosques con restricciones moderadas. No son adecuados para cultivos y las limitaciones severas que poseen restringen su uso a masas forestales de producción y mantenimiento de vida silvestre. Se localizan en aquellas tierras que presentan limitaciones muy importantes en las características de los suelos, sobre pendientes de hasta 50 % y condiciones climáticas marginales. Deberán ser dedicados al desarrollo de la silvicultura, teniendo el doble propósito (protector-productor), con especies nativas y exóticas adaptadas a la zona, de rápido crecimiento.

Bprt

Se localizan en aquellas tierras que, por las características de los suelos, las fuertes pendientes (50 - 70 %) y las condiciones climáticas marginales para los cultivos, no son adecuadas para cultivos ni pastos, pero son propios para bosques protectores. Son suelos apropiados para mantener una vegetación permanente

con severas restricciones y restringen su uso a bosques protectores o al mantenimiento de la vida silvestre.

Uso no agropecuario forestal

Incluyen tierras con severas limitaciones físicas, suelos en fuertes pendientes, erosionados, pedregosos y/o afloramientos rocosos, salitrales, o inundados permanentemente, que no prestan ningún uso agropecuario o forestal o que deben mantenerse en su estado natural.

c.2 Cuadros de Asignación de Categorías

El análisis de los niveles de pendiente, permite asignar clases de aptitud agropecuaria y forestal, las mismas que serán reclasificadas o revaloradas, al contraponer con los factores modificadores como pedregosidad, textura, drenaje, zonas de humedad y zonas de temperatura, a saber:

Cuadro 11. Aptitud Agropecuaria y Forestal en función de la Pendiente

Pendiente	Clase
1	C1
2	C2
3	C3
4	C4
5	Bprt
6	Una

Cuadro 12. Modificaciones a las Clases de Aptitud Agropecuaria y Forestal en función de las Cuatro Clases de Profundidad

Clase	1	2	3	4
C1	C2s	C2s	C1	C1
C2	C3s	C3s	C2	C2
C3	C4s	C4s	C3	C3
C4	Bprd	C4s	C4	C4
Bprt	Una	Bprt	Bprt	Bprd
Una	Una	Una	Una	Bprt

Cuadro 13. Modificaciones a las Clases de Aptitud Agropecuaria y Forestal en función de las Cinco Clases de Textura

Subclase	1	2	3	4	5
C1	C4s	C2s	C1	C2s	P
C2	C4s	C2s	C2	C2s	P
C2s	C4s	C2s	C2s	C2s	P

C3	C4s	C3	C3	C3	P
C3s	C4s	C3s	C3s	C3s	P
C4	C4s	C4	C4	C4	P
C4s	C4s	C4s	C4s	C4s	P
Bprd	Bprd	Bprd	Bprd	Bprd	Bprd
Bprt	Bprt	Bprt	Bprt	Bprt	Bprt
Una	Una	Una	Una	Una	Una

Cuadro 14. Modificaciones a las Clases de Aptitud Agropecuaria y Forestal en función de las Cinco Clases de Pedregosidad

Subclase	1	2	3	4	5
C1	C1	C4s	P	Bprot	Una
C2	C2	C4s	P	Bprot	Una
C2s	C2s	C4s	P	Bprot	Una
C3	C3	C4s	P	Bprot	Una
C3s	C3s	C4s	P	Bprot	Una
C4	C4	C4s	P	Bprot	Una
C4s	C4s	C4s	P	Bprot	Una
P	P	P	P	Bprot	Una
Bprd	Bprd	Bprd	Bprd	Bprot	Una
Bprt	Bprot	Bprot	Bprot	Bprot	Una
Una	Una	Una	Una	Una	Una

Cuadro 15. Modificaciones a las Clases de Aptitud Agropecuaria y Forestal en función de las Cuatro Clases de Drenaje

Subclase	1	2	3	4
C1	C3s	C1	C1	P
C2	C3s	C2	C2	P
C2s	C3s	C2s	C2s	P
C3	C3s	C3	C3	P
C3s	C3s	C3s	C3s	P
C4	C4	C4	C4	P
C4s	C4s	C4s	C4s	P
P	P	P	P	P
Bprd	Bprd	Bprd	Bprd	Bprt
Bprt	Bprt	Bprt	Bprt	Una
Una	Una	Una	Una	Una

Cuadro 16. Modificaciones a las Clases de Aptitud Agropecuaria y Forestal en función de las Cuatro Zonas de Humedad

Subclase	1	2	3	4
C1	C2c	C1	C1	C2c
C2	C3c	C2	C2	C3c

C2s	C3c	C2s	C2s	C3c
C3	C4c	C3	C3	C4c
C3s	C4c	C3s	C3s	C4c
C4	Bprt	C4	C4	P
C4s	Bprt	C4s	C4s	P
P	P	P	P	P
Bprd	Bprd	Bprd	Bprd	Bprd
Bprt	Bprt	Bprt	Bprt	Bprt
Una	Una	Una	Una	Una

Cuadro 17. Modificaciones a las Clases de Aptitud Agropecuaria y Forestal en función de las Cuatro Zonas de Temperatura

Subclase	1	2	3	4
C1	C1	C1	C1	C2c
C2	C2	C2	C2	C3c
C2s	C2s	C2s	C2s	C3c
C3	C3	C3	C3	C4c
C3s	C3s	C3s	C3s	C4c
C4	C4	C4	C4	P
C4s	C4s	C4s	C4s	P
P	P	P	P	P
Bprd	Bprd	Bprd	Bprd	Bprt
Bprt	Bprt	Bprt	Bprt	Una
Una	Una	Una	Una	Una

3.4.3 Susceptibilidad a Movimientos en Masa

a. Descripción

Los movimientos en masa son el producto de diversos elementos o factores, entre ellos, la configuración morfológica y evolución de las laderas juegan un papel determinante (Brunsdén, 2002; Griffiths y otros, 2002; Hutchinson, 1995). Los movimientos en masa constituyen una de las más frecuentes causas de desastres alrededor del mundo. Las pérdidas socioeconómicas evaluadas son millonarias y aumentan debido a que el desarrollo humano se extiende sobre laderas inestables bajo la presión del rápido crecimiento de la población (Schuster, 1996).

Varios países en vía de desarrollo, entre los que se encuentra el Ecuador, están localizados en el denominado Anillo del Pacífico, el cual se caracteriza por la intensidad y variedad de los desastres naturales que suceden. La distribución espacial de los desastres presenta una tendencia a ocurrir en estos países, y aunque por sus condiciones económicas las pérdidas materiales son mucho menores, las pérdidas humanas son muy superiores a países desarrollados (Alcantara-Ayala, 2002; Ernst, 2001).

En esta investigación, se da énfasis a movimientos en masa que afectan al valor económico de las tierras, ya que, estudios de pérdidas debidas a fenómenos naturales (Ayala et al 1987) sitúa, en América del Sur, a estos peligros en tercer lugar de pérdidas económicas, detrás de las inundaciones y la erosión hídrica superficial y; delante de los terremotos y erupciones volcánicas. No obstante hay que tener en cuenta que, el hecho de que los movimientos en masa se produzcan en áreas de baja densidad de población o en su defecto, aparezcan de una manera más puntual y localizada, no resta su capacidad de causar daños significativos y pérdidas de vidas humanas.

En el marco de la metodología geoestadística de valoración para tierras rurales, los tipos de movimientos en masa de origen volcánico como: Flujos y Avalanchas se los considera dentro de la variable susceptibilidad a peligros volcánicos.

El análisis de susceptibilidad a inundación ha determinado la siguiente clasificación que constará en la capa.

Cuadro 18. Clasificación de susceptibilidad a inundación.

CLASE	DESCRIPCIÓN	INDICADOR
4	Sin Susceptibilidad a Inundación	Sin
3	Susceptibilidad Baja a Inundación	Baja
2	Susceptibilidad Media a Inundación	Media
1	Susceptibilidad Alta a Inundación	Alta

a.1 Sin

Zona sin Susceptibilidad, son áreas sin peligro de inundación. Se localizan en las partes altas de los relieves, o sea en pendientes que sobrepasan el 25%, lo que hace que no existe ninguna acumulación de agua en ningún momento dado.

a.2 Baja

Zonas con Susceptibilidad Baja, son zonas susceptibles a inundaciones, únicamente al producirse precipitaciones excepcionales anormales, como el fenómeno de El Niño, como aquellos presentados en los años 1982-1983 y 1997-1998 que produjo grandes destrozos con pérdidas económicas y humanas. Las aguas inundan hasta las partes altas de las terrazas medias y/o indiferenciadas.

a.3 Media

Zonas con Susceptibilidad Media, son zonas en que pueden inundarse en cortos periodos pudiendo ser en los inicios de la época invernal, las pendientes oscilan entre 0 - 5 % y 5 - 12 %. La acumulación de las aguas puede ser objeto de las precipitaciones y por la crecida de los ríos, que fluyen hacia las zonas internas bajas.

a.4 Alta

Zonas con Susceptibilidad Alta, son aquellas que permanecen inundadas mas de 6 meses durante el año, por lo general correspondientes a bacines y depresiones, valles indiferenciados, la pendiente fluctúa de 0 a 5 % y la textura de los depósitos dominantes es arcillosa. La acumulación de las aguas puede ser producto de las precipitaciones y por la crecida de los ríos en tiempo de invierno.

b. Metodología

Los procesos de inestabilidad son el producto de la geomorfología local, hidrología y condiciones geológicas. La modificación de estas condiciones por procesos geodinámicos, vegetación, usos del suelo y actividades humanas activan movimientos lentos, generalmente imperceptibles debido a que las propiedades mecánicas del material decrecen gradualmente. Posteriormente, factores como precipitación y sismicidad detonan dichos movimientos lentos en rápidos movimientos en masa (Soeteres y Van Westen, 1996).

b.1 Evaluación de la Susceptibilidad a deslizamientos

Existen tres principios que orientan la evaluación del peligro por deslizamientos según Varnes (1985):

Primero.- Los deslizamientos futuros probablemente ocurrirán bajo las mismas condiciones geomorfológicas y geológicas, en que se han producido en el pasado y se están produciendo en la actualidad.

Segundo.- Las condiciones y procesos subyacentes que causan los deslizamientos deben ser comprendidos.

Tercero.- Se puede determinar la importancia relativa de las condiciones y procesos que contribuyen a la ocurrencia de los deslizamientos, con lo cual se asigna a cada condición la medida que refleje su contribución en la ocurrencia del fenómeno.

El número de condiciones presentes en un área puede ser tratado como un conjunto de factores para establecer el grado de peligro potencial presente.

La interpretación de la ocurrencia de futuros deslizamientos requiere el conocimiento de condiciones y procesos que controlan los deslizamientos en el

área de estudio; en particular: geomorfología, por inestabilidad de las geoformas; geología, por la competencia de la roca y las discontinuidades presentes en la naturaleza; suelos, en lo referente a su textura; el factor hidrológico, controlado principalmente por las zonas de precipitación (Isoyetas); también se puede añadir o en su defecto realizar, si existe, el inventario de deslizamientos (deslizamientos pasados), realizar un mapa de deslizamientos actuales; además tomar en cuenta la vibración del suelo por la ocurrencia de terremotos, saturación de humedad en el suelo producto de lluvias prolongadas, uso actual del suelo, cobertura vegetal y finalmente la intervención del hombre como las condiciones más relevantes.

Es importante señalar que el grado de peligro a deslizamiento presente es considerado relativo ya que se refiere a la expectativa de ocurrencia de futuros deslizamientos de tierra, en base a las condiciones de esa área en particular, podemos decir que la susceptibilidad a deslizamientos es relativa a las condiciones de cada área específica y no se puede suponer que la susceptibilidad sea idéntica a la de un área que solo parece igual. (Manual OEA/DDRMA 1993).

Se han desarrollado una gran variedad de técnicas para la evaluación de la susceptibilidad y amenaza por deslizamientos (Soeters y van Westen, 1996; Barredo y otros, 2000; Dai y Lee, 2002; Guzzetti y otros, 1999; y Hutchinson, 1995). En esencia, estas metodologías pueden ser agrupadas en: metodologías heurísticas basadas en el entendimiento de los procesos geomorfológicos que actúan sobre el terreno; metodologías estadísticas basadas en predicciones estadísticas por combinación de variables generadoras de deslizamientos en el pasado y, finalmente, metodología determinísticas, basadas en modelos de estabilidad. El tipo de metodología es determinado de acuerdo con el alcance del estudio.

De acuerdo con la revisión de literatura sobre modelamiento de susceptibilidad a movimientos en masa, se adoptó la metodología heurística cuya elección estuvo fundamentada en la cantidad y calidad de información disponible y en el conocimiento tanto del fenómeno analizado como de la zona de estudio. Para el análisis de la susceptibilidad a movimientos de masa desde una perspectiva heurística, un territorio se zonifica con base en las apreciaciones y aportes de investigadores con experiencia y conocimiento del tema.

El método heurístico seleccionado es de tipo explícito donde los factores de análisis se combinan mediante el uso de puntajes ponderados que se asignan a cada uno y la suma de ellos define zonas de diferente nivel de susceptibilidad (6tas. Jornadas de ciencias de la Tierra 2006 pág 115). Para empezar este análisis, se considera que un fenómeno es el resultado de la confluencia de muchos factores o variables en un determinado espacio geográfico (Campos et al 2003). Específicamente se usó la técnica de combinación cualitativa de mapas para lo cual se generaron diferentes capas.

En lo que respecta a la valoración de estos “fenómenos” o factores, ha sido aplicado un proceso de análisis espacial con ponderación, en el cual son

manipuladas las capas de las variables utilizadas, a estas se adhiere un campo que muestra la ponderación asignada a este factor, según su influencia para que sea más susceptible al fenómeno de movimientos en masa un determinado espacio geográfico que otro.

El método descrito anteriormente, se caracteriza por la evaluación del peligro relativo a deslizamientos y derrumbes de tierras, para lo que se requiere identificar áreas geográficas que podrían ser afectadas por estos movimientos en masa y evaluar las probabilidades de ocurrencia de los mismos en un determinado período de tiempo.

El peligro de deslizamientos y derrumbes es presentado como la susceptibilidad a deslizamientos que identifican las áreas con diferentes potenciales para el desarrollo de estos eventos, y no implica un período de tiempo durante el cual podrían ocurrir estos eventos.

Para la realización del mapa de áreas homogéneas de susceptibilidad de deslizamientos a escala 1:20.000, se partió del conocimiento de las características biogeoestructurales en la zona de estudio, siendo estas: suelo, pendientes, geología e isoyetas; descritas anteriormente. Todos estos factores fueron cartografiados, y sus combinaciones específicas dan como resultado zonas con distintos grados de susceptibilidad a los deslizamientos.

Cuadro 19. Matriz Textura y Pendiente (S1)

TEXTURA	PENDIENTES %			
	0-12	12-25	25-50	> 50
FINA	1	1	2	2
MEDIA	1	3	3	3
GRUESA	2	3	3	4

Cuadro 20. Clasificación de los grados de susceptibilidad por Textura y Pendiente (S1)

CLASE	DESCRIPCIÓN
1	Sin
2	Baja
3	Media
4	Alta

Cuadro 21. Matriz S1 por Geología (S2)

CLASE S1	GEOLOGÍA		
	BAJO	MEDIO	ALTO
1	1	2	2
2	2	2	2
3	3	3	3
4	3	4	4

Cuadro 22. Clasificación de los grados de susceptibilidad S1 por Geología (S2):

S2	
CLASE	DESCRIPCIÓN
1	Sin
2	Baja
3	Media
4	Alta

La matriz usada para Generar la Susceptibilidad a Movimientos en masa; S2 por el mapa de precipitación anual (Isoyetas) viene controlada por la ponderación en grados de los rangos de precipitación que son particulares de cada cantón.

Cuadro 23. Matriz S2 por Isoyetas

CLASE S2	ISOYETAS		
	BAJO	MEDIO	ALTO
1	1	1	2
2	2	2	3
3	3	3	3
4	3	4	4

Finalmente se realiza la combinación por medio de matrices expuestas anteriormente, de los factores: pendientes, texturas, geología e isoyetas; utilizando una herramienta S.I.G., a partir de la cual se generó la cartografía de Zonas Susceptibles a Deslizamientos 1:20.000. En estos mapas se delimitaron

cuatro zonas de susceptibilidad a movimientos en masa siendo estos: Sin, Baja, Media y Alta, según el siguiente cuadro.

Cuadro 24. Ponderación del mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa.

CLASE	INDIC
1	Sin
2	Baja
3	Media
4	Alta

b.2 Factores Condicionantes

Los factores que influyen donde han de ocurrir los deslizamientos se pueden dividir en dos tipos: Permanentes y Variables (Sharpe,1938). Los factores permanentes son las características de un terreno que permanecen sin cambio o varían muy poco desde el punto de vista de perspectiva humana, como por ejemplo, las pendientes y el tipo de roca, los cuales solo presentan cambios después de períodos de tiempo muy largos. Los factores variables son característicos del terreno que cambian rápidamente como resultado de algún evento desencadenante, como por ejemplo la vibración del suelo por los terremotos, una rápida elevación de las aguas subterráneas y una mayor cantidad de humedad debido a intensas precipitaciones.

Dichos factores, cambiantes en tiempo e intensidad, son agrupados en: variables cuasi-estáticas, las cuales contribuyen a la susceptibilidad, como geología, pendientes y aspecto de las laderas; y variables dinámicas como precipitación y sismos, las cuales tienden a detonar los deslizamientos en áreas con determinada susceptibilidad (Dai y Lei, 2001).

A fin de interpretar la probabilidad de futuros deslizamientos, se requiere comprender las condiciones y procesos que controlan los deslizamientos en el área de estudio. Existen tres factores físicos - anteriores deslizamientos de la zona, la calidad de las pendientes y el tipo de roca- que son el mínimo de los componentes necesarios para evaluar el peligro de deslizamientos (Manual OEA/DDRMA 1993) , se puede añadir el factor hidrológico para reconocer el importante rol que las aguas subterráneas tienen frecuentemente en la ocurrencia de deslizamientos, la información sobre la capa freática y sus fluctuaciones raramente se encuentran disponibles por lo que se pueden usar medidas indirectas que pueden ser cartografiadas para mostrar la influencia de la hidrología del área tal como la vegetación, la orientación de las pendientes, o zonas de precipitación.

El número de parámetros o factores escogidos en el presente Proyecto está controlado por la disponibilidad de información, el tiempo y el presupuesto del mismo, a continuación se enlista los mismos:

- ✓ Inclinación del terreno (mapa de Pendientes)
- ✓ Tipos de rocas (mapa Geológico)
- ✓ Textura de suelos (mapa de suelos)
- ✓ Precipitación anual (mapa de Isoyetas)

b.3 Definición del Modelo

Para representar la interacción de las diferentes variables seleccionadas (pendientes, suelos, geología e isoyetas), se usó la ecuación, según el siguiente algoritmo:

$Sm = \text{capa de pendientes} + \text{capa de suelos} + \text{capa de geología} + \text{capa de isoyetas}$.

En donde *Sm* es la susceptibilidad a movimientos en masa. Las capas de cada variable se obtienen a partir de clasificar los valores iniciales de las mismas. El modelo que se obtiene a partir de este algoritmo es reclasificado en rangos de importancia, asignándole a cada rango una valoración desde nula o muy baja hasta muy alta susceptibilidad, para obtener el modelo final.

A continuación se describen los factores analizados para el presente estudio.

b.4 Pendientes

Diversos autores han considerado esta variable como el factor fundamental en el análisis de susceptibilidad a movimientos en masa (p. ej. Restrepo y Velásquez, 1997; Mora y Vahrson, 1994; Van Westen and Terlien, 1995). Por otro lado, algunos autores incluyen también la rugosidad de las laderas como expresión de su grado de erosión y susceptibilidad a los movimientos de masa (p. ej. Mora y Vahrson, 1993, 1994).^β

La influencia de la clase de pendientes sobre la ocurrencia de deslizamientos, es el factor más fácil de comprender. Generalmente, las pendientes más pronunciadas tienen mayor probabilidad de deslizamientos que en pendientes suaves. No obstante la importancia de estas investigaciones sobre la relación entre movimientos en masa y pendientes, no es apropiado generalizar los resultados para todos los ambientes climáticos.

En general los autores coinciden en que pendientes bajas y altas o muy altas son menos susceptibles a los movimientos en masa. Con base en esta consideración para este trabajo se adoptó una clasificación, a priori tomando como base la información cartográfica digital de las temáticas pendientes y topográfica a

^β Información basada de la siguiente dirección de Internet. <http://osso.univalle.edu.co/doc/tesis/2002/aproximacion/modelo.pdf>

escala 1:20.000, las pendientes fueron agrupadas en cuatro clases de acuerdo al cuadro 4.1.

La precisión y las limitaciones del modelo de pendientes se desprenden de la cartografía base, y de las condiciones inherentes a la metodología utilizada para su clasificación.

Cuadro 25. Reclasificación y ponderación de la Capa de Pendientes

PENDIENTES	
RANGO %	INDIC
0 a 12	1
12 a 25	2
25 a 50	3
> 50	4

b.5 Geología (Tipos de rocas)

La resistencia de una masa rocosa al deslizamiento, depende del tipo de roca (competencia-dureza), una roca débil e incompetente es más susceptible que una roca resistente y competente; el grado de meteorización, una roca sin meteorizar resiste más que una roca meteorizada; y de la presencia de discontinuidades tales como fallas, fracturas y diaclasas, cuanto más discontinuidades se encuentran en las rocas, mayor será la probabilidad de inestabilidad de la misma; así mismo, las rocas volcánicas recientes tienen menor probabilidad a los deslizamientos que las rocas volcánicas antiguas.

Por el análisis anterior, la geología constituye uno de los parámetros más importantes al analizar la susceptibilidad de los movimientos en masa, pero también uno de los más complejos.

La caracterización geológica de una zona comprende:

- **Litología:** Que se refiere a la identificación del tipo de material presente en la zona de estudio, sus características físicas y químicas, la composición mineral y la textura. El conjunto de estas características definen el grado de susceptibilidad del material a los movimientos de masa (Medina, 1991).
- **Estructuras:** Se refiere al sistema de discontinuidades presentes en la roca que se consideran como planos de debilidad, los cuales son heredados por el material meteorizado. Estas pueden ser:
- **Estratificación:** Contactos de depositación de materiales que ocurrieron en la formación de las rocas sedimentarias.

- **Pliegues:** Ocasionados por fuerzas de origen tectónico en rocas sedimentarias y metamórficas (Suárez, 1998). Es un doblamiento o flexión de las rocas; existen dos tipos básicos: anticlinales y sinclinales (Simons, 1990).
- **Fallas y diaclasas:** Estructuras tectónicas presentes en el material, en las cuales se ha presentado desplazamiento relativo de masas (Simons, 1990). Su influencia en la susceptibilidad está gobernada por su rumbo, buzamiento, espaciamento, continuidad, grado de actividad, entre otros (Suárez, 1998). También se pueden encontrar fracturas a lo largo de las cuales no ha ocurrido desplazamiento, conocidas como diaclasas (Simons, 1990).

Los modelos de susceptibilidad han incorporado la geología como una variable básica en el análisis, abordándola desde diferentes perspectivas. Mora y Vahrson (1993), proponen que para la evaluación de la litología debe tenerse en cuenta: la resistencia al corte del material, los pesos volumétricos, la disposición espacial con respecto a discontinuidades y su relación con la geometría y orientación de las laderas.

Gupta and Josh (1990), aplicaron en la India una evaluación del riesgo por amenaza de deslizamientos usando SIG, a partir de la correlación del inventario de deslizamientos con diferentes parámetros, tales como litología, uso del suelo, distancia a zonas de cizalla y aspecto (orientación) de las pendientes. En cuanto a la litología, la mayor frecuencia de deslizamientos ocurrió en las cuarcitas. Esquistos calcáreos y limolitas, metamórficas de bajo grado, calizas y metamórficas de alto grado, mostraron sucesivamente una menor frecuencia a la ocurrencia de deslizamientos. Respecto a la distancia a zonas de cizalla, concluyeron que el mayor número de deslizamientos ocurrió a una distancia máxima de 1 km de los contactos tectónicos, debido posiblemente al intenso fracturamiento de los materiales. A mayores distancias el porcentaje de deslizamientos decreció.

Olivera y Aguirre (1991), estudiando una base de datos de 133 casos de amenazas naturales, clasificadas en deslizamientos (38 %), movimientos en masa no diferenciados (13 %), avenidas (6 %), avalanchas (5 %), carcavamientos (5 %), soliflucción o reptación (11 %), socavamiento (17 %) e inundaciones (5 %) en el departamento de Cundinamarca, concluyen que los movimientos en masa no diferenciados, deslizamientos y avalanchas ocurren típicamente en el grupo Villeta

(Kv), conformado por lutitas predominantes con intercalaciones de capas de caliza en la parte inferior y frecuentes niveles de areniscas, limolitas silíceas y chert; y en sedimentos cuaternarios no diferenciados (Q). La frecuencia de los eventos en las anteriores litologías, oscila entre el 67 % y 94 % del total de movimientos de masa en la base de datos. El estudio identificó que las unidades litológicas que presentan amenaza media para

deslizamientos son, básicamente, areniscas, lutitas rojas, negras y grises con intercalaciones de areniscas, conglomerados y calizas.

Ambalagan (1992, en Suárez, 1998), evaluó la susceptibilidad de la litología según la erodabilidad de los materiales rocosos y los procesos de meteorización. Para evaluar las estructuras considera su disposición con relación al talud de acuerdo con los siguientes parámetros:

- El rumbo de las discontinuidades en comparación con el rumbo de la superficie del talud. Rumbos coincidentes favorecen la inestabilidad.
- El buzamiento tanto de las discontinuidades como las líneas de intercepción de varias discontinuidades. Buzamientos a favor de la pendiente conllevan mayor susceptibilidad.
- La localización de las discontinuidades con referencia al pie del talud.

b.6 Desarrollo de la capa de geología

Para este trabajo se utilizó la capa de Geología escala 1:100.000 existente en el SIGAGRO, que fue digitalizada a partir de las hojas geológicas 1:100.000 publicadas por la DINAGE. Las unidades litológicas fueron clasificadas en tres clases (Cuadro 27). A cada clase se le asignó un peso (importancia) en una escala de uno a Tres que representa su grado de inestabilidad potencial, de acuerdo con los criterios ya enunciados.

Para la evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa mediante el factor geológico, se consideró la litología, edad, estructura y grado de meteorización como parámetros fundamentales para identificar y clasificar la susceptibilidad a los movimientos en masa. Los mapas geológicos digitales a escala 1:100.000, fueron la base para demarcación de tres clases de rocas susceptibles a la inestabilidad, siendo estas las expuestas en el cuadro 27.

Cuadro 26. Clasificación y descripción de los tipos de Rocas.

GRADO	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA
Bajo	Formaciones volcánicas recientes y cuaternarias
Medio	Rocas volcánicas antiguas, intrusivas y sedimentarias
Alto	Rocas metamórficas e intrusivas muy meteorizadas

Por supuesto, la clasificación propuesta podrá ser mejorada en futuras investigaciones con base en criterios adicionales, mejor conocimiento de cada unidad y trabajo de campo (p. ej., texturas, grados de meteorización medidos en campo, etc.). Por estas razones la extrapolación de la clasificación y pesos asignados debe ser cuidadosa. A ninguna unidad se le asignó susceptibilidad nula.

c. Clases y Rangos

c.1 Clases de Suelos (Textura)

Los suelos tienen una relación con el material que les dio origen y la ocurrencia de deslizamientos de varias maneras así por ejemplo: los suelos derivados de esquistos o pizarras, tienen mayor porcentaje de arcilla y tienen características de resistencia diferente a los suelos de textura de grano grueso, y así mismo, los suelos con características de gran capacidad de retención de agua (Dystrandept-Hidrandept) son más susceptibles a los deslizamientos que otras clases de suelo.

El parámetro del suelo escogido para la reclasificación es la textura, tomando como base, las diferentes clases texturales del suelo que se encuentran cartografiadas y digitalizadas a escala 1:50.000, se las reclasificó en tres clases homogéneas a la susceptibilidad a deslizamientos, siendo estas: gruesa, media y fina.

Cuadro 27. Reclasificación de las clases texturales del mapa de Suelos.

CÓDIGO	TEXTURA	
	TEXTURA	RECLASIFICACIÓN
11	Arenoso (fina, media, gruesa)	Gruesa
12	Arenoso franco	
21	Franco arenoso (fino a grueso)	
22	Franco limoso	
31	Franco	Media
32	Limoso	
33	Franco arcilloso (< 35% de arcilla)	
34	Franco arcillo arenoso	
35	Franco arcillo limoso	
41	Franco arcilloso (> 35%)	Fina
42	Arcilloso	
43	Arcillo arenoso	
44	Arcillo limoso	
51	Arcilloso (>60%)	

c.2 Factor Hidrológico (Precipitación)

Considerada como el contenido de agua, implica que mayor humedad aumenta el peso de una ladera, disminuye la cohesión de los materiales y, por lo tanto, su resistencia al corte, lo cual influye en la susceptibilidad a los movimientos en masa.

El agua se reconoce como factor importante en la estabilidad de pendientes -casi tan importante como la gravedad-, Para representar el factor hidrológico en las evaluaciones de peligro de deslizamiento, se pueden usar medidas indirectas que pueden ser cartografiadas para mostrar la influencia hidrológica del área, tal como la vegetación, la orientación de las pendientes (aspecto), y las zonas de precipitación. (Manual OEA/DDRMA 1993)

Algunas veces la lluvia actúa como factor preparador para la inestabilidad de un terreno y algunas otras como factor disparador de movimientos de masa.

En el primer caso, una parte del agua que cae se acumula en el suelo propiciando condiciones de humedad que pueden llegar a un punto de saturación sin que el suelo supere sus condiciones de equilibrio. El segundo caso puede ocurrir cuando se presentan lluvias intensas o lluvias críticas, sobre una ladera en estado previo cercano a la saturación y en condiciones críticas de equilibrio. Para evaluar la susceptibilidad del territorio a movimientos en masa, nos ocupamos del primer caso (factor de inestabilidad).

Debido principalmente a la disponibilidad de información, utilizaremos las zonas de precipitación media anual (mapa de Isoyetas). Este es un factor detonante de los movimientos en masa razón por la cual se lo considera una variable dinámica (Dai y Lei, 2001); una zona con mayor grado de precipitación es mas propensa a los movimientos en masa que otra que no posee mucha precipitación, por consiguiente el mapa de isoyetas que muestra el promedio de precipitaciones, servirá para el desarrollo del mapa de susceptibilidad en movimientos en masa.

3.4.4 Susceptibilidad a Erosión

a. Descripción

La susceptibilidad a erosión es importante en el proceso de análisis de valoración de tierras rurales, ya que la erosión tiene efectos principales, que son: la pérdida de soportes y nutrientes necesarios para el crecimiento de los cultivos; acumulación de sedimentos en los cauces de los ríos en las cuencas bajas; y, la reducción de la capacidad de almacenamiento de agua por la pérdida de suelos y

la sedimentación de las cuencas y reservorios, lo que resulta en la reducción del flujo natural de las cuencas.⁶

La erosión es un proceso natural, mediante el cual existe pérdida del suelo debido al desprendimiento, arranque y transporte de las partículas del suelo, causado por agentes erosivos como: el agua, el viento y remoción en masa. Pero en la gran mayoría de casos la erosión es acelerada por el ser humano y sus actividades, las mismas que rompen el equilibrio entre el suelo, la vegetación, y el agua o el viento.

El principal agente para que se produzca la erosión es el agua; ya que la magnitud que tienen las lluvias en el suelo es directamente proporcional a la cantidad de lluvia producida en un período y lugar determinado, así como su fuerza de impacto dependerá de su diámetro y velocidad de caída. Al mismo tiempo las aguas lluvias llegan a la superficie acumulándose y penetrando por las partículas de suelo saturándolas y facilitando el escurrimiento difuso. La magnitud del escurrimiento difuso dependerá de la pendiente y la cobertura vegetal existente en el lugar, pudiendo concentrarse en pequeños hilillos que confluyen y difluyen, transportando el material hacia las partes más bajas.

En cuanto a acción del viento es importante en áreas secas desprovistas de vegetación y en los páramos, donde se produce el barrido (deflación) de los suelos.

Con respecto a las actividades del ser humano, estas aceleran a gran escala los procesos de erosión, ya sea por el tipo y la forma de agricultura, prácticas de cultivo no adecuadas en los terrenos planos como inclinados, lo que provoca que el suelo tenga una mayor susceptibilidad a la erosión.

b. Metodología

La metodología se basa en la evaluación del peligro relativo de la erosión del suelo, por lo que es necesario identificar áreas que podrían ser afectadas por cualquier clase de erosión y evaluar el peligro potencial de la misma.

La susceptibilidad a la erosión identifica áreas con diferentes potenciales para el desarrollo de este fenómeno natural y no implica un período de tiempo durante el cual ocurrirá este evento.

Dentro de este estudio no se considera el viento, ya que no se dispone de información relacionada con la misma.

Para determinar la susceptibilidad a erosión, se considera:

⁶ OEA/DDRMA. Desastres, Planificación y Desarrollo, manejo y amenazas naturales para reducir los daños, Washington, D.C. 1991.

- Identificar las principales características biofísicas correlacionadas con la erosión, como: la textura, profundidad efectiva de los suelos, la inclinación (pendientes), la intensidad de las lluvias (I30) y el uso de la tierra.
- Evaluar los factores que influyen en la susceptibilidad a erosión. Para la evaluación se tomó como base los principales factores que influyen sobre el peligro de erosión. Ellos son:

b.1 Textura del Suelo

La textura de los suelos influye en la susceptibilidad a la erosión, dependiendo de sus características, especialmente relacionadas con la retención de la humedad y fertilidad del suelo.

El tamaño de las partículas, los suelos de textura fina absorben más agua que los suelos de textura gruesa, pero, ésta se mantiene en los estratos superiores del suelo donde se seca más rápidamente, se produce mayor escurrimiento que en los de textura gruesa (mayor infiltración); restringen el crecimiento de raíces y son menos susceptibles a la erosión en grietas y de superficie. Así, los suelos de texturas gruesas serán muy susceptibles a la erosión.

Se considera las siguientes clases texturales:

- Muy fina: suelos muy arcillosos (> 60% de arcilla)
- Fina: suelos arcillosos (> a 35 % y < a 60% de arcilla)
- Media: suelos de texturas medias (< 35% de arcilla)
- Moderadamente gruesa: suelos franco arenosos y franco limosos
- Gruesa: suelos con predominio de la fracción arena

b.2 Profundidad efectiva del suelo

Considerada como la profundidad efectiva del suelo, referida a la capa o capas del suelo hasta donde las raíces de las plantas pueden penetrar sin ningún impedimento o limitación.

El límite inferior está dado por la presencia de capas endurecidas o muy arcillosas, por la abundancia de materiales gruesos (grava, piedras y/o rocas), contacto de material parental no meteorizado, presencia de la capa freática alta, u horizontales o capas con concentraciones de elementos o minerales tóxicos, que son limitantes para el desarrollo de las plantas. Así los suelos con una mínima capa arable serán más susceptibles a la erosión.

La profundidad efectiva del suelo se mide en centímetros de manera perpendicular a la superficie terrestre. Se consideran los siguientes rangos de profundidad:

- Superficiales: profundidad de 0 - 20 cm
- Poco profundos: profundidad de 20 - 50 cm

- Moderadamente profundos: profundidad de 50 - 100 cm
- Profundo: profundidad de >100 cm

b.3 Pendiente

El grado de pendiente como inclinación del terreno, influye en la degradación del suelo. Mientras más inclinada (pendiente) es una ladera, mayor es la exposición a la acción del viento, de la lluvia y del hombre. La pendiente también influye en la erosión, cuando ésta da cara al sol durante un mayor período de tiempo. Así a mayor pendiente, mayor susceptibilidad a erosión.

Para el análisis de la pendiente dentro de la susceptibilidad a erosión se considera los siguientes rangos:

- Pendientes de 0-5%, son superficies estables al factor suelo
- Pendientes de 5-12%, son superficies medianamente estables del factor suelo
- Pendientes del 12-25%, corresponden a zonas poco estables
- Pendientes del 25-50%, son áreas inestables
- Pendientes 50-70%, son superficies cuyas condiciones de inestabilidad del suelo son de alta a muy alta
- Pendientes >70%, son superficies cuyas condiciones de inestabilidad del suelo es severa

b.4 Intensidades de lluvia

La intensidad de las lluvias (goteo), es el agente directo de mayor preponderancia como causa principal para el proceso de erosión. La magnitud que tienen las lluvias en el suelo es directamente proporcional a la cantidad de lluvia producida en un período y lugar determinado, así como su fuerza de impacto dependerá de su diámetro y velocidad de caída.

La precipitación se la caracteriza por su intensidad y duración, denominada **I30**, lo que permite determinar las isolíneas de máxima intensidad de las precipitaciones (mm/hora), durante un tiempo determinado (30 minutos) y de frecuencia media. Así a mayor intensidad mayor susceptibilidad a erosión.

Para el análisis del I30 dentro de la susceptibilidad a erosión se considera los siguientes rangos:

- Débil: < 40 mm/h
- Media: 40 - 60 mm/h
- Fuerte: > 60 mm/h

b.5 Uso de la Tierra

Es un factor principal en la evidencia de degradación o protección del suelo el mismo que con los otros factores físicos crearán las condiciones adversas o favorables a la acción del proceso erosivo.

La presencia o ausencia de la cobertura vegetal de la tierra, es detectable en la fotografía aérea pudiendo relacionársela con los procesos erosivos actuales.

Si se toma en cuenta que el suelo y su proceso de cambio, la erosión, son las áreas con diferente tipo y densidad de cobertura de ahí la importancia de conocer el uso y cobertura de la tierra. Así las zonas de bosques o pastos serán menos susceptibles a la erosión que las tierras sin vegetación o con cultivos anuales.

La información temática fue reclasificada en:

- Muy buena protección: bosque natural.
 - Buena protección: pastizales, páramo, moderada protección: vegetación arbustiva, cultivo perenne, bosque plantado, bosque intervenido.
 - Baja protección: cultivo semi-perenne, cultivo anual, industrial e invernadero
 - Muy baja protección: área en proceso de erosión
 - Sin protección: área erosionada
- Una vez que se evalúa los factores se establece categorías relativas para cada variable. Esta fase constituye una de las más importantes ya que, se analizan y sistematizan cada una de las variables indicadas anteriormente; de este estudio se obtuvieron entre tres y seis categorías dependiendo de número de indicadores, a continuación se describen cada una de las categorías encontradas en las diferentes variables.

Cuadro 28. Categorías Relativas para cada Variable

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
I	Se refiere a las condiciones físicas menos favorables para que se produzcan la erosión.
II	Se refiere a las características biofísicas que van cambiando y con ello, aumentando la susceptibilidad a la erosión.
III	En esta, las condiciones que presentan las variables tienden hacia niveles críticos, traduciéndose en condiciones más fuertes y susceptibles a erosión.
IV	En esta categoría, las condiciones biofísicas se presentan muy severas haciendo que los espacios geográficos que presentan estas características, sean susceptibles a erosión.
V	Esta categoría, presenta condiciones biofísicas muy severas y se la utiliza en las variables: pendiente, suelos y grado de cobertura siendo áreas susceptibles a erosión
VI	Esta categoría, presenta condiciones biofísicas muy severas y se la utiliza en las variables: pendiente, suelos y grado de cobertura siendo áreas muy susceptibles a erosión o áreas erosionadas.

Cuadro 29. Categoría Relativa para la Variable Protección Vegetal

INDICADOR	USO
Cultivo anual	IV
Cultivo semi-perenne	IV
Industrial	IV
Invernadero	IV
Pasto	II
Páramo	II
Bosque plantado	III
Cultivo perenne	III
Vegetación arbustiva	III
Bosque intervenido	III
Área en proceso de erosión	V
Bosque natural	I
Área urbana	Na
Banco de arena	Na
Cuerpo de agua	Na
Area erosionada	VI

Cuadro 30. Variable Pendiente

INDICADOR	PEN
0-5%	I
5-12%	II
12-25%	III
25-50%	IV
50-70%	V
> 70%	VI

Cuadro 31. Variable Suelos (Textura)

INDICADOR	CATEGORÍA
Muy fina	I
Fina	II
Media	III
Moderadamente gruesa	IV
Gruesa	V

Cuadro 32. Variable Suelos (Profundidad)

INDICADOR	CATEGORÍA
Profundos (> 100 cm)	I
Moderadamente profundos(50-100 cm)	II
Poco profundo (20-50 cm)	III
Superficiales (0-20 cm)	IV

Cuadro 33.Variable Intensidad de lluvia (I30)

INDICADOR	I30
Débil (< 40 mm/h)	I
Media (40-60 mm/h)	II
Fuerte(> 60 mm/h)	III

Cuadro 34. Susceptibilidad a Erosión

DOMINIO	DESCRIPCIÓN	INDICADOR
Clase (4): Sin susceptibilidad	Sin susceptibilidad a erosión	Sin
Clase (3): Susceptibilidad moderada	Susceptibilidad moderada a erosión	Moderada
Clase (2): Susceptibilidad alta	Susceptibilidad alta a erosión	Alta
Clase (1): Susceptibilidad muy alta	Susceptibilidad muy alta a erosión	Muy alta

c. Clases y Rangos

A continuación se describe cada categoría de susceptibilidad a erosión:

c.1 Sin Susceptibilidad

Son aquellas unidades cuyas características del suelo y el grado de pendiente, no son favorables para que se produzca erosión aun bajo factores extremos, es decir son suelos profundos, de textura fina a muy fina con pendientes menores a 12% y con alta protección vegetal. También se lo conoce como erosión nula.

c.2 Susceptibilidad Moderada

Identifica las zonas con suelos moderadamente profundos, de textura fina a media (arcillo arenoso, arcillo limoso, franco, limoso, franco arcilloso), grado de pendiente entre 12 y 25% y con moderada protección vegetal. La susceptibilidad a la erosión es moderada, mediante intensidades fuertes de los agentes erosivos (agua, viento, y hombre).

c.3 Susceptibilidad Alta

Son zonas con características de suelo poco profundos, poco cohesivos y granulometría media a moderadamente gruesa, con pendientes del 25 al 50% y baja protección vegetal. Son áreas muy susceptibles para que se produzca una erosión acelerada, por el uso inadecuado de los recursos naturales por parte del hombre.

c.4 Susceptibilidad Muy Alta

Son áreas muy susceptibles a la erosión, por acción de los agentes erosivos (agua, viento, hombre). Tienen pendientes mayores a 70%, suelos superficiales, de textura gruesa, sin o poca protección vegetal.

3.4.5 Susceptibilidad a Inundación

a. Descripción

Las inundaciones son fenómenos naturales ocasionados por cualquier acumulación de agua, varios son los procesos de inundación, como desbordamientos de ríos, quebradas, canales; además por la cantidad de agua que pueda precipitar en algún lugar puede llevar también a eventos de inundación; pero para efectos de cartografía y espacialidad dentro del proceso geoestadístico de valoración de tierras, se determinarán las zonas susceptibles a inundación así como las superficies inundadas y las llanuras propensas a algún tipo de inundación.

a.1 Inundación

Las inundaciones son un evento natural y recurrente para un río. Las inundaciones son el resultado de lluvias fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos, quebradas y áreas costeras. Esto hace que un determinado curso de aguas rebese su cauce e inunde tierras adyacentes.

a.2 Susceptibilidad a Inundaciones

La susceptibilidad a inundaciones es la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno de inundación en una zona determinada.

Para un análisis de susceptibilidad, lo que se pretende determinar es cómo funcionaría una zona si existiese un fenómeno de precipitación excepcional, por lo cual lo que se debe conocer las posibles áreas propensas a inundación, evidentemente se debe conocer las dinámicas naturales de estas zonas, que permita a planificadores e instituciones de manejo de desastres, de instrumento de análisis, con la finalidad de poder evitar sucesos naturales que se conviertan en peligros que atenten contra el desarrollo humano.

Para nuestro país, y dentro de lo que es la valoración de tierras, es de vital importancia conocer las zonas susceptibles a inundaciones, debido a que las condiciones climáticas de nuestro territorio dan la posibilidad de que este fenómeno suceda, procesos como los del fenómeno del niño ayudan a que en zonas costeras y de bajo relieve se puedan dar las inundaciones.

b. Metodología

Para realizar la capa de susceptibilidad a inundaciones, se realiza la Interpretación de las zonas del cantón que se encuentran inundadas o de las zonas que pueden ser probables a inundaciones, a través de fotografías aéreas escala 1:20.000 de cantón. Además, el Análisis de las zonas susceptibles a se inundadas, para lo cual se tomará en cuenta el mapa de suelos a escala 1:20.000 donde se tomara en cuenta las clases texturales de las unidades de suelo:

Cuadro 35. Clases texturales de suelo para susceptibilidad a inundación.

CÓDIGO	TEXTURA	
11	Arenoso (fina, media, gruesa)	Gruesa
12	Arenoso franco	Gruesa
21	Franco arenoso (fino a grueso)	Moderadamente gruesa
22	Franco limoso	Moderadamente gruesa
31	Franco	Media

32	Limoso	Media
33	Franco arcilloso (< 35% de arcilla)	Media
34	Franco arcillo arenoso	Media
35	Franco arcillo limoso	Media
41	Franco arcilloso (> 35%)	Media
42	Arcilloso	Media
43	Arcillo arenoso	Media
44	Arcillo limoso	Media
51	Arcilloso (>60%)	Muy fina

A continuación se realiza un análisis entre las unidades texturales del suelo con las unidades de pendientes del cantón las cuales están editadas de acuerdo a la red hidrográfica, lo que nos permite observar como funcionaria cada clase de textura de los suelos y la pendiente de esa zona para establecer una jerarquización de zonas con susceptibilidad a inundación.

Cuadro 36. Matriz Clasificación de textura de suelos y pendientes.

CLASIFICACIÓN TEXTURA	PENDIENTES (%)					
	0 – 5	5 – 12	12 – 25	25 – 50	50 – 70	> 70
Gruesa	1	0	0	0	0	0
M. Gruesa	1	0	0	0	0	0
Media	2	1	0	0	0	0
Fina	3	2	1	0	0	0
Muy Fina	3	2	1	0	0	0

Como resultado se obtendrán una jerarquización de zonas susceptibles a inundación:

- 0 → Sin Susceptibilidad a Inundación
- 1 → Susceptibilidad Baja a Inundación.
- 2 → Susceptibilidad Media a Inundación
- 3 → Susceptibilidad Alta a Inundación

La cual representada en una capa presenta la siguiente leyenda:

Cuadro 37. Leyenda de las zonas susceptibles a inundación.

CRITERIO (POR CANTÓN)	INDICADOR
Susceptibilidad Alta a Inundación	Susceptibilidad Alta
Susceptibilidad Media a Inundación	Susceptibilidad Media
Susceptibilidad Baja a Inundación	Susceptibilidad Baja
Sin Susceptibilidad	Sin Susceptibilidad

c. Clases y Rangos

El análisis de susceptibilidad a inundación ha determinado la siguiente clasificación que constará en la capa.

Cuadro 38. Clasificación de susceptibilidad a inundación.

CLASE	DESCRIPCIÓN	INDICADOR
4	Sin Susceptibilidad a Inundación	Sin
3	Susceptibilidad Baja a Inundación	Baja
2	Susceptibilidad Media a Inundación	Media
1	Susceptibilidad Alta a Inundación	Alta

c.1 Sin

Zona sin Susceptibilidad, son áreas sin peligro de inundación. Se localizan en las partes altas de los relieves, o sea en pendientes que sobrepasan el 25%, lo que hace que no existe ninguna acumulación de agua en ningún momento dado.

c.2 Baja

Zonas con Susceptibilidad Baja, son zonas susceptibles a inundaciones, únicamente al producirse precipitaciones excepcionales anormales, como el fenómeno de El Niño, como aquellos presentados en los años 1982-1983 y 1997-1998 que produjo grandes destrozos con pérdidas económicas y humanas. Las aguas inundan hasta las partes altas de las terrazas medias y/o indiferenciadas.

c.3 Media

Zonas con Susceptibilidad Media, son zonas en que pueden inundarse en cortos periodos pudiendo ser en los inicios de la época invernal, las pendientes oscilan entre 0 - 5 % y 5 - 12 %. La acumulación de las aguas puede ser objeto de las precipitaciones y por la crecida de los ríos, que fluyen hacia las zonas internas bajas.

c.4 Alta

Zonas con Susceptibilidad Alta, son aquellas que permanecen inundadas mas de 6 meses durante el año, por lo general correspondientes a bacines y depresiones, valles indiferenciados, la pendiente fluctúa de 0 a 5 % y la textura de los depósitos dominantes es arcillosa. La acumulación de las aguas puede ser producto de las precipitaciones y por la crecida de los ríos en tiempo de invierno.

3.5 UNIDAD SOCIOECONÓMICA

3.5.1 Demanda sobre el Recurso Tierra

a. Descripción

La tierra es un recurso natural esencial para la sobre vivencia, para la prosperidad de la humanidad y el mantenimiento de todo el ecosistema terrestre. La influencia que ejerce el hombre sobre la tierra ha adquirido una velocidad e intensidad en los últimos tiempos, modificando la naturaleza. Por esta influencia que ejerce la población sobre los recursos y en particular sobre la tierra es importante tener presente la demanda sobre el recurso tierra. A medida que la población humana va creciendo, se nota un incremento continuo de demanda de recursos, por lo cual el hombre para satisfacer sus necesidades, ha transformado a la naturaleza, estimulando la aparición de innovaciones, como también la intensificación de las ya conocidas.

Para el presente análisis se ha considerado como indicador a la Relación Tierra Hombre, que se refiere a la disponibilidad de tierra con demanda rural en relación con la población rural. Aparentemente la relación tierra/hombre no intervendría en el proceso de valoración de tierras; sin embargo la población humana, genera sobre un entorno una serie de demandas que surgen de su interés por satisfacer un variado conjunto de necesidades básicas y lograr su desarrollo económico.

El hombre es el actor principal de la oferta y demanda de bienes que en este caso se refiere a la tierra rural. La relación entre recursos y población R/P expresa que el factor “R” debe indicar el estado global del recurso tierra y el factor “P” indicará con exactitud cuántas personas rurales dependen exactamente de esos recursos. El Factor “R” se refiere a la tierra que tiene algún tipo de demanda rural en una unidad geográfica; el factor “P” en cambio a la totalidad de la población rural de la misma zona. De esta manera, la Relación Tierra Hombre, pretende establecer que mientras menor sea el valor del indicador mayor será la demanda del recurso y viceversa.

b. Metodología

La metodología aplicada para la obtención de esta variable, se detalla a continuación:

- Ajuste de los detalles geográficos a escala 1:20.000 del límite de los sectores dispersos identificados por el INEC que están obtenidos a escala 1:50.000.

- Enlace de la base de datos alfanumérica, proporcionada por el INEC, a los sectores dispersos ajustados.
- Reclasificación del Uso de la tierra en: Áreas con demanda rural y áreas sin demanda rural. Corresponden al primer grupo las unidades de uso que se encuentran definidas en el campo Indic como cultivo anual, cultivo perenne, cultivo semi perenne, pasto cultivado, producción forestal, piscícola, área habitacional, recreación-turismo, invernadero e industrial; mientras que para los que no tienen demanda rural le corresponde las unidades de: pasto natural, vegetación arbustiva, bosque natural, bosque intervenido, áreas en proceso de erosión, áreas protegidas, áreas erosionadas, cuerpos de agua, banco de arena y áreas urbanas.
- Unión de las capas de sectores dispersos con la de uso de la tierra reclasificada. La unión de estas dos capas tiene como primer objetivo establecer la superficie con demanda rural por cada sector disperso, expresada en hectáreas y por otra parte, determinar la distribución espacial de la población, bajo la consideración de que las personas en la zona rural se asientan donde existen actividades de tipo agropecuario e industrial
- Cálculo del indicador relación tierra/hombre, por cada sector disperso, el mismo que se encuentra espacializado en función de las unidades de uso de la tierra que tienen demanda rural.
- Reclasificación en 5 rangos bajo el proceso estadístico conocido como Optimización de Jenk (Método Natural Breaks), que se caracteriza por resaltar los valores mínimos y máximos y garantiza la homogeneidad interna en las clases, manteniendo al mismo tiempo la heterogeneidad entre ellas.

c. Clases y Rangos

En el análisis de demanda del recurso se ha determinado la siguiente clasificación, como se presenta en el cuadro 39:

Cuadro 39. Clasificación de Demanda sobre el recurso tierra

DEMANDA SOBRE EL RECURSO		
CLASE	DESCRIPCIÓN	INDICADOR
5	Demanda Muy Alta sobre el recurso tierra	Muy Alta
4	Demanda Alta sobre el recurso tierra	Alta
3	Demanda Media sobre el recurso tierra	Media
2	Demanda Baja sobre el recurso tierra	Baja

1	Demanda Muy Baja sobre el recurso tierra	Muy Baja
0	Demanda Nula sobre el recurso tierra	Nula

La clasificación en cinco rangos depende de los resultados obtenidos del análisis de cada cantón, por lo que los resultados son únicos en cada uno de ellos, ya que denotan particularidades propias del cantón en estudio.

Muy Alta

Corresponde al rango más alto de la demanda sobre el recurso en el cantón en estudio, que se establece de acuerdo al Método de Optimización de Jenk.

Alta

Corresponde al rango alto de la demanda sobre el recurso en el cantón en estudio, que se establece de acuerdo al Método de Optimización de Jenk.

Media

Corresponde al rango medio de la demanda sobre el recurso en el cantón en estudio, que se establece de acuerdo al Método de Optimización de Jenk.

Baja

Corresponde al rango bajo de la demanda sobre el recurso en el cantón en estudio, que se establece de acuerdo al Método de Optimización de Jenk.

Muy Baja

Corresponde al rango muy bajo de la demanda sobre el recurso en el cantón en estudio, que se establece de acuerdo al Método de Optimización de Jenk.

Nula

Corresponde a las áreas del cantón en estudio que no tienen demanda sobre el recurso.

Nota: Para la clasificación de la demanda del recurso tierra, se debe considerar que los resultados del indicador Relación Tierra Hombre, al momento de clasificarlos, deben ser analizados bajo una relación inversa, esto es que a mayor número de hectáreas por habitante existirá una menor demanda y viceversa.

3.5.2 Accesibilidad Vial

a. Descripción

Las características biofísicas de un predio, como por ejemplo la calidad del suelo, define el valor de un terreno en estado bruto, pero sin los medios para convertirlo en tierra productiva⁷; de esta manera, aparece el trabajo del hombre colocando las mejoras. Una de estas mejoras se refiere a la infraestructura vial.

⁷ Valoración de Predios Agrarios, Borrero Oscar, García Gilberto. ed. al, Bogotá D.C., Colombia, 2002

La infraestructura vial, es un elemento dinamizador de las economías modernas, ya que genera un efecto multiplicador en los principales sectores productivos agropecuarios, industriales, así como en los conexos. Por otro lado ocasiona externalidades positivas en la producción y en el consumo, aumentando los niveles de competitividad y bienestar de los agentes que participan en el mercado.

La vialidad tiene vital importancia en el proceso de valoración de tierras, por cuanto en el contexto de la ruralidad, la infraestructura vial comprende una red de caminos y carreteras que unen a los pueblos y mientras mayor es el número y la calidad de las vías estas dan mayor valor a las tierras, por cuanto existirán las condiciones óptimas para movilizar la producción y dinamizar el comercio interno y externo. Además los cambios significativos en la vialidad, como por ejemplo la pavimentación de un camino de acceso, pueden provocar saltos cualitativos en la cultura de las zonas que atraviesan y tienen efectos que dinamizan la realidad del sector; ya que generan circuitos de modernización que unen los centros urbanos y suburbanos de la región a los más pequeños enclaves de concentración de viviendas y por estas vías penetran los contenidos de la modernización y circulan quienes aproximan los elementos de esta modernización que impacta el sistema comunitario.

De ahí que la infraestructura vial es considerada como el motor de la economía ya que tiene relación con transporte, suelos, salud, educación, vivienda, servicios básicos, electrificación, producción en todas sus ramas de actividad, consumo, costos de producción, precios, y otras conexas.

b. Metodología

Tradicionalmente la accesibilidad física o potencial, ha estimado fundamentalmente, la accesibilidad geográfica que se deriva de la localización relativa entre usuarios potenciales y los objetos o servicios requeridos (vías) en un modelo bidimensional. Sin embargo, la proximidad o lejanía física no garantiza, ni limita por si sola la probabilidad real de acceder a las carreteras principales dentro del cantón, por lo cual, con el objetivo de obtener un acercamiento mas real de accesibilidad, se ha sobrepasado el modelo bidimensional de análisis, para lo cual se ha considerado la participación del relieve como un factor limitante.

De manera concreta, se pretende abordar la accesibilidad física o potencial de los predios del cantón a la red de carreteras pavimentadas, lastradas, de verano y vías fluviales, utilizando tres modelos de análisis: en el primero se aplica el criterio bidimensional, donde la distancia se analiza sobre una superficie hipotéticamente plana a partir de la creación de áreas de influencia (buffers). El segundo modelo se obtiene a través de la aplicación de tablas de ponderación, en donde el relieve se presenta como un friccionante geográfico; y por último se procede a establecer una jerarquización por tipo de vía. El procedimiento establecido para la determinación de la accesibilidad vial del cantón se divide en

tres fases, que corresponden al modelo bidimensional, modelo tridimensional y jerarquización, como se detalla en la siguiente figura:

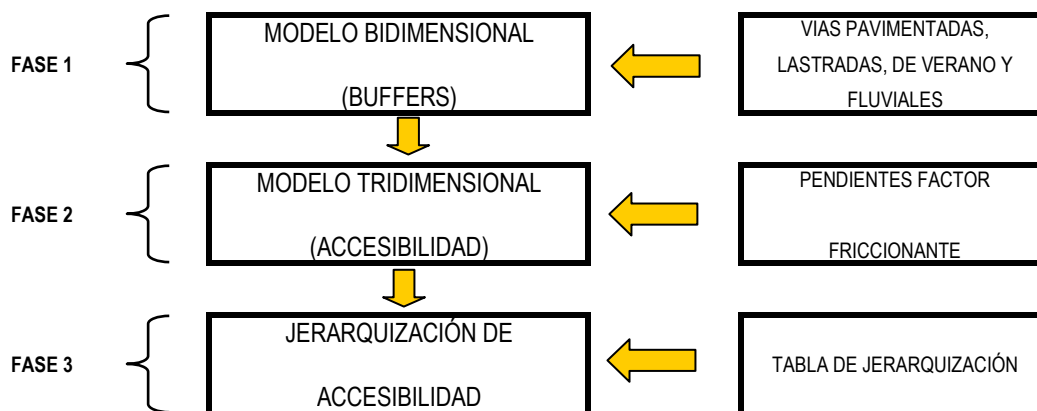


Figura 8. Determinación de Accesibilidad Vial

Para obtener la capa de accesibilidad vial se utilizan como insumos:

- Capa de vías, de las cuales se seleccionan las pavimentadas, lastradas y de verano.
- Capa de drenajes, de los cuales se seleccionan los ríos navegables.
- Capa de pendientes (formato raster) escala 1:20.000 generada como una variable dentro del componente biogeoestructural.

b.1 Fase 1

Modelo Bidimensional.- Los estudios tradicionales de accesibilidad que se desarrollan en los estudios geográficos, parten de considerar el acceso de las vías de comunicación a partir de la generación de bandas o áreas de influencia (buffers), equidistantes a partir de una determinada distancia sobre una línea, punto o polígono. En consecuencia, cada buffer es paralelo y abarca una distancia previamente determinada, generando una idea muy relativa de la *distancia real*, sobre todo en aquellos casos donde el relieve es enérgico y abrupto. A partir de este modelo, se puede visualizar y calificar los objetos (predios) que se localizan dentro de cada área; sin embargo este modelo no contempla la participación del relieve, que puede modificar sensiblemente el concepto de cercanía y alejamiento. Partiendo de los antecedentes citados, se ha establecido el siguiente proceso:

- Revisión de las capas de vías y drenajes generadas a través de la interpretación de las ortofotos.
- Selección y reclasificación de las capas de vías y drenajes, como se detalla:
Capa Vial: Vías pavimentadas, lastradas y de verano.

- Capa de drenajes, de la cual se selecciona los ríos navegables presentes en el cantón.
- Determinación de las áreas de influencia (buffers) para cada tipo de vía, esto es pavimentada, lastrada, de verano y fluvial. Los rangos para la determinación de los buffers son como se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 40. Rangos de Proximidad y Tiempos de Recorrido

RANGOS DE PROXIMIDAD (m)	TIEMPO DE RECORRIDO A PIE (minutos)
0 – 500	0 – 7,5
500 – 1000	7,5 - 15
1000 – 1500	15 -22,5
1500 – 2000	22,5 - 30
> 2000	> 30

b.2 Fase 2

Modelo Tridimensional.- Después de que las áreas de influencia son determinadas, de manera independiente, de acuerdo al tipo de vía, corresponde incluir el factor de fricción que son las pendientes, que se encuentran en formato raster. Para esta combinación, se utilizará la herramienta *Map Calculator*, la misma que efectúa operaciones de tipo algebraico. Para este proceso, se utilizará la siguiente matriz, que permitirá establecer ponderaciones para las capas de proximidad y de pendientes:

Cuadro 41. Rangos de Proximidad y Pendiente

RANGOS DE PROXIMIDAD (m)		RANGOS DE PENDIENTE (%)					
		0 - 5	5 - 12	12 - 25	25 - 50	50 - 70	> 70
		6	5	4	3	2	1
0 – 500	5	30	25	20	15	10	5
500 – 1000	4	24	20	16	12	8	4
1000 – 1500	3	18	15	12	9	6	3
1500 – 2000	2	12	10	8	6	4	2
> 2000	1	6	5	4	3	2	1

Los valores del Cuadro 41 corresponden a una ponderación, en donde las condiciones más favorables y que dan valor a la tierra se encuentran con una ponderación alta, mientras que aquellas que le restan valor se hallan con una ponderación baja. Así tenemos que para una proximidad de 0 a 500 m se le ha asignado un valor de cinco ya que esto indica que los predios más cercanos tienen una ventaja frente a aquellos que se encuentran a más de 2 km. De la misma manera para la ponderación de los rangos de pendientes, se ha establecido una escala que va de 1 a 6, donde para una pendiente plana (0 – 5%), le corresponde un valor de 6; mientras que para una pendiente abrupta (>70%), se le ha asignado el valor más bajo que es 1.

Posterior a la ponderación correspondiente para las dos capas se procede a la multiplicación de los valores de ponderación, a través de la herramienta *Map Calculator* que permitirá identificar las posibles combinaciones, resultantes de la unión de estas dos variables. Con los resultados de la multiplicación, se establece el tipo de accesibilidad vial, de acuerdo a la clasificación que se presenta a continuación:

Cuadro 42. Rangos de accesibilidad vial

RANGOS DE ACCESIBILIDAD VIAL		
CLASE	RANGO	INDICADOR
5	30 - 25	Muy Alta
4	24 - 19	Alta
3	18 - 13	Media
2	12 - 7	Baja
1	6 - 1	Muy Baja

La interpretación de la tabla y de acuerdo a la clasificación de accesibilidad, determina que a mayor proximidad y pendiente plana, mayor será la accesibilidad vial y viceversa.

b.3 Fase 3

Jerarquización.- La jerarquización de la accesibilidad vial tiene como objetivo la identificación en orden de importancia de las vías de acuerdo al tipo, esto es pavimentada, lastrada, de verano y fluvial, en donde tienen mayor valor de ponderación las vías pavimentadas. Para realizar este proceso se procede a vectorizar las dos capas de accesibilidad vial por tipo, que se encuentran en formato raster, para luego unir las y establecer prioridades a través de la tabla de jerarquización que se detalla en el cuadro 43:

Cuadro 43. Tipo de accesibilidad y vía

TIPO DE VÍA		TIPO DE ACCESIBILIDAD				
		Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja
		5	4	3	2	1
Pavimentada	3	15	12	9	6	3
Lastrada	2	10	8	6	4	2
De verano y fluvial	1	5	4	3	2	1

Como resultado de la aplicación de esta matriz, se obtiene la clasificación general, como se detalla a continuación:

Cuadro 44. Análisis de accesibilidad vial

RANGOS DE ACCESIBILIDAD VIAL		
CLASE	RANGO	INDICADOR
5	15 - 13	Muy Alta
4	12 - 10	Alta
3	9 - 7	Media
2	6 - 4	Baja
1	3 - 1	Muy Baja

c. Clases y Rangos

El análisis de accesibilidad vial ha determinado la siguiente clasificación, como se presenta en el cuadro 45:

Cuadro 45. Clasificación de accesibilidad vial

ACCESIBILIDAD VIAL		
CLASE	DESCRIPCIÓN	INDICADOR
5	Accesibilidad Vial Muy Alta	Muy Alta
4	Accesibilidad Vial Alta	Alta
3	Accesibilidad Vial Media	Media
2	Accesibilidad Vial Baja	Baja
1	Accesibilidad Vial Muy Baja	Muy Baja

Muy alta

Corresponde a las áreas con una accesibilidad muy alta hacia una vía pavimentada.

Alta

Corresponde a las áreas con una accesibilidad alta hacia una vía pavimentada y muy alta hacia una vía lastrada.

Media

Corresponde a las áreas con una accesibilidad media hacia una vía pavimentada y alta hacia una vía lastrada.

Baja

Corresponde a las áreas con una Accesibilidad baja hacia una vía pavimentada, media y baja hacia una vía lastrada y muy alta y alta hacia una vía de verano (fluvial).

Muy Baja

Corresponde a las áreas con una accesibilidad muy baja hacia una vía pavimentada, muy baja hacia una vía lastrada y media, baja y muy baja hacia una vía de verano (fluvial).

3.5.3 Disponibilidad de Servicios Básicos

a. Descripción

La variable disponibilidad de Servicios Básicos, representa la cobertura de los servicios de agua potable, luz eléctrica y alcantarillado. Estos indicadores serán analizados según su porcentaje de cobertura a nivel de sector disperso tomando en cuenta además la variable de uso de suelo reclasificada para la determinación de concentración poblacional, y de esta manera definir mediante análisis estadísticos una disponibilidad muy alta, alta, media, baja, muy baja y nula.

La fuente de obtención de la información de los porcentajes de cobertura es el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) a nivel de sector disperso, correspondiente al último censo realizado en el año 2001.

b. Metodología

Para la obtención de la disponibilidad de servicios básicos se utilizan como insumos la capa de Uso de la Tierra escala 1:20.000 generada como una variable dentro de este proyecto y la capa de sectores dispersos escala 1:50.000, cuya fuente es el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), correspondiente al último censo realizado en el año 2001. Con estos insumos, la metodología aplicada para la obtención de esta variable, se detalla a continuación:

- Ajuste de los detalles geográficos a escala 1:20.000 del límite de los sectores dispersos identificados por el INEC que están obtenidos a escala 1:50.000.

- Revisión y análisis de la información de Servicios básicos: Agua Potable, Luz Eléctrica y Alcantarillado (datos obtenidos del INEC). Esta información se encuentra en porcentaje de cobertura de cada servicio por sector disperso.
- Estructuración y cálculo de la Media de Cobertura.- Corresponde a la media de los tres indicadores (agua+luz+alcantarillado/3) en cada sector disperso.

Es importante mencionar que la información de servicios básicos por sectores dispersos no representa la distribución espacial real de la disponibilidad del servicio, pero este constituye el único dato referencial que indica la disponibilidad de los servicios básicos en cada sector disperso.

- Reclasificación en 5 rangos bajo el proceso estadístico conocido como Optimización de Jenk, que se caracteriza por resaltar los valores mínimos y máximos y garantizar la homogeneidad interna en las clases, manteniendo al mismo tiempo la heterogeneidad entre ellas.

La clasificación en cinco rangos depende de los resultados obtenidos del análisis de cada cantón, por lo que los resultados son únicos en cada uno de ellos, ya que denotan particularidades propias del cantón en estudio.

El análisis de disponibilidad a servicios básicos ha determinado la siguiente clasificación, según se presentan a continuación:

Cuadro 46. Clasificación de disponibilidad de Servicios Básicos

DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS BÁSICOS		
CLASE	DESCRIPCIÓN	INDICADOR
5	Disponibilidad Muy Alta de Servicios Básicos	Muy Alta
4	Disponibilidad Alta de Servicios Básicos	Alta
3	Disponibilidad Media de Servicios Básicos	Media
2	Disponibilidad Baja de Servicios Básicos	Baja
1	Disponibilidad Muy Baja de Servicios Básicos	Muy Baja
0	Disponibilidad Nula de Servicios Básicos	Nula

Muy Alta

Corresponde al rango más alto de cobertura de los servicios básicos del cantón en estudio, que se establece de acuerdo al Método de Optimización de Jenk.

Alta

Corresponde al rango alto de cobertura de los servicios básicos del cantón en estudio, que se establece de acuerdo al Método de Optimización de Jenk.

Media

Corresponde al rango medio de cobertura de los servicios básicos del cantón en estudio, que se establece de acuerdo al Método de Optimización de Jenk.

Baja

Corresponde al rango bajo de cobertura de los servicios básicos del cantón en estudio, que se establece de acuerdo al Método de Optimización de Jenk.

Muy Baja

Corresponde al rango muy bajo de cobertura de los servicios básicos del cantón en estudio, que se establece de acuerdo al Método de Optimización de Jenk.

3.5.4 Accesibilidad al Área Urbana**a. Descripción**

Para el valor de una tierra rural, el factor localización y cercanía a la ciudad principal dentro de una región (cantón), es muy importante, ya que representa accesibilidad y reducción de costos (transporte) y tiempo a diferentes servicios que se hallan concentrados dentro de un área urbana.

Con los antecedentes mencionados, el objetivo de la presente variable es la identificación y posterior categorización de zonas de accesibilidad a las áreas urbana, representados en períodos de tiempo que se gastan desde cualquier punto del cantón hasta las cabeceras cantonales y parroquiales más cercanas; bajo la consideración de que las zonas que se encuentren a menor tiempo de éstas tendrán ventajas y el valor de la tierra será mayor; mientras que aquellas que se encuentren a mayor tiempo le restaran valor a la tierra.

b. Metodología

El análisis para la determinación de la accesibilidad física hacia las áreas urbanas comprende la integración de múltiples variables que permitirán establecer la verdadera facilidad de acceso hacia estas localidades, en donde la presencia de una vía que sirve como vínculo para acceder a un servicio, no es suficiente (Barwell, 1996), por lo cual es necesario establecer un modelo que incorpore los factores físicos locales, que constituyen limitantes para la accesibilidad. Las variables, las mismas que constituyen los correspondientes insumos, son: capa de ubicación de las cabeceras cantonales y parroquiales, capa de vías, capa de uso de la tierra y capa de pendientes.

El modelo de accesibilidad física planteado, es el de “*Costo – Distancia*”, el mismo que se basa en una superficie de fricción, que corresponde a la totalidad de las variables que influyen en el fenómeno “transporte”, es decir, es un modelo que describe con cuanta facilidad o dificultad el terreno puede ser atravesado. Como resultado de este análisis, se define el acceso a las áreas urbanas.

Para la aplicación de este modelo se parte de la siguiente pregunta: *¿Cuál es el costo de trasladarse desde cualquier punto dentro del cantón a las cabeceras parroquiales y cantonales?* Para este caso, el “costo” se refiere al tiempo invertido en llegar a una locación, el cual, según explica Farrow, 2001, puede ser considerado como el grado de accesibilidad, que depende directamente de la capacidad y calidad de la infraestructura de transportes.

El modelo de Costo – Distancia, se lo calcula en formato raster, el cual constituye una matriz de celdas, en donde la accesibilidad es calculada a partir de la suma de celda tras celda a partir de los sitios de interés, que para este caso está representado por los centros educativos y de salud.

Con los antecedentes citados, la accesibilidad a las áreas urbanas se resume en el siguiente esquema, que se encuentra conformado por tres fases:

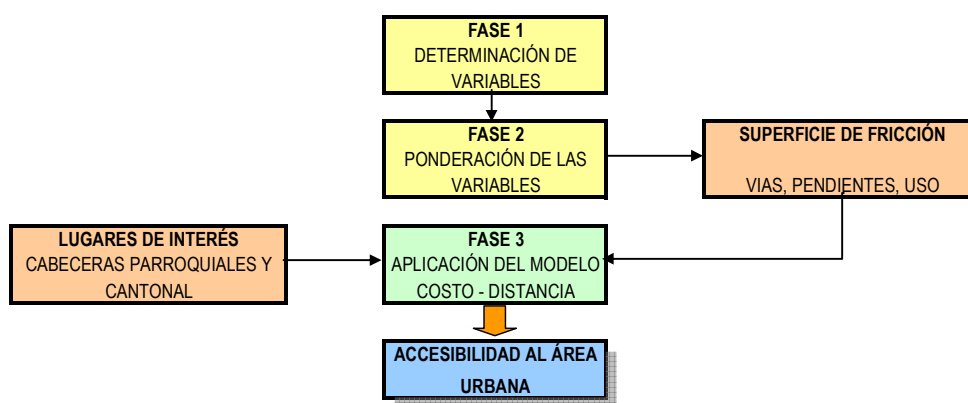


Figura 9. Determinación de Accesibilidad al Área Urbana

b1. Fase 1

Determinación de las Variables.- Las variables que se incluyen dentro de la accesibilidad al área urbana son:

- Cabeceras parroquiales y cantonal
- Infraestructura vial
- Pendientes
- Uso de la Tierra

Cabecera parroquial y cantonal.- Esta variable se la obtiene a partir de la capa de uso de la tierra, de la cual se selecciona las áreas urbanas.

Infraestructura vial.- Esta variable corresponde a la capa de vías, la cual es generada a partir de la interpretación de las ortofotos. La red vial se encuentra conformada por diferentes tipos de vías: pavimentadas, lastradas, de verano, de herradura y senderos, a las cuales se le asocia una velocidad característica de viaje.

Pendientes.- Esta variable representa la tipología del relieve para el cantón, el cual constituye el primer elemento friccionante dentro del análisis de accesibilidad, en donde un relieve plano no representa un limitante; mientras que uno escarpado sí.

Uso de la Tierra.- El uso de la Tierra representa el segundo elemento friccionante dentro del modelo propuesto, en donde se parte de la concepción que un terreno con una cobertura de bosque o vegetación arbustiva implicará mayor tiempo de recorrido; mientras que uno que presente otros usos no representará obstáculos.

b.2 Fase 2

Ponderación de las Variables.- La segunda fase consiste en definir cuál es la influencia que cada uno de los factores ejerce sobre el grado de accesibilidad física o potencial que se desea establecer. Para esto se lleva a cabo un análisis de cada una de las variables involucradas, con el propósito de definir el peso de cada una de ellas, en función del tiempo que tomaría cruzar cada celda (tamaño: 10 metros) en la grilla. Para el cálculo del tiempo se utiliza la fórmula CCT (Cell Crossing Time), la cual está expresada en segundos, como se detalla a continuación:

$$Tiempo = Tamaño\ de\ celda \times \left[\frac{1}{\left(Velocidad\ (km/h) \times \left(\frac{1000}{3600} \right) \right)} \right]$$

[37]

Utilizando la fórmula antes descrita se procede a calcular los pesos para las variables: vías y uso, considerando que para el análisis se ha establecido que el tamaño del píxel es de 10 metros.

Para reclasificar la infraestructura vial se les asignó velocidad promedio a cada tipo vía, según tiempo de viaje utilizando la velocidad promedio con la que se atraviesa una celda en la grilla, de acuerdo al siguiente cuadro:

Cuadro 47. Ponderación de la Red Vial

PONDERACIÓN DE RED VIAL		
TIPO DE VIA	VELOCIDAD (km/h)	CCT (segundos)
Carretera pavimentada	60	1

Carretera lastrada	30	2
Camino de verano	10	4
Río navegable	10	4
Camino de herradura	6	6
Sendero o vereda	4 *	9

* Valor calculado a pie

La capa de uso de la tierra ha sido reclasificada en consideración de la dificultad que demandaría atravesar las diferentes coberturas, esto es en campo abierto y con obstáculos, para lo cual primeramente se realiza una reclasificación de la capa de uso, en donde se establecen tres categorías a cada una de las cuales les corresponde un tiempo expresado en segundos.

Corresponden a la categoría Alta, la presencia de los ríos (no navegables) y las formaciones asociadas a estos, como son los islotes, en donde el costo (tiempo) para atravesarlos es el más elevado. La segunda categoría Media corresponde a los bosques y vegetación arbustiva; mientras que la última categoría Baja agrupa a aquellos usos que no presentan obstáculos y se refieren al resto de las unidades identificadas, que incluyen a los cultivos, uso industrial, invernaderos, entre otros. Para este cálculo del tiempo, se ha considerado la velocidad a la cual se recorrería esta superficie sin medio de transporte alguno, esto es solo a pie. Las ponderaciones para estas categorías se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 48. Ponderación de Uso de la Tierra

PONDERACIÓN USO DE LA TIERRA		
CATEGORIA	VELOCIDAD (km/h)	CCT (segundos)
Baja	4	9
Media	3	12
Alta	1	35

Por otra parte, la pendiente es un caso especial, por lo cual se necesita calcular un factor de pendiente; es decir, que tanto afecta esta variable en la velocidad de viaje con respecto a otras superficies. Según Farrow (2001), las pendientes entre 0 – 5% no tienen influencia, de manera que el factor sería 1; pero las pendientes entre 5 – 12% reducirían a la mitad la velocidad del viaje, de modo que el factor sería 2, etc. En consideración a lo expuesto, las pendientes son reclasificadas en función de los grados de dificultad, que van a ir modificando el tipo de recorrido de cada píxel, aumentándolo según sea la pendiente. La designación de estos valores se basa en un estudio previo realizado en Perú, denominado “La Importancia de la Accesibilidad en el Impacto de los Teléfonos Rurales”

(Septiembre, 2004), en el cual se definen los siguientes valores como ponderadores de dificultad:

Cuadro 49. Ponderación de Pendientes

PONDERACIÓN DE PENDIENTES	
PENDIENTES (Porcentaje)	DIFICULTAD
0 - 5	1
5 - 12	2
12 - 25	3
25 - 50	4
50 - 70	5
> 70	6

b3. Fase 3

Aplicación del Modelo Costo-Distancia.- Después de que cada una de las variables tienen sus pesos específicos definidos, se procede a establecer una capa única que se define como la superficie de fricción o “Grid Cost”. La superficie de fricción es la totalidad de las variables que influyen en el fenómeno “transporte”, es decir es un modelo que describe con cuanta facilidad o dificultad el terreno puede ser atravesado. Una vez que se obtiene la superficie de fricción el SIG aplica la función costo ponderado de la distancia “cost weighted distance” que realiza un cálculo de la ruta acumulativa más “económica”, teniendo en cuenta la superficie de fricción, es decir encuentra el menor costo acumulativo para ir de una celda a la celda contigua. Operativamente, para que la herramienta del SIG, sea aplicable, se debe obtener dos capas en formato raster: una superficie de fricción y el/los lugares de interés, que para este caso están representados por las áreas urbanas. Como resultado de la aplicación del modelo se obtiene una grilla que representa el costo (tiempo) que tiene cada una de ellas, expresados en segundos, los cuales son simplificados a minutos para una mayor claridad, la misma que se reclasifica de acuerdo al siguiente cuadro:

Cuadro 50. Rangos de CCT Simplificados

RANGOS CCT (Segundos)	RANGOS CCT SIMPLIFICADOS (Minutos)
0 - 900	0 - 15

900 - 1800	15 – 30
1800 - 2700	30 – 45
2700 - 3600	45 – 60
> 3600	> 60

c. Clases y Rangos

A cada uno de los rangos establecidos les corresponde un Indicador, en donde el menor tiempo empleado para llegar a los servicios sociales, es el que tiene la mayor accesibilidad y por lo tanto le da un mayor valor a la tierra. El cuadro 51 indica la clasificación determinada para las categorías de accesibilidad:

Cuadro 51. Clasificación de accesibilidad a servicios sociales

ACCESIBILIDAD A LOS SERVICIOS SOCIALES		
CLASE	INDICADOR	RANGOS CCT (Minutos)
5	Muy Alta	0 - 15
4	Alta	15 - 30
3	Media	30 - 45
2	Baja	45 - 60
1	Muy Baja	> 60

Muy Alta

Corresponde a aquellas zonas que se ubican hasta 15 minutos de las áreas urbanas.

Alta

Corresponde a aquellas zonas que se ubican de 15 a 30 minutos de las áreas urbanas.

Media

Corresponde a aquellas zonas que se ubican de 30 a 45 minutos de las áreas urbanas.

Baja

Corresponde a aquellas zonas que se ubican de 45 a 60 minutos de las áreas urbanas.

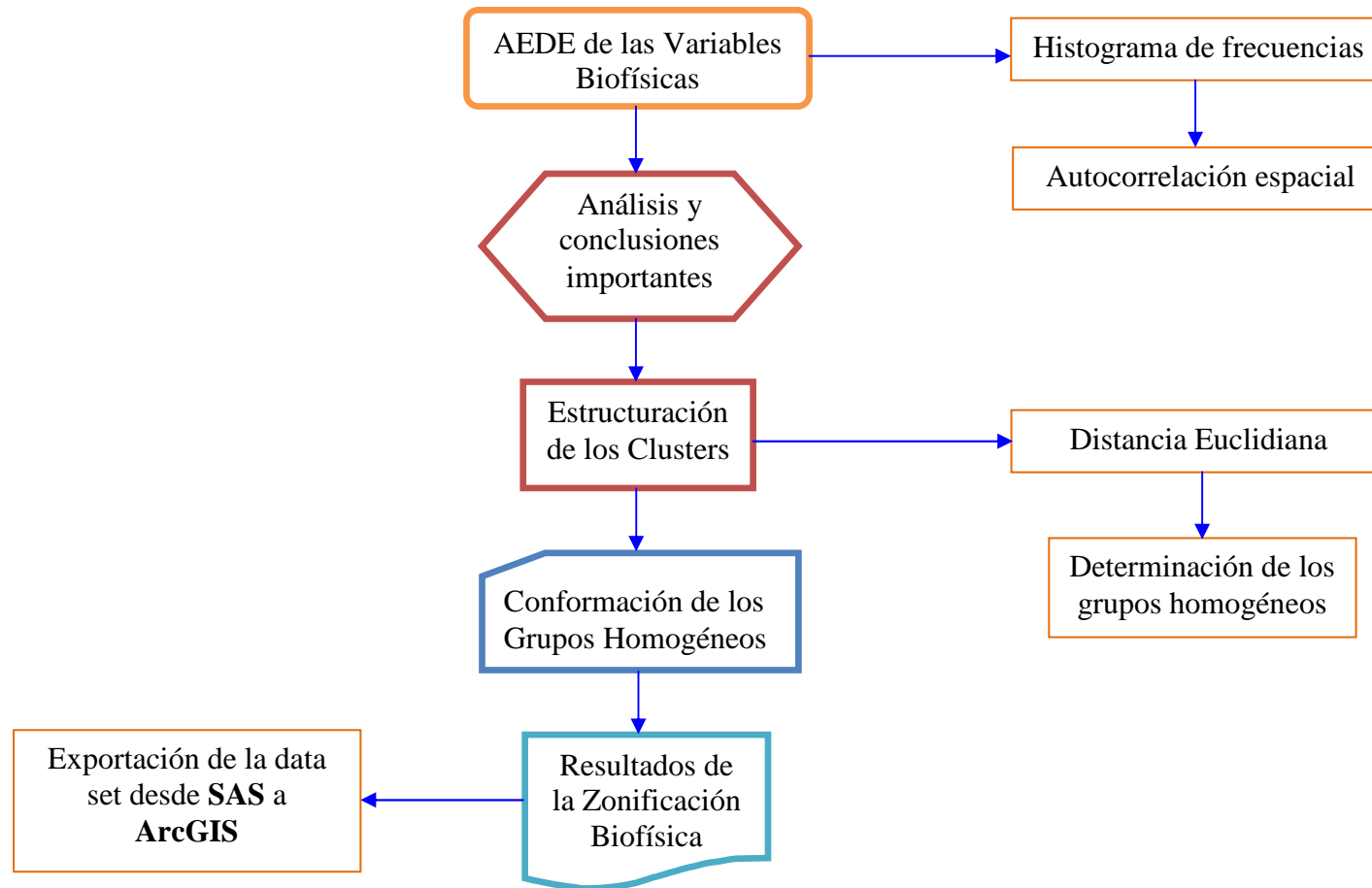
Muy Baja

Corresponde a aquellas zonas que se ubican a más de 60 minutos de las áreas urbanas.

CAPÍTULO IV

PROCESO METODOLÓGICO PARA ZONIFICACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA

4.1 Zonificación Biofísica



4.2 Cantón Seleccionado

Es necesario para tener el conocimiento de la ubicación del cantón con respecto al ámbito nacional, este es un primer acercamiento a conocer las características positivas y negativas que se presentaren en su territorio.



Figura 10. Ubicación Espacial del Cantón

4.3 Análisis de la dinámica del cantón

Este análisis de dinámica cantonal nos permitirá definir la homogeneidad del cantón, puesto que para nuestra investigación de precios el mismo que nos permite inferir sobre la cantidad de encuestas que se deben realizar, y por ende los costos que el proceso puede demandar.

Para determinar la homogeneidad de cada cantón en estudio, se realiza un análisis de la dinámica económica, basada en el uso de la tierra (escala 1: 50.000), el tipo de agricultura intensiva o extensiva, el tipo de cultivo, y la superficie cultivada serán los indicadores para definir cuan homogéneo es un cantón.

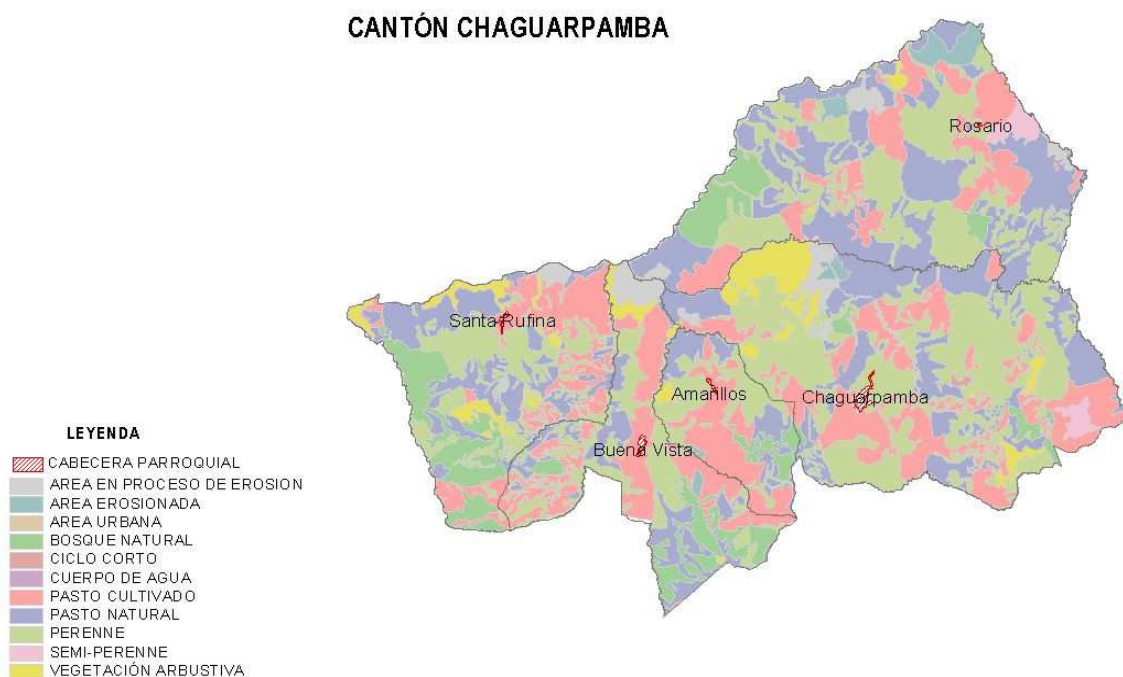


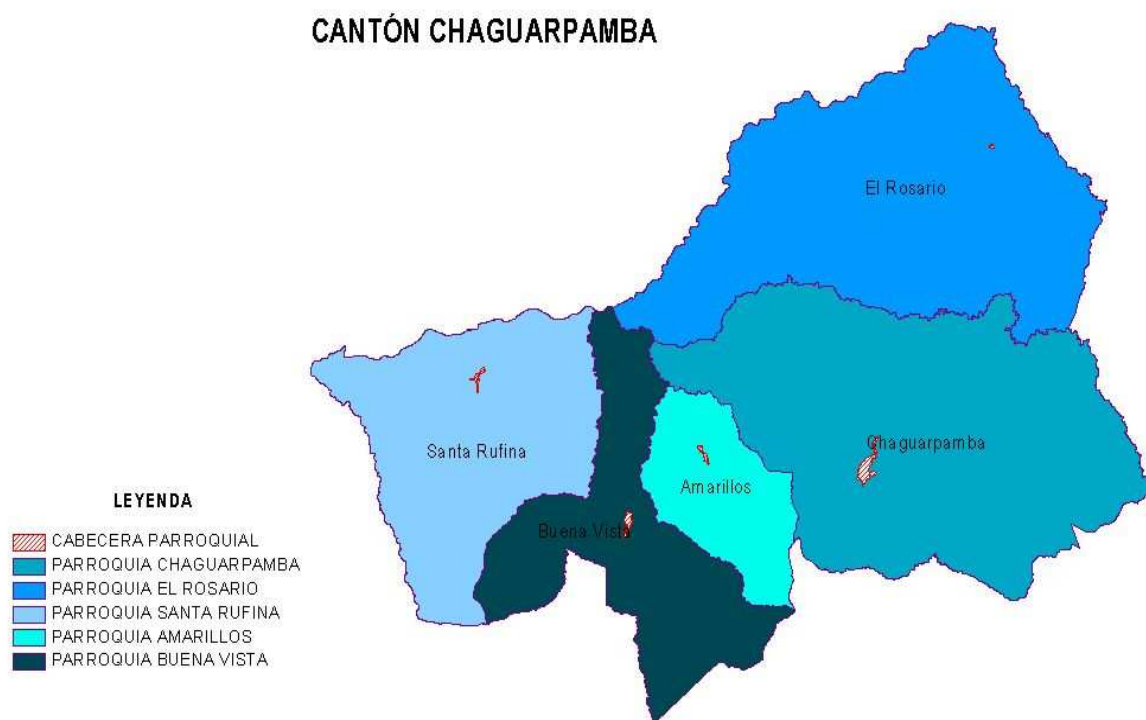
Figura 11. Uso del La tierra del Cantón Chaguarpamba - Escala 1:50.000

Este análisis permitirá identificar, si fuera una estratificación preliminar del objeto de nuestra investigación. Para el caso del cantón Chaguarpamba de acuerdo a este análisis no se puede considerar un cantón homogéneo por lo que el tamaño de la muestra deberá ser grande, a fin de que sea representativo.

4.4 División Político Administrativa

Identificación de la División Político Administrativa a nivel parroquial de acuerdo a fuentes oficiales (INEC), es el primer paso para el desarrollo del diseño muestral, debido a que para facilitar la investigación se debe procurar de que los diferentes sectores objetivos de la investigación correspondan a la división parroquial.

Figura 12. División Político Administrativa del Cantón Chaguarpamba - Escala 1:50.000



4.5 Definición de Zonas Homogéneas

Zona homogénea se define como la delimitación de un área territorial, donde las características físicas como el uso del suelo, aptitud agrícola y forestal, existencia y disponibilidad de servicios públicos e infraestructura, tienen un nivel de homogeneidad cuantitativa y cualitativa, conceptualizados en los términos y condiciones aplicables a nivel nacional.

La zonificación a realizar en el proceso geoestadístico contempla el análisis de diferentes variables, naturales, sociales y económicas y su interacción, las mismas que permiten establecer una homogeneidad.

A continuación se plantean estimadores estadísticos y un análisis multivariado de zonificación homogénea, con el fin de dar el debido soporte a la valoración económica de la tierra rural.

El proceso geoestadístico a plantearse busca la determinación de zonas homogéneas clasificadas en cinco categorías de tierras bajo condiciones de homogeneidad para las unidades biogeoestructurales, hidroestructurales, ambientales y tecnoestructurales, a las cuales se les asigna una categorización como se observa en el siguiente cuadro

Cuadro 52. Caracterización de Zonas Homogéneas

ZONA HOMOGÉNEA	CARACTERIZACIÓN
ZH_5	Excelente
ZH_4	Muy buena
ZH_3	Buena
ZH_2	Regular
ZH_1	Deficiente

4.6 Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) de la Unidad Biofísica

El proceso metodológico para zonificación empieza con un Análisis Exploratorio de Datos Espaciales, que se lo ha implementado en el software SAS⁸, consiguientemente se detalla los resultados de la implementación del código:

4.6.1 AEDE Pendiente

Basic Statistical Measures			
Location		Variability	
Mean	26.01823	Std Deviation	32.13239
Median	16.00000	Variance	1032
Mode	32.00000	Range	256.00000
		Interquartile Range	24.00000

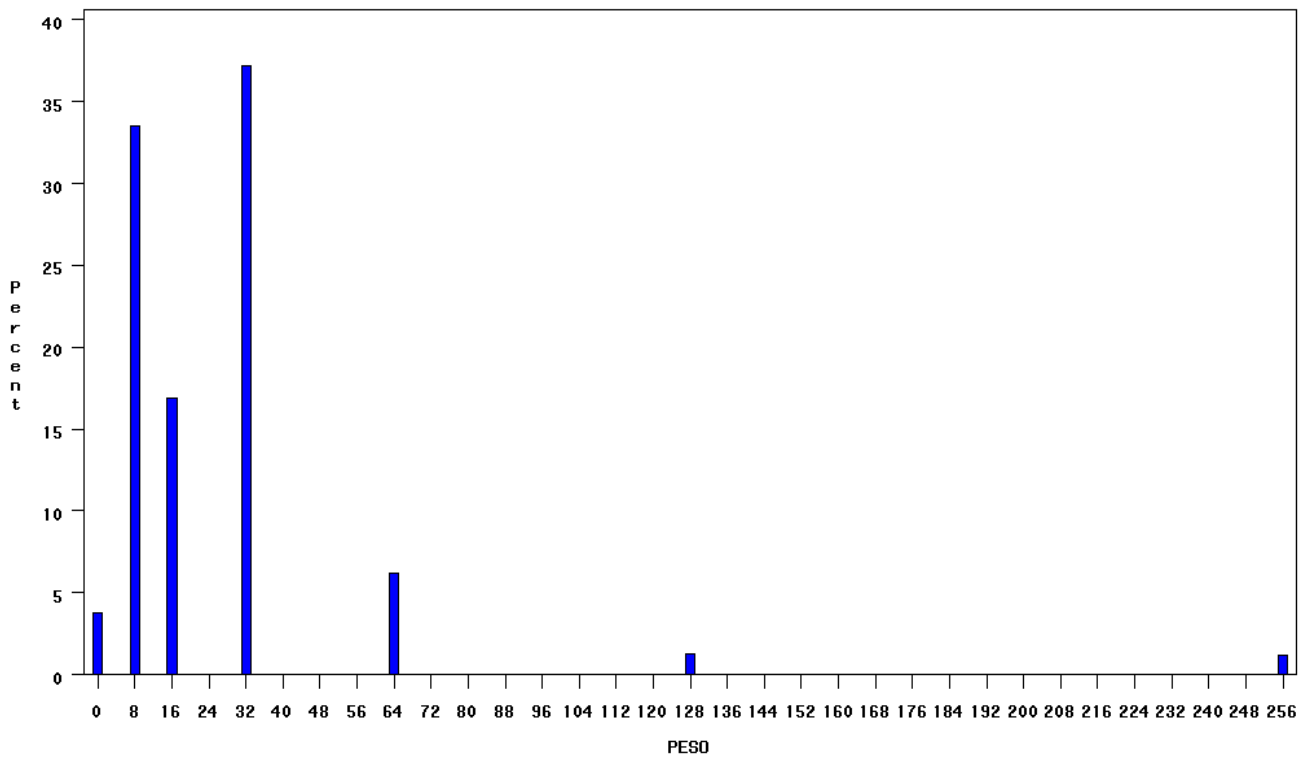
Quantiles (Definition 5)	
Quantile	Estimate
100% Max	256
99%	256
95%	64

⁸ System Analysis Statistical

Quantiles (Definition 5)	
Quantile	Estimate
90%	32
75% Q3	32
50% Median	16
25% Q1	8
10%	8
5%	8
1%	0
0% Min	0

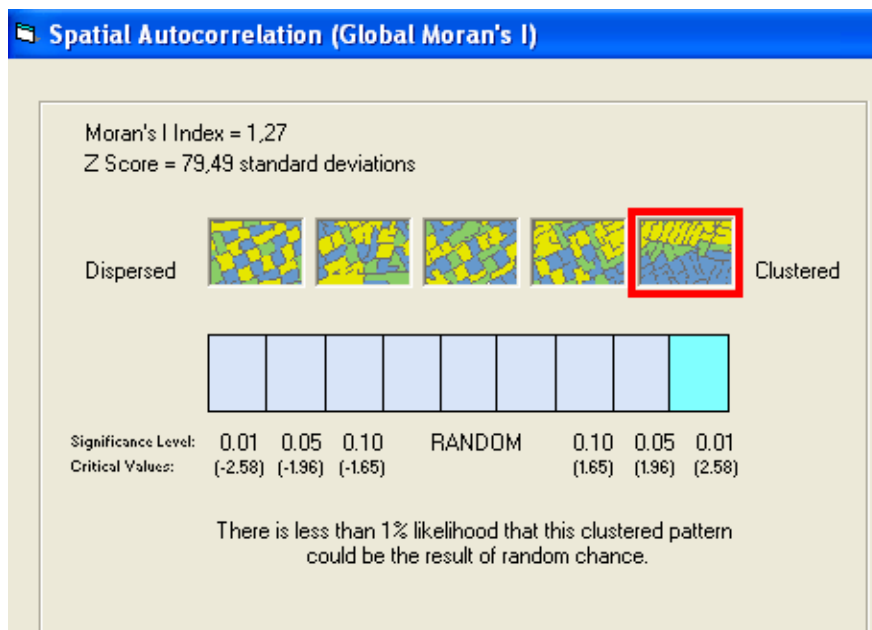
a. Histograma

VARIABLE PENDIENTE



anexo 6

b. Autocorrelación Espacial



c. Análisis

- En el análisis exploratorio de datos espaciales es interesante analizar la presencia de datos acumulados en los quintiles, en este caso, el Q3 (75%) de las observaciones se encuentran en 8 unidades. Y lo confirma la mediana y moda de los datos.
- Autocorrelación espacial negativa.

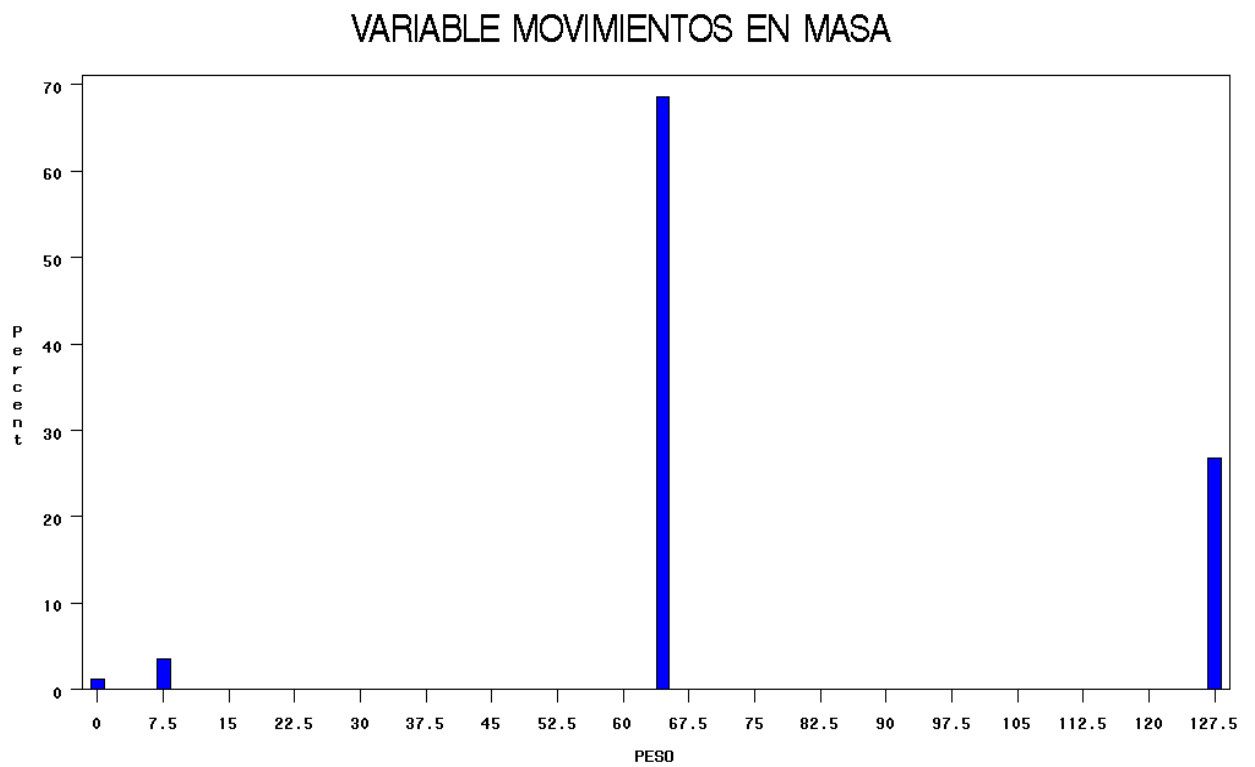
4.6.2 AEDE Movimientos en masa

Basic Statistical Measures			
Location		Variability	
Mean	78.33994	Std Deviation	32.40099
Median	64.00000	Variance	1050
Mode	64.00000	Range	128.00000
		Interquartile Range	64.00000

Quantiles (Definition 5)	
Quantile	Estimate
100% Max	128
99%	128
95%	128
90%	128
75% Q3	128

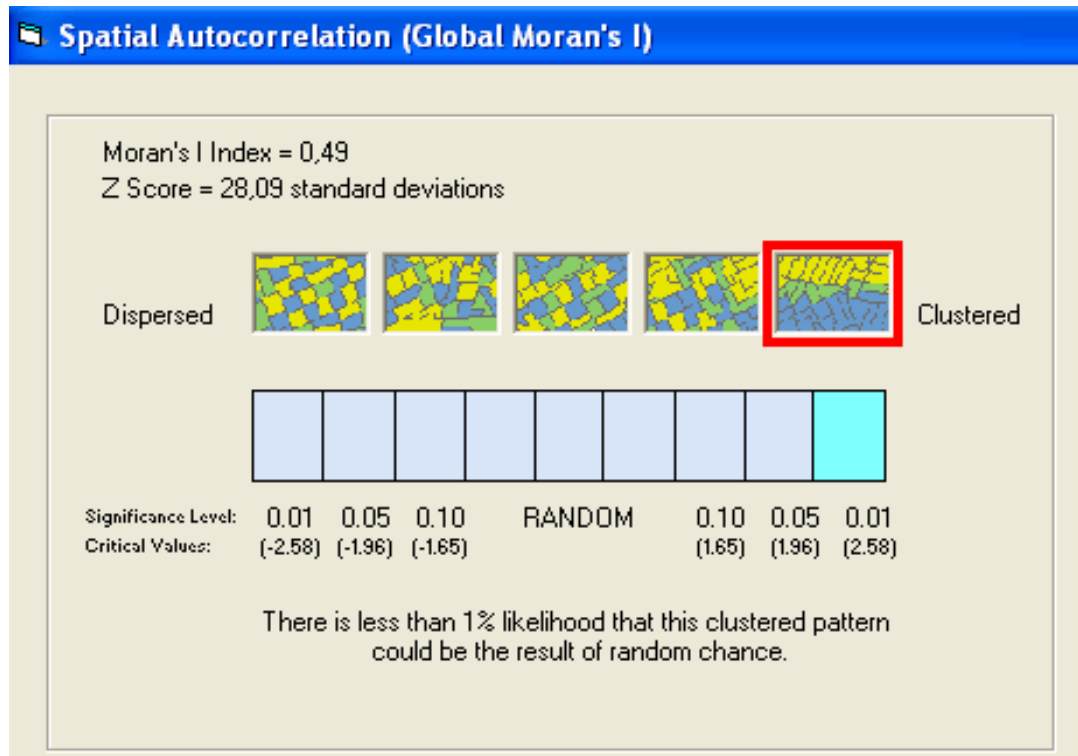
Quantiles (Definition 5)	
Quantile	Estimate
50% Median	64
25% Q1	64
10%	64
5%	64
1%	0
0% Min	0

a. Histograma



Anexo 6

b. Autocorrelación Espacial



c. Análisis

- En el análisis exploratorio de datos espaciales es interesante analizar la presencia de datos acumulados en los quintiles, en este caso, el Q3 (100%) de las observaciones se encuentran en 128 unidades, equivalente a una susceptibilidad baja de movimientos en masa.
- Autocorrelación positiva.

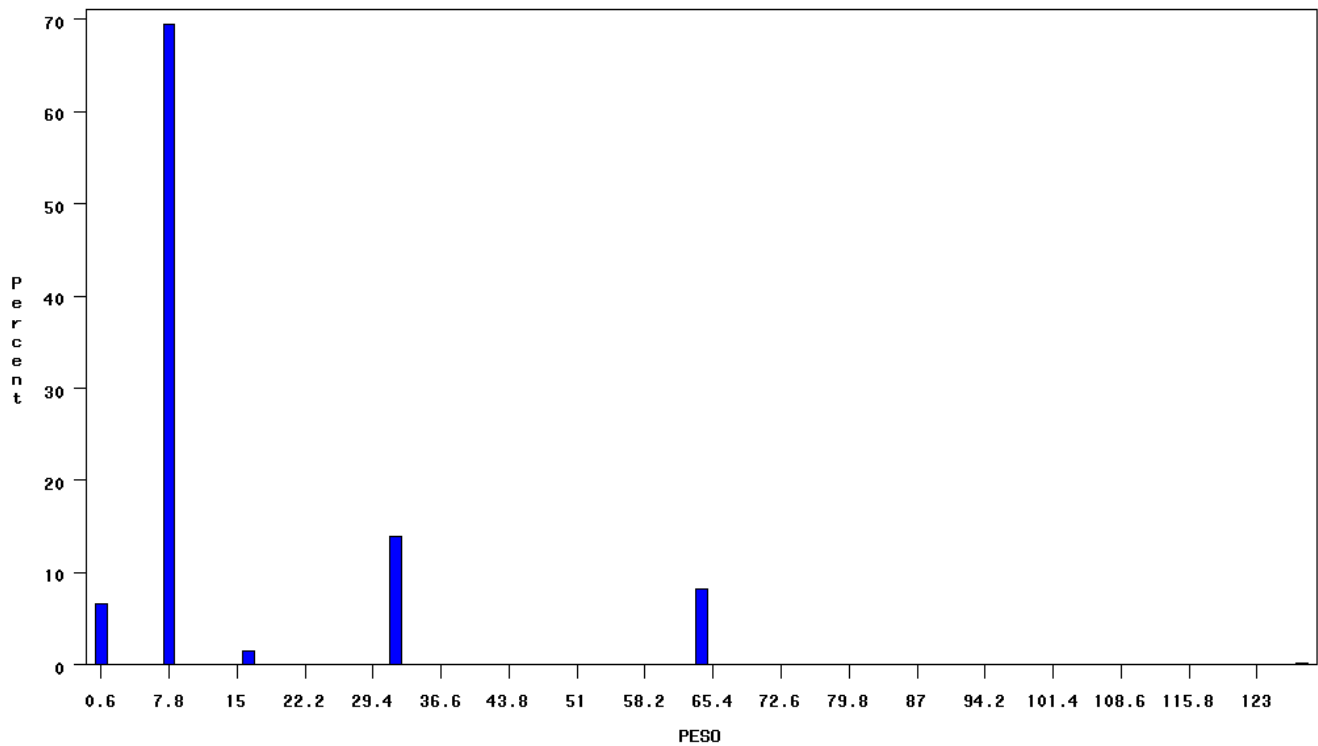
4.6.3 AEDE Aptitud Agropecuaria Forestal

Basic Statistical Measures			
Location		Variability	
Mean	15.77442	Std Deviation	17.62315
Median	8.00000	Variance	310.57545
Mode	8.00000	Range	128.00000
		Interquartile Range	0

Quantiles (Definition 5)	
Quantile	Estimate
100% Max	128
99%	64
95%	64
90%	32
75% Q3	8
50% Median	8
25% Q1	8
10%	8
5%	0
1%	0
0% Min	0

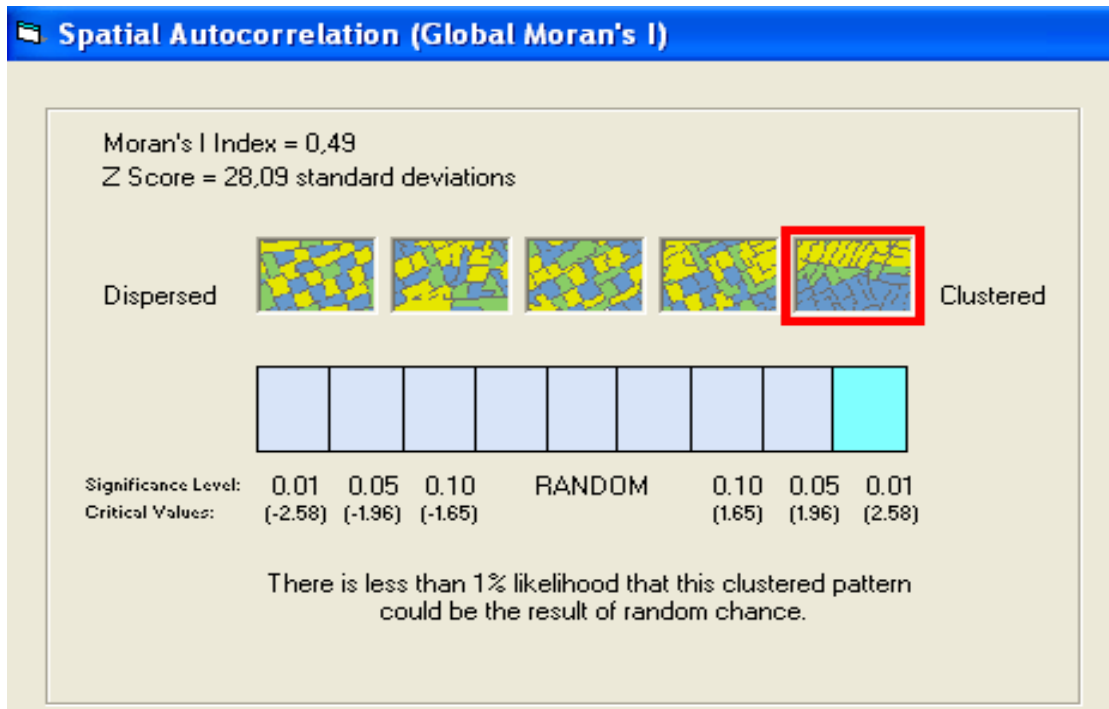
a. Histograma

VARIABLE APTITUD AGROPECUARIA



anexo 6

b. Autocorrelación Espacial



c. Análisis

- El 50% de las observaciones cae dentro de las zonas desfavorables para el cultivo.
- Autocorrelación positiva.

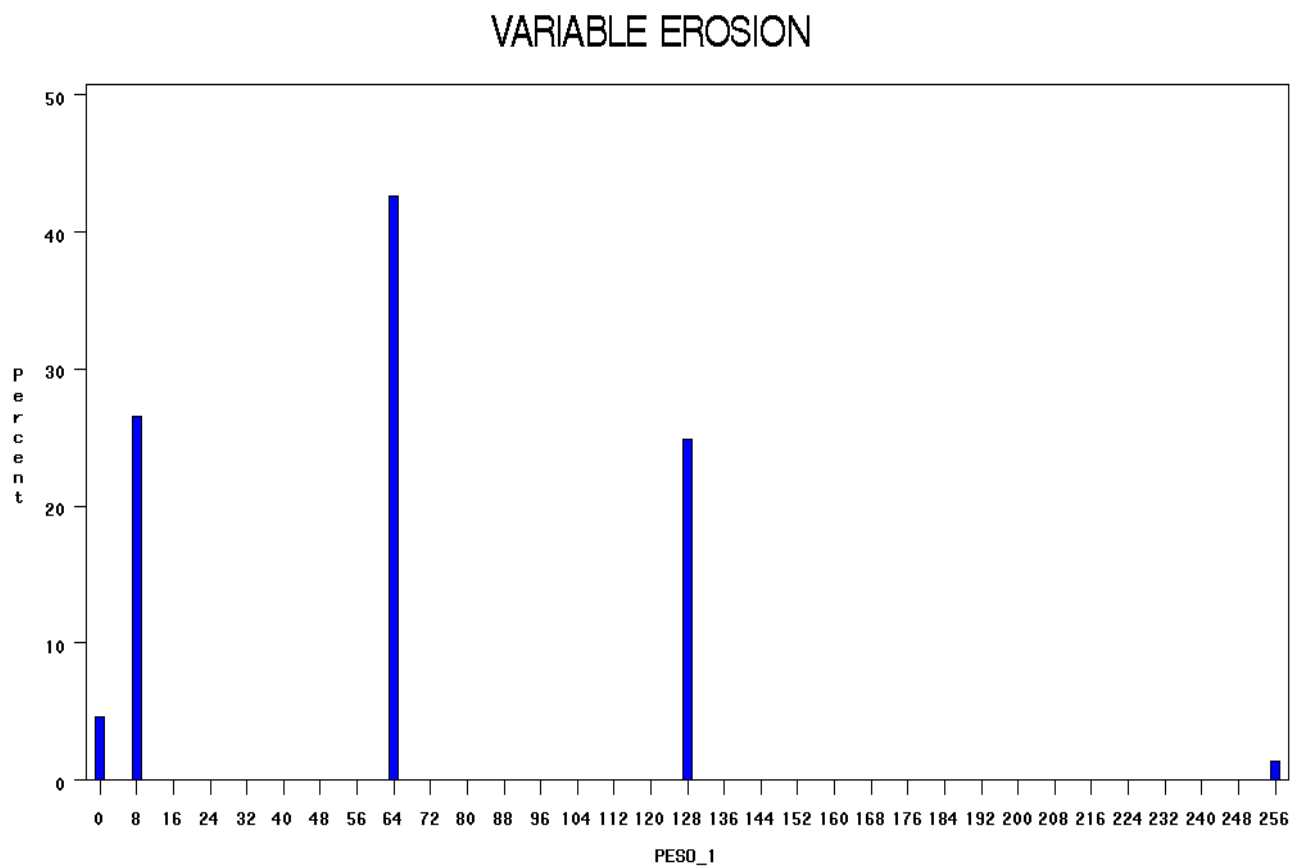
4.6.4 AEDE Susceptibilidad a Erosión

Basic Statistical Measures			
Location		Variability	
Mean	64.68573	Std Deviation	50.41612
Median	64.00000	Variance	2542
Mode	64.00000	Range	256.00000
		Interquartile Range	120.00000

Quantiles (Definition 5)	
Quantile	Estimate
100% Max	256
99%	256
95%	128
90%	128

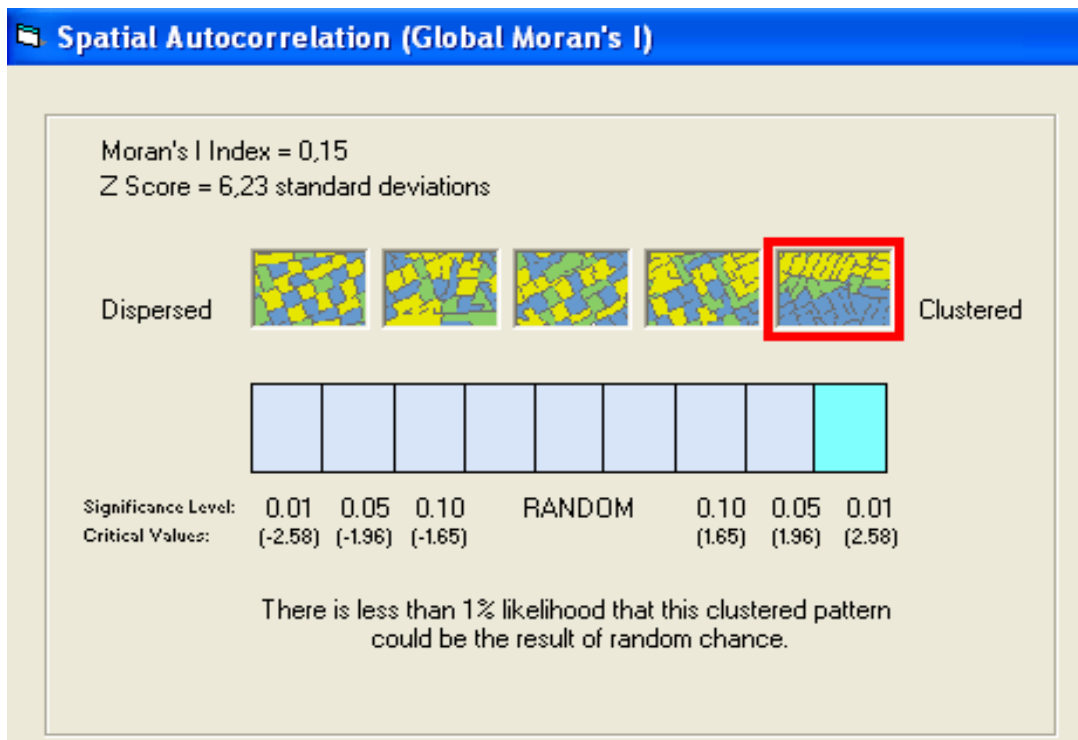
Quantiles (Definition 5)	
Quantile	Estimate
75% Q3	128
50% Median	64
25% Q1	8
10%	8
5%	8
1%	0
0% Min	0

a. Histograma



Anexo 6

b. Autocorrelación Espacial



c. Análisis

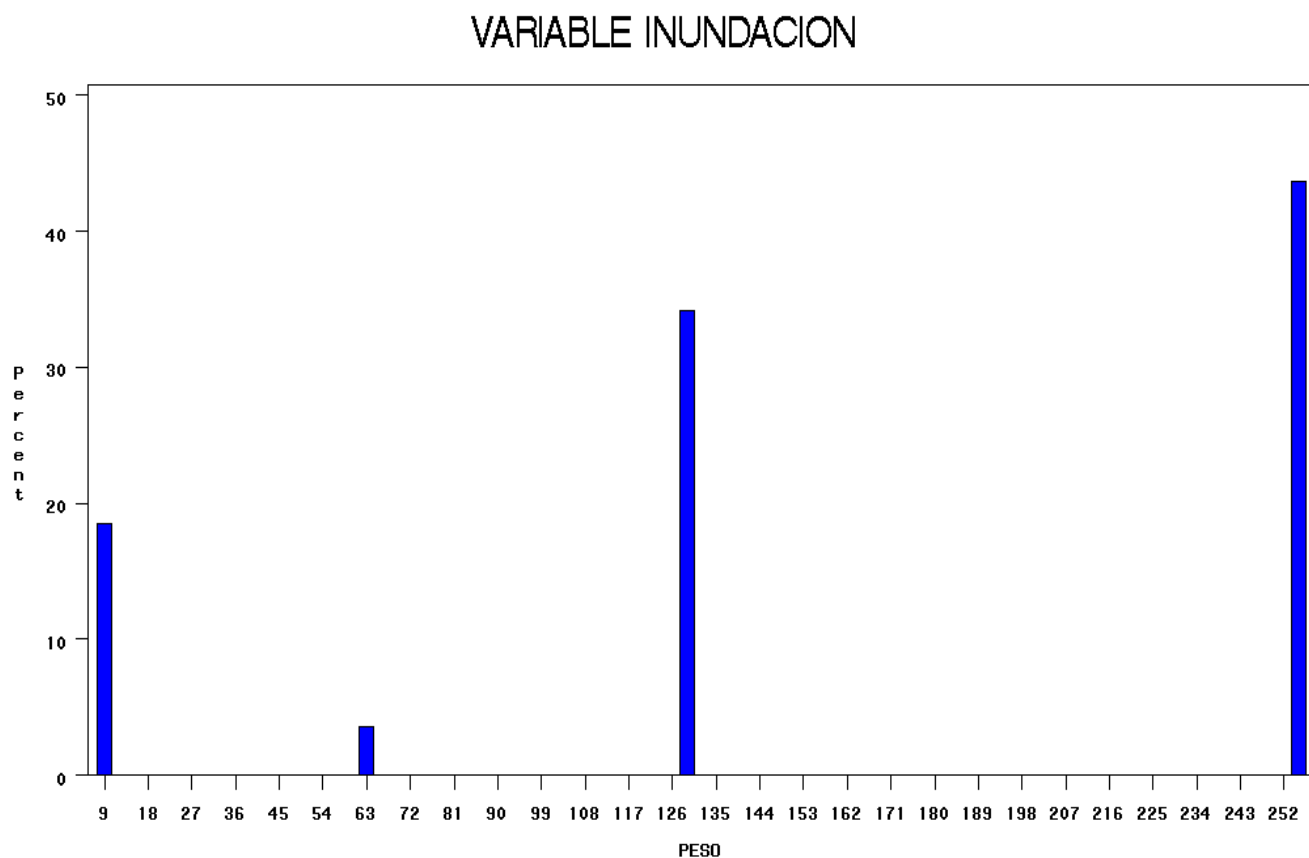
- El 95% es suelo susceptible a erosión.
- Autocorrelación espacial positiva

4.6.5 AEDE Susceptibilidad a Inundación

Basic Statistical Measures			
Location		Variability	
Mean	159.4242	Std Deviation	94.78568
Median	128.0000	Variance	8984
Mode	256.0000	Range	248.00000
		Interquartile Range	128.00000

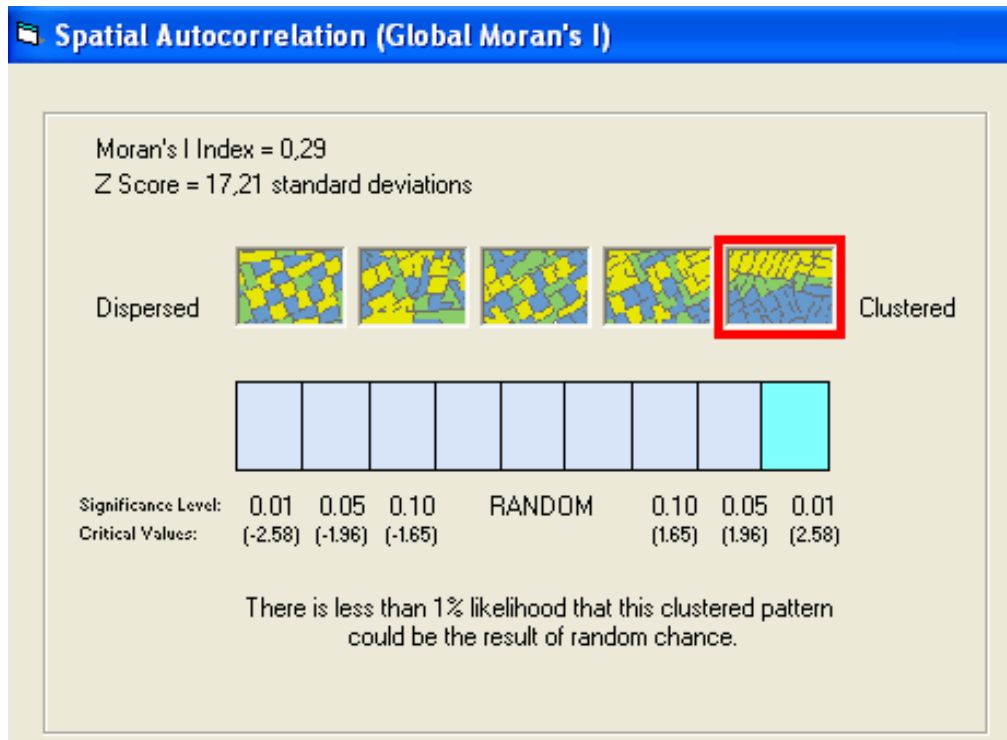
Quantiles (Definition 5)	
Quantile	Estimate
100% Max	256
99%	256
95%	256
90%	256
75% Q3	256
50% Median	128
25% Q1	128
10%	8
5%	8
1%	8
0% Min	8

a. Histograma



Ánexo 6

b. Autocorrelación Espacial



c. Análisis

- Sin susceptibilidad a inundación, evidente frente a un terreno con pendientes muy abruptas.
- Autocorrelación espacial positiva.

4.7 Análisis de Correlación entre las Variables de la Unidad Biofísica

Es una necesidad en la formación de clusters, el análisis de correlación entre las variables de la Unidad Biofísica, para tener un enfoque a priori de los grupos a estructurarse.

La correlación a aplicar será la de Pearson⁹;

⁹ Coeficiente de correlación producto-momento de Pearson

Pearson Correlation Coefficients Prob > r under H0: Rho=0 Number of Observations					
	pendiente	movimientos	inundación	erosión	Aptitud
pendiente	1.00000 <.0001 822907	0.14997 <.0001 822907	0.21026 <.0001 822907	.	-0.05030 <.0001 822907
movimientos	0.14997 <.0001 822907	1.00000 <.0001 832217	0.61164 <.0001 832217	.	-0.15974 <.0001 832217
inundación	0.21026 <.0001 822907	0.61164 <.0001 832217	1.00000 <.0001 966450	.	-0.17669 <.0001 844198
erosión
aptitud	-0.05030 <.0001 822907	-0.15974 <.0001 832217	-0.17669 <.0001 844198	.	1.00000 <.0001 844198

Un análisis concluyente de la tabla precedente es una correlación realmente baja entre todas las variables debido a su aleatoriedad que cada una presenta, geográficamente son factores propios de su distribución en toda la superficie terrestre, además cabe indicar que en el trabajo de campo se pudo visualizar un terreno en un 80% escabroso, del total de la superficie.

4.8 Diseño de Clusters para la Unidad Biofísica

Finalmente en la utilización de los distintos Métodos de Clusters se ha aplicado la Técnica del software **SAS**, “*Procedure FASTCLUS*” que básicamente es un método no jerárquico aplicado a variables estocásticas, que en nuestro caso es el adecuado por presentar una aleatoriedad en cada variable biofísica estudiada, y asignará los clusters con las menores distancias euclidianas posibles, de la siguiente forma:

1. Los ponderadores iniciales se constituirán como las semillas iniciales.
2. El sumario del clúster del cual nos interesa que guarde una homogeneidad entre las variables.

A continuación se muestran los resultados del Software **SAS**:

Initial Seeds					
Cluster	aptitud	erosión	Inundación	movimientos	pendiente
1	8.0000000	0.0000000	256.0000000	0.0000000	256.0000000
2	64.0000000	128.0000000	256.0000000	64.0000000	0.0000000
3	8.0000000	256.0000000	256.0000000	0.0000000	128.0000000
4	64.0000000	0.0000000	8.0000000	64.0000000	256.0000000
5	8.0000000	256.0000000	128.0000000	128.0000000	64.0000000
6	128.0000000	128.0000000	8.0000000	64.0000000	32.0000000
7	8.0000000	0.0000000	128.0000000	128.0000000	64.0000000

Cluster Summary						
Cluster	Frequency	RMS Std Deviation	Maximum Distance from Seed to Observation	Radius Exceeded	Nearest Cluster	Distance Between Cluster Centroids
1	82626	30.0522	100.6		2	190.1
2	62639	17.6321	112.0		5	147.1
3	1038	22.9249	102.4		2	172.7
4	45595	28.6129	120.1		7	142.3
5	51315	26.3566	128.8		2	147.1
6	429575	16.5671	122.2		7	78.4169
7	293662	12.1555	143.0		6	78.4169

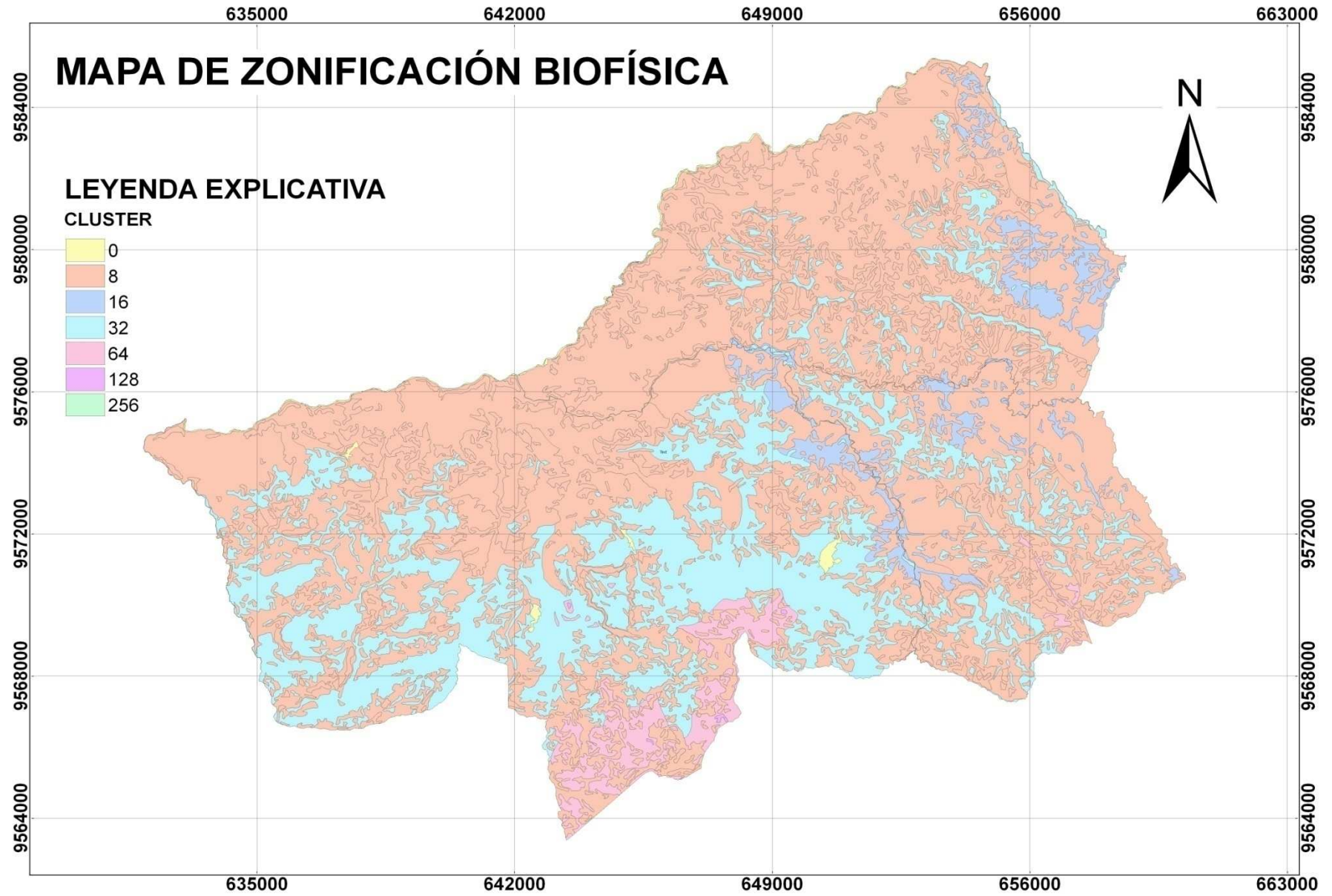
Cluster Summary						
Cluster	Frequency	RMS Std Deviation	Maximum Distance from Seed to Observation	Radius Exceeded	Nearest Cluster	Distance Between Cluster Centroids
1	82626	30.0522	100.6		2	190.1
2	62639	17.6321	112.0		5	147.1
3	1038	22.9249	102.4		2	172.7
4	45595	28.6129	120.1		7	142.3
5	51315	26.3566	128.8		2	147.1
6	429575	16.5671	122.2		7	78.4169
7	293662	12.1555	143.0		6	78.4169

Pseudo F Statistic = 1454130

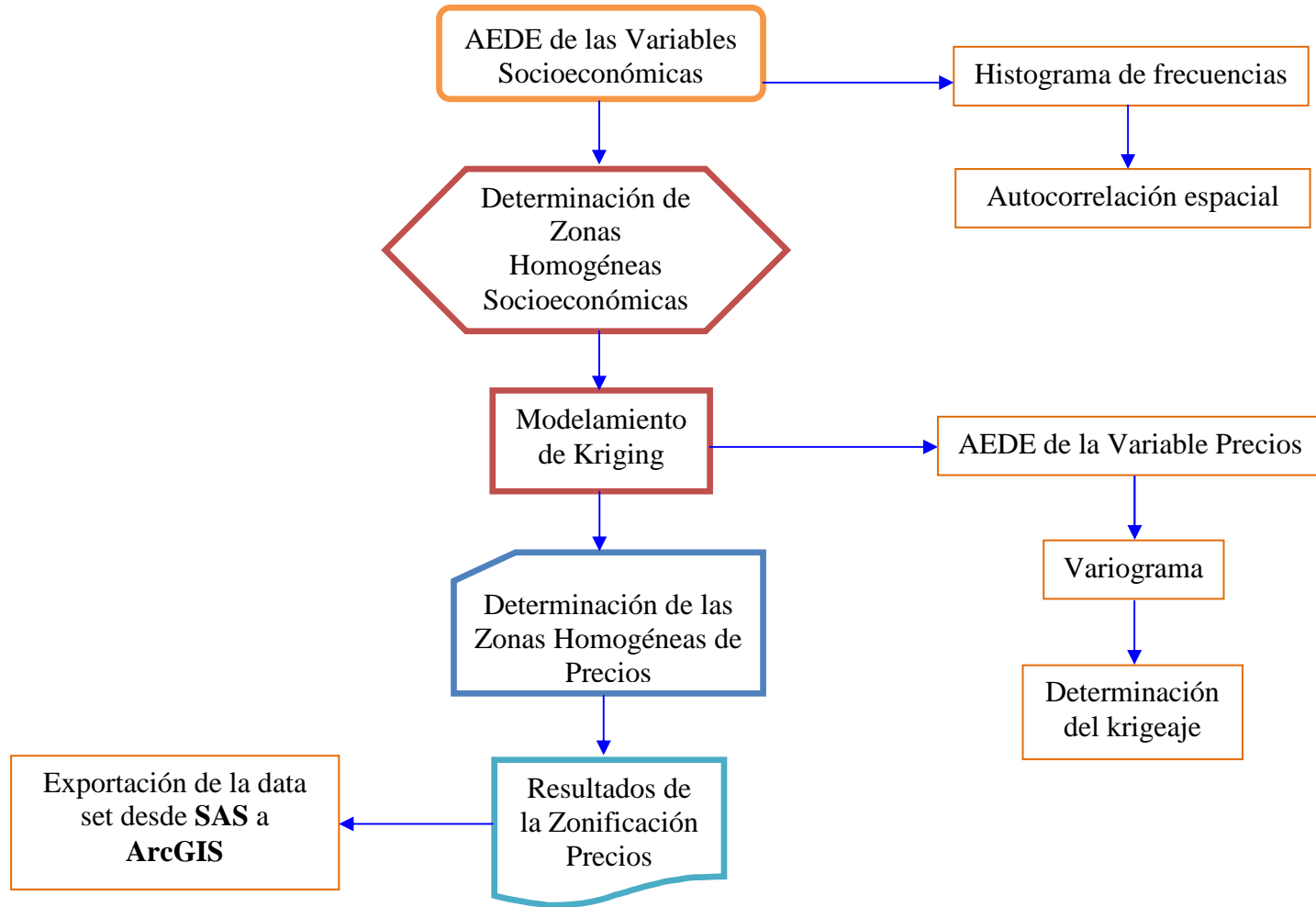
4.9 Mapa de Zonificación Homogénea Biofísica

El paso final es la exportación de la data set obtenida de los cluster en el software SAS 9.1 al software ArcGIS 9.3 para la confección del modelo cartográfico de zonificación con los 7 cluster homogéneos en su peso.

A continuación se presenta su resultado;



4.10 Zonificación Socioeconómica



4.11 Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) de la Unidad Biofísica

De igual forma el proceso para una Zonificación Socio El proceso metodológico para zonificación empieza con un Análisis Exploratorio de Datos Espaciales, que se lo ha implementado en el software SAS, consiguientemente se detalla los resultados de la implementación del código:

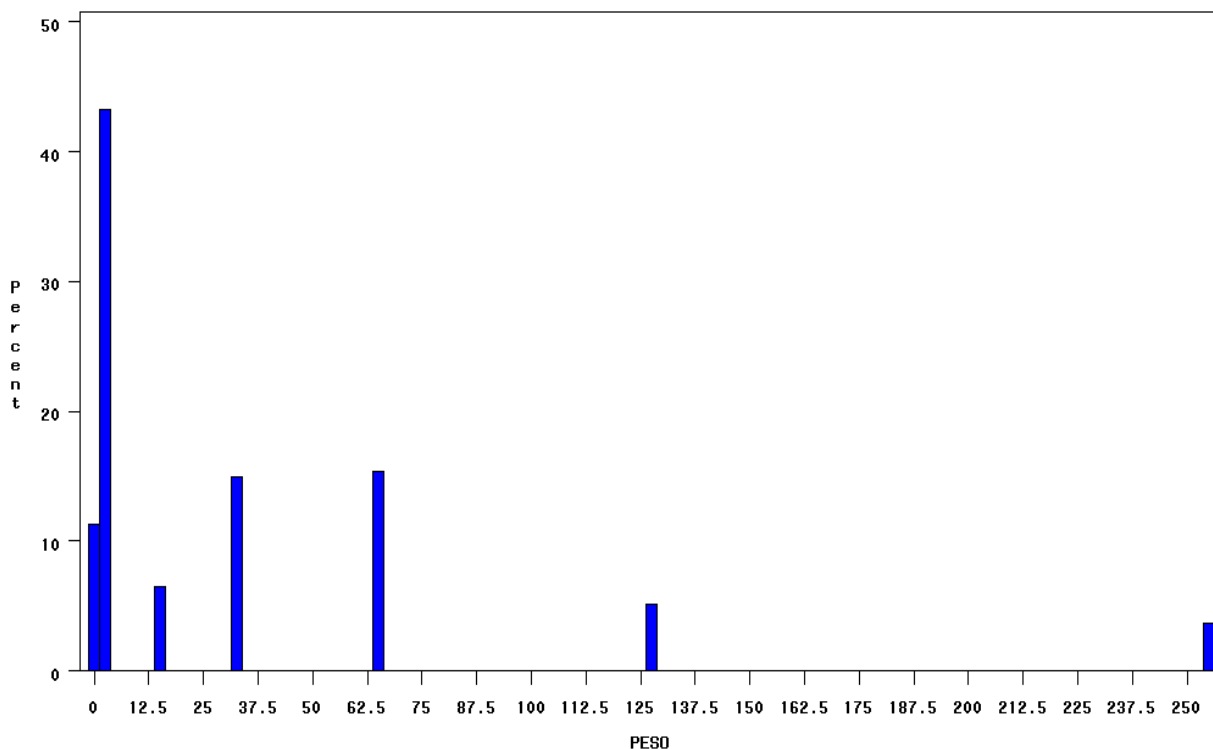
4.11.1 AEDE Demanda sobre el Recurso

Basic Statistical Measures			
Location		Variability	
Mean	32.34161	Std Deviation	54.51036
Median	2.00000	Variance	2971
Mode	2.00000	Range	256.00000
		Interquartile Range	30.00000

Quantiles (Definition 5)	
Quantile	Estimate
100% Max	256
99%	256
95%	128
90%	64
75% Q3	32
50% Median	2
25% Q1	2
10%	0
5%	0
1%	0
0% Min	0

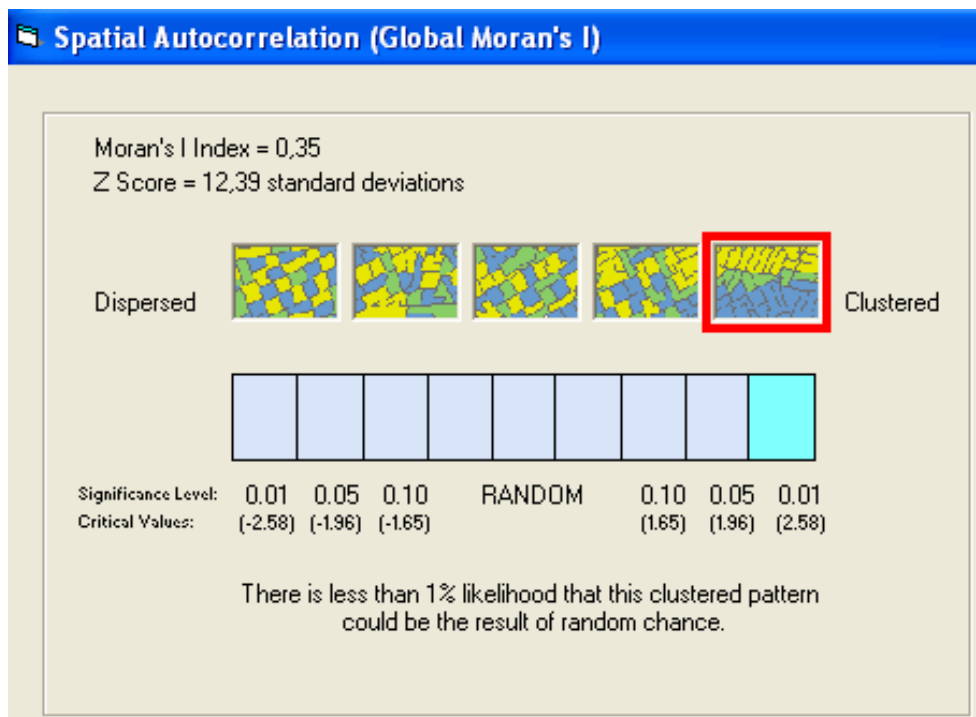
a. Histograma

DEMANDA SOBRE EL RECURSO



anexo 9

b. Autocorrelación Espacial



c. Análisis

- El 99% equivale a una demanda alta sobre el recurso tierra.
- Autocorrelación espacial positiva.

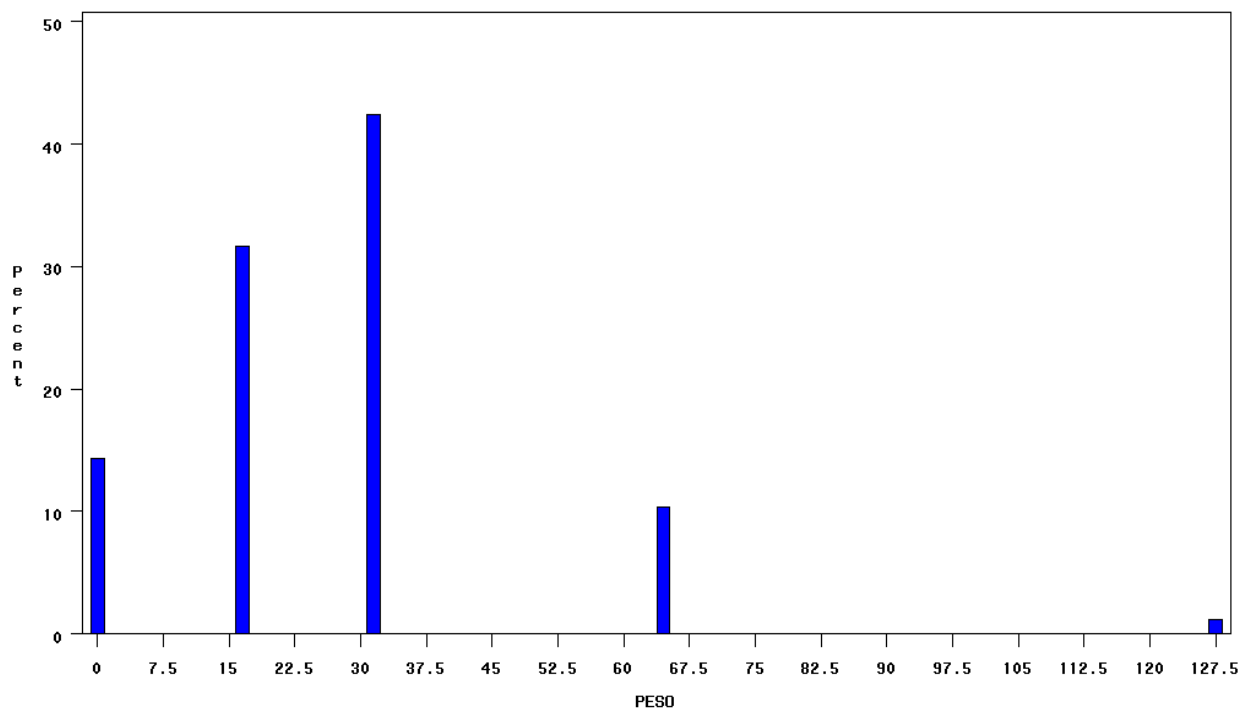
4.11.2 AEDE Accesibilidad Vial

Basic Statistical Measures			
Location		Variability	
Mean	26.82899	Std Deviation	20.47002
Median	32.00000	Variance	419.02153
Mode	32.00000	Range	128.00000
		Interquartile Range	16.00000

Quantiles (Definition 5)	
Quantile	Estimate
100% Max	128
99%	128
95%	64
90%	64
75% Q3	32
50% Median	32
25% Q1	16
10%	0
5%	0
1%	0
0% Min	0

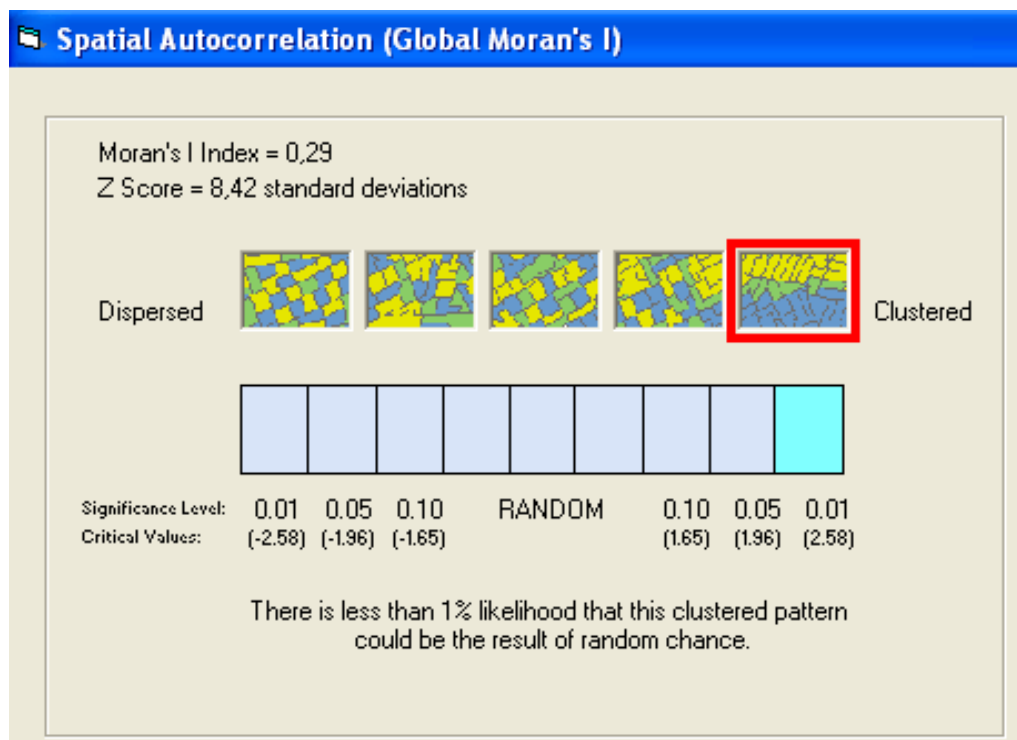
a. Histograma

VARIABLE ACCESIBILIDAD VIAL



anexo 9

b. Autocorrelación Espacial



c. Análisis

- Accesibilidad vial escasa, mayoritariamente el 95% equivale a muy pocas vías pavimentadas.
- Autocorrelación espacial positiva.

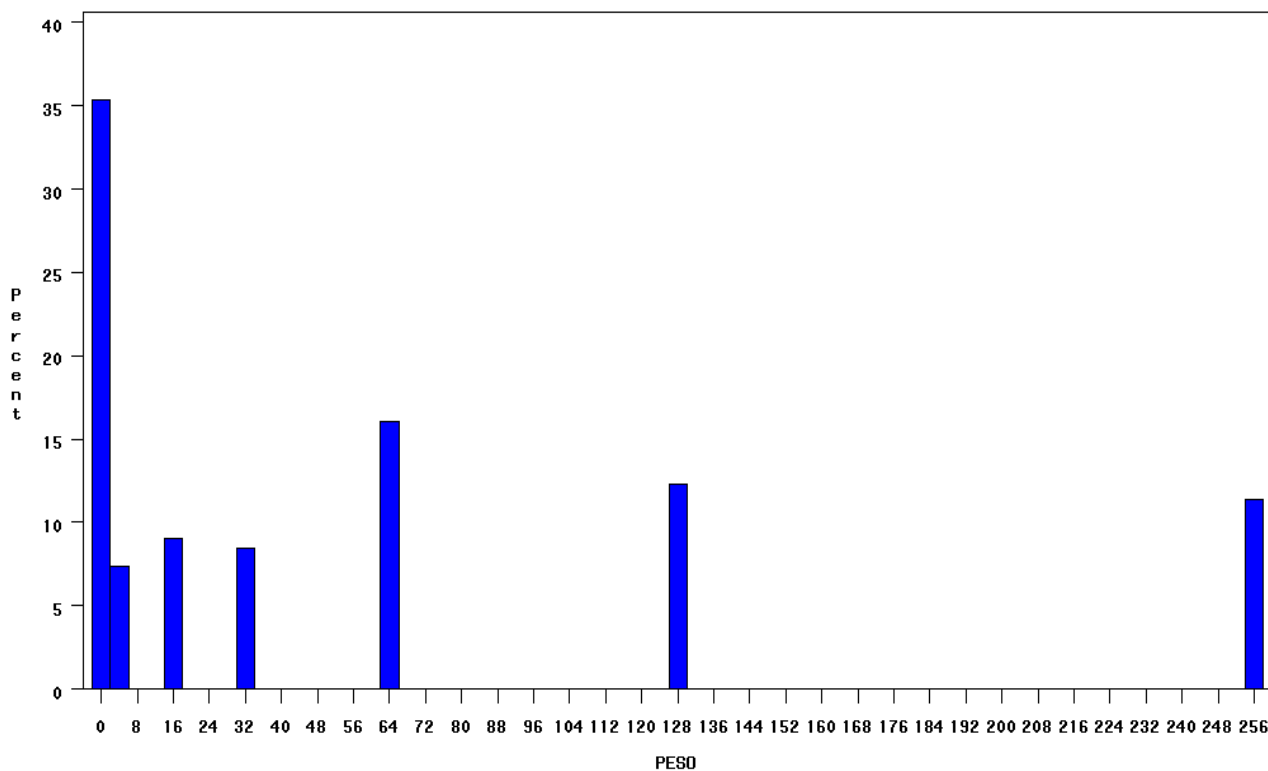
4.11.3 AEDE Servicios Básicos

Basic Statistical Measures			
Location		Variability	
Mean	59.48858	Std Deviation	81.88777
Median	16.00000	Variance	6706
Mode	0.00000	Range	256.00000
		Interquartile Range	64.00000

Quantiles (Definition 5)	
Quantile	Estimate
100% Max	256
99%	256
95%	256
90%	256
75% Q3	64
50% Median	16
25% Q1	0
10%	0
5%	0
1%	0
0% Min	0

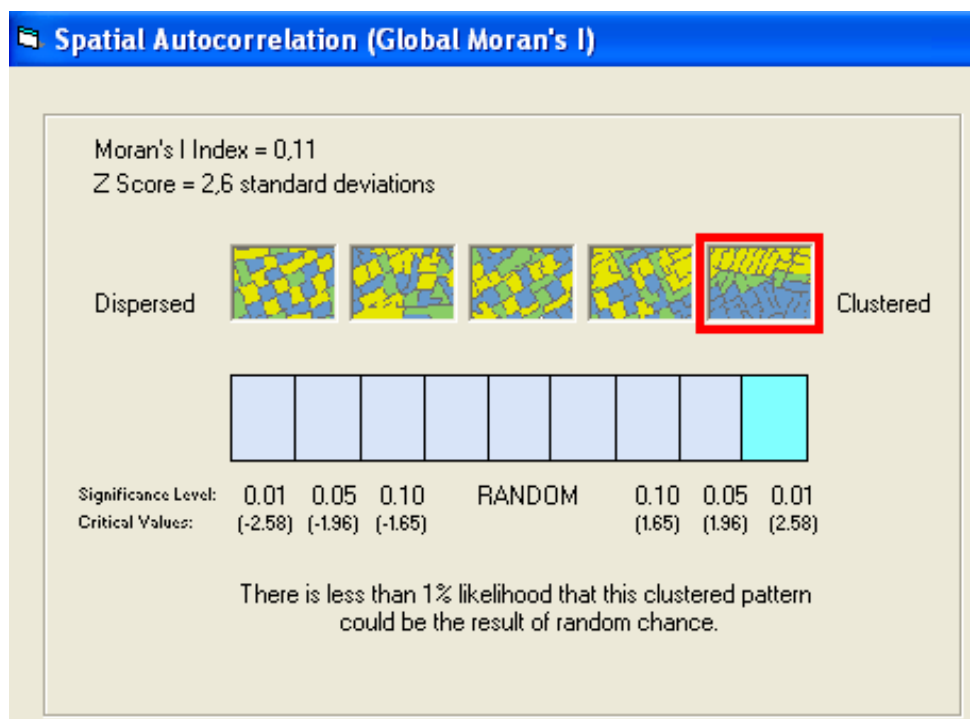
a. Histograma

VARIABLE SERVICIOS BASICOS



anexo 9

b. Autocorrelación Espacial



c. Análisis

- Existe un 25% sin disponibilidad de servicios básicos en el cantón.
- Autocorrelación espacial positiva.

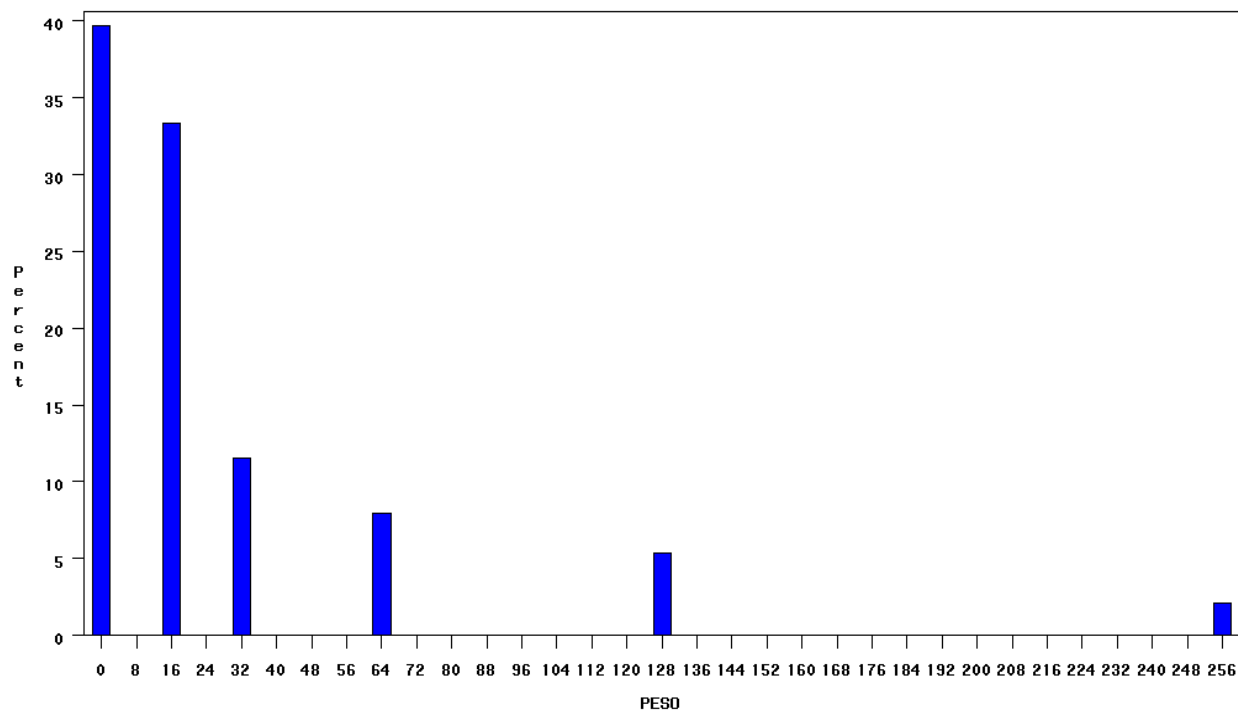
4.11.4 AEDE Accesibilidad al Área Urbana

Basic Statistical Measures			
Location		Variability	
Mean	26.32831	Std Deviation	45.59779
Median	16.00000	Variance	2079
Mode	0.00000	Range	256.00000
		Interquartile Range	32.00000

Quantiles (Definition 5)	
Quantile	Estimate
100% Max	256
99%	256
95%	128
90%	64
75% Q3	32
50% Median	16
25% Q1	0
10%	0
5%	0
1%	0
0% Min	0

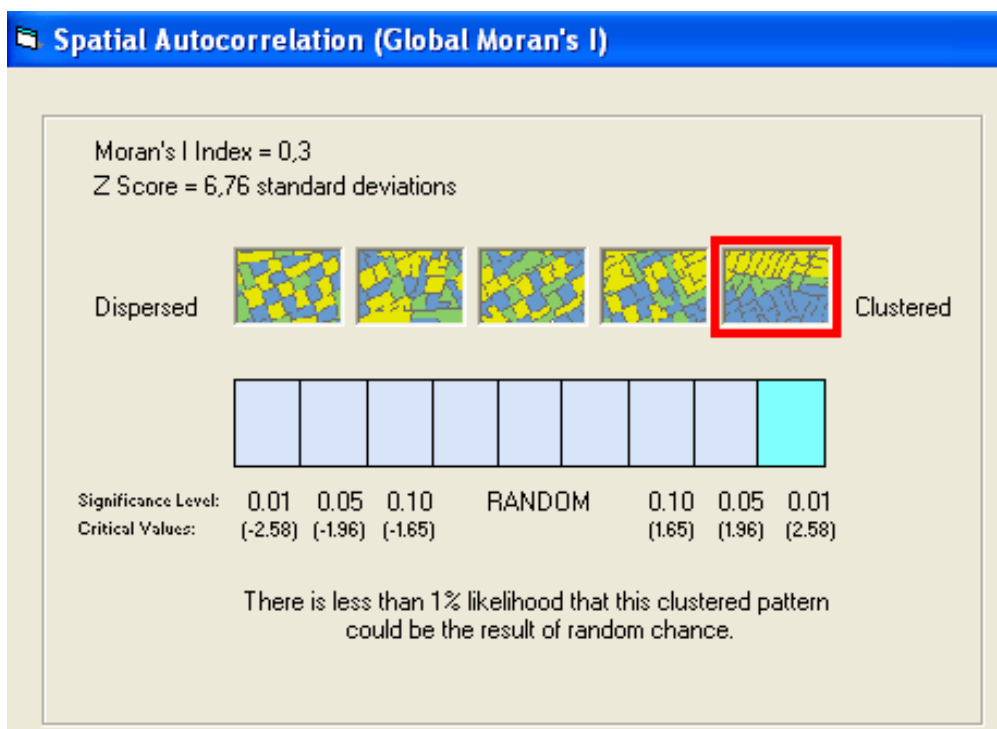
a. Histograma

VARIABLE ACCESIBILIDAD URBANA



Anexo 9

b. Autocorrelación Espacial



c. Análisis

- En un 75% el cantón Chaguarpamba se encuentra con pocas vías de acceso a las cabeceras cantones de cada parroquia rural.
- Autocorrelación espacial positiva.

4.12 Análisis de Correlación entre las Variables de la Unidad Socioeconómica

Así mismo procedemos a verificar las correlaciones lineales entre las variables socioeconómicas. La correlación a aplicar será la de Pearson;

Pearson Correlation Coefficients Prob > r under H0: Rho=0 Number of Observations				
	demanda	vial	básicos	urbana
demanda	1.00000 333787	-0.20316 <.0001 333787	-0.19048 <.0001 317513	-0.14278 <.0001 317513
vial	-0.20316 <.0001 333787	1.00000 335857	0.08752 <.0001 317513	0.03716 <.0001 317513
básicos	-0.19048 <.0001 317513	0.08752 <.0001 317513	1.00000 317513	0.40298 <.0001 317513
urbana	-0.14278 <.0001 317513	0.03716 <.0001 317513	0.40298 <.0001 317513	1.00000 317513

Nuevamente obtenemos una correlación baja por ser variables independientes a nivel geográfico.

4.13 Diseño de Clusters para la Unidad Socioeconómica

El Método de Cluster aplicado es “*Procedure FASTCLUS*” de SAS, y asignará los clusters con las menores distancias euclidianas posibles, de la siguiente forma:

1. Los ponderadores iniciales se constituirán como las semillas iniciales.
2. El sumario del clúster del cual nos interesa que guarde una homogeneidad entre las variables.

A continuación se muestran los resultados del Software SAS:

Initial Seeds				
Cluster	demanda	vial	basicos	urbana
1	2.0000000	32.0000000	256.0000000	0.0000000
2	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
3	256.0000000	32.0000000	0.0000000	16.0000000
4	2.0000000	16.0000000	32.0000000	256.0000000
5	2.0000000	16.0000000	256.0000000	256.0000000

Cluster Summary						
Cluster	Frequency	RMS Std Deviation	Maximum Distance from Seed to Observation	Radius Exceeded	Nearest Cluster	Distance Between Cluster Centroids
1	38211	33.9250	118.8		5	155.8
2	263405	18.6484	117.6		3	161.6
3	27686	33.0490	95.7388		2	161.6
4	5052	39.0881	97.6787		2	169.2
5	1503	29.5223	88.7399		1	155.8

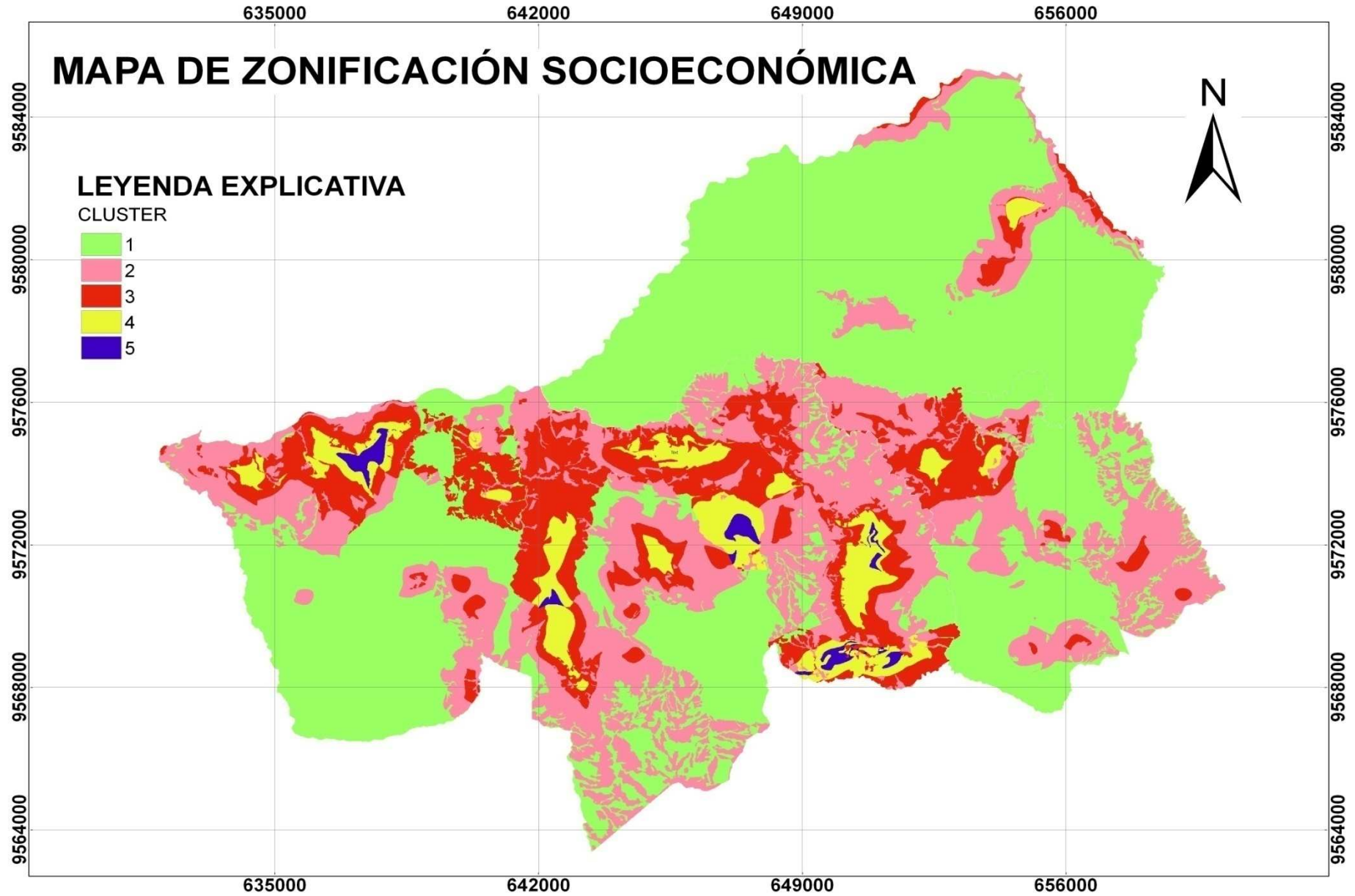
Cluster Summary						
Cluster	Frequency	RMS Std Deviation	Maximum Distance from Seed to Observation	Radius Exceeded	Nearest Cluster	Distance Between Cluster Centroids
1	38211	33.9250	118.8		5	155.8
2	263405	18.6484	117.6		3	161.6
3	27686	33.0490	95.7388		2	161.6
4	5052	39.0881	97.6787		2	169.2
5	1503	29.5223	88.7399		1	155.8

Pseudo F Statistic = 217346.3

4.14 Mapa de Zonificación Homogénea Biofísica

El paso final es la exportación de la data set obtenida de los cluster en el software SAS 9.1 al software ArcGIS 9.3 para la confección del modelo cartográfico de zonificación con los 5 cluster homogéneos en su peso.

A continuación se presenta su resultado;



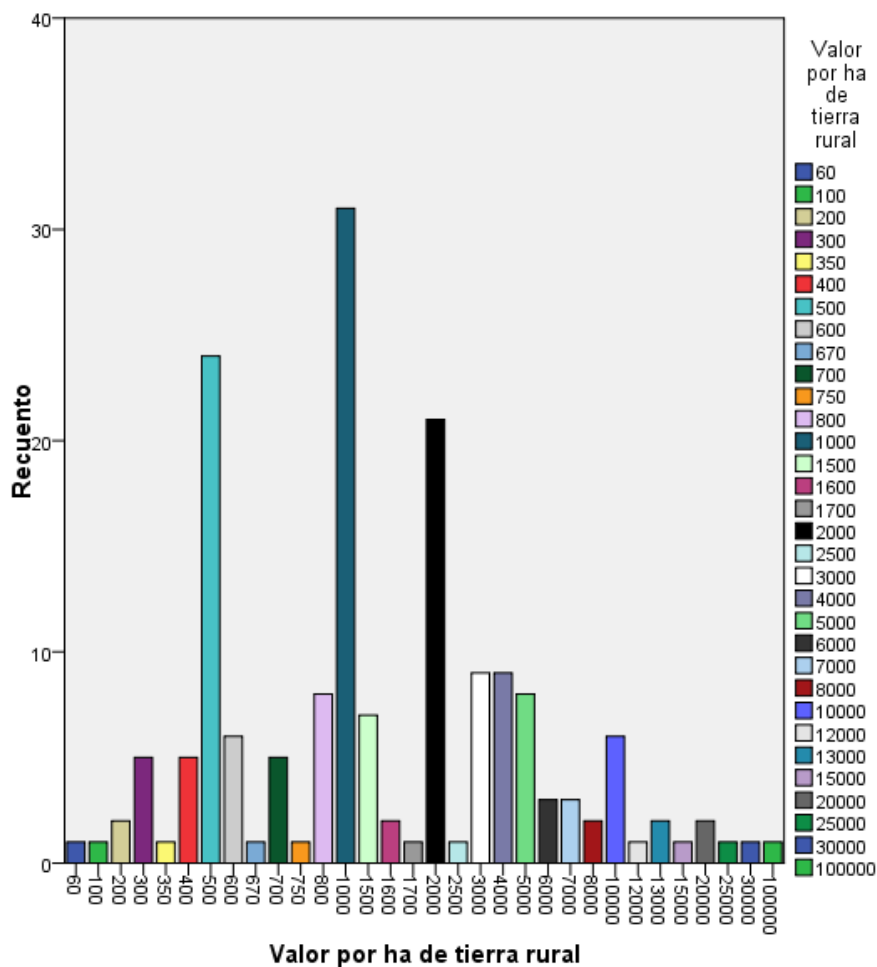
4.15 Análisis de los Precios Muestreados

a. AEDE del Variable Precio

Basic Statistical Measures			
Location		Variability	
Mean	3419.942	Std Deviation	8581
Median	1000.000	Variance	73634533
Mode	1000.000	Range	99940
		Interquartile Range	2400

Quantiles (Definition 5)	
Quantile	Estimate
100% Max	100000
99%	30000
95%	12000
90%	7000
75% Q3	3000
50% Median	1000
25% Q1	600
10%	500
5%	300
1%	100
0% Min	60

b. Histograma



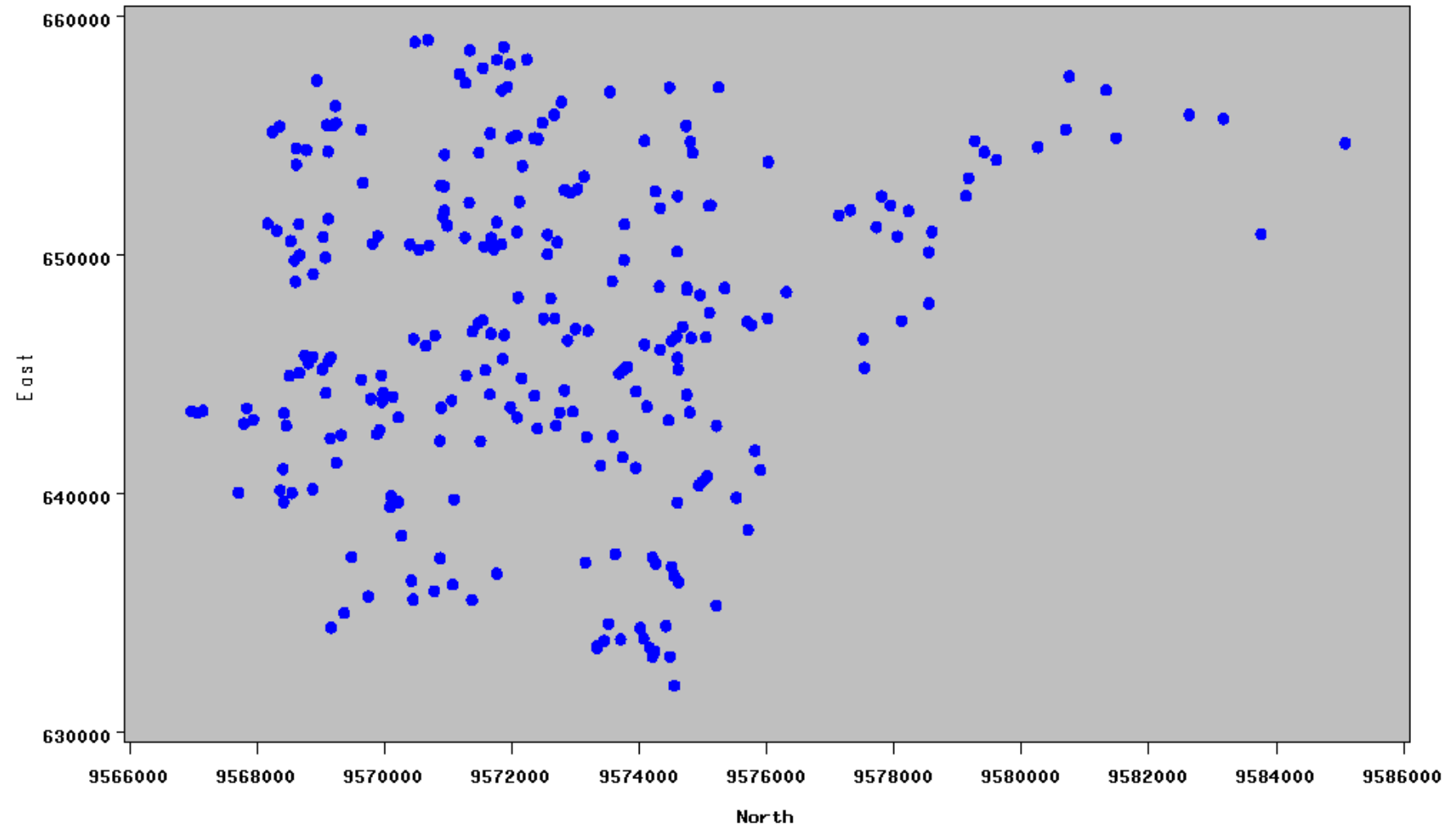
c. Análisis

Los precios muestreados presentan una irregularidad debido a factores propios de comercialización los mismos que no se los puede modelar con clusters, sin embargo existe una técnica geoestadística de interpolación que ajusta la realidad de los precios muestreados.

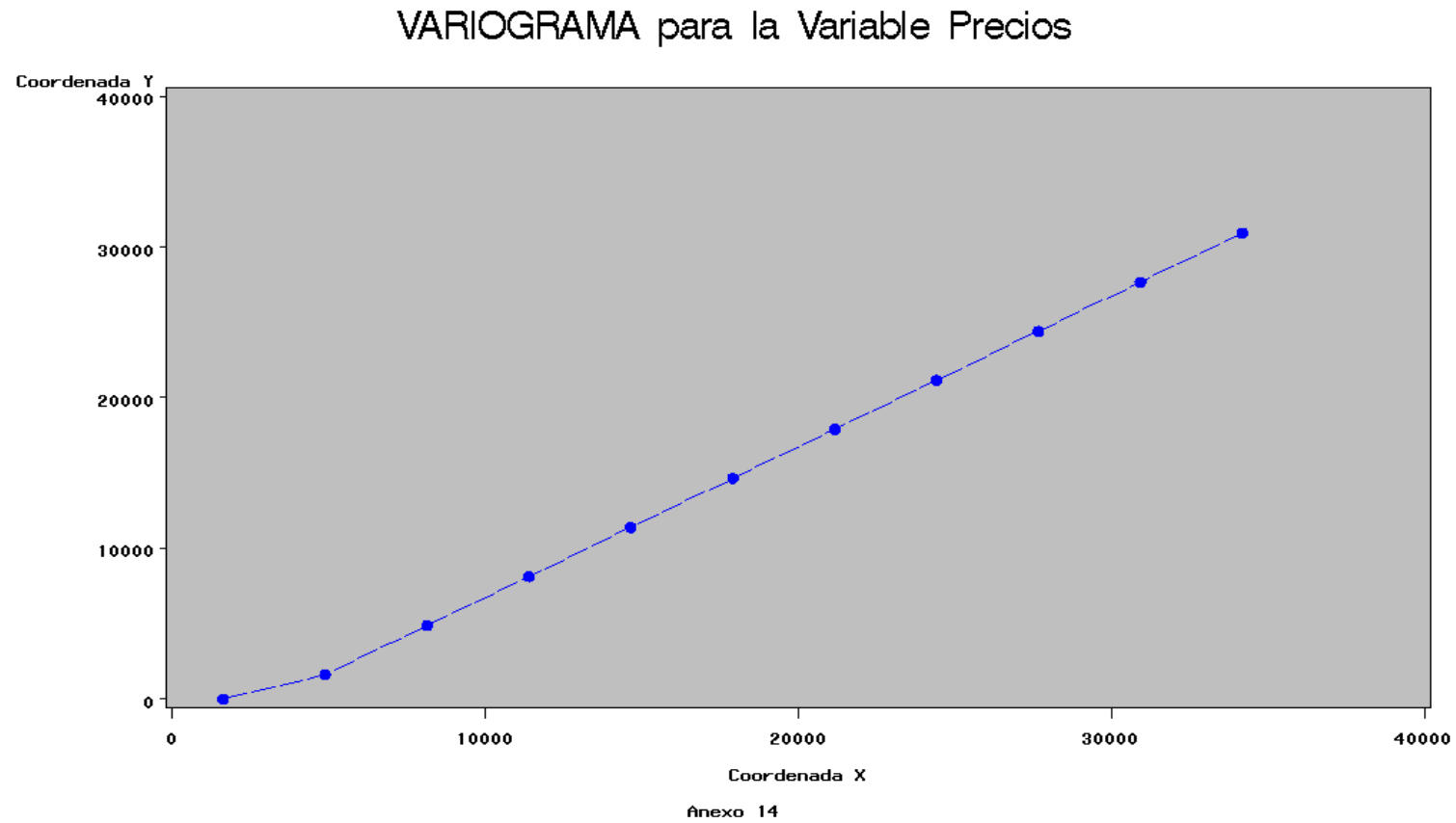
d. Dispersograma de la variable Precios

Aquí se pueden observar la irregularidad nuevamente pero de acuerdo a las coordenadas en las cuales se muestreo los precios de la ha de terreno.

DISPERSOGRAMA DE LA VARIABLE PRECIOS



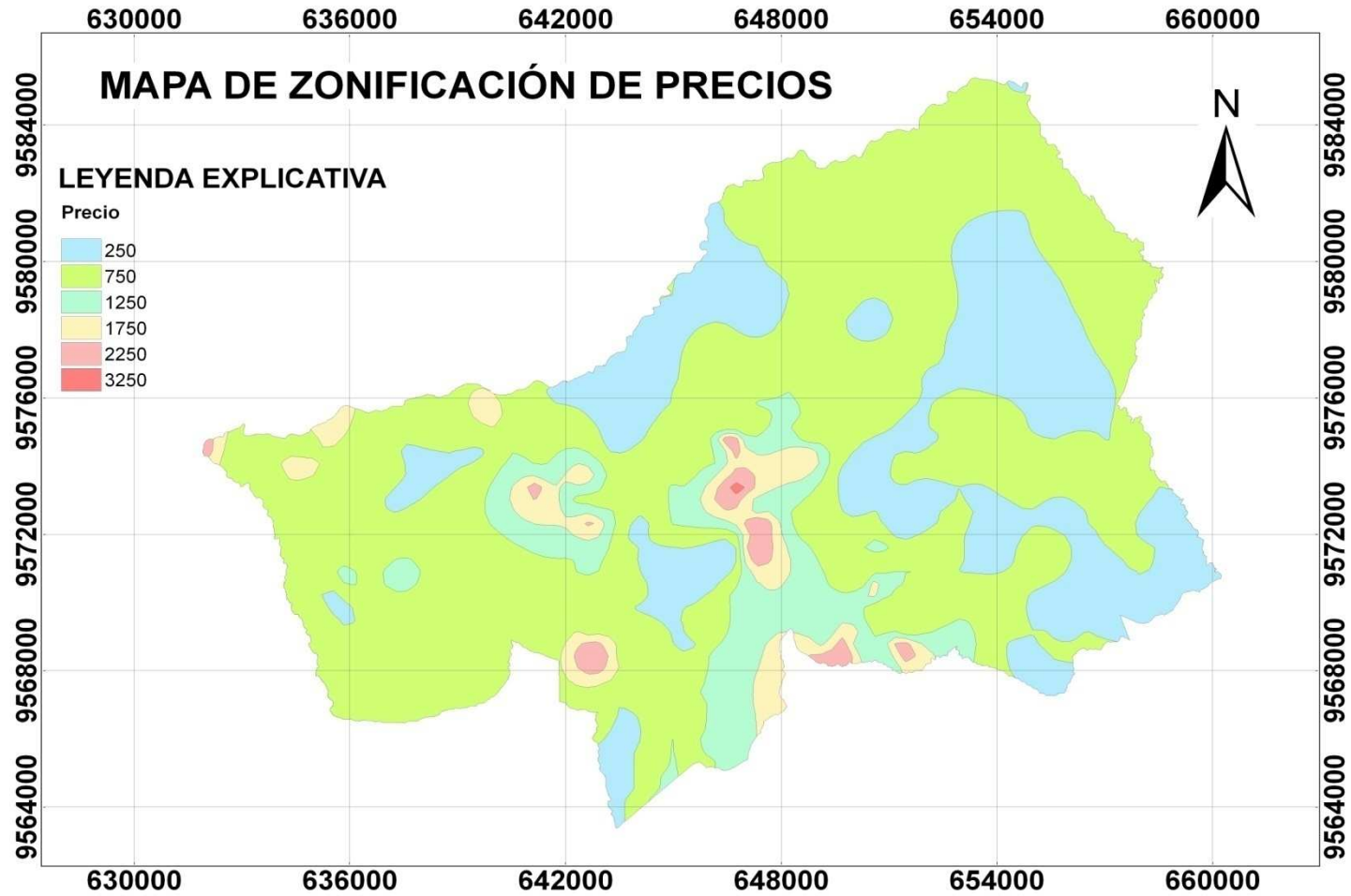
e. Variograma de la variable Precios



La traducción del variograma es la aplicación de un Modelo Lineal de Kriging.

f. Aplicación de un Modelo de Kriging Lineal

Basados en el resultado del variograma sabemos que en el Data Set de Precios Muestreados se debe utilizar la herramienta de Krigaje Lineal para interpolar linealmente los puntos georeferenciados, lo cual arroja el siguiente Modelo Cartográfico:



4.16 Precios Finales del Krigeaje Lineal

	Precio
RANGO DE LA ZONIFICACIÓN	
1000 - 1500	1250.00
1500 - 2000	1750.00
0 - 500	250.00
2000 - 2500	2250.00
500 - 1000	750.00
2500 - 3000	3250.00

4.17 Homogenización de Zonas de Precio Investigado

a) Zonas de Sistemas de Producción

La caracterización de sistemas de producción agropecuaria provee un marco en el cual se pueden definir tanto estrategias de desarrollo agrícola como intervenciones apropiadas; ya que, por definición, agrupan a los hogares agropecuarios con características y limitaciones similares, lo cual constituye un referente para el precio de la tierra, bajo la premisa de que un sistema de producción empresarial implicará un mayor precio ya que de este se obtiene una mayor rentabilidad; mientras que sucede lo contrario para un sistema marginal, en donde la rentabilidad no existe.

Para el modelamiento de los Sistemas de Producción se tomaron los siguientes insumos:

Información primaria proveniente de la Ficha de Investigación de Campo (Anexo 04).
 Caracterización teórica de los sistemas de producción (MAG-PRONAREG-ORSTOM).
 Tabla de Ponderación de los Sistemas de Producción como se detalla a continuación:

Cuadro 53. Ponderaciones para Identificación de Sistemas de Producción Agropecuarios

SISTEMA TECNOLÓGICO	A. USO DE LA TIERRA, MAQUINARIA, EQUIPOS E INSUMOS:(40)				
	(3)	(6)	(6)	(10)	(15)
	A.1 Uso de la Tierra	A.2 Tipo de semilla	A.3 Control Fitosanitario	A.4 Tipo de Maquinaria	A.5 Riego
EMPRESARIAL	(P.exportación)=3	(certificada _registrada)=6	(P.Químico) _ (P.Orgánico)=6	(M. Propio)=10	(Goteo) = 15 / (Aspersión)=10
COMBINADO	(P. estratégicos)=2	(registrada)=4	(P.Químico)=4	(M.Alquilado) _ (M.Propio)=8	(Aspersión)=10 / (Bombeo)=8
MERCANTIL	(P. Canasta básica)=1,5	(seleccionada)=3	(P.Orgánico)=3	(M.Alquilado)=6	(Bombeo)=8 / (Gravedad)=5
MARGINAL	(P.Autoconsumo)=1	(seleccionada)=3	(P.Orgánico)=3	Yunta (Propia/Alquilada)=4	(No dispone)=0

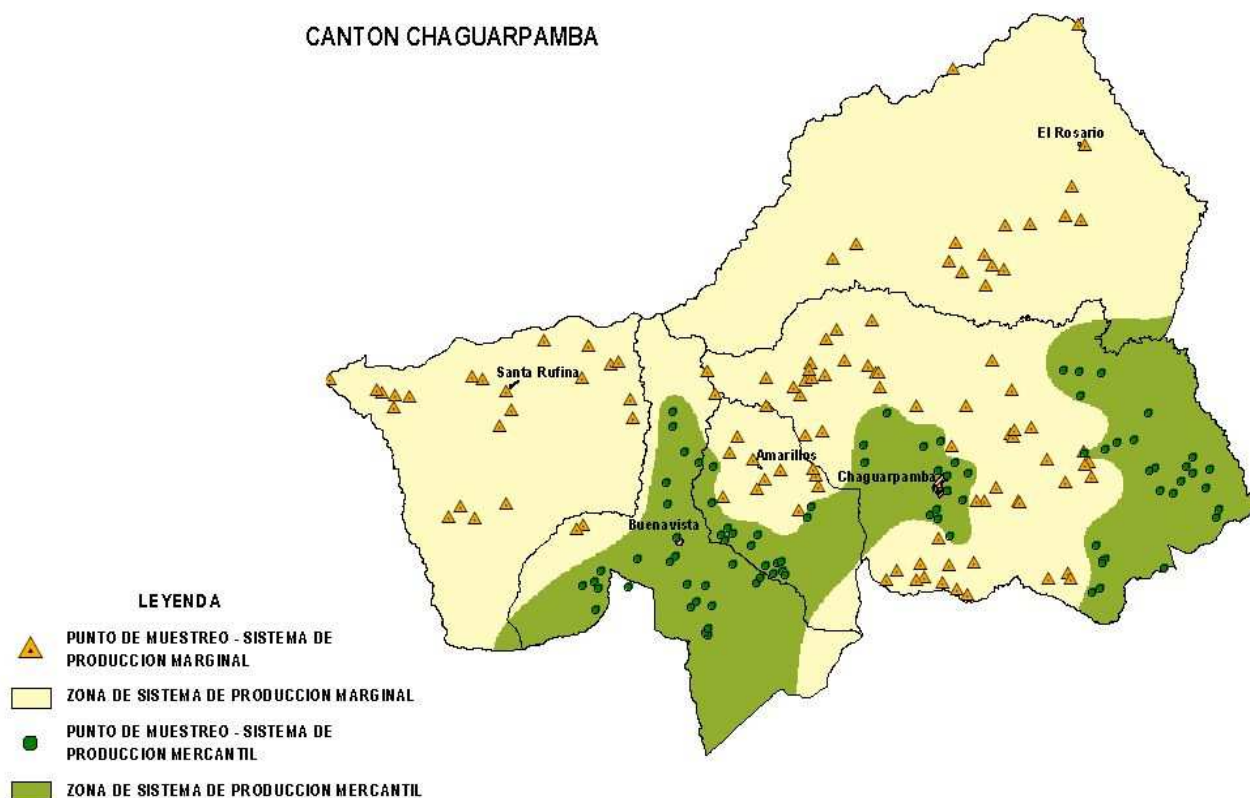
SISTEMA TECNOLÓGICO	B. MANO DE OBRA (30) puntos ponderados			C. RENDIMIENTO, TRANSPORTE Y DESTINO DE LA PRODUCCIÓN 30 puntos ponderados		
	(16)	(7)	(7)	(5)	(5)	(20)
	B.1 Tipo de Mano de Obra	B.2 Registros Contables	B.3 Capac. Técnica	C.1 Tipo de Agricultura	C.2 Transporte	C.3 Destino
EMPRESARIAL	(A.Permanente)=16	(C.Permanente)=7	(3 o >3 al año)=7	(Intensiva)=5	(Propio)=5	(Internacional) = 20
COMBINADO	(A.Ocasional) _ (A.Permanente)=12	(C.Ocasional)=5	(2 al año)=4	(Extensiva)= _ (Intensiva)=3	(Propio) _ (Alquilado)=4	(Nacional) = 18
MERCANTIL	(A.Ocasional)=10	(C.Ocasional)=3	(1 al año)=2	(Extensiva)=1	(Alquilado)=2	(Regional) = 12
MARGINAL	(Familiar y Prestamano)=8	(No tiene)=0	(No tiene)=0	(Extensiva)=1	(Alquilado)=2	(Local)=10 (Autoconsumo)= 5

Cuadro 54. Rangos de Sistemas de Producción Agropecuario

SISTEMA DE PRODUCCIÓN	RANGO
Empresarial	74 - 100
Combinado	52 - 74
Mercantil	32 - 52
Marginal	0 - 32

Luego de que cada punto de muestreo ha sido categorizado con un tipo de sistema de producción, se procede a la espacialización de los mismos, para lo cual se realiza la interpolación de los datos con el método SPLINE, con el objeto de identificar zonas con un sistema de producción dominante.

Específicamente, para el cantón Chaguarpamba únicamente se pudieron identificar dos sistemas de producción: Marginal y Mercantil, los mismos que se encuentran representados en la siguiente figura.

Figura 13. Zonas de Sistemas de Producción del Cantón Chaguarpamba – Escala 1:20.000

b) Zonas de Precio

La homogenización de zonas de precio investigado consiste en la aplicación de un factor que permita obtener un precio ajustado, en función de los sistemas de producción identificados, para lo cual se ha establecido como indicador de cada sistema el valor de la relación Beneficio/Costo que tiene cada sistema.

La Relación Beneficio/Costo se define como la relación existente entre los ingresos y los costos que se generan dentro del proceso de producción agropecuaria. Para el cálculo de esta relación se tomará como fuente primaria la ficha de investigación de costos de producción (Anexo 08) que se obtuvieron en el campo y además información secundaria proporcionada por las Direcciones Provinciales Agropecuarias. Con estos datos se identifica los cultivos dominantes y representativos para cada uno de los sistemas de producción, con lo cual se procede al cálculo respectivo de la Relación Beneficio Costo por hectárea, que es igual a:

$$R(B / C) = \frac{IBT}{CP} \quad [38]$$

Donde:

R (B/C) = Relación Beneficio Costo

IBT = Ingreso Bruto Total (Valor individual del producto por el rendimiento del cultivo por ha)

CP = Costos de Producción (Sumatoria de todos los gastos que se generan en el proceso productivo por ha)

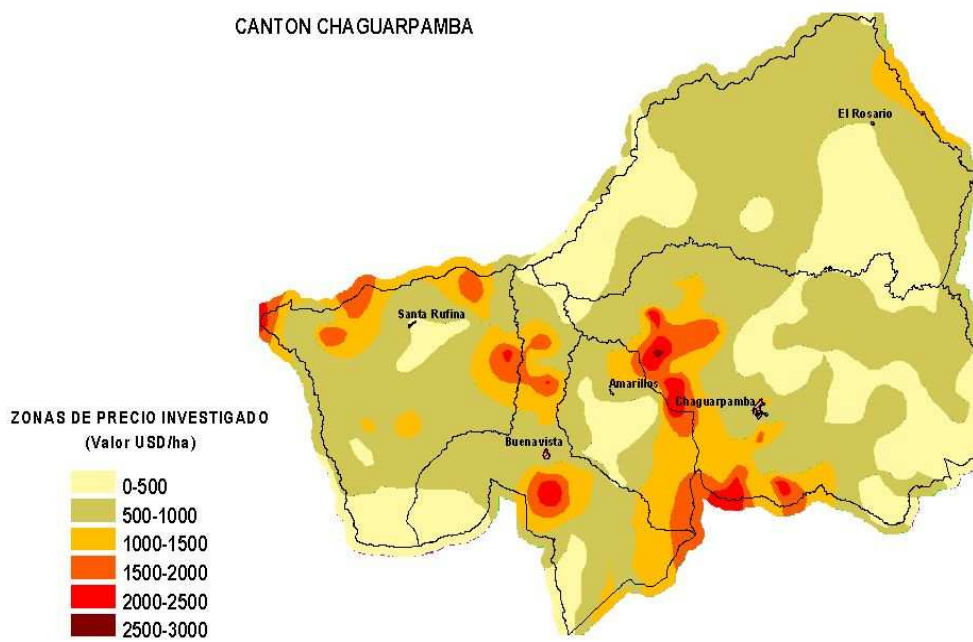
Si para un sistema de producción se identifica más de un producto se procede a estimar el promedio de las Relaciones Beneficio/Costo y así obtener un solo valor que constituye el factor que ajustará a los precios investigados. Para el cantón Chaguarpamba se identificaron como principales cultivos el café, caña de azúcar y maní para los dos sistemas de producción determinados; en donde para el sistema de producción marginal se establece una relación beneficio costo de 1 y para el sistema de producción mercantil un indicador de 1.02, lo cual demuestra que la ganancia obtenida es muy baja.

Finalmente se aplicará el valor de la relación Beneficio/Costo a las Zonas de Precios Investigados, los cuales se encuentran también en formato shape.

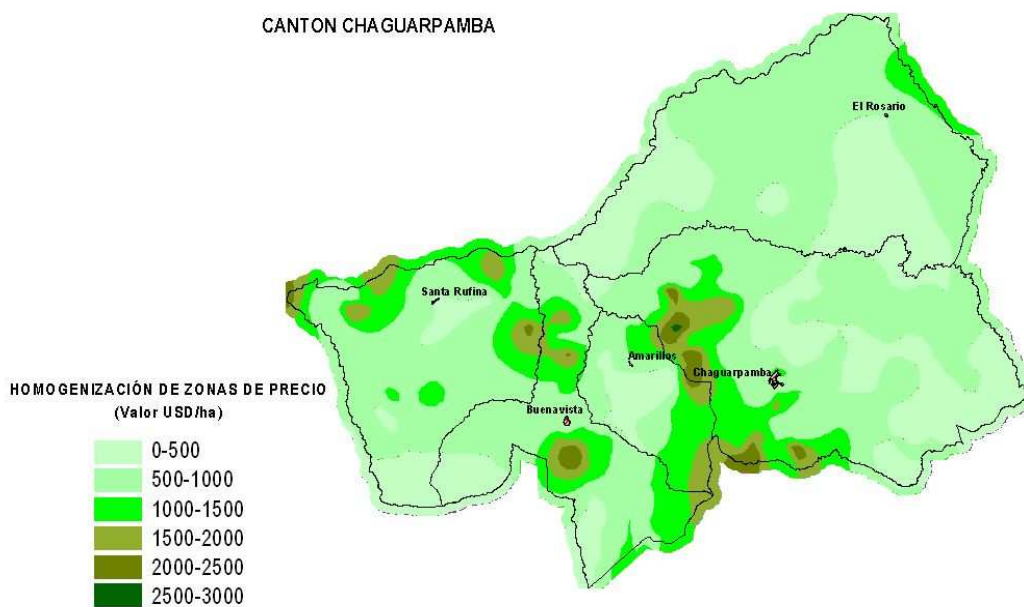
Este procedimiento nos permitirá homogenizar las zonas de precio, a la realidad del cantón, bajo los resultados obtenidos en la investigación de campo, los cuales constituyen una fuente de información muy cercana de cada cantón.

Figura 14. Proceso de homogenización de precios investigados

CANTON CHAGUARPAMBA



CANTON CHAGUARPAMBA



En el análisis del precio para del Cantón Chaguarpamba, se observa el siguiente resultado:

Los precios de la tierra en el Cantón Chaguarpamba oscilan entre 500 y 3000 USD por (ha) como se observa en la figura 13, donde los precios más altos se concentran en áreas cercanas a las áreas urbanas, y correspondientes con a las áreas homogéneas de ventajas tecnoestructurales presentes en el cantón.

Los Sistemas de Producción que presenta el Cantón Chaguarpamba están limitados solo a dos de ellos: Marginal y Mercantil. El Sistema de Producción Marginal en mayor proporción que el Mercantil.

La homogenización del precio con la aplicación de la Relación de Beneficio Costo para el caso del cantón Chaguarpamba no ha modificado significativamente al precio investigado, ya que la relación beneficio costo en el sistema predominante es igual a 1. Sin embargo este en áreas con sistemas de producción en las que la relación beneficio costo sea mayor el precio será considerablemente modificado.

Complementario tanto a la zonificación biofísica y socioeconómica, se ha muestreado el precio por ha de terreno en el Cantón Chaguarpamba, empleando un Método de Muestreo por Estratos¹⁰, del cual se ha obtenido un tamaño muestral de 260 viviendas a encuestar, dicha base ha sido depurada de los *valores missing*¹¹ quedando en una Data Set con 172 boletas válidas de precios en SAS¹²,

4.18 Establecimiento de Zonas Homogéneas Económicas

El establecimiento de Zonas Homogéneas Económicas se sustenta fundamentalmente en el análisis del precio de la tierra, el mismo que constituye uno de los procesos más sensibles dentro de esta metodología geoestadística, debido a la dificultad de obtener los datos de precios reales. Ciertamente que lo apropiado sería utilizar los precios de las transacciones efectivamente realizadas. No obstante, esto no es posible por diversas razones, entre las que se destacan:

- Falta de dinamismo en las transacciones de tierras que no generan observaciones suficientes para una estimación confiable. (CEPAL - SERIE Desarrollo productivo N° 7735), y;
- Los impuestos a las transacciones de tierras generan incentivos tanto a compradores y vendedores para sub-declarar el precio de la transacción, lo cual es posible debido a los deficientes sistemas de verificación.

Cada transacción de un bien heterogéneo, como lo es la tierra rural, determina un precio único para el bien con todos sus atributos. Este precio único es el resultado implícito de una serie de equilibrios de mercado (que implica cantidad y precio) para cada característica del bien heterogéneo.

¹⁰ Ver Anexo 2

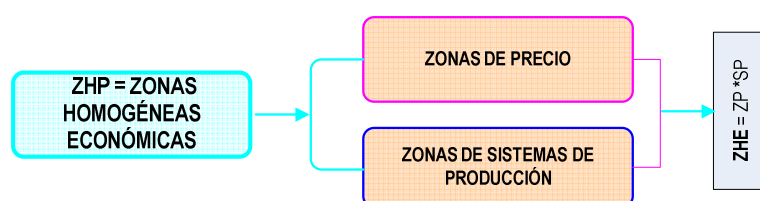
¹¹ Valor Missing: Encuestas sin información disponible.

¹² Ver Anexo 13

Según algunos autores (Vicente Caballer y Enrique Ballester), el método de mercado o método comparativo, es el más usual para definir el valor de la tierra. Este suele ser confundido con la comparación entre los precios de la oferta, lo cual constituye un error. Para que el Método de Mercado, tenga aplicación científica requiere de una homogenización que permita un acercamiento a precios reales, así como la aplicación de varios factores complementarios.

Complementario al Krigeaje Universal Lineal, ahora se desarrolla un Modelo de Valorización que homogeniza los precios bajo la relación costo beneficio correspondiente para cada uno de los sistemas de producción dominantes para así determinar zonas homogéneas económicas como se presenta a continuación.

Figura 15. Determinación de Zonas Homogéneas Económicas.



La metodología a seguir para definir las zonas de precios se dividen en dos fases: recopilación de Datos y análisis de la Información - Homogenización.

4.18.1 Recopilación de Datos

Para la fase de recopilación de datos es necesario determinar la fuente de datos, para lo cual se han identificado dos actores: Directos e Indirectos. Los actores directos están representados por las personas encuestadas; mientras que los actores indirectos constituyen fuentes secundarias de información, tales como: inmobiliarias, almacenes agropecuarios, departamento de avalúos y catastros, dirigentes campesinos, entre otros.

El tipo de encuesta¹³ que se aplica es in-situ (en el sitio) con el objeto de averiguar a través de preguntas directas la valoración que otorgan las personas a la oferta del bien, presentando una situación de transacción hipotética de la tierra, y observando su reacción (Barzev 2000).

En el Anexo 02, en la investigación de campo se considera la realización de un diseño muestral, con el objeto de estandarizar procedimientos y de garantizar una apropiada recopilación de datos.

4.18.2 Análisis de la Información

Para el análisis de este proceso se ha dividido en dos partes:

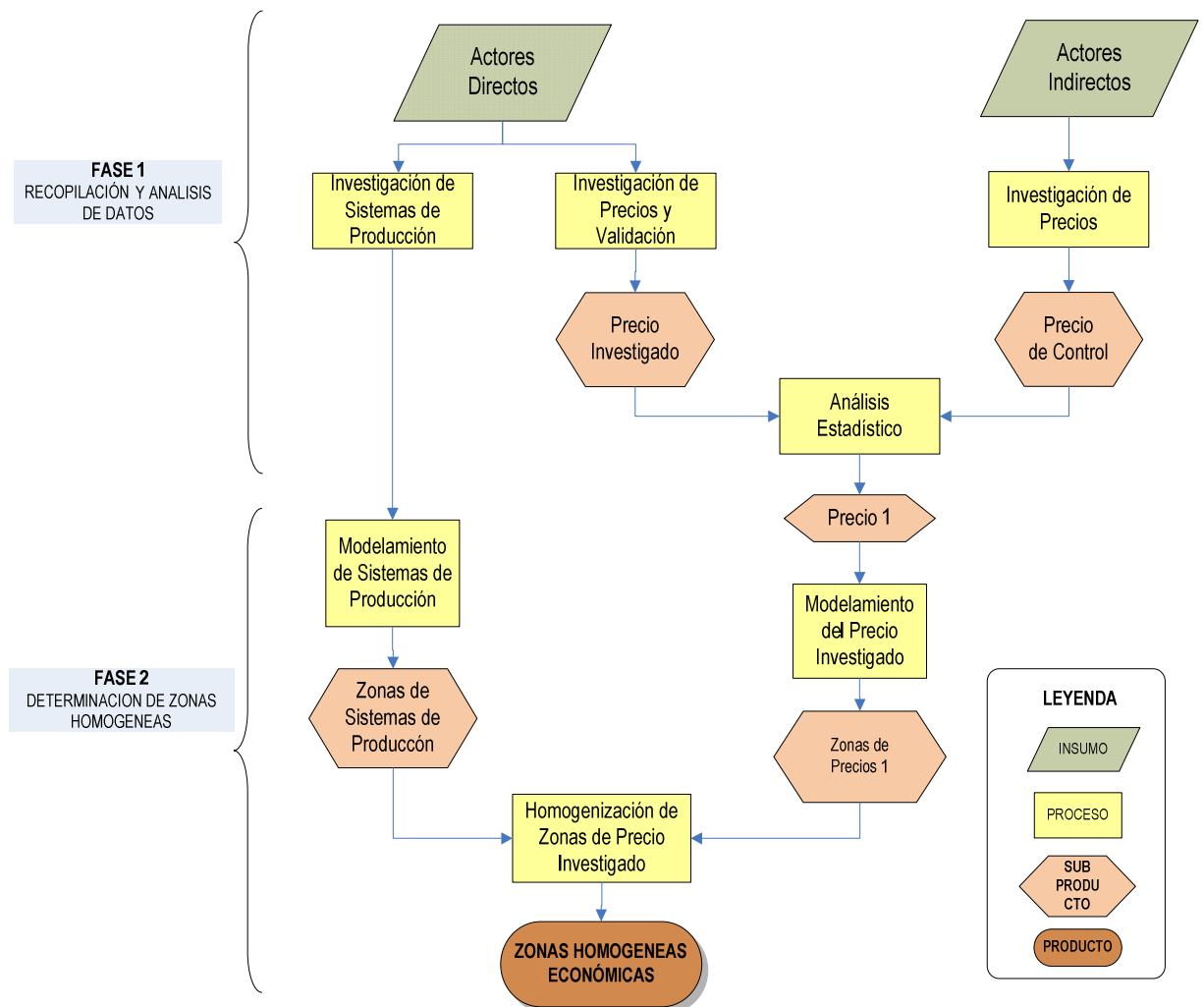
1. Procesamiento de los Datos Recopilados en **SAS**, y;

¹³ Ver Anexo 03

2. Homogenización.

El Procesamiento de los datos recopilados provenientes de los actores directos, se refiere al análisis estadístico de los precios investigados, considerando como referencia a los datos obtenidos de los actores indirectos. Este proceso se resume en el siguiente esquema:

Figura 16. Esquema del Proceso de Determinación de Zonas de Precio Homogenizado.



Donde;

Precio Investigado.- Se refiere al precio proporcionado por un individuo en particular, objeto de la aplicación de la ficha de investigación de campo (Ver Anexo 03 y 04).

Precio de Control.- Constituye los precios obtenidos de los actores indirectos, tales como: Inmobiliarias, Almacenes Agropecuarios, Departamento de Avalúos y Catastros, dirigentes campesinos entre otros.

Precio1.- Precio ajustado mediante análisis de estadística descriptiva, considerando los precios de control.

Zonas de Precios 1.- Zonas de precios modeladas espacialmente mediante el método de krigeaje lineal a partir de la muestra de puntos muestra.

Zonas de Sistemas de Producción.- Zonas de Sistemas de Producción modeladas espacialmente mediante el método de interpolación (Spline), el cual estima valores usando una función matemática que reduce al mínimo la curvatura de la superficie total, dando como resultado una superficie simple que pasa exactamente a través de los puntos muestreados.

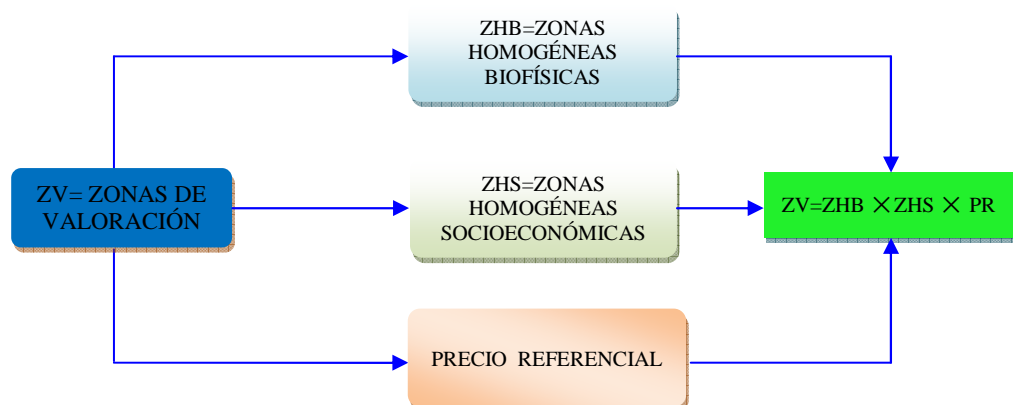
Homogenización.- Finalmente, las zonas de precio investigado serán homogenizadas mediante la aplicación de un factor Beneficio-Costo correspondiente a los Sistemas de Producción dominantes en el ámbito rural, los mismos que definirán zonas homogéneas económicas.

4.19 Establecimiento de Zonas de Valoración

Para determinar las zonas de valoración, el modelo plantea la inclusión de factores de modificación del precio de la tierra, aplicados a los resultados obtenidos de la zonificación económica, la misma que representa precios de la tierra en dólares por hectárea.

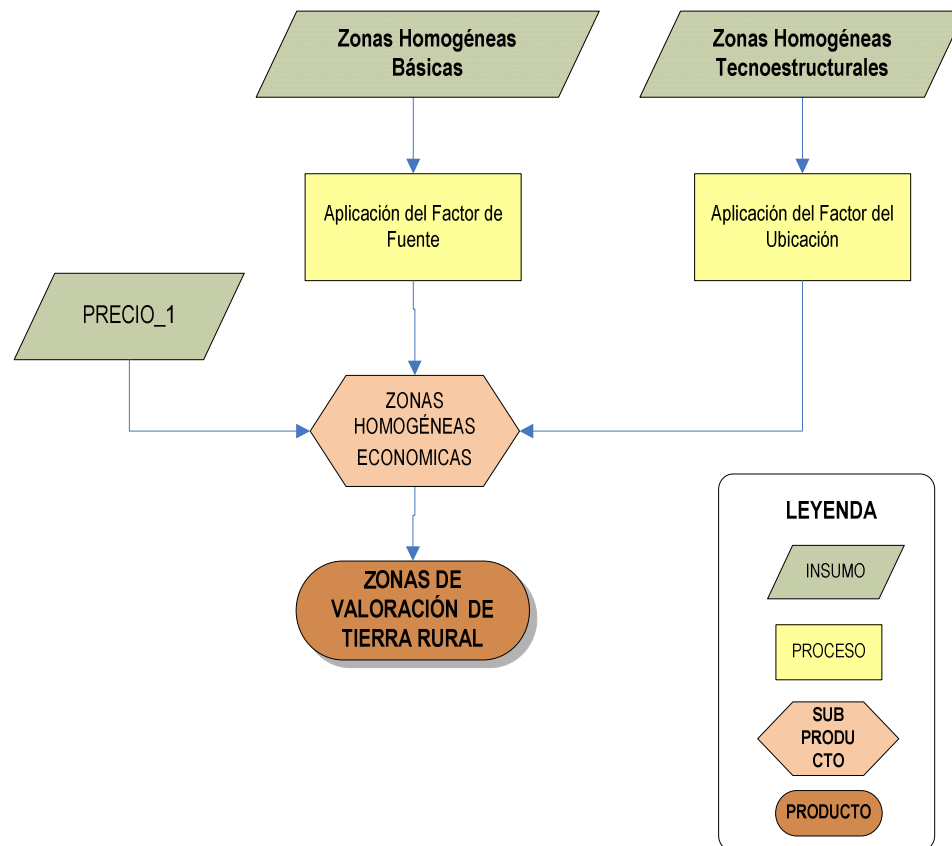
El proceso para la determinación de Zonas de Valoración se resume en el siguiente esquema:

Figura 17. Determinación de Zonas de Valoración.



Los factores modificadores del precio constituyen elementos que aumentan, mantienen o disminuyen el valor de una tierra, su aplicación permitirá realizar un acercamiento mas objetivo al precio real. Estos factores se han denominado: Factor de fuente y el Factor de ubicación (Caballer, 2002).

Figura 18. Factores de Modificación del Precio de la Tierra.



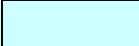





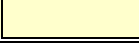
Bajo el supuesto que en los datos de precio de la tierra recolectados, mediante la investigación de campo, existe generalmente un incremento por encima del valor real, dado por el oferente con el objeto de obtener una buena transacción. Por lo cual es necesario efectuar un descuento mediante la aplicación de un factor de demérito con el fin de acercarse al valor real o posible transacción, aproximándose al precio que pagaría la demanda.

En las tierras rurales, según Caballer, es muy frecuente aplicar factores de fuente entre 0.8 y 0.9. (Caballer, 2002). Este factor será establecido en función de las cinco zonas homogéneas biofísicas, bajo el criterio de que para una tierra de categoría excelente, es decir áreas de mejores características biofísicas, se le aplica un factor menor, ya que el oferente solo estará dispuesto a reducir hasta un 10% del precio inicial porque es consciente de las potencialidades de su bien inmueble dentro del mercado de tierras. Por el contrario en una tierra con una categoría deficiente el factor de demérito será mayor, debido a que las limitaciones físicas presentes le obligarán a ser menos exigente al momento de establecer un precio transaccional.

Un estudio de Valorización de la Tierra Rural en Colombia, ratifica el comportamiento del factor de fuente señalando que: El valor potencial del suelo rural presenta un coeficiente positivo con respecto a las características biofísicas, lo que indica que a medida que mejoran las características productivas de los terrenos rurales, aumenta el precio de los mismos. (Caballero Yadira, 2006).

Estos factores se detallan en el siguiente cuadro:

Cuadro 55. Factor de Fuente de las Zonas Homogéneas Biofísicas.

CATEGORIA BIOFÍSICA	LEYENDA	FACTOR DE FUENTE
CLASE 256		0,950*
CLASE 128		0,900*
CLASE 64		0,866*
CLASE 32		0,833*
CLASE 16		0,800*
CLASE 8		0,766*
CLASE 0		

* Fuente: CABALLER, Vicente et al. Valoración de Predios Agrarios. Bogotá, Colombia. 2002

Un comprador potencial de un predio rural, lo que primeramente analiza es la ubicación y los servicios que dispone, para seleccionar la propiedad que más le conviene. En el área rural, la localización se caracteriza por la facilidad de acceso a los servicios que presenta la zona (vías de comunicación y servicios).

Tomando en cuenta esta aseveración, se ha establecido un segundo factor de corrección del precio denominado Factor de Ubicación, el mismo que aumenta, mantiene o disminuye el precio en función de la zona socioeconómica, la cual simboliza los beneficios que brinda la infraestructura a un espacio geográfico.

El factor de ubicación tomará valores entre 1.2 para la categoría excelente, hasta 0.7 para la categoría deficiente. De esta manera se maximizará únicamente a las zonas con condiciones ideales, que por sus características propias merecen tener un incremento en el precio de la tierra. Por otra parte para la categoría muy buena le corresponde un factor igual a 1 que mantendrá el precio; mientras que para las zonas de menor jerarquía (categorías: buena, regular y deficiente) el factor disminuye el precio. El factor de ubicación se establece, como se presenta a continuación:

Cuadro 56. Factor de Ubicación de las Zonas Homogéneas Socioeconómicas.

CLASE T	CATEGORÍA	LEYENDA	FACTOR DE UBICACIÓN
CLASE 5	EXCELENTE		1.20*
CLASE 4	MUY BUENA		1.00*
CLASE 3	BUENA		0.90*
CLASE 2	REGULAR		0.80*
CLASE 1	DEFICIENTE		0.70*

* Fuente: CABALLER, Vicente et al. Valoración de Predios Agrarios. Bogotá, Colombia. 2002

4.20 Aproximación al Precio

La aproximación al precio se basa en un producto con ponderadores establecidos en Estándares de Avalúos de Predios Rurales, los mismos que pueden ser susceptibles a modificaciones de acuerdo al cantón seleccionado, a continuación se presenta el cálculo con los precios finales del krigeaje;

RANGO DE LA ZONIFICACIÓN	Precio	Factor de Fuente	Factor de Ubicación	Estimación del Precio*
0 - 500	250	0,766		191,50
500 - 1000	750	0,800	0,70	420,00
1000 - 1500	1250	0,833	0,80	833,00
1500 - 2000	1750	0,866	0,90	1363,95
2000 - 2500	2250	0,900	1,00	2025,00
2500 - 3000	3250	0,950	1,20	3705,00

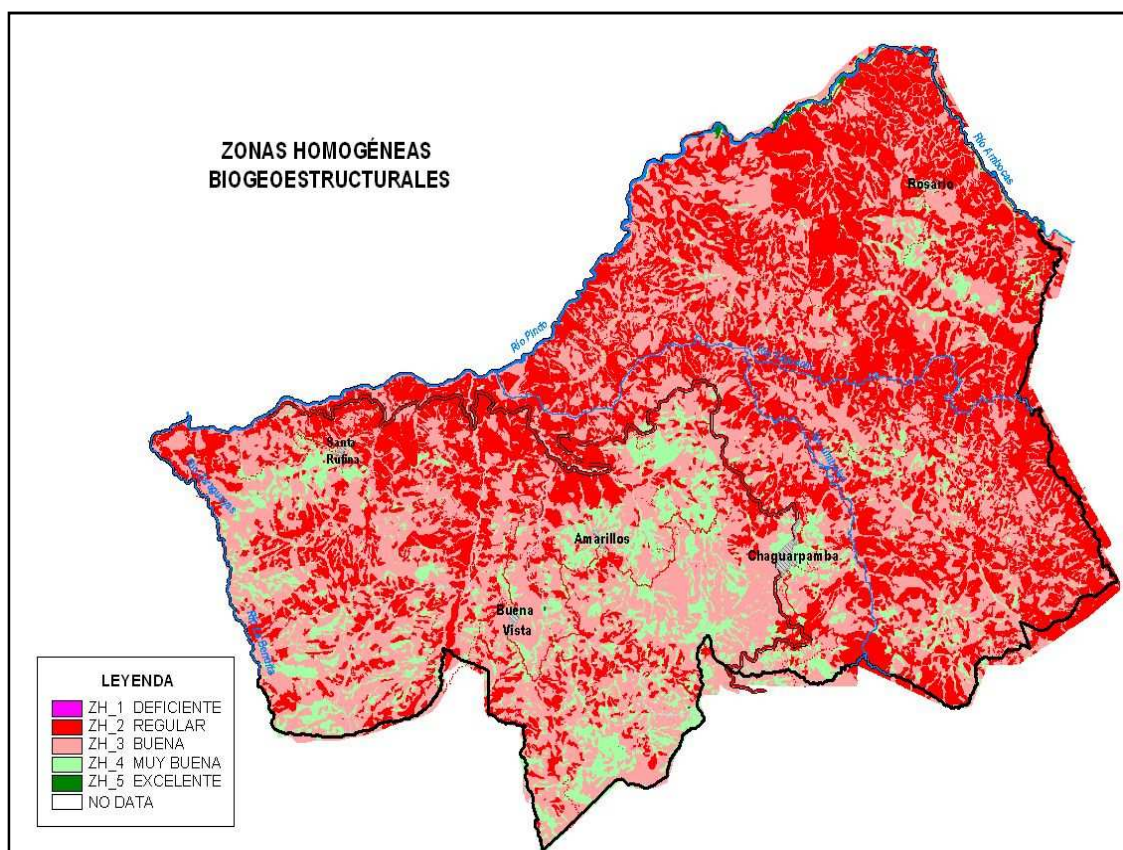
CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al término del presente Proyecto de Titulación se han obtenido las siguientes conclusiones y recomendaciones:

5.1 Conclusiones

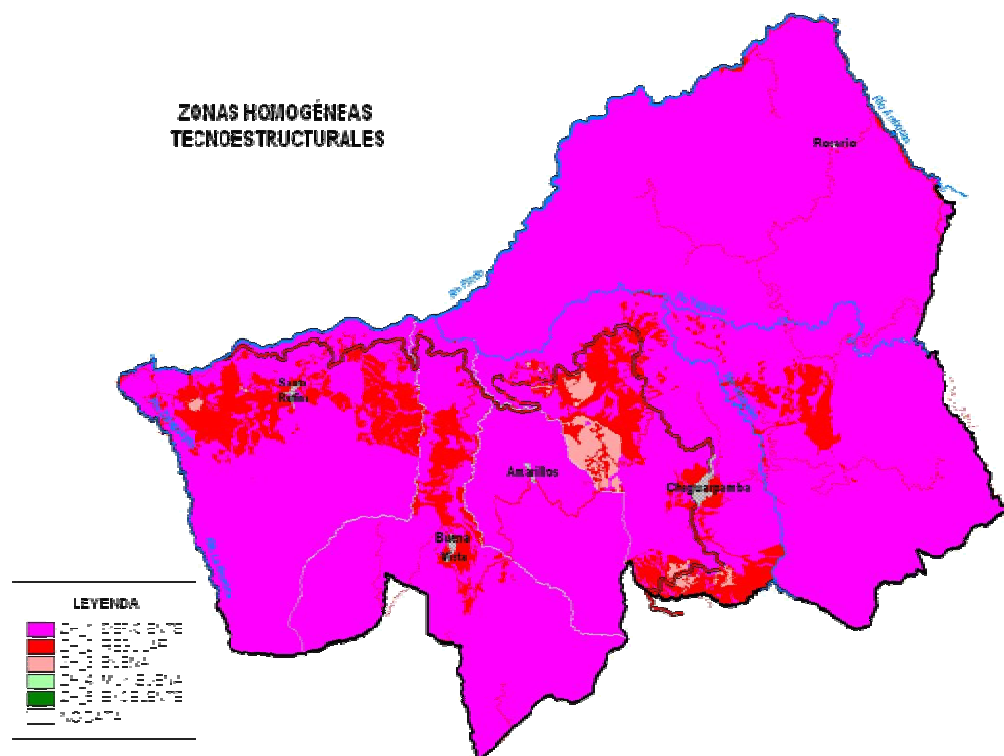
1. La Metodología Geoestadística implementada ha sido el principal sustento estadístico matemático para el Programa de Regularización y Administración de Tierras Rurales –PRAT, del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca –MAGAP.
2. La Zonificación Homogénea Biofísica se basa no solamente en subjetividades cartográficas, sino que ha sido contrastada con una herramienta de la estadística tradicional, el análisis multivariante de cluster, hasta llegar a una estructuración de polígonos homogéneos en sus características ponderadas.



La parte a resaltar en base al mapa de zonas homogéneas biofísicas del cantón Chaguarpamba es que una superficie correspondiente al 36 % es de categoría de

tierra Regular debido fundamentalmente a la fuertes pendientes dominantes en el cantón, la cobertura vegetal predominante son los pastos naturales, vegetación arbustiva y cultivos perennes sin riego cuyos suelos presentan restricciones importantes para las prácticas agropecuarias.

3. La Zonificación Homogénea Socioeconómica ha sido estructurada de igual forma con análisis multivariado y es importante señalar que el análisis ha sido desarrollado en el eficiente y potente software estadístico System Analysis Statistical (SAS).



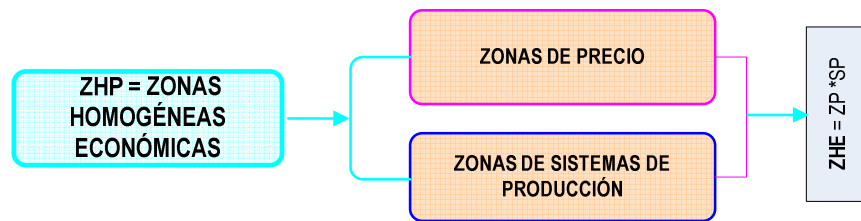
Se evidencia claramente el predominio de una zona socioeconómica deficiente, derivada de la escasa accesibilidad vial (vías de primer y segundo orden), escasos servicios sociales (centros de educación y ayuda comunitaria) y a la poca disponibilidad de servicios básicos (Energía y agua Entubada y/o Pozo)

Las zonas socioeconómicas de categoría muy buena son escasas, mientras que las zonas buenas y regulares obedecen a la cercanía de las vías y centros poblados.

4. Finalmente se ha construido una Zonificación de Precios en base a una muestra, misma que fue recolectada con un diseño muestral por estratos apropiado para el Cantón Chaguarpamba, seguidamente con estándares de factores obtuvimos una aproximación cuantitativa del precio real de la ha de terreno.

La zonificación económica del cantón representa el valor monetario de la tierra, ajustado con los potenciales económicos y productivos originados en el uso

agropecuario de la misma y relacionado directamente con la ubicación de los recursos naturales, y servicios básicos.



De los resultados obtenidos de la zonificación se destaca que las zonas alejadas de los sectores poblados presentan muchas limitaciones de infraestructura y producción debido a las severas irregularidades del suelo, por lo que tienen valores monetarios bajos por hectárea que oscilan de 250 USD a 3.250 USD.

5.2 Recomendaciones

1. Se recomienda implementar nuevas metodologías geoestadísticas para la investigación en procesos similares.
2. Es importante señalar el valioso apoyo informático del software **SAS** por lo que se recomienda una capacitación en los módulos SAS/BASE, SAS/GIS, SAS/STAT para el personal encargado de la arquitectura y diseño de las bases de datos en cada variable del cantón seleccionado.
3. Finalmente es una recomendación investigar con metodologías de cálculo y técnicas estadísticas a cualquier fenómeno social, sea éste biofísico, político u otro para el sustento científico de los resultados.

RESUMEN

El Proyecto de Titulación, es un proceso Zonificación de variables biofísicas, tales como la Pendiente, Uso del Suelo, Aptitud Agropecuaria, Movimientos en Masa, Susceptibilidad a Erosión, y en variables socioeconómicas, sobresalen la Demanda Sobre el Recurso Tierra, Accesibilidad Vial, Disponibilidad de Servicios Básicos, y Accesibilidad al Área Urbana, tomando un caso de estudio al Cantón Chaguarpamba de la Provincia de Loja, tesis desarrollada dentro del Programa de Regularización y Administración de Tierras Rurales – PRAT. En el estudio y análisis principalmente se ha implementado la técnica multivariante de cluster, correlación espacial, y variogramas para concluir con la interpolación lineal del Modelo Kriging, el nivel de confianza del Modelo de Zonificación es del 90%, el cual homogeniza cada grupo de variables, todo esto realizado en el software **SAS 9.1** (Sistema de Análisis Estadístico), y **ArcGIS 9.3** (software para Sistemas de Información Geográfica).

También se ha muestreado 280 viviendas de un universo de 620 predios, con un margen de error del más menos 5%, para estimar los valores de los precios de la hectárea de terreno en base al Sistema de Producción, Rendimiento, y Destino de la Producción del predio investigado.

Finalmente de los resultados obtenidos se ha concluido que el 76% de la superficie del cantón es un suelo erosionado con pendientes fuertes desfavoreciendo las prácticas agropecuarias de sus habitantes, además las zonas alejadas de los sectores poblados presentan escasos servicios básicos y de infraestructura, por lo que se tienen valores monetarios bajos por hectárea que oscilan de 250 USD a 3.250 USD.

SUMMARY

The tittering Project is a Zonification process of biophysical variables such as Slope, Soil Use, Farmland Feasibility, Mass Movements, Erosion Susceptibility. In socioeconomic variables the significant ones are Land Resource Demand, Road Access, Basic Services Availability and Urban Area Access, considering a study case the Chaguarpamba Canton, Loja Province, a thesis developed within the Regularization and Administration of Rural Lands – PRAT. In the study and analysis the multivariant cluster technique, the spatial correlation and variograms have been implemented to conclude with the lineal interpolation of the Kriging Model. The reliability level is 90% which homogenizes each variable group. All this was carried out in the **SAS 9.1** software (Statistical Analysis System) and **ArcGIS 9.3** (software for Geographic Information Systems).

280 houses of a universe of 620 plots have also been sampled with an error margin of more less 5% to calculate the value of the plots of the land hectare on the basis of the Production, Yield and Production Destination System of the investigated plot.

Finally from the results, it was possible to conclude that 76% the canton area is an eroded area with sharp slopes offering no guarante for the farming practices of their people. Moreover the most distant zones from the populated sectors show scarce basic services and a bad infrastructure; this is why low monetary values are obtained per hectare ranging from 250 to 3.250 USD.

ANEXOS

Anexo A

1. Unidad Biofísica; mapas de las variables de estudio;

- Variable Aptitud.
- Variable Erosión.
- Variable Inundación.
- Variable Movimientos en Masa.
- Variable Pendiente.

2. Unidad Socioeconómica; mapas de las variables de estudio;

- Variable de Demanda Sobre el Recurso.
- Variable de Disponibilidad de Servicios Básicos.
- Variable de Accesibilidad Vial.
- Variable de Accesibilidad al Área Urbana.

Anexo B

- Anexo B1: Esquema de Ponderación de Variables para Zonificación Biofísica y Socioeconómica.
- Anexo B2: Diseño Muestral.
- Anexo B3: Ficha de Investigación de Campo.
- Anexo B4: Instructivo para el Uso de la Ficha de Investigación de Campo.

Anexo C

- Mapa de Muestras.
- Mapa de Zonificación Biofísica.
- Mapa de Zonificación Socioeconómica.
- Mapa de Precios.

BIBLIOGRAFÍA