CONVENIO INTERINSTITUCIONAL UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA – UPME - CV-003/15, INSTITUTO DE PLANIFICACION Y PROMOCION DE SOLUCIONES ENERGETICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS – IPSE -005/2015 Y LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS – UDFJC PARA LA REALIZACIÓN DEL PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE PARA EL DEPARTAMENTO DEL CUNDINAMARCA – PERS CUNDINAMARCA

Plan de Energización Rural Sostenible

del Departamento de Cundinamarca

PERS

Caracterización de la oferta del departamento de Cundinamarca



Bogotá D.C., 3 de julio de 2017

Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Carrera 8 No. 40-62. Sede Edificio Suárez Copete 3er Piso.
Unidad de Extensión Facultad de Ingeniería.
Teléfono: 3239300 Ext: 1711
E mail: perscundinamarca@udistrital.edu.co

CONVENIO INTERINSTITUCIONAL UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA – UPME - CV-003/15, INSTITUTO DE PLANIFICACION Y PROMOCION DE SOLUCIONES ENERGETICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS – IPSE - 005/2015 Y LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS – UDFJC PARA LA REALIZACIÓN DEL PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE PARA EL DEPARTAMENTO DEL CUNDINAMARCA – PERS CUNDINAMARCA

Caracterización de la oferta

Preparado por:

Johann Hernández

Diego Julián Rodríguez

Revisado por:

Francisco Santamaría Piedrahita

BOGOTÁ D.C, 3 DE JULIO DE 2017

Índice General

1. Introducción 21
2. Energía Solar 22
2.1 Metodología para reconocimiento de potencial solar 22
2.1.1 Modelos de radiación solar global 22
Métodos basados en imágenes satelitales 24
Métodos empíricos 28
2.1.2. Procesamiento de datos 34
Geometría Solar 34
2.2 Potencial energético recurso solar 40
2.2.1. Análisis de radiación solar por provincia 43
Provincia de Sumapaz 43
Provincia de Gualivá 44
Provincia de Bajo Magdalena 45
Provincia de Guavio 46
Provincia de Medina 47
Provincia de Oriente 48
Provincia de Rionegro 49
Provincia de Sabana Centro 50
Provincia de Sabana Occidente 51
Provincia de Almeidas 52
Provincia de Alto Magdalena 53
Provincia de Ubaté 54
Provincia del Tequendama 55
Provincia de Magdalena Centro 56
3. Energía Eólica 57
3.1 Metodología para reconocimiento de potencial eólico 57
3.2 Potencial energético recurso eólico 57
3.2.1. Análisis de velocidad promedio y dirección del viento por provincia 60
Provincia de Bajo Magdalena 60

Provincia de Magdalena Centro 62
Provincia de Alto Magdalena 63
Provincia de Sabana Centro 64
Provincia de Sabana Occidente 66
Provincia de Ubaté 67
Provincia de Gualivá 68
Provincia de Almeidas 70
Provincia de Guavio 71
Provincia de Medina 72
Provincia de Oriente 73
Provincia de Rionegro 75
Provincia de Soacha 76
Provincia de Sumapaz 77
Provincia deTequendama 79
4. Biomasa Agrícola 81
4.1 Poder calorifico de residuos agricolas 82
4.2 Potencial energético de biomasa agrícola 83
4.2.1. Sector agrícola en Cundinamarca 84
Cultivos transitorios 86
Cultivos permanentes 87
Cultivos Anuales 88
4.2.2. Biomasa agrícola en el departamento de Cundinamarca 89
4.2.3. Biomasa agricola de cultivos transitorios 90
Provincia de Almeidas 93
Provincia de Alto Magdalena 94
Provincia de Bajo Magdalena 95
Provincia de Gualivá 96
Provincia de Guavio 97
Provincia de Magdalena Centro 98
Provincia de Medina 100
Provincia de Oriente 101

Provincia de Rionegro 102
Provincia de Sabana Centro 103
Provincia de Sabana Occidente 104
Provincia de Soacha 105
Provincia de Sumapaz 107
Provincia del Tequendama 108
Provincia de Ubaté 109
4.2.4. Biomasa agricola cultivos permanentes 111
Provincia de Almeidas 113
Provincia de Alto Magdalena 114
Provincia de Bajo Magdalena 116
Provincia de Gualivá 117
Provincia de Guavio 118
Provincia de Magdalena Centro 119
Provincia de Medina 120
Provincia de Oriente 122
Provincia de Rionegro 123
Provincia de Sabana Centro 124
Provincia de Sabana Occidente 125
Provincia de Soacha 126
Provincia de Sumapaz 127
Provincia del Tequendama 128
Provincia de Ubaté 130
4.2.5. Biomasa agricola cultivos anuales 130
4.2.6. Principales cultivos para aplicaciones energeticas 132
Principales cultivos permanentes 133
Principales cultivos transitorios 137
4.3 Potencial Energético de biomasa 140
4.3.1. Biomasa agricola 140
4.3.2. Potencial energético total 141
4.3.3. Principales cultivos para aplicaciones energéticas 141

5. Biomasa Residual Pecuaria 143
5.1 Sector avícola 143
5.2 Sector bovino 155
5.3 Sector porcino 162
5.4 Sector pecuario 169
5.4.1. Análisis del potencial energético del departamento 169
5.4.2. Análisis del potencial energético por provincias 179
Provincia de Almeidas 179
Provincia de Alto Magdalena 181
Provincia de Bajo Magdalena 183
Provincia de Gualivá 186
Provincia de Guavio 188
Provincia de Magdalena Centro 190
Provincia de Medina 192
Provincia de Oriente 194
Provincia de Rionegro 197
Provincia de Sabana Centro 199
Provincia de Sabana Occidente 201
Provincia de Soacha 203
Provincia de Sumapaz 205
Provincia del Tequendama 208
Provincia de Ubaté 210
6. Biomasa Forestal 214
6.1 Metodología para el reconocimiento de potencial de biomasa forestal 214
6.2 Potencial energético de biomasa forestal por provincias 225
Provincia de Almeidas 225
Provincia de Alto Magdalena 227
Provincia de Bajo Magdalena 230
Provincia de Gualivá 233
Provincia de Guavio 236
Provincia de Magdalena Centro 239

Provincia de Medina 242
Provincia de Oriente 245
Provincia de Rionegro 248
Provincia de Sabana Centro 251
Provincia de Sabana Occidente 254
Provincia de Soacha 257
Provincia de Sumapaz 260
Provincia del Tequendama 263
Provincia de Ubaté 266
7. Energía Hidráulica 271
7.1 Metodología para reconocimiento de potencial hídrico 272
7.1.1. Caudales medios mensuales en el departamento de Cundinamarca 276
Provincia de Almeidas 280
Provincia de Alto Magdalena 280
Provincia de Bajo Magdalena 281
Provincia de Gualivá 282
Provincia de Rionegro 283
Provincia de Sabana Centro 284
Provincia de Sabana Occidente 285
Provincia de Soacha 286
Provincia de Sumapaz 287
Provincia del Tequendama 288
Provincia de Ubaté 289
Provincias sin análisis 290
7.1.2. Caidas hidraulicas en el departamento de Cundinamarca 291
7.2 Evaluación teórica del potencial hidroenegético en el departamento de Cundinamarca 292
8. Referencias 296

Índice de Figuras

Figura 1 H/Ho vs S/So para graja la libertad. 36
Figura 2 Modelo lineal entre H/Ho y S/S0 para la estación de Providencia (San Andrés). 37
Figura 3 Modelo lineal entre H/Ho y S/S0 para la estación Cerros Páramo Puerres (Nariño). 38
Figura 4 Modelo lineal entre H/Ho y S/S0 para la estación El Diamante. 38
Figura 5 Correlación entre el parámetro p1 y la latitud. 39
Figura 6 Gráfica de correlación entre el parámetro p0 y la latitud. 39
Figura 7 Radiación diaria promedio mensual a) Rombos – estación Capellanía. b) Cuadros – Estación El Delirio. C) Triángulos - Promedio todas las estaciones. ... 40
Figura 8 Mapas de radiación solar promedio mensual 41
Figura 9 Mapa de distribución de la radiación diaria promedio anual. 42
Figura 10 Mapa de radiación solar Provincia de Sumapaz. 43
Figura 11 Mapa de radiación solar Provincia de Gualivá. 44
Figura 12 Mapa de radiación solar Bajo Magdalena. 45
Figura 13 Mapa de radiación Provincia de Guavio. 46
Figura 14 Mapa de radiación Provincia de Medina. 47
Figura 15 Mapa de radiación Provincia de Oriente. 48
Figura 16 Mapa de radiación Provincia de Rionegro. 49
Figura 17 Mapa de radiación Provincia de Sabana Centro. 50
Figura 18 Mapa de radiación Sabana Occidente. 51
Figura 19 Mapa de radiación Provincia de Almeidas. 52
Figura 20 Mapa de radiación Provincia de Alto Magdalena. 53
Figura 21 Mapa de radiación Provincia de Ubaté. 54
Figura 22 Mapa de radiación Provincia del Tequendama. 55
Figura 23 Mapa de radiación Provincia de Magdalena Centro. 56
Figura 24 Mapa de velocidad del viento promedio en el departamento de Cundinamarca a 10 m de altura. Tomado de atlas del viento interactivo IDEAM.. 58
Figura 25 Mapa de velocidad del viento promedio en el departamento de Cundinamarca a 50 m de altura. Tomado de atlas del viento interactivo IDEAM.. 59
Figura 26 Velocidad del viento promedio en el departamento de Cundinamarca a 80 m de altura. Tomado del atlas de viento interactivo IDEAM. 60
Figura 27 Velocidad del viento promedio en la Provincia de Bajo Magdalena en 10 m, 80 m y 150 m de altura. 61
Figura 28 Dirección de los vientos anual en la Provincia de Bajo Magdalena. 61
Figura 29 Velocidad del viento promedio en Magdalena Centro en 10 m, 80 m y 150 m de altura. 62
Figura 30 Dirección de los vientos anual en la Provincia de Magdalena Centro... 63
Figura 31 Velocidad del viento promedio en Alto Magdalena en 10 m, 80 m y 150 m de altura. 63

Figura 32 Dirección del viento anual en la Provincia de Alto Magdalena. 64
Figura 33 Velocidad del viento promedio en Sabana Centro en 10 m, 80 m y 150 m de altura. 65
Figura 34 Dirección del viento anual en la Provincia de Sabana Centro. 65
Figura 35 Velocidad del viento promedio en Sabana Occidente en 10 m, 80 m y 150 m de altura. 66
Figura 36 Dirección del viento anual en la Provincia de Sabana Occidente. 67
Figura 37 Velocidad del viento promedio en Ubaté en 10 m, 80 m y 150 m de altura. 67
Figura 38 Dirección del viento anual en la provincia de Ubaté. 68
Figura 39 Velocidad del viento promedio en Gualivá en 10 m, 80 m y 150 m de altura. 69
Figura 40 Dirección del viento anual en la Provincia de Gualivá. 69
Figura 41 Velocidad del viento promedio en Almeidas en 10 m, 80 m y 150 m de altura. 70
Figura 42 Dirección del viento anual en la Provincia de Almeidas. 71
Figura 43 Velocidad del viento promedio en Guavio en 10 m, 80 m y 150 m de altura. 71
Figura 44 Dirección del viento anual en la provincia de Guavio. 72
Figura 45 Velocidad del viento promedio en Medina en 10 m, 80 m y 150 m de altura. 73
Figura 46 Dirección del viento anual en la provincia de Medina. 73
Figura 47 Velocidad del viento promedio en la Provincia de Oriente en 10 m, 80 m y 150 m de altura. 74
Figura 48 Dirección del viento anual en la provincia de Oriente. 74
Figura 49 Velocidad del viento promedio en la provincia de Rionegro en 10 m, 80 m y 150 m de altura. 75
Figura 50 Dirección del viento anual en la provincia de Rionegro. 76
Figura 51 Velocidad del viento promedio en la provincia de Soacha en 10 m, 80 m y 150 m de altura. 76
Figura 52 Dirección del viento anual en la provincia de Soacha. 77
Figura 53 Velocidad del viento promedio en la provincia de Sumapaz en 10 m, 80 m y 150 m de altura. 78
Figura 54 Dirección del viento anual en la provincia de Sumapaz. 78
Figura 55 Velocidad del viento promedio en la provincia del Tequendama en 10 m, 80 m y 150 m de altura. 79
Figura 56 Dirección del viento anual en la Provincia del Tequendama. 80
Figura 57 Evolución área cosechada por tipo de cultivo. Fuente: Gobernación de Cundinamarca. 85
Figura 58 Mapa de potencial energético total. Cultivos transitorios, permanentes y anuales en el departamento de Cundinamarca. 90

Figura 59 Mapa de potencial de energía, cultivos transitorios del departamento de Cundinamarca. 92
Figura 60 Potencial Energético, cultivos transitorios provincia de Almeidas. 94
Figura 61 Potencial energético cultivos transitorios, Alto Magdalena. 95
Figura 62 Potencial energético cultivos transitorios, Bajo Magdalena. 96
Figura 63 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Gualivá. 97
Figura 64 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Guavio. 98
Figura 65 Potencial energético cultivos transitorios, Magdalena Centro. 99
Figura 66 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Medina. 100
Figura 67 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Oriente. 102
Figura 68 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Rionegro. 103
Figura 69 Potencial energético cultivos transitorios, Sabana Centro. 104
Figura 70 Potencial energético cultivos transitorios, Sabana Occidente. 105
Figura 71 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Soacha. 106
Figura 72 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Sumapaz. 108
Figura 73 Potencial energético cultivos transitorios, Provincia del Tequendama. 109
Figura 74 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Ubaté. 110
Figura 75 Mapa de potencial energético de cultivos permanentes en el departamento de Cundinamarca. 112
Figura 76 Potencial energético de Cultivos Permanentes en el departamento de Cundinamarca. 113
Figura 77 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Almeidas. .. 114
Figura 78 Potencial energético cultivos permanentes, Alto Magdalena. 115
Figura 79 Potencial energético cultivos permanentes, Bajo Magdalena. 116
Figura 80 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Gualivá. 118
Figura 81 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Guavio. 119
Figura 82 Potencial energético cultivos permanentes, Magdalena Centro. 120
Figura 83 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Medina. 121
Figura 84 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Oriente. 122
Figura 85 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Rionegro. ... 123
Figura 86 Potencial energético cultivos permanentes, Sabana Centro. 124
Figura 87 Potencial energético cultivos permanentes, Sabana Occidente. 125
Figura 88 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Soacha. 126
Figura 89 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Sumapaz. .. 128
Figura 90 Potencial energético cultivos permanentes, Tequendama. 129
Figura 91 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Ubaté. 130
Figura 92 Potencial energético cultivos anuales, Cundinamarca. 131
Figura 93 Mapa de potencial energético, biomasa primaria agrícola de cultivos anuales. Departamento de Cundinamarca. 132
Figura 94 Mapa de potencial energético, biomasa primaria agrícola del cultivo de la caña. Departamento de Cundinamarca. 133
Figura 95 Potencial energético (GWh)- cultivo de caña. 135

Figura 96 Mapa de potencial energético, biomasa primaria agrícola del cultivo del café 136
Figura 97 Potencial energético (GWh)- cultivo del café. 137
Figura 98 Mapa de potencial energético, biomasa primaria agrícola del cultivo de cereales. 138
Figura 99 Potencial energético (GWh)- cultivo de cereales. 138
Figura 100 Jerarquización del potencial energético de la biomasa residual avícola por provincias. 146
Figura 101 Mapa de población total municipal anual del sector avícola, subgrupo ponedoras. 148
Figura 102 Mapa de población total municipal anual del sector avícola, subgrupo engorde. 149
Figura 103 Mapa de masa de residuo total municipal del sector avícola, subgrupo ponedoras. 150
Figura 104 Mapa de masa de residuo total municipal del sector avícola, subgrupo engorde. 151
Figura 105 Mapa de potencial energético total municipal del sector avícola, proceso digestión anaerobia. 152
Figura 106 Mapa de potencial energético total municipal del sector avícola, procesos termoquímicos. 153
Figura 107 Mapa de potencial energético total municipal del sector avícola. 154
Figura 108 Distribución de predios bovinos por provincia. 156
Figura 109 Potencial energético sector bovino. 158
Figura 110 Mapa de población total municipal del sector bovino. 159
Figura 111 Mapa de masa de residuo total municipal del sector bovino. 160
Figura 112 Mapa de potencial energético total municipal del sector bovino. 161
Figura 113 Potencial energético del sector porcino en % por provincias. 165
Figura 114 Mapa de población total municipal del sector porcino. 166
Figura 115 Mapa de masa de residuo total municipal del sector porcino. 167
Figura 116 Mapa de potencial energético total municipal del sector porcino. 168
Figura 117 Porcentaje del aporte energético por provincia. 172
Figura 118 Mapa de masa de residuo total municipal del sector pecuario, proceso digestión anaerobia. 174
Figura 119 Mapa de masa de residuo total municipal del sector pecuario, procesos termoquímicos. 175
Figura 120 Mapa de potencial energético total municipal del sector pecuario, proceso digestión anaerobia. 176
Figura 121 Mapa de potencial energético total municipal del sector pecuario, procesos termoquímicos. 177
Figura 122 Mapa de potencial energético total municipal del sector pecuario. 178
Figura 123 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Almeidas. 180

Figura 124 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Almeidas. 181
Figura 125 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en Alto Magdalena. 182
Figura 126 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Alto Magdalena. 183
Figura 127 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Bajo Magdalena. 185
Figura 128 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Bajo Magdalena. 185
Figura 129 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la provincia de Gualivá. 187
Figura 130 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la provincia de Gualivá. 187
Figura 131 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la provincia de Guavio. 189
Figura 132 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la provincia de Guavio. 190
Figura 133 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en Magdalena Centro. 191
Figura 134 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Magdalena Centro. 192
Figura 135 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Medina. 193
Figura 136 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Medina. 194
Figura 137 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la provincia de Oriente. 196
Figura 138 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Oriente. 196
Figura 139 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Rionegro. 198
Figura 140 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Rionegro. 198
Figura 141 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en Sabana Centro. 200
Figura 142 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Sabana Centro. 201
Figura 143 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Sabana Occidente. 202
Figura 144 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Sabana Occidente. 203

Figura 145 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria Soacha. 204
Figura 146 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Soacha. 205
Figura 147 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la provincia de Sumapaz. 206
Figura 148 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Sumapaz. 207
Figura 149 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia del Tequendama. 209
Figura 150 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en Tequendama. 210
Figura 151 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la provincia de Ubaté. 211
Figura 152 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Ubaté. 213
Figura 153 Vegetación pex aprovechable en Soacha. 215
Figura 154 Poder calorífico inferior como función de humedad seca y húmeda. 217
Figura 155 Atributos de florística aprovechable pex en Soacha. 217
Figura 156 Mapa de potencial de energía eléctrica en bosques plantados. 218
Figura 157 Atributos de florística aprovechable natural en Sumapaz. 219
Figura 158 Vegetación natural aprovechable en Sumapaz. 220
Figura 159 Cálculo de biomasa para vegetación natural. 220
Figura 160 Cálculo de zona de vida de Holdrige. 221
Figura 161 Tabla de Hidroscopia. 222
Figura 162 Mapa de potencial de energía de Weinmannia Tomentosa. 223
Figura 163 Mapa de potencial de energía bosques naturales. 224
Figura 164 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa-Provincia de Almeidas. 225
Figura 165 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados-Provincia de Almeidas. 226
Figura 166 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Almeidas. 227
Figura 167 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa-Provincia de Alto Magdalena. 228
Figura 168 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Alto Magdalena. 229
Figura 169 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Alto Magdalena. 230
Figura 170 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Bajo Magdalena. 231
Figura 171 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Bajo Magdalena 232

Figura 172 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Bajo Magdalena. 233
Figura 173 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Gualivá. 234
Figura 174 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Gualivá. 235
Figura 175 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Gualivá. 236
Figura 176 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Guavio. 237
Figura 177 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Guavio. 238
Figura 178 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Guavio. 239
Figura 179 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa-Provincia de Magdalena Centro. 240
Figura 180 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Magdalena Centro. 241
Figura 181 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Magdalena Centro. 242
Figura 182 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa-Provincia de Medina. 243
Figura 183 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Medina. 244
Figura 184 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Medina. 245
Figura 185 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Oriente. 246
Figura 186 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Oriente. 247
Figura 187 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Oriente. 248
Figura 188 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Rionegro. 249
Figura 189 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Rionegro. 250
Figura 190 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Rionegro. 251
Figura 191Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Sabana Centro. 252
Figura 192 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Sabana Centro. 253

Figura 193 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Sabana Centro. 254
Figura 194 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Sabana Occidente. 255
Figura 195 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Sabana Occidente. 256
Figura 196 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Sabana Occidente. 257
Figura 197 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Soacha. 258
Figura 198 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Soacha. 259
Figura 199 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Soacha. 260
Figura 200 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Sumapaz. 261
Figura 201 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Sumapaz. 262
Figura 202 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Sumapaz. 263
Figura 203 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia del Tequendama. 264
Figura 204 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia del Tequendama. 265
Figura 205 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia del Tequendama. 266
Figura 206 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Ubaté. 267
Figura 207 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Ubaté. 268
Figura 208 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Ubaté. 269
Figura 209 Limnímetro. Fuente: Atlas 2015 274
Figura 210 Diagrama de distribución espacial de las estaciones, Provincias de Cundinamarca. Fuente de figura: Autoría Propia 276
Figura 211 Municipio de Pasca en la provincia de Sumapaz. Fuente de figura: Autoría Propia. 277
Figura 212 Comportamiento de los caudales medios mensuales, Provincia de Almeidas. Fuente de figura: Autoría Propia. 278
Figura 213 Comportamiento de los caudales medios mensuales, Provincia del Tequendama. Fuente de figura: Autoría Propia. 279

Figura 214 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Almeidas. 280
Figura 215 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Alto Magdalena. 281
Figura 216 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Bajo Magdalena. 282
Figura 217 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Gualivá. 283
Figura 218 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Rionegro. 284
Figura 219 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Sabana Centro. 285
Figura 220 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Sabana Occidente. 286
Figura 221 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Soacha. 287
Figura 222 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Sumapaz. 288
Figura 223 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia del Tequendama. 289
Figura 224 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Ubaté. 290
Figura 225 Variación del potencial hidroenergético con el caudal y la caída hidráulica. Fuente: (UPME U. d., 2015) 293
Figura 226 Esquema de decisión, Caudal. Fuente: Autoría Propia 294
Figura 227 Mapa de aprovechamiento del recurso hidroenergético para cada uno de los tipos de pequeñas centrales en el departamento de Cundinamarca. Fuente: Autoría Propia. 295

Índice de Tablas

Tabla 1 Valores de radiación obtenidos por medio de medición directa (IDEAM) y obtenidos por reconstrucción satelital (NASA). 26
Tabla 2 Registro de valores a y b publicados para varias regiones en el mundo.. 30
Tabla 3 Modelo Angstrom-Prescott para cuatro regiones diferentes de la India.. 30
Tabla 4 Parámetros a y b del proceso de validación del modelo Glower y McCulloch. 31
Tabla 5 Parámetros a y b del proceso de validación del modelo Dogniaux y Lemoine. 31
Tabla 6 Parámetros del modelo de Ogelman. 32
Tabla 7 Parámetros del modelo de Newland. 33
Tabla 8 Factor de residuo de los cultivos más relevantes en Cundinamarca. 81
Tabla 9 Poder Calorífico inferior para biomasa agrícola. 82
Tabla 10 Evolución área cosechada por tipo de cultivo años 2002-2013 85
Tabla 11 Cultivos transitorios - Producción agrícola en Cundinamarca año 2013. 86
Tabla 12 Cultivos permanentes - Producción total en Cundinamarca año 2013... 87
Tabla 13 Cultivos anuales - Producción total en Cundinamarca año 2013. 89
Tabla 14 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en el departamento de Cundinamarca. 91
Tabla 15 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Almeidas. 93
Tabla 16 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la Provincia de Alto Magdalena. 94
Tabla 17 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la Provincia de Bajo Magdalena. 95
Tabla 18 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Gualivá. 96
Tabla 19 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Guavio. 97
Tabla 20 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Magdalena Centro. 99
Tabla 21 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Medina. 100
Tabla 22 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Oriente. 101
Tabla 23 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Rionegro. 102
Tabla 24 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Sabana Centro. 103
Tabla 25 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Sabana Occidente. 105

Tabla 26 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Soacha. 106
Tabla 27 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Sumapaz. 107
Tabla 28 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la Provincia del Tequendama. 109
Tabla 29 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Ubaté. 110
Tabla 30 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en el departamento de Cundinamarca. 111
Tabla 31 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la provincia de Almeidas. 113
Tabla 32 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia de Alto Magdalena. 115
Tabla 33 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia de Bajo Magdalena. 116
Tabla 34 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la provincia de Gualivá. 117
Tabla 35 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la provincia de Guavio. 118
Tabla 36 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la provincia de Magdalena Centro. 119
Tabla 37 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la provincia de Medina. 121
Tabla 38 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la provincia de Oriente. 122
Tabla 39 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la provincia de Rionegro. 123
Tabla 40 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia de Sabana Centro. 124
Tabla 41 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia de Sabana Occidente. 125
Tabla 42 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia de Soacha. 126
Tabla 43 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia de Sumapaz. 127
Tabla 44 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia del Tequendama. 128
Tabla 45 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia de Ubaté. 130
Tabla 46 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en el Departamento de Cundinamarca. 131

Tabla 47 Producción, desecho generado y potencial energético del cultivo de la caña en el Departamento de Cundinamarca. 134
Tabla 48 Producción, desecho generado y potencial energético del cultivo del café en el Departamento de Cundinamarca. 135
Tabla 49 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos de cereales en el Departamento de Cundinamarca. 139
Tabla 50 Predios asociados al sector avícola en el departamento de Cundinamarca. Cuadro realizado por los autores con base en la información presente en la referencia 144
Tabla 51 Potencial energético del sector avícola en Cundinamarca. Cuadro realizado por los autores con las estadísticas de la referencia 145
Tabla 52 Potencial energético del sector bovino en Cundinamarca. 157
Tabla 53 Predios y distribución de la especie porcina en el departamento de Cundinamarca. 163
Tabla 54 Potencial energético del sector porcino en el departamento de Cundinamarca. 164
Tabla 55 Predios pecuarios del departamento de Cundinamarca. 169
Tabla 56 Número de cabezas, masa de residuo y potencial energético total del departamento de Cundinamarca por cada especie. 170
Tabla 57 Potencial energético total del sector pecuario en Cundinamarca. 172
Tabla 58 Comportamiento del sector pecuario y su biomasa residual en los años 2010 y 2015. 173
Tabla 59 Potencial energético de la Provincia de Almeidas. 179
Tabla 60 Potencial energético de la Provincia de Alto Magdalena. 182
Tabla 61 Potencial energético de la Provincia de Bajo Magdalena. 184
Tabla 62 Potencial energético de la provincia de Gualivá. 186
Tabla 63 Potencial energético de la provincia de Guavio. 188
Tabla 64 Potencial energético de la Provincia de Magdalena Centro. 191
Tabla 65 Potencial energético de la Provincia de Medina. 193
Tabla 66 Potencial energético de la provincia de Oriente. 195
Tabla 67 Potencial energético de la Provincia de Rionegro. 197
Tabla 68 Potencial energético de la Provincia de Sabana Centro. 199
Tabla 69 Potencial energético de la Provincia de Sabana Occidente. 202
Tabla 70 Potencial energético de la Provincia de Soacha. 204
Tabla 71 Potencial energético de la provincia de Sumapaz. 206
Tabla 72 Potencial energético de la Provincia del Tequendama. 208
Tabla 73 Potencial energético de la provincia de Ubaté. 211
Tabla 74 Valores de biomasa (Ton/Ha) de plantaciones por regiones. Fuente: (Javier Burgos, 2004) 216
Tabla 75 Poder calorífico superior en función del contenido de humedad. Fuente: (López, 2016) 216

Tabla 76 Potencial energético de vegetación plantada para el departamento de Cundinamarca. 218
Tabla 77 Información específica de la provincia de Sumapaz. 221
Tabla 78 Potencial energético de vegetación natural de especie para el departamento de Cundinamarca. 222
Tabla 79 Potencial energético de vegetación natural de especie para el departamento de Cundinamarca. 224
Tabla 80 Potencial energético de la biomasa forestal para el departamento de Cundinamarca. 270
Tabla 81 Principales características de las Subcuencas en el departamento de Cundinamarca. 271
Tabla 82 Oferta de aguas superficiales en el departamento de Cundinamarca, discriminadas por cuencas. Fuente: Estudio nacional de suelos, IDEAM 2004 .. 272
Tabla 83 Número de estaciones de medición utilizadas para el estudio del aprovechamiento hidroenergético en el departamento de Cundinamarca. 275
Tabla 84 Caídas hidráulicas en metros por área hidrográfica en el departamento de Cundinamarca. 291
Tabla 85 Clasificación de las PCH's, según la capacidad instalada y el tipo de usuario. Fuente: (Ortíz, 2013) 292

1. Introducción

Para determinar la oferta energética del departamento de Cundinamarca es necesario limitar las fuentes energéticas al grupo más relevante en la región. Las fuentes escogidas para este trabajo fueron las siguientes: energía solar, eólica, biomasa e hídrica.

En los siguientes capítulos se realiza una caracterización de estas cuatro fuentes en el departamento de Cundinamarca.

Las principales fuentes de información para el desarrollo de este informe son: IDEAM, UPME, estudios propios desarrollados en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y por el equipo de PERS Cundinamarca.

2. Energía Solar

2.1 Metodología para reconocimiento de potencial solar

Para conocer el potencial energético solar es necesario determinar la irradiación promedio sobre la región. Desafortunadamente muchos lugares no cuentan con mediciones directas de radiación solar, como resultado de esto, no se puede determinar el recurso solar de forma precisa. Para el caso colombiano la red de observación radiométrica ha aumentado su cubrimiento en los últimos años, pero no se cuentan con registros en ciertas regiones, debido a que esta red no cubre de forma uniforme todo el territorio. Esto hace que determinar el potencial solar para aplicaciones fotovoltaicas sea una terea complicada, lo que requiere la utilización de modelos para la reconstrucción de la radiación solar en estas zonas.

En la literatura se encuentran registrados varios tipos de modelos para la reconstrucción del valor de radiación solar que utilizan variables indirectas. Debido a la gran cantidad de factores que influyen en la radiación solar, es prácticamente imposible desarrollar métodos que permitan determinar la radiación en periodos inferiores a promedios mensuales. Los métodos se han desarrollado para determinar la radiación diaria promedio mensual utilizando como datos base variables meteorológicas medidas de forma directa y se ven afectados por factores astronómicos, geográficos, geométricos, físicos y meteorológicos.

El número de modelos que correlacionan la radiación solar con otras variables meteorológicas que se han publicado es relativamente alto, lo que dificulta escoger un modelo particular. El modelo a utilizar depende fuertemente de las características propias del lugar y del propósito. El criterio de selección está basado en los requerimientos de datos y de la efectividad del método.

2.1.1 Modelos de radiación solar global

La radiación solar al incidir en la superficie terrestre sufre de una serie de alteraciones y pérdidas durante su trayecto, como lo son la dispersión y la absorción. La primera es el fenómeno que sucede al rebotar un conjunto de partículas que tienen una dirección trazada contra las partículas del medio por el cual se dirige, esto sucede hasta desviar la trayectoria original. Y la segunda, hace referencia a la separación que sufren los haces de luz de uno o más componentes de su composición al hacer contacto con la superficie u objeto, donde esa separación se convierte en calor.

Los fenómenos de la dispersión y absorción dependen de la naturaleza, la cantidad y propiedades ópticas de los componentes atmosféricos. De tal forma, sólo una porción llega al suelo en línea recta de la radiación con dirección a la superficie terrestre, a la cual se le denomina Radiación Directa, otro fragmento que sufre difusión durante el trayecto por la atmósfera, se le conoce como Radiación Difusa y una última parte es devuelta al espacio debido a la reflexiones múltiples entre el suelo y la atmósfera (Berga, 1995).

Para estimar las distintas irradiancias se han evaluado múltiples estudios, los cuales cumplen con un papel muy importante al ser necesarios en diversos cálculos de proyectos de ingeniería. Por ejemplo, los modelos que calculan la irradiación con cielo nublado son comúnmente utilizados en sistemas de aprovechamiento de energía solar, mientras que los de cielo despejado son utilizados para sistemas de aire acondicionado, instalaciones fotovoltaicas y sistemas de calibración de equipos de medición de radiación solar. En lo que respecta a los diferentes métodos para calcular la radiación solar incidentes en la superficie terrestre, se parte de los modelos físicos y estadísticos, siendo estos los procedimientos que se aplican para tener una estimación cercana a la magnitud de la radiación solar reflejada en una superficie dada; no obstante también se cuenta con la utilización de equipos con mediciones directas.

Los modelos para la reconstrucción de la radiación solar se pueden dividir en tres grandes grupos. El primero de ellos son los modelos empíricos, que determinan la correlación entre la radiación solar y variables medidas in-situ. Se puede hacer una subdivisión parametrizada por el grupo de variables que se estudian. Los cuatro subgrupos más relevantes son los modelos basados en brillo solar, nubosidad, temperatura y otras variables como la humedad.

El segundo tipo de modelos se basan en modelos de transferencia que requieren el conocimiento de las trasmitancias (la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo, o medio, por unidad de tiempo) de los distintos componentes atmosféricos. Para aplicarlos se requiere de mediciones espectrales de la radiación solar o sea discriminadas por longitud de onda que se realizan con espectro-radiómetros. A partir de las medidas espectrales es posible determinar las transmitancias de los 5 factores que atenúan la radiación solar extraterrestre cuando atraviesa la atmósfera: ozono, vapor de agua, mezcla de gases, efecto Rayleigh y aerosoles.

El último grupo de modelos se basa en la reconstrucción de la radiación solar por medio de imágenes satelitales. Los satélites enfocados en aplicaciones ambientales permiten evaluar radiación solar sobre amplias regiones, basándose en modelos de estimativa derivados de la reflectancia observada en su canal

detector de radiación visible (VIS por sus siglas en inglés). Desde la década de 1970 se puede encontrar en la literatura diversos modelos de estimativa. Entre los primeros y tal vez los más conocidos sean el estadístico de Tarpley y el físico de Gautier et al (Angstrom, 1924). Los modelos basados en parámetros físicos tienen la ventaja de depender de leyes físicas simplificadas, aplicadas a zonas de la atmósfera específicas por un conjunto reducido de parámetros provenientes del clima de la región. Estos modelos utilizan los datos de redes radiométricas para su validación. Un ejemplo de esto es el modelo UM-SBR de la Universidad de Maryland (Duffie JA, 1991) que por medio de imágenes satelitales y propiedades medias deducidas por la red de satélites de la NASA elabora archivos en escala mundial de radiación solar (PC, 1986).

Métodos basados en imágenes satelitales

Con el desarrollo en la tecnología satelital se puede evidenciar un mayor acceso a la obtención de información de manera continua y teniendo una mayor cobertura geográfica. Por medio de esta técnica, teledetección, se puede adquirir datos meteorológicos o climatológicos, que con bastante dificultad son obtenidos por otros instrumentos debido a su poca cobertura y variación en los intervalos de tiempo. Los satélites a diferencia de las cámaras fotográficas perciben por medio de un sensor un punto de la imagen, y la imagen como tal se forma a partir de un espejo rotativo que proyecta a través de su recorrido la luz que procede de la superficie.

La obtención de las imágenes se hace por medio de los satélites meteorológicos, los cuales realizan la captura de las imágenes en diferentes rangos del espectro electromagnético. Este tipo de satélites se dividen en dos tipos, el primero son los geoestacionarios, éstos se caracterizan por situarse en un punto fijo, aproximadamente a unos 35.800 km, y tomar captura cada 30 minutos. El segundo tipo son los de órbita polar los cuales se identifican por moverse alrededor de la tierra a una distancia promedio de 1000 km y la captura de imágenes depende de la frecuencia con la que el satélite pase por un punto específico (La Orbita geoestacionaria, 2008).

Con las imágenes que proporcionan estos satélites y la información que se puede extraer de éstas, se desarrollaron modelos que permiten estimar la radiación solar que llega a la superficie por medio de la irradiación que recibe el satélite, considerando especialmente el nivel del brillo de cada píxel en la imagen satelital. Los dos modelos desarrollados son los físicos y los estadísticos, los cuales se basan en el balance energético que se tiene entre el trayecto de la radiación solar, iniciando en el sol y terminando en el satélite. No teniendo nada más en común, puesto que los modelos físicos manejan parámetros como los coeficientes de absorción, dispersión, albedo de las nubes y albedo superficial. Y para los

modelos estadísticos, se tienen principalmente las regresiones estadísticas entre las medidas de radiación solar en superficie y el valor del nivel digital del píxel en la localización correspondiente a cada estación (La Orbita geoestacionaria, 2008). La NASA (National Aeronautics and Space Administration) pone a disposición del público en general el servicio Atmospheric Science Data Center, en el cual se puede encontrar los datos atmosféricos obtenidos por medio de imágenes satelitales. Para comprobar la validez de la información de la NASA para el caso particular de la radiación acumulada promedio diaria sobre superficie horizontal, se comparó con la información de las estaciones meteorológicas que cuentan con piranómetros, que obtienen la información directa sobre la irradiación. Los datos consignados en la base de datos de la NASA fueron obtenidos en el periodo de observación entre 1985 – 2005, en contraste los datos del IDEAM se encuentra en el periodo de 2001 – 2010.

Se utilizaron 89 estaciones en todo el país que cubren todas las latitudes, longitudes y alturas del territorio colombiano. Para cada estación se comparó los valores de radiación acumulada por metro cuadrado (Wh/m^2) promedio mensual y anual. Para determinar el grado discrepancia entre estas dos fuentes, se definió la diferencia porcentual como:

$$Diferencia(\%) = \frac{H_{NASA} - H_{IDEAM}}{H_{IDEAM}}$$

En la Tabla 1 se encuentran consignados los valores de Radiación global en superficie horizontal promedio anual. Las diferencias porcentuales positivas indican que los valores obtenidos de la base de datos satelital de la NASA se encuentran por encima de los obtenidos directamente de los radiómetros en tierra. Para el caso de todo el territorio colombiano se observa cómo en la mayoría de los valores comparados, los datos de la NASA son mayores que los obtenidos por los radiómetros del IDEAM. Estudios intentando reconstruir la radiación solar en zonas intertropicales han mostrado que los gradientes de humedad propios de estas regiones, generan errores en la reconstrucción de la radiación solar.

Se observa que los datos de la NASA y del IDEAM presentan diferencias significativas, con errores en la medición de los datos satelitales hasta de 95%, mostrando un promedio de error del 26%. Esto implica que el método de reconstrucción satelital realizado por la NASA no se puede tener en cuenta, debido a que supera los valores permitidos por la OMM (Organización Mundial de Meteorología) que en su capítulo 6 sobre mediciones ambientales da un máximo del 5% a los valores reconstruidos por medio de otras variables (Meteorología, 2011).

Tabla 1 Valores de radiación obtenidos por medio de medición directa (IDEAM) y obtenidos por reconstrucción satelital (NASA).

Estación	Latitud	Longitud	Altitud	NASA	IDEAM	Diferencia (%)
LAGUNA DE OTUN (RISARALDA)	4,46	-75,24	157	4640	2382	95
BIOTOPO	1,41	-78,30	687	4680	2496	87
CERRO-PARAMO - PUERRES	0,84	-77,39	3577	4240	2273	87
ACUEDUCTO MOCOA	1,15	-76,65	660	5560	3272	70
FEDEARROZ VALLEDUPAR	10,46	-73,25	184	5240	3219	63
CALARCÁ	4,53	-75,60	1343	4640	2885	61
EL DIABLO	2,97	-76,05	4100	4480	2888	55
GORGONA	2,96	-78,17	4	4660	3023	54
PARQUE NACIONAL NATURAL QUIMBAYA (RISARALDA)	4,73	-75,58	1881	4640	3056	52
PARQUE SANTA EMILIA (RISARALDA)	5,21	-75,90	2004	4500	3019	49
ZETAQUIRA (BOYACÁ)	5,30	-73,17	1434	5030	3468	45
SALINAS DE UPIN (META)	4,27	-73,58	330	4310	3066	41
E.M.A.S.	5,09	-75,51	2207	4500	3219	40
VIZCAINA-LA LIZAMA (SANTANDER)	6,98	-73,71	129	5330	3816	40
SANTA MARIA (BOYACA)	4,84	-73,25	1300	4310	3123	38
MOGOTES (SANTANDER)	6,48	-72,97	1674	5160	3779	37
AGUAS DE LA VIRGEN	8,22	-73,39	1700	5250	3847	36
LOS GUACHAROS (HUILA)	1,68	-76,11	1970	4360	3214	36
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE MAGDALENA	11,22	-74,19	7	6240	4601	36
LA PRIMAVERA (HUILA)	2,02	-76,11	1925	4480	3324	35
ESTRECHO - PATIA	2,07	-77,05	646	4310	3219	34
NEOMUNDO (BUCARAMANGA)	7,10	-73,11	971	5150	3871	33
LORICA (CORDOBA)	9,25	-75,83	60	5310	3994	33
SAN PABLO DE BORBUR (BOYACA)	5,67	-74,08	742	4960	3751	32
LA INDEPENDENCIA	3,18	-76,57	997	4130	3142	31
JUANCHACO	3,93	-77,35	13	4210	3209	31
CERROS NOROCCIDENTALES	4,47	-75,22	1947	4640	3542	31

GUATAPURI	10,73	-73,38	1315	5240	4023	30
INCODER	8,83	-75,83	37	4770	3685	29
TUNGUAVITA (BOYACA)	5,75	-73,12	2470	5030	3891	29
ARMENIA	4,53	-75,69	1458	4640	3606	29
PURACE SAN AGUSTIN (HUILA)	1,93	-76,43	2004	4360	3389	29
LA GRAN VIA	10,85	-74,13	30	5260	4125	28
LA CAPILLA - AUTO	5,08	-73,43	1917	5030	3954	27
UNIPAMPLONA (NTE. DE SANTANDER)	7,38	-72,65	2362	4790	3777	27
AEROPUERTO GUAPI	2,58	-77,90	17	4310	3407	27
SAN VICENTE DEL CAGUAN (CAQUETA)	2,16	-74,75	275	4210	3330	26
EL PEPINO	1,07	-76,67	738	4360	3458	26
PROVIDENCIA (SAN ANDRES)	13,37	81,37	0	5740	4557	26
LA PLATA (HUILA)	2,33	-75,83	2114	4170	3316	26
MACEO (ANTIOQUIA)	6,57	-74,79	1112	4960	3945	26
ALCALDÍA DE HERRÁN	7,50	-72,49	2040	4790	3811	26
AGUACHICA	8,28	-73,68	120	5250	4187	25
PAJARITO (MEDELLIN-ANTIOQUIA)	6,29	-75,61	1964	4530	3646	24
CAPURGANA	8,51	-77,32	20	4390	3542	24
EL TESORO (IDEAM)	9,33	-75,42	168	5310	4293	24
SOGAMOSO (BOYACA)	5,75	72,91	2495	4470	3615	24
MARSELLA (RISARALDA)	4,93	-75,74	1649	4640	3786	23
ARAGÓN	6,78	-75,56	1009	4530	3706	22
CERROMATOSO	7,93	-75,55	62	4310	3542	22
COVEÑAS	9,40	-75,68	0	5310	4378	21
VILLAMARÍA (CALDAS)	5,05	-75,51	1898	4500	3771	19
INZA	2,55	-76,06	1896	4480	3770	19
BOTANA	1,16	-77,28	2820	4120	3479	18
LA LAGUNA CAJIBIO	2,63	-76,78	1850	4480	3798	18
PAICI GRANJA	11,59	-72,32	15	5850	4965	18
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER	7,90	-72,49	311	4790	4085	17
UNINARIÑO (NARIÑO)	1,22	-77,30	2626	4120	3572	15
NATAIMA (TOLIMA)	4,19	-74,96	416	4810	4193	15
FLORENCIA (DESLIZAM)	1,72	-75,63	626	3940	3466	14
VILLANUEVA (MEDELLIN)	6,25	-75,56	1589	4530	4003	13

SOCHA (BOYACA)	5,99	-72,71	2492	4470	3968	13
VEGACHÍ (ANTIOQUIA)	6,77	-74,80	554	4960	4414	12
MACAGUAL FLORENCIA (CAQUETA)	1,50	-75,66	257	3940	3526	12
LA SIERRA (CAUCA)	2,19	-76,75	1930	4480	4075	10
LAS FLORES (BARRANQUILLA)	11,04	-74,82	2	6240	5706	9
AQUITANIA	5,53	-72,88	1197	4470	4115	9
BASE PALANQUERO	5,49	-74,66	190	4960	4584	8
LA PALOMERA HB (META)	4,26	-72,56	196	4480	4150	8
JERICÓ	5,80	-75,78	3207	4500	4173	8
EL DIAMANTE	5,82	-71,42	160	4670	4351	7
SILOE (CALI)	3,43	-76,56	1234	4130	3859	7
METRO-MEDELLIN (MEDELLIN)	6,33	-75,55	1456	4530	4266	6
HACIENDA PAJONALES	4,77	-74,78	255	4810	4532	6
UNIVALLE (CALI)	3,38	-76,53	992	4130	3938	5
SAN MARCOS (SUCRE)	8,60	-75,14	27	4770	4553	5
AEROPUERTO YOPAL	5,32	-72,38	1197	4470	4285	4
EL DIVISO - ARGELIA	2,31	-77,26	1750	4310	4180	3
HACIENDA MANILA	3,13	-75,08	567	4410	4287	3
BASE AEREA MARCO FIDEL SUAREZ	3,45	-76,50	975	4130	4019	3
PNN LA PAYA (PUTUMAYO)	0,17	-74,89	194	4470	4350	3
EL VINCULO	3,83	-76,29	949	4130	4088	1
DESIERTO DE LA TATACOA	3,24	-75,18	459	4410	4373	1
SANTA BARBARA (ANTIOQUIA)	5,85	-75,56	1677	4500	4484	0
EL PARAISO	1,07	-77,64	3030	4120	4279	-4
VIENTO LIBRE (NARIÑO)	1,62	-77,34	1005	4120	4635	-11

Métodos empíricos

A continuación se muestra una revisión de los modelos empíricos más importantes encontrados en la literatura. Ésta se divide dependiendo de las variables que se utilizan para reconstruir la radiación solar.

Modelos basados en el brillo solar (Sunshine-based models)

El brillo solar se constituye como la variable más utilizada en los modelos empíricos para determinar la radiación global. La literatura muestra que estos modelos se basan en la razón entre el brillo solar (S) y el brillo solar extraterrestre (S_0) para determinar el promedio mensual de la radiación global.

1. **Modelo 1**: Modelo Angstrom-Prescott (Angstrom-Prescott model)

Este modelo fue publicado en el año 1937 (Angstrom, 1924) para determinar la radiación solar diaria promedio mensual por medio de una correlación lineal del índice claridad atmosférica (H/H_0) con (S/S_0) de la forma:

$$\frac{H}{H_0} = a + b\frac{S}{S_0}$$

El valor de radiación solar extraterrestre se puede determinar por medio de:

$$H_0 = \frac{24}{2\pi} I_{sc}\left[1 + 0.033\cos\left(\frac{360n}{365}\right)\right]\left[\cos\varphi\cos\delta\sin\omega + \frac{\pi}{180}\omega\sin\varphi\sin\delta\right]$$

Dónde δ es la inclinación solar y ω el ángulo horario principal, donde pueden ser calculados:

$$\delta = 23.45\sin\left[\frac{360}{365}(284 + n)\right]$$

$$\omega = cos^{-1}(-tan\varphi tan\delta)$$

Para un mes dado, el máximo brillo solar puede ser encontrado usando (Duffie JA, 1991) la siguiente:

$$S_0 = \frac{2}{15}\omega$$

La relación de Angstrom-Prescott ha sido utilizada en varias regiones del mundo. En la Tabla 2 se registra los valores de a y b publicados para varias regiones en el mundo.

Algunos trabajos muestran como en regiones muy cercanas pero con climas distintos los valores de a y b pueden diferir de forma considerable. En (Katiyar AK, 2010), Katiar aplica el modelo de Angstrom-Prescott para cuatro regiones diferentes de la India (ver Tabla 3) donde se observan claras diferencias en los valores de a y b.

Tabla 2 Registro de valores a y b publicados para varias regiones en el mundo.

Región	Autor	Ref.	a	b
Italia	Jain	(PC, 1986)	0,177	0,692
Egipto	El-Metwally	(M., 2005)	0,228	0,527
Turquía	Bakirci	(K., 2009)	0,2786	0,4160
Amman -Jordania	Alssad	(MA, 1990)	0,174	0,615
Zambia	Jain	(Jain S, 1988)]	0,240	0,513
India	Katiyar	(Katiyar AK, 2010)	0,2281	0,5093
Tennessee-USA	Lewis	(G., 1992)	0,14	0,57
España	Almorox	(Almorox J, 2004)	0,2170	0,5433
Pakistán	Raja - Twidell	(Raja IA, 1990) (Twidell JW, 1990)	0,335	0,367
Tíbet-China	Li et al	(Li H, 2011)	0,2223	0,6529

Tabla 3 Modelo Angstrom-Prescott para cuatro regiones diferentes de la India.

Región	Autor	Referencia	a	b
Jodhpur	Katiar et al	(Katiyar AK, 2010)	0,2276	0,5105
Calcuta	Katiar et al	(Katiyar AK, 2010)	0,2623	0,3952
Bombay	Katiar et al	(Katiyar AK, 2010)	0,2229	0,5123
Mandras	Veeran et al	(Katiyar AK, 2010)	0,34	0,27
Kodaikanal	Veeran et al	(Katiyar AK, 2010)	0,32	0,65

Esto implica que el modelo varía dependiendo de los climas específicos de cada región, por lo tanto, es necesario detectar las regiones con climas similares para poder obtener resultados confiables.

2. **Modelo 2:** Modelo de Glower y McCulloch

Este modelo es propuesto bajo la base que la relación entre la razón $^{H}/_{H_0}$ y el brillo solar $^{S}/_{S_0}$ varía por efectos de los cambios de la latitud del lugar de estudio φ, donde esto es valido solo para $\varphi < 60º$ (Glower J, 1958). La expresión planteada es de la forma:

$$\frac{H}{H_0} = acos\varphi + b\frac{S}{H_0}$$

En la Tabla 4 se muestra los parámetros a y b después del proceso de validación de este modelo.

Tabla 4 Parámetros a y b del proceso de validación del modelo Glower y McCulloch.

Región	Autor	Referencia	a	b
Turquía	Ulgen et al	(Ulgen K, 2002)	0,3092	0,4931
Pakistán	Raja et al	(Raja IA, 1990) (Twidell JW, 1990)	0,3880	0,4070

3. **Modelo 3:** Modelo de Dogniaux and Lemoine

Dogniaux and Lemoine proponen una relación basada en el modelo de Angstrom-Prescott y al igual que el modelo de Glower y McCulloch lo hacen depender de la latitud (Dogniaux R, 1983):

$$\frac{H}{H_0} = a + \left[b\frac{S}{S_0} + c\right]\varphi + d\frac{S}{S_0}$$

En (Dogniaux R, 1983) muestran que los parámetros libres puedes ser determinados por periodos mensuales o de forma anual. Estos datos se encuentran consignados en la Tabla 5.

Tabla 5 Parámetros a y b del proceso de validación del modelo Dogniaux y Lemoine.

Mes	a	b	c	d
Enero	0,34507	0,00495	-0,00301	0,34572
Febrero	0,33459	0,00457	-0,00255	0,35533
Marzo	0,36690	0,00466	-0,00303	0,36377
Abril	0,38557	0,00456	-0,00334	0,35802
Mayo	0,35057	0,00485	-0,00245	0,33550
Junio	0,39890	0,00578	-0,00327	0,27292
Julio	0,41234	0,00568	-0,00369	0,27004
Agosto	0,36243	0,00412	-0,00269	0,33162
Septiembre	0,39467	0,00564	-0,00338	0,27125
Octubre	0,36213	0,00504	-0,00317	0,31790
Noviembre	0,36680	0,00523	-0,00350	0,31467
Diciembre	0,36262	0,00559	-0,00350	0,30675
Anual	**0,37022**	**0,00506**	**-0,00313**	**0,32029**

4. **Modelo 4:** Modelo de Ogelman et al.

Basados en la idea original del modelo Angström-Prescott donde se relaciona linealmente la radiación solar con el brillo solar, Ogelman et al relacionan de forma cuadrática las mismas variables (Ogelman H., 1984):

$$\frac{H}{H_0} = a + b\frac{S}{S_0} + c\left(\frac{S}{S_0}\right)^2$$

Muchos autores alrededor del mundo han aplicado este modelo para sus regiones, en la Tabla 6 se encuentra una revisión de los autores y los parámetros del modelo de Ogelman.

Tabla 6 Parámetros del modelo de Ogelman.

Región	Autor	Referencia	a	b	c
Turquía	Akinoglu	(Akinoglu BG, 1990)	0,145	0,845	-0,280
España	Almorox	(Almorox J, 2004)	0,1840	0,6792	-0,1228
Libia	Said et al	(Said R, 1998)	0,1	0,874	-0,255
Pakistán	Ahmad	(Ahmad F, 2004)	0,348	0,320	0,070
Omán	Ampratwum	(Ampratwun DB, 1999)	0,9428	-1,2027	0,9336
China	Jin et al	(Jin Z, 2005)	0,1404	0,6126	0,0351

5. **Modelo 5:** Modelo de Zabara

Al igual que el modelo de Ogelman et al relaciona la radiación solar y el brillo solar por medio de un polinomio de orden 3 (JA, 1940):

$$\frac{H}{H_0} = a + b\frac{S}{S_0} + c\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + d\left(\frac{S}{S_0}\right)^3$$

6. **Modelo 6:** Modelo de Gopinathan

Gopinathan sugiere en (JA, 1940) que los parámetros de Angström-Prescott son función de la elevación (Z) y del brillo solar. De esta forma los parámetros del modelo de Angström-Prescott se transforman:

$$a = a_1 + a_2 Z + a_1\frac{S}{S_0}$$

$$b = b_1 + b_2 Z + b_1\frac{S}{S_0}$$

De esta manera Gopinathan reportó la siguiente correlación:

$$\frac{H}{H_0} = \left[-0.309 + 0.539cos\varphi - 0.693Z + 0.290\frac{S}{S_0}\right] + \left[1.527 + 1.027cos\varphi - 0.0926Z + 0.359\frac{S}{S_0}\right]\frac{S}{S_0}$$

7. **Modelo 7:** Modelo de Newland

Este modelo utiliza como base una corrección logarítmica en la correlación del modelo de Angström-Prescott (FJ, 1988).

$$\frac{H}{H_0} = a + b\frac{S}{S_0} + clog\left(\frac{S}{S_0}\right)$$

En la Tabla 7 se encuentran registrados los resultados de aplicar este modelo en algunos lugares del mundo.

Tabla 7 Parámetros del modelo de Newland.

Región	Ref.	a	b	c
Turquía	(K., 2009)	0,3925	0,2877	0,1527
Oman-Seeb	(Ampratwun DB, 1999)	-1,1931	1,8641	-1,2544
Oman-Sallalan	(Ampratwun DB, 1999)	0,4337	0,1430	0,0861

8. **Modelo 8:** Modelo de Locuhe et al.

Louche et al presentaron en (Louche A, 1991) una modificación del modelo lineal Angström-Prescott modificando la razón S/S_0 por S/S_{nh}. Teniendo en cuenta lo anterior el modelo de Louche et al se presenta como:

$$\frac{H}{H_0} = a + b\frac{S}{S_{nh}}$$

Donde S_{nh} se puede determinar de la forma:

$$\frac{1}{S_{nh}} = \frac{0.8706}{S_0} + 0.003$$

9. **Modelo 9:** Modelo de Raja

Este modelo se basa en la fórmula de Bennett (I, 1965), donde Raja propone la siguiente relación:

$$\frac{H}{H_0} = \left[0.368 - 0.125\left(1 - \frac{Z}{Z_a}\right)\right] + \left[0.667 - 0.018\left(1 - \frac{Z}{Z_a}\right) - 0.211cos\varphi\right]\left(\frac{S}{S_{04}}\right)$$

Donde, $Z_a = 8000$m y S_{04} es la corrección 4º usada para compensar el umbral del Campbell-Stokes calculado de la forma:

$$S_{04} = \frac{2}{15} cos^{-1}\left(\frac{sen(4) - sen(\varphi)sen(\delta)}{\cos(\delta)cos\ (\varphi)}\right)$$

10. **Modelo 10:** Modelo de Coppolino

Coppolino desarrolló una función donde incorporo términos exponenciales.

2.1.2. Procesamiento de datos

El grupo de datos obtenidos de las estaciones piranométricas y heliográfica deben ser sometidos a un pre-procesamiento de datos para identificar problemas de valores atípicos y su normalización. Después de esto se realiza un análisis a partir de la geometría solar, para determinar las variables subsecuentes, como son el índice de claridad atmosférica y el brillo solar.

Geometría Solar

El vector normal al plano de la orbital de la tierra define una dirección con respecto a la cual el eje de rotación de la tierra y forma un ángulo de aproximadamente 23,5º. Este ángulo se consideró constante en la escala de tiempo de PERS Cundinamarca. La posición del eje polar relativa al sol es responsable de los cambios estacionales en la radiación solar incidente.

El ángulo que forman el plano ecuatorial de la Tierra y la línea Tierra-Sol varía diariamente mientras que la tierra recorre su propia órbita. Este ángulo se suele denominar como declinación solar (δ) es nulo en los equinoccios y es de aproximadamente 23,5º en los solsticios. La declinación solar en grados se encuentra dada, aproximadamente, por la expresión:

$$\delta = 23.45 \sin\left[\frac{360}{365}(284 + n)\right]$$

Donde n = 1, 2, 3, etc., hasta 365 es el número que caracteriza el día del año.

Para describir el movimiento aparente del sol, se usan dos ángulos: el ángulo cenital (θz) es el ángulo que forma la línea Tierra-Sol con la vertical en el punto del observador y el ángulo horario, ω, que indica el desplazamiento angular del sol de este a oeste, debido a la rotación de la Tierra. El ángulo horario es nulo en el mediodía solar, aumenta en 15º por hora y por convención se toma negativo en la mañana. Estos ángulos se relacionan con la latitud del observador (φ) y con la declinación a través de la expresión:

$$\cos(\theta_z) = \cos(\phi)\cos(\delta)\cos(\omega) + \sin(\phi)\sin(\delta)$$

A la salida o puesta del sol, se tiene $\theta_z = \pm 90$ y $\cos(\theta_z) = 0$, por lo que el ángulo horario a la salida o puesta del sol ωs cumple:

$$\cos(\omega_s) = -\tan(\phi)\tan(\delta)$$

El índice de claridad atmosférica (K_t) sobre superficies horizontales esta definido como:

$$K_t = \frac{H_g}{H_0}$$

Donde Hg es el promedio de la radiación solar diaria que incide sobre una superficie horizontal en la superficie terrestre. La radiación solar extraterrestre H_0 es la energía por unidad de área acumulada en kWh/m^2, en un día sobre la superficie de la atmósfera. Esta se puede determinar usando la siguiente expresión:

$$H_0 = \left(\frac{24}{\pi}\right) I_{sc}\, E_0 \cos(\varphi)\cos(\delta)\left[\sin(w_s) - \left(\frac{\pi}{180}\right) w_s \cos(w_s)\right]$$

Donde φ es la latitud del emplazamiento, δ es la declinación, I_{sc} es la constante solar que tiene un valor de 1.367 kWh/m^2, E_0 es el factor de corrección de la excentricidad de la orbita de la tierra. El ángulo horario (w_s) puede ser de la siguiente forma:

$$w_s = cos^{-1}(-\tan\phi\,\tan\delta)$$

A continuación se muestran los resultados obtenidos ajustando la serie de datos obtenidos en la estación de la Granja La Libertad. La estación fue seleccionada dentro del conjunto de estaciones de todo el país, porque es la cuenta con el instrumental más completo y calibrado para medir las variables involucradas en el proceso de modelamiento como son temperatura, humedad, brillo sola y radiación global. Las variables con que se cuenta para esta estación son:

- Promedio de precipitación diaria
- Brillo solar
- Humedad
- Temperatura mínima
- Temperatura máxima
- Temperatura promedio

- Radiación Global

Mediante un software propio se determinó la radiación extraterrestre (H0) y el número de horas con radiación solar en el lugar del emplazamiento (S0). Con esta información se calcula la razón entre la radiación global terrestre y extraterrestre (H/H0) y el brillo solar (S/S0) y se realiza un gráfico de H/H0 vs S/S0 (ver Figura 1) donde cada representa un día de medición.

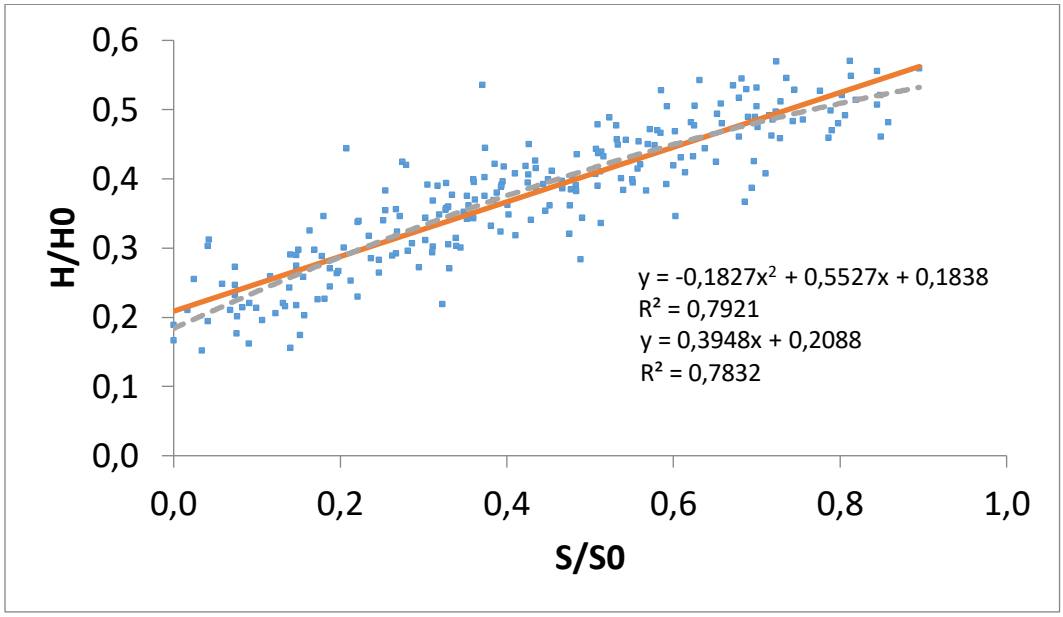


Figura 1 H/Ho vs S/So para graja la libertad.

Se realizaron dos tipos de ajustes de acuerdo a los modelos revisados en la primera parte estos son los modelos de Angstrom-Prescott y Ogelman et al. Los ajustes realizados muestran los siguientes resultados:

Angstrom-Prescott (Aproximación Lineal):

$$\frac{H}{H_0} = 0.3948\frac{S}{S_0} + 0.2088$$ Con $R^2 = 0.78322$

Ogelman et al (Aproximación Cuadrática):

$$\frac{H}{H_0} = -0.1827\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 0.5527\frac{S}{S_0} + 0.1838$$ con $R^2 = 0.79214$

Los datos de radiación solar y brillo solar son tomados de los datos mensuales del IDEAM. Estos datos son analizados y clasificados. Posteriormente se calcula el

valor de radiación solar extraterrestre H0 y S0. Este procedimiento se realiza para todas las estaciones del IDEAM que miden de forma simultánea.
Posteriormente se realizan la gráficas en de H/H0 vs S/S0 para cada una de las estaciones analizadas y se realiza un ajuste lineal para determinar los valores de los parámetros p0 = a y P1 = b.

La Figura 2, Figura 3 y Figura 4 corresponden a las estaciones de Providencia (San Andrés), Páramo de Puerres (Nariño) y El Diamante (Casanare) correspondientemente. Las estaciones referenciadas son escogidas debido a que cubren tres posibles longitudes del territorio aproximadamente equidistantes, norte del país se tiene la estación de Providencia, centro la estación del Diamante y sur la estación del Páramo de Puerres, lo que permite tener ejemplos de los valores de p0 y p1 de las estaciones que se mide forma simultánea radiación global y brillo solar se muestra a continuación.

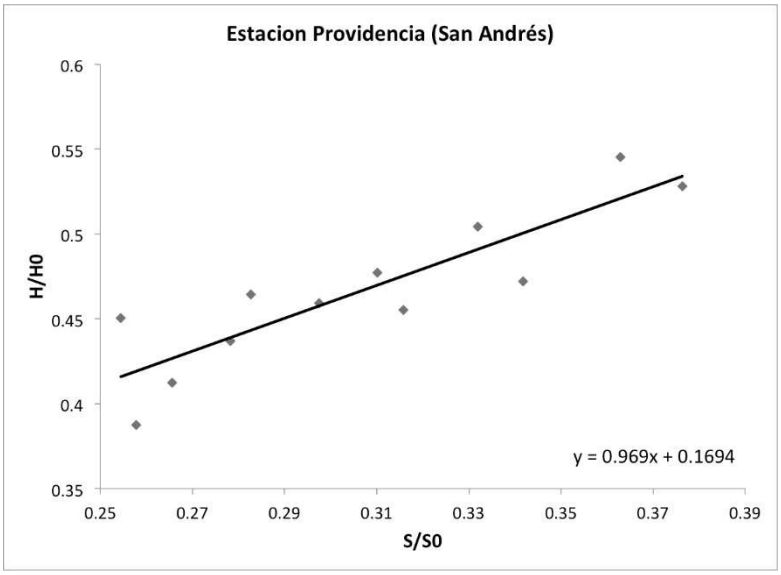


Figura 2 Modelo lineal entre H/Ho y S/S0 para la estación de Providencia (San Andrés).

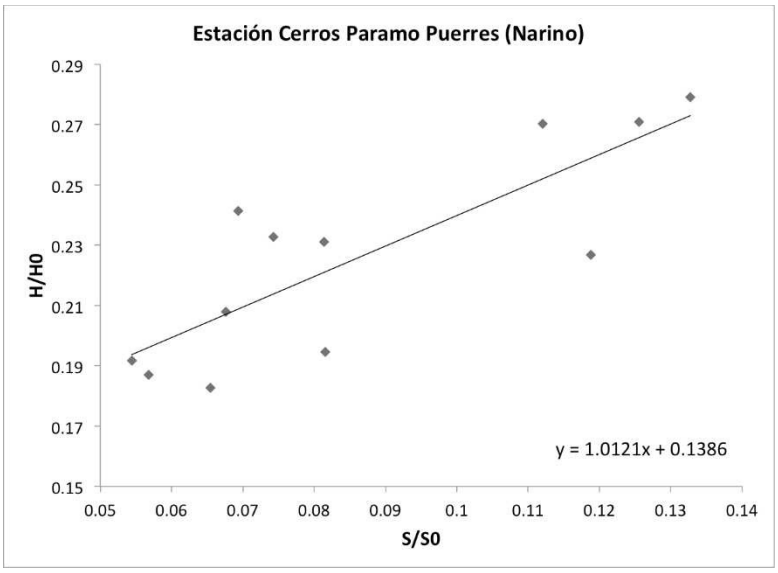


Figura 3 Modelo lineal entre H/Ho y S/S0 para la estación Cerros Páramo Puerres (Nariño).

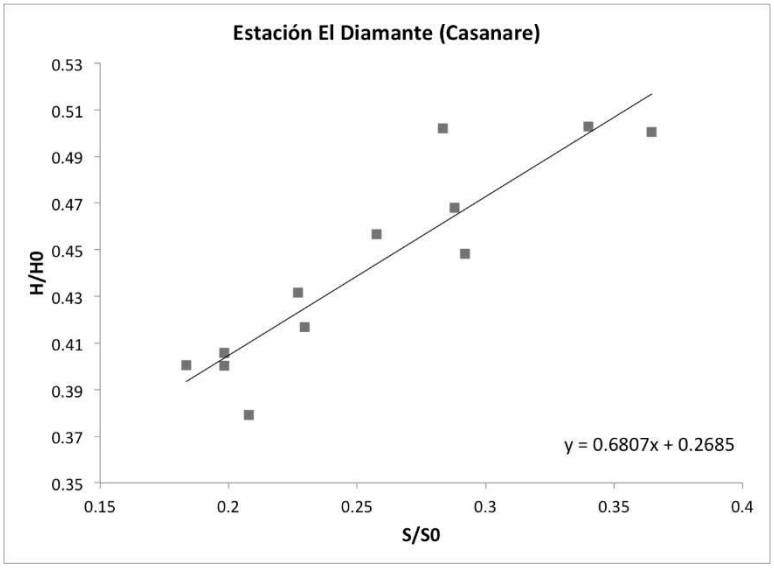


Figura 4 Modelo lineal entre H/Ho y S/S0 para la estación El Diamante (Casanare).

La Figura 5 y Figura 6 muestran la correlación existente entre los parámetros de la regresión lineal y la latitud de las estaciones. No se observa ninguna dependencia con la latitud del emplazamiento.

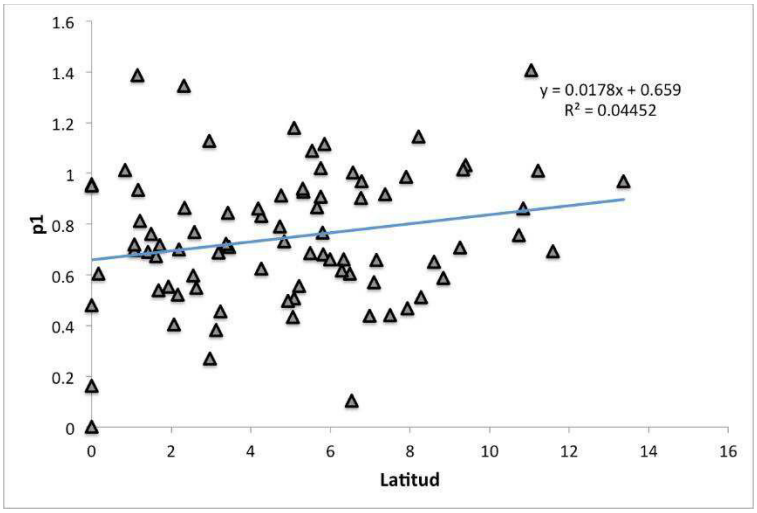


Figura 5 Correlación entre el parámetro p1 y la latitud.

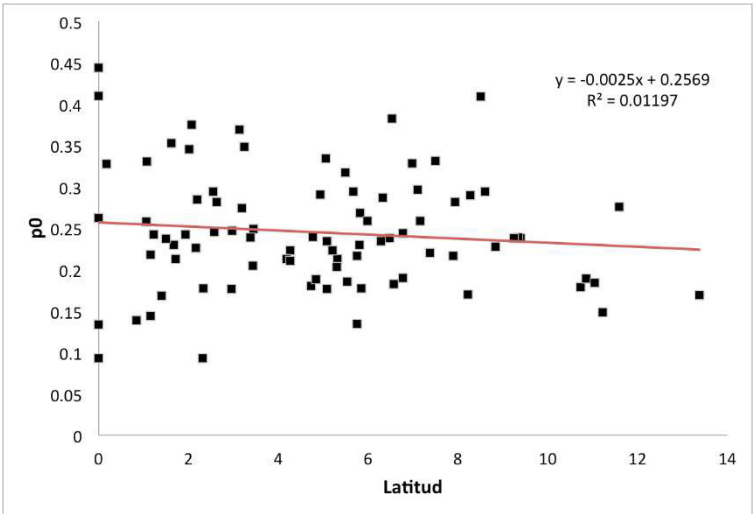


Figura 6 Gráfica de correlación entre el parámetro p0 y la latitud.

Basado en la revisión de los modelos existentes en la literatura se observó que los modelos más apropiados para utilizarse, teniendo en cuenta la red de medición del IDEAM, es el modelo polinomial de primer y segundo orden. Se realizó el procesamiento de los datos de las estaciones de la red que a su vez miden radiación global y brillo solar. Este procesamiento consta de un análisis sobre la regularidad de los datos y coherencia estadística. Se calculó los valores de radiación solar extraterrestre y el brillo solar a cielo descubierto. Con esta información se calculó el índice de claridad atmosférica como la razón entre la radiación solar global terrestre y la radiación solar extraterrestre (H/H0). Los modelos polinomiales se construyen relacionando esta razón con la razón entre el brillo solar en tierra y el brillo solar a cielo despejado.

Para el Atlas de radiación solar de la UPME publicado en el año 2015, se utilizaron los datos de medición directa por medio de radiómetros colocados en las estaciones convencionales y automáticas del IDEAM, y se complementó esta información con la reconstrucción por medio del brillo solar utilizando como método la aproximación lineal de Angstrom-Prescott. No se utilizaron datos satelitales por su discrepancia con los datos de tierra (Tabla 1), toda esta documentación se puede encontrar en (IDEAM, Atlas de radiación solar interactive, 2015).

2.2 Potencial energético recurso solar

A continuación se muestra el comportamiento de la radiación acumulada diaria promedio mensual (IDEAM, Atlas de radiación solar interactive, 2015), para el periodo comprendido entre los años 2008 y 2010 para el centro de la región Cundiboyacense. La Figura 7 muestra la tendencia promedio de la radiación de la estación con mayor radiación promedio (Capellanía) y la estación con la menor radiación promedio (El Delirio). La máxima radiación se presenta para el mes de enero con un pico de 3700 Wh/m2, y el valor mínimo es de 3200 Wh/m2 en el mes de mayo.

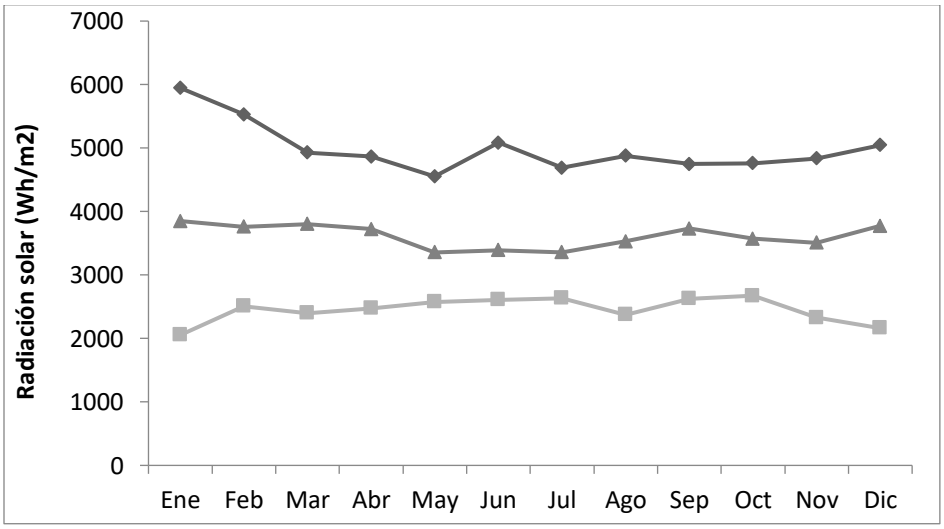


Figura 7 Radiación diaria promedio mensual a) Rombos – estación Capellanía. b) Cuadros – Estación El Delirio. C) Triángulos - Promedio todas las estaciones.

Las mediciones muestran una alta variabilidad, para el mes de enero la diferencia entre la estación de Capellanía con la estación de El Delirio es de más de 3500 Wh/m^2, esto se debe a las grandes diferencias geográficas que generan diferentes

zonas climáticas. La Figura 8 muestra la distribución de la radiación solar discriminada por mes.

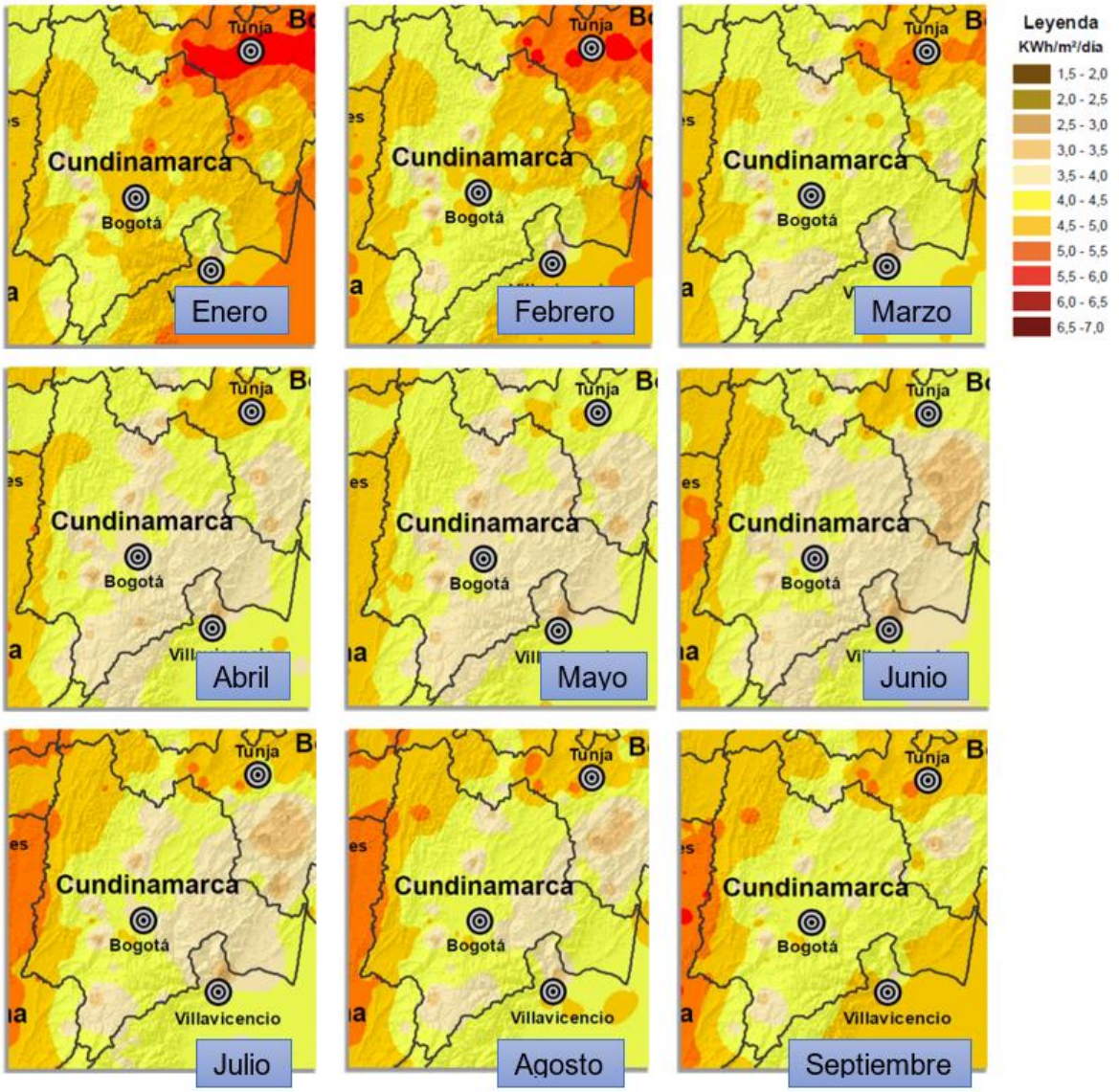


Figura 8 Mapas de radiación solar promedio mensual

Se observa que la zona norte de la región de estudio presenta para todos los meses la mayor radiación solar. En la zona sur, que corresponde al pie de monte llanero, se presenta la menor radiación. Esta es una tendencia que se mantiene para todos los meses del año. Este comportamiento se puede explicar por la alta

nubosidad que se presenta en el sur de la región, ya que las nubes pueden reflejar el 70% de la radiación total incidente (Badescu, 2008).

En la Figura 9 se muestra la distribución de la radiación diaria promedio anual. La mayor radiación se encuentra al norte de la provincia de Ubaté, sobre los municipios de Susa y Simijaca, la radiación sobre esta región del departamento está por encima de 5000 Wh/m^2. En contraste la ciudad de Bogotá y sus municipios fronterizos orientales presentan la menor radiación, con un promedio anual de 2800 Wh/m^2.

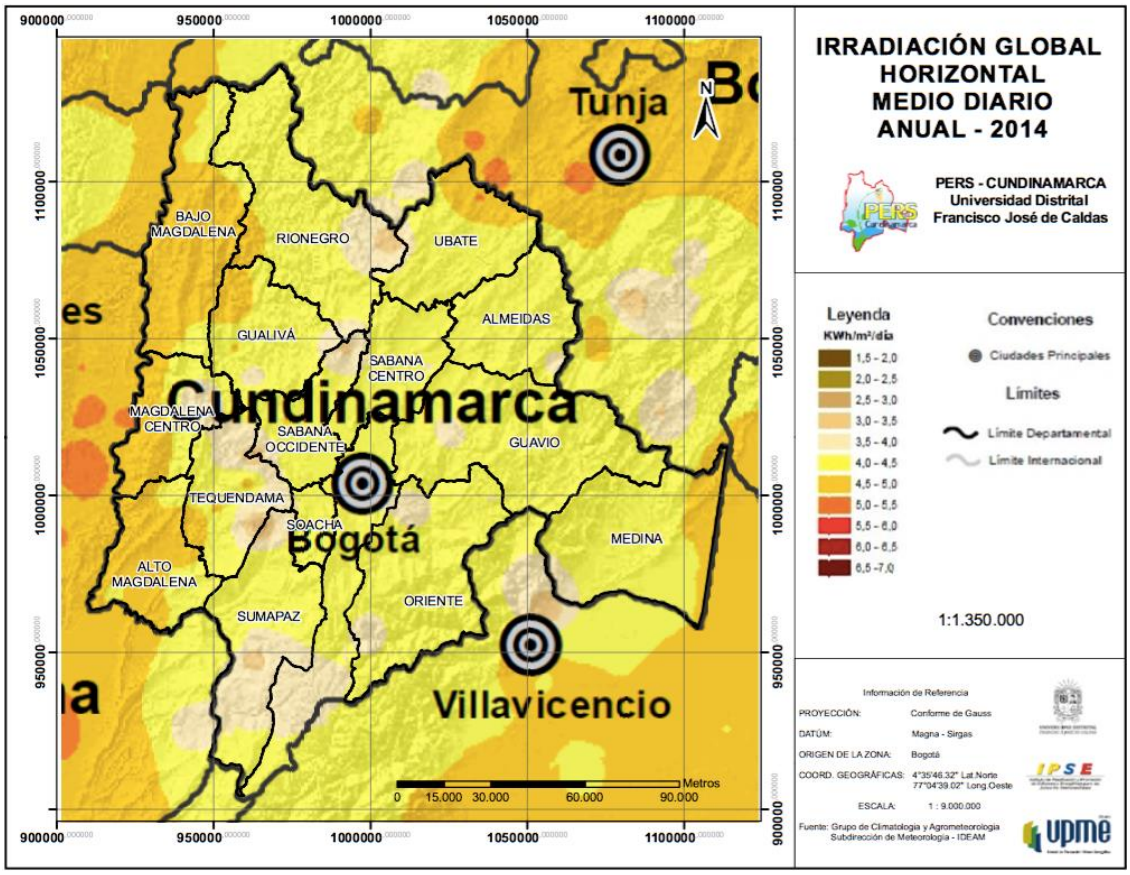


Figura 9 Mapa de distribución de la radiación diaria promedio anual.

A partir de la información de la Figura 9 se observa que el mínimo se presenta en el sur y el máximo en la frontera entre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, característica común en ambas series de mapas.

2.2.1. Análisis de radiación solar por provincia

Provincia de Sumapaz

La provincia de Sumapaz muestra una radiación diaria promedio anual entre 3.400 y 3.450 Wh/m^2 en el centro de la provincia, la parte norte la radiación es más alta mostrando valores hasta de 4.000 Wh/m^2, en contraste en el sur de esta misma provincia la radiación es inferior, con un promedio máximo de 3.200 Wh/m^2. Esto se debe a que la provincia de Sumapaz cubre regiones montañosas colindadas en el sur con el pie de monte llanero.

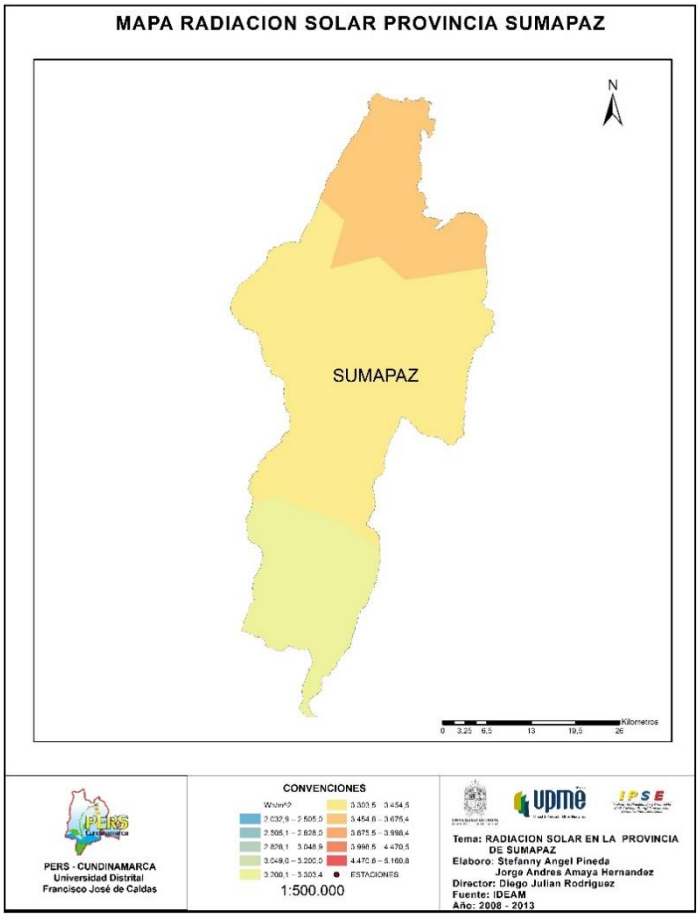


Figura 10 Mapa de radiación solar Provincia de Sumapaz.

Provincia de Gualivá

La provincia de Gualivá cuyos municipios se encuentran entre los 800 y 2.000 metros de altura sobre el nivel del mar presenta una radiación promedio que oscila entre los 3.300 Wh/m^2 y 4.000 Wh/m^2. En la zona norte, sobre los municipios de Quebrada Negra y Nimaima, se tienen los menores valores de radiación diaria promedio anual entre los 3.300 Wh/m^2 y los 3.450 Wh/m^2.

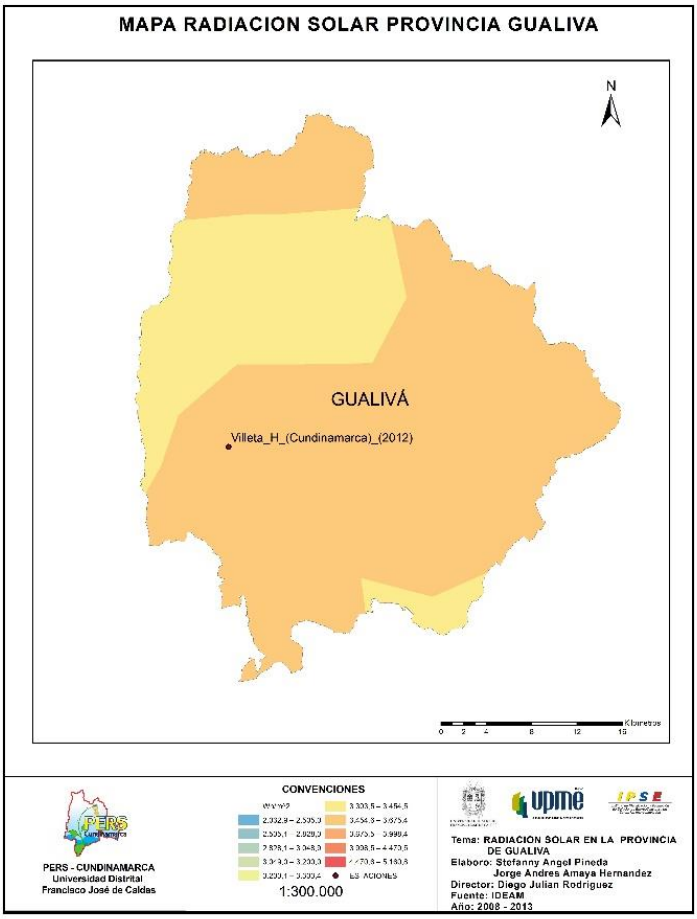


Figura 11 Mapa de radiación solar Provincia de Gualivá.

Provincia de Bajo Magdalena

Para la Provincia de Bajo Magdalena se observan radiaciones diarias promedio anual entre los 3.300 Wh/m^2 y los 4.000 Wh/m^2, siendo el sur de la provincia cerca de la frontera con la provincia del Sumapaz los valores más bajos de radiación con un valor promedio inferior de 3.200 Wh/m^2.

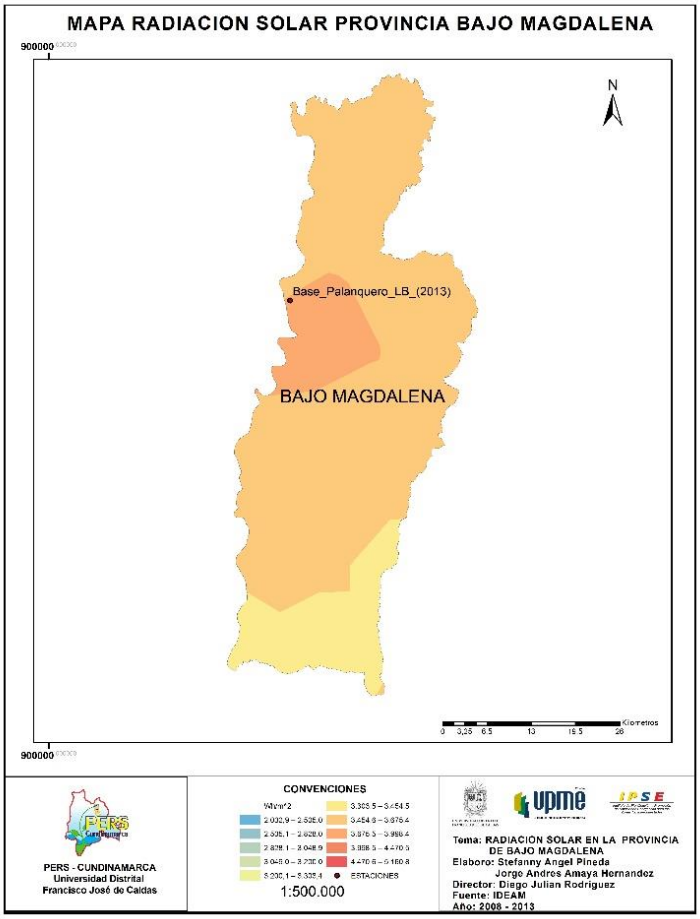


Figura 12 Mapa de radiación solar Bajo Magdalena.

Provincia de Guavio

Los municipios con menor radiación en la provincia del Guavio se encuentran en la esquina nororiental, que corresponden a los municipios de Ubalá y Gachetá, con valores promedio de radiación diaria anual de 3.200 Wh/m^2, hacia el suroccidente de la provincia se observan valores hasta de 4.000 Wh/m^2, estando el valor promedio para toda la provincia entre los 3.300 Wh/m^2 y 4.450 Wh/m^2.

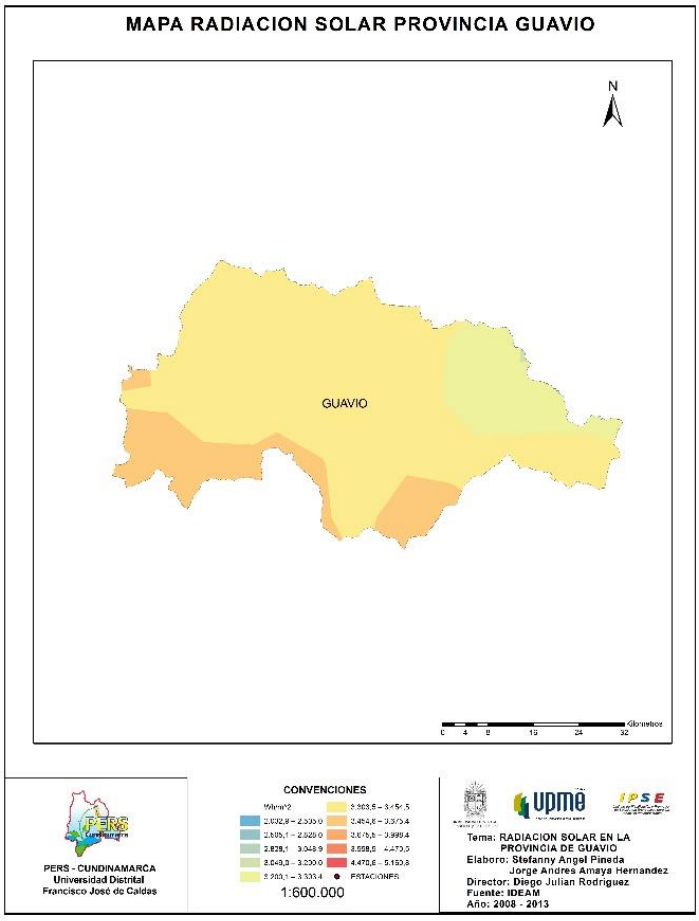


Figura 13 Mapa de radiación Provincia de Guavio.

Provincia de Medina

En la provincia de medina se observan valores promedio entre los 3.600 Wh/m^2 y 4.000Wh/m^2. En la parte del norte de la provincia, que corresponde al pie de monte llanero, se observan valores inferiores que oscilan entre los 3.300 Wh/m^2 y 3.400Wh/m^2.

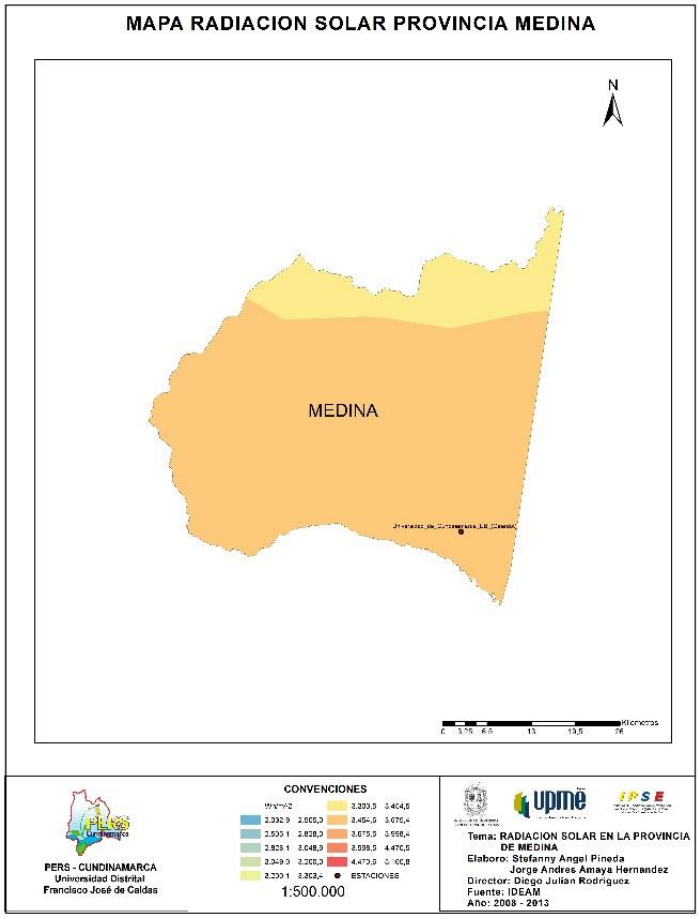


Figura 14 Mapa de radiación Provincia de Medina.

Provincia de Oriente

En la provincia de Oriente se observa el mayor gradiente espacial de radiación solar. En el sur de la provincia los valores de radiación son los menores que oscilan entre los 3.200 Wh/m^2 y 3.300 Wh/m^2 en contraste en el norte se observan los mayores valores que se encuentran entre los 3.400 Wh/m^2 y 3700 Wh/m^2.

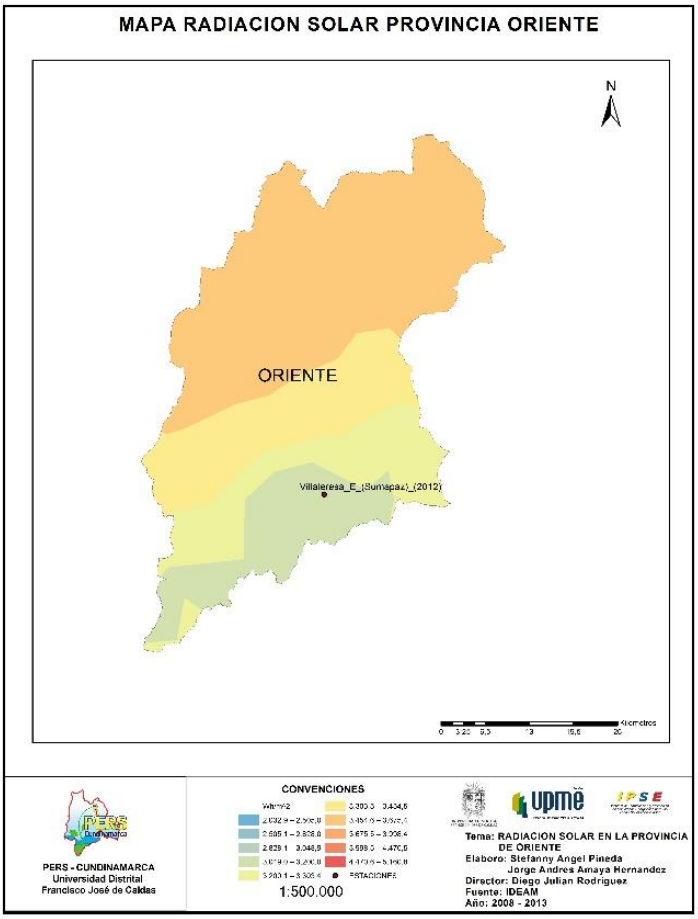


Figura 15 Mapa de radiación Provincia de Oriente.

Provincia de Rionegro

En la provincia de Rionegro se puede dividir acorde al valor de la radiación solar entre el oriente y occidente. Para la zona oriental se encuentran los menores valores, donde el promedio diario anual inferior es de 3200 Wh/m^2, en contra posición en el occidente los valores son superiores y alcanzan los 3600 Wh/m^2.

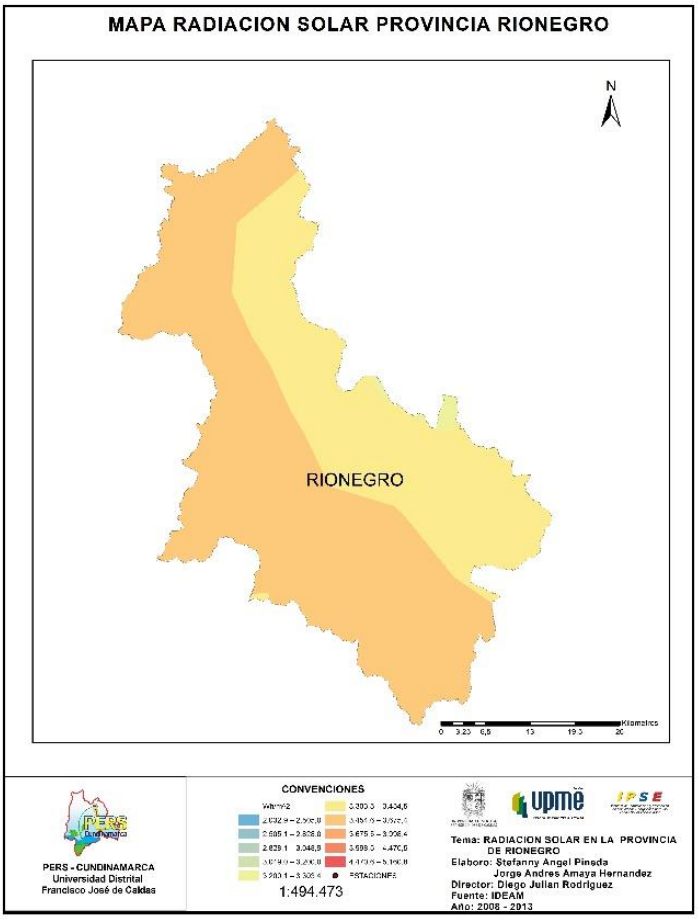


Figura 16 Mapa de radiación Provincia de Rionegro.

Provincia de Sabana Centro

Los valores de radiación diaria promedio anual se encuentran entre los 3.300Wh/m^2 y 3650 Wh/m^2, donde la mayor radiación se encuentra en el centro de la provincia.

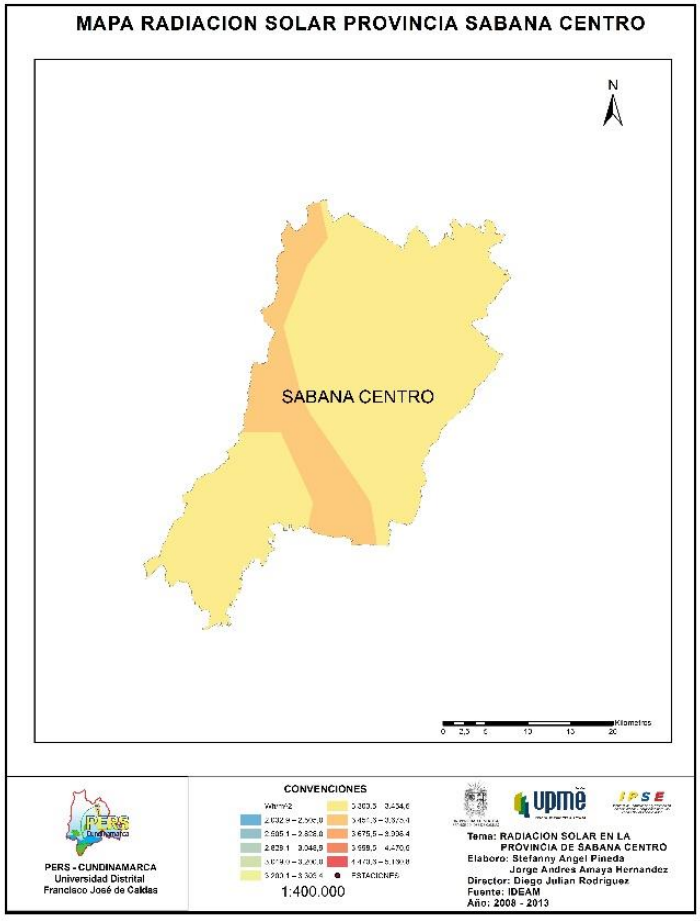


Figura 17 Mapa de radiación Provincia de Sabana Centro.

Provincia de Sabana Occidente

La provincia de Soacha muestra valores de radiación diaria promedio sin mayores variaciones espaciales y se encuentra entre los 3.450 Wh/m^2 y 3650 Wh/m^2.

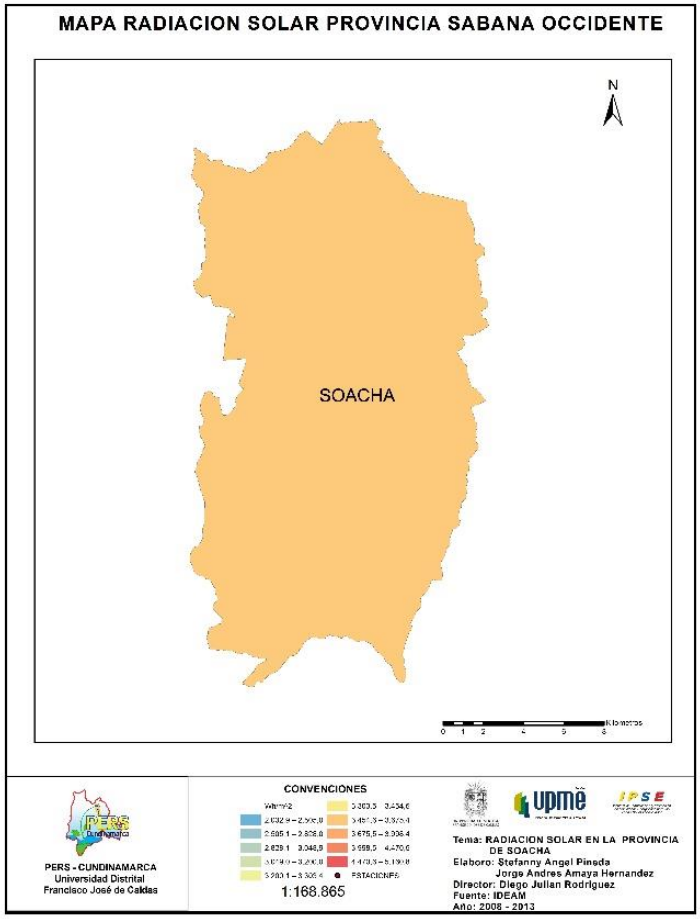


Figura 18 Mapa de radiación Sabana Occidente.

Provincia de Almeidas

En la provincia de Almeidas no se observan grandes gradientes de radiación, el promedio de la provincia se encuentra entre los 3.300 Wh/m^2 y 3.450 Wh/m^2. En el norte se pueden encontrar valores inferiores que alcanzan a los 3.200 Wh/m^2.

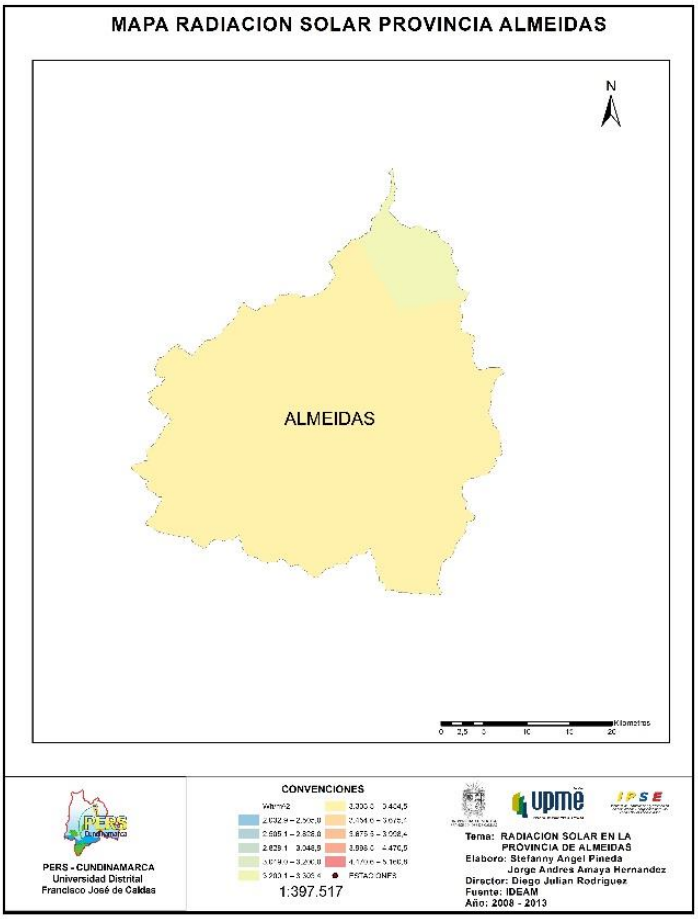


Figura 19 Mapa de radiación Provincia de Almeidas.

Provincia de Alto Magdalena

Los valores de radiación diaria promedio anual para esta provincia se encuentran entre los 3.200 Wh/m^2 y 3.675 Wh/m^2. Los mayores valores de radiación se encuentran en el norte de la provincia y encontraste los inferiores en el sur.

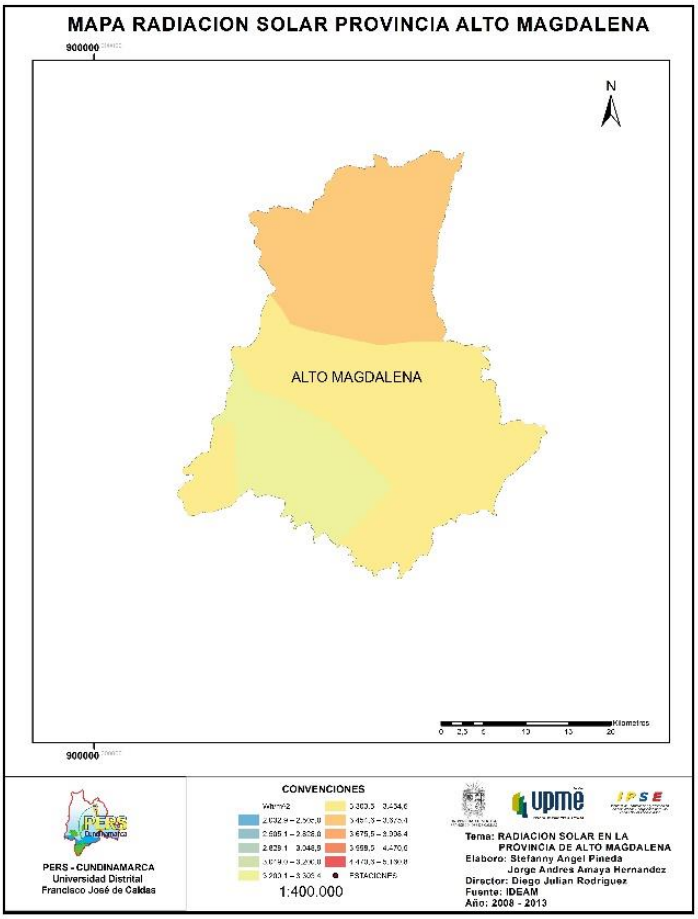


Figura 20 Mapa de radiación Provincia de Alto Magdalena.

Provincia de Ubaté

En la provincia de Ubaté se observan máximos de radiación diaria promedio anual de 3.400 Wh/m^2. En la zona oriental de la provincia se observa menos valores que alcanzan los 3.200 Wh/m^2.

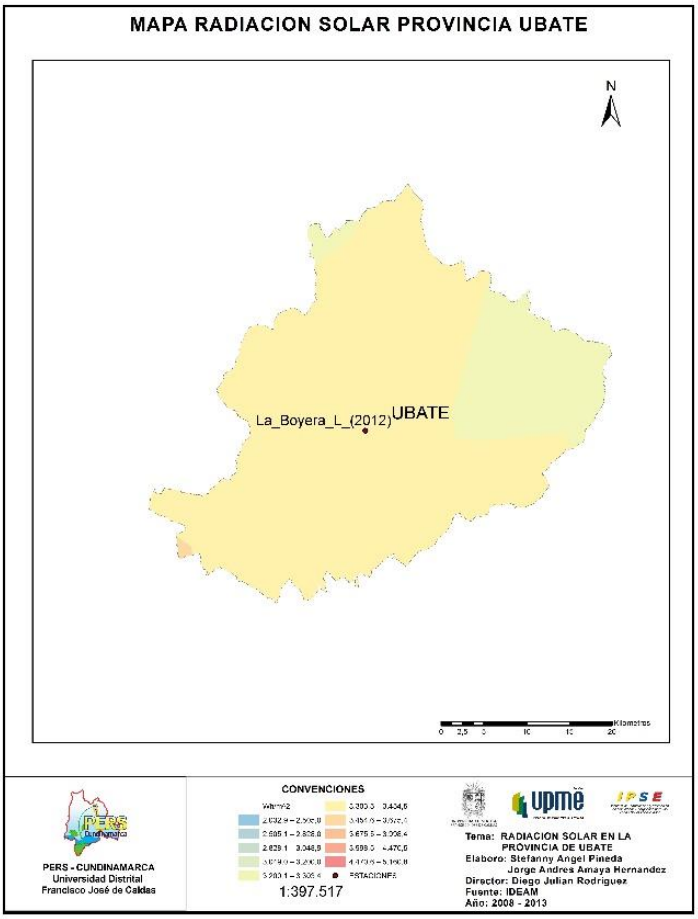


Figura 21 Mapa de radiación Provincia de Ubaté.

Provincia del Tequendama

Los máximos observados de radiación diaria promedio anual son de 3.600 Wh/m^2, en el sur de la provincia se alcanzan menores valores que se encuentran alrededor de 3.300 Wh/m^2.

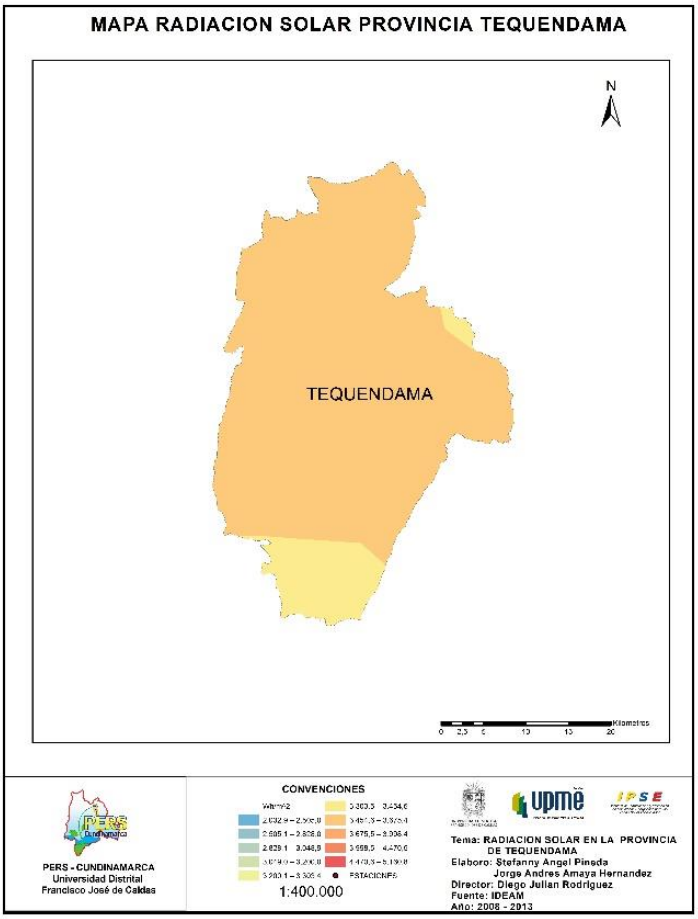


Figura 22 Mapa de radiación Provincia del Tequendama.

Provincia de Magdalena Centro

Los mínimos valores de radiación promedio anual observados para la provincia del Magdalena centro se encuentran al norte de esta región y son de 3.300 Wh/m^2, en la mayoría de la provincia se encuentran valores superiores que alcanzan los 3.600 Wh/m^2.

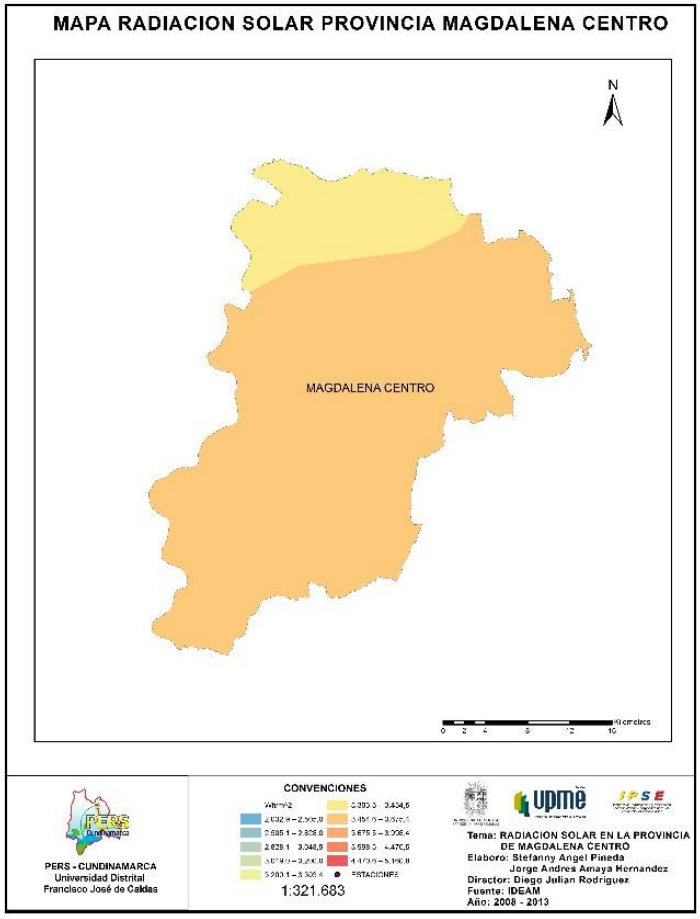


Figura 23 Mapa de radiación Provincia de Magdalena Centro.

3. Energía Eólica

3.1 Metodología para reconocimiento de potencial eólico

En el año 2015 la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y el Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM, Atlas de viento de Colombia, 2010) publicaron el "Atlas de Viento" de Colombia, una colección de mapas sobre el comportamiento del viento en el territorio nacional. Éste sirve como insumo de primera aproximación para localizar lugares adecuados para el aprovechamiento de la energía eólica, adicionalmente para la fecha ya se encuentra publicado en su página web el Atlas de Vientos Interactivo el cual brinda una base de datos importante para el presente estudio.

Los mapas del IDEAM fueron realizados mediante la instalación y posterior análisis de las mediciones tomadas por las 111 estaciones meteorológicas ubicadas en el territorio nacional, y aproximaciones que permitieron una caracterización del viento incluso en lugares donde no se tenían datos tomados directamente.

En el departamento de Cundinamarca se encuentran ubicadas seis estaciones meteorológicas (IDEAM, Atlas de viento de Colombia, 2010) que realizaron mediciones entre 1980 y 2010, obteniendo los mapas de velocidad de viento a diferentes alturas.

- Velódromo 1° de mayo en Bogotá 04°37'N 74°04'W.
- Aeropuerto Internacional El Dorado P1-2 en Bogotá. (04°43'N 74°09'W).
- Radiosonda El Dorado en Bogotá. (04°42'N 74°09'W).
- Alto Saboyá en Bogotá. (05°43'N 73°49'W).
- Isla del Santuario en Fúquene. (05°28'N 73°44'W).
- Tibaitatá en Mosquera. (04°42'N 74°13'W)

3.2 Potencial energético recurso eólico

En la Figura 24 se tiene la velocidad promedio anual tomada a 10 m de altura para el departamento de Cundinamarca, en color verde la velocidad entre 0-2 m/s, en color azul claro la velocidad entre 4-5 m/s, en amarillo claro 8-9 m/s y en naranja las velocidades mayores a 13 m/s. Como se puede observar en áreas correspondientes a las provincias de Sabana Centro, Guavio, Magdalena centro y al norte de Bogotá se tiene una velocidad promedio anual de entre 4 m/s y 5 m/s

contrastando con las provincias de Medina, Rionegro y Sumapaz que cuya velocidad promedio se encuentra entre 0 m/s y 2 m/s.

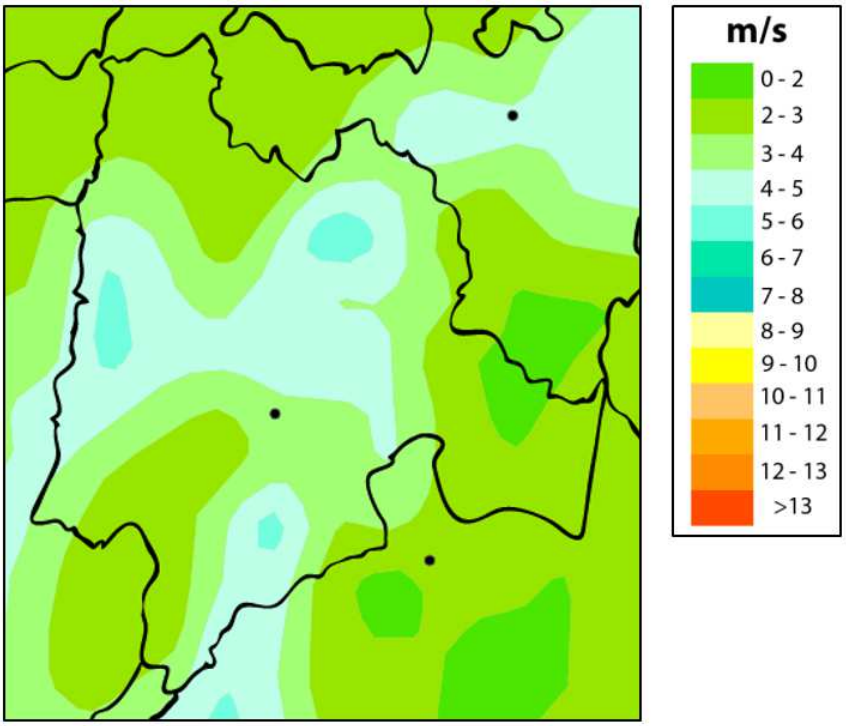


Figura 24 Mapa de velocidad del viento promedio en el departamento de Cundinamarca a 10 m de altura. Tomado de atlas del viento interactivo IDEAM.

En la Figura 25, se muestra la velocidad promedio anual tomada a 50 m de altura, la provincia de Medina continua con una velocidad de entre 0-4 m/s, mientras que en la provincia de Sabana centro a esta altura se consigue una velocidad promedio del viento de entre 6-7 m/s, en la provincia de Magdalena centro y al sur de Bajo Magdalena se obtiene la mayor velocidad a esta altura, entre 7 m/s y 8 m/s. Al norte de Rionegro, en Alto magdalena y al sur de la provincia de Sumapaz la velocidad promedio del viento se mantiene con un valor inferior a 6 m/s.

Como se muestra en la Figura 25, la velocidad del viento cambia conforme a la variación de la altura; en superficie se esperan velocidades de viento bajas en relación con las medidas a mayor altura, tal es el caso de las mediciones realizadas en el departamento de Cundinamarca, donde se muestra que al incrementar la altura a la que se realiza la medición, la velocidad de viento también aumenta.

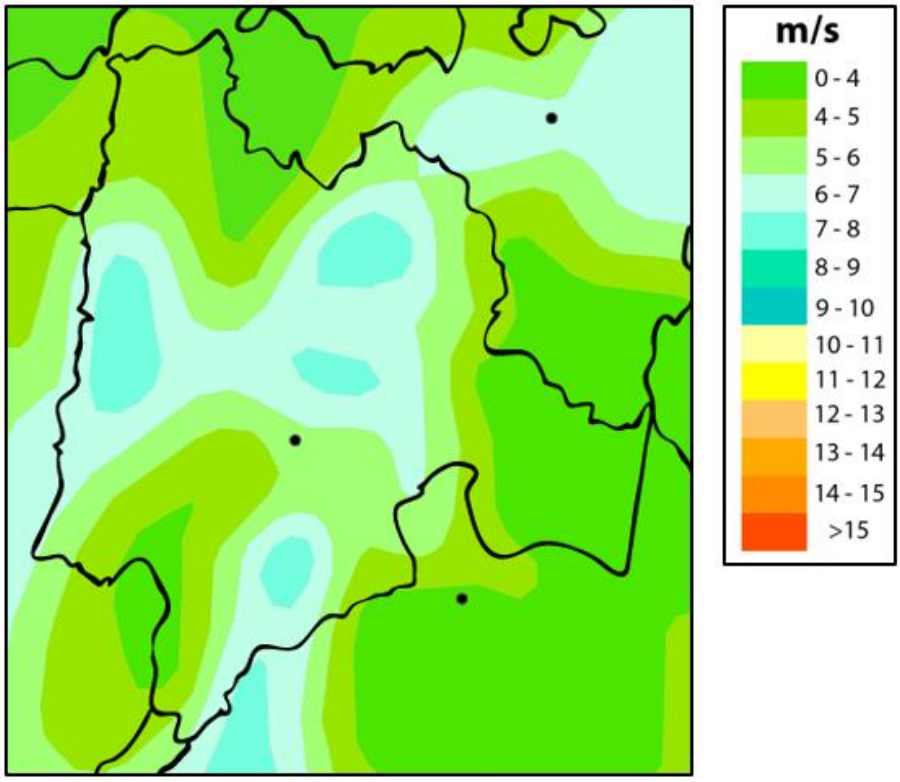


Figura 25 Mapa de velocidad del viento promedio en el departamento de Cundinamarca a 50 m de altura. Tomado de atlas del viento interactivo IDEAM.

La Figura 26, que muestra la velocidad promedio del viento a 80 m de altura: al sur de Ubaté, en Magdalena centro y al sur del Bajo Magdalena la velocidad promedio del viento se encuentra entre 8 m/s y 9 m/s, sin embargo en las provincias de Medina, la mayor parte de Rionegro, Sumapaz y en la Provincia de Alto Magdalena la velocidad promedio del viento es inferior a 6 m/s.

Al incrementar la altura a 100 m, a excepción de las provincias de Medina, Rionegro y Sumapaz todas tienen una velocidad promedio de viento superior a los 5 m/s, adicionalmente, provincias como Magdalena Centro y Ubaté presentan en algunas partes velocidades promedio de entre 9 m/s y 10 m/s. Sin embargo, la mayor parte del territorio del departamento tiene una velocidad promedio del viento de entre 6 m/s y 9 m/s.

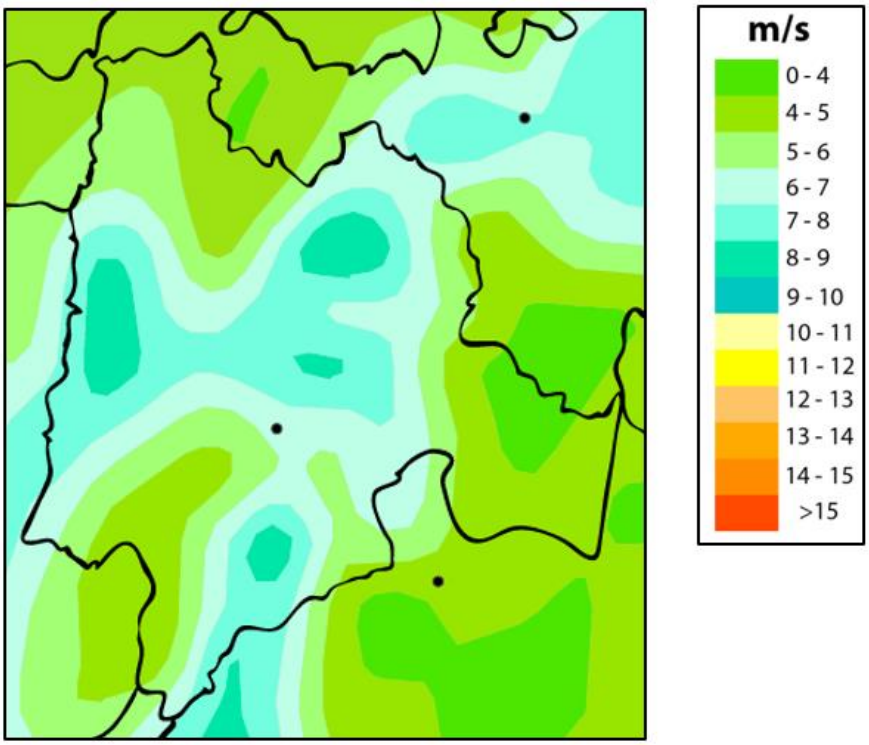


Figura 26 Velocidad del viento promedio en el departamento de Cundinamarca a 80 m de altura. Tomado del atlas de viento interactivo IDEAM.

3.2.1. Análisis de velocidad promedio y dirección del viento por provincia

Provincia de Bajo Magdalena

Compuesta por los municipios de Puerto Salgar, Caparrapí y Guaduas. En la Figura 27 se tiene el mapa de la Provincia de Bajo Magdalena con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 80 m y 150 m. En esta provincia se tiene un valor de velocidad promedio mínima de 2-3 m/s y una máxima de 9-10 m/s. Esta velocidad máxima se presenta a una altura de 150 m, mientras que a una altura de 10 m la velocidad promedio mínima es de 2-3 m/s y la máxima de 5-6 m/s.

Para esta provincia se tiene un viento proveniente del centro de Cundinamarca con tendencia a dejar el departamento por la parte Norte de la provincia, adicionalmente existen vientos provenientes del departamento del Tolima que influyen en esta tendencia (Figura 28).

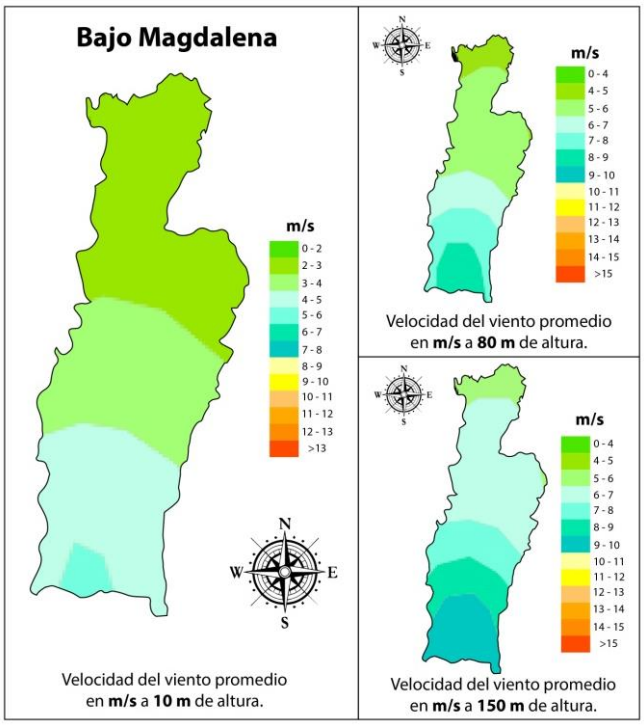


Figura 27 Velocidad del viento promedio en la Provincia de Bajo Magdalena en 10 m, 80 m y 150 m de altura.

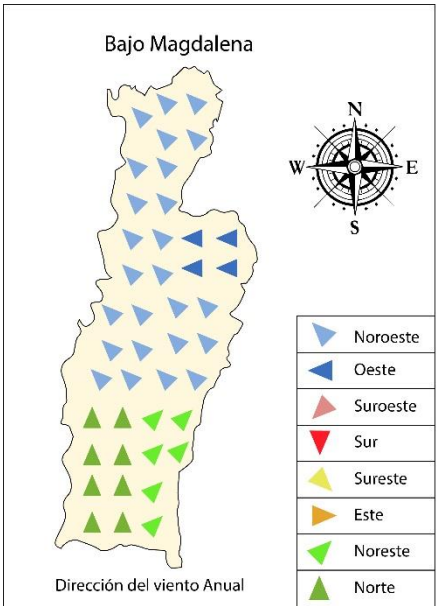


Figura 28 Dirección de los vientos anual en la Provincia de Bajo Magdalena.

Provincia de Magdalena Centro

Compuesta por los municipios de Chaguaní, Viani, Guayabal de Síquima, Bituima, San Juan de Rioseco, Beltrán y Pulí. En la Figura 29 se tiene el mapa de la Provincia de Magdalena Centro con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 80 m y 150 m. En esta provincia el valor de velocidad promedio mínima es de 4-5 m/s y la máxima de 9-10 m/s, esta máxima se presenta a una altura de 150 m, mientras que a 10 m de altura la velocidad promedio mínima es de 4-5 m/s y la máxima de 5-6 m/s.

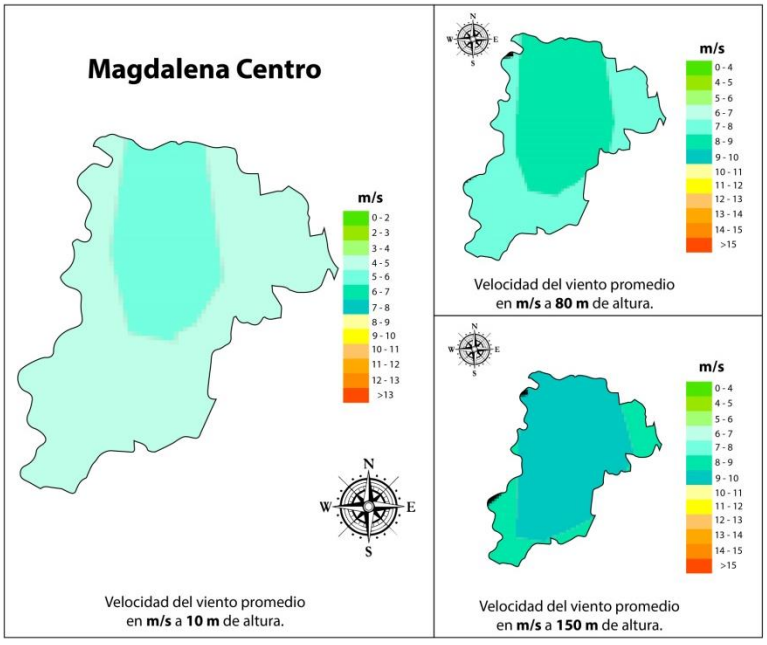


Figura 29 Velocidad del viento promedio en Magdalena Centro en 10 m, 80 m y 150 m de altura.

Para esta provincia se tiene un viento proveniente del centro de Cundinamarca con tendencia a desplazarse hacia la provincia con la que limita Magdalena Centro en el Norte, adicionalmente existen vientos provenientes del Sur que influyen en el desplazamiento del viento hacia el Norte en esta provincia (Figura 30).

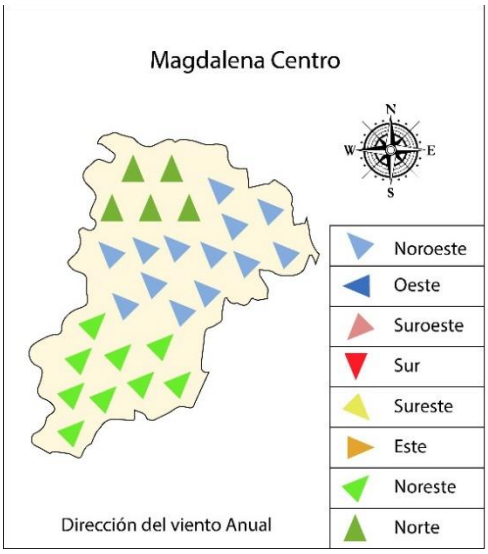


Figura 30 Dirección de los vientos anual en la Provincia de Magdalena Centro.

Provincia de Alto Magdalena

Compuesta por los municipios de Jerusalén, Guataquí, Tocaima, Nariño, Girardot, Ricaurte, Agua de Dios y Nilo. En la Figura 31 se tiene el mapa de la Provincia de Alto Magdalena con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 80 m y 150 m.

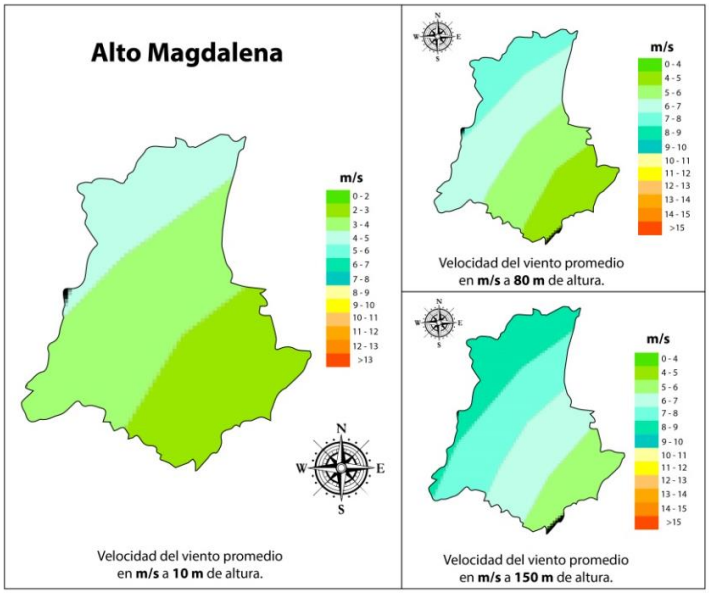


Figura 31 Velocidad del viento promedio en Alto Magdalena en 10 m, 80 m y 150 m de altura.

En esta provincia se tiene un valor de velocidad promedio mínimo de 2-3 m/s y una máxima de 8-9 m/s, teniendo en cuenta que esta máxima se presenta a una altura de 150 m, es importante analizar las velocidades a una altura de 10 m, donde la velocidad promedio mínima es 2-3 m/s y la máxima de 4-5 m/s.

Para esta provincia se tiene un viento proveniente del departamento del Tolima que circula de Oeste a Este atravesando la provincia transversalmente y con una pequeña componente que se dirige hacia el Norte de Cundinamarca.

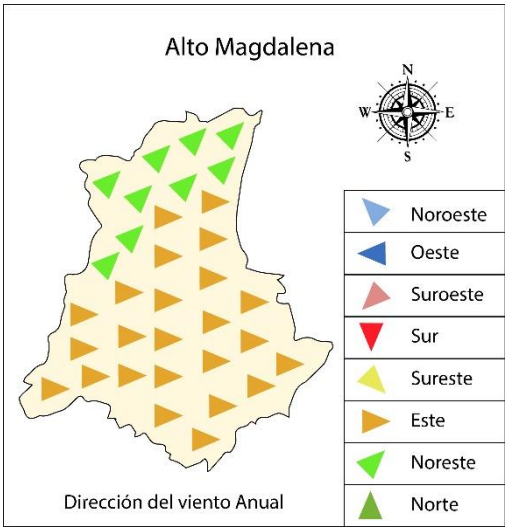


Figura 32 Dirección del viento anual en la Provincia de Alto Magdalena.

Provincia de Sabana Centro

Compuesta por los municipios de Cogua, Nemocón, Zipaquirá, Gachancipá, Tocancipá, Sopó, Chía, Cajicá, Tabio, Tenjo y Cota. En la Figura 33 se tiene el mapa de la Provincia de Sabana Centro con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 80 m y 150 m. En esta provincia se tiene un valor de velocidad promedio mínima de 3-4 m/s y una máxima de 9-10 m/s, la cual se presenta a una altura de 150 m. Para una altura de 10 m, la velocidad promedio mínima es de 3-4 m/s y la máxima de 5-6 m/s.

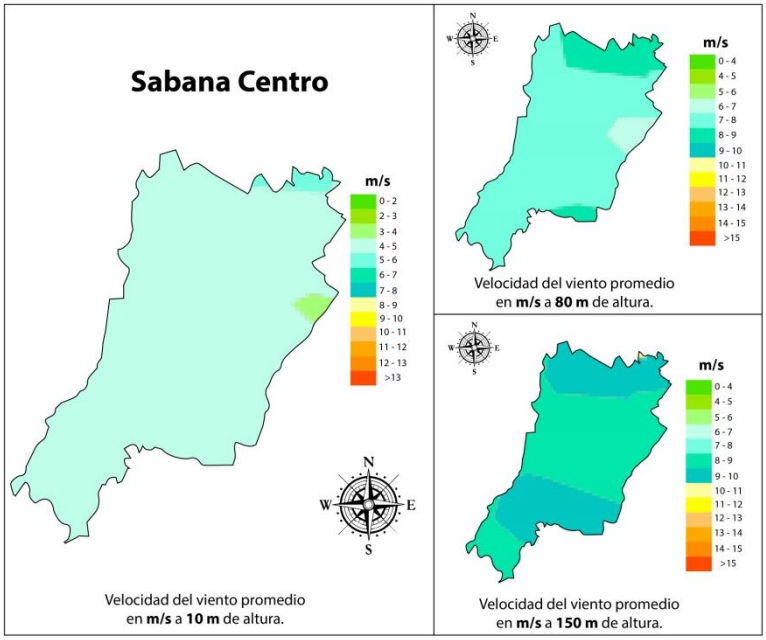


Figura 33 Velocidad del viento promedio en Sabana Centro en 10 m, 80 m y 150 m de altura.

Para esta provincia se tiene un viento proveniente de los llanos orientales que circula de Este a Oeste atravesando la provincia transversalmente y con una pequeña componente que se dirige hacia el Noroeste de Cundinamarca.

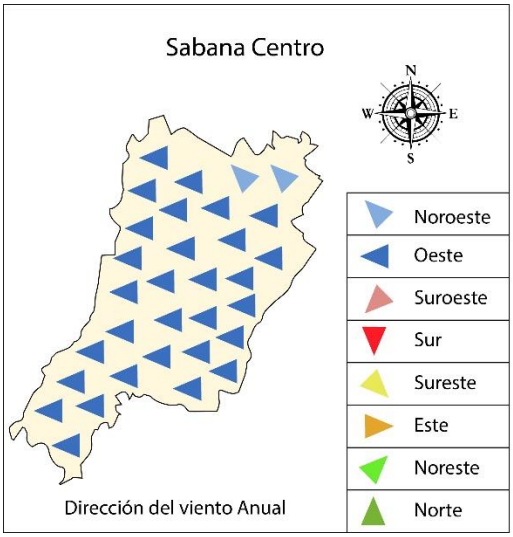


Figura 34 Dirección del viento anual en la Provincia de Sabana Centro.

Provincia de Sabana Occidente

Compuesta por los municipios de Subachoque, El Rosal, Facatativá, Zipacón, Bojacá, Madrid, Funza y Mosquera. En la Figura 35 se tiene el mapa de la Provincia de Sabana Occidente con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 80 m y 150 m. En esta provincia el valor de velocidad promedio mínima es de 2-3 m/s y una máxima de 8-9 m/s, a una altura de 150 m, mientras que a 10 m de altura se tiene como velocidad promedio mínima 2-3 m/s y una máxima de 4-5 m/s.

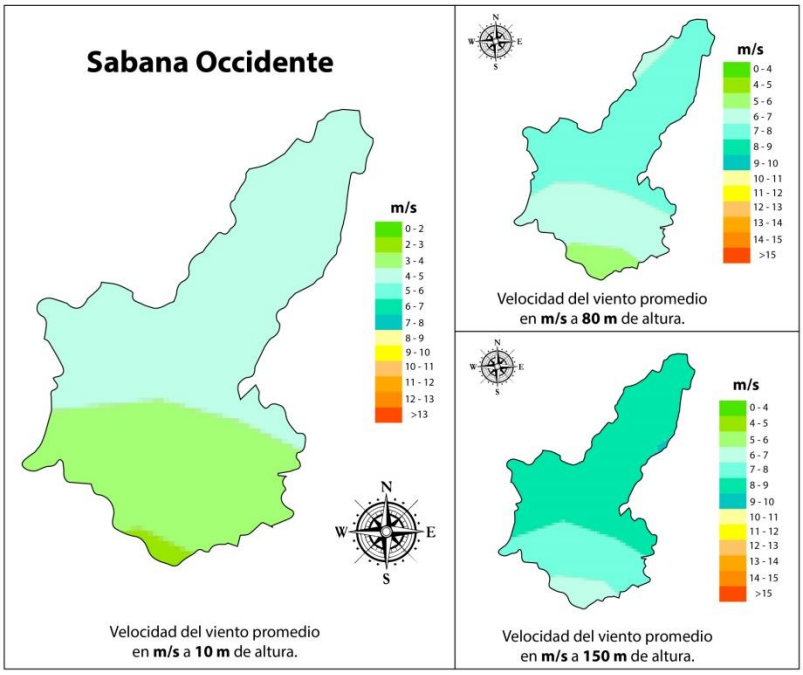


Figura 35 Velocidad del viento promedio en Sabana Occidente en 10 m, 80 m y 150 m de altura.

Para esta provincia se tiene un viento proveniente de los llanos orientales que circula de Este a Oeste atravesando la provincia transversalmente y con una pequeña componente que se dirige hacia el Noroeste de Cundinamarca.

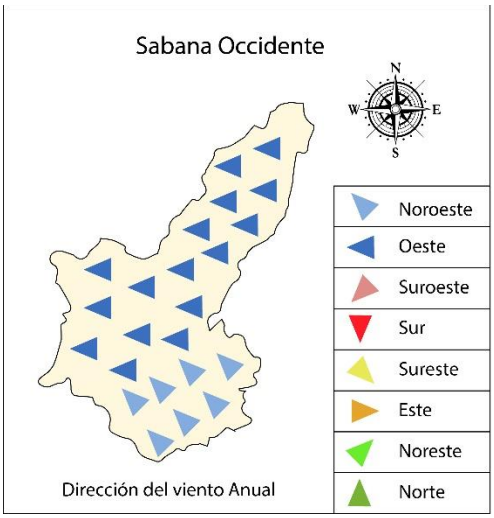


Figura 36 Dirección del viento anual en la Provincia de Sabana Occidente.

Provincia de Ubaté

Compuesta por los municipios de Simijaca, Susa, Fúquene, Gachetá, Lenguazaque, Cucunubá, Sutatausa, Tausa, Carmen de Carupa y Ubaté. En la Figura 37 se tiene el mapa de la Provincia de Ubaté con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 80 m y 150 m.

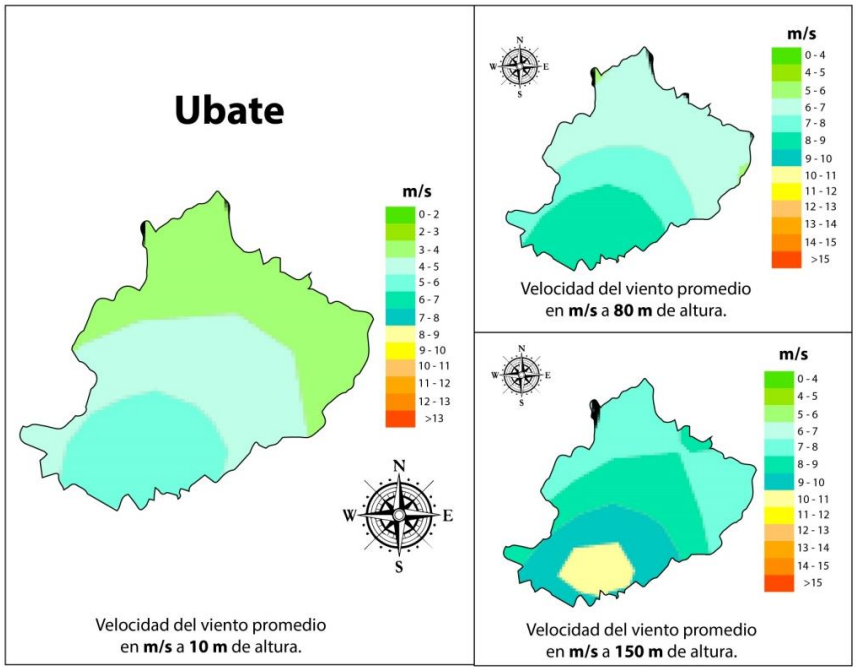


Figura 37 Velocidad del viento promedio en Ubaté en 10 m, 80 m y 150 m de altura.

En esta provincia la velocidad promedio mínima es de 3-4 m/s y la máxima de 10-11 m/s, esta máxima se presenta a una altura de 150 m. A una altura de 10 m la velocidad promedio mínima es de 3-4 m/s y la máxima de 5-6 m/s.

Para esta provincia se tiene un viento predominante que circula de Sureste hacia el Noroeste atravesando de manera diagonal todo éste territorio.

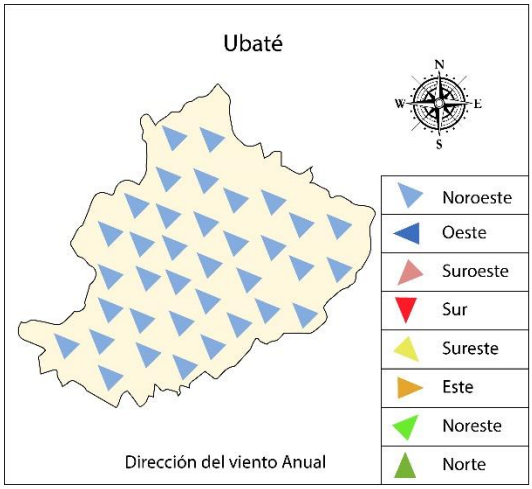


Figura 38 Dirección del viento anual en la provincia de Ubaté.

Provincia de Gualivá

Compuesta por los municipios de Útica, La Peña, Quebradanegra, Nimaima, Vergara, Supatá, La Vega, San Francisco, Sasaima, Albán y Villeta. En la Figura 39 se tiene el mapa de la Provincia de Gualivá con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 80 m y 150 m. En esta provincia se tiene un valor de velocidad promedio mínima de 2-3 m/s y una máxima de 9-10 m/s, esta máxima se presenta a una altura de 150 m, mientras que a una altura de 10 m la velocidad promedio mínima es de 2-3 m/s y la máxima de 4-5 m/s.

Para esta provincia tenemos influencia de los vientos procedentes del Este del departamento con una tendencia de viraje hacia el Noroeste por el choque con los vientos procedentes de las provincias límites al Sur.

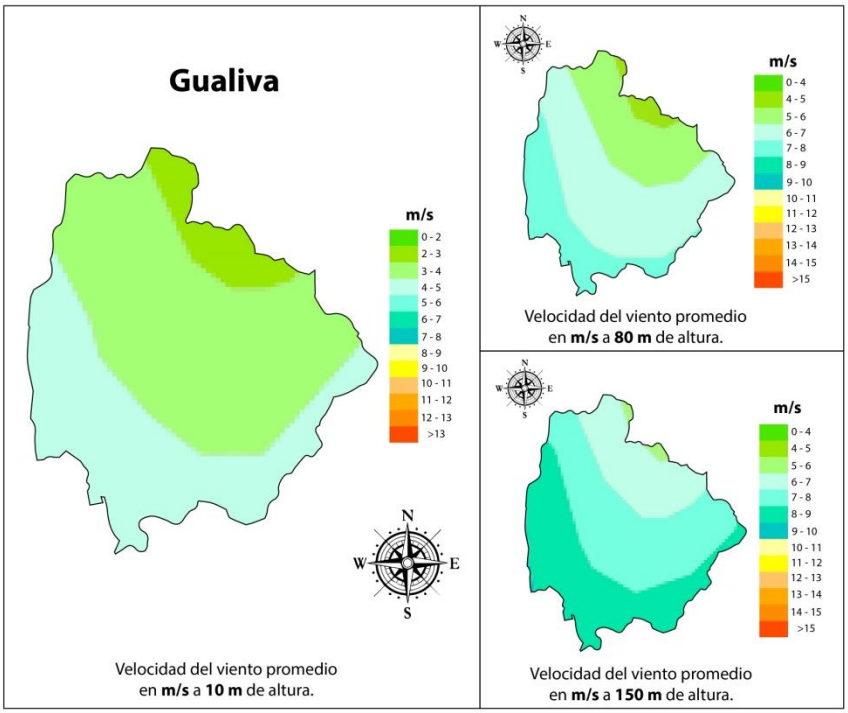


Figura 39 Velocidad del viento promedio en Gualivá en 10 m, 80 m y 150 m de altura.

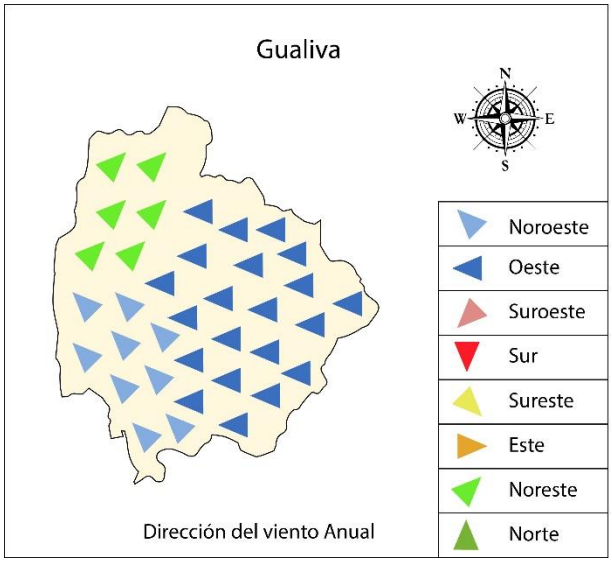


Figura 40 Dirección del viento anual en la Provincia de Gualivá.

Provincia de Almeidas

Compuesta por los municipios de Villapinzón, Suesca, Chocontá, Machetá, Tibirita, Manta y Sesquilé. En la Figura 41 se tiene el mapa de la Provincia de Almeidas con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 80 m y 150 m. En esta provincia el valor de velocidad promedio mínima es de 2-3 m/s y la máxima de 9-10 m/s, la cual se presenta a una altura de 150 m. A una altura de 10 m la velocidad promedio mínima es de 2-3 m/s y la máxima de 7-8 m/s.

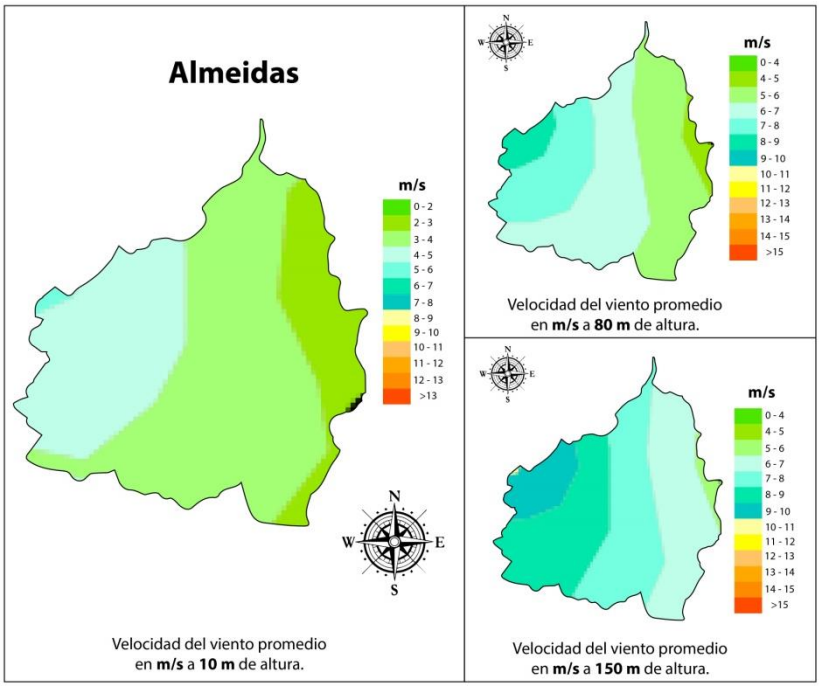


Figura 41 Velocidad del viento promedio en Almeidas en 10 m, 80 m y 150 m de altura.

Para esta provincia tenemos influencia de los vientos procedentes del Sureste que se concluye son los vientos que arriban desde los llanos orientales los cuales una vez ingresan al departamento tienen tendencia a salir por la parte Norte de Cundinamarca.

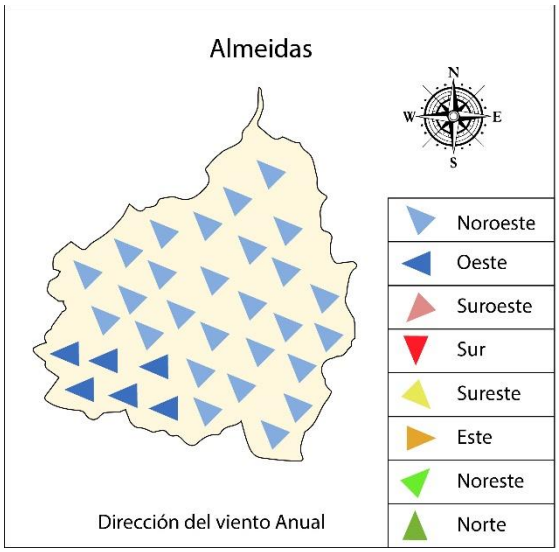


Figura 42 Dirección del viento anual en la Provincia de Almeidas.

Provincia de Guavio

Compuesta por los municipios de Guatavita, Gachetá, Ubalá, Gachalá, Gama, Junín, Guasca y La Calera. En la Figura 43 se tiene el mapa de la Provincia de Guavio con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 80 m y 150 m.

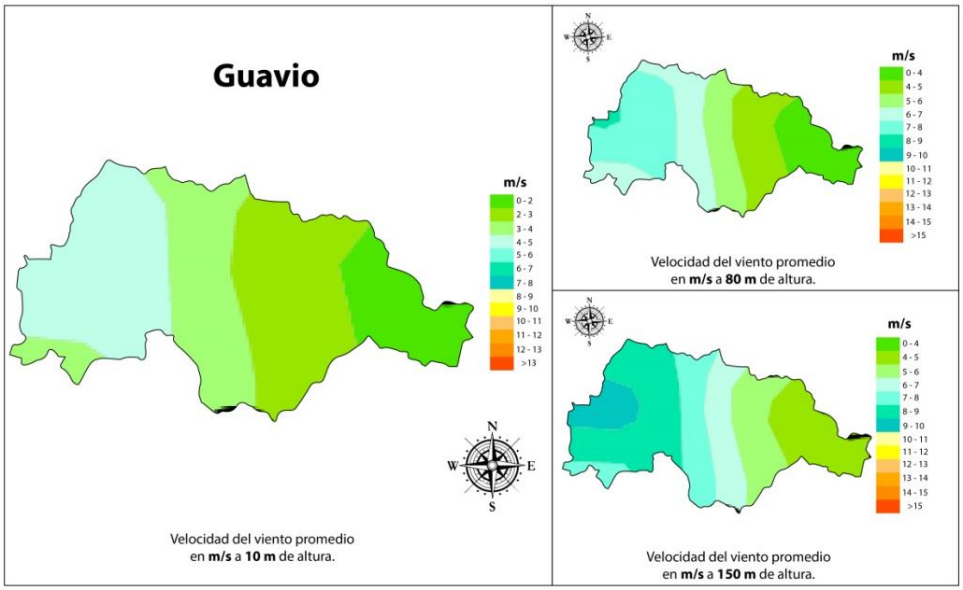


Figura 43 Velocidad del viento promedio en Guavio en 10 m, 80 m y 150 m de altura.

En esta provincia el valor de velocidad promedio mínima es de 0-2 m/s y la máxima de 9-10 m/s, a una altura de 150 m, mientras que a 10 m de altura se tiene como velocidad promedio mínima 0-2 m/s y una máxima de 4-5 m/s.

Para esta provincia se tiene influencia de los vientos procedentes de los llanos orientales los cuales una vez ingresan al departamento, atraviesan Guavio transversalmente de Este a Oeste y tienen tendencia a salir por la parte Norte de Cundinamarca.

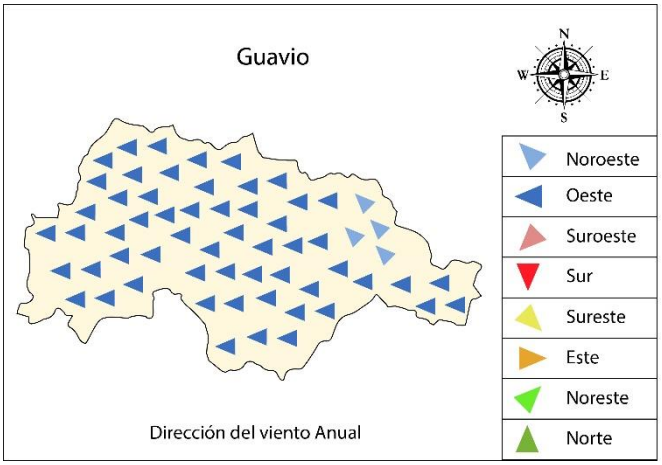


Figura 44 Dirección del viento anual en la provincia de Guavio.

Provincia de Medina

Compuesta por los municipios de Paratebueno y Medina. En la Figura 45 se tiene el mapa de la Provincia de Medina con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 80 m y 150 m. En esta provincia se tiene un valor de velocidad promedio mínima de 0-2 m/s y una máxima de 5-6 m/s, esta máxima se presenta en una altura de 150 m, mientras que a una altura de 10 m la velocidad promedio mínima es de 0-2 m/s y la máxima de 2-3 m/s.

Para esta provincia hay influencia de los vientos procedentes de los llanos orientales los cuales una vez ingresan al departamento, atraviesan Medina transversalmente de Este a Oeste.

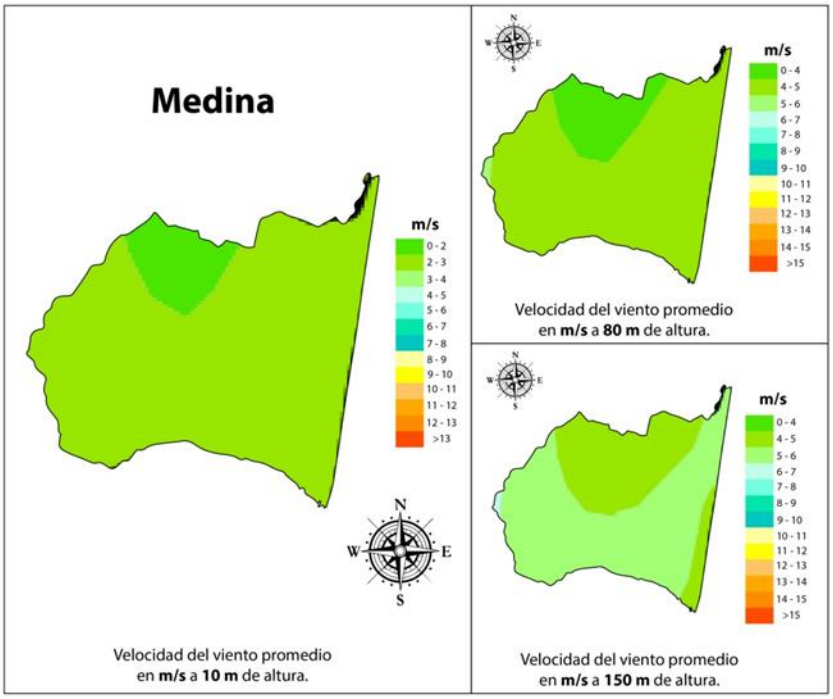


Figura 45 Velocidad del viento promedio en Medina en 10 m, 80 m y 150 m de altura.

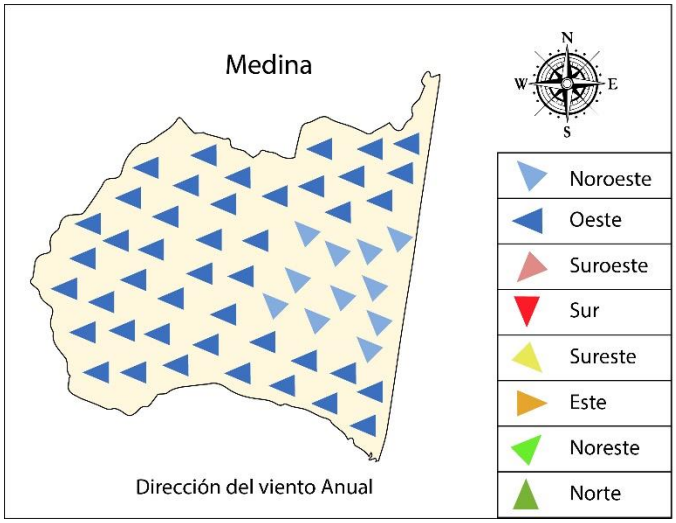


Figura 46 Dirección del viento anual en la provincia de Medina.

Provincia de Oriente

Compuesta por los municipios de Choachí, Fomeque, Ubaque, Chipaque, Cáqueza, Quetame, Une, Fosca, Guayabetal y Gutiérrez. En la Figura 47 se tiene

el mapa de la Provincia de Oriente con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 80 m y 150 m. En esta provincia el valor de velocidad promedio mínima es de 2-3 m/s y la máxima de 9-10 m/s, esta máxima se presenta a una altura de 150 m. A una altura de 10 m la velocidad promedio mínima es de 2-3 m/s y la máxima de 5-6 m/s.

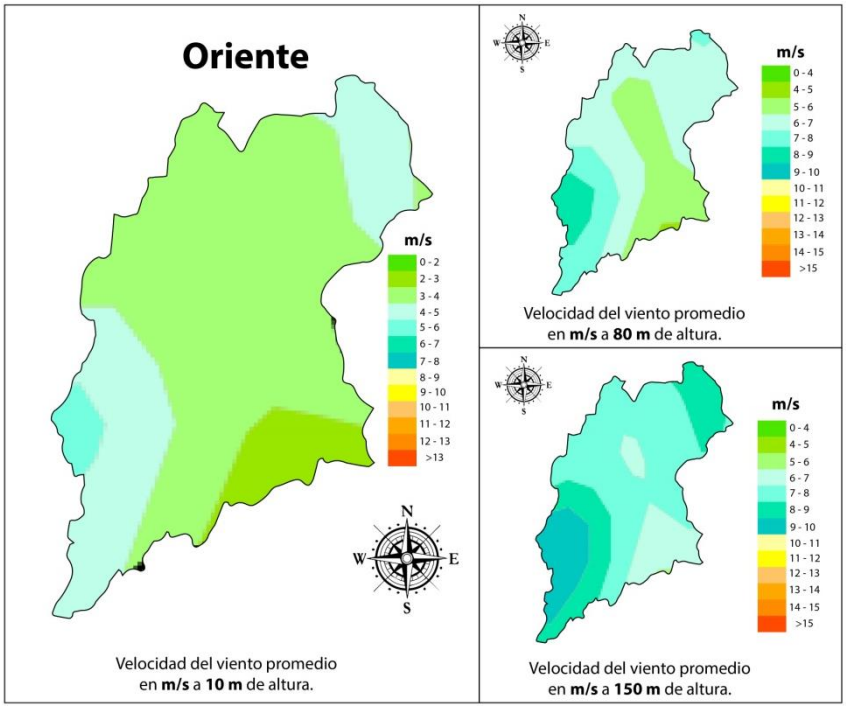


Figura 47 Velocidad del viento promedio en la Provincia de Oriente en 10 m, 80 m y 150 m de altura.

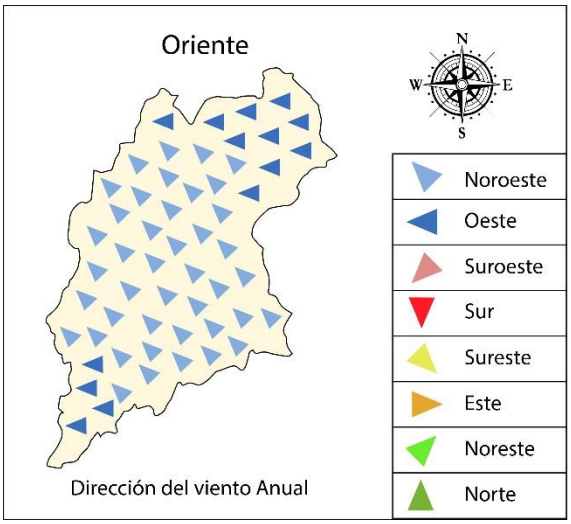


Figura 48 Dirección del viento anual en la provincia de Oriente.

En esta provincia se tiene influencia de los vientos procedentes de los llanos orientales los cuales una vez ingresan al departamento, atraviesan la provincia de Oriente en diagonal de Sureste a Noroeste (Figura 48).

Provincia de Rionegro

Compuesta por los municipios de Yacopí, Topaipí, La Palma, El Peñón, Villagómez, Paime, San Cayetano y Pacho. En la Figura 49 se tiene el mapa de la Provincia de Rionegro con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 80 m y 150 m. En esta provincia el valor de velocidad promedio mínima es de 2-3 m/s y la máxima de 8-9 m/s, esta máxima se presenta a una altura de 150 m, mientras que a 10 m de altura se tiene una velocidad promedio mínima de 2-3 m/s y una máxima de 3-4 m/s.

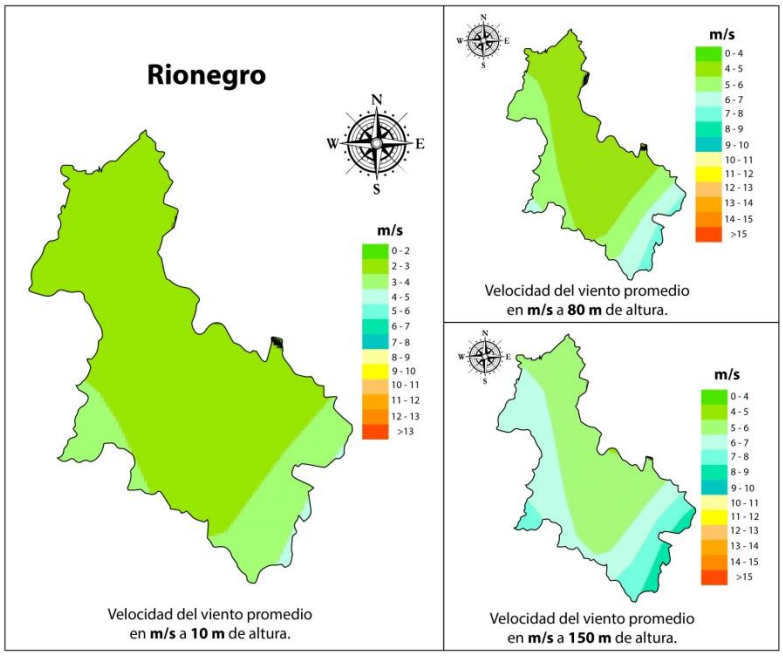


Figura 49 Velocidad del viento promedio en la provincia de Rionegro en 10 m, 80 m y 150 m de altura.

Para esta provincia se tiene influencia de los vientos procedentes de los llanos orientales los cuales una vez ingresan al departamento, atraviesan la provincia de Oriente en diagonal de Sureste a Noroeste, adicional hay una componente que se dirige al interior de Cundinamarca con dirección hacia el Suroeste.

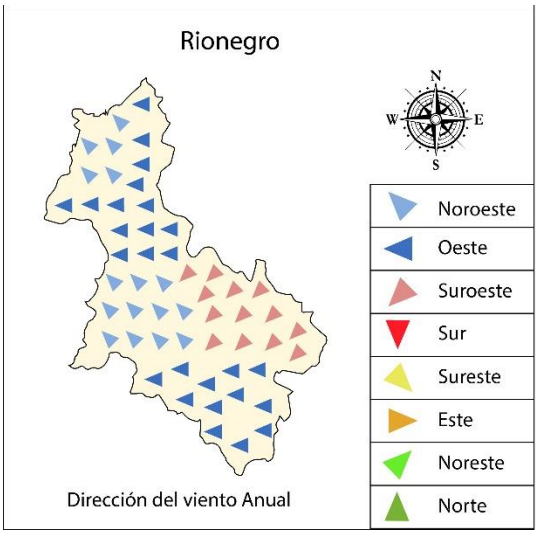


Figura 50 Dirección del viento anual en la provincia de Rionegro.

Provincia de Soacha

Compuesta por los municipios de Soacha y Sibaté. En la Figura 51 se tiene el mapa de la Provincia de Soacha con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 80 m y 150 m.

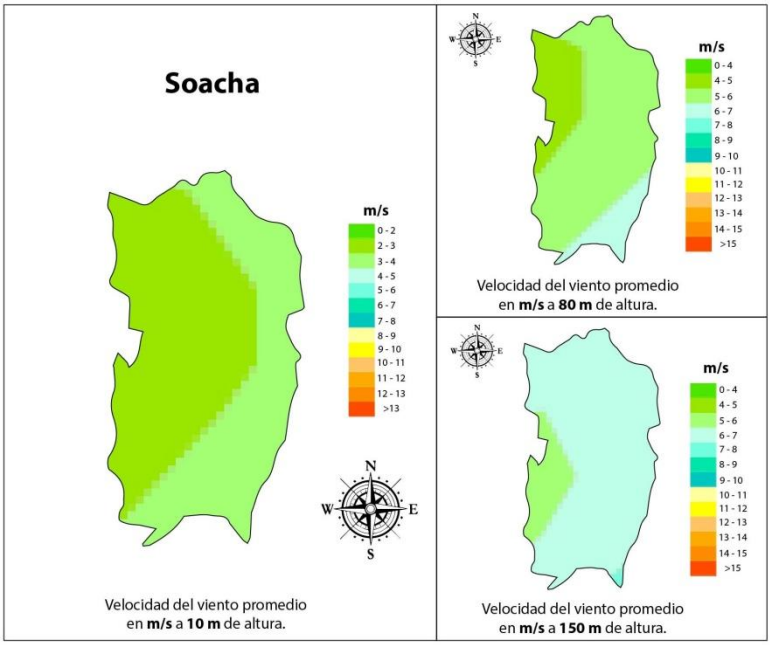


Figura 51 Velocidad del viento promedio en la provincia de Soacha en 10 m, 80 m y 150 m de altura.

En esta provincia la velocidad promedio mínima es de 2-3 m/s y la máxima de 6-7 m/s, esta máxima se presenta a una altura de 150 m. A una altura de 10 m la velocidad promedio mínima es de 2-3 m/s y la máxima de 3-4 m/s.

En esta provincia se tiene influencia de los vientos procedentes de los llanos orientales los cuales una vez ingresan al departamento, atraviesan la provincia en dirección Noroeste.

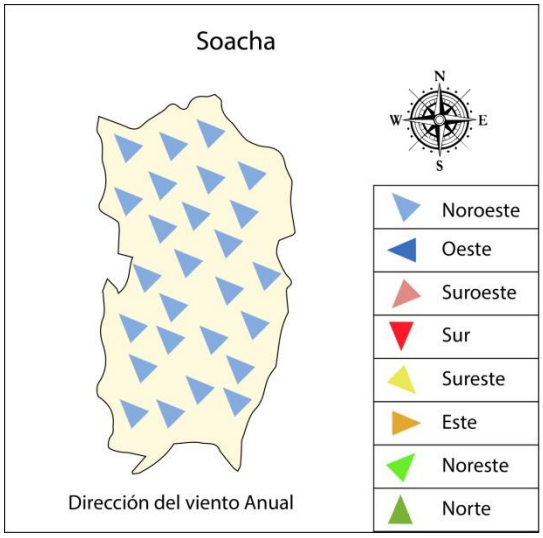


Figura 52 Dirección del viento anual en la provincia de Soacha.

Provincia de Sumapaz

Compuesta por los municipios de Granada, Silvania, Tibacuy, Fusagasugá, Pasca, Arbeláez, Pandi, San Bernardo, Venecia y Cabrera. En la Figura 53 se tiene el mapa de la provincia de Sumapaz con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 80 m y 150 m. En esta provincia se tiene un valor de velocidad promedio mínima de 2-3 m/s y una máxima de 3-4 m/s, esta última se presenta a una altura de 150 m, mientras que a 10 m de altura se tiene una velocidad promedio mínima de 2-3 m/s y una máxima de 3-4 m/s.

Para esta provincia se tiene influencia de los vientos procedentes del Oriente y del Occidente, los cuales chocan en el centro de la provincia y hacen que su dirección cambie, los vientos provenientes del Este cambian de dirección hacia el Noroeste de la provincia y los provenientes del Oeste cambian de dirección hacia el Sureste.

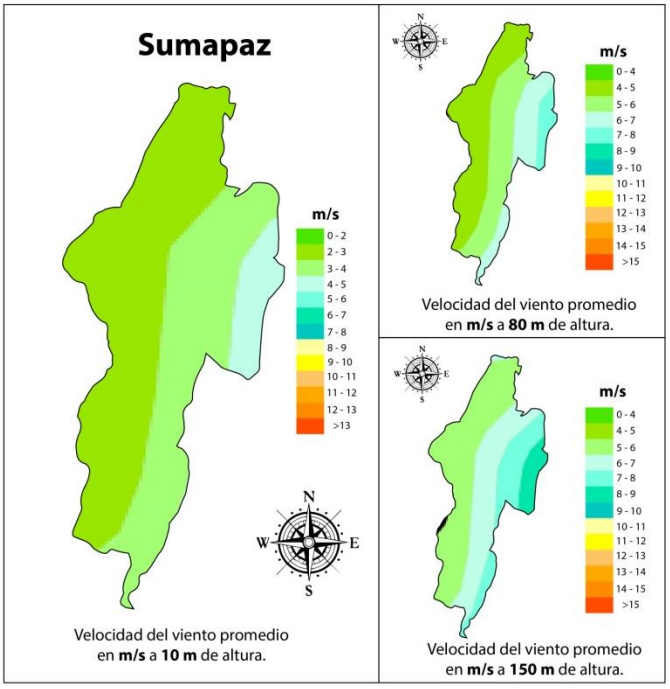


Figura 53 Velocidad del viento promedio en la provincia de Sumapaz en 10 m, 80 m y 150 m de altura.

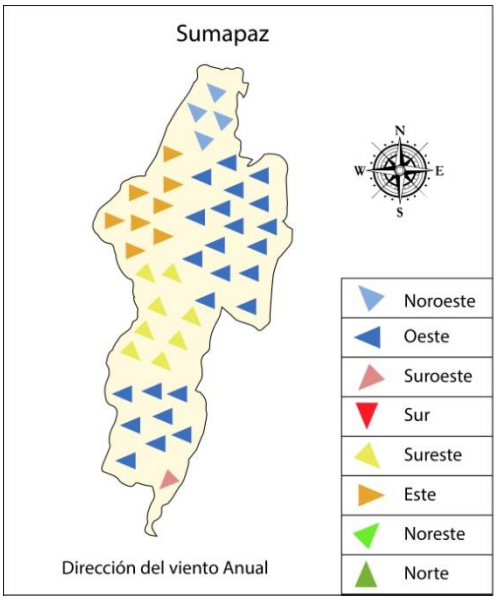


Figura 54 Dirección del viento anual en la provincia de Sumapaz.

Provincia de Tequendama

Compuesta por los municipios de Anolaima, Quipile, Cachipay, La Mesa, Tena, San Antonio de Tequendama, Anapoima, El Colegio, Apulo y Viotá. En la Figura 55 se tiene el mapa de la Provincia de Soacha con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 80 m y 150 m. En esta provincia el valor de velocidad promedio mínima es de 2-3 m/s y la máxima de 9-10 m/s, esta máxima se presenta a una altura de 150 m. A una altura de 10 m la velocidad promedio mínima es de 2-3 m/s y la máxima de 4-5 m/s.

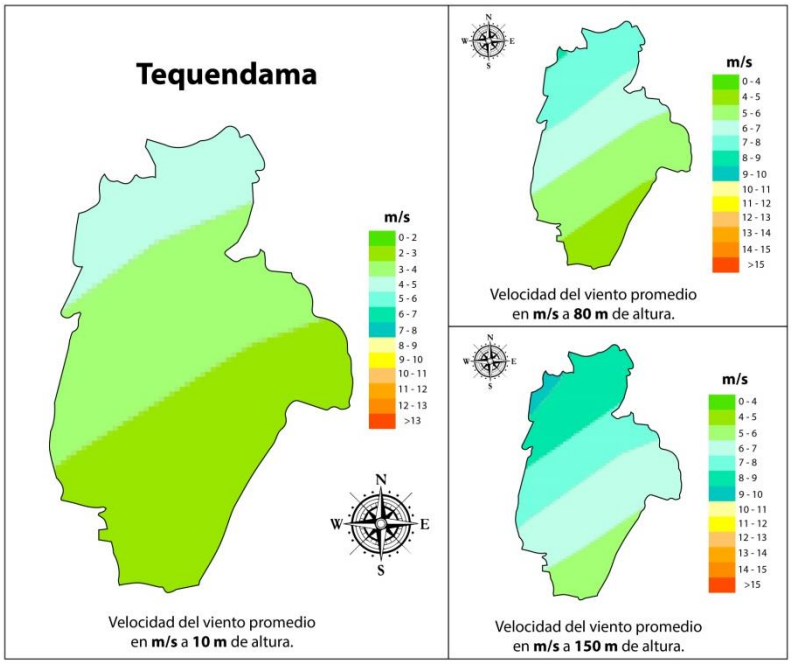


Figura 55 Velocidad del viento promedio en la provincia del Tequendama en 10 m, 80 m y 150 m de altura.

En esta provincia se tiene influencia de los vientos procedentes del Oeste en el sur de la provincia, vientos que por condiciones geográficas cambian en dirección hacia el Norte en la parte central de la provincia, y algunas influencias de vientos con dirección al Noroeste del departamento.

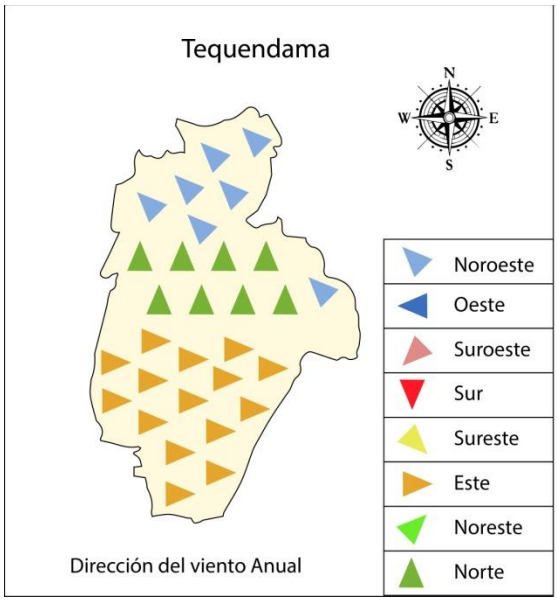


Figura 56 Dirección del viento anual en la Provincia del Tequendama.

4. Biomasa Agrícola

Para la estimación del potencial energético de la biomasa agrícola residual en la región de Cundinamarca, se tuvo en cuenta la producción total de cultivos. El análisis es detallado ya que se estudia cada tipo de cultivo (transitorio, permanente y anual) en cada provincia. Los datos obtenidos fueron tomados de la Secretaría de Agricultura de la Gobernación de Cundinamarca, año 2013.

La estimación del potencial incluye todos los productos agrícolas cosechados, es decir, no solo los cultivos que poseen alto contenido energético en sus desechos sino los cultivos que pese a un bajo nivel calorífico en sus residuos, también es posible un aprovechamiento energético aunque sea mínimo.

Para la obtención de la biomasa primaria agrícola es necesario conocer el factor de residuo (RPR) que tiene cada producto, el cual es la relación residuo a cultivo, es decir, es la relación existente entre la cantidad de residuos producidos a la cantidad del producto principal obtenido de la cosecha (FAO, 2014). Los índices de residuo provenientes de vegetales, tubérculos, hortalizas, frutas y legumbres fueron obtenidos del Instituto Europeo de investigación Sostenible (SERI por sus siglas en inglés) (SERI, 2005) y los índices de residuos provenientes de cultivos con alto valor energético como la caña panelera, caña de azúcar, palma de aceite, café, banano (plátano) y cereales (maíz, cebada y arroz), tomadas del atlas de biomasa residual en Colombia (UPME U. d., 2015). Para determinar el total de residuos que genera el departamento de Cundinamarca se partió de la ecuación propuesta por el instituto europeo de investigación sostenible (SERI, 2005), basada en la producción de cosecha (en toneladas) y el factor de residuo.

En la Tabla 8 se puede observar el factor o índice de residuo de los cultivos más relevantes de la región, es decir, de los cultivos que más residuos dejan en relación con el producto principal.

Tabla 8 Factor de residuo de los cultivos más relevantes en Cundinamarca.

CULTIVO	TIPO DE RESIDUO	FACTOR DE RESIDUO
PALMA DE ACEITE	Raquis	1,06
CAÑA DE AZUCAR	Hojas y cogollo	3,26
CAÑA PANELERA	Hojas y cogollo	3,75
CAFÉ	Hojas y tallo	3,02
MAIZ	Rastrojo	0,93
	Tusa	0,27
	Capacho	0,21

ARROZ	Tamo	2,35
BANANO	Raquis	1
	Vástago	5
PLATANO	Raquis	1
	Vástago	5

Para el caso de estudio se consideró el total de residuos que genera cada cosecha y así mismo se determinó el potencial energético total que se podría obtener. Cabe resaltar que el alto porcentaje de humedad que cuentan algunos desechos orgánicos (residuos vegetales en su mayoría) influye en la determinación energética de estos mismos, de este modo el índice de residuo viene expresado en función del porcentaje de humedad que presenta la biomasa residual cuando se retira del campo (Secretaría General de Agricultura, 2008). En estudios previos se ha considerado que estos restos vegetales pueden tener una humedad del 60-80% (Agugliaro, 2007), para el caso de estudio se asume que estos residuos cuentan con el mismo rango de humedad.

4.1 Poder calorífico de residuos agrícolas

La biomasa representa una fuente de energía basada en carbono de origen renovable. En general, las transformaciones de biomasa suponen un balance energético neutro en CO_2 y a la vez favorecen la diversificación energética. La composición de la biomasa varía según su procedencia, en forma general la biomasa (en base seca, porcentaje en masa) está constituida por carbono de 45-52%, hidrogeno de 4-7% y oxigeno de 42-50%, con cantidades menores de nitrógeno y azufre, en cuanto a su composición contiene una gran cantidad de materia volátil 70-80%, cenizas de 0.5-5%, siendo el resto carbono fijo (GEOCARBON, 2016).

Para determinar el potencial energético que tienen los desechos orgánicos es necesario conocer de ante mano el poder calorífico que tienen. Del atlas de biomasa residual en Colombia se extrajeron algunos residuos con su respectivo poder calorífico inferior (PCI).

En la Tabla 9 se pueden observar los residuos orgánicos que tienen mayor valor energético y el tipo de residuo primario producto de los procesos de cosecha.

Tabla 9 Poder Calorífico inferior para biomasa agrícola.

CULTIVO	TIPO DE RESIDUO (Primario)	PCI (MJ/Ton)
PALMA DE ACEITE	Raquis	16823,864

CAÑA DE AZUCAR	Hojas y cogollo	15413,856
CAÑA PANELERA	Hojas y cogollo	15413,856
CAFÉ	Hojas y tallo	18342,656
MAIZ	Rastrojo	14356
	Tusa	14193
	Capacho	15972
ARROZ	Tamo	13870
BANANO	Raquis	7568,856
	Vástago	8501,888
PLÁTANO	Raquis	7568,856
	Vástago	8501,888

4.2 Potencial energético de biomasa agrícola

Una vez obtenida la masa residual orgánica y el poder calorífico de cada uno de los desechos agrícolas, se puede estimar el potencial energético. Para los residuos con alto porcentaje de humedad se utilizó un poder calorífico que tuviera en cuenta dicho factor (60-80%) como se mencionó anteriormente. Para los demás residuos se considera una humedad baja (<12%), considerada como biomasa seca y donde el PCI también está en función de este valor. De esta forma es posible estimar la energía que podría tener el departamento de Cundinamarca a partir de estos residuos primarios sin tener en cuenta la tecnología aplicada.

Se debe aclarar que la tecnología o el proceso de conversión energética que debería tener la biomasa, influirían en la determinación de potencial reduciendo este valor. Según el estudio realizado por la UPME en el atlas de biomasa residual en Colombia, todas las tecnologías: térmicas y biológicas pueden ser aplicadas a los residuos orgánicos agrícolas (UPME U. d., 2015). Es así como se estima un potencial energético base que tendría la región y cada provincia de Cundinamarca:

$$Potencial\ energético\ (MJ) = Biomasa_{agricola}(ton) * PCI\ \left(\frac{MJ}{ton}\right)$$

Debido a las características de los residuos, generados por los cultivos en procesos de cosecha, las tecnologías que mejor son aplicadas para la conversión energética son los procesos termoquímicos, como pirolisis y gasificación. El proceso de la gasificación es una combustión que se realiza en atmosfera con bajo volumen de oxígeno, en el cual se genera una corriente gaseosa y un residuo sólido con propiedades combustibles. Por medio del proceso de gasificación se puede llegar a una eficiencia de 81% o más, dependiendo de las características del residuo (Rentizelas A., 2009). Para los procesos de gasificación integrados a la

producción de energía eléctrica se tienen eficiencias entre el 28 y 36% (Arteaga-Péreza, Casas-Ledón, Cabrera-Hernández, & Rodríguez Machín, 2015).

El proceso de pirolisis se denomina al calentamiento de una material biomásico en ausencia total de oxígeno y agentes oxidantes, a temperaturas que alcanzan los 700 °C. De acuerdo a la temperatura y velocidad para producir descomposición térmica de la biomasa, pueden obtenerse tres productos principales: solido, líquido y gas. Existen cuatro tipos de pirolisis: rápida, intermedia, lenta o carbonización y gasificación. Para la pirolisis rápida se tiene una temperatura de 500°C, donde los resultados finales pueden ser, líquido con una eficiencia de 75%, producto solido con una eficiencia 12% y gas con una eficiencia de 13%. El proceso de pirolisis intermedia usa un rango de temperatura de hasta 500 °C donde el producto final es líquido con una eficiencia de 50%, solido con una eficiencia 20% y gas con una eficiencia de 20%. El proceso de pirolisis lenta se tiene un rango de temperaturas de hasta 400°C, donde el resultado final puede ser líquido con eficiencia de 30%, solido con una eficiencia de 35% y gas con una eficiencia de 30%. El proceso de gasificación usa rangos de temperaturas de hasta 800°C y el resultado final puede ser líquido con una eficiencia 5%, solido con una eficiencia 10% y gas con una eficiencia de 85% (BARRERA, 2012).

De lo anterior, se observa que el proceso de pirolisis resulta factible para la producción de gas; además, el uso de gas para la producción de energía eléctrica registra una eficiencia de 43% (BARRERA, 2012). De esta manera dependiendo del uso final que se requiera, deben aplicarse los factores de corrección o eficiencia que presenta cada tecnología o proceso de conversión, esto con el fin de aplicarlos en estudios posteriores.

4.2.1. Sector agrícola en Cundinamarca

Datos recolectados en el año 2013, consolidan la producción agrícola en el departamento de Cundinamarca en cultivos transitorios, permanentes y anuales con un total de área cosechada de 246.106 hectáreas. Los cultivos más relevantes son: los cultivos permanentes con una participación de 49,2% y un total de 121.188 hectáreas, cultivos transitorios con una participación de 48,3% y un total de 118.979 hectáreas, y por último los cultivos anuales con una participación de 2,4% y un total de 5.939 hectáreas (Secretaría General de Agricultura, 2008). En la Tabla 10 y la Figura 57 se puede observar la evolución de superficie cosechada por tipo de cultivo desde el año 2002 hasta el año 2013.

Tabla 10 Evolución área cosechada por tipo de cultivo años 2002-2013

CULTIVO		TRANSITORIO	PERMANENTE	ANUALES	TOTAL
TOTAL	2002	130.356	95.685	9.627	235.668
	2003	127.109	98.066	8.487	233.662
	2004	126.986	101.559	8.898	237.443
	2005	114.826	78.848	7.145	200.819
	2006	127.102	114.407	3.582	245.091
	2007	135.203	107.076	2.970	245.249
	2008	129.773	115.682	6.256	251.711
	2009	120.403	127.996	5.473	253.872
	2010	123.095	133.829	7.174	264.098
	2011	125.081	116.803	6.750	248.634
	2012	112.612	116.902	7.150	236.664
	2013	118.979	121.188	5.939	246.106
VARIACIÓN (%)	2007-2008	-4,0	8,0	111,0	2,6
	2008-2009	-7,2	10,6	-12,5	0,9
	2009-2010	2,2	4,6	31,1	4,0
	2010-2011	1,6	-12,7	-5,9	-5,9
	2011-2012	-10	0,1	5,9	-4,8
	2012-2013	5,7	3,7	-16,9	4,0
PARTICIPACIÓN		48,3	49,2	2,4	100,0

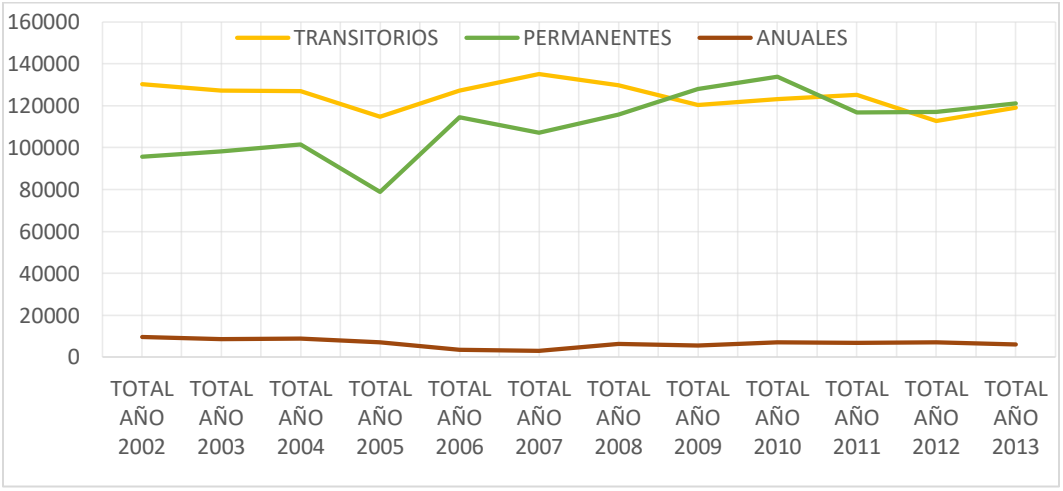


Figura 57 Evolución área cosechada por tipo de cultivo. Fuente: Gobernación de Cundinamarca.

Cultivos transitorios

Los cultivos transitorios son aquellos que tienen un ciclo vegetativo corto, de 4 a 7 meses. En Cundinamarca los cultivos transitorios representativos comprenden: acelga, ahuyama, ajo, algodón, apio, aromáticas, arroz (riego y secano), arveja, brócoli, calabaza, cebolla (bulbo y junca), cilantro, coliflor, espinaca, guatila, haba, lechuga, maíz, papa, papa criolla, pepino, perejil, pimentón, rábano, remolacha, repollo, sorgo, soya, tomate, trigo y zanahoria, entre otros. Para el caso de estudio los cereales como: arroz de riego, arroz secano, maíz, sorgo y cebada, fueron considerados de mayor relevancia debido a su poder energético comparado con las hortalizas, como la papa con un bajo poder calorífico, vegetales, y frutas.

En la Tabla 11 se cuantifica la producción total en Cundinamarca para los cultivos transitorios. Estos datos fueron obtenidos por la Secretaría de Agricultura del departamento para el año 2013. Cuenta con una producción total de 1’810.993 toneladas, entre los cuales se encuentran hortalizas, frutas, restos vegetales, cereales y legumbres.

Tabla 11 Cultivos transitorios - Producción agrícola en Cundinamarca año 2013.

PRODUCTO	AREA SEMBRADA (ha)		AREA COSECHADA (ha)		RENDIMIENTO (ton/ha)		PRODUCCION (ton)	
	PERIODO		PERIODO		PERIODO		PERIODO	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
ACELGA	29	64	27	57	17	20,9	505	1218
AJO	55,12	90	41,12	89	10,4	10,1	410,9	959
AROMATICA	74	76	68,2	71	3,47	3,3	242,9	246
ARROZ DE RIEGO	1116	1060	1116	1040	5	6,2	5714	6426
ARVERJA	6151	5331	5410	4867	4,2	4,1	25440	22455
ARROZ SECANO	1392	1340	1392	1320	3,75	6,2	4654	10711
BROCOLI	392,1	350	372	338	16,3	17,9	7827	7166
CALABAZIN	392,1	350	372	338	16,3	17,9	7827	7166
CEBOLLA BULBO	35	52	30	50	7	33,5	210	1652
CEBADA	3247	2690	3018	2474	18,52	19,8	62385	50760
CILANTRO	557	907	528	840	7,25	9,1	331	10896
COLIFLOR	97	137	91	131	19,94	22,8	1815	2839
ESPINACA	345	303	313	241	18,5	27,5	7243	7549
FRIJOL	9021	10060	8065	9447	3,5	3	23182	24295
HABA	46	115	41	105	5,3	5,7	221,5	678
HABICHUELA	2922	3470	2767	3319	7,8	8,7	24785	33101
LECHUGA	2804	2568	2729	2473	21,57	19,2	58890	44428
MAIZ	24494	23112	22013	18393	3,38	3,7	72298	73568
PAPA	56537	65390	51302	60703	19,53	4135	1065022	1301271
PAPA CRIOLLA	2281	2826	2162	2642	15,3	14,4	35303	39363

PEPINO	268	342	258	319	7,5	12,2	2045	3654
PEPINO COHOMBRO	142	159	126	152	12	15,9	1336	2230
PIMENTON	228	232	222	223	17,25	31	4673	7522
REMOLACHA	117	45	84	43	15,33	16,5	1565	712
REPOLLO	643	748	602	696	28,5	25,8	17 340	17 904
SORGO	2 007	453	2 007	450	2,52	2,6	5848	1395
TOMATE	1312	1 100	1221	986	17,11	21,5	29237	19102
TOMATE INVERNADERO	341,1	458	338,6	452	70,17	53,6	22421	32 948
ZANAHORIA	2 688	2571	2 545	2467	25,37	24,2	72 419	70626

Como se puede observar en la Tabla 11 el cultivo con mayor producción en el departamento de Cundinamarca es la papa, cuenta con 1.301.271,00 toneladas, representado el 71,85% de la producción total de la región.

Cultivos permanentes

Los cultivos permanentes son aquellos que una vez plantados, pueden durar varios años en producción (la misma planta), con una o varias cosechas al año. En Cundinamarca se consideraron cultivos como: aguacate, aromáticas, banano, cacao, café, caña panelera, caucho, cítricos, curuba, feijoa, flores y follajes, fresa, frutales varios, guanábana, guayaba, lulo, mango, maracuyá, mora, palma de aceite, papaya, plátano, sábila, tomate de árbol, uchuva y zapote, entre otros.

Para el caso de estudio la caña de azúcar, caña panelera y el café fueron los cultivos que más predominaron en la región debido a su alta concentración energética y a la producción en el departamento. Sin embargo se hace un estudio total para encontrar la energía que puede producir cada producto en la región. En la Tabla 12 se cuantifica la producción total de cultivos permanentes, estos datos fueron obtenidos de la Secretaría de Agricultura de la Gobernación de Cundinamarca.

Tabla 12 Cultivos permanentes - Producción total en Cundinamarca año 2013.

PRODUCTO	**AREA SEMBRADA (ha)**		**AREA COSECHADA (ha)**		**RENDIMIENTO (Ton/ha)**		**PRODUCCION (ton)**	
	PERIODO		**PERIODO**		**PERIODO**		**PERIODO**	
	2012	**2013**	**2012**	**2013**	**2012**	**2013**	**2012**	**2013**
AGUACATE	615,4	902	415,9	459,5	5,22	5,3	2662	3386
AROMATICAS Tran.	37,8	81,9	26,8	64,6	7,27	5,9	195	551
AROMATICAS Perm.	37,8	81,9	26,8	64,6	7,27	5,9	195	551
AROMATICAS	111,8	263,9	95	236,6	5,4	5	437,9	1416
BANANO	3821	4249	2917	3543	7,82	14	2082	121808

CACAO	5143	4922	3360	4021	1,3	1	2708	2628
CADUCIFOLIOS	253	245,5	231	195	12,7	9,3	2940	1780
CAÑA PANELERA	42396	41911	40534	40816	4,88	4,33	193542	183229
CAFÉ	40798	40889	31890	34817	1,19	1,16	37271	42430
CAUCHO	297	461	37	86	0,31	1	19,4	132
CITRICOS	10934	8920	10226	8255	7,31	7,48	88952	61321
CURUBA	14,59	25,6	7,59	3,6	6,5	10,3	52,54	39
FRESA	802	799,4	489	559,6	42,65	45,2	23926	25578
GRANADILLA	375,3	334	275,3	186	11	11,4	2690,4	1975
GUANÁBANA	97	97	90	78,6	13	13	1391	1187
GUAYABA	407,5	395,5	393,5	383,5	7,75	7,8	3782,5	3748
LULO	138,5	92	69	52,5	13,35	13,1	937	710
MANGO	9316,6	9606	8420,8	8482,3	9,28	7,1	87982	68170
GULUPA	207	232	190	202	10,4	9,1	1759,2	1791
MARACUYA	221,4	333,9	143,5	157,2	8,17	9	1576	1662
MORA	3598,7	3581,5	3176,7	3193,2	7,28	7	26010,6	25108
PALMA DE ACEITE	5126	5226	4989,5	4809	16,5	16,5	82326,8	79357
PIÑA	718	971,3	105	496	19,3	19,3	1972	8994
PITAYA	58	47	41	31	10	12	444	372
PLATANO	8150,2	8064	5461,2	7383	6,2	6,8	40073,0	55655
TOMATE DE ARBOL	3689,06	3476,6	2532,06	1988	13,3	13,6	46,63	38421
UCHUVA	222	210,7	112	148,1	10,6	14,3	1587	2072
ZAPOTE	21	14	19	14	5	5	95	70

En la Tabla 12 se puede observar la producción total de la región, con 734.141 toneladas para el año de estudio, teniendo mayor participación la caña panelera con 183.229 Ton, seguido del banano con 121.808 Ton y la palma de aceite con 79.357 Ton, representado más de la mitad de la producción con un 52,36 %. En menor rango los cultivos con una producción moderada son: el mango con 68.170 Ton, los cítricos con 61.321 Ton, plátano con 55.655 y finalmente el café con 42.430 Ton.

Cultivos Anuales

Los cultivos anuales son aquellos que tienen un ciclo vegetativo de un año. Los principales cultivos considerados en el departamento de Cundinamarca fueron yuca y maíz. En el periodo del 2013 se apreciaron valores en áreas sembradas de 6.618 hectáreas y un área cosechada de 5.939 hectáreas y una producción estimada de 44.334 toneladas producidas (Cundinamarca., 2014).

Los cultivos anuales expuestos fueron: arracacha, flores y follajes (cultivos tradicionales en Tena, no a gran escala), frijol, maíz, papa, plátano y yuca, entre otros, además del caucho en vivero. Debido a la diversidad de climas del departamento de Cundinarmarca algunos de los cultivos expuestos como anuales también se pueden encontrar dentro de los cultivos transitorios, como es caso del maíz (dependiendo la provincia se cultiva maíz con ciclos de 12 meses y en otras con ciclos de 6 meses), por lo cual para este análisis se toman los cultivos con ciclos de 12 meses. Para el caso de estudio los cultivos anuales no fueron estudiados a profundidad debido a su poca participación de producción en la región. Sin embargo en la Tabla 13 se cuantifican la totalidad de productos cosechados anualmente.

Tabla 13 Cultivos anuales - Producción total en Cundinamarca año 2013.

PRODUCTO	AREA SEMBRADA (ha)		AREA COSECHADA (ha)		RENDIMIENTO (Ton/ha)		PRODUCCION (ton)	
	PERIODO		PERIODO		PERIODO		PERIODO	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
ARRACACHA	509	400	450	359.5	8.8	11.2	2 933	2 973
FRIJO ANUAL	663	541	640	511	4.4	4	2521	1791
MAIZ ANUAL	2268	2325	2187	2230	3.5	4.2	5400	5985
SAGU	425	385	566	375	2.3	2.6	1184	738
YUCA	2750	2882.5	2272.4	2386	15.5	13.5	28981	32190

La yuca es el mayor producto cosechado en la región con 32.190 Ton, representando El 73,70% de producción total, en menor medida el maíz con una producción de 5.985 Ton, la arracacha con una producción de 2.973 Ton, el frijol anual con 1.791 y finalmente el sagu con 738 Ton.

4.2.2. Biomasa agrícola en el departamento de Cundinamarca

Para el estudio de la biomasa residual en el departamento de Cundinamarca es necesario abordar cada cultivo de forma independiente (transitorio, permanente y anual) por cada provincia de la región; de esta manera se puede determinar qué tipo de cultivo es el más representativo debido a su producción y al tipo de desecho orgánico generado, así como el poder calorífico que estos poseen.

En la Figura 58 se puede observar el potencial energético total (cultivos transitorios, permanentes y anuales) de la región. El cultivo de mayor potencial energético es el cultivo permanente con 7.271,61 GWh, teniendo una menor producción de cosecha comparada con los cultivos transitorios, esto se debe al tipo de residuo generado y al poder calorífico que estos mismos poseen.

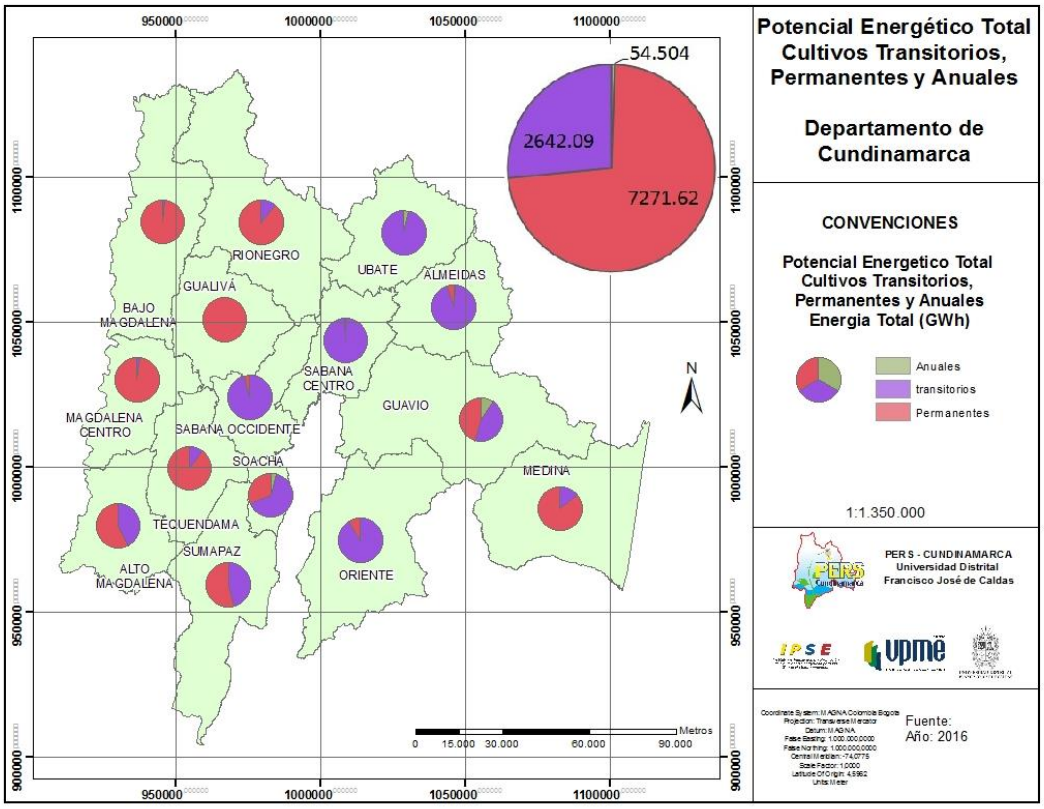


Figura 58 Mapa de potencial energético total. Cultivos transitorios, permanentes y anuales en el departamento de Cundinamarca.

Como se describió en el apartado anterior, la papa es el cultivo de mayor producción en la región representado el 71,85% de cultivos transitorios, pero los desechos generados por este tubérculo representan un muy bajo poder calorífico, por lo cual no se considera como residuo orgánico potente para un fin energético. Es por eso que el potencial energético de los cultivos transitorios equivale a 2.642,09 GWh, una energía más baja que los cultivos permanentes.

Finalmente el cultivo menos representativo es el cultivo anual debido a su baja producción y al ciclo vegetativo anual que estos tienen con 54,5 GWh de energía.

4.2.3. Biomasa agrícola de cultivos transitorios

En los procesos de cosecha, se genera diferentes tipos de residuos orgánicos, cada uno de estos se clasifican como biomasa primaria. Para el análisis del poder calorífico de estos residuos, se tendrá en cuenta la cosecha, producción y factor de residuo generado. Para la cuantificación de biomasa agrícola y potencial de

energía, se realiza un estudio más detallado, analizando cada una de las provincias del departamento.

El potencial de energía total del departamento de Cundinamarca equivalente a cultivos transitorios es de aproximadamente es de 2,642 GWh. La Tabla 14 muestra el potencial de energía de cada cultivo transitorio del departamento, la producción de cada cultivo y la biomasa primaria generada en los procesos de cosecha.

Tabla 14 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en el departamento de Cundinamarca.

CULTIVO	PRODUC. (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
ACELGA	1218	tallo	0,45	548,10	9.001,00	4.933.448,10	1,37
AJO	959	tallo	0,45	431,55	9.001,00	3.884.381,55	1,08
AHUYAMA	8153	tallo, hoja	0,45	3.668,85	9.001,00	33.023.318,85	9,17
AROMATICA	246	tallo	0,45	110,70	9.001,00	996.410,70	0,28
ARROZ DE RIEGO	6426	tamo	2,35	15.101,10	13.870,00	209.452.257,00	58,18
ARVERJA	22455	tallo, hoja	1,4	31.437,00	9.001,00	282.964.437,00	78,60
ARROZ SECANO	10711	tamo	2,35	25.170,85	13.870,00	349.119.689,50	96,98
BROCOLI	7166	tallo, hoja	0,45	3.224,70	9.001,00	29.025.524,70	8,06
CALABAZIN	7166	tallo, hoja	0,45	3.224,70	9.001,00	29.025.524,70	8,06
CEBOLLA BULBO	1652	tallo	0,45	743,40	9.001,00	6.691.343,40	1,86
CEBADA	50760	paja	0,5	25.380,00	15.540,00	394.405.200,00	109,56
CILANTRO	10896	tallo	0,45	4.903,20	9.001,00	44.133.703,20	12,26
COLIFLOR	2839	tallo, hoja	0,45	1.277,55	9.001,00	11.499.227,55	3,19
ESPINACA	7549	tallo	0,45	3.397,05	9.001,00	30.576.847,05	8,49
FRIJOL	24295	tallo, hoja	1,4	34.013,00	9.001,00	306.151.013,00	85,04
HABA	678	tallo, hoja	0,45	305,10	9.001,00	2.746.205,10	0,76
HABICHUELA	33101	tallo, hoja	1,4	46.341,40	9.001,00	417.118.941,40	115,87
LECHUGA	44428	tallo	0,45	19.992,60	9.001,00	179.953.392,60	49,99
MAIZ	73568	rastrojo	0,934	68.712,51	14.356,00	986.436.822,27	421,19
		tusa	0,27	19.863,36	14.193,00	281.920.668,48	
		capacho	0,211	15.522,85	15.972,00	247.930.928,26	
PAPA	1301271	tallo, hoja	0,36	468.457,56	9.001,00	4.216.586.497,56	1.171,27
PAPA CRIOLLA	39363	tallo, hoja	0,36	14.170,68	9.001,00	127.550.290,68	35,43
PEPINO	3654	tallo, hoja	0,45	1.644,30	9.001,00	14.800.344,30	4,11
PEPINO COHOMBRO	2230	tallo, hoja	0,45	1.003,50	9.001,00	9.032.503,50	2,51
PIMENTON	7522	tallo, hoja	0,9	6.769,80	9.001,00	60.934.969,80	16,93

REMOLACHA	712	tallo, hoja	0,3	213,60	15.190,00	3.244.584,00	0,90
REPOLLO	17 904	follaje, tallo	0,45	8.056,80	9.001,00	72.519.256,80	20,14
SORGO	1395	paja	1,4	1.953,00	15.198,00	29.681.694,00	8,24
TOMATE	19102	tallo, hoja	0,9	17.191,80	15.190,00	261.143.442,00	72,54
TOMATE INVERNADERO	32 948	tallo, hoja	0,9	29.653,20	15.190,00	450.432.108,00	125,12
ZANAHORIA	70626	tallo, hoja	0,45	31.781,70	9.001,00	286.067.081,70	79,46
TOTAL							**2.642,09**

La Figura 59 representa el potencial energético total en GWh, a partir del total de residuos transitorios generados en la cosecha de cada provincia del departamento de Cundinamarca.

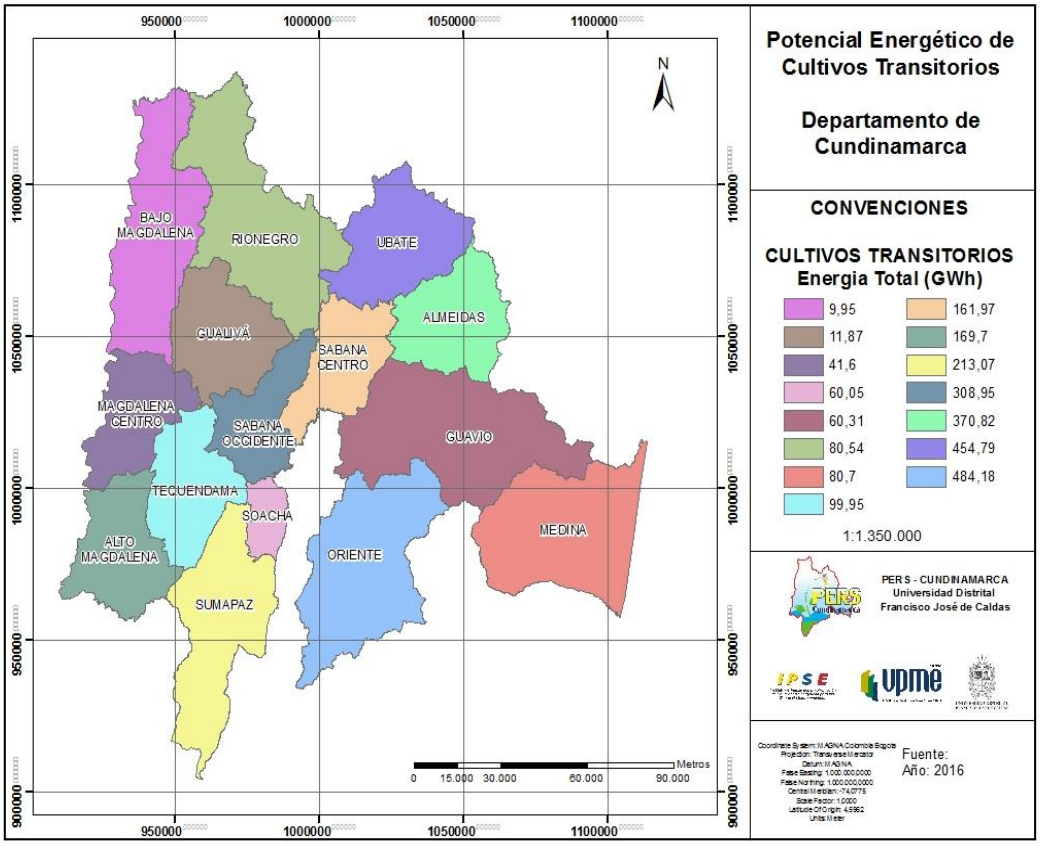


Figura 59 Mapa de potencial de energía, cultivos transitorios del departamento de Cundinamarca.

La provincia que tiene mayor potencial de energía en lo que respecta a cultivos transitorios es la provincia de Oriente con 484 GWh, seguida de la provincia de Ubaté con 454 GWh, Almeidas y Sabana Occidente con 370 GWh y 308,95 GWh respectivamente. Las provincias de menor potencial energético son la provincia de

Magdalena Centro con 41,6 GWh, Gualivá con 11,87 GWh y por último se encuentra Bajo Magdalena con 9,95 GWh, siendo esta la provincia con el menor potencial de energía.

A continuación se realiza un análisis por provincia del potencial energético de los cultivos transitorios.

Provincia de Almeidas

La provincia de Almeidas tiene una distribución de cultivos donde el 91% corresponde a los cultivos transitorios, siendo estos los de mayor producción (Cundinamarca., 2014). La Tabla 15 muestra cada tipo de cultivo, residuo y el potencial energético.

Tabla 15 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Almeidas.

CULTIVO	PRODUCCIÓN (Ton)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
PAPA	398684	Tallo, hoja	0,36	143526,24	9.001	1.291.879.686	358,85
CEBOLLA BULBO	3050	Tallo	0,45	1372,5	9.001	12.353.873	3,43
TOMATE	682	Tallo, hoja	0,9	613,8	15.190	9.323.622	2,59
FRIJOL	569	Tallo, hoja	1,4	796,6	9.001	7.170.197	1,99
ARVERJA	385	Tallo, hoja	1,4	539	9.001	4.851.539	1,35
PAPA CRIOLLA	1200	Tallo, hoja	0,36	432	9.001	3.888.432	1,08
CEBADA	280	Paja	0,5	140	15.540	2.175.600	0,60
HABA	480	Tallo, hoja	0,45	216	9.001	1.944.216	0,54
PIMENTON	102	Tallo, hoja	0,9	91,8	9.001	826.292	0,23
HABICHUELA	24	Tallo, hoja	1,4	33,6	9.001	302.434	0,08
ZANAHORIA	56	Tallo, hoja	0,45	25,2	9.001	226.825	0,06
TOTAL						**1.334.942.715**	**370,82**

La Figura 60 muestra el potencial energético a partir de residuo primario que genera cada cultivo en la provincia. De acuerdo a las características éste, se hace inviable el uso de cultivos temporales para una aplicación energética, ya que su uso requiere de un volumen mayor en comparación a la cantidad de energía que se puede obtener.

El cultivo más sobresaliente es la papa, en la provincia éste cuenta con una mayor producción, además de ser el cultivo con mayor potencial energético pese al poco valor energético que contiene el residuo generado en el proceso de cosecha. Debido a las características del residuo que genera cada cultivo en la provincia, el uso como fuente energética requeriría grandes cantidades éste, ya que el PCI no es de gran valor energético.

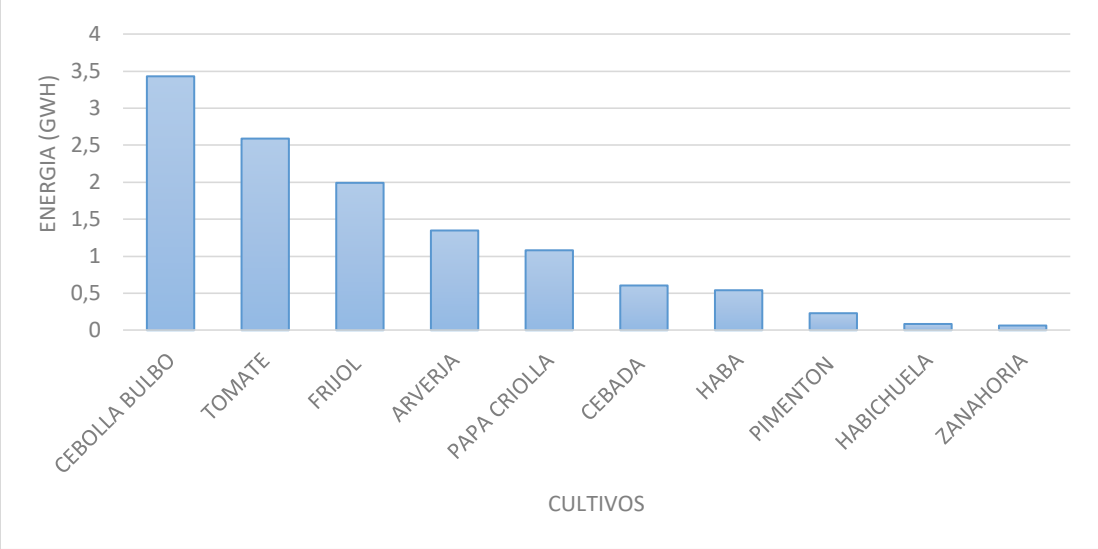


Figura 60 Potencial Energético, cultivos transitorios provincia de Almeidas.

Provincia de Alto Magdalena

La distribución de cultivos transitorios corresponde a un 62% en la provincia (Cundinamarca., 2014), donde es el cultivo del maíz el de mayor producción y el de mayor potencial energético (ver Tabla 16). La ahuyama es el segundo en cuanto a producción, pero de acuerdo a las características del residuo, no se hace viable para una aplicación energética.

Tabla 16 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la Provincia de Alto Magdalena.

CULTIVO	PRODUC. (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
MAIZ	19.954	rastrojo	0,934	18637,036	14.356	267.553.289	114,24
		tusa	0,27	5387,58	14.193	76.465.923	
		capacho	0,211	4210,294	15.972	67.246.816	
AHUYAMA	5.162	tallo, hoja	0,45	2322,9	9.001	20.908.423	5,81
ARROZ DE RIEGO	3.636	tamo	2,35	8544,6	13.870	118.513.602	32,92
SORGO	1.394,8	paja	1,4	1952,72	15.198	29.677.439	8,24
SABILA	1.350	tallo	0,45	607,5	9.001	5.468.108	1,52
ALGODÓN	600	tallo	2,75	1650	15.198	25.076.700	6,97
TOTAL						**610.910.298**	**169,70**

La Figura 61 muestra el potencial energético de los diferentes cultivos transitorios de la provincia, de los cuales el maíz, el arroz de riego y el sorgo son viables para una aplicación energética.

El cultivo del maíz presenta tres tipos de residuo los cuales son: el rastrojo (planta seca que deja el maíz), tusa y capacho, donde el rastrojo es el residuo de mayor cantidad en la cosecha. En el cultivo del arroz se genera como residuo el tamo, que representa 2,35 de RPR, además de presentar buenas características para un aprovechamiento energético. El cultivo del sorgo genera como residuo la paja y son estos tres cultivos viables para una aplicación de conversión energética en la provincia.

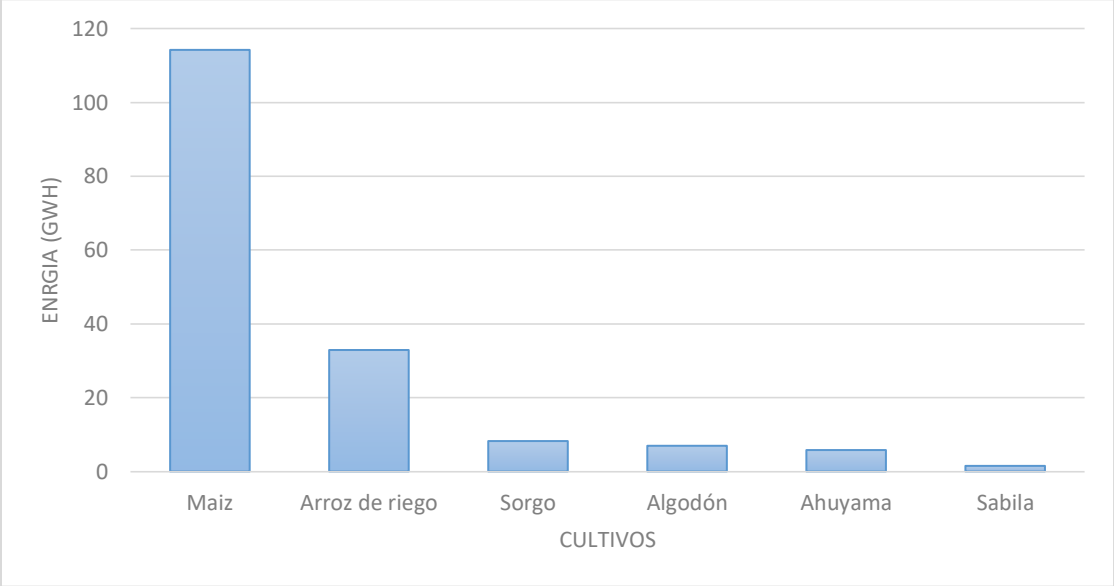


Figura 61 Potencial energético cultivos transitorios, Provincia de Alto Magdalena.

Provincia de Bajo Magdalena

La Provincia de Bajo Magdalena presenta cuatro cultivos transitorios, que representan el 13% de la distribución de cultivos (Cundinamarca., 2014). Donde es el maíz el único con aplicaciones de conversión energética. La Tabla 17 muestra la producción de maíz y su potencial energético, la cual es mayor en comparación a los demás cultivos.

Tabla 17 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la Provincia de Bajo Magdalena.

CULTIVO	PRODUC. (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
MAIZ	1048	rastrojo	0,934	978,832	14.356	14.052.112	6,00
		tusa	0,27	282,96	14.193	4.016.051	
		capacho	0,211	221,128	15.972	3.531.856	

FRIJOL	724	tallo, hoja	1,4	1013,6	9.001	9.123.414	2,53
HABICHUELA	295	tallo, hoja	1,4	413	9.001	3.717.413	1,03
TOMATE	101,5	tallo, hoja	0,9	91,35	15.190	1.387.607	0,38
TOTAL						**35.828.453**	**9,95**

En la Figura 62 se observa el diagrama de barras que muestra el potencial energético de cada cultivo, como se dijo anteriormente las cualidades de los desechos del maíz hacen que sea el único cultivo viable para aplicaciones de conversión energética.

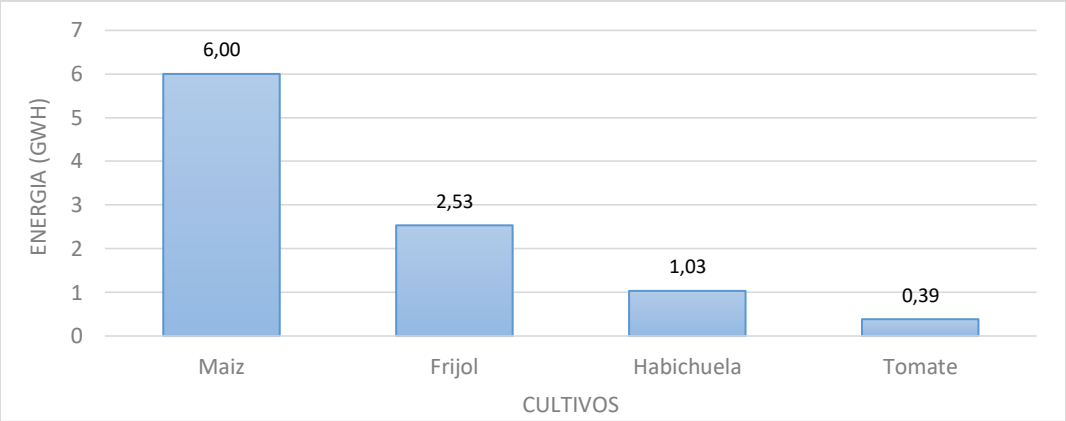


Figura 62 Potencial energético cultivos transitorios, Provincia de Bajo Magdalena.

Provincia de Gualivá

La provincia de Gualivá tiene una distribución de cultivos transitorios que corresponde al 3% (Cundinamarca., 2014). La Tabla 18 muestra los diferentes cultivos, su producción, tipo de residuo y el potencial energético. Se observa en esta provincia que el maíz es el de mayor producción y en comparación con los demás cultivos, tiene gran potencial energético.

Tabla 18 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Gualivá.

CULTIVO	PRODUC. (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
MAIZ	1628,9	rastrojo	0,934	1521,3926	14356	21.841.112	9,32577
		tusa	0,27	439,803	14193	6.242.124	
		capacho	0,211	343,6979	15972	5.489.543	
TOMATE	523,4	tallo, hoja	0,9	471,06	15190	7.155.401	1,98761
FRIJOL	113,14	tallo, hoja	1,4	158,396	9001	1.425.722	0,39603

HORTALIZAS VARIAS	25,5	tallos, hojas	0,45	11,475	9001	103.286	0,02869
HABICHUELA	22,5	tallo, hoja	1,4	31,5	9001	283.532	0,07876
ARVERJA	12,5	tallo, hoja	1,4	17,5	9001	157.518	0,04375
CILANTRO	6	tallo	0,45	2,7	9001	24.303	0,00675
TOTAL						**42.722.541**	**11,87**

La Figura 63 ilustra el potencial energético, en el cual puede verse cómo el cultivo del maíz es muy superior a los demás cultivos y viable para una conversión energética, debido a su producción y las características del residuo que genera.

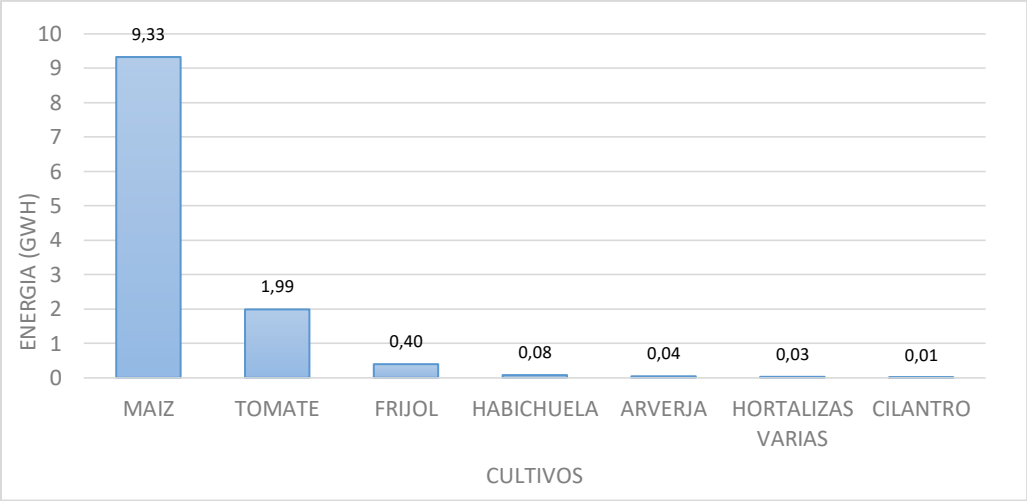


Figura 63 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Gualivá.

Provincia de Guavio

La provincia de Guavio tiene una distribución de cultivos transitorios que cual corresponde al 56% (Cundinamarca., 2014), el cultivo más sobresaliente para esta provincia es la papa, que tiene una producción de 36.698 toneladas anuales (Tabla 19), pero debido a las propiedades del residuo de este cultivo se hace inviable para una aplicación energética, ya que se necesitaría grandes cantidades de éste.

Tabla 19 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Guavio.

CULTIVO	PRODUC. (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
PAPA	36698	tallo, hoja	0,36	13211,28	9001	118.914.731	33,03

CEBOLLA BULBO	7200	tallo	0,45	3240	9001	29.163.240	8,10
ARVERJA	1617,75	tallo, hoja	1,4	2264,85	9001	20.385.915	5,66
FRIJOL	1510,76	tallo, hoja	1,4	2115,064	9001	19.037.691	5,29
PAPA CRIOLLA	4586	tallo, hoja	0,36	1650,96	9001	14.860.291	4,13
ZANAHORIA	1395,5	tallo, hoja	0,45	627,975	9001	5.652.403	1,57
HORTALIZAS VARIAS	905	tallo, hoja	0,45	407,25	9001	3.665.657	1,02
REPOLLO	800	follaje, tallo	0,45	360	9001	3.240.360	0,90
TOMATE	160,9	tallo, hoja	0,9	144,81	15190	2.199.664	0,61
TOTAL						**217.119.952**	**60,31**

La Figura 64 muestra el potencial energético de los cultivos transitorios de la provincia de Guavio. El residuo del tomate es viable para un posible aprovechamiento energético, pero debido a la poca producción no es posible su implementación.

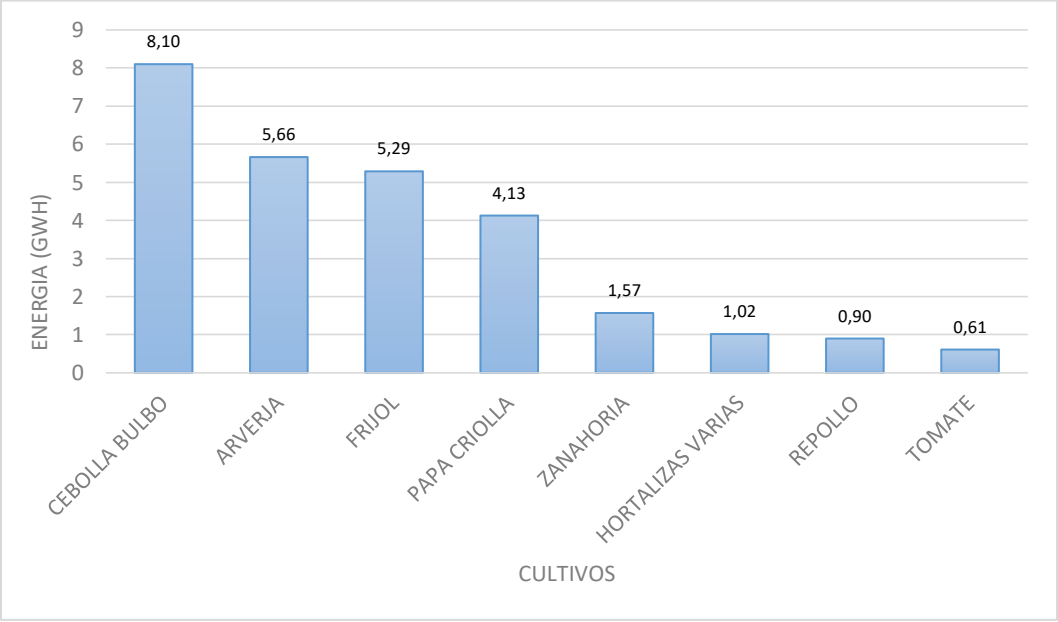


Figura 64 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Guavio.

Provincia de Magdalena Centro

Los cultivos transitorios de esta provincia representan el 17% de los cultivos (Cundinamarca., 2014). La Tabla 20 muestra los tipos de cultivos transitorios sembrados, su producción y el potencial energético de sus residuos, de los cuales se destacan los cultivos de arroz y el maíz. El arroz secano genera como residuo

el tamo, el cual cuenta con gran porcentaje de residuo y un buen potencial para aprovechamiento energético.

La Figura 65 compara el potencial de cada cultivo, es el de arroz el cultivo que en su proceso de cosecha presenta un desecho con un gran potencial energético, aun teniendo esta menor producción que el maíz.

Tabla 20 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Magdalena Centro.

CULTIVO	PRODUC. (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
MAÍZ	2745,7	rastrojo	0,934	2564,4838	14356	36.815.729	15,72
		tusa	0,27	741,339	14193	10.521.824	
		capacho	0,211	579,3427	15972	9.253.262	
ARROZ SECANO	2160	tamo	2,35	5076	13870	70.404.120	19,56
TOMATE	737	tallo, hoja	0,9	663,3	15190	10.075.527	2,80
FRIJOL	479	tallo, hoja	1,4	670,6	9001	6.036.071	1,68
HABICHUELA	428,25	tallo, hoja	1,4	599,55	9001	5.396.550	1,50
CILANTRO	111,9	tallo	0,45	50,355	9001	453.245	0,12
ARVEJA	63	tallo, hoja	1,4	88,2	9001	793.888	0,22
TOTAL						**149.750.216**	**41,60**

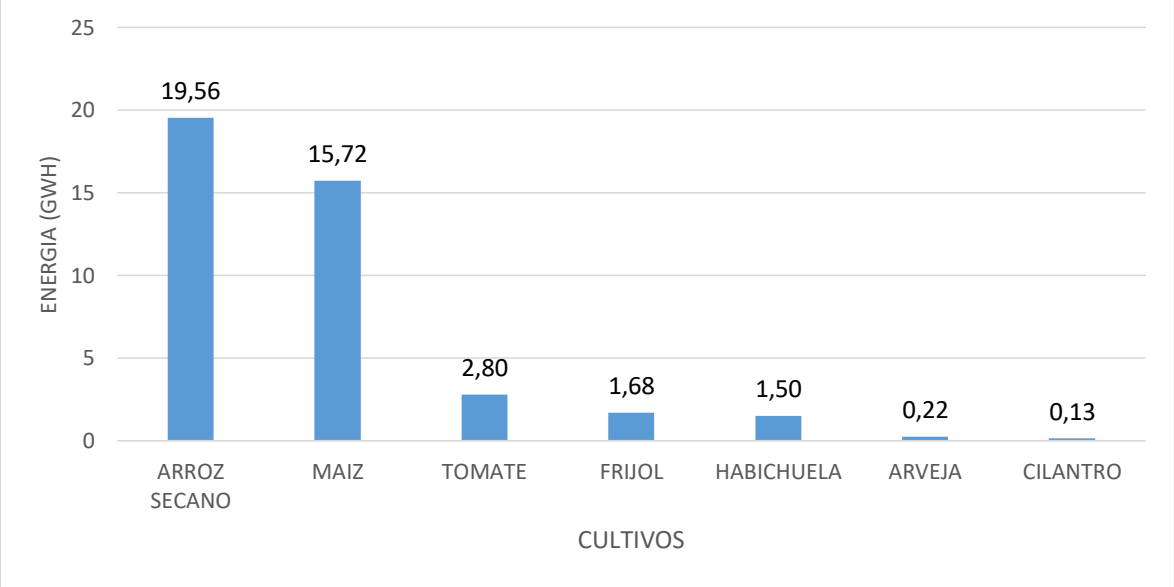


Figura 65 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Magdalena Centro.

Provincia de Medina

La distribución de cultivos transitorios para esta región es del 21% (Cundinamarca., 2014), y está representada por dos cultivos que son el arroz secano y el maíz. La Tabla 21 ilustra la producción, residuo y potencial energético de estos dos cultivos. Esta provincia cuenta con gran producción de arroz secano, siendo su residuo generado en procesos de cosecha viable para un aprovechamiento energético, además también se encuentra el maíz, que pese a no tener una gran producción en la provincia, también cuenta con tres desechos los cuales tienen buen potencial para una conversión energética.

Tabla 21 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Medina.

CULTIVO	PRODUC. (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
ARROZ SECANO	8358	tamo	2,35	19641,3	13870	272.424.831	75.67
MAIZ	878	rastrojo	0,934	820,052	14356	11.772.667	5.03
		tusa	0,27	237,06	14193	3.364.593	
		capacho	0,211	185,258	15972	2.958.941	
TOTAL						**290.521.031**	**80,70**

La Figura 66 representa gráficamente el potencial de estos dos cultivos en la provincia, puede observarse que el arroz, además de presentar mayor producción que el maíz, genera un residuo en el proceso de cosecha que representa un gran valor energético.

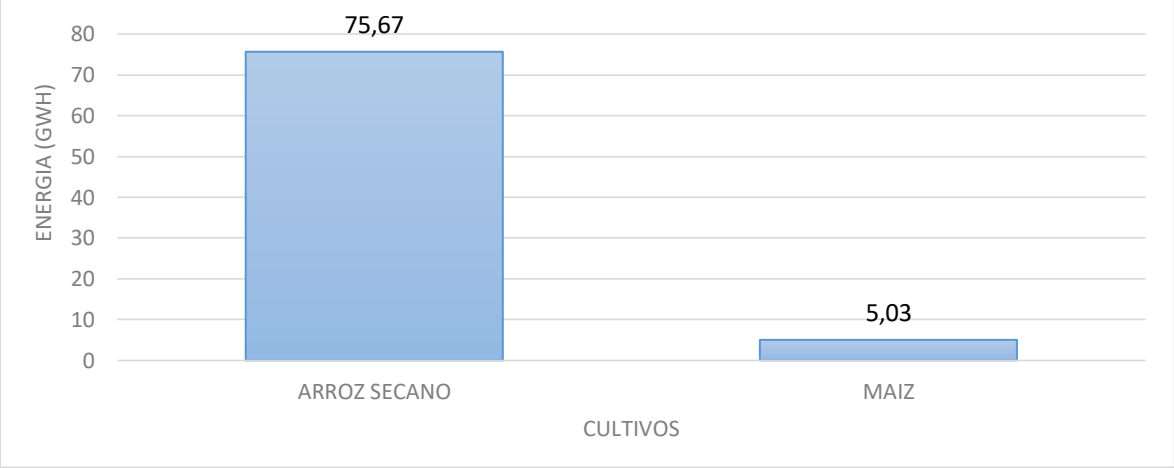


Figura 66 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Medina.

Provincia de Oriente

La provincia de oriente se destaca por tener una gran variedad en el cultivo de sus tierras, entre los cultivos que presenta esta provincia se destacan: la papa que es el cultivo con mayor producción, cebolla bulbo, tomate, habichuela y maíz (ver Tabla 22).

Tabla 22 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Oriente.

CULTIVO	PRODUC. (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
PAPA	109745	tallo, hoja	0,36	39508,2	9001	355613308,2	98,78
CEBOLLA BULBO	28984	tallo	0,45	13042,8	9001	117398242,8	32,61
TOMATE INVERNADERO	28020	tallo, hoja	0,9	25218	15190	383061420	106,40
HABICHUELA	18432,5	tallo, hoja	1,4	25805,5	9001	232275305,5	64,52
MAÍZ	10991,7	rastrojo	0,934	10266,2478	14356	147382253,4	62,93
		tusa	0,27	2967,759	14193	42121403,49	
		capacho	0,211	2319,2487	15972	37043040,24	
PAPA CRIOLLA	9327,5	tallo, hoja	0,36	3357,9	9001	30224457,9	8,39
TOMATE	9296,4	tallo, hoja	0,9	8366,76	15190	127091084,4	35,30
FRIJOL	7965,7	tallo, hoja	1,4	11151,98	9001	100378972	27,88
CILANTRO	7794	tallo	0,45	3507,3	9001	31569207,3	8,77
PIMENTON	7420	tallo, hoja	0,9	6678	9001	60108678	16,70
CEBOLLA	3510	tallo	0,45	1579,5	9001	14217079,5	3,95
PEPINO	3462	tallo, hoja	0,45	1557,9	9001	14022657,9	3,89
CALABAZA	2640	tallo, hoja	0,45	1188	9001	10693188	2,97
AHUYAMA	2490	tallo, hoja	0,45	1120,5	9001	10085620,5	2,80
ZANAHORIA	2453	tallo, hoja	0,45	1103,85	9001	9935753,85	2,76
ARVEJA	1327	tallo, hoja	1,4	1857,8	9001	16722057,8	4,64
HIERBABUENA	440	tallo	0,45	198	9001	1782198	0,49
CALABACÍN	322,5	tallo, hoja	0,45	145,125	9001	1306270,12	0,36
TOMILLO	258	tallo	0,45	116,1	9001	116,1	0,00
TOTAL						**1.743.032.315**	**484,18**

Los cultivos transitorios en la provincia de Oriente representan el 88% de la distribución de cultivos (Cundinamarca., 2014). En la Figura 67 se ilustra el potencial energético de cada cultivo, a pesar de que la producción cultivo de papa es mayor, no lo es su potencial, es por esta razón que para un aprovechamiento energético mediante este cultivo, es necesario grandes cantidades de residuo en su proceso de cosecha, que hace que sea inviable para un proyecto de conversión energética.

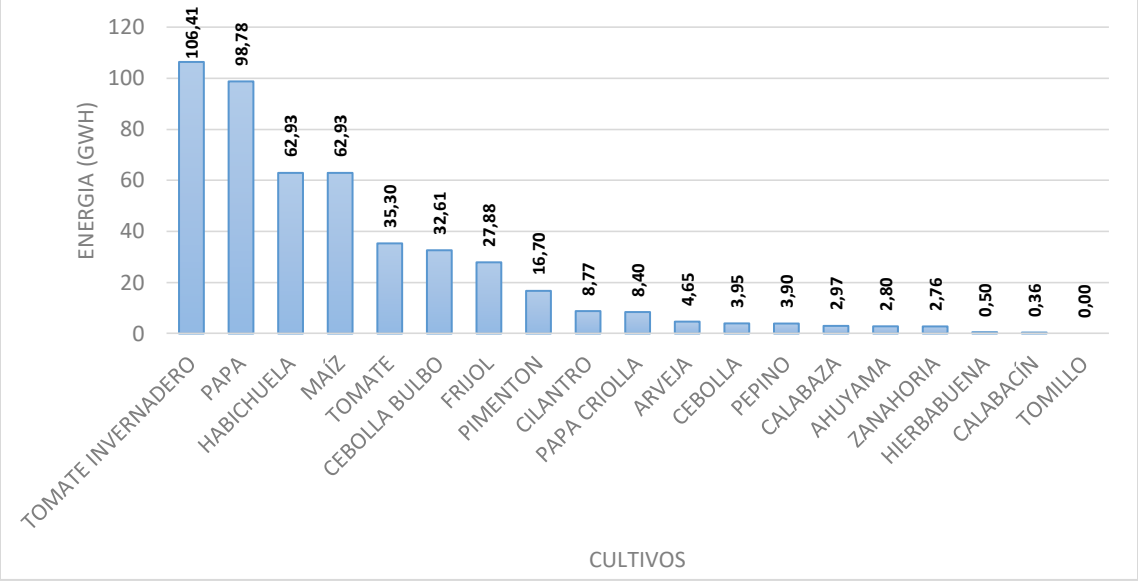


Figura 67 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Oriente.

Provincia de Rionegro

La distribución de cultivos para la provincia de Rionegro es de 24% en cuanto a cultivos transitorios (Cundinamarca., 2014). El cultivo de papa presenta una mayor producción, así mismo es su potencial energético mayor al de los demás cultivos. Por otro lado, el cultivo del maíz es el cuarto en cuanto a producción en la provincia, pero es el segundo cultivo viable para un aprovechamiento energético (Tabla 23).

Tabla 23 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Rionegro.

CULTIVO	PRODUC. (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
PAPA	55770	tallo, hoja	0,36	20077,2	9001	180.714.877	50,20
PAPA CRIOLLA	4170	tallo, hoja	0,36	1501,2	9001	13.512.301	3,75
TOMATE INVERNADERO	2766	tallo, hoja	0,9	2489,4	15190	37.813.986	10,50
MAÍZ	2087,8	rastrojo	0,934	1950,005	14356	27.994.275	11,95
		tusa	0,27	563,706	14193	8.000.679	
		capacho	0,211	440,526	15972	7.036.078	
FRIJOL	581	tallo, hoja	1,4	813,4	9001	7.321.413	2,03
ARVEJA	270,3	tallo, hoja	1,4	378,42	9001	3.406.158	0,95
HABICHUELA	204	tallo, hoja	1,4	285,6	9001	2.570.686	0,71
TOMATE	115	tallo, hoja	0,9	103,5	15190	1.572.165	0,44
TOTAL						**289.942.619**	**80,54**

En esta provincia el potencial energético del cultivo de la papa es considerablemente alto, todo debido a su gran volumen de producción y no a las propiedades energéticas del residuo. Se puede observar, cómo con el cultivo del maíz se logra un gran potencial energético, con una producción mucho menor y debido a las propiedades de los residuos de este cultivo. La Figura 68 ilustra el potencial energético de los cultivos de la provincia.

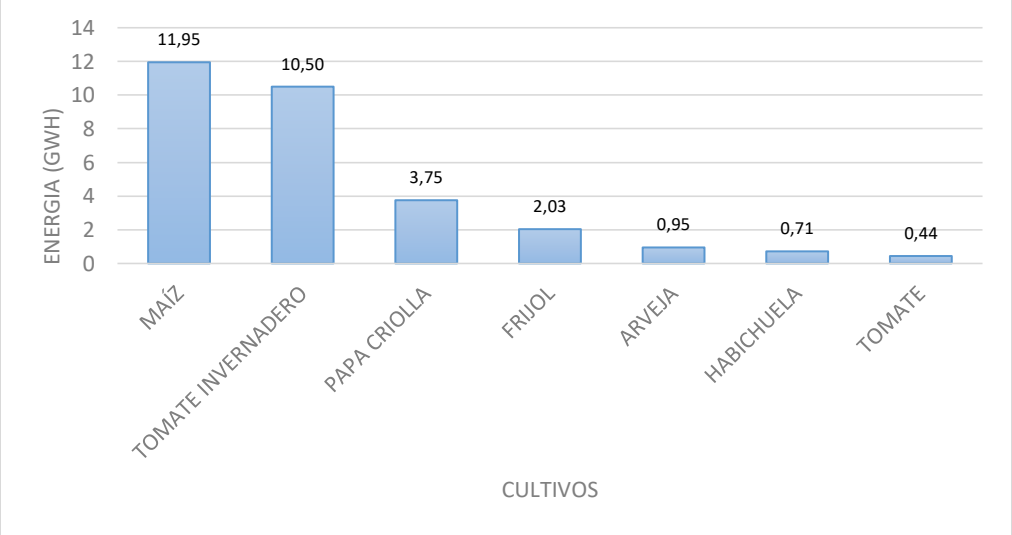


Figura 68 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Rionegro.

Provincia de Sabana Centro

La distribución de cultivos transitorios para la provincia de Sabana Centro representa 98% (Cundinamarca., 2014). Esta provincia se caracteriza por tener gran variedad de cultivos transitorios, entre los que se destacan: el cultivo de la papa por abarcar la mayor producción de la provincia, la lechuga representa el segundo cultivo en cuanto a producción y el cultivo de maíz como cuarto en cuanto a producción, ver Tabla 24.

Tabla 24 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Sabana Centro.

CULTIVO	PRODUC. (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
PAPA	93675,17	tallo, hoja	0,36	33723,061	9001	303.541.274	84,32
LECHUGA	9081,12	tallo	0,45	4086,504	9001	36.782.623	10,22
PLANTAS AROMÁTICAS	7549,16	tallo	0,45	3397,122	9001	30.577.495	8,49
MAÍZ	6081,255	rastrojo	0,934	5679,892	14356	81.540.532	34,82
		tusa	0,27	1641,939	14193	23.304.038	

		capacho	0,211	1283,145	15972	20.494.389	
ZANAHORIA	6029,7	tallo, hoja	0,45	2713,365	9001	24.422.998	6,78
CILANTRO	2983,8	tallo	0,45	1342,71	9001	12.085.733	3,36
COLIFLOR	2785,2	tallo, hoja	0,45	1253,34	9001	11.281.313	3,13
ACELGA	1087	tallo	0,45	489,15	9001	4.402.839	1,22
ARVEJA	1052,25	tallo, hoja	1,4	1473,15	9001	13.259.823	3,68
AJO	958,568	tallo	0,45	431,355	9001	3.882.632	1,08
CEBOLLA BULBO	944	tallo	0,45	424,8	9001	3.823.625	1,06
BROCOLI	849,5	tallo, hoja	0,45	382,275	9001	3.440.857	0,96
REMOLACHA	712	tallo, hoja	0,3	213,6	15190	3.244.584	0,90
PEREJIL	621,4	tallo	0,45	279,63	9001	2.516.950	0,70
RABANO	358,4	tallo	0,45	161,28	9001	1.451.681	0,40
TOMATE INVERNADERO	221,55	tallo, hoja	0,9	199,395	15190	3.028.810	0,84
TOTAL						**583.082.196**	**161,97**

La Figura 69 ilustra gráficamente el potencial energético de cada cultivo, en el cual se puede observar como el maíz alcanza un gran potencial energético aun siendo el cuarto cultivo en cuanto a producción en la provincia, esto debido a las propiedades los tres desechos que resultan del proceso de la cosecha.

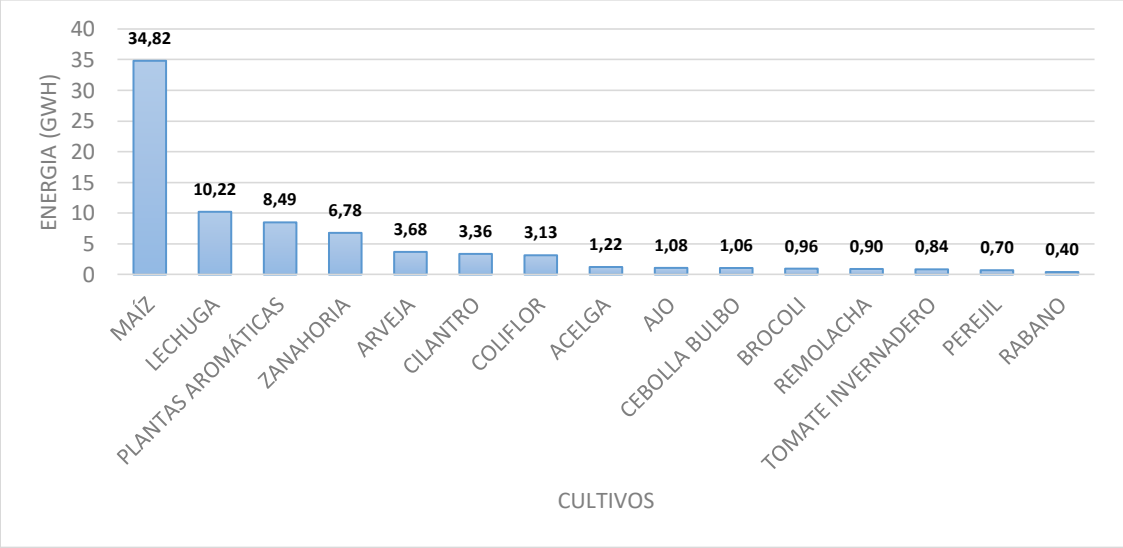


Figura 69 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Sabana Centro.

Provincia de Sabana Occidente

Esta provincia cuenta con una distribución de cultivos transitorios que corresponde al 98% (Cundinamarca., 2014). La provincia de Sabana Occidente produce un total de 8 cultivos transitorios que se caracterizan por tener una gran producción, entre los que se destacan: el cultivo de papa con la mayor producción, zanahoria

como segundo lugar, y el maíz como sexto lugar en cuanto a producción, ver Tabla 25.

Tabla 25 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Sabana Occidente.

CULTIVO	PRODUCCION (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
PAPA	86948	tallo, hoja	0,36	31301,28	9001	281.742.821	78,26
ZANAHORIA	42221	tallo, hoja	0,45	18999,45	9001	171.014.049	47,50
LECHUGA	34916,5	tallo	0,45	15712,425	9001	141.427.537	39,28
REPOLLO	17068	follaje, tallo	0,45	7680,6	9001	69.133.081	19,20
PAPA CRIOLLA	15111,25	tallo, hoja	0,36	5440,05	9001	48.965.890	13,60
MAÍZ	12935	rastrojo	0,934	12081,29	14356	173.438.999	74,05
		tusa	0,27	3492,45	14193	49.568.343	
		capacho	0,211	2729,285	15972	43.592.140	
ARVEJA	9071	tallo, hoja	1,4	12699,4	9001	114.307.299	31,75
CALABAZA	4698	tallo, hoja	0,45	2114,1	9001	19.029.014	5,28
TOTAL						**1.112.219.174**	**308,95**

La Figura 70 ilustra el potencial energético de cada cultivo.

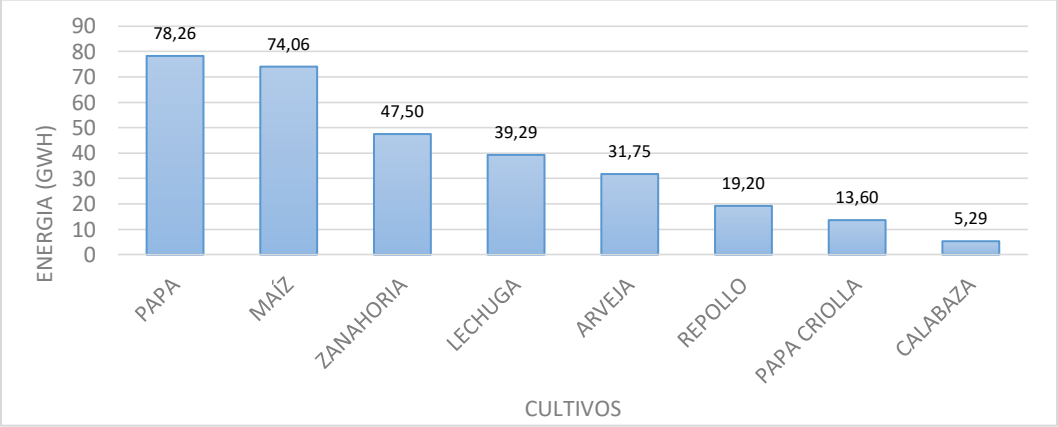


Figura 70 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Sabana Occidente.

Se puede observar el cultivo del maíz con un gran potencial energético, en comparación con los demás cultivos que tienen una mayor producción, así se ve la viabilidad de implementar el cultivo del maíz como fuente para un aprovechamiento energético de la biomasa primaria agrícola generada en los procesos de cosecha.

Provincia de Soacha

La distribución de cultivos transitorios para la provincia de Soacha está representada por el 92%. De estos cultivos se destacan papa, arveja y zanahoria,

siendo el cultivo de la papa el cual presenta una mayor producción, en comparación con los demás cultivos, ver Tabla 26.

Tabla 26 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Soacha.

CULTIVO	PRODUCCION (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
PAPA	61545	tallo, hoja	0,36	22156,2	9001	199.427.956	55,40
ARVEJA	605	tallo, hoja	1,4	847	9001	7.623.847	2,12
ZANAHORIA	815	tallo, hoja	0,45	366,75	9001	3.301.117	0,92
APIO	518	tallo	0,45	233,1	9001	2.098.133	0,58
LECHUGA	430	tallo	0,45	193,5	9001	1.741.694	0,48
BROCOLI	266	tallo, hoja	0,45	119,7	9001	1.077.420	0,30
ACELGA	131	tallo	0,45	58,95	9001	530.609	0,15
COLIFLOR	54	tallo, hoja	0,45	24,3	9001	218.724	0,06
REPOLLO	36	follaje, tallo	0,45	16,2	9001	145.816	0,04
PAPA CRIOLLA	700	tallo, hoja	0,36	252	9001	9.001	0,00
TOTAL						**216.174.317**	**60,05**

La Figura 71 ilustra gráficamente el potencial energético de cada cultivo transitorio en la provincia.

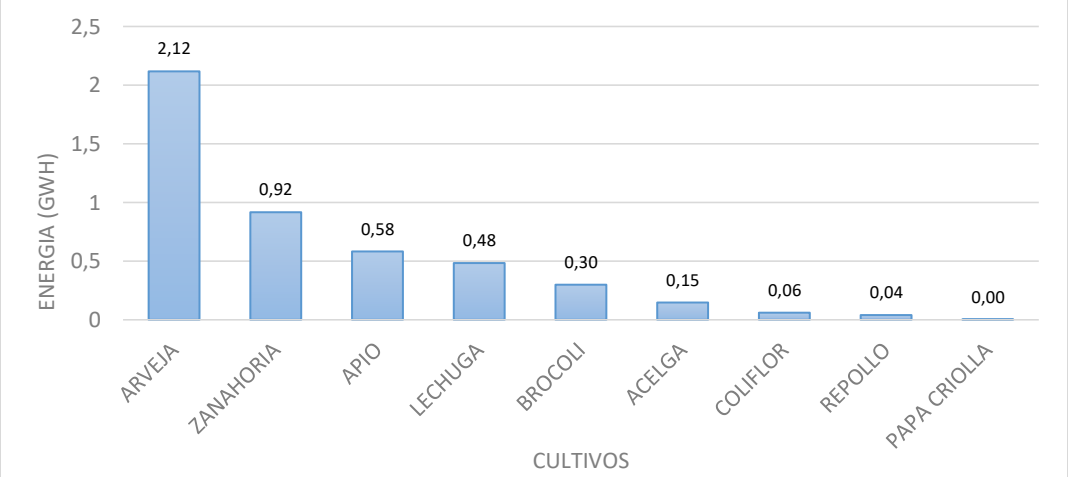


Figura 71 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Soacha.

Se puede analizar que es el cultivo de la papa el único que presenta un gran potencial energético, pero como se dijo anteriormente, este cultivo debido a su gran volumen de producción se hace inviable para la implementación como

aprovechamiento energético, ya que se requieren grandes cantidades de biomasa, producto del proceso de cosecha.

Provincia de Sumapaz

La distribución de cultivos transitorios en la provincia de Sumapaz corresponde al 51% (Cundinamarca., 2014). La Tabla 27 muestra la producción de los diferentes cultivos transitorios de esta provincia, los desechos y el potencial energético de cada uno.

Tabla 27 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Sumapaz.

CULTIVO	PRODUC. (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
PAPA	27490	tallo, hoja	0,36	9896,4	9001	89.077.496	24,74
FRIJOL	12451	tallo, hoja	1,4	17431,4	9001	156.900.031	43,58
MAÍZ	8752	rastrojo	0,934	8174,368	14356	117.351.227	50,11
		tusa	0,27	2363,04	14193	33.538.627	
		capacho	0,211	1846,672	15972	29.495.045	
HABICHUELA	8525	tallo, hoja	1,4	11935	9001	107.426.935	29,84
ARVEJA	5971	tallo, hoja	1,4	8359,4	9001	75.242.959	20,90
TOMATE	5694	tallo, hoja	0,9	5124,6	15190	77.842.674	21,62
ZANAHORIA	4400	tallo, hoja	0,45	1980	9001	17.821.980	4,95
CEBOLLA BULBO	3750	tallo	0,45	1687,5	9001	15.189.188	4,22
PAPA CRIOLLA	2025	tallo, hoja	0,36	729	9001	6.561.729	1,82
PEPINO COHOMBRO	1989,5	tallo, hoja	0,45	895,275	9001	8.058.370	2,24
TOMATE INVERNADERO	1723	tallo, hoja	0,9	1550,7	15190	23.555.133	6,54
GUATILA	1260	tallo, hoja	0,45	567	9001	5.103.567	1,42
CEBOLLA LARGA	525	tallo	0,45	236,25	9001	2.126.486	0,59
PEPINO	432	tallo, hoja	0,45	194,4	9001	1.749.794	0,49
TOTAL						**767.041.243**	**213,07**

El cultivo de papa nuevamente es el de mayor producción. En tercer lugar aparece el cultivo de maíz y como se analizó anteriormente, es el cultivo del maíz el cual

tiene viabilidad para una aplicación de conversión energética. A pesar de las características en cuanto a los residuos generados por cada uno de los cultivos, estos son similares ya que incluyen tallos y hojas, pero sus propiedades energéticas varían y son estas propiedades las que hacen que el cultivo de maíz sea una gran fuente para un aprovechamiento de conversión energética.

La Figura 72 muestra gráficamente el potencial energético que tiene cada cultivo, esta vez es el cultivo del maíz el cual tiene mejor potencial energético, pese a no tener la mayor producción en la provincia.

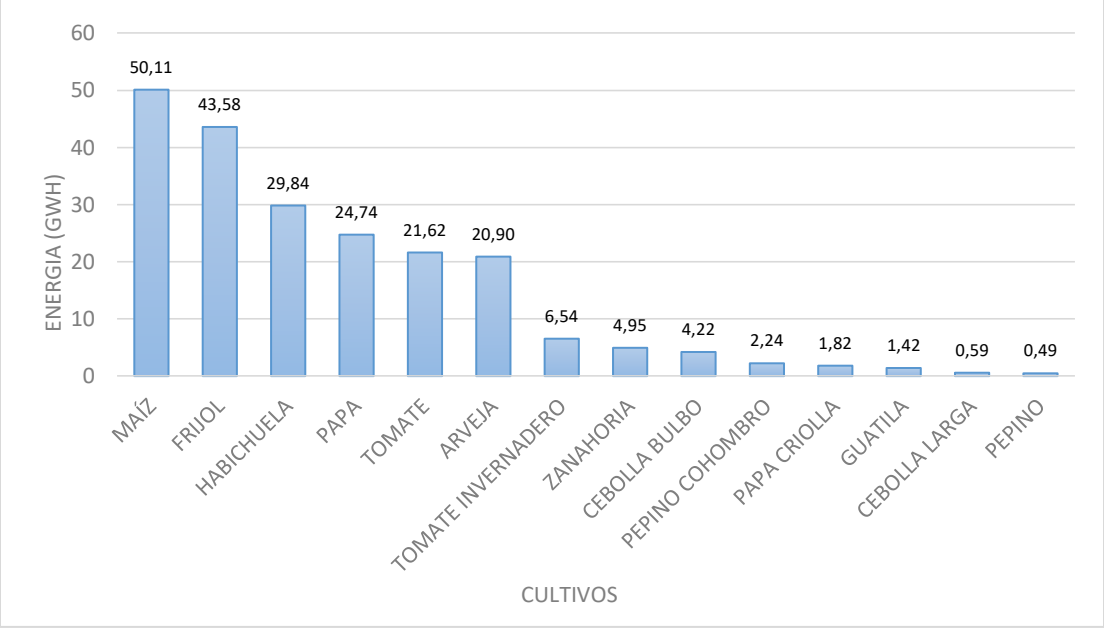


Figura 72 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Sumapaz.

Provincia del Tequendama

Para la Provincia del Tequendama se tiene una distribución de cultivos transitorios que corresponde a seis cultivos, de los cuales se destaca el maíz, los cultivos transitorios para la Provincia del Tequendama corresponden a solo el 9%.

La Tabla 28 muestra la producción de cada cultivo transitorio en la provincia, siendo el maíz el único viable para conversión energética debido a su producción y potencial. Además puede apreciarse en la Figura 73 cómo el potencial energético del maíz es muy superior al de los demás cultivos en la provincia.

Tabla 28 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la Provincia del Tequendama.

CULTIVO	PRODUCCION (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
MAÍZ	12739	rastrojo	0,934	11898,226	14356	170.810.932	72,93
		tusa	0,27	3439,53	14193	48.817.249	
		capacho	0,211	2687,929	15972	42.931.602	
HABICHUELA	5170	tallo, hoja	1,4	7238	9001	65.149.238	18,10
TOMATE	1596	tallo, hoja	0,9	1436,4	15190	21.818.916	6,06
ARVEJA	625	tallo, hoja	1,4	875	9001	7.875.875	2,19
AROMATICAS	469	tallo	0,45	211,05	9001	1.899.661	0,53
FRIJOL	42	tallo, hoja	1,4	58,8	9001	529.259	0,15
TOTAL						**359.832.733**	**99,95**

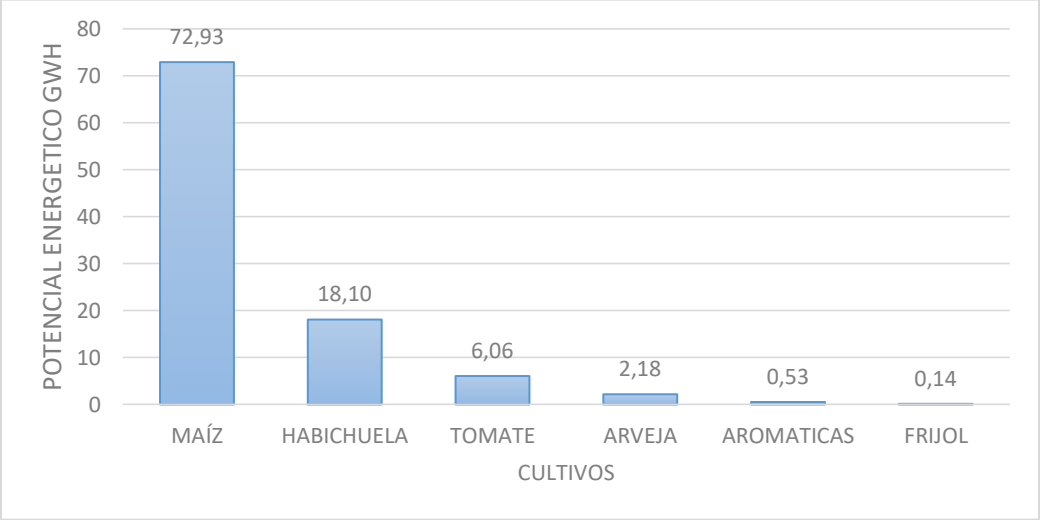


Figura 73 Potencial energético cultivos transitorios, Provincia del Tequendama.

Provincia de Ubaté

La provincia de Ubaté se caracteriza por ser el mayor productor de papa en el departamento de Cundinamarca, con una producción de 430.716 toneladas anuales. Ubaté cuenta con una distribución de cultivos transitorios que corresponden 96%. En la Tabla 29 se aprecia la producción de todos los cultivos, donde los principales cultivos son los de papa y maíz.

Tabla 29 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en la provincia de Ubaté.

CULTIVO	PRODUC. (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
PAPA	430716	tallo, hoja	0,36	155057,76	9001	1.395.674.898	387,69
MAÍZ	8872	rastrojo	0,934	8286,448	14356	118.960.247	50,79
		tusa	0,27	2395,44	14193	33.998.480	
		capacho	0,211	1871,992	15972	29.899.456	
ZANAHORIA	5921	tallo, hoja	0,45	2664,45	9001	23.982.714	6,66
CEBOLLA BULBO	1598	tallo	0,45	719,1	9001	6.472.619	1,80
ARVEJA	1455	tallo, hoja	1,4	2037	9001	18.335.037	5,09
CEBOLLA LARGA	624	tallo	0,45	280,8	9001	2.527.481	0,70
PAPA CRIOLLA	370	tallo, hoja	0,36	133,2	9001	1.198.933	0,33
CEBADA	215	paja	0,5	107,5	15549	1.671.518	0,46
TOMATE	153	tallo, hoja	0,9	137,7	15190	2.091.663	0,58
TOMATE INVERNADERO	140	tallo, hoja	0,9	126	15190	1.913.940.	0,53
HABA	125	tallo, hoja	0,45	56,25	9001	506.306	0,14
TOTAL						**1.637.233.293**	**454,79**

Se observa un buen potencial energético del cultivo de papa, todo debido a la gran producción que presenta el cultivo. Nuevamente el mejor cultivo para una conversión energética es el cultivo de maíz, por las propiedades de la biomasa primaria, resultado del proceso de cosecha.

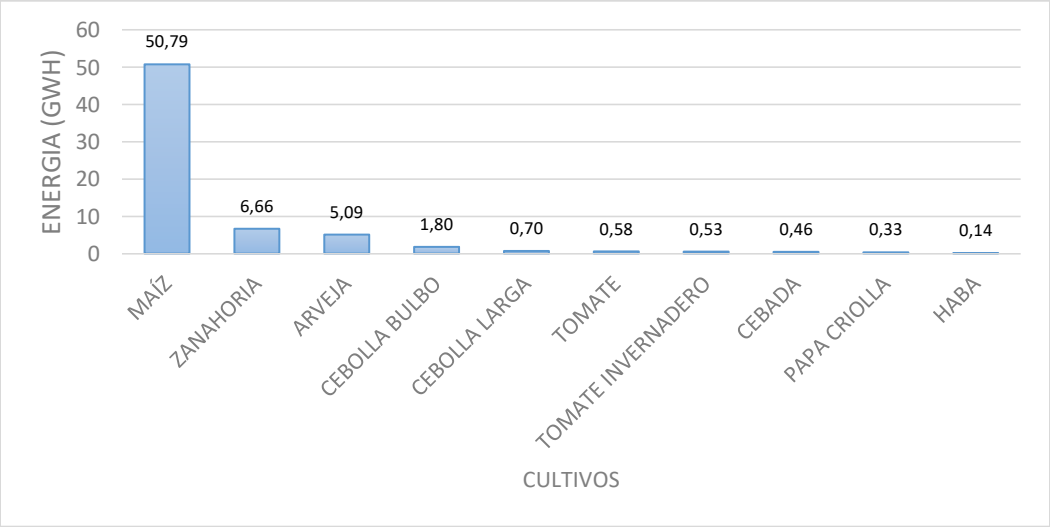


Figura 74 Potencial energético cultivos transitorios, provincia de Ubaté.

4.2.4. Biomasa agrícola cultivos permanentes

Como se mencionó en la sección anterior, los cultivos permanentes son aquellos que una vez plantados pueden durar varios años en producción (la misma planta), con una o varias cosechas al año. De esta manera en la Tabla 30 de puede observar la producción, el factor de residuo de cada producto, la biomasa agrícola total y finalmente el potencial energético en GWh de la región de Cundinamarca.

Tabla 30 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en el departamento de Cundinamarca.

CULTIVO	PRODUC. (Ton)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
AGUACATE	3386	hojas	0,9	3.047	8.995,60	27.413.191,44	7,61
AROMATICAS	1416	tallos, hojas	0,45	637	8.995,60	5.731.996,32	1,59
BANANO	121808	raquis	1	121808	7.568,86	921.947.211,65	1.694,43
		vástago	5	609040	8.501,89	5.177.989.867,52	
CACAO	2628	hojas	0,45	1182,6	8.995,60	10.638.196,56	2,96
CADUCIFOLIOS	1780	hojas	0,45	801	9.001,00	7.209.801,00	2,00
CAÑA PANELERA	183229	hojas y cogollo	3,75	687108,75	15.413,86	10.590.995.328,84	2.941,94
CAFÉ	42430	tallos, hojas	3,02	128138,6	18.342,66	2.350.402.260,12	652,89
CITRICOS	61321	hojas	1,8	110377,8	12.560,37	1.386.385.787,03	385,11
CURUBA	39	tallos, hojas	0,9	35,1	8.995,60	315.745,56	0,09
FRESA	25578	tallos, hojas	0,9	23020,2	8.995,60	207.080.511,12	57,52
GRANADILLA	1975	tallos, hojas	0,9	1777,5	8.995,60	15.989.679,00	4,44
GUANÁBANA	1187	hojas	0,9	1068,3	8.995,60	9.609.999,48	2,67
GUAYABA	3748	tallos, hojas	0,9	3373,2	8.995,60	30.343.957,92	8,43
LULO	710	tallos, hojas	1,8	1278	12.560,37	16.052.150,30	4,46
MANGO	68170	tallos, hojas	0,9	61353	8.995,60	551.907.046,80	153,31
GULUPA	1791	tallos, hojas	0,9	1611,9	8.995,60	14.500.007,64	4,03
MARACUYA	1662	tallos, hojas	0,9	1495,8	8.995,60	13.455.618,48	3,74
MORA	25108	hojas, tallos	0,9	22597,2	8.995,60	203.275.372,32	56,47
PALMA DE ACEITE	79357	raquis	1,06	84118,42	16.823,86	1.415.196.857,97	393,11
PIÑA	8994		0,9	8094,6	12.560,37	101.671.154,81	28,24
PITAYA	372	tallos, hojas	0,9	334,8	12.560,37	4.205.211,21	1,17
PLATANO	55655	raquis	1	55655	7.568,86	421.244.680,68	774,20
		vástago	5	278275	8.501,89	2.365.862.883,20	
TOMATE DE ARBOL	38421	tallos, hojas	0,9	34578,9	8.995,60	311.057.952,84	86,40
UCHUVA	2072	tallos, hojas	0,9	1864,8	8.995,60	16.774.994,88	4,66
ZAPOTE	70	hojas	0,9	63	8.995,60	566.722,80	0,16
TOTAL							**7271,62**

El potencial de energía que tienen todos los cultivos permanentes en la región es equivalente a 7.271,61 GWh, casi tres veces del potencial de energía de cultivos transitorios, esto se debe a que los cultivos permanentes poseen un mayor poder calorífico debido al tipo de residuo generado.

En la Figura 75 se puede determinar que las provincias que tiene mayor potencial energético son: Magdalena Centro con 1883,82 GWh, seguida de Gualivá con 1818,96 GWh, Bajo Magdalena con 893,07 GWh, Tequendama con 851,51 GWh, Rionegro con 653, 81 GWh y Medina con 478,02 GWh que se encuentran por encima de 500 GWh. Los que poseen un potencial energético moderado son las provincias de Sumapaz con 249,51 GWh y Alto Magdalena con 230,74 GWh. Las provincias de menor Potencial de energía, que se encuentran por debajo de la escala de 100 GWh, son Guavio, Oriente, Soacha, Sabana Occidente, Sabana Centro y Ubaté.

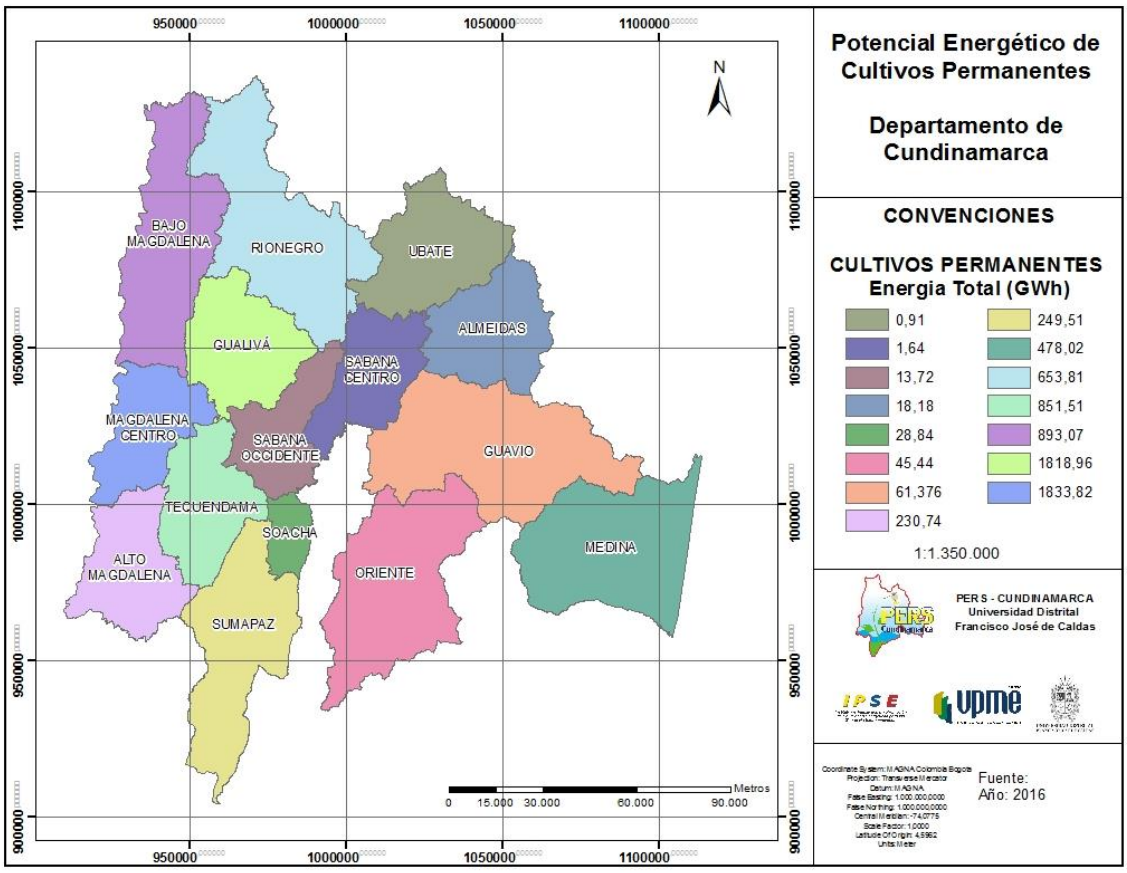


Figura 75 Mapa de potencial energético de cultivos permanentes en el departamento de Cundinamarca.

En la Figura 76 se encuentran todos los productos permanentes cosechados en la región que pueden ser aprovechados para fines energéticos. Entre ellos los de mayor potencial energético es la caña panelera con 2941,44 GWh representando el 40,45% de los cultivos totales. El banano es el segundo producto con mayor potencial con 1694,43 GWh de energía. Los productos agrícolas que pueden ser aprovechados para fines energéticos con un moderado grado de potencial son el

plátano, café y palma de aceite con 774,20 GWh, 652,89 GWh y 393,11 GWh respectivamente. Los productos agrícolas de menor potencial energético son los cítricos, frutas, cacao y plantas como caducifolios y aromáticas.

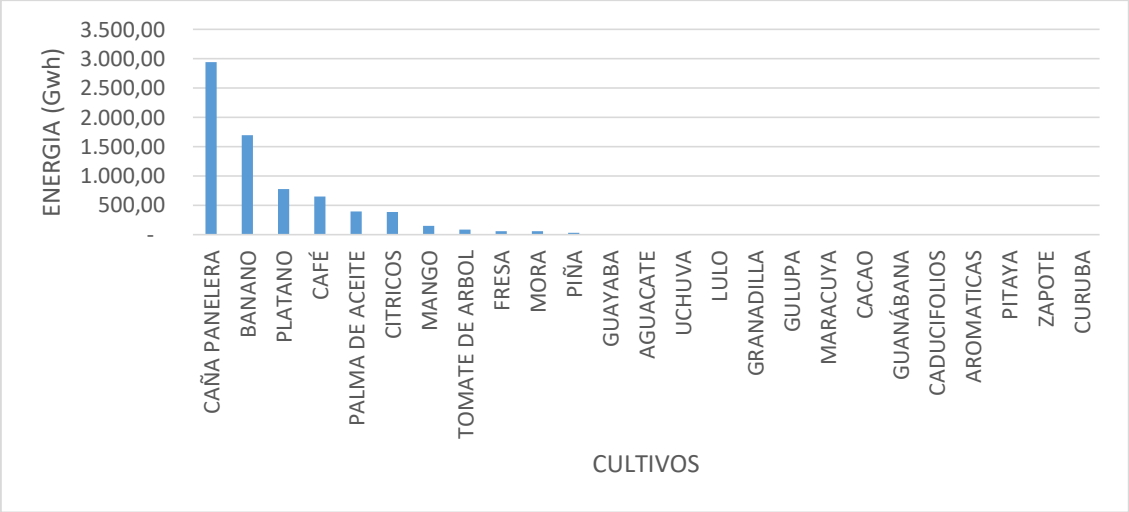


Figura 76 Potencial energético de Cultivos Permanentes en el departamento de Cundinamarca.

Provincia de Almeidas

La distribución en esta provincia corresponde 7% para cultivos permanentes (Cundinamarca., 2014). En la Tabla 31 se puede observar la cantidad de desecho orgánico generado por cada producto agrícola permanente y el potencial energético que se puede obtener.

Tabla 31 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la provincia de Almeidas.

CULTIVO	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RESIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
FRESA	2310	tallos, hojas	0,9	2.079,00	8.995,60	18.701.852,40	5,1949
CAFÉ	654	tallos, hojas	3,02	1.975,08	8.995,60	17.767.029,65	4,93528
CAÑA DE AZUCAR PARA MIEL	342	hojas y cogollo	3,26	1.114,92	15.413,8	17.185.216,33	4,7736
DURAZNO	179	hojas	0,91	162,89	8.995,60	1.465.293,28	0,40702
AGUACATE	128	hojas	0,9	115,20	8.995,60	1.036.293,12	0,28785
PLATANO	108	raquis	1	108,00	7.568,86	817.436,45	1,50234
		vástago	5	540,00	8.501,89	4.591.019,52	
TOMATE DE ARBOL	87,5	tallos, hojas	0,9	78,75	8.995,60	708.403,50	0,1967787
MORA	61	hojas, tallos	0,9	54,90	8.995,60	493.858,44	0,13718

CITRICOS	53	hojas	1,8	95,40	12.560,3	1.198.259,11	0,33284
CAÑA PANELERA	24	hojas y cogollo	3,75	90,00	15.413,8	1.387.247,04	0,38534
FEIJOA	7	tallos, hojas	0,9	6,30	12.560,3	79.130,32	0,02198
TOTAL							**18,18**

En la Figura 77 se ilustra cada potencial energético partiendo de los productos permanentes agrícolas en esta provincia.

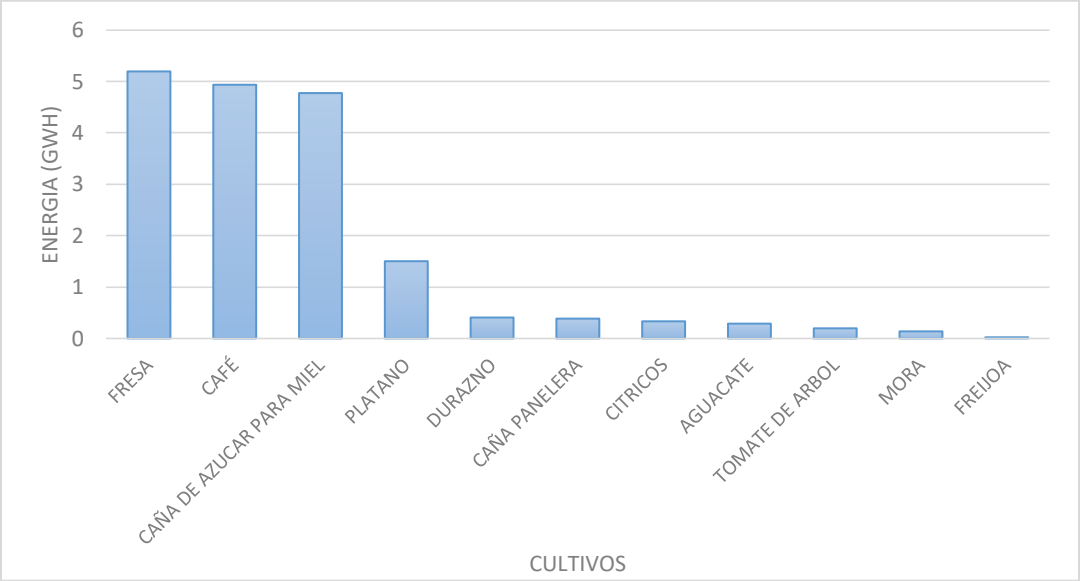


Figura 77 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Almeidas.

El total de energía para esta provincia corresponde a 18,18 GWh siendo de las provincias con menor potencial de energía para este tipo de cultivos. El producto con mayor nivel de potencial energético es la fresa, esta fruta cuenta con una masa residual total de 2079 toneladas, lo que equivale a una energía de 5,19 GWh. Los siguientes cultivos con mayor potencial energético son el café y la caña de azúcar con 4,93 GWh y 4,77 GWh respectivamente.

Provincia de Alto Magdalena

Los cultivos permanentes para esta provincia corresponden a 37% (Cundinamarca., 2014). En la Tabla 32 se observan todos los cultivos agrícolas permanentes, así mismo la masa residual agrícola total y finalmente su energía en GWh. Para esta provincia la energía total sería de 230,74 GWh. De la tabla se puede determinar que el mango es el producto agrícola con mayor potencial 99,34

GWh de energía obtenida a partir de la masa residual total que posee esta fruta. Cuenta también con una mayor producción de cosecha con 15819,5 toneladas.

Para esta provincia los cultivos de mayor aprovechamiento energético son: la caña, el café, el plátano y el banano, ya que estos en estos productos la masa residual orgánica contiene un alto poder calorífico, pero debido a su poca cosecha no representa un alto porcentaje de energía.

Tabla 32 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia de Alto Magdalena.

CULTIVO	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RESIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
MANGO	15819,5	tallos, hojas	1,8	28.475,10	12.560,37	357.657.734,8	99,3493707
CITRICOS	7987	hojas	1,8	14.376,60	12.560,37	180.575.386,5	50,1598296
CAFÉ	1913,26	tallos, hojas	3,02	5.778,05	18.342,66	105.984.695,4	29,4401931
PLATANO	1821,5	raquis	1	1.821,50	7.568,86	13.786.671,20	25,3382267
		vástago	5	9.107,50	8.501,89	77.430.944,96	
BANANO	994	raquis	1	994,00	7.568,86	7.523.442,86	13,8271739
		vástago	5	4.970,00	8.501,89	42.254.383,36	
CAÑA	783	hojas y cogollo	3,26	2.552,58	15.413,86	39.345.100,55	10,9291946
CACAO	430	hojas	1	430,00	8.995,60	3.868.108,00	1,07447444
AGUACATE	190	hojas	0,9	171,00	8.995,60	1.538.247,60	0,427291
ZAPOTE	70	hojas	0,9	63,00	8.995,60	566.722,80	0,157423
PAPAYA	10,8	tallos, hojas	0,9	9,72	12.560,37	122.086,78	0,03391299
TOTAL							**230,74**

En la Figura 78 se observa que el mango es el cultivo de mayor potencial, seguido de los cítricos, ya que son los de mayor cosecha pero no por el grado energético que contienen sus residuos.

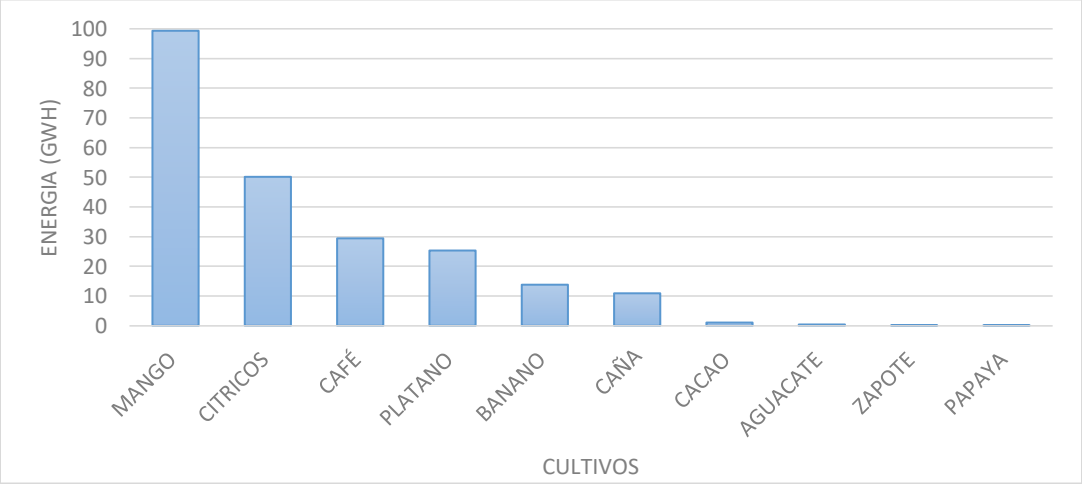


Figura 78 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Alto Magdalena.

Los de menor potencial son el cacao, aguacate, zapote y papaya siendo los cultivos de menor producción en la provincia y de menor contenido energético en sus residuos.

Provincia de Bajo Magdalena

Los cultivos permanentes para esta provincia representan el 84% de los cultivos totales (Cundinamarca., 2014), con una producción de 56.442,73 toneladas y una biomasa total de 213.597,397 toneladas se obtiene una energía de 893,07 GWh. En la Tabla 33 se observan todos los productos agrícolas cosechados en la provincia y su total aprovechamiento energético.

Tabla 33 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia de Bajo Magdalena.

CULTIVO	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RESIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
CAÑA PANELERA	51757,5	hojas y cogollo	3,75	194.090,63	15.413,86	2.991.684.944,70	831,02
PLÁTANO	2164	raquis	1	2.164,00	7.568,86	16.379.004,38	30,10
		vástago	5	10.820,00	8.501,89	91.990.428,16	
CAFÉ	1994,6	tallos, hojas	3,02	6.023,69	18.342,66	110.490.510,21	30,69
AGUACATE	275,5	hojas	0,9	247,95	8.995,60	2.230.459,02	0,62
CACAO	251,13	hojas	1	251,13	8.995,60	2.259.065,03	0,63
TOTAL							**893,07**

En la Figura 79 se observa que la caña panelera es el cultivo de mayor potencial energético debido a que tiene alta producción de cosecha y al gran valor energético que posee su desecho.

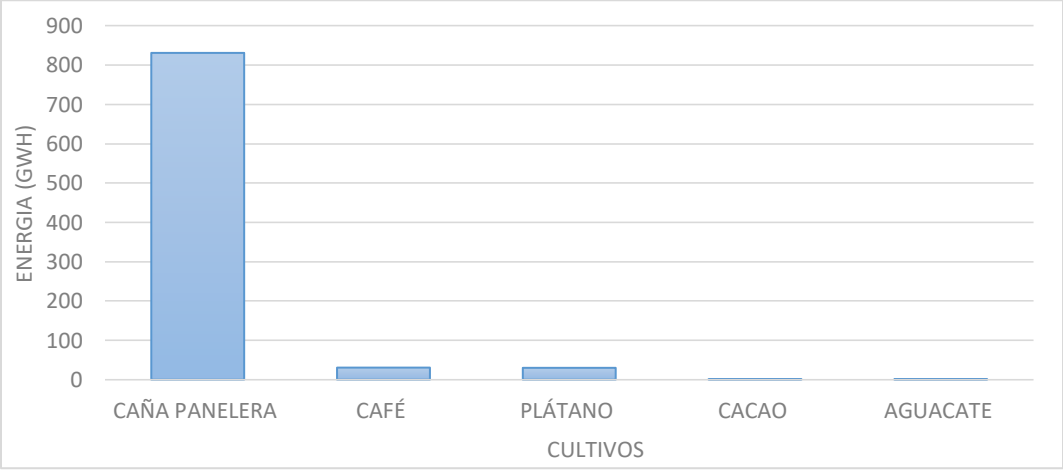


Figura 79 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Bajo Magdalena.

La caña es uno de los grandes cultivos que puede ser aprovechado para fines energético debido a su alta concentración de energía. Representa el 93,04 % de la energía total que se puede obtener en la provincia. De igual modo los residuos del café y del plátano también contienen grandes cantidades de energía que puede ser aprovechada pero para esta provincia el potencial energético es bajo debido a la escasa producción que allí se tiene.

Provincia de Gualivá

Los cultivos permanentes representan el 96% (Cundinamarca., 2014) de los tipos de cultivos, el total de energía obtenida de toda la masa residual agrícola para esta provincia corresponde a 1.818,96 GWh siendo la segunda provincia con mayor potencial energético para este tipo de cultivo (cultivo permanente), después de Magdalena Centro. En la Tabla 34 se puede observar cada producto agrícola con su respectiva biomasa total y finalmente el potencial energético.

Tabla 34 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la provincia de Gualivá.

CULTIVO	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RESIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
CAÑA PANELERA	88922,2	hojas y cogollo	3,75	333.458,25	15.413,86	5.139.877.447	1.427,74
PLÁTANO	16552	raquis	1	16.552,00	7.568,86	125.279.704,51	230,25
		vástago	5	82.760,00	8.501,89	703.616.250,88	
CAFÉ	7887,85	tallos, hojas	3,02	23.821,31	18.342,66	436.946.039,77	121,37
CÍTRICOS	4711	hojas	1,8	8.479,80	12.560,37	106.509.408,57	29,59
FRESA	3000	tallos, hojas	0,9	2.700,00	8.995,60	24.288.120,00	6,75
NARANJA	360	hojas, tallos	1,8	648,00	12.560,37	8.139.118,46	2,26
AGUACATE	325	hojas	0,9	292,50	8.995,60	2.631.213,00	0,73
CACAO	64,42	hojas	1	64,42	8.995,60	579.496,55	0,16
GUANABANA	36	hojas	0,9	32,40	12.560,37	406.955,92	0,11
TOTAL							**1.818,96**

En la Figura 80 se puede observar que el cultivo con mayor potencial energético es la caña panelera, este producto cuenta con una energía de 1.427,74 GWh. Como se mencionó anteriormente, los desechos de la caña tienen un elevado poder calorífico; además, en esta provincia se cuenta con grandes cosechas de este cultivo, lo que eleva su potencial energético respecto a las demás provincias.

Los desechos con altos valores energéticos que pueden ser aprovechados energéticamente en esta provincia son el café y plátano, pero debido a su mínima producción se reduce el alcance de estos productos agrícolas.

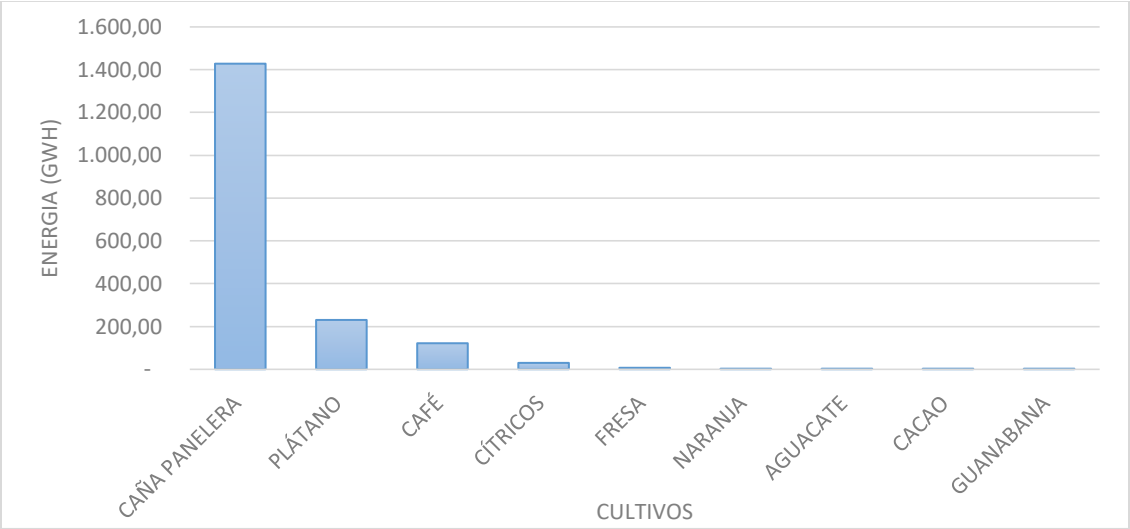


Figura 80 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Gualivá.

Provincia de Guavio

Los cultivos permanentes representan el 26% de los tipos de cultivo (Cundinamarca., 2014), que equivalen a 61,37 GWh, esta energía es obtenida del total de biomasa residual agrícola, equivalente a 15.283,53 toneladas. En la Tabla 35 se observan todos los cultivos cosechados en la provincia con sus respectivos desechos orgánicos y su posible energía. Debido a que la mayoría de los productos agrícolas sembrados en esta provincia son frutas y vegetales se obtiene un potencial energético muy inferior, ya que la insuficiencia calorífica de estos desechos orgánicos no genera un elevado potencial.

Tabla 35 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la provincia de Guavio.

CULTIVO	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RESIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
CAÑA PANELERA	2864,35	hojas y cogollo	3,75	10.741,31	15.413,86	165.565.044,13	45,990290
CAÑA DE AZUCAR	343,75	hojas y cogollo	3,26	1.120,63	15.413,86	17.273.152,38	4,7980978
CAFÉ	258,92	tallos, hojas	3,02	781,94	18.342,66	14.342.827,08	3,9841186
FRESA	1755	tallos, hojas	0,9	1.579,50	8.995,60	14.208.550,20	3,9468195
MORA	863	hojas, tallos	0,9	776,70	8.995,60	6.986.882,52	1,9408007
UCHUVA	135	tallos, hojas	0,9	121,50	8.995,60	1.092.965,40	0,3036015
TOMATE DE ÁRBOL	104	tallos, hojas	0,9	93,60	8.995,60	841.988,16	0,2338856
MANZANA	20,9	hojas	1,8	37,62	8.995,60	338.414,47	0,0940040

LULO	4,5	tallos, hojas	1,8	8,10	12.560,37	101.738,98	0,0282608
AROMÁTICAS	20,16	tallos, hojas	0,45	9,07	8.995,60	81.608,08	0,0226689
CACAO	6	hojas	1	6,00	8.995,60	53.973,60	0,0149926
AGUACATE	6	hojas	0,9	5,40	8.995,60	48.576,24	0,0134934
TOMILLO	2,4	tallos	0,9	2,16	8.995,60	19.430,50	0,0053973
TOTAL							**61,376**

En la Figura 81 se puede observar que el cultivo de la caña (caña panelera y caña de azúcar) tiene una energía del 50,78 GWh, representando el 82,74% del potencial energético de esta provincia.

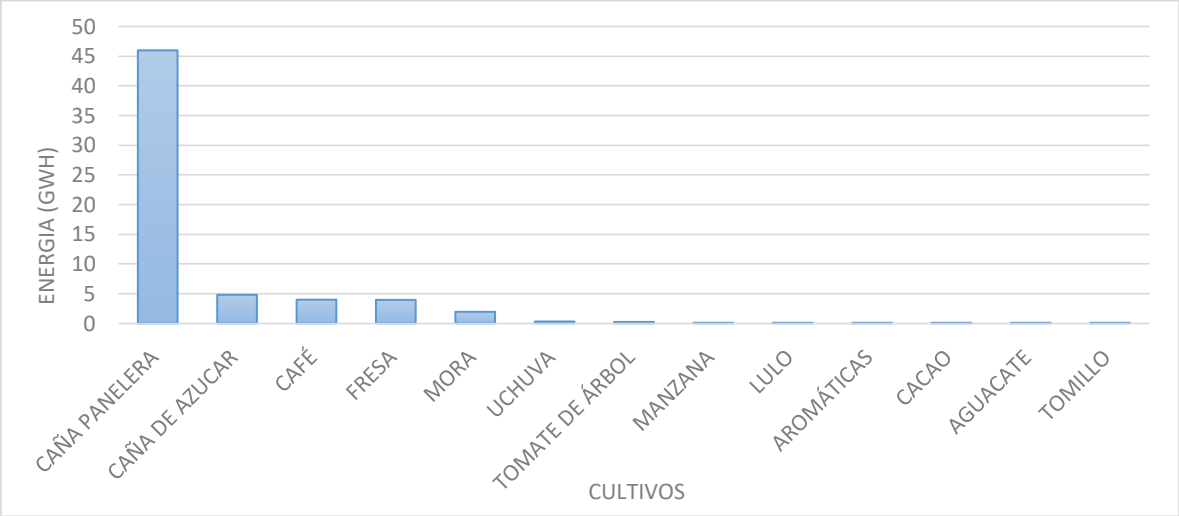


Figura 81 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Guavio.

Provincia de Magdalena Centro

Los cultivos permanentes en esta provincia representan el 81% de los cultivos totales. De esta manera esta provincia es la que genera el mayor potencial energético del departamento con 1.833,82 GWh partiendo de una masa residual total de 759.197,33 toneladas. En la Tabla 30 se observa cada cultivo con su respectiva energía.

Tabla 36 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la provincia de Magdalena Centro.

CULTIVO	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RESIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
BANANO	109788	raquis	1	109.788,00	7.568,86	830.969.562	1527,22
		vástago	5	548.940,00	8.501,89	4.667.026.399	

CAÑA PANELERA	11788,12	hojas y cogollo	3,75	44.205,45	15.413,86	681.376.441	189,27
PLÁTANO	6173,75	raquis	1	6.173,75	7.568,86	46.728.225	85,88
		Vástago	5	30.868,75	8.501,89	262.442.65	
CAFÉ	4183,9998	Tallos	3,02	12.635,68	18.342,66	231.771.92	64,38
GUAYABA	3272,5	tallos, hojas	1,8	5.890,50	8.995,60	52.988.582	14,72
PIÑA	600	tallos, hojas	0,9	540,00	12.560,37	6.782.599	1,88
CACAO	63,4	Hojas	1	63,40	8.995,60	570.321	0,16
LULO	40	tallos, hojas	1,8	72,00	12.560,37	904.346	0,25
AGUACATE	22	Hojas	0,9	19,80	8.995,60	178.113	0,05
TOTAL							**1.883,82**

El cultivo de mayor relevancia para fines energéticos en esta provincia es el banano, que cuenta con una estimación de 1.527,22 GWh de energía. De este modo representa el 81,07 % de la estimación energética total. En este caso la caña panelera, el plátano y el café cuentan con una producción de cosecha muy inferior al banano. En la Figura 82 se puede observar cada producto agrícola con la estimación energética equivalente.

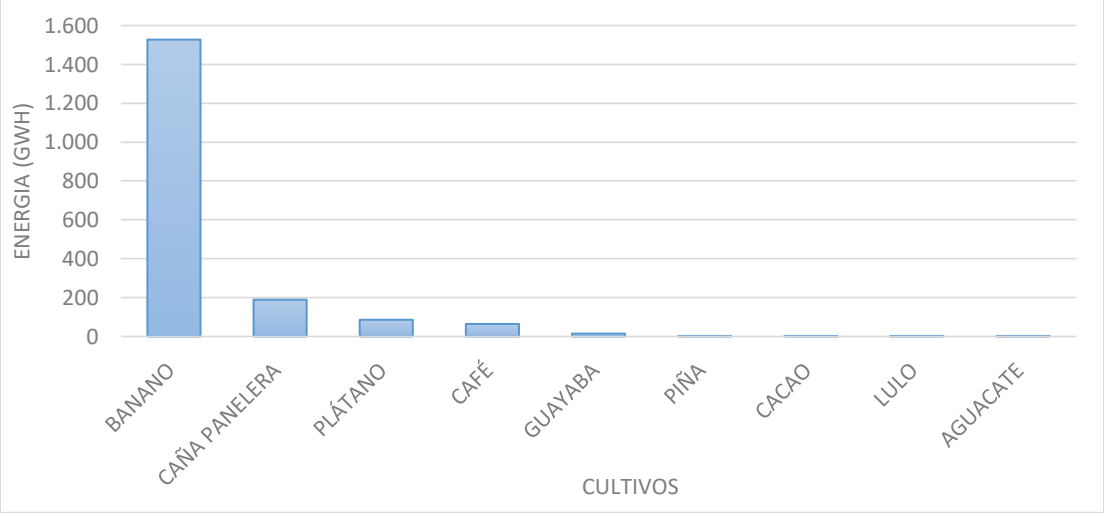


Figura 82 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Magdalena Centro.

Provincia de Medina

Los cultivos permanentes para esta provincia corresponden al 76% (Cundinamarca., 2014) de los cultivos totales. La estimación total de energía equivalente es de 478,02 GWh. Se encuentra dentro de las provincias con un moderado potencial energético ubicándose en la sexta posición detrás de Magdalena Centro, Gualivá, Bajo Magdalena, Tequendama y Rionegro.

En la Tabla 37 se puede observar cada producto agrícola, su biomasa residual orgánica y su equivalente potencial energético.

Tabla 37 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la provincia de Medina.

CULTIVO	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RESIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
PALMA DE ACEITE	79356,75	raquis	1,06	84.118,16	16.823,86	1.415.192.399	393,10899
PIÑA	8394	tallos, hojas	0,9	7.554,60	12.560,37	94.888.556,09	26,357932
PLÁTANO	3342	raquis	1	3.342,00	7.568,86	25.295.116,75	46,489351
		vástago	5	16.710,00	8.501,89	142.066.548,4	
CAÑA	789	hojas y cogollo	3,26	2.572,14	15.413,86	39.646.595,57	11,012943
CACAO	131,6	hojas	1	131,60	8.995,60	1.183.820,96	0,3288391
CÍTRICOS	70	hojas	1,8	126,00	12.560,37	1.582.606,37	0,4396128
CAFÉ	18,6	tallos, hojas	3,02	56,17	18.342,66	1.030.343,67	0,2862065
TOTAL							**478,02**

La palma de aceite es el cultivo de mayor potencial, gracias a su alto valor energético y a la elevada producción, su estimación es de 393,10 GWh que representa el 82,23 % de la estimación energética total. Es la única provincia del departamento en donde se cultiva este producto. En la Figura 83 se pueden observar los cultivos con su equivalente energía. El plátano y la caña son cultivos con altos contenidos energéticos pero poseen una escasa producción de cosecha.

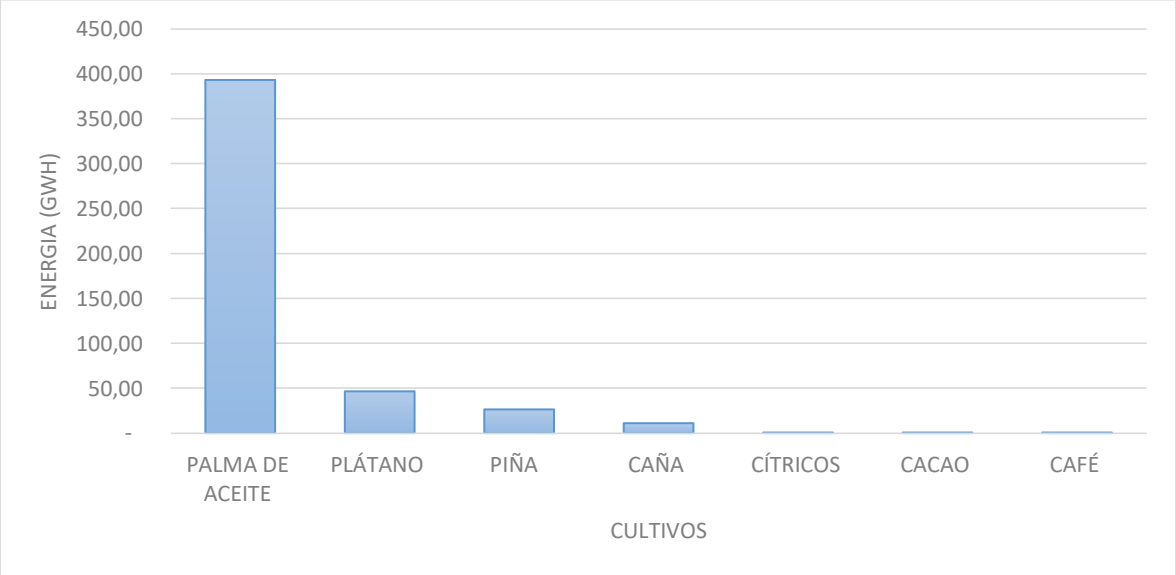


Figura 83 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Medina.

Provincia de Oriente

Los cultivos permanentes en esta provincia representan el 8% de los cultivos totales (Cundinamarca., 2014), por esta razón posee un bajo potencial de energía con un 45,44 GWh. En la Tabla 38 se pueden observar todos los productos permanentes agrícolas de la provincia. Los cultivos de mayor potencial energético son la caña panelera y el café con un 22,27 GWh y 12,78 GWh respectivamente (Ver Figura 84).

CULTIVO	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RESIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
TOMATE DE ÁRBOL	2540	hojas tallos	0,9	2286	8995,6	20563941,6	5,712206
CAÑA PANELERA	1387,6	hojas y cogollo	3,75	5203,5	15413,85	80205999,7	22,2794443
CAFÉ	831,118	tallos, hojas	3,02	2509,97636	18342,65	46039632,9	12,7887869
LULO	200	tallos, hojas	1,8	360	12560,36	4521732,48	1,2560368
MORA	196,5	hojas, tallos	0,9	176,85	8995,6	1590871,86	0,44190885
PLÁTANO	190	raquis	1	190	7568,856	1438082,64	2,64302117
		vástago	5	950	8501,888	8076793,6	
DURAZNO	126	hojas	0,91	114,66	8995,6	1031435,49	0,28650986
GRANADILLA	16	hojas	0,9	14,4	8995,6	129536,64	0,0359824
TOTAL							**45,44**

Tabla 38 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la provincia de Oriente.

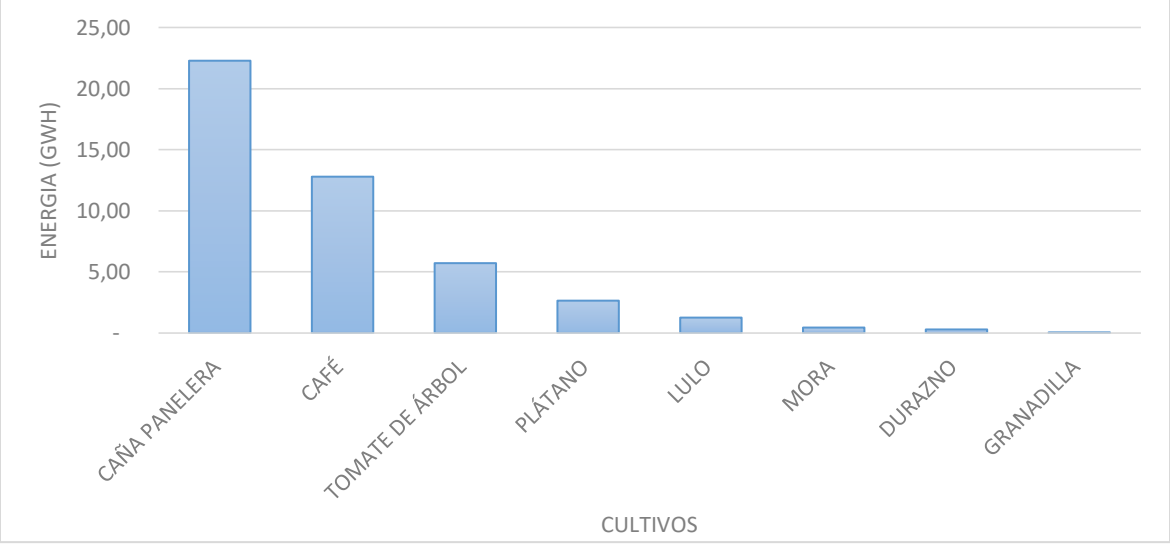


Figura 84 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Oriente.

Provincia de Rionegro

En la Tabla 39 se observan todos los productos sembrados y cosechados en la provincia así como su estimación energética total.

Tabla 39 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la provincia de Rionegro.

CULTIVO	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RESIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
PLÁTANO	19094	raquis	1	19094	7568,856	144519736	265,609717
		vástago	5	95470	8501,888	811675247	
CAÑA DE AZUCAR	12948	hojas y cogollo	3,26	42210,48	15413,856	650626260	180,729516
CITRICOS	12515	hojas	1,8	22527	12560,368	282947409	78,5965027
CAFÉ	8049,8	tallos, hojas	3,02	24310,396	18342,656	445917231	123,865897
CACAO	1404	hojas	0,9	1263,6	8995,6	11366840	3,1574556
SÁBILA	720	tallos	0,45	324	8995,6	2914574	0,809604
LULO	145	tallos, hojas	1,8	261	12560,368	3278256,04	0,91062668
AGUACATE	30	hojas	0,9	27	8995,6	242881,2	0,067467
MORA	27	hojas, tallos	0,9	24,3	8995,6	218593,08	0,0607203
TOTAL							**653,81**

En la Figura 85 se puede observar que productos con alto contenido energético, como el plátano, caña de azúcar, y café se encuentran en esta provincia. El cultivo del plátano es el producto agrícola sobresaliente con una estimación de 265,69 GWh, seguido de la caña de azúcar con 180,72 GWh y el café con 123,86 GWh.

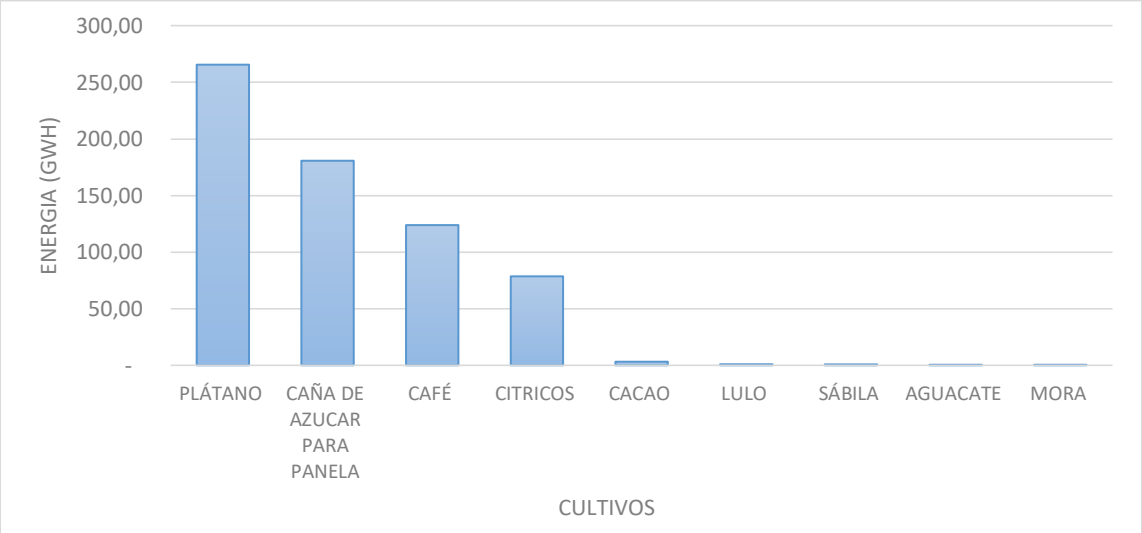


Figura 85 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Rionegro.

Los cultivos permanentes representan el 71% de los tipos de cultivos totales. Su estimación energética alcanza 653,81 GWh siendo de las provincias en las que se pueden aprovechar sus desechos orgánicos. La biomasa residual total representa 205.511,776 toneladas.

Provincia de Sabana Centro

Los cultivos permanentes en esta provincia representan solamente el 2% de los cultivos totales (Cundinamarca., 2014), es por eso que es el cultivo con menor potencial energético junto con la provincia de Ubaté. La estimación energética es de tan solo 1,64 GWh. Además en esta provincia no se siembra ningún producto que posea un alto valor de energía en sus desechos orgánicos. En la Tabla 40 se observan los cultivos con su respectiva estimación energética.

Tabla 40 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia de Sabana Centro.

CULTIVO	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RSIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
DURAZNO	527,4	hojas	0,91	479,93	8.995,60	4.317.294,2	1,19924841
FRESA	180	tallos, hojas	0,9	162,00	8.995,60	1.457.287,2	0,404802
TOMATE DE ARBOL	16,4	tallos, hojas	0,9	14,76	8.995,60	132.775,06	0,03688196
TOTAL							**1,64**

En esta provincia solo se cosecha el durazno, la fresa y el tomate de árbol, todos con un bajo poder calorífico en sus residuos, lo que genera poca energía para la Provincia de Sabana Centro (Ver Figura 86).

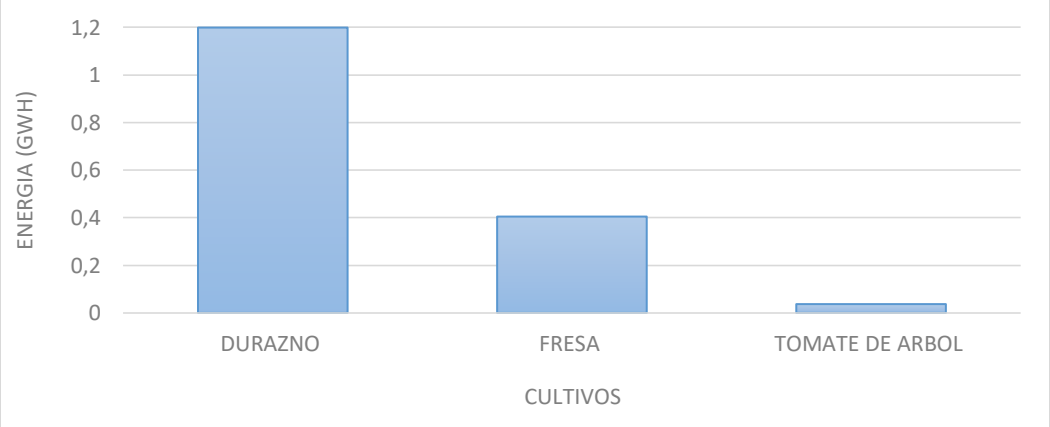


Figura 86 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Sabana Centro.

Provincia de Sabana Occidente

Esta provincia presenta una estimación energética de 13,72 GWh, y es la tercera provincia con más bajo potencial. Esto se debe a que los cultivos permanentes representan el 2% de los cultivos totales (Cundinamarca., 2014). En la Tabla 41 se pueden observar los productos agrícolas, la masa residual total y su equivalente estimación energética.

Tabla 41 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia de Sabana Occidente.

CULTIVO	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RESIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
FRESA	5237,25	tallos, hojas	0,9	4.713,53	8.995,60	42.400.985,49	11,7780515
CAFÉ	54	tallos, hojas	3,02	163,08	18.342,66	2.991.320,34	0,83092231
CADUCIFOLIOS	546	tallos, hojas	0,45	245,70	8.995,60	2.210.218,92	0,6139497
TOMATE DE ARBOL	150	tallos, hojas	0,9	135,00	8.995,60	1.214.406,00	0,337335
MORA	70	hojas, tallos	0,9	63,00	8.995,60	566.722,80	0,157423
TOTAL							**13,72**

El único cultivo relevante debido a su alto poder calorífico en los desechos que genera es el café, pero representa tan solo una producción de 54 toneladas y una estimación energética de 0,83 GWh. La fresa debido a su elevada cosecha es el cultivo predominante con un 11,77 GWh de energía equivalente al 85,78% de la estimación de energía total (Ver Figura 87).

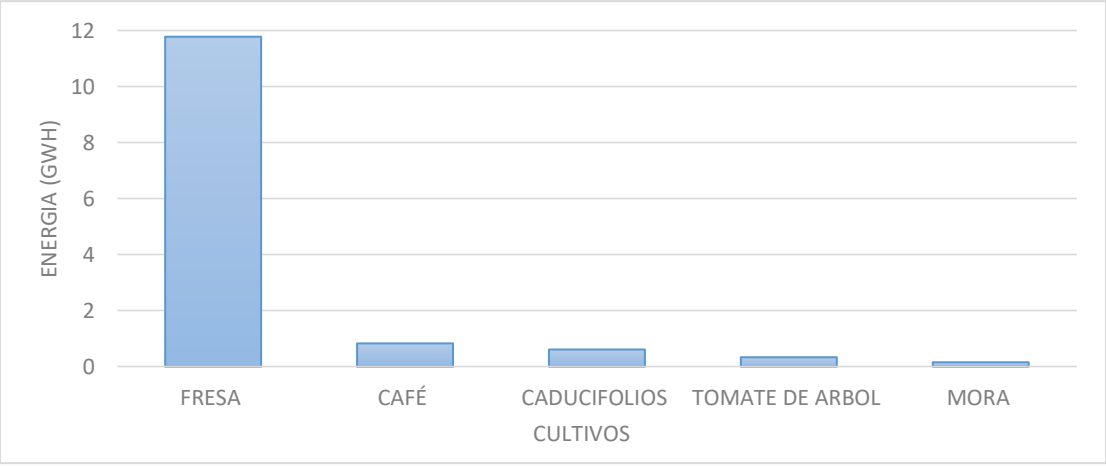


Figura 87 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Sabana Occidente.

Provincia de Soacha

La provincia de Soacha es otra de las provincias con bajo potencial de energía, esto se debe a que los cultivos permanentes corresponden al 7% de los cultivos totales (Cundinamarca., 2014). En la Tabla 42 se determina cada producto agrícola con su equivalente estimación energética. Los productos que se presentan se catalogan como permanentes debido a que la recolección de estas frutas se realiza transcurridos 10 meses de haber sembrado la planta. (Cundinamarca., 2014).

Tabla 42 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia de Soacha.

CULTIVO	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RSIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
FRESA	12722	tallos, hojas	0,9	11.449,80	8.995,60	102.997.820,88	28,6105058
TOMATE DE ARBOL	49,92	tallos, hojas	0,9	44,93	8.995,60	404.154,32	0,112265088
MORA	48	hojas, tallos	0,9	43,20	8.995,60	388.609,92	0,1079472
CURUBA	3,6	tallos, hojas	0,9	3,24	8.995,60	29.145,74	0,00809604
TOTAL							**28,84**

En la Figura 88 se puede observar que esta provincia tampoco posee un producto agrícola importante para el análisis de potencial de energía, ya que solo se cosechan frutas como fresa, tomate de árbol, mora y curuba. Para esta provincia la fresa representa aproximadamente la totalidad de energía con el 99,20%.



Figura 88 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Soacha.

Provincia de Sumapaz

Los cultivos permanentes para esta provincia corresponde al 49% (Cundinamarca., 2014). Esta provincia cuenta con una producción de 74.320,25 toneladas, y en consecuencia una masa residual total de 82.955,225 toneladas. De esta manera se puede realizar una estimación energética total con 249,51 GWh. Es de las provincias con un moderado índice de valor energético en la región. En la Tabla 43 se logra observar cada producto cosechado y su equivalente potencial de energía.

Tabla 43 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia de Sumapaz.

CULTIVO	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RESIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
TOMATE DE ARBOL	35123	tallos, hojas	0,9	31610,7	8995,6	284357212,9	78,9881147
MORA	21473,25	hojas, tallos	0,9	19325,925	8995,6	173848290,9	48,29119193
CAFÉ	4825	tallos, hojas	3,02	14571,5	18342,656	267280011,9	74,24444775
GRANADILLA	1959	tallos, hojas	0,9	1763,1	8995,6	15860142,36	4,4055951
CITRICOS	1898	hojas	1,8	3416,4	12560,368	42911241,24	11,91978923
AGUACATE	1882	hojas	0,9	1693,8	8995,6	15236747,28	4,2324298
GULUPA	1791	tallos, hojas	0,9	1611,9	8995,6	14500007,64	4,0277799
UCHUVA	1693	tallos, hojas	0,9	1523,7	8995,6	13706595,72	3,8073877
GUANABANA	1151	hojas	0,9	1035,9	8995,6	9318542,04	2,5884839
BANANO	730	raquis	1	730	7568,856	5525264,88	10,15476558
		vástago	5	3650	8501,888	31031891,2	
PITAHAYA	372	tallos, hojas	0,9	334,8	12.560,37	4.205.211,21	1,168114224
MARACUYA	369	tallos, hojas	0,9	332,1	8995,6	2987438,76	0,8298441
GUAYABA	295	tallos, hojas	0,9	265,5	8995,6	2388331,8	0,6634255
CAÑA PANALERA	198	hojas y cogollo	3,75	742,5	15413,856	11444788,08	3,1791078
CADUCIFOLIOS	150	tallos, hojas	0,45	67,5	8995,6	607203	0,1686675
MANGO	131	hojas	0,9	117,9	8995,6	1060581,24	0,2946059
LULO	80	tallos, hojas	1,8	144	12560,368	1808692,992	0,50241472
CURUBA	20	tallos, hojas	0,9	18	8995,6	161920,8	0,044978
TOTAL							**249,51**

En la Figura 89 se puede determinar que el producto con mayor potencial de energía es el tomate de árbol; sin embargo, a pesar de su gran producción agrícola, es insignificante para aprovechamiento energético debido a la baja concentración de energía en sus residuos. El café es el segundo producto con mayor potencial, cuenta con 74,24 GWh de energía. La caña panelera debido a su poca producción se encuentra alejado para ser explotado energéticamente.

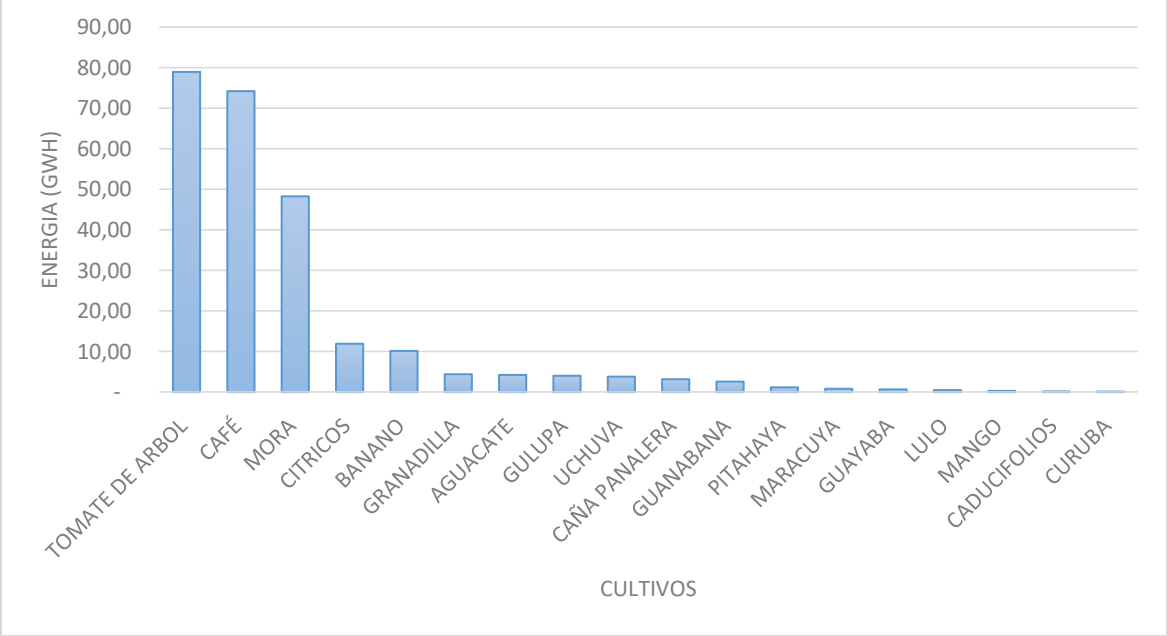


Figura 89 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Sumapaz.

Provincia del Tequendama

Del porcentaje total de cultivos, 91% corresponde a los cultivos permanentes (Cundinamarca., 2014), lo que significa que es de las provincias con alto potencial energético. Cuenta con una producción de 13.0497 toneladas y una masa residual total de 271.096,50 toneladas. De este modo la estimación energética para esta provincia equivale a 851,51 GWh, siendo la cuarta en potencial energético. En la Tabla 44 se determina cada cultivo agrícola con su respectiva estimación de potencial.

Tabla 44 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia del Tequendama.

CULTIVO	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RESIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
MANGO	52219	tallos, hojas	0,9	46.997,10	8.995,60	422.767.112	117,43530
GRANADILLA	19576	tallos, hojas	0,9	17.618,40	8.995,60	158.488.079	44,024466
CITRICOS	13977	hojas	1,8	25.158,60	12.560,37	316.001.274	87,778131
CAFÉ	11760	tallos, hojas	3,02	35.515,20	18.342,66	651.443.096	180,95641
CAÑA PANELERA	11082	hojas y cogollo	3,75	41.557,50	15.413,86	640.561.320	177,93370

BANANO	10296	raquis	1	10.296,00	7.568,86	77.928.941	143,22392
		vástago	5	51.480,00	8.501,89	437.677.194	
PLATANO	6210	raquis	1	6.210,00	7.568,86	47.002.596	86,385060
		vástago	5	31.050,00	8.501,89	263.983.622	
MORA	2350	hojas, tallos	0,9	2.115,00	8.995,60	19.025.694	5,284915
MARACUYA	1282	tallos, hojas	0,9	1.153,80	8.995,60	10.379.123	2,8830898
AGUACATE	527	hojas	0,9	474,30	8.995,60	4.266.613	1,1851703
LULO	416	tallos, hojas	1,8	748,80	12.560,37	9.405.203,56	2,6125564
TOMATE DE ARBOL	350	tallos, hojas	0,9	315,00	8.995,60	2.833.614,00	0,787115
CACAO	272	hojas	0,9	244,80	8.995,60	2.202.122,88	0,6117008
GUAYABA	180	tallos, hojas	0,9	162,00	8.995,60	1.457.287,20	0,404802
TOTAL							**851,51**

Los cultivos más relevantes en esta provincia son el café, caña panelera, banano y plátano, cuatro de los productos de mayor poder calorífico en los desechos generados. El café posee una estimación del 180,95 GWh, la caña panelera 177,93 GWh, el banano 143, 22 GWh y por último el plátano con un 86,38 GWh. El mango también representa una elevada estimación energética debido a que es el producto de mayor cosecha en la provincia. Hay que recordar que el desecho que genera el mango, al ser una fruta, no posee altos niveles caloríficos, por lo que no es una buena opción para aprovechamiento energético (ver Figura 90).

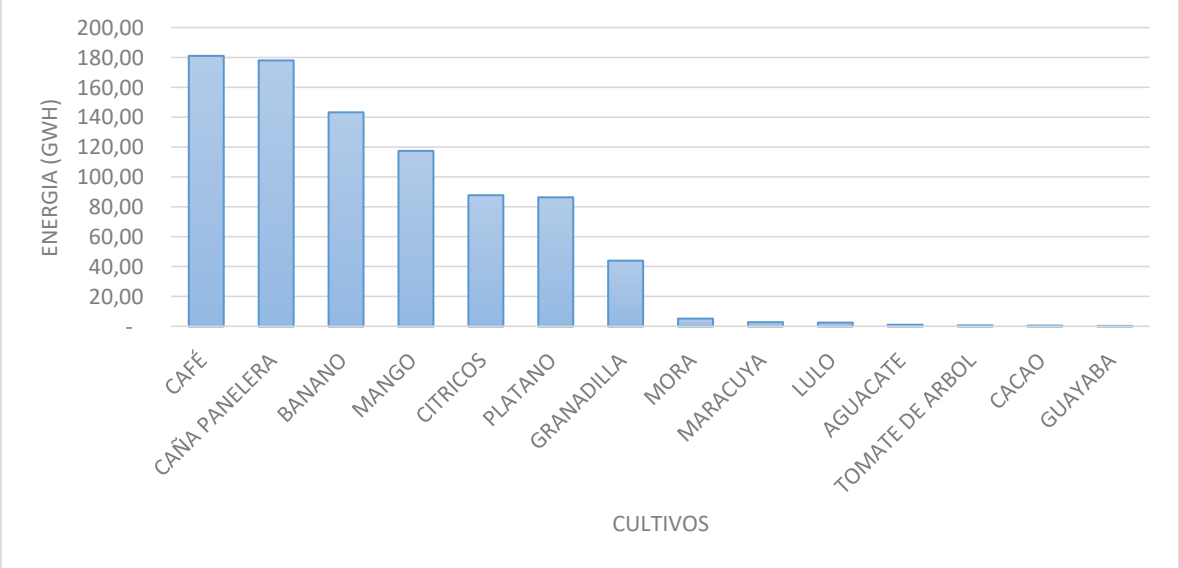


Figura 90 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia del Tequendama.

Provincia de Ubaté

Los cultivos permanentes para esta provincia representan el 4% de los cultivos totales (Cundinamarca., 2014). Ubaté es la provincia de menor potencial energético, cuenta con una estimación del 0,91 GWh. En la Tabla 45 se pueden observar cada producto agrícola y su equivalente estimación energética.

Tabla 45 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos permanentes en la Provincia de Ubaté.

CULTIVO	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RSIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
FRESA	374	tallos, hojas	0,9	336,60	8.995,60	3.027.918,96	0,8410886
DURAZNO	32	hojas	0,91	29,12	8.995,60	261.951,87	0,0727644
TOTAL							**0,91**

En la Figura 91 se observan los dos únicos productos permanentes cosechados: fresa y durazno. Ya que son productos con un muy bajo poder calorífico y con poca producción esta provincia es inviable para aprovechamiento energético.

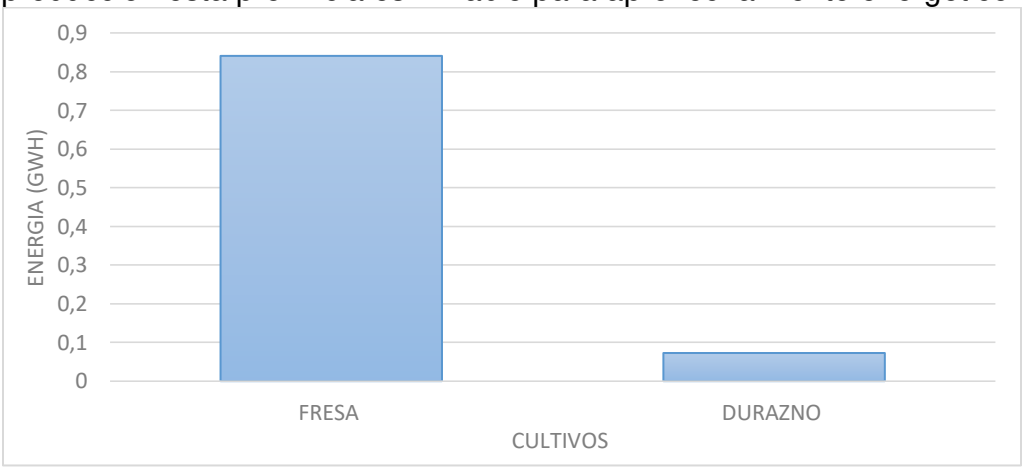


Figura 91 Potencial energético cultivos permanentes, Provincia de Ubaté.

4.2.5. Biomasa agrícola cultivos anuales

Los cultivos anuales en la provincia son los de menor porcentaje de producción, en comparación a cultivos transitorios y cultivos permanentes. Debido a las características de los cultivos anuales, no es viable una aplicación de conversión energética ya que como su nombre lo indica, los procesos de cosecha se realizan anualmente y en la mayoría de sus cultivos el poder calorífico de los desechos no es alto.

La Tabla 46 muestra los cultivos anuales del departamento, su producción anual, el tipo de residuo generado en los procesos de cosecha y potencial energético de estos residuos. Al ser los cultivos que presentan menor producción en el departamento, el residuo generado en procesos de cosecha también es menor y por ende una aplicación de conversión energética con estos cultivos no es viable de acuerdo al bajo valor energético que puede aportar esta biomasa.

Tabla 46 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos transitorios en el Departamento de Cundinamarca.

CULTIVO	PRODUC. (TON)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWH)
ARRACACHA	2973	Tallo	0,36	1070,28	9001	9633590,28	2,68
FRIJO ANUAL	1791	tallo, hoja	1,4	2507,4	9001	22569107,4	6,27
MAIZ ANUAL	5985	Rastrojo	0,934	5589,99	14356	80249896,44	34,26
		Tusa	0,27	1615,95	14193	22935178,35	
		Capacho	0,211	1262,835	15972	20170000,62	
SAGU	738		0,45	332,1	9001	2989232,1	0,83
YUCA	32190	Tallos	0,13	4184,7	9001	37666484,7	10,46
TOTAL							**54,50**

La Figura 92 el potencial energético de cada cultivo y la Figura 93 muestra el potencial energético por provincia a partir de los cultivos anuales producidos.

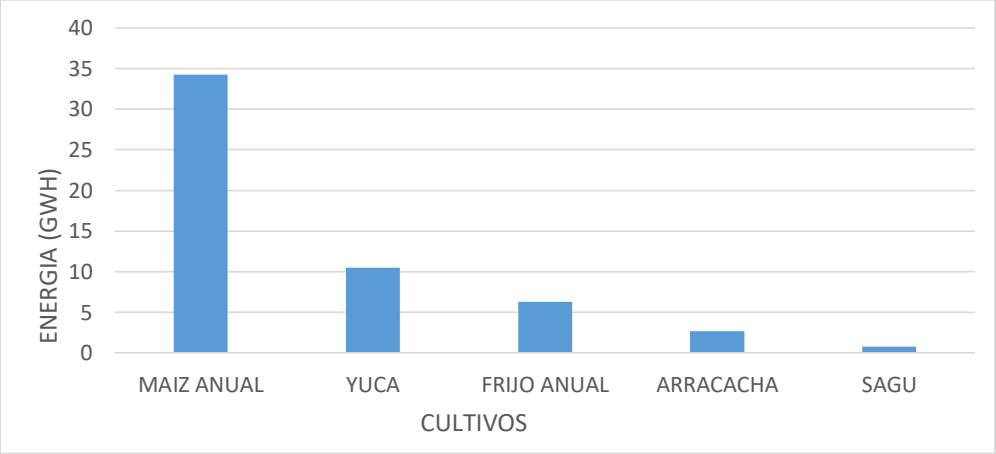


Figura 92 Potencial energético cultivos anuales, Departamento de Cundinamarca.

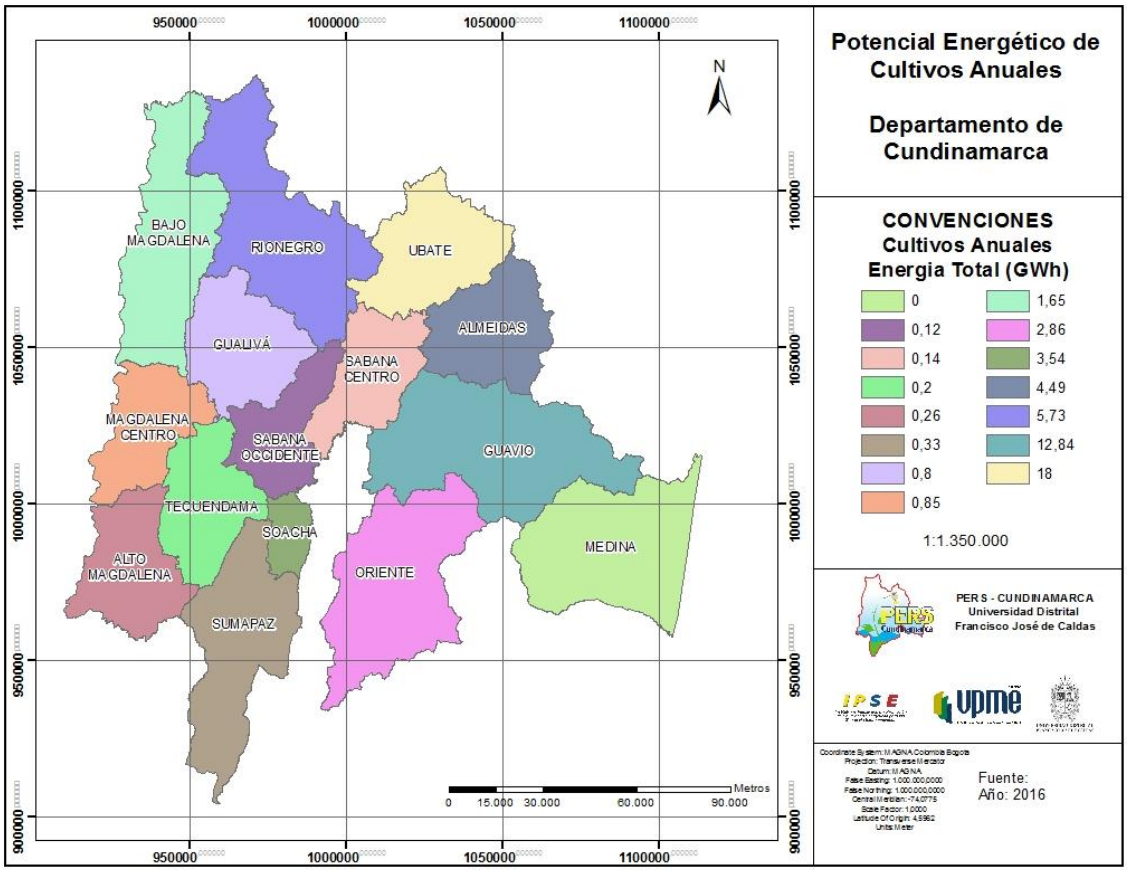


Figura 93 Mapa de potencial energético, biomasa primaria agrícola de cultivos anuales. Departamento de Cundinamarca.

4.2.6. Principales cultivos para aplicaciones energéticas

En las secciones anteriores se analizó los diferentes tipos de cultivos que son producidos en el departamento de Cundinamarca, que incluyen cultivos permanentes, transitorios y anuales. Esto permitió clasificar los cultivos, los cuales generan un tipo de residuo con gran potencial energético además de ser los que más se cultivan en cada provincia. Los cultivos son seleccionados de acuerdo a las características del residuo que generan en los procesos de cosecha, además de la cantidad de residuo agrícola y la frecuencia con que estos tipos de cultivos son cosechados por cada región. Con lo anterior se tiene que los cultivos viables para aplicaciones de conversión energética, incluyen cultivos permanentes y cultivos transitorios, ya que estos representan un mayor porcentaje de producción en la región.

Principales cultivos permanentes

Los cultivos permanentes seleccionados comprenden tres tipos de cultivos, que son: caña de azúcar, caña panelera, y café. Para el ánalisis, se tiene en cuenta únicamente los desechos primarios que pueden producir estos cultivos sin contemplar los residuos que pueden generar en procesos industriales. Para aprovechamiento energético y de acuerdo a las características de los residuos, éstos se agrupan según su tipo. La caña de azúcar y la caña panelera generan el mismo tipo de residuos, que son: hojas y cogollo, pero la caña panelera genera mayor cantidad de residuo, este cultivo tiene un factor de residuo (RPR) de 3,75, mientras que el cultivo de caña de azúcar tiene un factor de residuo (RPR) de 3,26. El cultivo de café presenta un factor de residuo de 3,02 y comprende tallos y hojas.

La Figura 94 presenta el mapa del departamento de Cundinamarca, donde puede observarse el potencial energético del cultivo de caña en cada provincia.

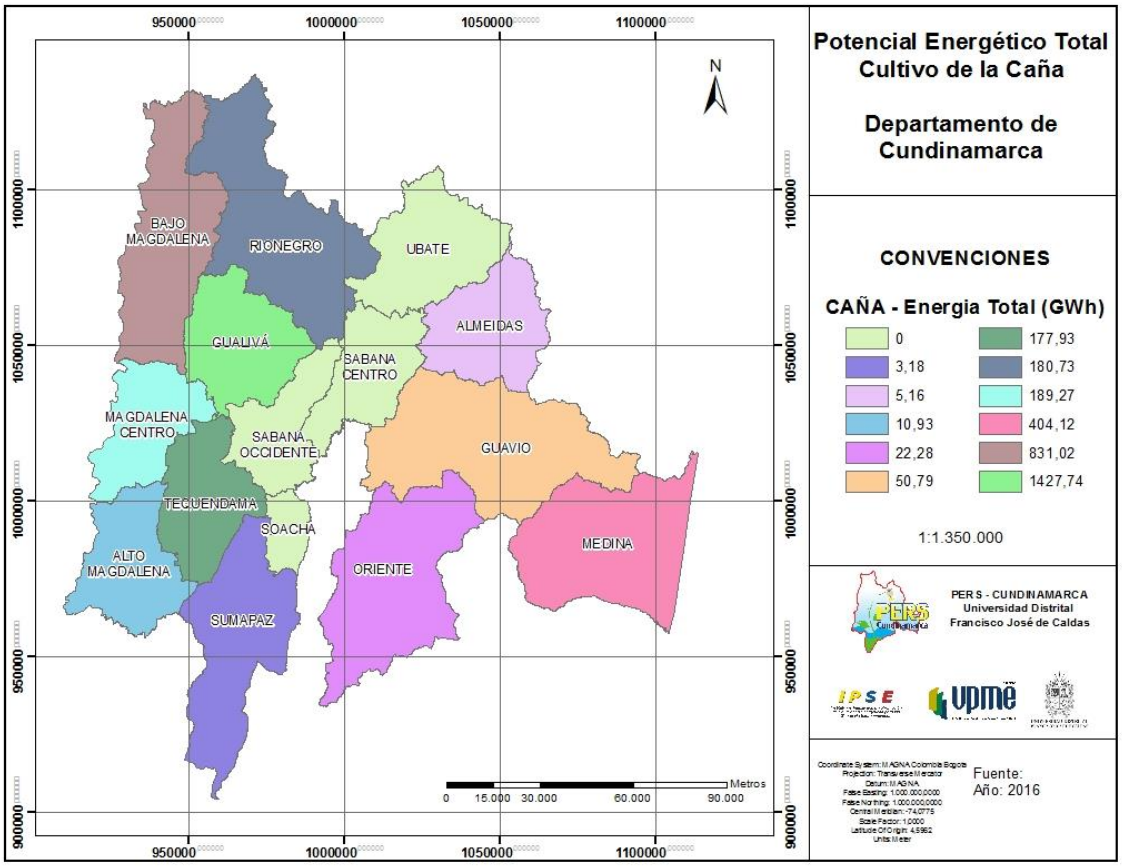


Figura 94 Mapa de potencial energético, biomasa primaria agrícola del cultivo de la caña. Departamento de Cundinamarca.

La Provincia de Medina presenta una producción considerable de palma de aceite, el residuo generado por este cultivo es el raquis con un factor de residuo (RPR) de 1,06, este residuo se agrupó con los residuos del cultivo de caña, por su potencial energético y por ser cultivado en una sola provincia.

La Tabla 47 muestra las provincias que producen cultivos de caña, este cultivo es producido en once provincias, de cuales se destaca la provincia de Gualivá, ya que su potencial energético es de 1.427,74 (GWh), además de contar con una mayor producción anual donde alcanza casi las 90.000 toneladas.

Tabla 47 Producción, desecho generado y potencial energético del cultivo de la caña en el Departamento de Cundinamarca.

PROVINCIA	CULTIVO DE CAÑA	PROD. (Ton)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANT. RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
ALMEIDAS	DE AZUCAR	342	hojas y cogollo	3,26	1.114,92	15.413,86	17.185.216,33	5,16
	PANELERA	24	hojas y cogollo	3,75	90,00	15.413,86	1.387.247,04	
ALTO MAGDALENA	DE AZUCAR	783	hojas y cogollo	3,26	2.552,58	15.413,86	39.345.100,55	10,93
BAJO MAGDALENA	PANELERA	51757,5	hojas y cogollo	3,75	194.090,63	15.413,86	2.991.684.944,70	831,02
GUALIVÁ	PANELERA	88922,2	hojas y cogollo	3,75	333.458,25	15.413,86	5.139.877.447,51	1.427,74
GUAVIO	PANELERA	2864,35	hojas y cogollo	3,75	10.741,31	15.413,86	165.565.044,13	50,79
	DE AZUCAR	343,75	hojas y cogollo	3,26	1.120,63	15.413,86	17.273.152,38	
MAGDALENA CENTRO	PANELERA	11788,12	hojas y cogollo	3,75	44.205,45	15.413,86	681.376.440,72	189,27
MEDINA	PALMA DE ACEITE	79356,75	raquis	1,06	84.118,16	16.823,86	1.415.192.399,65	404,12
	DE AZUCAR	789	hojas y cogollo	3,26	2.572,14	15.413,86	39.646.595,57	
ORIENTE	PANELERA	1387,6	hojas y cogollo	3,75	5203,5	15.413,86	80.205.999,7	22,28
RIONEGRO	DE AZUCAR PARA PANELA	12948	hojas y cogollo	3,26	42210,48	15.413,86	650.626.260,4	180,73
SUMAPAZ	PANALERA	198	hojas y cogollo	3,75	742,5	15.413,86	11.444.788,08	3,18
TEQUENDAMA	PANELERA	11082	hojas y cogollo	3,75	41.557,50	15.413,86	640.561.320,72	177,93
TOTAL								**3.303,16**

La Figura 95 ilustra el potencial energético del residuo generado por el cultivo de la caña, incluyendo el potencial energético generado por el residuo del cultivo de la palma de aceite.

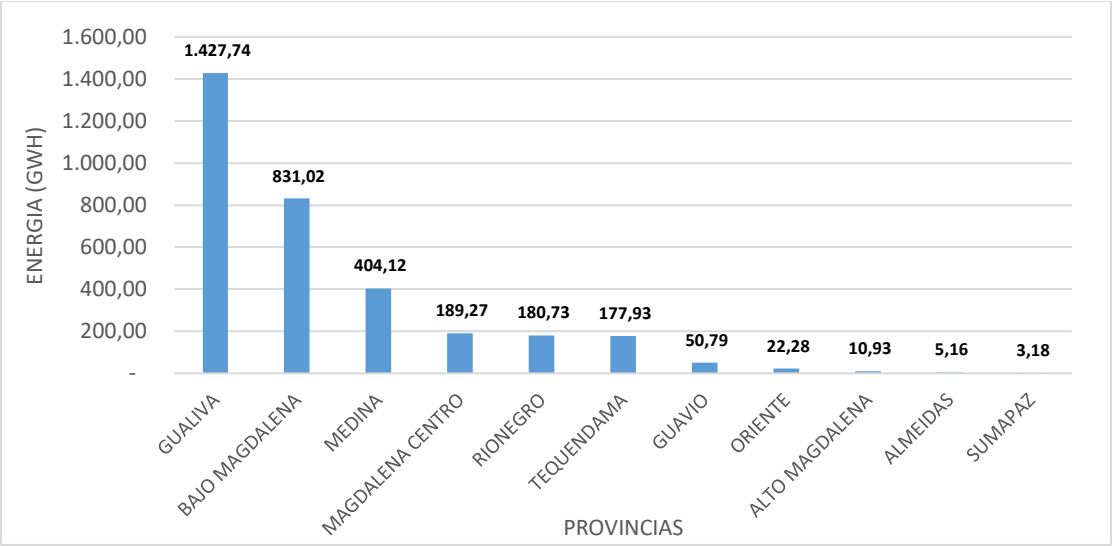


Figura 95 Potencial energético (GWh)- cultivo de caña.

El cultivo del café es el segundo cultivo permanente que cuenta con gran potencial energético por parte de su residuo primario agrícola, resultado del proceso de cosecha. Donde el residuo generado son tallos y hojas, este cultivo es producido en doce provincias del Departamento, las cuales alcanzan un potencial energético de 652 GWh anuales. La Tabla 48 indica la producción de café por provincias, el tipo y factor de residuo, cantidad de residuo y el potencial energético de cada provincia.

Tabla 48 Producción, desecho generado y potencial energético del cultivo del café en el Departamento de Cundinamarca.

PROVINCIA	PRODUCCION (Ton)	TIPO DE RESIDUO	RPR	CANTIDAD DE RESIDUO (Ton)	PCI (MJ/Ton)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWh)
TEQUENDAMA	11760	tallos, hojas	3,02	35.515,20	18.342,66	651.443.096,3	180,96
RIONEGRO	8049,8	tallos, hojas	3,02	24.310,396	18.342,65	445.917.231,1	123,87
GUALIVÁ	7887,85	tallos, hojas	3,02	23.821,31	18.342,66	436.946.039,7	121,37
SUMAPAZ	4825	tallos, hojas	3,02	14.571,5	18.342,65	267.280.011.9	74,24
MAGDALENA CENTRO	4183,9998	tallos, hojas	3,02	12.635,68	18.342,66	231.771.920,4	64,38
BAJO MAGDALENA	1994,6	tallos, hojas	3,02	6.023,69	18.342,66	110.490.510,2	30,69
ALTO MAGDALENA	1913,26	tallos, hojas	3,02	5.778,05	18.342,66	105.984.695,4	29,44
ORIENTE	831,118	tallos, hojas	3,02	2.509,9763	18.342,65	46.039.632,94	12,79
ALMEIDAS	654	tallos, hojas	3,02	1.975,08	18.342,66	36.228.213,01	10,06
GUAVIO	258,92	tallos, hojas	3,02	781,94	18.342,66	14.342.827,08	3,98

SABANA OCCIDENTE	54	tallos, hojas	3,02	163,08	18.342,66	2.991.320,34	0,83
MEDINA	18,6	tallos, hojas	3,02	56,17	18.342,66	1.030.343,67	0,29
TOTAL							**652,91**

La Figura 96 presenta las provincias que cultivan el café y cuáles son las que aportan mayor residuo para aprovechamiento energético.

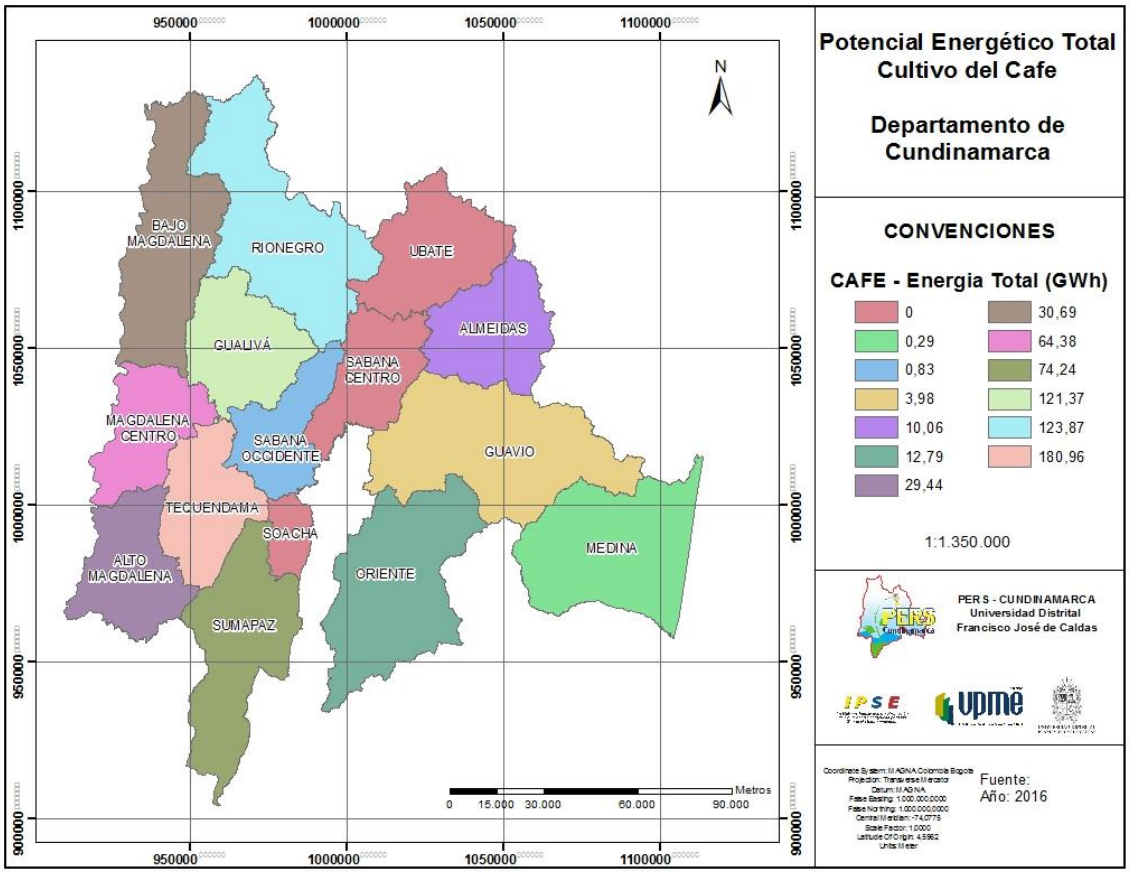


Figura 96 Mapa de potencial energético, biomasa primaria agrícola del cultivo del café

La Figura 97 muestra el potencial energético de las provincias que cultivan café. Son las provincias de Tequendama, Rionegro y Gualivá las que cuentan con mayor potencial energético, esto debido a su gran producción.

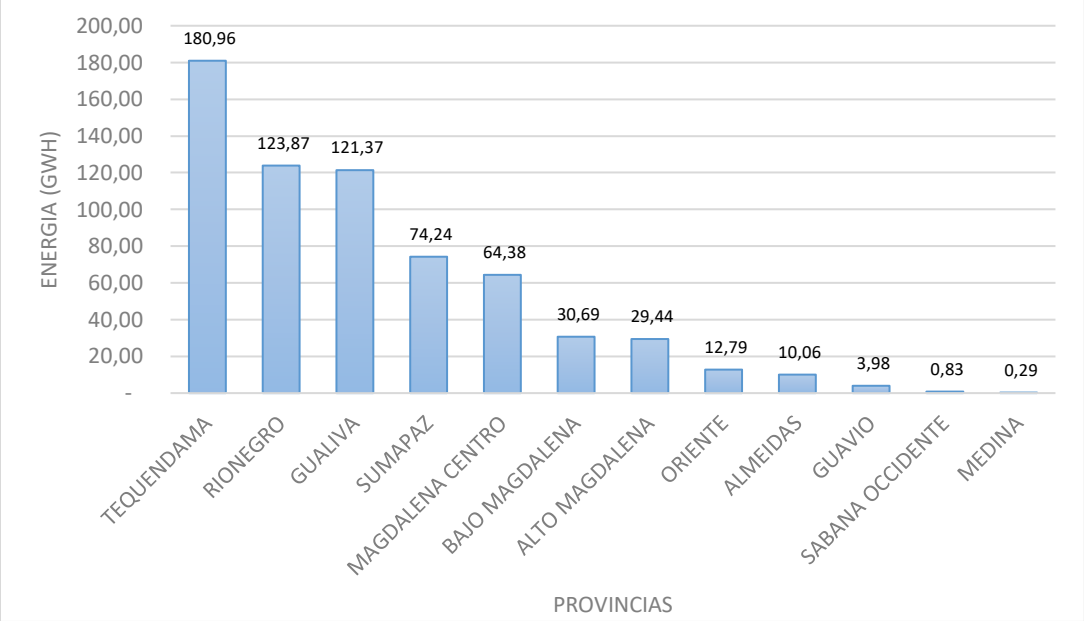


Figura 97 Potencial energético (GWh)- cultivo del café.

Principales cultivos transitorios

Los cultivos transitorios seleccionados en el Departamento de Cundinamarca, se agruparon en un conjunto de cultivos que pertenecen a los cereales. Los residuos de estos cultivos tienen un gran potencial energético, el cual es óptimo para proyectos de conversión. Los cultivos seleccionados son: maíz, cebada y arroz secano y de riego. El cultivo del maíz genera tres tipos de residuos en el proceso de cosecha, los cuales son rastrojo, tusa y capacho. El arroz genera como residuo el tamo y por último el cultivo de sorgo genera como residuo la paja.

La Figura 98 muestra el mapa del Departamento, donde ubica las provincias en las cuales son cultivados los cereales, ya que sus residuos agrícolas primarios pueden ser aplicados a proyectos de conversión de energía.

La Figura 99 presenta el potencial energético que tiene los residuos de los cultivos de cereales, donde la Provincia de Alto Magdalena es la que cuenta con un mayor potencial energético.

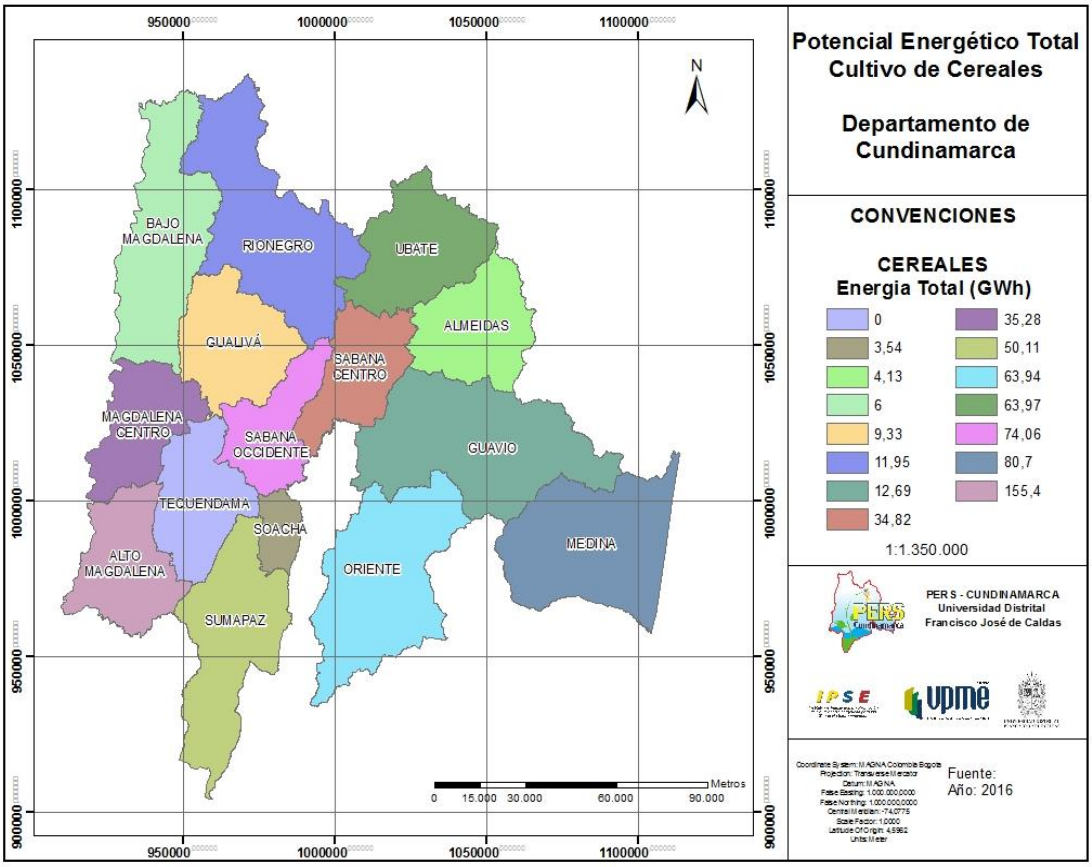


Figura 98 Mapa de potencial energético, biomasa primaria agrícola del cultivo de cereales.

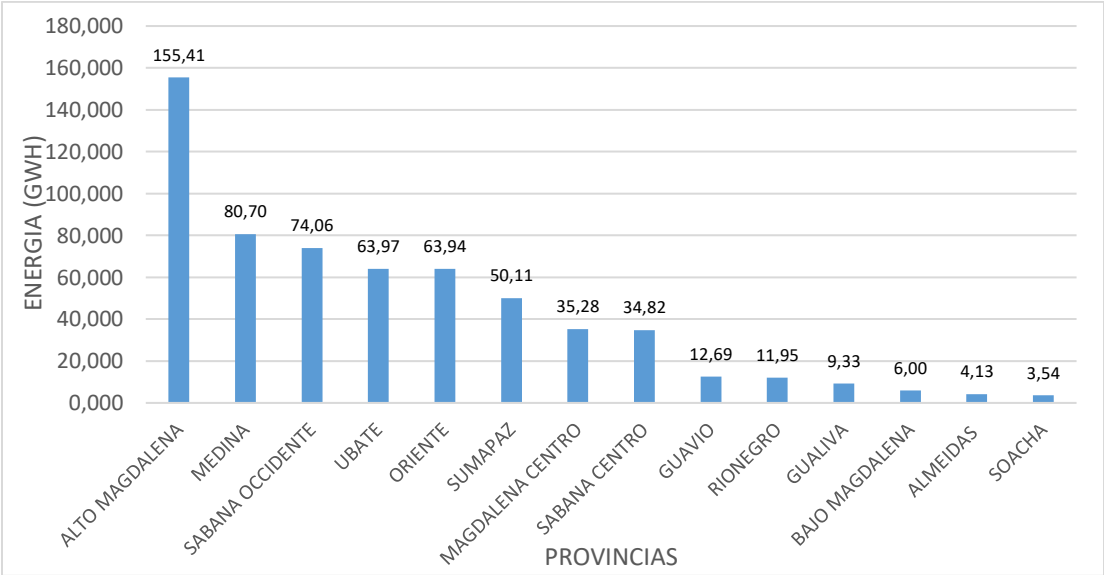


Figura 99 Potencial energético (GWh)- cultivo de cereales.

En la Tabla 49 se encuentran los diferentes tipos de cereales cultivados en las provincias, se puede apreciar el tipo de residuo generado por cada cultivo y su factor de residuo (RPR). El residuo primario del arroz es el tamo. La cascariila hace referencia a un desecho secundario (proceso industrial) el cual no fue tenido en cuenta en este estudio, ya que el objetivo fue determinar el potencial energético de los desechos primarios agricolas.

Tabla 49 Producción, desecho generado y potencial energético de cultivos de cereales en el Departamento de Cundinamarca.

PROVINCIA	CULTIVO	PRODUCCION (TON)	TIPO DE RESIDUO	FACTOR DE RESIDUO (RPR)	CANTIDAD DE RESIDUO (TON)	PCI (MJ/TON)	ENERGIA TOTAL (MJ)	ENERGIA TOTAL (GWH)
ALMEIDAS	MAÍZ (ANUAL)	615	rastrojo	0,934	574,41	14356	8246229,96	2,29
			tusa	0,27	166,05	14193	2356747,65	0,65
			capacho	0,211	129,765	15972	2072606,58	0,58
	CEBADA	280	paja	0,5	140	15540	2175600	0,60
ALTO MAGDALENA	MAIZ	19954	rastrojo	0,934	18637,036	14356	267553288	74,32
			tusa	0,27	5387,58	14193	76465922,9	21,24
			capacho	0,211	4210,294	15972	67246815,7	18,68
	ARROZ DE RIEGO	3636	tamo	2,35	8544,6	13870	118513602	32,92
	SORGO	1394.8	paja	1,4	1952,72	15198	29677438,5	8,24
BAJO MAGDALENA	MAIZ	1048	rastrojo	0,934	978,832	14356	14052112,1	3,90
			tusa	0,27	282,96	14193	4016051,28	1,12
			capacho	0,211	221,128	15972	3531856,41	0,98
GUALIVÁ	MAIZ	1628.9	rastrojo	0,934	1521,3926	14356	21841112,1	6,07
			tusa	0,27	439,803	14193	6242123,97	1,73
			capacho	0,211	343,6979	15972	5489542,85	1,52
GUAVIO	MAÍZ (ANUAL)	2216	rastrojo	0,934	2069,744	14356	29713244,8	8,25
			tusa	0,27	598,32	14193	8491955,76	2,36
			capacho	0,211	467,576	15972	7468123,87	2,07
MAGDALENA CENTRO	MAÍZ	2745.7	rastrojo	0,934	2564,4838	14356	36815729,4	10,23
			tusa	0,27	741,339	14193	10521824,4	2,92
			capacho	0,211	579,3427	15972	9253261,60	2,57
	ARROZ SECANO	2160	tamo	2,35	5076	13870	70404120	19,56
MEDINA	ARROZ SECANO	8358	tamo	2,35	19641,3	13870	272424831	75,67
	MAIZ	878	rastrojo	0,934	820,052	14356	11772666,5	3,27
			tusa	0,27	237,06	14193	3364592,58	0,93
			capacho	0,211	185,258	15972	2958940,77	0,82
ORIENTE	MAÍZ	10991.7	rastrojo	0,934	10266,2478	14356	147382253	40,94
			tusa	0,27	2967,759	14193	42121403,4	11,70
			capacho	0,211	2319,2487	15972	37043040,2	10,29
	MAÍZ (ANUAL)	176	rastrojo	0,934	164,384	14356	2359896,70	0,66
			tusa	0,27	47,52	14193	674451,36	0,19
			capacho	0,211	37,136	15972	593136,192	0,16

RIONEGRO	MAÍZ	2087.8	rastrojo	0,934	1950,0052	14356	27994274,6	7,78
			tusa	0,27	563,706	14193	8000679,25	2,22
			capacho	0,211	440,5258	15972	7036078,07	1,95
SABANA CENTRO	MAÍZ	6081.255	rastrojo	0,934	5679,89217	14356	81540531,9	22,65
			tusa	0,27	1641,93885	14193	23304038,1	6,47
			capacho	0,211	1283,14480	15972	20494388,8	5,69
SABANA OCCIDENTE	MAÍZ	12935	rastrojo	0,934	12081,29	14356	173438999	48,18
			tusa	0,27	3492,45	14193	49568342,8	13,77
			capacho	0,211	2729,285	15972	43592140	12,11
SOACHA	MAIZ(ANUAL)	618	rastrojo	0,934	577,212	14356	8286455,47	2,30
			tusa	0,27	166,86	14193	2368243,98	0,66
			capacho	0,211	130,398	15972	2082716,85	0,58
SUMAPAZ	MAÍZ	8752	rastrojo	0,934	8174,368	14356	117351227	32,60
			tusa	0,27	2363,04	14193	33538626,7	9,32
			capacho	0,211	1846,672	15972	29495045,1	8,19
UBATÉ	MAÍZ	8872	rastrojo	0,934	8286,448	14356	118960247	33,04
			tusa	0,27	2395,44	14193	33998479,9	9,44
			capacho	0,211	1871,992	15972	29899456,2	8,31
	MAÍZ (ANUAL)	2221	rastrojo	0,934	2074,414	14356	29780287,3	8,27
			tusa	0,27	599,67	14193	8511116,31	2,36
			capacho	0,211	468,631	15972	7484974,33	2,08
	CEBADA	215	paja	0,5	107,5	15549	1671517,5	0,46
TOTAL								**605,90**

4.3 Potencial Energético de biomasa

4.3.1. Biomasa agrícola

Los cálculos realizados permitieron evaluar un potencial energético base en todas las provincias de Cundinamarca, con lo cual se puede contribuir a la producción energética renovable partiendo de los residuos orgánicos agrícolas primarios. En este estudio se evaluaron todos los cultivos cosechados en Cundinamarca, es decir, los residuos con baja capacidad energética como residuos de vegetales, tubérculos, hortalizas, frutas, legumbres también fueron tomados en cuenta. De antemano se estableció que estos restos vegetables no son utilizados para aprovechamiento energético, sino que son utilizados para aprovechamiento de la ganadería. Sin embargo, este análisis incluyó a esta familia de residuos para estimar un potencial energético completo que sirva de base para estudios posteriores.

La cuantificación total de biomasa residual agrícola en el departamento de Cundinamarca se estimó en 3’163.564,835 toneladas, divididas en 904.265,51 toneladas para desechos orgánicos provenientes de cultivos transitorios, 2’242.736,07 toneladas provenientes de cultivos permanentes y 16.563,255 toneladas de cultivos anuales.

El potencial energético que se estimó en el presente estudio no tomó en cuenta la tecnología aplicada, ya que tanto los procesos termoquímicos como biológicos pueden ser aplicados a los desechos agrícolas, adaptándose mejor los procesos de gasificación y pirolisis. En consecuencia, para aplicaciones energéticas concretas se debe tomar en cuenta el factor de corrección o factor de eficiencia que presenta cada tecnología.

4.3.2. Potencial energético total

Con una producción agrícola total estimada en 2'589.468,00 toneladas, representadas en 1'810.993,00 toneladas para cultivos transitorios, 734.141 toneladas para cultivos permanentes y 44.334 toneladas para cultivos anuales, se estimó un potencial energético total de 9.968,21 GWh. Este valor muestra una notable producción de energía, que podría abastecer incluso la demanda de energía eléctrica de la ciudad de Bogotá que para el año 2013 fue de 9.200 GWh (FEDESARROLLO - EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ, 2013). Cundinamarca tiene una demanda de energía eléctrica de más de 3.000 GWh (FEDESARROLLO - EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ, 2013), por lo que el potencial energético estimado, aún incorporando alguna tecnología, sería capaz de cubrir la totalidad de demanda energética de la región e incluso alcanzaría para cubrir parte de la demanda de Bogotá.

El cultivo de mayor potencial energético es el permanente con 7.271,61 GWh, teniendo una menor producción de cosecha comparada con los cultivos transitorios, esto se debe al tipo de residuo generado y al poder calorífico que estos mismos poseen. De otro lado, la papa es el cultivo de mayor producción en la región, representado el 71,85% de cultivos transitorios; sin embargo, los desechos generados por este tubérculo presentan un muy bajo poder calorífico, por lo cual no se considera como residuo orgánico potente para un aprovechamiento energético. Es por eso que el potencial energético de los cultivos transitorios equivale a 2.642,09 GWh, una energía más baja que los cultivos permanentes.

Finalmente el cultivo menos representativo, con 54,50 GWh de energía, es el cultivo anual, debido a su escaza producción y al ciclo vegetativo anual. De esta manera solo se tomó en cuenta el maíz que se cosecha anualmente.

4.3.3. Principales cultivos para aplicaciones energéticas

Los cultivos más relevantes en función de la capacidad energética en sus residuos orgánicos fueron la caña (caña de azúcar y caña panelera), palma de aceite (incluido en los residuos de la caña, debido a que solo la provincia de Medina lo

produce), el café y los cereales, dentro de los cereales se tomaron en cuenta el maíz, la cebada, y el arroz (de riego y secano). De este modo los desechos orgánicos provenientes de estos cultivos poseen gran capacidad energética, el valor estimado fue de 4.561,97 GWh.

Como se ha mencionado anteriormente, este valor de energía disminuiría al aplicarse alguna tecnología. Si se aplicara uno de estos procesos de conversión energética, como la gasificación, se tendría una potencial estimado de 3.877,67 GWh, aun así cubriendo la demanda total de energía eléctrica en la región.

Para el cultivo de caña su potencial energético se estimó en 3.303,16 GWh siendo el cultivo de mayor capacidad del departamento, le sigue el cultivo de café con 652,91 GWh y por último los cereales con una capacidad energética de 605,91 GWh.

5. Biomasa Residual Pecuaria

La determinación del potencial energético de esta biomasa se realizó con base en las tres especies representativas del sector pecuario del departamento; avícola, bovina y porcina, aplicando para la transformación de cada una de éstas la tecnología y proceso más adecuado según las características de la misma, pudiendo ser así tanto procesos termoquímicos como biológicos (digestión anaerobia). Los respectivos análisis se aplicaron para los diferentes municipios que conforman el territorio de Cundinamarca; sin embargo, debido a la gran cantidad de información ésta se presenta enmarcada por provincias y para cada tipo de especie, presentándose al final el potencial energético total de la biomasa residual del sector pecuario en la región.

5.1 Sector avícola

A diferencia de los demás sectores pecuarios, esta especie presenta diferencias importantes en las características del estiércol producido de acuerdo al enfoque productivo al que pertenezca, es así como las aves dedicadas al área de engorde están relacionadas con unos desechos de bajo contenido de humedad, esto principalmente debido a su combinación con el material implementado para las camas; mientras que las demás aves, específicamente las de postura, reflejan más claramente la composición original del estiércol avícola, es decir unos excrementos con altos contenidos de humedad ya que son una mezcla de desechos sólidos y orina, mezcla que en otras especies no se da directamente desde el animal.

Para el presente análisis, la obtención del potencial energético del sector se realizó dividiendo el grupo en dos subsectores; aves de engorde y aves de postura, dentro de esta última se encuentran también las aves de traspatio, las de levante y las reproductoras. El primer subgrupo fue analizado bajo el modelo matemático asociado a la tecnología termoquímica, mientras que el segundo bajo el enfoque del proceso de digestión anaerobia, siendo importante esta diferenciación porque con base en la información resultante puede definirse la conveniencia del uso de una u otra tecnología para cada provincia o de ser necesario para cada municipio.

Este sector avícola se caracteriza por ser de tipo intensivo, lo cual implica la agrupación de gran cantidad de animales en un espacio limitado, siendo ésta una de las principales ventajas frente a la reducción de pérdidas en el proceso de recolección de los residuos, en el Censo Nacional Pecuario 2015, realizado por el

ICA, el número de predios existentes está organizado por predios de traspatio y por los predios avícolas dedicados a cada uno de los enfoques productivos; engorde, levante, postura y reproducción, simplificándose esta información en dos grandes categorías para la clasificación de los predios asociados a este sector; de traspatio y predios avícolas. El primer grupo hace referencia a todas aquellas unidades productivas familiares pertenecientes al sistema de producción rural que combina diferentes tipos de cultivos y cría de animales pero ninguno a gran escala, la mayoría de la producción es para la alimentación propia y un pequeño porcentaje para la venta (PESA., 2007), la segunda categoría agrupa todos los predios dedicados a la cría avícola masiva para cualquiera de sus propósitos.

La distribución general de la población avícola del departamento se presenta en la Tabla 50, en esta información se puede observar la importante cantidad de predios avícolas de traspatio, número significativamente superior a los predios de producción a gran escala, siendo hasta 100 veces mayor; sin embargo pese a la considerable cantidad de estos predios, el número de aves que contiene no es igual de significativa, de hecho como se aprecia en el promedio de aves por predio ninguna supera los 30 animales de esta especie, a diferencia del promedio de animales para la otra categoría de predios donde se evidencia la cría intensiva de aves con una población mínima de aproximadamente 21.000 animales.

Tabla 50 Predios asociados al sector avícola en el departamento de Cundinamarca. Cuadro realizado por los autores con base en la información presente en la referencia

Provincia	N° de aves de traspatio	N° de predios de traspatio	Promedio de aves por predio de traspatio	N° de aves de predios avícolas	N° de predios avícolas	Promedio de aves por predio avícola	Total N° de predios avícolas más de traspatio
Sumapaz	37.440	5347	7	7.960.079	60	132.668	5407
Oriente	154.270	5344	29	4.544.400	39	116.523	5383
Bajo Magdalena	8.750	924	9	1.631.000	16	101.938	940
Almeidas	16.720	2130	8	1.762.600	18	97.922	2148
Gualivá	27.050	3305	8	5.708.299	64	89.192	3369
Magdalena Centro	17.255	1493	12	878.500	10	87.850	1503
Tequendama	18.025	2013	9	3.689.466	42	87.844	2055
Sabana Occidente	11.900	1358	9	2.311.490	29	79.707	1387
Sabana Centro	17.530	1981	9	2.920.369	41	71.229	2022
Guavio	30.600	3358	9	259.000	4	64.750	3362
Rionegro	26.730	2788	10	104.000	4	26.000	2792
Alto Magdalena	18.550	1718	11	567.130	23	24.658	1741
Soacha	5.480	3180	2	42.500	2	21.250	3182
Medina	3.095	353	9	8.900	1	8.900	354
Ubaté	28.935	3575	8	11.305	5	2.261	3580
TOTAL	**422.330**	**38.867**	**---**	**32.399.038**	**358**	**---**	**39.225**

La Tabla 51 contiene el número de animales avícolas existentes por provincia, la producción de estiércol asociada a ellos (masa de residuo) y los resultados del potencial energético del sector, en esta información, así como en el mapa de población avícola, se puede apreciar la importante cantidad de animales de esta especie en Cundinamarca, de hecho según el Censo Pecuario Nacional 2015, este departamento es el segundo con mayor cantidad de aves de este tipo con un porcentaje de concentración del 20,12% del total nacional (ICA, 2015). Así mismo se evidencia en los diferentes totales por departamento que las aves de engorde presentan una población cercana al doble del número de aves ponedoras; sin embargo, este último grupo presenta una masa de residuo inferior a la de las aves de engorde en un 22%, evidenciando que las aves que producen la mayor cantidad de estiércol son las ponedoras, reproductoras y de traspatio.

Tabla 51 Potencial energético del sector avícola en Cundinamarca. Cuadro realizado por los autores con las estadísticas de la referencia

Provincia	Número de Animales		Masa de Residuo (kg/año)		Potencial Energético (GWh/año)		Potencial Energético Total (GWh/año)
	Engorde	Ponedoras	Engorde	Ponedoras	Engorde	Ponedoras	
Almeidas	1.279.200	500.120	32.683.560	18.836.553	110,77	8,27	119,03
Alto Magdalena	423.530	162.150	10.821.192	6.096.675	36,67	2,68	39,35
Bajo Magdalena	1.430.000	209.750	36.536.500	7.057.255	123,82	3,10	126,92
Gualivá	4.719.599	1.015.750	120.585.754	37.105.838	408,67	16,28	424,95
Guavio	100.000	189.600	2.555.000	7.071.834	8,66	3,10	11,76
Magdalena Centro	784.000	111.755	20.031.200	3.994.390	67,89	1,75	69,64
Medina	8.900	3.095	227.395	98.854	0,77	0,04	0,81
Oriente	1.205.500	3.493.170	30.800.525	132.907.421	104,38	58,32	162,71
Rionegro	53.000	77.730	1.354.150	2.521.036	4,59	1,11	5,70
Sabana Centro	1.004.000	1.933.899	25.652.200	73.873.752	86,94	32,42	119,35
Sabana Occidente	1.418.450	904.940	36.241.398	33.300.359	122,82	14,61	137,44
Soacha	33.000	14.980	843.150	539.166	2,86	0,24	3,09
Sumapaz	6.270.079	1.727.440	160.200.518	63.161.934	542,93	27,72	570,64
Tequendama	2.670.858	1.036.633	68.240.422	37.512.602	231,27	16,46	247,73
Ubaté	725	39.515	18.524	1.329.715	0,06	0,58	0,65
TOTAL	**21.400.841**	**11.420.527**	**546.791.488**	**425.407.384**	**1.853,10**	**186,68**	**2.039,78**

En cuanto al potencial energético, se hace notorio que pese a la importante cantidad de residuos totales de ambos subsectores avícolas, los más aprovechables son los desechos avícolas de engorde siendo su potencial hasta de 10 veces el potencial de las aves asociadas a los demás propósitos de producción. En la Figura 100 se puede evidenciar que 9 de las 15 provincias cuentan con un potencial asociado a las aves de engorde mayor que el más alto de los potenciales asociados a las aves de postura. Estas variaciones entre la proporcionalidad de las diferentes variables están relacionadas en primera

instancia con las características del estiércol, pero principalmente con la tecnología implementada para cada enfoque productivo, siendo importante resaltar que este análisis no tiene en cuenta ningún tipo de pérdidas.

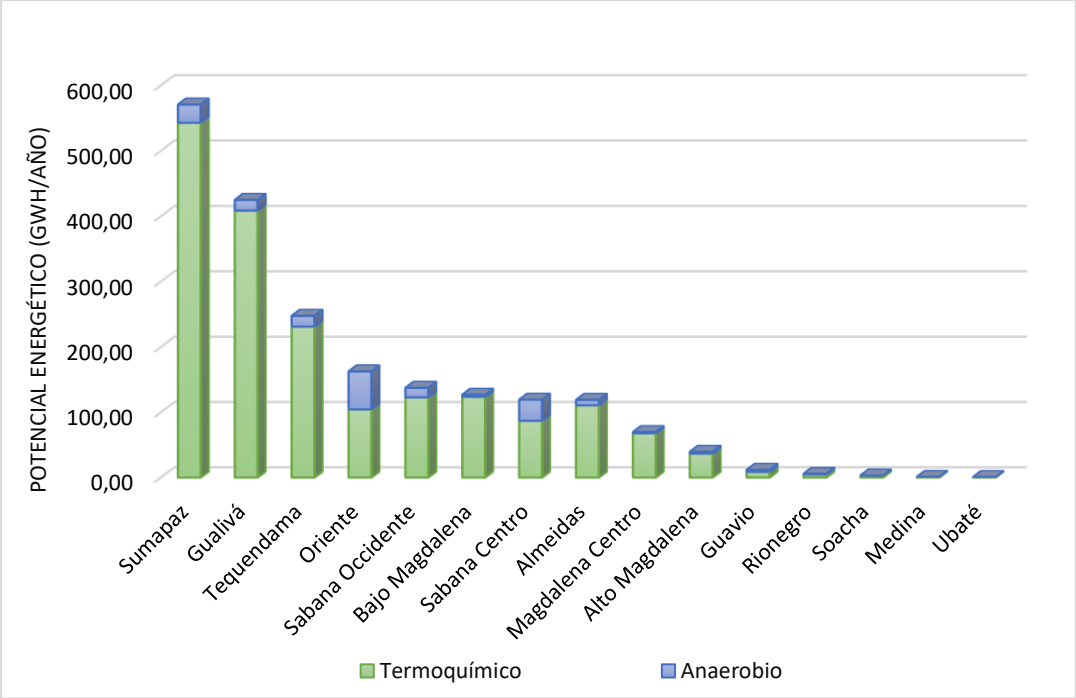


Figura 100 Jerarquización del potencial energético de la biomasa residual avícola por provincias.

De las 15 provincias que conforman el departamento, Ubaté y Medina son aquellas que cuentan con un potencial energético inferior a 1 GWh/año, con 0,81 GWh/año y 0,65 GWh/año respectivamente (ver Figura 101 a Figura 107); sin embargo, estas dos provincias, que son las de menor potencial, tendrían una disponibilidad diaria cercana a los 1,78 MWh, sin estimación de ningún tipo de perdidas, por lo que se puede afirmar que la biomasa residual avícola es una opción importante a ser contemplada como fuente alterna de energía. Por ejemplo, en la provincia de Ubaté la energía disponible podría suplir la demanda anual de aproximadamente 509 personas, y a nivel departamental con la energía disponible se podría cubrir la demanda de aproximadamente 1'597.322 personas, más del 58% de los habitantes del departamento (FEDESARROLLO - EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ, 2013).

En general, las provincias con menor potencial tanto por parte de la tecnología termoquímica como del proceso de digestión anaerobia son Ubaté, Medina, Soacha, Rionegro y Guavio, por otra parte y con un importante potencial

especialmente proveniente de las aves de engorde (procesos termoquímicos) se encuentran las provincias de Sumapaz, Gualivá, Tequendama y Oriente, siendo esta última la provincia con mayor potencial derivado del sector avícola de ponedoras, reproductoras y de traspatio. Como se mencionó previamente y como se visualiza en la Figura 100 los residuos transformados por medio de la tecnología termoquímica son los que presentan mayor potencial en cada provincia, esto debido a que como se explica en los modelos matemáticos implementados, el proceso de digestión anaerobia solo obtiene potencial de la materia seca del residuo pero a su vez requiere un alto grado de humedad en el mismo para la producción de los microorganismos que van a actuar en la degradación de la biomasa, resultando así una menor cantidad de residuo implicado netamente en la obtención de compuestos energéticos respecto los implicados en los otros procesos, esto sin tener en cuenta ningún tipo de pérdidas.

En los diferentes mapas mostrados y en las estadísticas publicadas por el ICA (ICA, 2015), se presentan los valores y resultados detallados de las diferentes variables tomadas en cuenta en la obtención del potencial energético del sector, en esta información se puede individualizar el comportamiento de todos los municipios pertenecientes a Cundinamarca, proceso en el cual se evidencian algunos casos particulares como que 12 de las 15 provincias tienen al menos un municipio que solo posee aves de traspatio; de estas 12 provincias, Guavio, Rionegro y Ubaté están conformadas en su mayoría por municipios sin predios avícolas a gran escala, estos precios solo existen en 2 o 4 de sus municipios, de hecho Ubaté es la única provincia que posee mayor cantidad de aves de traspatio que aves ubicadas en predios masivos de producción avícola, ver Tabla 50.

De igual forma, existen algunas provincias cuyo potencial derivado de las aves de engorde proviene exclusivamente de uno de sus municipios, este es el caso de Ubaté, Rionegro, Magdalena Centro, Guavio y Bajo Magdalena, siendo dichos municipios Lenguazaque, Pacho, Guayabal de Síquima, Guasca y Guaduas. Por el contrario, algunos municipios son puntos de producción con gran concentración de población avícola, como lo es el municipio de Fusagasugá de la provincia de Sumapaz, el cual tiene más del doble de la cantidad de población que la mayoría de municipios, de igual forma el municipio de Fomeque cuenta con la mayor población de aves ponedoras, de levante y de traspatio del departamento, siendo el que posiciona a la provincia de Oriente como el territorio con mayor potencial energético derivado del proceso de digestión anaerobia.

A continuación, en los mapas de la Figura 101 hasta la Figura 107 se presentan las diferentes variables analizadas en esta sección, para las 15 provincias y cada uno de los 116 municipios del departamento de Cundinamarca.

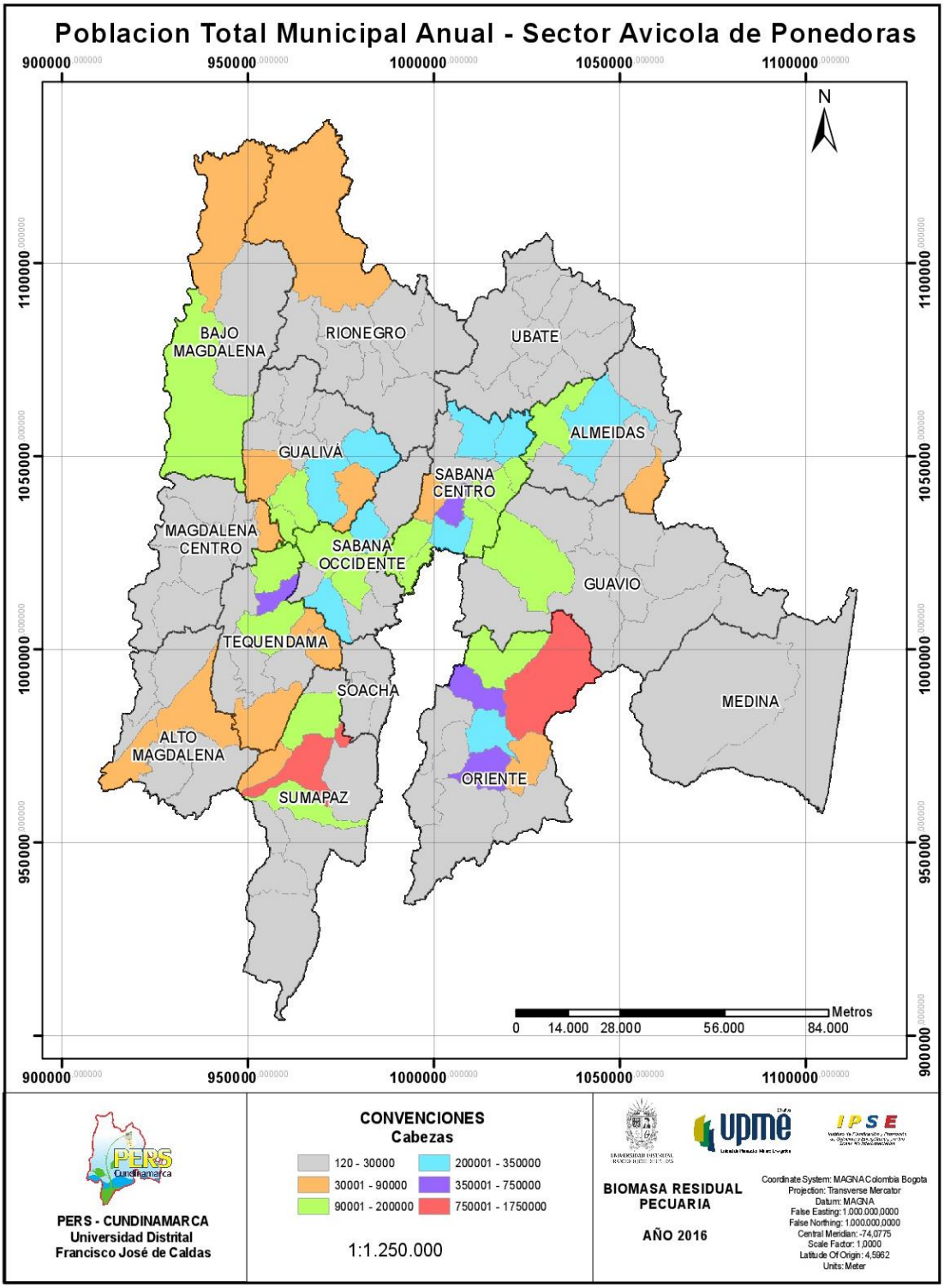


Figura 101 Mapa de población total municipal anual del sector avícola, subgrupo ponedoras.

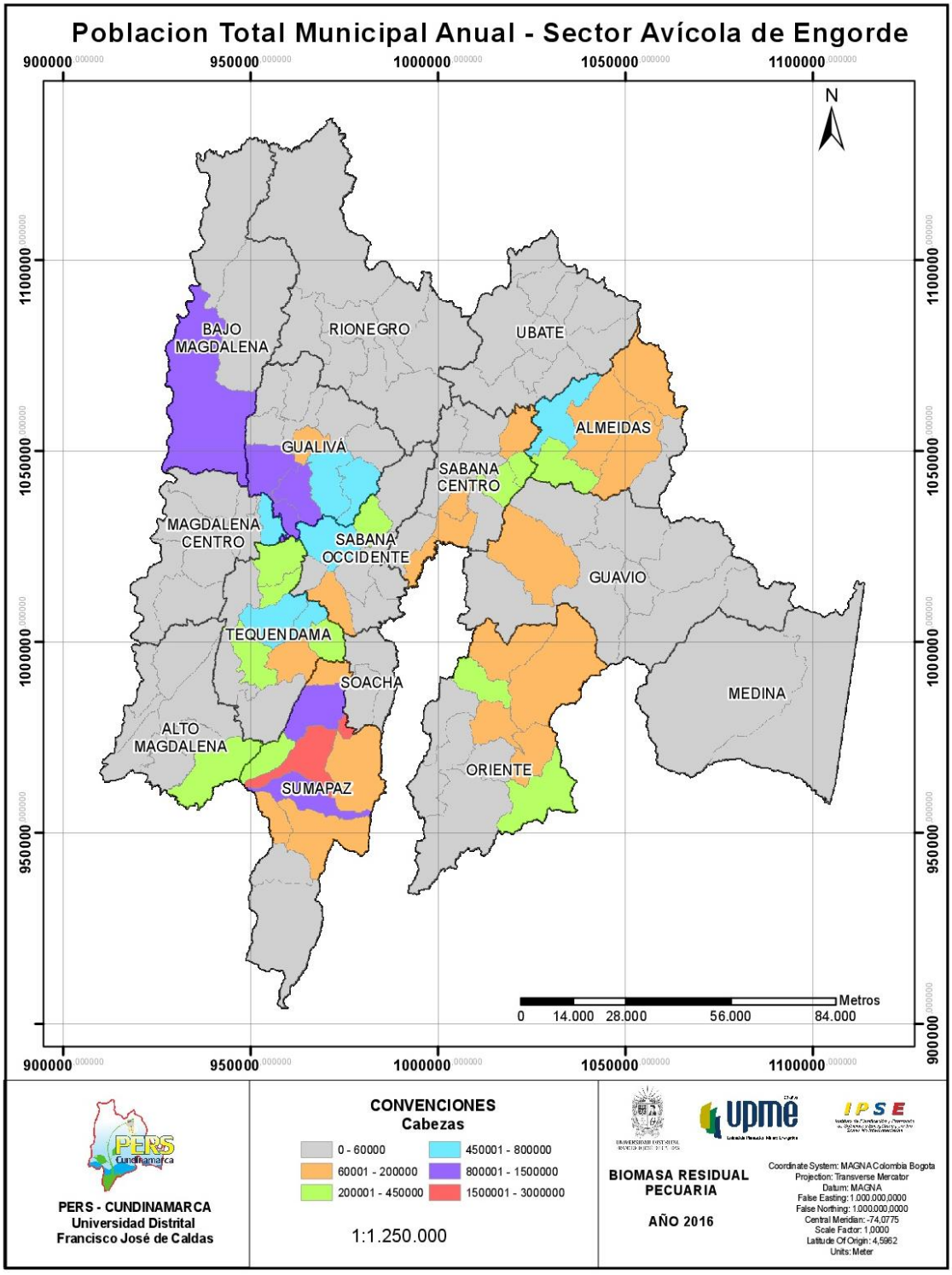


Figura 102 Mapa de población total municipal anual del sector avícola, subgrupo engorde.

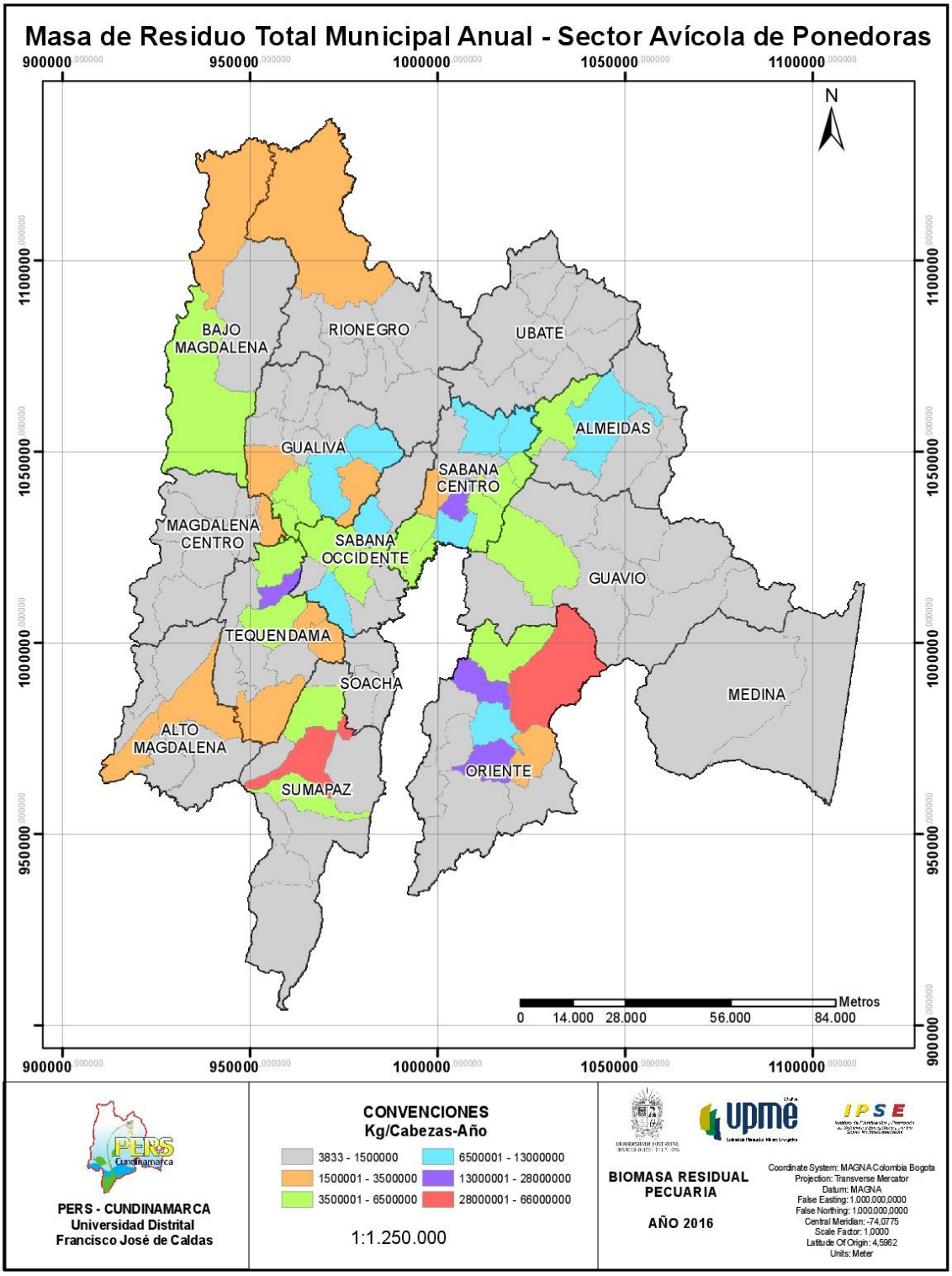


Figura 103 Mapa de masa de residuo total municipal del sector avícola, subgrupo ponedoras.

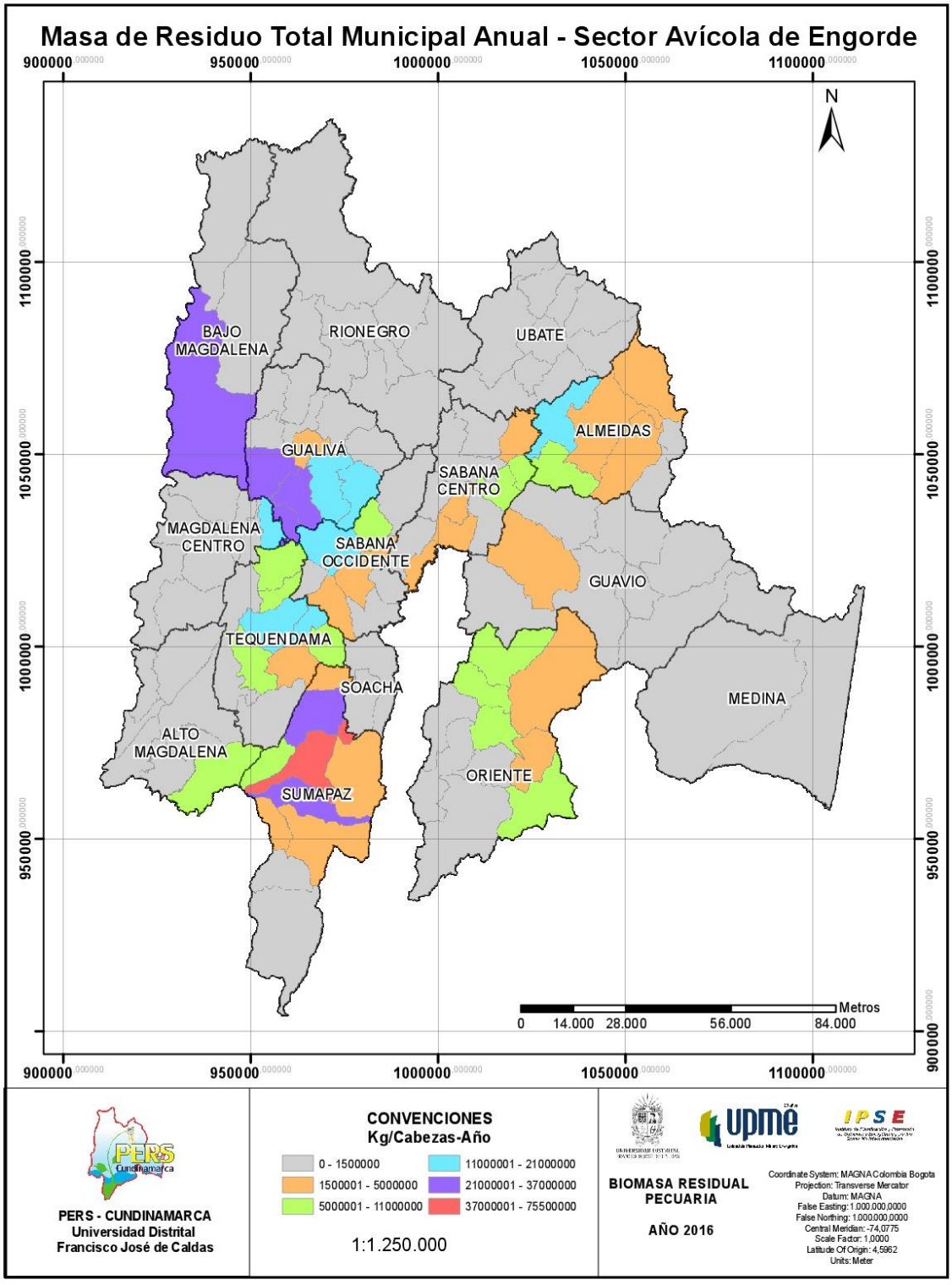


Figura 104 Mapa de masa de residuo total municipal del sector avícola, subgrupo engorde.

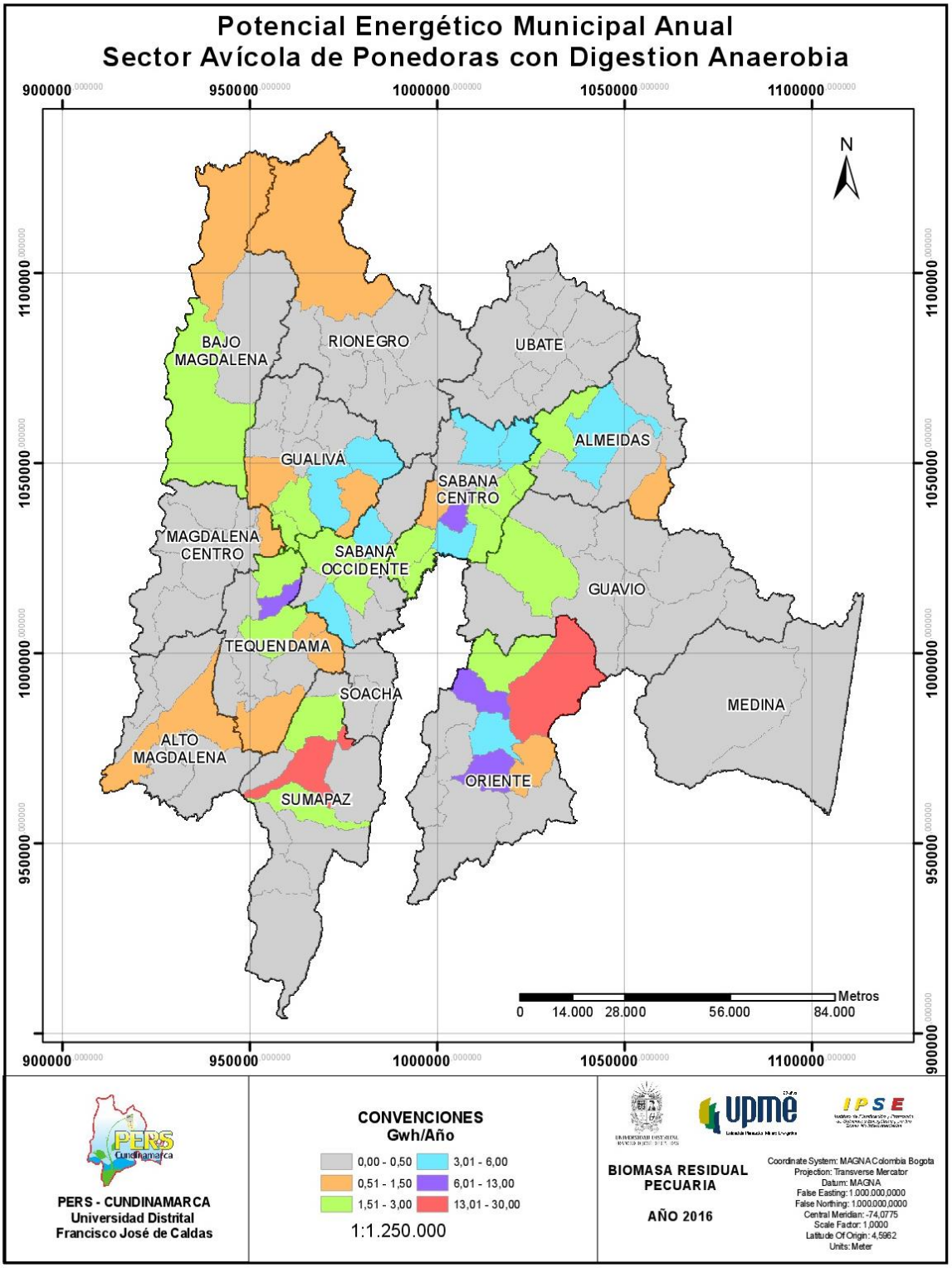


Figura 105 Mapa de potencial energético total municipal del sector avícola, proceso digestión anaerobia.

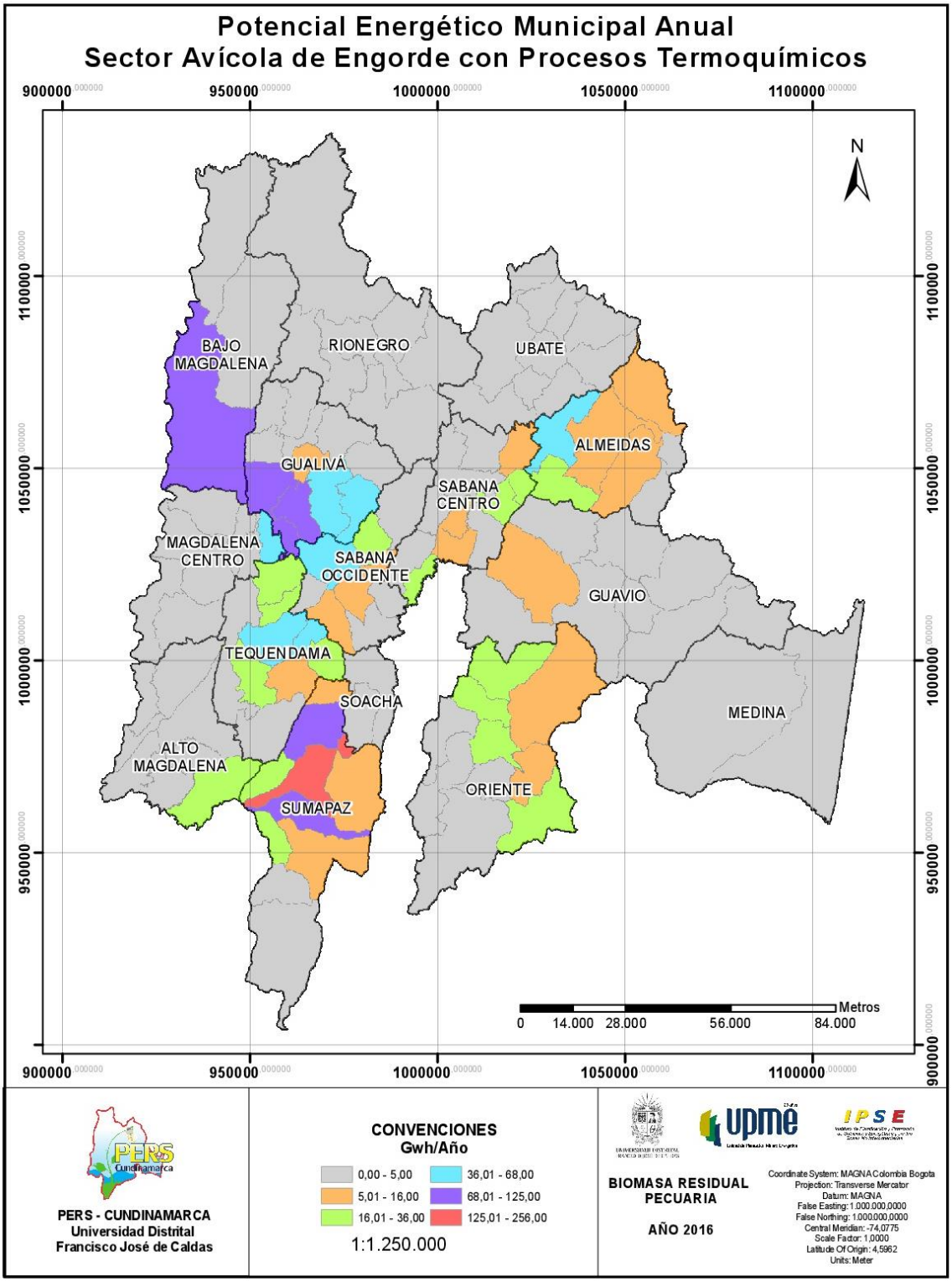


Figura 106 Mapa de potencial energético total municipal del sector avícola, procesos termoquímicos.

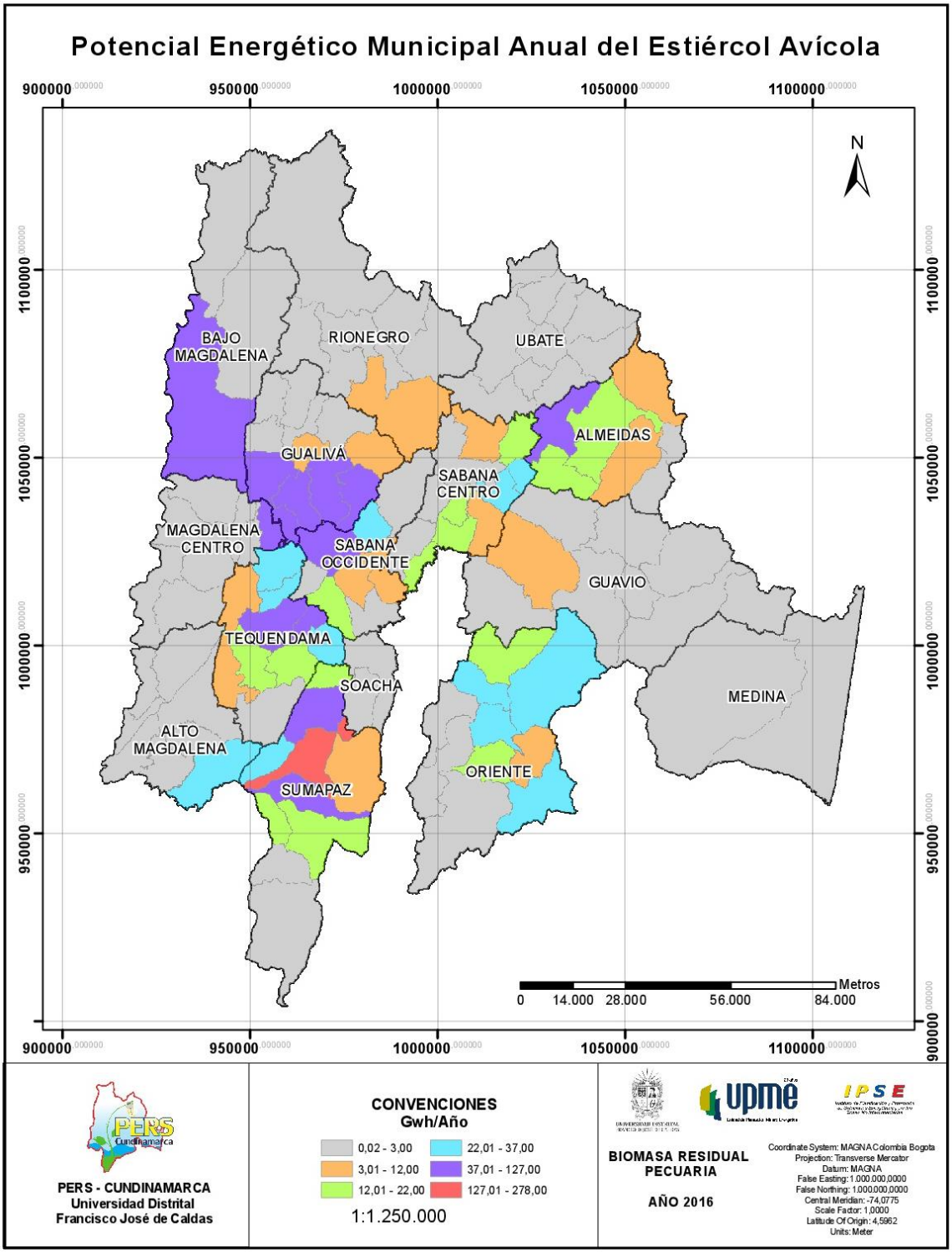


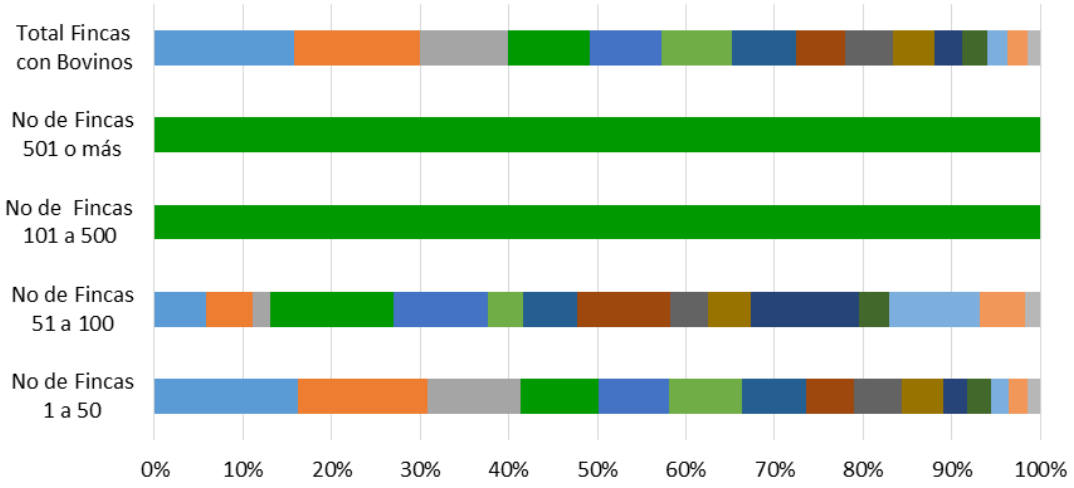
Figura 107 Mapa de potencial energético total municipal del sector avícola.

5.2 Sector bovino

Al igual que muchos territorios pertenecientes a países en vía de desarrollo, Cundinamarca cuenta con una ganadería de tipo extensiva para este sector, lo cual implica el pastoreo libre de los animales en grandes áreas, la contaminación del agua, aire y suelo debido a la dispersión del ganado y, en muchas ocasiones, una menor eficiencia de producción asociada al mayor costo en su crianza y a su paulatino aumento productivo; por otro lado presenta algunas ventajas, como una mejor calidad de los productos y un mejor trato a los animales. Este tipo de ganadería genera una mala disposición de los desechos orgánicos y hace difícil la recolección de los mismos, donde una de sus características primordiales consiste en el alto porcentaje de humedad de las excretas, motivo por el cual la tecnología adecuada para el procesamiento de su biomasa es la digestión anaerobia.

La fuente de información base para realizar el análisis, estadísticas ICA 2015, presenta la población bovina discriminada por grupo etario y a su vez clasificada por género, sin embargo la tasa de producción de estiércol, factor que determina la masa de residuo obtenida del sector, está definida principalmente por la edad del animal, razón por la cual se establece presentar la información a través de grupos de la misma edad, en un intervalo de 4 clases; bovinos menores a un año, entre 1-2 años, de 2-3 años y bovinos mayores a 3 años, sin tener en cuenta la segregación de sexo; hembra o macho, o la tipificación respecto a su producto final: carne, leche o doble propósito, de esta manera se obtiene una cantidad de biomasa residual por clase, siendo la sumatoria de estos residuos, bien sea por municipio o provincia, una variable base para determinar el potencial energético.

Respecto a la cantidad de predios en los que se distribuyen las cabezas de ganado bovino, el ICA los clasifica dependiendo la cantidad de animales que posee cada uno, ver Figura 108, donde el 95,23% de todo el departamento corresponde a fincas que tienen entre 1 a 50 bovinos, el 4,54% se refiere a aquellas que poseen entre 51 y 100 cabezas, y el 0,244% para dos categorías adicionales presentes solamente en la provincia de Rionegro cuyo territorio es el único que cuenta con fincas que albergan más de 100 cabezas bovinas, siendo el 0,227% la participación de terrenos con una cantidad de 100 a 500 animales y del 0,0174% para fincas con un número mayor a 500 cabezas. Estos porcentajes evidencian que los terrenos que predominan en el departamento son los predios bovinos de tipo traspatio, prevaleciendo tanto en este aspecto como en cantidad de predios totales las provincias de Ubaté y Guavio, quedando rezagadas 5 de las 15 provincias, principalmente Soacha.



	No de Fincas 1 a 50	No de Fincas 51 a 100	No de Fincas 101 a 500	No de Fincas 501 o más	Total Fincas con Bovinos
Ubaté	8850	150	0	0	9000
Guavio	7987	137	0	0	8124
Oriente	5687	53	0	0	5740
Rionegro	4793	363	130	10	5286
Sabana Centro	4384	277	0	0	4661
Almeidas	4430	101	0	0	4531
Sumapaz	4008	159	0	0	4167
Sabana Occidente	2889	273	0	0	3162
Tequendama	2969	111	0	0	3080
Gualivá	2558	125	0	0	2683
Bajo Magdalena	1474	317	0	0	1791
Magdalena Centro	1502	89	0	0	1591
Medina	1046	265	0	0	1311
Alto Magdalena	1171	135	0	0	1306
Soacha	784	44	0	0	828

Figura 108 Distribución de predios bovinos por provincia.

La población vacuna, masa de residuo y potencial energético derivado de su estiércol se visualizan en los mapas de la Figura 110 a Figura 112 y en la Tabla 52. Las provincias de Bajo Magdalena y Soacha son las de mayor y menor porcentaje de participación en las diferentes variables respectivamente, estas provincias difieren entre ellas por una población de aproximadamente 112.000 bovinos donde Soacha representa el 14,6% del número de cabezas y el 15,5% del estiércol respecto a la población y producción de residuos de Bajo Magdalena.

Tabla 52 Potencial energético del sector bovino en Cundinamarca.

PROVINCIA	Número de Animales (Cabezas)	Masa de Residuo (kg/año)	Potencial Energético Total (GWh/año)
Bajo Magdalena	131.118	573.835.480	107,97
Sabana Centro	105.324	507.446.360	95,48
Medina	101.500	493.845.000	92,92
Ubaté	95.595	472.165.460	88,84
Sabana Occidente	91.132	416.778.535	78,42
Guavio	87.460	408.919.355	76,94
Rionegro	88.954	401.769.370	75,60
Sumapaz	64.538	287.169.225	54,03
Almeidas	58.900	282.388.090	53,13
Alto Magdalena	48.420	226.182.105	42,56
Magdalena Centro	47.124	223.208.085	42,00
Oriente	45.844	201.061.710	37,83
Tequendama	43.553	192.390.040	36,20
Gualivá	39.788	175.970.515	33,11
Soacha	19.136	88.863.995	16,72
TOTAL	**1.068.386**	**4.951.993.325**	**932**

De igual forma, esta tabla permite apreciar que la organización de las diferentes provincias se mantiene sin importar la variable de análisis, es decir la cantidad de animales, masa de residuo y el potencial energético asociado a sus desechos guardan una relación directa entre ellos, de forma que en la mayoría de los escenarios se evidencia que a mayor población, mayor cantidad de estiércol y por ende mayor potencial, no obstante esta proporción se puede ver alterada por la relación existente entre la tasa de producción de estiércol y el grupo etario al que pertenezca el animal, dado que si la población tiende a concentrase en una misma edad se tendrá una mayor cantidad de residuo, de ser esta edad adulta, o una menor cantidad del mismo de ser terneros o bovinos jóvenes. En este sentido, se presenta el caso de las provincias de Rionegro y Guavio, donde la primera cuenta con una mayor cantidad de bovinos pero su masa de residuo es inferior, esto se debe a que Guavio posee una mayor cantidad de ganado perteneciente al grupo etario de más de tres años, generando un aumento tanto en sus desechos como en su potencial energético respecto a Rionegro.

En la Figura 109 se evidencia, como ya se había sugerido previamente, que no existe una provincia que prevalezca como punto de concentración del sector, de hecho el potencial energético está distribuido de una manera casi uniforme en el

departamento, presentándose el mínimo porcentaje en la provincia de Soacha con el 2% y el mayor en la de Bajo Magdalena con un 12%.

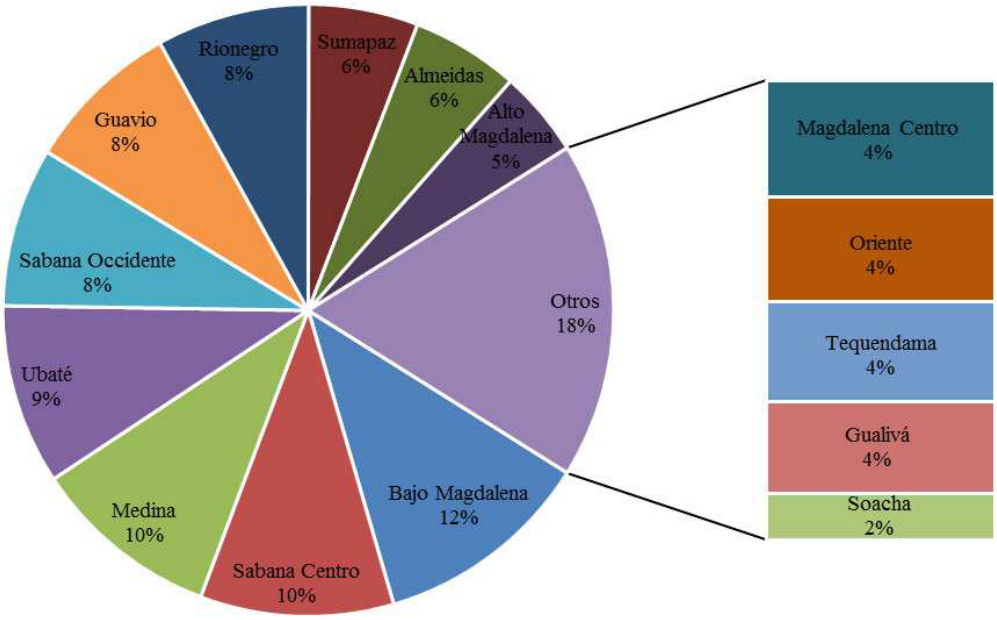


Figura 109 Potencial energético sector bovino.

El menor potencial energético del departamento equivale a 16,72 GWh/año lo cual podría suministrar energía eléctrica a aproximadamente 13.093 habitantes (el 0,48% de la población de Cundinamarca), por otra parte el máximo potencial, 107,97 GWh/año, podría satisfacer las necesidades energéticas del 3,11% de los habitantes (aproximadamente 84.550 personas). En cuanto a la región en general, se cuenta con un potencial total asociado al sector bovino de 932 GWh/año, siendo esta una fuente energética importante debido a que podría cubrir el 100% de la demanda eléctrica residencial del departamento. Es de aclarar que estas proyecciones no tienen implícitas ningún tipo de pérdidas (FEDESARROLLO - EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ, 2013).

Como se puede observar en los siguientes mapas, en el departamento de Cundinamarca todos los municipios poseen ganado bovino, donde de las 15 provincias 14 tienen la mayor densidad de cabezas en bovinos mayores a 3 años, a excepción de Bajo Magdalena, y 11 tienen como segunda clase predominante a bovinos entre 1 y 2 años. De forma similar, hay municipios que contienen el 40% o más de la totalidad de cabezas de ganado de la provincia, es así como en Alto Magdalena sobresale Tocaíma con el 44,8%, en Magdalena Centro prevalecen San Juan de Rio Seco 51,1% y Vianí 61,2%, del mismo modo en Rionegro con Yacopí 46,7% y en el caso de Sumapaz está Fusagasugá con el 43,7%.

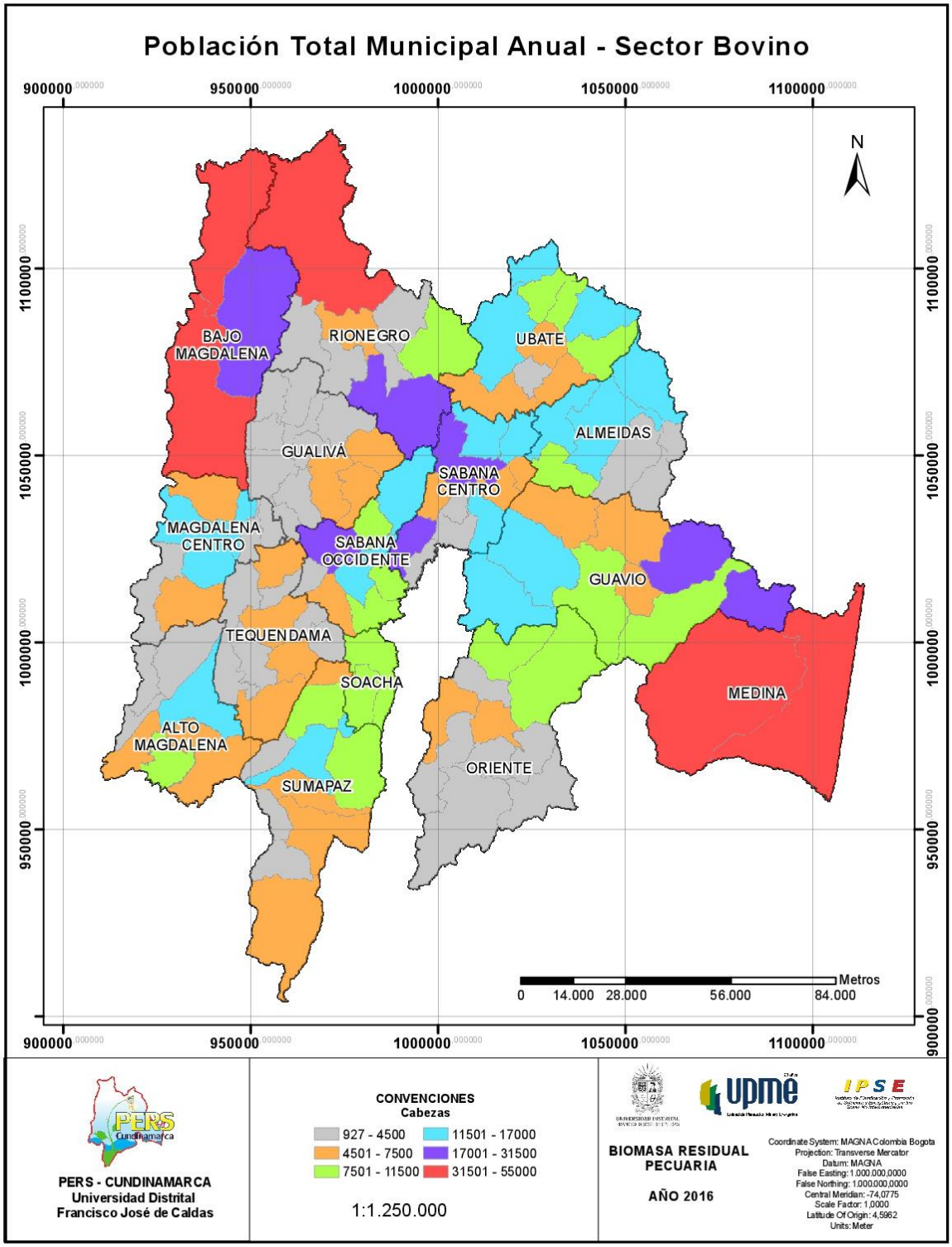


Figura 110 Mapa de población total municipal del sector bovino.

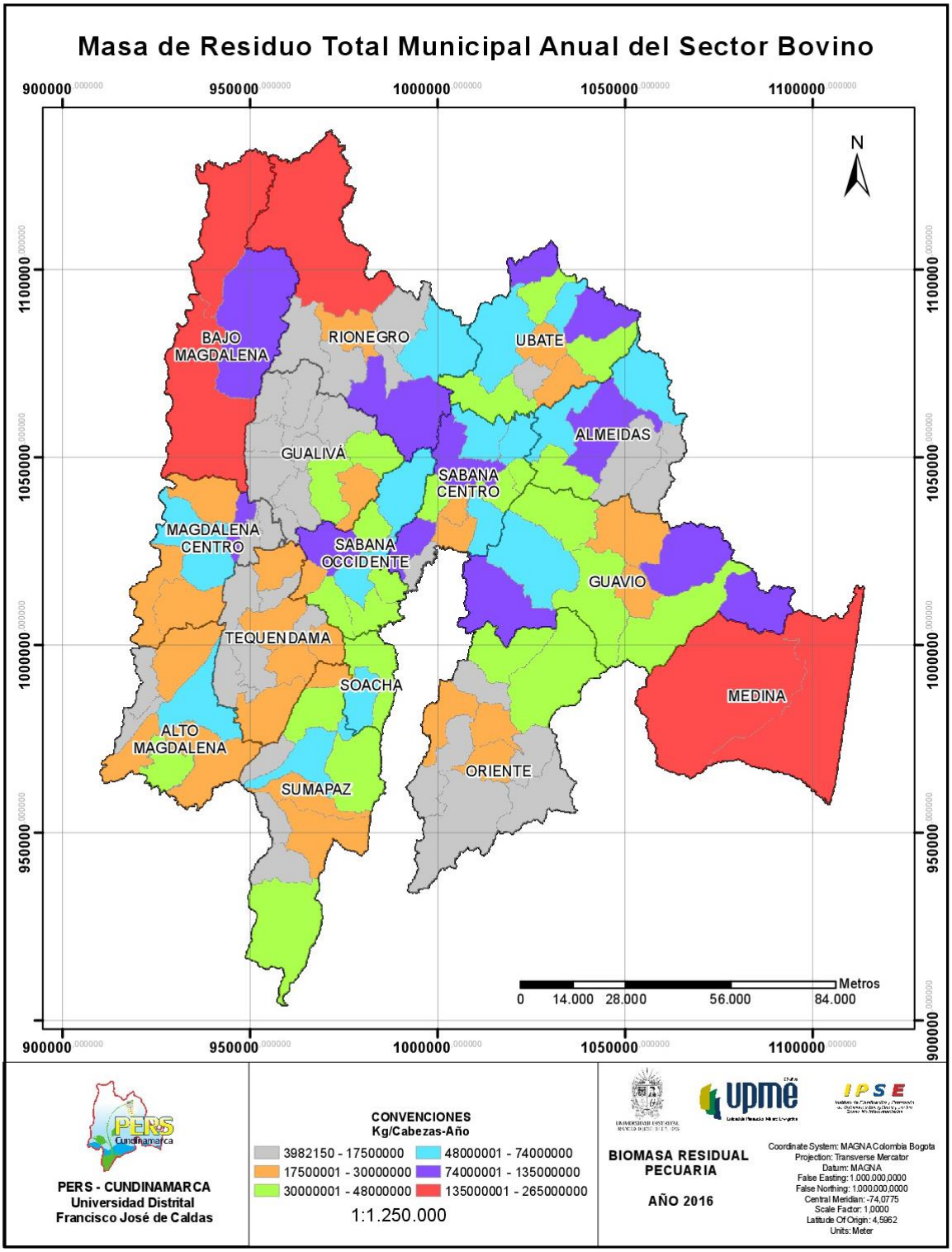


Figura 111 Mapa de masa de residuo total municipal del sector bovino.

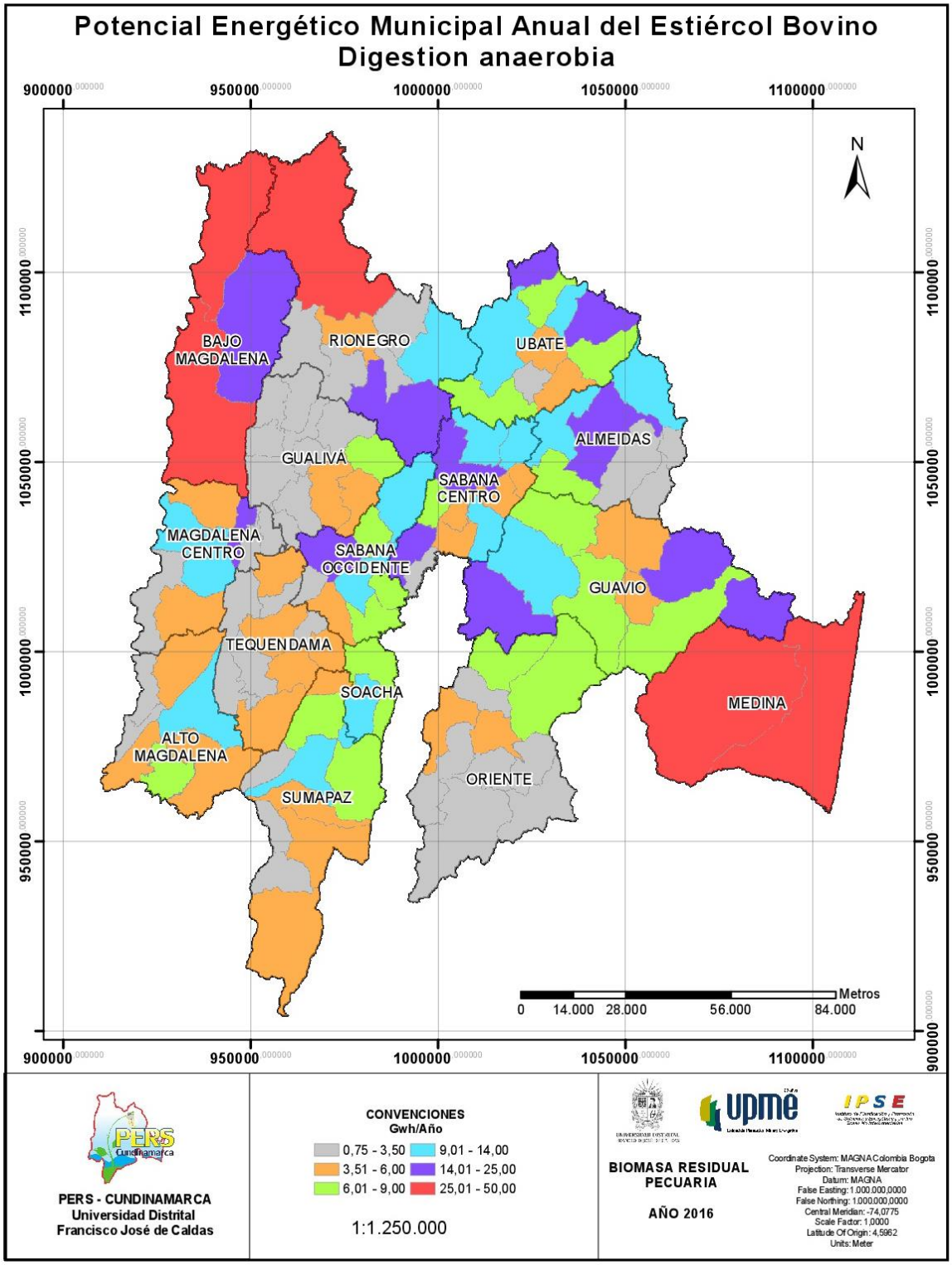


Figura 112 Mapa de potencial energético total municipal del sector bovino.

5.3 Sector porcino

El cerdo es una de las especies domésticas más susceptibles a factores externos como la temperatura y la higiene, requiriendo para su óptimo desarrollo y de acuerdo a su ciclo productivo temperaturas de los 14 a los 22 °C, así como una constante limpieza de las instalaciones que habita. Estas necesidades hacen que su crianza muy pocas veces se realice al aire libre o en extensos terrenos, considerándose por tanto como una ganadería de tipo intensiva, donde los animales permanecen confinados en áreas inferiores a los 2,5 m^2 por cabeza, siendo el pastoreo un sistema que de usarse solo se aplica en los reproductores, demandando para esto un espacio mínimo de 150 m^2 por cerdo (Martínez, 2011).

El espacio reducido en el que se desarrolla este sector propicia la recolección de una mayor cantidad de los residuos producidos. Estos residuos se pueden determinar con base en diferentes características del animal, sin embargo una de las más adecuadas, por englobar la mayoría de variables, es el grupo etario en el que se encuentre. La clasificación de los cerdos según su edad es: lechones lactantes, levante, reproductores y hembras lactantes, otros ciclos como la ceba, los animales de reemplazo o los cerdos de traspatio pueden ser tomados como un grupo con una producción de desechos promedio.

En general, el estiércol resultante de este sector posee unos altos grados de humedad, aproximadamente del 70%, siendo esta característica la principal condición para que la biomasa residual obtenida sea óptima para ser transformada por medio del proceso de digestión anaerobia.

Otra de las principales características de este sector está en la clasificación dada a los predios en los cuales se realiza la crianza de esta especie, de acuerdo a las estadísticas ICA 2015, existen diversos predios cuyo enfoque productivo es solo uno, bien sea el de cría de hembras o el de levante y ceba, esta primera forma de producción implica que después de cierta edad o culminado determinado ciclo el animal debe ser llevado a otra granja donde pueda continuar su desarrollo. Existen también otros predios denominados de ciclo completo, los cuales cuentan con instalaciones para la cría del cerdo en cualquiera de sus etapas. Estos dos tipos de predios son catalogados como granjas tecnificadas por las características de sus instalaciones, otros terrenos dedicados a la cría de esta especie pero de una forma artesanal son designados como de traspatio, en ellos suele llevarse a cabo todos los ciclos del animal y cuentan con cerdos de todas las edades y enfoques, aunque con una menor cantidad de animales.

La distribución de estos predios se muestra en la Tabla 53, donde se aprecia que el 62,4% de los predios están concentrados en las provincias de Sumapaz,

Oriente, Gualivá y Tequendama, mientras que en provincias como Soacha, Medina, Bajo Magdalena y Rionegro se ubica la menor cantidad de granjas; así mismo se evidencia que el 66,5% de los predios porcinos del departamento son del tipo granja tecnificada conteniendo en ellos aproximadamente al 94% de esta especie, de hecho 8 de las 15 provincias presentan más granjas de este tipo que predios de traspatio, lo cual representa una importante diferencia de este sector respecto a otros, siendo el número de animales por granja tecnificada de 16 a 82 aproximadamente, mientras que en terrenos de traspatio la población no supera los 10 animales.

Tabla 53 Predios y distribución de la especie porcina en el departamento de Cundinamarca.

Provincia	Total granjas porcinas tecnificadas	N° de porcinos de granjas tecnificadas	Promedio de porcinos por granja tecnificada	Total predios traspatio	N° de porcinos de traspatio	Promedio de porcinos por predio de traspatio	Total predios porcinos
Sumapaz	3570	74.561	21	1114	3.526	3	4684
Oriente	3242	59.059	18	427	1.262	3	3669
Gualivá	1704	93.496	55	803	4.702	6	2507
Tequendama	1709	77.881	46	788	5.818	7	2497
Sabana Centro	596	16.865	28	653	1.698	3	1249
Guavio	638	13.820	22	380	854	2	1018
Alto Magdalena	616	20.603	33	315	693	2	931
Sabana Occidente	385	16.680	43	457	997	2	842
Almeidas	348	28.576	82	487	1.500	3	835
Ubaté	301	4.787	16	451	613	1	752
Magdalena Centro	293	23.904	82	338	3.045	9	631
Rionegro	266	8.641	32	228	592	3	494
Bajo Magdalena	307	16.920	55	151	345	2	458
Medina	128	3.220	25	322	465	1	450
Soacha	119	2.903	24	257	874	3	376
TOTAL	**14.222**	**461.916**	**---**	**7.171**	**26.984**	**---**	**21.393**

Para determinar el potencial energético que este sector puede aportar al departamento existen dos variables fundamentales: la población porcina y la cantidad de estiércol que producen, estas variables se encuentran detalladas por provincia en la Tabla 54 y en los mapas de la Figura 114 a la Figura 116, donde se evidencia la relación directa entre ellas, de forma que a mayor número de animales mayor masa de residuo.

Aunque en general está relación se mantiene, puede verse alterada en casos particulares de presentarse poca homogeneidad entre los grupos etarios que conforman la población, es decir que pese a que un territorio cuente con gran cantidad de cerdos, si en su mayoría son lechones la masa de residuo puede verse afectada considerablemente por su baja tasa de producción de estiércol, esta situación se mantiene aun cuando la mayor parte de la población sean adultos puesto que en algún momento de la producción el grupo culminará su ciclo

y se tendrá nuevamente una población en su mayoría de edad joven. Un ejemplo de esta particularidad se presenta entre las provincias de Almeidas y Magdalena Centro, donde esta última aunque tiene menor número de animales produce una mayor cantidad de residuos y un mayor aporte energético que Almeidas, esto se debe a que la provincia de Almeidas está conformada en un 73% por lechones y levante, mientras que Magdalena centro está conformada por estos grupos etarios en un 66%.

Tabla 54 Potencial energético del sector porcino en el departamento de Cundinamarca.

Provincia	Número de Animales	Masa de Residuo (kg/año)	Potencial Energético Total (GWh/año)
Gualivá	98.198	62.510.567	28,17
Tequendama	83.699	58.999.693	26,58
Sumapaz	78.087	53.714.033	24,20
Oriente	60.321	36.883.528	16,62
Magdalena Centro	26.949	20.917.696	9,43
Almeidas	30.076	20.894.657	9,41
Alto Magdalena	21.296	15.783.935	7,11
Sabana Centro	18.563	13.618.469	6,14
Sabana Occidente	17.677	12.320.296	5,55
Bajo Magdalena	17.265	11.537.333	5,20
Guavio	14.674	11.075.721	4,99
Rionegro	9.233	6.773.109	3,05
Ubaté	5.400	4.101.696	1,85
Soacha	3.777	3.125.391	1,41
Medina	3.685	2.927.711	1,32
TOTAL	**488.900**	**335.183.837**	**151**

La Figura 113 permite apreciar que los predios están concentrados especialmente en cuatro provincias, en las cuales se concentra la mayor parte de la población porcina y por lo tanto representan la mayor cantidad de residuos y potencial energético, conteniendo en ellas más del 60% de todas las variables. Estas provincias son Gualivá, Tequendama, Sumapaz y Oriente; sin embargo, al comparar la información de la Tabla 53 y Tabla 54, se evidencia que la cantidad de predios no está directamente relacionada con la cantidad de animales que posee la provincia ni tampoco determina exactamente la biomasa que de ellos se pueda obtener.

La especie porcina cuenta con provincias cuyo potencial energético representa menos del 1% del total del departamento, este es el caso de las provincias de Medina y Soacha, donde el potencial más crítico es de 1,32 GWh/año, el cual, teniendo en cuenta la demanda energética per cápita de Cundinamarca y despreciando perdidas, podría llegar a satisfacer el consumo de energía eléctrica del 0,038% de los habitantes del departamento (1.034 personas); de igual manera, el departamento cuenta con un potencial total de 151 GWh/año capaz de suplir la

demanda de energía de más de 118.245 personas, casi un 4,34% de la población del territorio, aportando una disponibilidad diaria de 413,7 MWh (FEDESARROLLO - EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ, 2013).

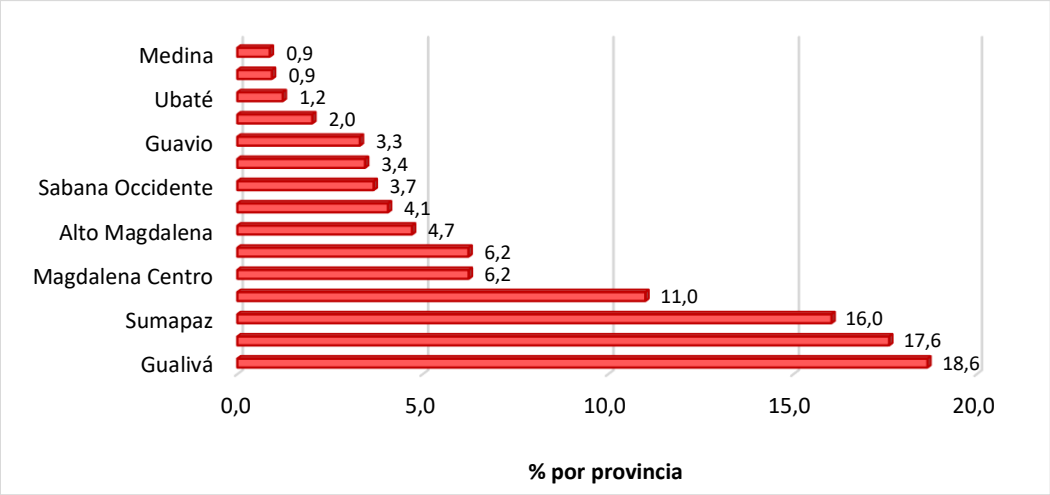


Figura 113 Potencial energético del sector porcino en % por provincias.

En el estudio realizado se evidencia la poca población porcina de tipo reproductor, este enfoque productivo de los cerdos ocupa el menor porcentaje de población, siendo el máximo número de animales por municipio de 112 animales. En general el reproductor representa el 0,14% de la población porcina de Cundinamarca, siendo su presencia nula en los municipios de La Peña, Une, Sutatausa, Apulo, entre otros.

De todo el departamento solo hay un municipio con ausencia total de granjas tecnificadas, este es el municipio de Puerto Salgar de la Provincia de Bajo Magdalena, el cual cuenta exclusivamente con animales de tipo traspatio y en cantidades reducidas. En 9 provincias la mayor parte de la población porcina concentrada en un solo municipio, estas provincias son: Gualivá con Sasaima, 44,6%; Magdalena Centro con Vianí, 50%; Almeidas con Chocontá, 52%; Tequendama con San Antonio del Tequendama, 53%; Sumapaz con Fusagasugá, 59%; Sabana Occidente con Facatativá, 65,2%, Alto Magdalena con Ricaurte, 73,1%; Rionegro con Pacho, 79,4%; y Bajo Magdalena con Guaduas con el 99% de la población.

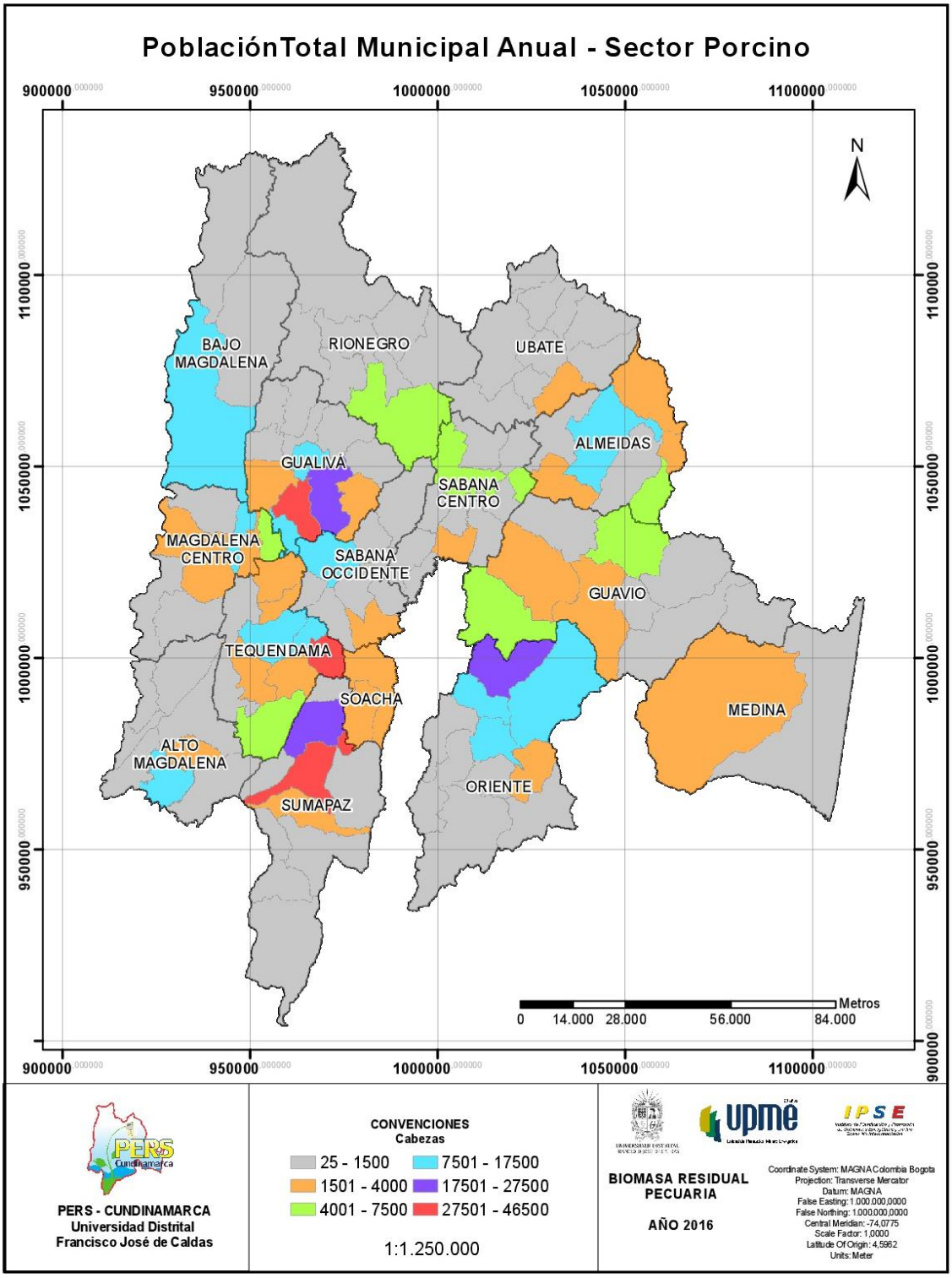


Figura 114 Mapa de población total municipal del sector porcino.

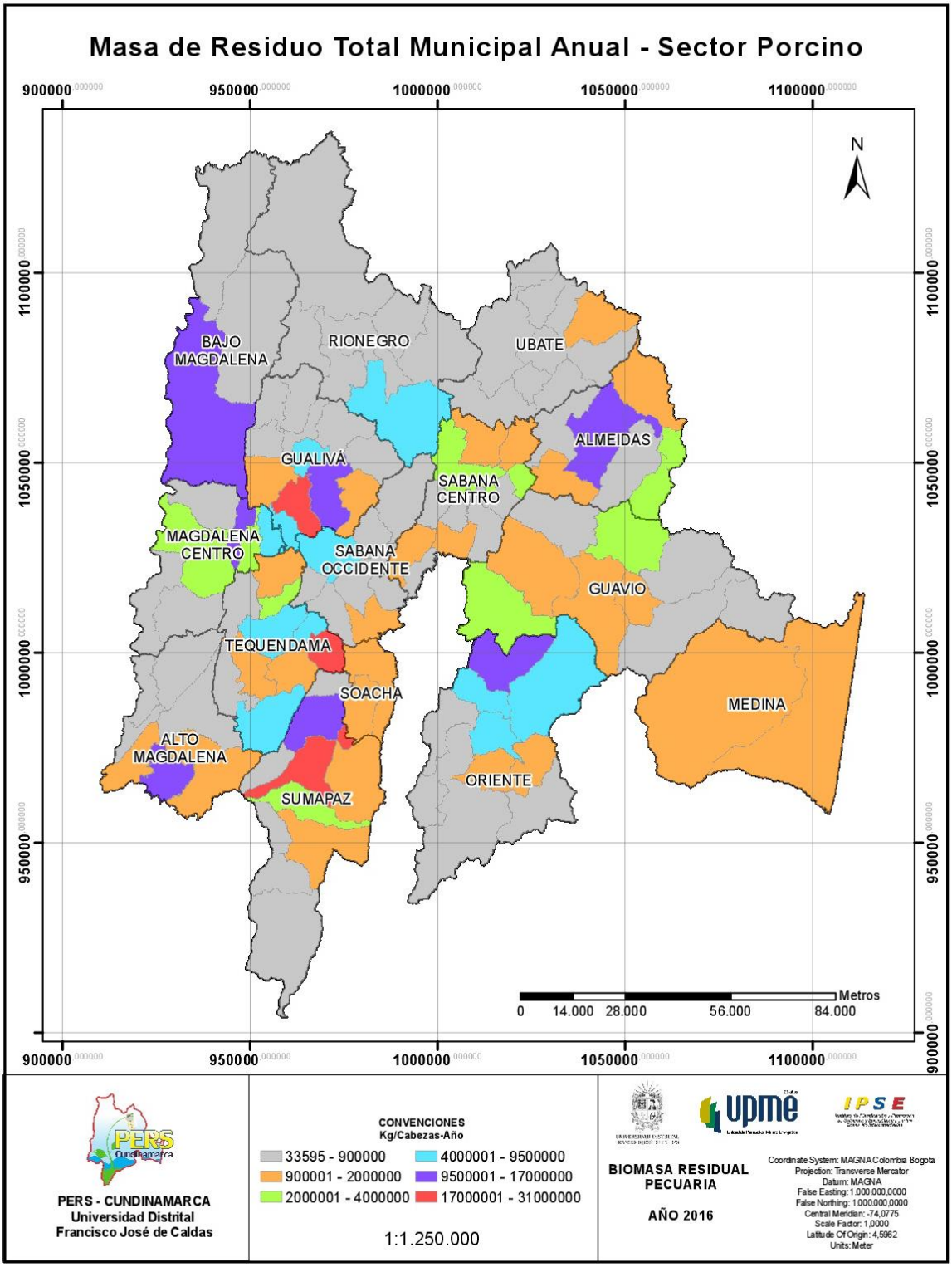


Figura 115 Mapa de masa de residuo total municipal del sector porcino.

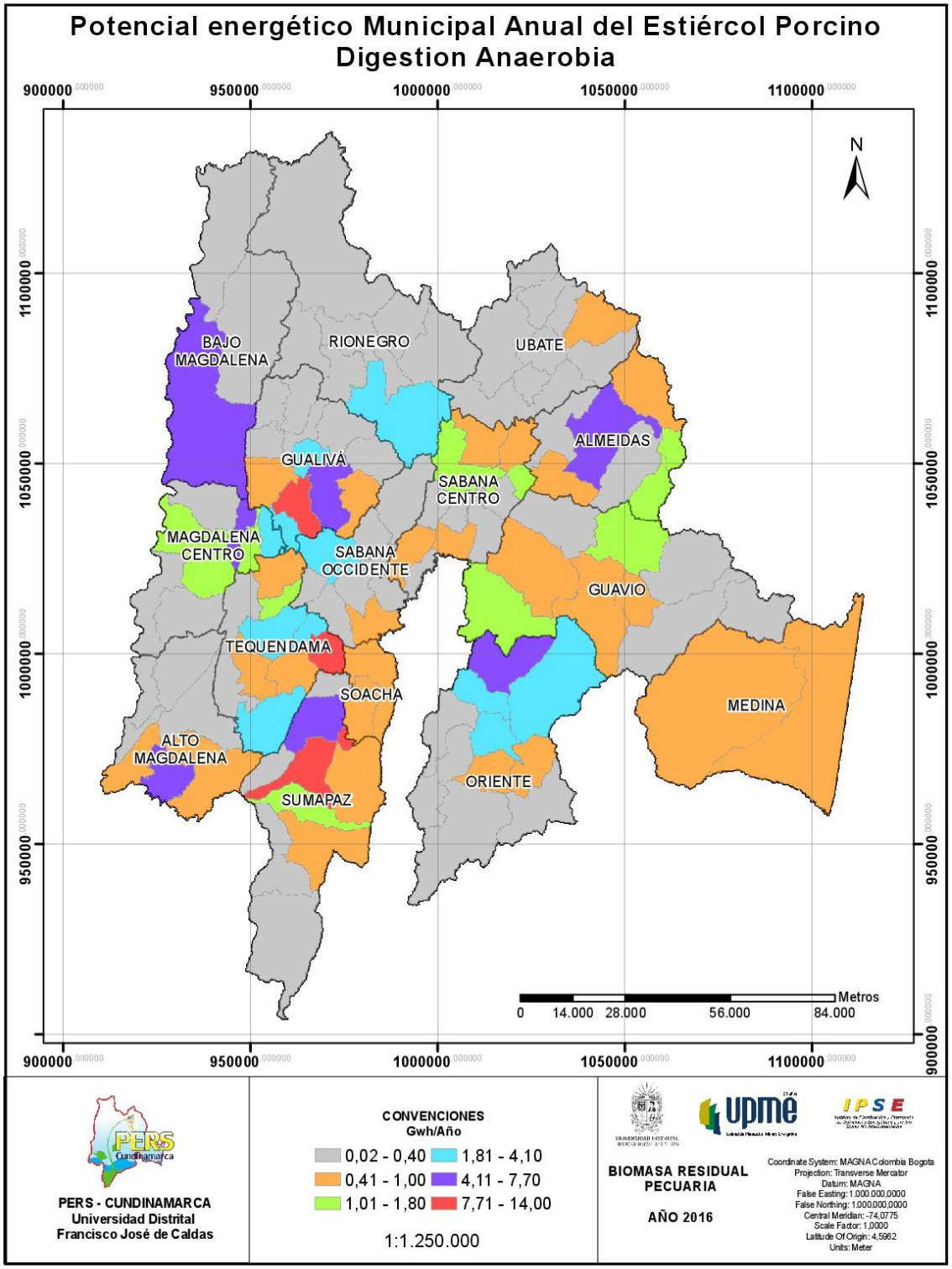


Figura 116 Mapa de potencial energético total municipal del sector porcino.

5.4 Sector pecuario

En esta sección se realiza el análisis consolidado del sector pecuario, teniendo en cuenta principalmente las siguientes variables: Número de animales, masa de residuo y potencial energético por cada especie, para cada municipio y provincia del departamento de Cundinamarca.

5.4.1. Análisis del potencial energético del departamento

La crianza de animales y la producción de carne derivada de ellos depende en gran medida de la demanda o consumo del mismo, para el año 2014, la obtención de proteínas en Colombia giraba en torno a dos sectores pecuarios: avícola y bovino, estando concentrado en ellos aproximadamente el 78,6% del consumo y por ende de la producción (CONtextoganadero, 2016). Estos porcentajes se ven reflejados en la población pecuaria existente para el año 2015 en el departamento de Cundinamarca, donde el sector avícola representaba el 95%, el bovino el 3,09%, el porcino el 1,41%, y otras especies como la equina, ovina, caprina, y bufalina el 0,5% del total pecuario, contando este sector en total con 34'553.618 cabezas de ganado (Tabla 55).

Tabla 55 Predios pecuarios del departamento de Cundinamarca.

Especie	N° de predios tipo traspatio	N° animales en predios tipo traspatio	N° de predios tecnificados o de producción masiva	N° de animales en predios tecnificados o de producción masiva	N° de predios totales	N° de animales totales
Avícola	38.867	422.330	358	32.399.038	39.225	32.821.368
Bovino	54.532	---	2.739	---	57.271	1.068.386
Porcino	7.171	26.984	14.222	461.916	21.393	488.900
TOTAL	**100.570**	**449.314**	**17.319**	**32.860.954**	**117.889**	**34.378.654**

De las tres especies de interés: avícola, bovina y porcina, dos de ellas se desarrollan de forma intensiva y solo el ganado bovino de manera extensiva. Estas instalaciones pecuarias se clasifican de acuerdo a las características de cada especie (CONtextoganadero, 2016). En el sector avícola existen dos tipos: de producción masiva y de traspatio; en el sector bovino la diferenciación de predios se da por el número de cabezas, así: fincas de 1 a 50 (tipo traspatio), de 51 a 100, de 101 a 500 y con más de 500 animales. Los terrenos dedicados a la producción porcina se presentan como una combinación entre las clasificaciones anteriores, contando con predios tecnificados y de traspatio, estando a su vez los tecnificados subdivididos de acuerdo tanto al número de hembras que posee la granja como a los ciclos de producción, definiéndose las siguientes categorías: menos de 10

hembras, entre 11 y 30, de 31 a 100, más de 100 hembras, granjas con levante y ceba y por ultimo granjas de ciclo completo.

Los predios dedicados a esta actividad y algunas de sus características se presentan en la Tabla 55, donde se puede apreciar que a diferencia de los sectores avícola y bovino, en los cuales los terrenos tipo traspatio representan más del 95% de los predios existentes, el sector porcino se desarrolla en un gran porcentaje, 66,48%, en lugares tecnificados debido a la sensibilidad de esta especie ante factores como la temperatura y la sanidad. En los sectores que se conoce la cantidad exacta de animales por tipo de predio; avícola y porcino, se evidencia el concepto de ganadería intensiva al que se hacía alusión previamente presentándose distribuida más del 94% de la población en predios tecnificados, esta forma de ganadería también se logra divisar comparando la cantidad de predios versus la cantidad de animales en los sectores avícola y bovino, en los cuales pese a la considerable cantidad de aves respecto a la cantidad de vacas, aproximadamente 30 veces, los predios bovinos son más que los avícolas.

Como se observó en las secciones anteriores, la biomasa generada en estos sectores está determinada por la tasa de producción de estiércol de cada animal al año, clasificándose en grupos etarios para los sectores bovino y porcino, y por enfoque productivo para el sector avícola, de este modo la población bovina produce la mayor cantidad de excretas, comprendiendo un rango de 1.460 a 6.570 kg, seguida por el grupo porcino con unos residuos que oscilan entre 102 y 2.694 kg, y finalmente por los desechos avícolas con una producción de 25 a 38 kg. De todo el estiércol producido por estas especies, la humedad determina la tecnología adecuada, siendo los procesos termoquímicos óptimos para las aves de engorde y la digestión anaerobia para los bovinos, porcinos y demás enfoques avícolas.

La Tabla 56 permite mostrar el comportamiento de cada una de las variables de análisis por especie: población, cantidad de residuos y potencial energético.

Tabla 56 Número de animales, masa de residuo y potencial energético total del departamento de Cundinamarca por cada especie.

Especie		N° de animales totales	Masa de residuo total [kg/año]	Potencial energético total [GWh/año]
Avícola	Engorde	21.400.841	546.791.488	1.853,10
	Ponedoras	11.420.527	425.407.384	186,68
	Total	32.821.368	972.198.872	2.039,78
Bovino		1.068.386	4.951.993.325	931,77
Porcino		488.900	335.183.837	151,03

De esta tabla se evidencia que la masa de residuo pese a depender del número de animales existentes y de la tasa de producción de estiércol asociada a ellas no

se puede describir por el comportamiento de una sola. Por ejemplo, el sector avícola presenta la mayor cantidad de animales del sector pecuario; sin embargo, es el sector bovino quien genera la mayor cantidad de desechos al contar con una producción de estiércol por animal muy alta; por otra parte, pese a que el sector porcino genera más estiércol por animal que las aves, el sector avícola al contar con mayor número de animales compensa el bajo porcentaje de estiércol producido y genera más masa de residuo que el sector porcino.

En cuanto al potencial energético anaeróbico, se puede apreciar que el factor de mayor impacto a la hora de determinar su tendencia es la masa de residuo, debido a que en el modelo los demás factores implementados varían sin que ninguno de ellos prevalezca en las diferentes especies, de modo que a mayor cantidad de desechos mayor potencial energético, de igual forma el potencial total cambia de acuerdo a la tecnología utilizada, donde comparando tan solo estos resultados en el sector avícola, el potencial derivado de las aves reproductoras, de levante y ponedoras llega a ser apenas el 10% del obtenido en el enfoque de engorde, teniendo solamente una diferencia entre sus masas de residuo del 22%, evidenciándose así el importante potencial energético obtenido exclusivamente de los procesos termoquímicos.

Debido a las diferentes características que presentan las excreciones de las principales especies del departamento de Cundinamarca, el sector pecuario cuenta con un potencial derivado de dos tecnologías; anaerobia y termoquímica, obteniendo de esta primera potenciales que varían entre los 18 y los 134 GWh/año, mostrando un considerable aporte energético de este proceso en todos los territorios; por el contrario en la segunda tecnología difiriere significativamente la participación de las diversas provincias presentándose aportes que van desde los 0,06 a los 543 GWh/año. Cabe resaltar que la masa de residuo termoquímica es 10 veces menor que la disponible para el proceso de digestión anaerobia, pese a esto se obtiene un mayor potencial energético del proceso termoquímico, siendo el 60% del potencial total del departamento.

En la Tabla 57 se observa que las provincias de Sumapaz y Soacha son las que presentan el mayor y menor potencial energético respectivamente. Además, más del 53% de este potencial está concentrado en solo 4 de las 15 provincias: Sumapaz, Gualivá, Tequendama y Bajo Magdalena (ver Figura 117), convirtiéndose en los principales territorios de interés para futuros proyectos entorno a este tema.

En las provincias de Ubaté, Medina, Soacha, Rionegro y Guavio, es mejor la implementación de la digestión anaerobia debido a la notoria contribución de ésta frente a la otra, existiendo un margen de superioridad que oscila entre el 89,9% al

99,93%; de forma contraria, en Sumapaz, Gualivá y Tequendama prevalece el potencial energético obtenido a través de la tecnología termoquímica, llegando a ser hasta un 81% mayor este aporte. En las demás provincias no hay una clara diferencia entre las dos tecnologías empleadas.

Tabla 57 Potencial energético total del sector pecuario en Cundinamarca.

Provincia	Masa de Residuo (kg/año)		Potencial Energético (GWh/año)		Potencial Energético Total (GWh/año)
	Termoquímico	Anaerobio	Termoquímico	Anaerobio	
Sumapaz	160.200.518	404.045.192	542,93	105,95	648,88
Gualivá	120.585.754	275.586.920	408,67	77,56	486,23
Tequendama	68.240.422	288.902.335	231,27	79,25	310,52
Bajo Magdalena	36.536.500	592.430.068	123,82	116,27	240,09
Sabana Occidente	36.241.398	462.399.191	122,82	98,59	221,41
Sabana Centro	25.652.200	594.938.581	86,94	134,03	220,97
Oriente	30.800.525	370.852.659	104,38	112,77	217,16
Almeidas	32.683.560	322.119.300	110,77	70,81	181,58
Magdalena Centro	20.031.200	248.120.171	67,89	53,18	121,06
Medina	227.395	496.871.566	0,77	94,28	95,06
Guavio	2.555.000	427.066.910	8,66	85,04	93,70
Ubaté	18.524	477.596.871	0,06	91,27	91,34
Alto Magdalena	10.821.192	248.062.715	36,67	52,35	89,02
Rionegro	1.354.150	411.063.515	4,59	79,76	84,34
Soacha	843.150	92.528.552	2,86	18,37	21,22
TOTAL	**546.791.488**	**5.712.584.546**	**1.853**	**1.269**	**3.123**

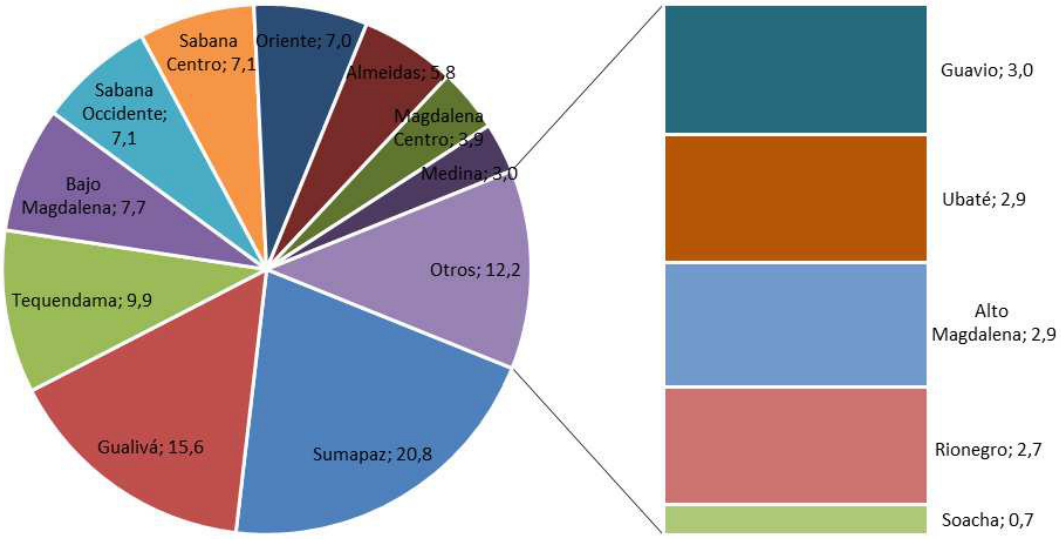


Figura 117 Porcentaje del aporte energético por provincia.

En algunas provincias pueden presentarse municipios atípicos, como Guayaquil de Síquima de la provincia de Magdalena Centro, Lenguazaque en Ubaté, Pacho en Rionegro, Paratebueno en Medina, Guasca en Guavio, Guaduas en Bajo Magdalena y Soacha en Soacha, en los cuales se encuentra concentrado el 100%

del potencial termoquímico de la provincia. El municipio de Fusagasugá de la provincia de Sumapaz es el mayor contribuyente de la zona aportando más del 40% del potencial anaeróbico, termoquímico y total del territorio, siendo el único municipio que cuenta con esta característica dentro del departamento.

En los resultados totales de la Tabla 57 y los mapas de la Figura 118 a la Figura 122 se evidencia que Cundinamarca presenta un potencial energético asociado a los desechos primarios del sector pecuario de 3.123 GWh/año, logrando así aportar diariamente al consumo energético del departamento 8.56 GWh, por lo que el potencial total generado cubriría aproximadamente el 95% del consumo del territorio, esto sin tener en cuenta ningún tipo de pérdidas.

Comparando la información del Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia del año 2010 con la desarrollada por PERS Cundinamarca, se puede evidenciar que el comportamiento del sector desde el año 2010 al 2015 no ha variado considerablemente, como se aprecia en la Tabla 58. La diferencia entre los datos reportados no supera el 10% en la mayoría de valores, excepto en el sector porcino donde se hay una disminución de aproximadamente el 11% de su población y por ende un menor potencial, pese a esto al revisar los resultados totales del sector pecuario es notable que dicha especie es una de las menos influyentes y por ende los resultados generales entre uno y otro año no presentan un cambio importante siendo la máxima diferencia entre ellos del 3%, comprobándose así la estabilidad de la biomasa de este sector.

Tabla 58 Comportamiento del sector pecuario y su biomasa residual en los años 2010 y 2015.

PARÁMETRO	UNIDAD	SECTOR			
		Avícola	Bovino	Porcino	Sector Pecuario
Población 2010	**Animales**	32.312.272	1.109.119	553.566	33.974.957
Población 2015		32.821.368	1.068.386	488.900	34.378.654
Variación	**%**	1,6	3,7	11,7	1,2
Masa Residuo 2010	**Toneladas/año**	945.412	4.824.628	424.769	6.194.809
Masa Residuo 2015		972.198	4.951.993	335.183	6.259.374
Variación	**%**	2,8	2,6	21,1	1,0
Potencial 2010	**TJ/año**	7.245,16	3.580,56	760,83	11.586,55
Potencial 2015		7.343,20	3.354,36	543,71	11.241,26
Variación	**%**	**1,3**	**6,3**	**28,5**	**3,0**

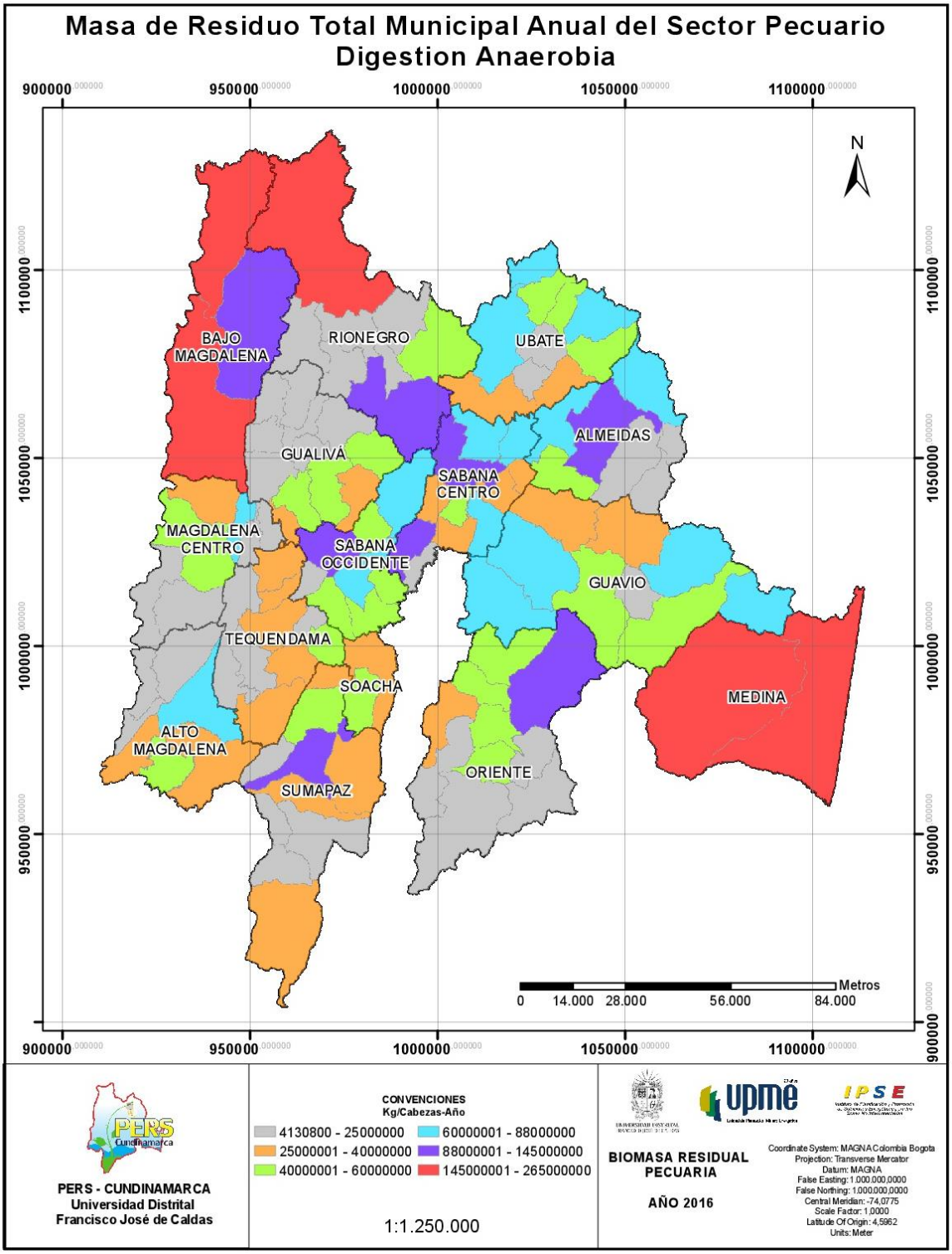


Figura 118 Mapa de masa de residuo total municipal del sector pecuario, proceso digestión anaerobia.

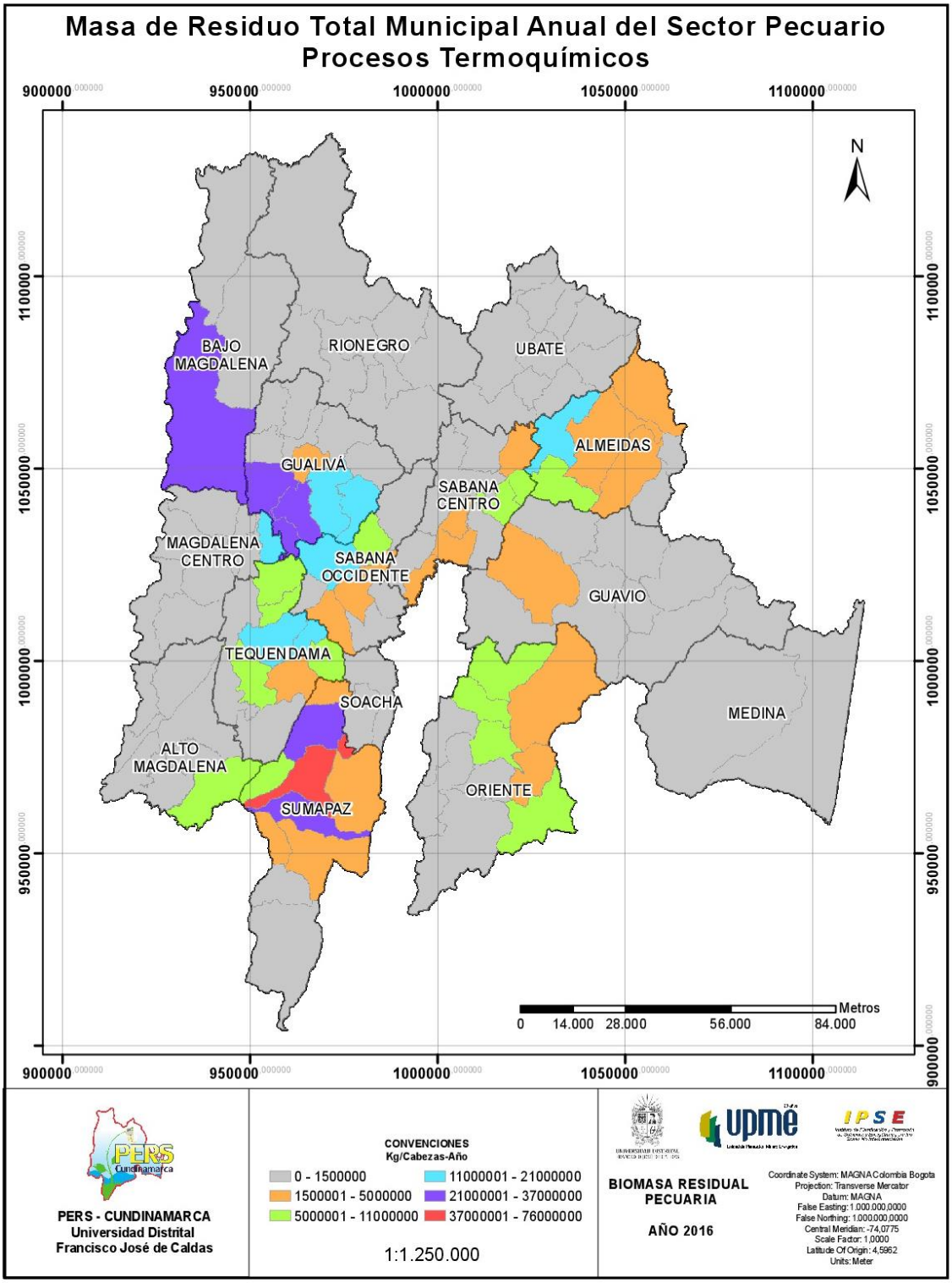


Figura 119 Mapa de masa de residuo total municipal del sector pecuario, procesos termoquímicos.

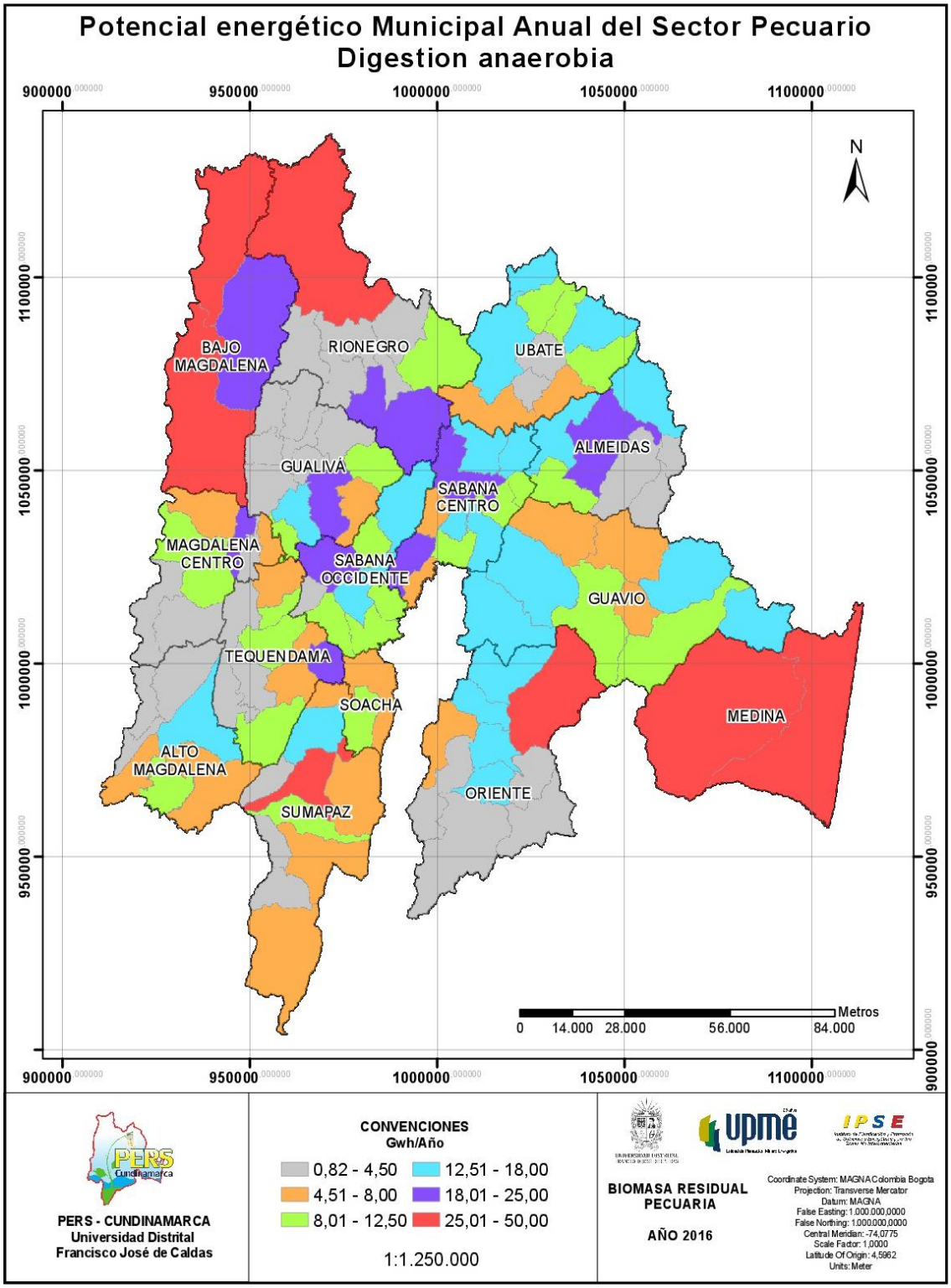


Figura 120 Mapa de potencial energético total municipal del sector pecuario, proceso digestión anaerobia.

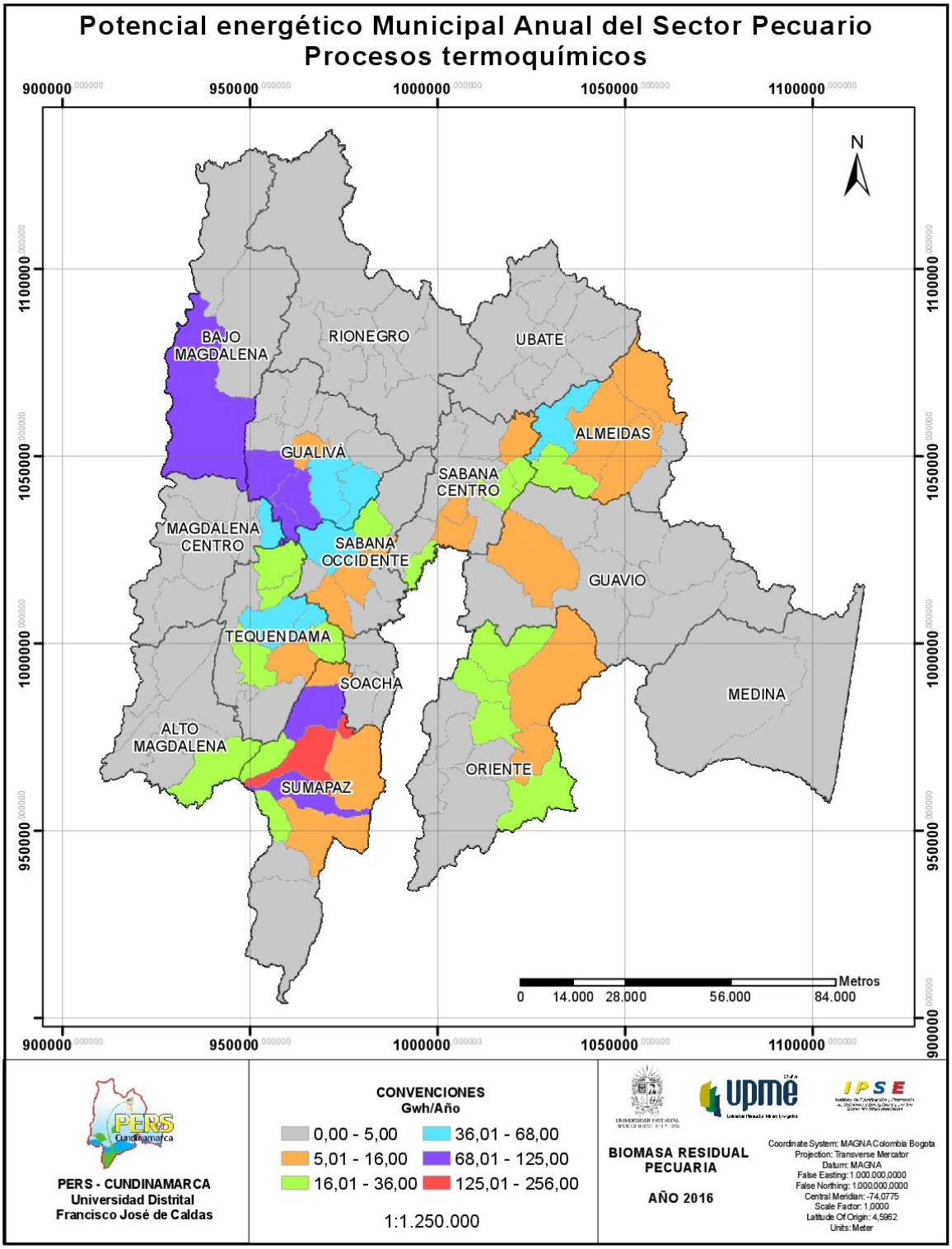


Figura 121 Mapa de potencial energético total municipal del sector pecuario, procesos termoquímicos.

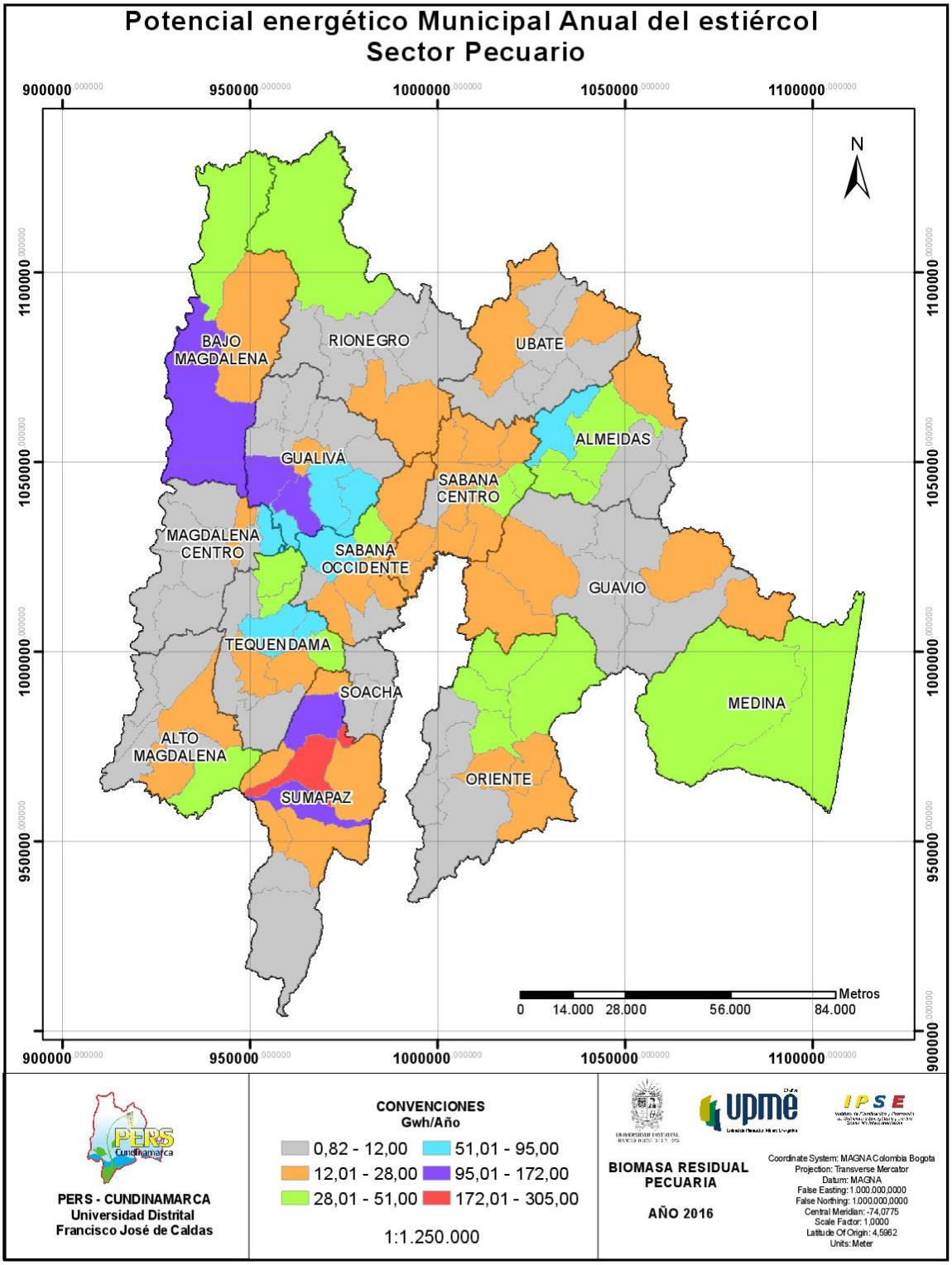


Figura 122 Mapa de potencial energético total municipal del sector pecuario.

5.4.2. Análisis del potencial energético por provincias

El departamento de Cundinamarca se encuentra conformado por 116 municipios distribuidos en 15 provincias siendo por tanto la información relacionada con la biomasa residual pecuaria abundante y muy diversa, por esta razón es pertinente presentar el potencial energético del sector detallado de forma que se pueda obtener un panorama completo del aporte energético que podrían representar estos desechos primarios en cada municipio.

Provincia de Almeidas

El sector pecuario de esta provincia genera el 5,8% del potencial energético total departamental siendo la octava provincia con mayor aporte, posee en total 1'779.320 aves, 58.900 cabezas bovinas y 30.076 cerdos (DANE, 2015), desarrollando así un poco más del 5% de la población total de cada una de estas especies y produciendo anualmente más de 350.000 toneladas de residuos primarios (Caracterización socioeconómica del departamento de Cundinamarca. PERS Cundinamarca, 2016). Del potencial total de la provincia el 61% corresponde a procesos termoquímicos y un 39% a través del proceso de digestión anaerobia (Tabla 59).

Tabla 59 Potencial energético de la Provincia de Almeidas.

Municipio	Termoquímico Engorde (61%)		Anaerobio (39%)						Potencial energético termoquímico (GWh/año)	Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)	Potencial energético total Sector Pecuario (GWh/año)
			Avícola (11,67%)		Bovino (75,03%)		Porcino (13,3%)				
	GWh/ año	%	GWh/ año	%	GWh/ año	%	GWh/ año	%			
Chocontá	12,14	10,96	5,06	61,18	14,89	28,03	4,41	46,86	12,14	24,36	36,50
Machetá	5,97	5,39	0,27	3,29	2,62	4,93	0,13	1,39	5,97	3,02	9,00
Manta	0,00	0,00	0,54	6,58	1,82	3,43	1,62	17,16	0,00	3,98	3,98
Sesquilé	20,78	18,76	0,27	3,27	8,21	15,45	0,80	8,47	20,78	9,28	30,06
Suesca	64,08	57,85	2,04	24,69	12,75	24,00	0,16	1,67	64,08	14,95	79,03
Tibirita	0,00	0,00	0,06	0,76	1,12	2,10	1,49	15,87	0,00	2,67	2,67
Villapinzón	7,79	7,04	0,02	0,23	11,72	22,06	0,81	8,58	7,79	12,55	20,34
Total provincia	**110,77**	**100**	**8,27**	**100**	**53,13**	**100**	**9,41**	**100**	**110,77**	**70,81**	**181,58**

A nivel municipal, Suesca cuenta con el mayor potencial tanto termoquímico como total de la provincia y el segundo más alto derivado del proceso de digestión anaerobia, mientras que Chocontá genera el principal aporte energético anaerobio presentando a su vez la mayor contribución de cada una de las especies dentro de esta tecnología, así mismo ocupa el tercer puesto en aporte termoquímico y el

segundo del potencial total pecuario, siendo estos dos territorios los más representativos de la provincia. Otros municipios como Tibirita y Manta no cuentan con gran potencial asociado a esta biomasa, ver Figura 123, esto debido en gran medida a que no poseen población avícola de engorde y por ende tampoco potencial termoquímico.

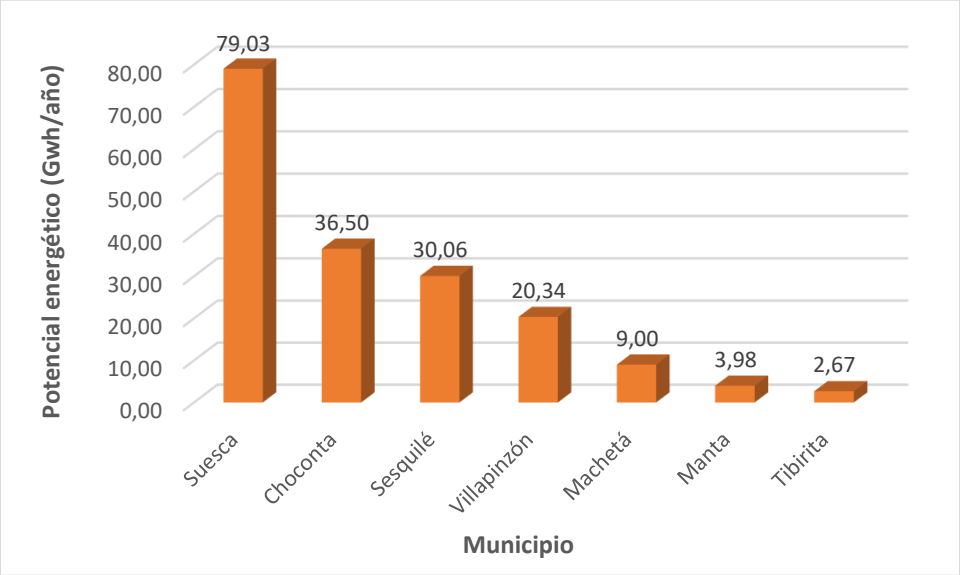


Figura 123 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Almeidas.

En total la provincia posee un potencial energético asociado a la biomasa residual pecuaria de 181,58 GWh/año, siendo el menor aporte el del municipio de Tibirita con aproximadamente 2,6 GWh/año (ver Figura 124), estos potenciales podrían satisfacer el consumo de 142.192 y 2.036 habitantes, respectivamente, cubriendo aproximadamente el consumo del 2,3% de la población del departamento o a nivel de provincia su demanda total, presentándose estos aportes como una importante alternativa debido a que más del 60% de la población de este territorio es de tipo rural (Caracterización socioeconómica del departamento de Cundinamarca. PERS Cundinamarca, 2016).

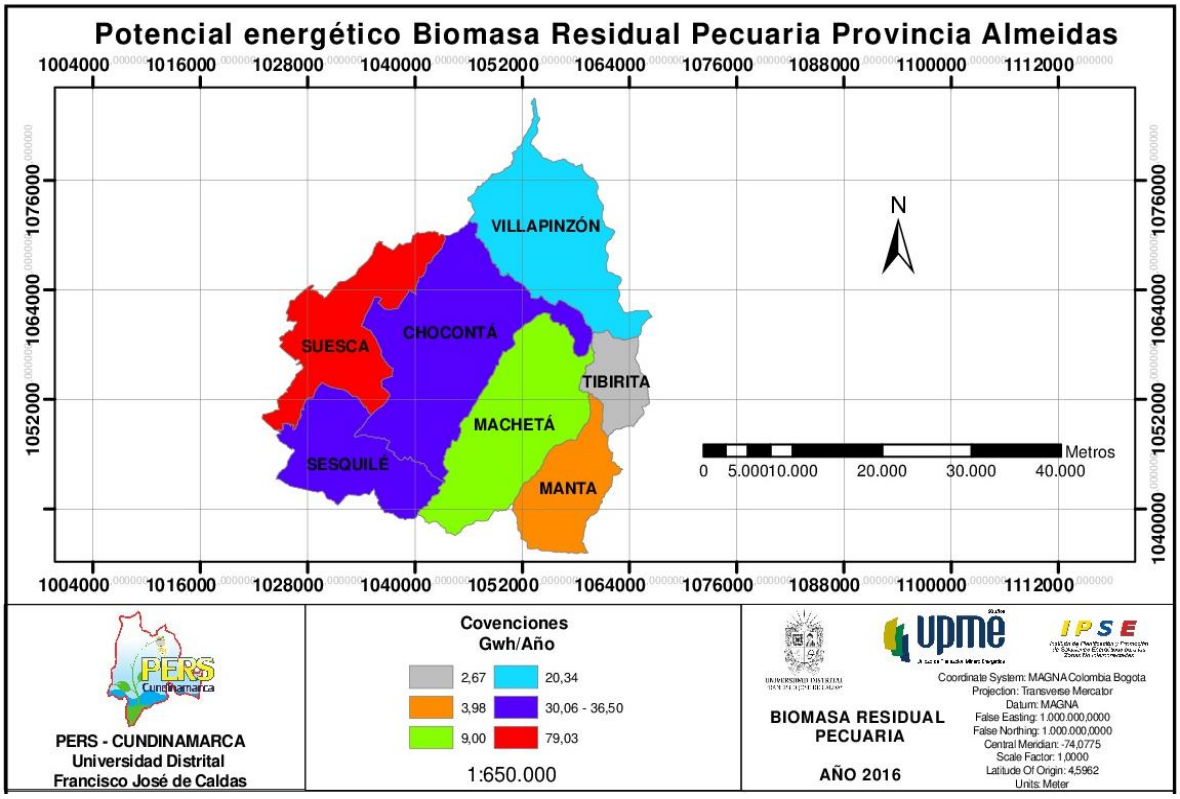


Figura 124 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Almeidas.

Provincia de Alto Magdalena

La Provincia de Alto Magdalena ocupa el décimo tercer lugar de aporte energético pecuario del departamento con un 2,9% del potencial total y produce anualmente más de 258.000 toneladas de excrementos gracias a 48.420 cabezas bovinas, 585.680 aves y 21.296 cerdos (ICA, 2015).

Por medio del proceso anaerobio la provincia presenta un aporte del 58,58%, dentro del cual la especie bovina predomina con una participación del 81,3% dejando rezagadas a las dos especies restantes con aportes del 13,59% del ganado porcino y del 5,11% por parte del sector avícola, el potencial restante 41,2% se obtiene por medio de procesos termoquímicos cuyos aportes son generados en solamente 3 municipios: Nilo, Ricaurte y Agua de Dios, siendo este primero el principal contribuyente con más del 97%, equivalente a 35,93 GWh/año (ver Tabla 60).

Tocaíma es el municipio que presenta el mayor aporte por medio del proceso de digestión anaerobia, debido al sector avícola y bovino, siendo al mismo tiempo los

de mayor aporte en la provincia, del mismo modo se encuentra en el segundo puesto del potencial energético total del sector pecuario. Por otra parte, el municipio de Ricaurte ocupa el tercer puesto del potencial total pecuario siendo el segundo mayor en cuando a la contribución por medio de digestión anaerobia, donde el sector porcino es el encargado de generar la mayor contribución tanto del municipio como a nivel de la provincia, convirtiéndose así en dos de los municipios más representativos del territorio, ver Figura 125.

Tabla 60 Potencial energético de la Provincia de Alto Magdalena.

Municipio	Termoquímico Engorde (41,2%)		Anaerobio (58,8%)						Potencial energético termoquímico (GWh/año)	Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)	Potencial energético total Sector Pecuario (GWh/año)
			Avícola (5,11%)		Bovino (81,3%)		Porcino (13,59%)				
	GWh/ año	%	GWh/ año	%	GWh /año	%	GWh/ año	%			
Agua de Dios	0,07	0,20	0,06	2,07	4,98	11,70	0,66	9,33	0,07	5,70	5,77
Girardot	0,00	0,00	0,85	31,67	5,00	11,75	0,45	6,33	0,00	6,30	6,30
Guataquí	0,00	0,00	0,03	1,00	1,79	4,21	0,03	0,48	0,00	1,85	1,85
Jerusalén	0,00	0,00	0,02	0,91	3,75	8,80	0,07	0,92	0,00	3,84	3,84
Nariño	0,10	0,28	0,02	0,91	1,61	3,77	0,04	0,61	0,10	1,67	1,78
Nilo	35,93	97,99	0,08	3,00	5,56	13,07	0,43	6,08	35,93	6,08	42,01
Ricaurte	0,56	1,53	0,13	5,01	6,83	16,05	5,15	72,35	0,56	12,11	12,67
Tocaíma	0,00	0,00	1,48	55,44	13,04	30,64	0,28	3,89	0,00	14,80	14,80
Total	**36,67**	**100,00**	**2,68**	**100**	**42,56**	**100**	**7,11**	**100**	**36,67**	**52,35**	**89,02**

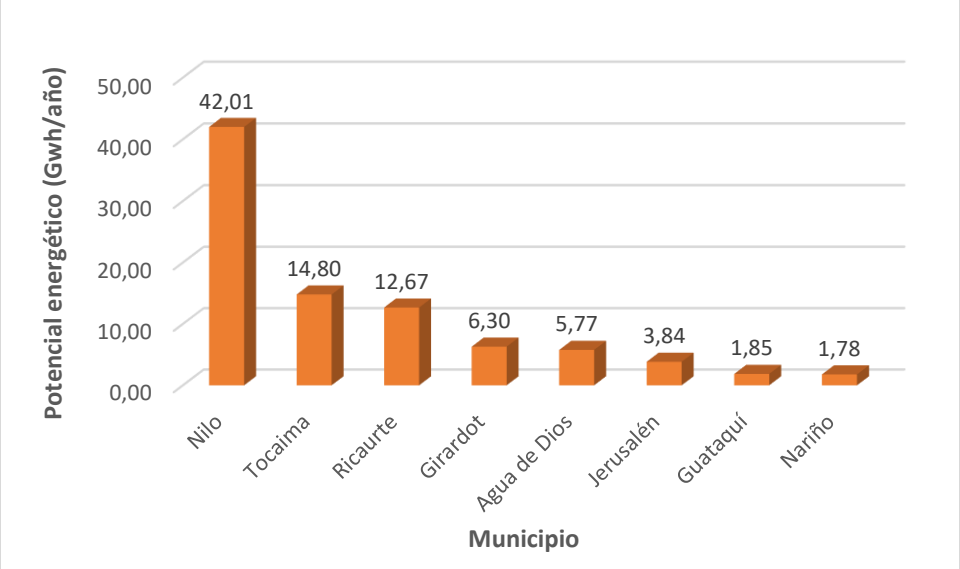


Figura 125 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en Alto Magdalena.

En general, la Provincia de Alto Magdalena presenta un potencial energético total de 89,02 GWh/año, siendo el menor aporte dado por el municipio de Nariño con 1,78 GWh/año (Figura 126), estas contribuciones podrían satisfacer aproximadamente el consumo de 69.710 y 1.393 habitantes respectivamente (FEDESARROLLO - EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ, 2013), presentándose así este potencial como un importante aporte de energía eléctrica que podría cubrir la demanda de más del 40% de la población de la provincia, o convertirse en una posible solución energética para el 20% de la población de la provincia que es de tipo rural (Caracterización socioeconómica del departamento de Cundinamarca. PERS Cundinamarca, 2016).

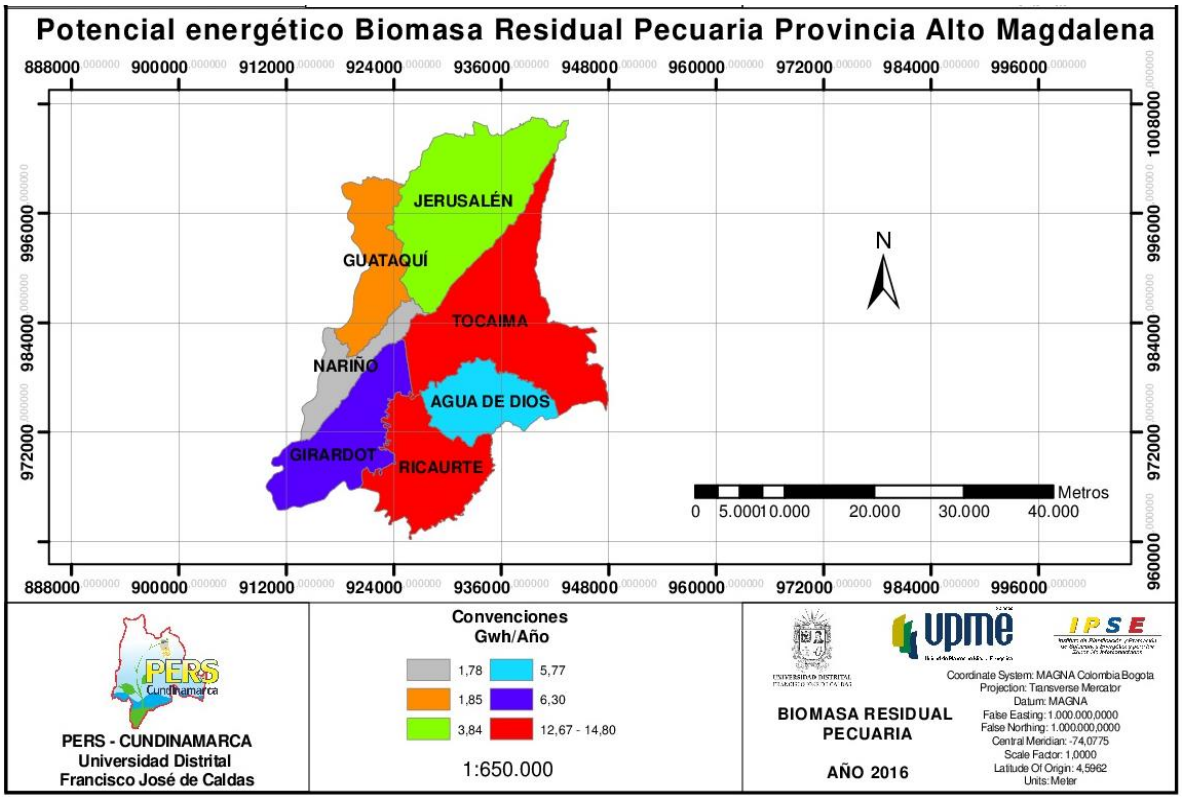


Figura 126 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Alto Magdalena.

Provincia de Bajo Magdalena

El sector pecuario de esta provincia genera el 7,7% del potencial energético total departamental, siendo la cuarta provincia con mayor aporte. Este potencial se deriva de 1'639.750 aves, 131.118 bovinos y 17.265 porcinos (ICA, 2015), desarrollando aproximadamente entre el 3% y el 5% del total avícola y porcino del

departamento y de forma más dominante el 12% de total bovino, produciendo anualmente cerca de 629.000 toneladas de residuos primarios. Del potencial total de la provincia, el 51,5% corresponde a aquel obtenido por medio de procesos termoquímicos y un 48,5% a través del proceso de digestión anaerobia. Este último aporte está relacionado con los desechos resultantes de las tres especies de interés, siendo el ganado bovino el más importante con una participación del 93%, seguido por el sector porcino y finalmente por el avícola donde cada uno de sus potenciales son inferiores al 5%, ver Tabla 61.

Tabla 61 Potencial energético de la Provincia de Bajo Magdalena.

Municipio	Termoquímico Engorde (51,57%)		Anaerobio (48,43%)						Potencial energético termoquímico (GWh/año)	Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)	Potencial energético total Sector Pecuario (GWh/año)
			Avícola (2,66%)		Bovino (92,87%)		Porcino (4,47%)				
	GWh/ año	%	GWh/ año	%	GWh/ año	%	GWh/ año	%			
Caparrapí	0,00	0	0,02	0,63	24,84	23,01	0,06	1,16	0,00	24,92	24,92
Guaduas	123,82	100	2,36	76,22	40,47	37,48	5,12	98,55	123,82	47,95	171,78
Puerto Salgar	0,00	0	0,72	23,16	42,66	39,51	0,02	0,29	0,00	43,40	43,40
Total provincia	**123,82**	**100**	**3,10**	**100**	**107,97**	**100**	**5,20**	**100**	**123,82**	**116,27**	**240,09**

En la Figura 127 y la Figura 128 se observa que el principal municipio de esta provincia en cuanto a biomasa residual pecuaria es Guaduas, en el cual se concentra el 100% del potencial energético de las aves de engorde y el 40% del obtenido de las demás especies, generando el 71,5% del potencial de la provincia. Los municipios restantes, Caparrapí y Puerto Salgar, aportan el 10,3% y el 18% tanto del total anaerobio como del sector pecuario en general respectivamente. Es de aclarar que pese a la notable diferencia entre los aportes energéticos de estos últimos municipios respecto al de la capital de la provincia, estas contribuciones son importantes y más altas que las de muchos municipios del departamento, razón por la cual este territorio se presenta como un gran foco de interés para la aplicación de esta alternativa energética a través del proceso de digestión anaerobia.

En total la provincia posee un potencial energético asociado a la biomasa residual pecuaria de 240,09 GWh/año, siendo el menor aporte el del municipio de Caparrapí con aproximadamente 24,92 GWh/año. Estos potenciales podrían satisfacer el consumo de 188.010 y 19.514 habitantes, respectivamente, cubriendo el consumo del 27,2% de la población del departamento o la demanda total de la provincia, por lo que podría ser una alternativa para cerca del 50% de sus habitantes, los cuales hacen parte de la zona rural (Caracterización

socioeconómica del departamento de Cundinamarca. PERS Cundinamarca, 2016).

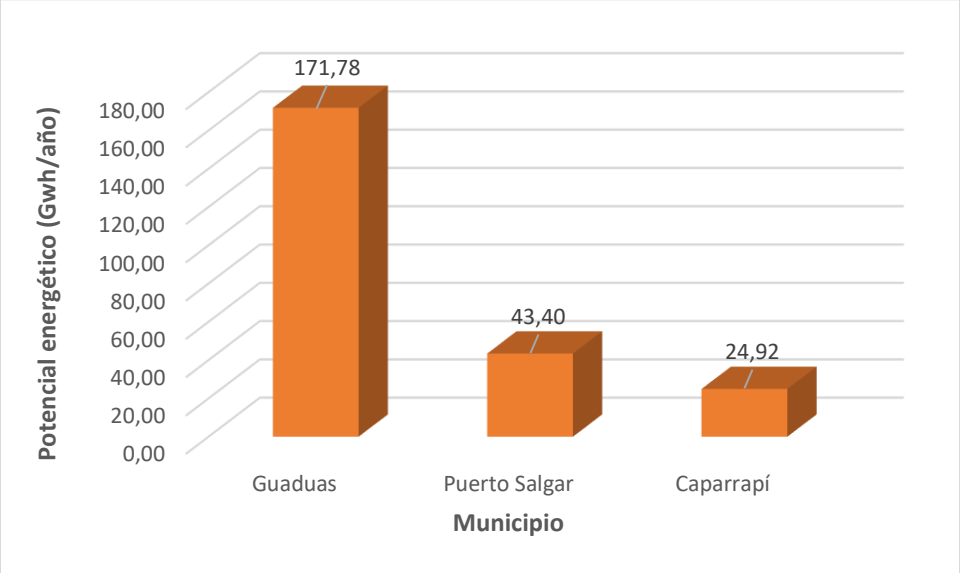


Figura 127 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Bajo Magdalena.

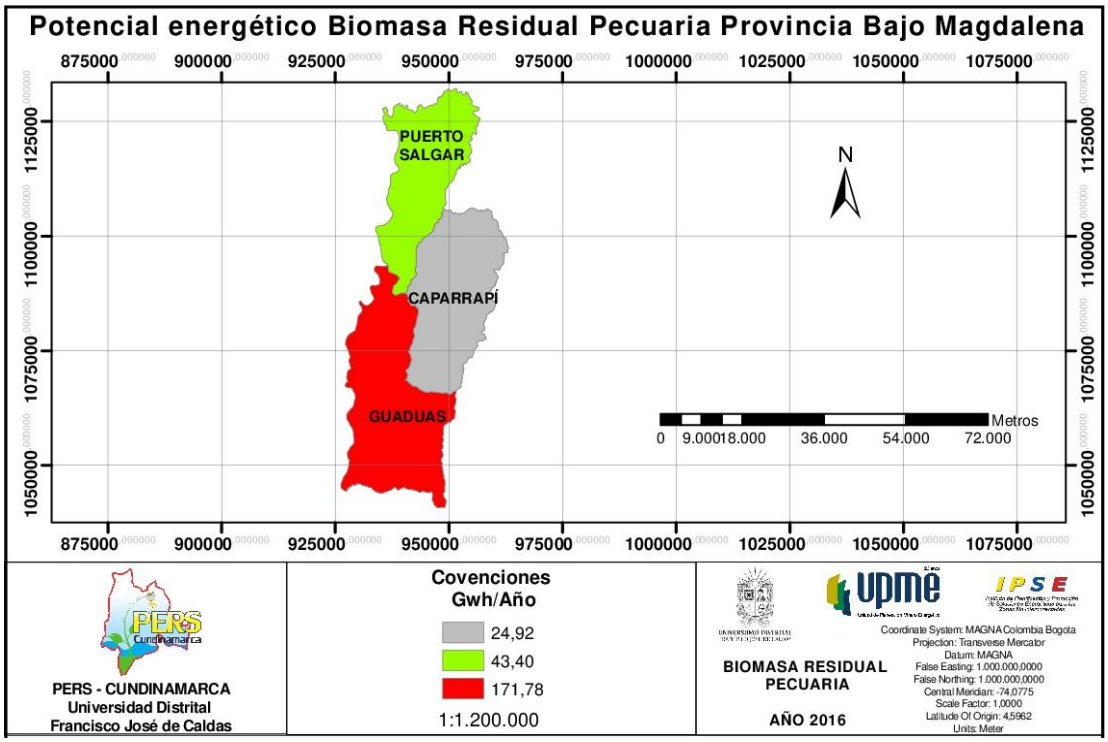


Figura 128 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Bajo Magdalena.

Provincia de Gualivá

La provincia de Gualivá produce anualmente más de 396.000 toneladas de excrementos gracias a la contribución de 39.788 cabezas bovinas, 5.735.349 aves y 98.198 cerdos y ocupa el segundo lugar de aporte energético pecuario del departamento con un 15,57% del potencial total (ICA, 2015). El mayor aporte energético generado en la provincia es producido a través de procesos termoquímicos con el 84,05%, encontrándose una participación nula de esta tecnología en 5 de los 12 municipios, siendo su capital el más importante contribuyente con un 26,49% posicionándose como el territorio de mayor potencial pecuario en la provincia. Por otra parte, el 15,95% restante del potencial total se debe al proceso de digestión anaerobia, dentro del cual el sector bovino genera la mayor contribución con un 42,69%, la especie porcina un 36,32% y el ganado avícola un 20,99%, ver Tabla 62.

Tabla 62 Potencial energético de la provincia de Gualivá.

Municipio	Termoquímico Engorde (84,05%)		Anaerobio (15,95%)						Potencial energético termoquímico (GWh/año)	Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)	Potencial energético total Sector Pecuario (GWh/año)
			Avícola (20,99%)		Bovino (42,69%)		Porcino (36,32%)				
	GWh/ año	%	GWh/ año	%	GWh/ año	%	GWh/ año	%			
Albán	86,56	21,18	2,25	13,81	3,00	9,06	2,88	10,21	86,56	8,12	94,68
La Peña	0,00	0,00	0,04	0,23	0,75	2,26	0,03	0,10	0,00	0,82	0,82
La Vega	52,82	12,92	4,75	29,16	5,93	17,90	7,65	27,15	52,82	18,32	71,14
Nimaima	0,00	0,00	0,05	0,33	0,83	2,50	0,22	0,80	0,00	1,11	1,11
Nocaima	10,39	2,54	0,05	0,31	1,19	3,60	2,40	8,50	10,39	3,64	14,03
Quebradanegra	0,00	0,00	0,37	2,27	1,80	5,45	0,38	1,34	0,00	2,55	2,55
San Francisco	58,88	14,41	1,08	6,61	5,32	16,08	0,86	3,05	58,88	7,26	66,14
Sasaima	90,05	22,04	2,28	14,02	2,57	7,77	12,37	43,91	90,05	17,22	107,28
Supatá	0,00	0,00	4,39	26,96	6,40	19,32	0,25	0,89	0,00	11,04	11,04
Útica	0,00	0,00	0,04	0,24	1,45	4,39	0,12	0,43	0,00	1,61	1,61
Vergara	1,73	0,42	0,02	0,13	1,58	4,78	0,37	1,32	1,73	1,98	3,71
Villeta	108,24	26,49	0,97	5,93	2,28	6,89	0,64	2,29	108,24	3,89	112,13
Total provincia	**408,67**	**100**	**16,28**	**100**	**33,11**	**100**	**28,17**	**100**	**408,67**	**77,56**	**486,23**

Los mayores aportes debidos a la digestión anaerobia dentro de la provincia se deben a la considerable participación de cada una de las especies en diversos municipios, siendo el municipio de La Vega el primero en aporte anaerobio representado por la especie avícola, Sasaima donde predomina el ganado porcino ocupa el segundo lugar, y Supatá donde sobresale la especie bovina ocupa el tercer lugar del potencial total anaerobio (ver Figura 129 y Figura 130).

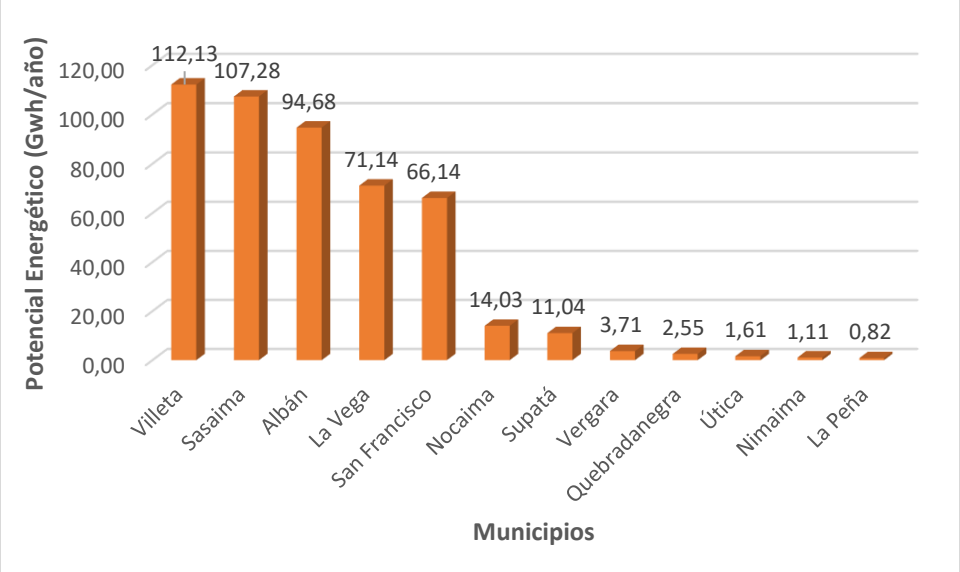


Figura 129 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la provincia de Gualivá.

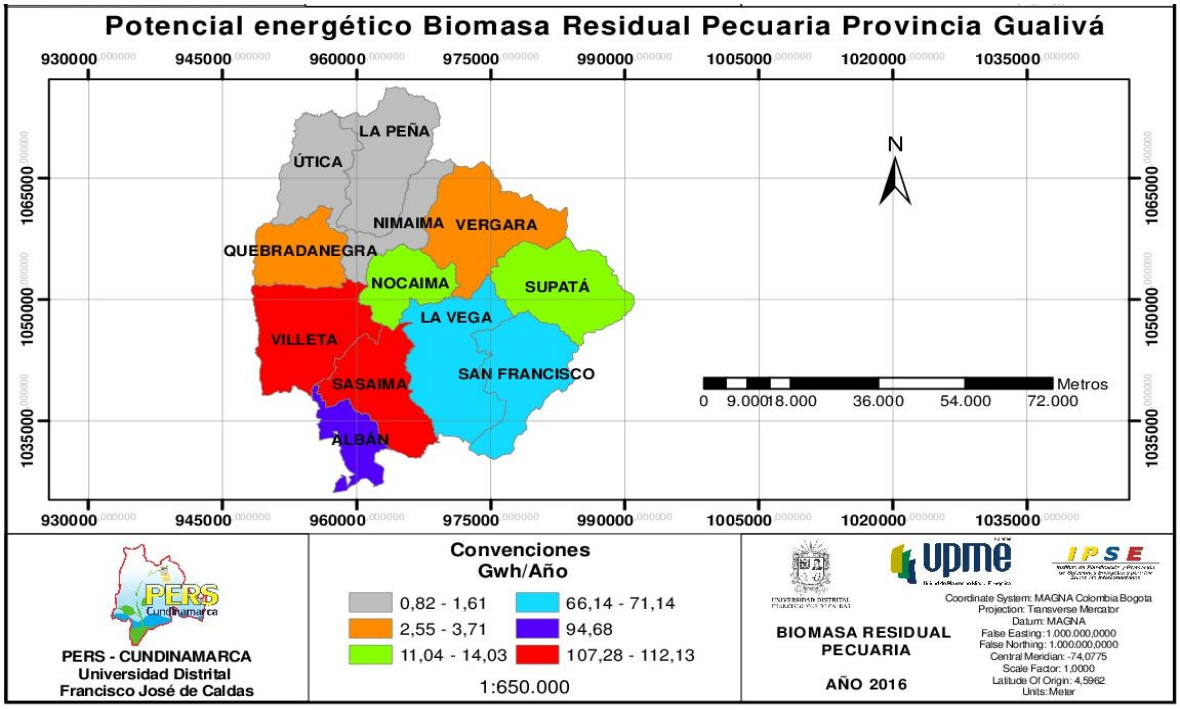


Figura 130 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la provincia de Gualivá.

La Peña, Nimaima y Útica son los municipios que presentan el menor aporte de potencial energético total pecuario de la provincia, siendo en cada uno de estos

inferior a 2 GWh/año, y ninguno de ellos presenta contribución del proceso termoquímico.

La provincia de Gualivá presenta un potencial energético total de 486,23 GWh/año, esta contribución podría satisfacer el consumo de 380.759 habitantes, es decir que podría cubrir hasta 3 veces la demanda de la población, convirtiéndose en una posible solución energética para el 63% de la población que es de tipo rural (Caracterización socioeconómica del departamento de Cundinamarca. PERS Cundinamarca, 2016).

Provincia de Guavio

El sector pecuario de esta provincia genera el 3,0% del potencial energético total departamental, siendo la undécima provincia con mayor aporte, proviniendo éste de 289.600 aves, 87.460 bovinos y 14.674 porcinos (ICA, 2015), desarrollando así menos del 1% de la población total avícola y entre el 3% y 8% del ganado porcino y bovino respectivamente, obteniendo de estos más de 429.000 toneladas de residuos primarios anualmente, ver Tabla 63.

Tabla 63 Potencial energético de la provincia de Guavio.

Municipio	Termoquímico Engorde (9,24%)		Anaerobio (90,76%)						Potencial energético termoquímico (GWh/año)	Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)	Potencial energético total Sector Pecuario (GWh/año)
			Avícola (3,65%)		Bovino (90,48%)		Porcino (5,87%)				
	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%			
Gachalá	0,00	0,00	0,05	1,49	8,01	10,41	0,11	2,11	0,00	8,16	8,16
Gachetá	0,00	0,00	0,10	3,25	5,01	6,51	1,58	31,73	0,00	6,69	6,69
Gama	0,00	0,00	0,02	0,51	4,23	5,50	0,42	8,34	0,00	4,66	4,66
Guasca	8,66	100	2,45	79,01	13,47	17,51	0,51	10,26	8,66	16,43	25,09
Guatavita	0,00	0,00	0,02	0,75	6,69	8,70	0,14	2,88	0,00	6,86	6,86
Junín	0,00	0,00	0,04	1,45	8,98	11,68	0,79	15,87	0,00	9,82	9,82
La Calera	0,00	0,00	0,29	9,49	14,96	19,45	1,30	26,13	0,00	16,56	16,56
Ubalá	0,00	0,00	0,13	4,06	15,59	20,26	0,13	2,70	0,00	15,85	15,85
Total provincia	**8,66**	**100**	**3,10**	**100**	**76,94**	**100**	**4,99**	**100**	**8,66**	**85,04**	**93,70**

Del potencial total de la provincia tan solo el 9,24% es obtenido por medio de procesos termoquímicos y un 91% a través del proceso de digestión anaerobia, siendo así uno de los pocos territorios con mayor potencial derivado de la tecnología biológica. Esta biomasa proviene principalmente del ganado bovino con una participación del 90%, seguido por el sector porcino y el avícola, cada uno con una participación inferior al 6%. El comportamiento de la biomasa residual

pecuaria en esta región se debe principalmente a que el enfoque productivo de engorde solo se desarrolla en el municipio de Guasca.

Como se observa en la Figura 131 y la Figura 132, Guasca es el único municipio con potencial termoquímico, principalmente por el sector avícola de ponedoras, reproductoras y levante, aunque también por importantes contribuciones de las demás especies. Este municipio es seguido por La Calera y Ubalá con participaciones en el potencial total del 17% cada uno. Otros municipios como Gama, Gachetá y Guatavita no cuentan con gran potencial asociado a esta biomasa. Gachetá es un caso especial, ya que pese a contar con el mayor aporte de la provincia en cuanto al sector porcino, su potencial general es uno de los más bajos.

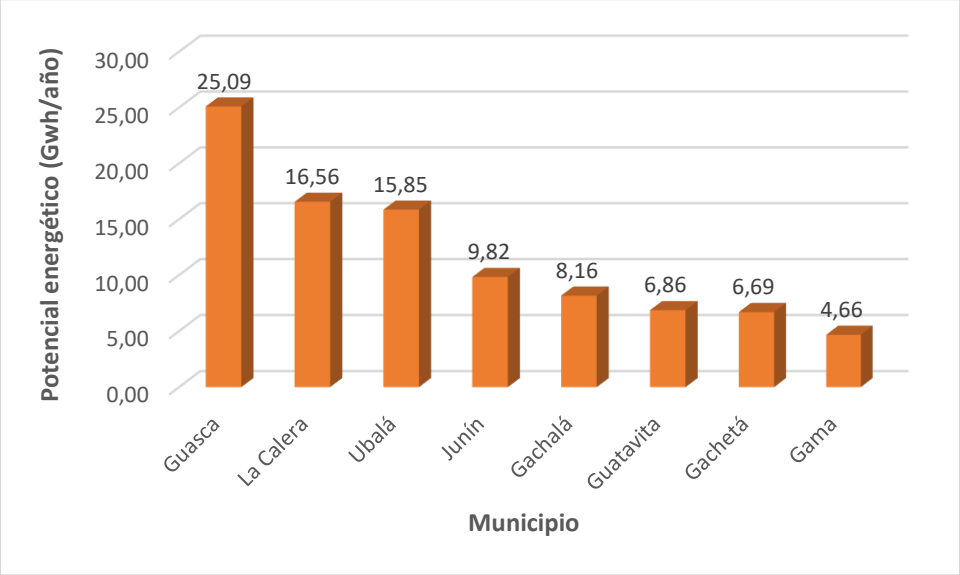


Figura 131 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la provincia de Guavio.

En total la provincia posee un potencial energético asociado a la biomasa residual pecuaria de 93,70 GWh/año, este potencial podría satisfacer el consumo de 73.375, es decir que se podría cubrir cerca del 83% del consumo de la provincia, lo cual representa una importante alternativa para más del 60% de los habitantes, los cuales viven en territorio de tipo rural (Caracterización socioeconómica del departamento de Cundinamarca. PERS Cundinamarca, 2016).

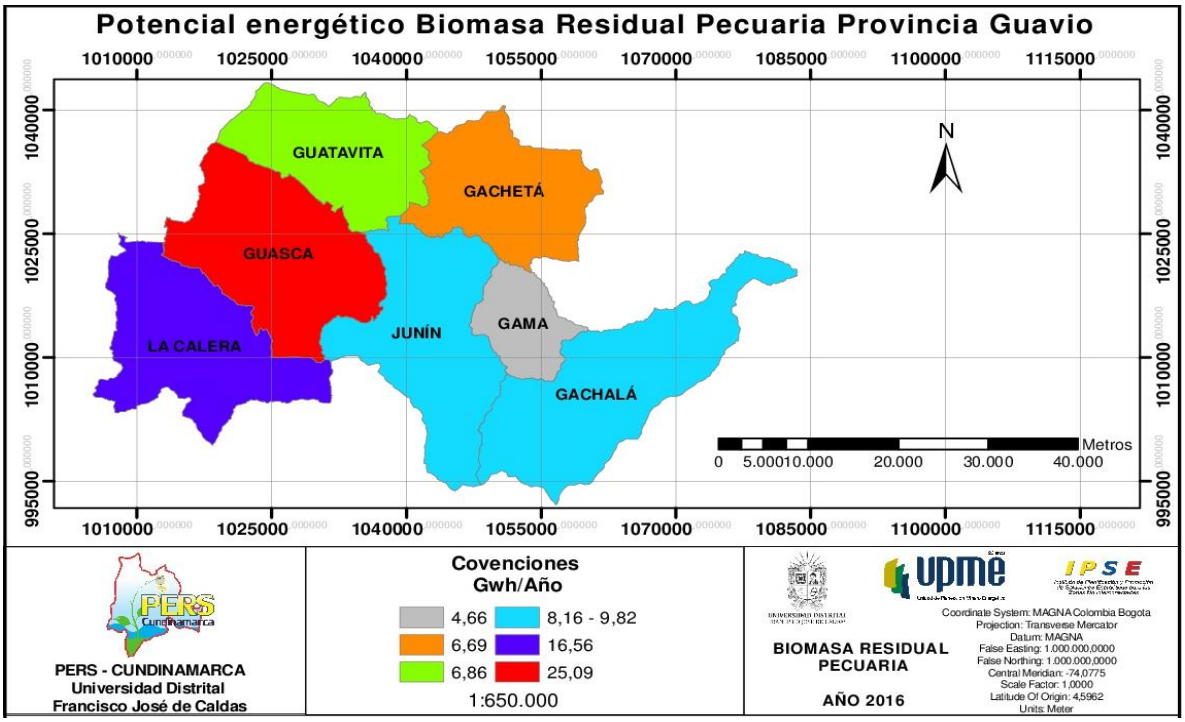


Figura 132 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la provincia de Guavio.

Provincia de Magdalena Centro

La provincia de Magdalena Centro ocupa el noveno lugar de aporte energético pecuario del departamento con un 3,88% del potencial total y produce anualmente más de 268.000 toneladas de excrementos, gracias a la contribución de 47.124 cabezas bovinas, 895.755 aves y 26.949 porcinos (ICA, 2015). El mayor aporte energético generado en la provincia es producido a través de procesos termoquímicos con el 56,08% encontrándose participación únicamente en uno de los siete municipios, Guayabal de Síquima, quien de igual forma presenta la mayor contribución del sector avícola dentro de los procesos de digestión anaerobia, posicionándose como el territorio de mayor potencial pecuario en la provincia brindando así más del 50% de éste. Por otra parte, el 43,92% restante del potencial total se debe al proceso de digestión anaerobia, dentro del cual la especie bovina predomina con una participación del 79,98%, ver Tabla 64.

El municipio de Vianí presenta el mayor aporte por medio del proceso de digestión anaerobia cuyas mayores contribuciones se deben al sector bovino y porcino, siendo al mismo tiempo los de mayor aporte en la provincia, del igual forma se encuentra en el segundo puesto del potencial energético total del sector pecuario, seguido por su capital San Juan de rio Seco con una participación del 9,8%. Los 4

municipios restantes: Chaguaní, Pulí, Bituima y Beltrán presentan el menor aporte dentro de la provincia. Ver Figura 133 y Figura 134.

Tabla 64 Potencial energético de la Provincia de Magdalena Centro.

Municipio	Termoquímico Engorde (56,08%)		Anaerobio (43,92%)						Potencial energético termoquímico (GWh/año)	Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)	Potencial energético total Sector Pecuario (GWh/año)
			Avícola (3,3%)		Bovino (78,98%)		Porcino (17,72%)				
	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%			
Beltrán	0,00	0,00	0,02	1,18	3,45	8,22	0,09	0,97	0,00	3,56	3,56
Bituima	0,00	0,00	0,42	23,78	2,19	5,22	1,25	13,27	0,00	3,86	3,86
Chaguaní	0,00	0,00	0,03	1,76	4,95	11,79	0,11	1,21	0,00	5,10	5,10
Guayabal de Síquima	67,89	100,00	1,01	57,86	1,82	4,33	2,19	23,18	67,89	5,02	72,90
Pulí	0,00	0,00	0,02	1,10	4,34	10,33	0,08	0,87	0,00	4,44	4,44
San Juan de Rioseco	0,00	0,00	0,18	10,44	10,63	25,31	1,14	12,13	0,00	11,95	11,95
Vianí	0,00	0,00	0,07	3,89	14,62	34,81	4,56	48,37	0,00	19,25	19,25
Total provincia	**67,89**	**100**	**1,75**	**100**	**42,00**	**100**	**9,43**	**100**	**67,89**	**53,18**	**121,06**

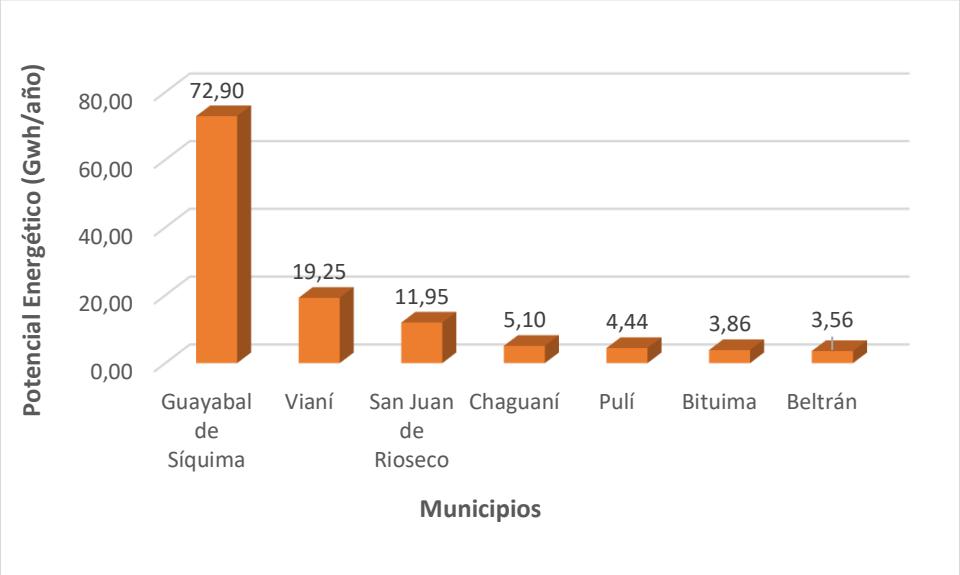


Figura 133 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en Magdalena Centro.

En general, la provincia de Magdalena Centro presenta un potencial energético total de 121,06 GWh/año, esta contribución podría satisfacer el consumo de aproximadamente 94.803 habitantes (FEDESARROLLO - EMPRESA DE

ENERGÍA DE BOGOTÁ, 2013), cubriendo más de 3 veces la demanda de la población y convirtiéndose en una posible solución energética para el casi 75% de la población que es de tipo rural, teniendo en cuenta que es la provincia con el menor grado de urbanización de Cundinamarca (Caracterización socioeconómica del departamento de Cundinamarca. PERS Cundinamarca, 2016).

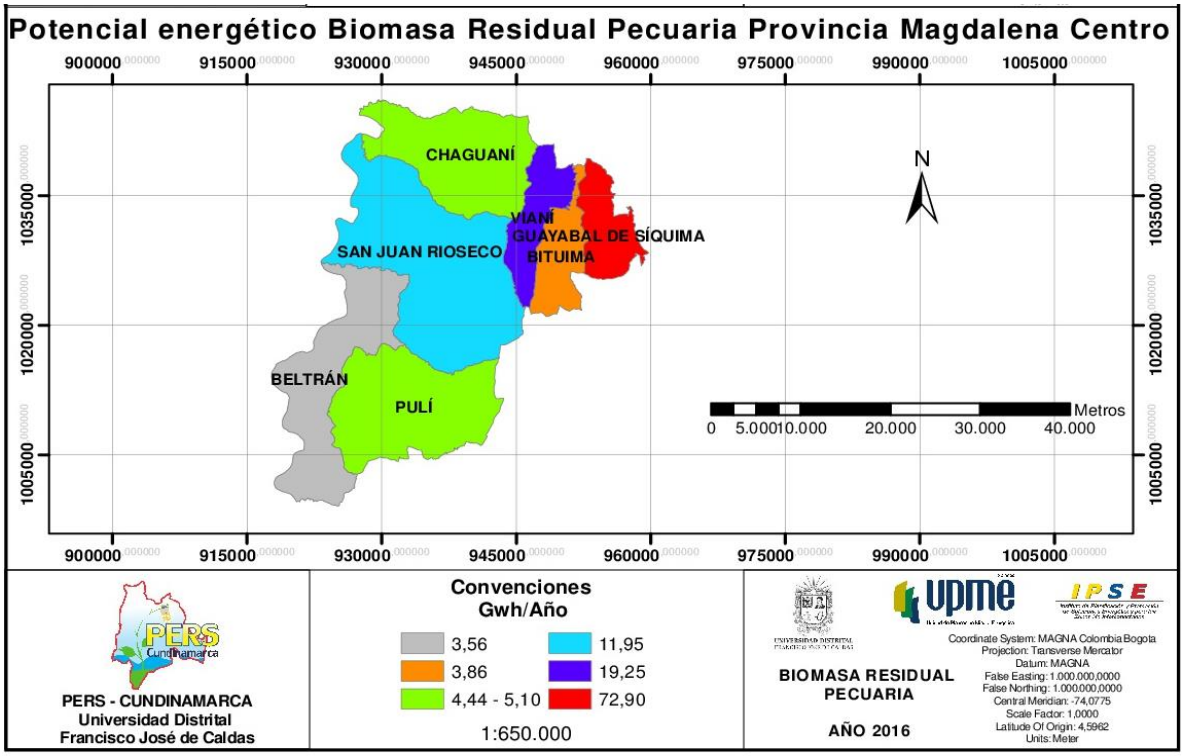


Figura 134 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Magdalena Centro.

Provincia de Medina

El sector pecuario de esta provincia genera el 3,0% del potencial energético total departamental siendo la décima provincia con mayor aporte, posee en total 11.995 aves, 101.500 bovinos y 3.685 porcinos (ICA, 2015), desarrollando menos del 1% de la población avícola y porcina, y un poco más del 9% del ganado bovino, produciendo en total más de 497.000 toneladas de residuos primarios.

Del potencial total de la provincia solo el 0,81% es obtenido por medio de procesos termoquímicos y más del 99% a través del proceso de digestión anaerobia, siendo así una de las pocas provincias en las que se evidencia cuál de las dos tecnología podría implementarse, de igual forma el potencial energético del

territorio se deriva casi exclusivamente de los desechos del ganado bovino con una participación de estos del 98,55%, ver Tabla 65.

Tabla 65 Potencial energético de la Provincia de Medina.

Municipio	Termoquímico Engorde (0,81%)		Anaerobio (99,19%)						Potencial energético termoquímico (GWh/año)	Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)	Potencial energético total Sector Pecuario (GWh/año)
			Avícola (0,05%)		Bovino (98,55%)		Porcino (1,4%)				
	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%			
Medina	0,00	0,00	0,020	47,17	43,68	47,01	0,76	57,89	0,00	44,46	44,46
Paratebueno	0,77	100,00	0,023	52,83	49,24	52,99	0,56	42,11	0,77	49,82	50,59
Total provincia	**0,77**	**100**	**0,04**	**100**	**92,92**	**100**	**1,32**	**100**	**0,77**	**94,28**	**95,06**

Ambos municipios presentan aportes energéticos similares tanto en su potencial total como en el potencial aportado por cada una de las especies; sin embargo solo Paratebueno posee aves de engorde, las cuales ofrecen un potencial energético por medio de tecnologías termoquímicas, equivalente a menos del 1% del total de la provincia, ver Figura 135, esto evidencia la gran importancia de la transformación de los residuos primarios a través del proceso de digestión anaerobia en esta región.

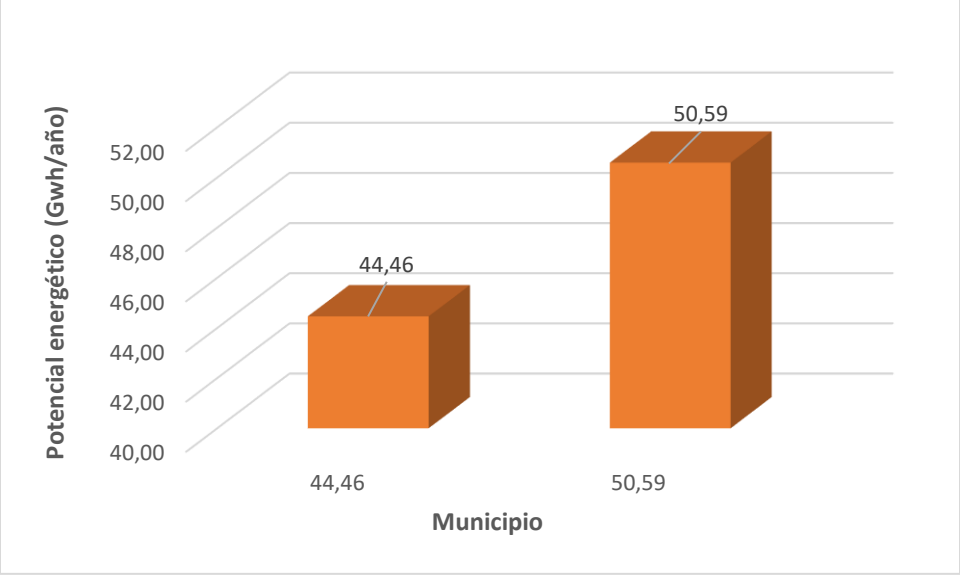


Figura 135 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Medina.

En total la provincia posee un potencial energético asociado a la biomasa residual pecuaria de 95,06 GWh/año, siendo el menor aporte el del municipio de Medina

con 44,46 GWh/año, ver Figura 136, estos potenciales (FEDESARROLLO - EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ, 2013) podrían satisfacer el consumo de 74.440 y 34.815 habitantes, respectivamente, cubriendo así la demanda total de la población, presentándose la biomasa pecuaria como una importante alternativa para más del 60% de la población, la cual es de tipo rural (Caracterización socioeconómica del departamento de Cundinamarca. PERS Cundinamarca, 2016).

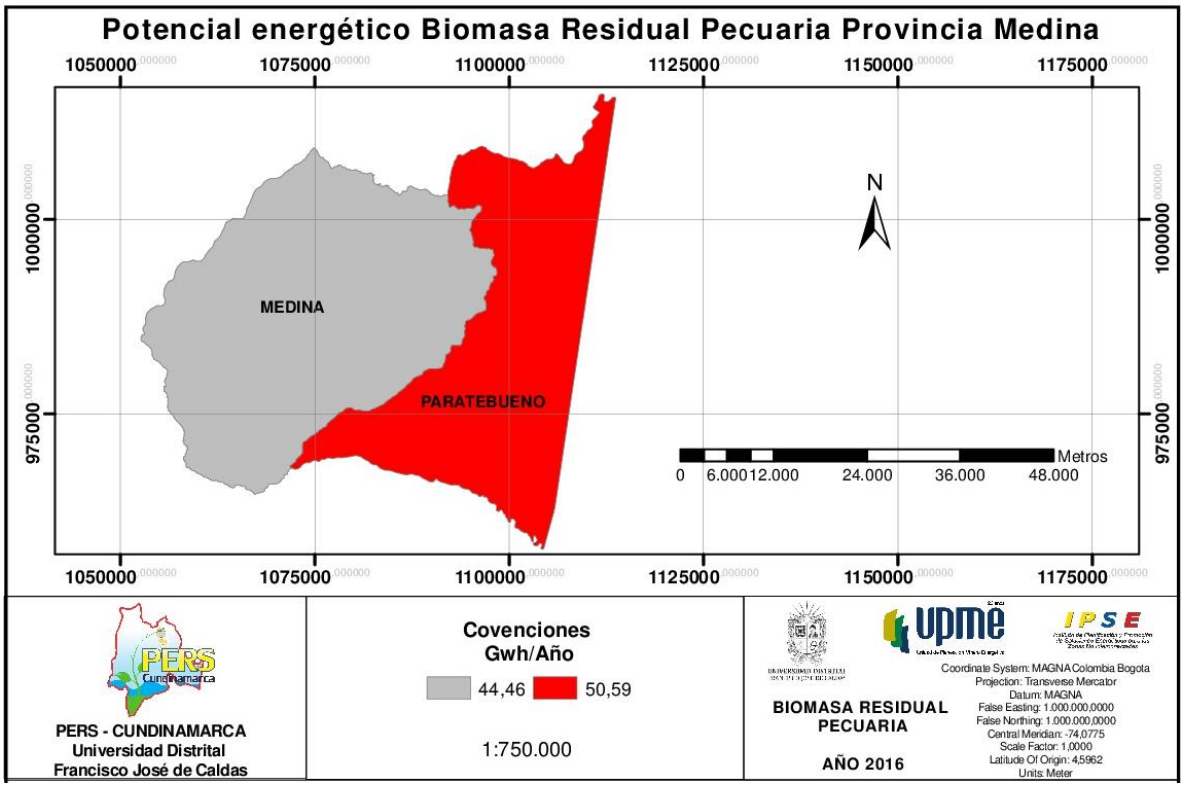


Figura 136 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Medina.

Provincia de Oriente

La provincia de Oriente produce anualmente alrededor de 401.653 toneladas de biomasa pecuaria residual primaria, gracias a la contribución de 45.844 cabezas bovinas, 4.698.670 aves y 60.321 porcinos, y ocupa el séptimo lugar de aporte energético pecuario del departamento con un 6,95% del potencial total (ICA, 2015). Por medio del proceso anaerobio la provincia presenta un aporte del 51,93%, dentro del cual la especie avícola predomina con una participación del 51,72%, seguida de las dos especies restantes con aportes del 33,55% del ganado bovino y del 14,74% por parte del sector porcino, convirtiéndose en la

única provincia que presenta mayor contribución por parte del sector avícola en la tecnología anaerobia. Por otra parte el potencial restante, 48,07%, se obtiene por medio de procesos termoquímicos cuyo mayor aporte es generado por el municipio de Guayabetal, presentándose una contribución nula por parte de los municipios de Chipaque y Une, ver Tabla 66.

Tabla 66 Potencial energético de la provincia de Oriente.

Municipio	Termoquímico Engorde (48,07%)		Anaerobio (51,93%)						Potencial energético termoquímico (GWh/año)	Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)	Potencial energético total Sector Pecuario (GWh/año)
			Avícola (51,72%)		Bovino (33,55%)		Porcino (14,74%)				
	GWh/ año	%	GWh/ año	%	GWh /año	%	GWh/ año	%			
Cáqueza	17,32	16,59	5,62	9,64	4,40	11,63	2,66	16,00	17,32	12,68	30,00
Chipaque	0,00	0,00	0,33	0,56	4,55	12,03	0,35	2,08	0,00	5,22	5,22
Choachí	17,01	16,30	2,78	4,76	6,72	17,77	4,71	28,37	17,01	14,22	31,23
Fomeque	7,53	7,22	28,59	49,03	6,58	17,40	3,14	18,90	7,53	38,32	45,85
Fosca	3,72	3,57	12,24	20,99	3,35	8,87	0,44	2,65	3,72	16,03	19,76
Guayabetal	25,72	24,64	0,16	0,27	1,74	4,60	0,21	1,28	25,72	2,11	27,83
Gutiérrez	0,17	0,17	0,06	0,11	2,84	7,50	0,08	0,50	0,17	2,98	3,16
Quetame	8,66	8,30	1,08	1,84	1,63	4,30	0,88	5,27	8,66	3,58	12,24
Ubaque	24,25	23,23	7,38	12,65	3,26	8,61	4,09	24,59	24,25	14,72	38,96
Une	0,00	0,00	0,09	0,15	2,76	7,29	0,06	0,36	0,00	2,91	2,91
Total provincia	**104,38**	**100,0**	**58,32**	**100,0**	**37,8**	**100,0**	**16,62**	**100,0**	**104,38**	**112,77**	**217,16**

Dentro del análisis realizado, el municipio de Fomeque presenta la mayor participación de potencial energético total pecuario y así mismo el mayor aporte obtenido a través del proceso anaerobio, gracias a la contribución del sector avícola, el cual es el de mayor cantidad en la provincia. En el municipio de Choachí el mayor aporte por medio del proceso de digestión anaerobia se da por la participación de la provincia del sector bovino y porcino, posicionándose como el tercer municipio con mayor aporte de potencial energético pecuario dentro de la provincia de Oriente, por el contrario en Une se encuentran los menores aportes de las especies avícolas y porcinas de Oriente, ver Figura 137.

La provincia de Oriente tiene un potencial energético total de 217,16 GWh/año, Figura 138, el cual podría satisfacer la demanda de aproximadamente 170.053 habitantes, es decir que podría cubrir hasta 2 veces la demanda de esta población, especialmente en la zona rural, que representa el 66,5% de la provincia.

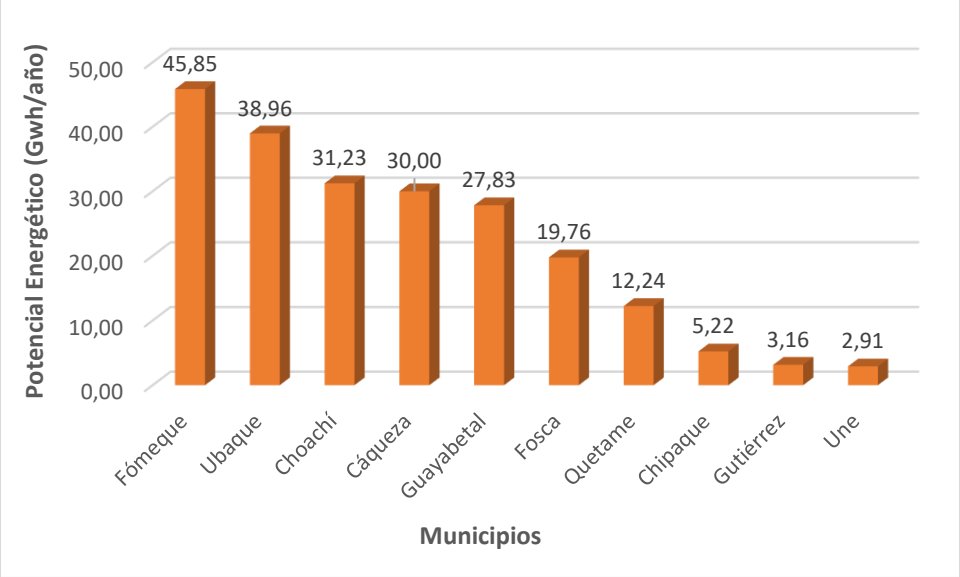


Figura 137 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la provincia de Oriente.

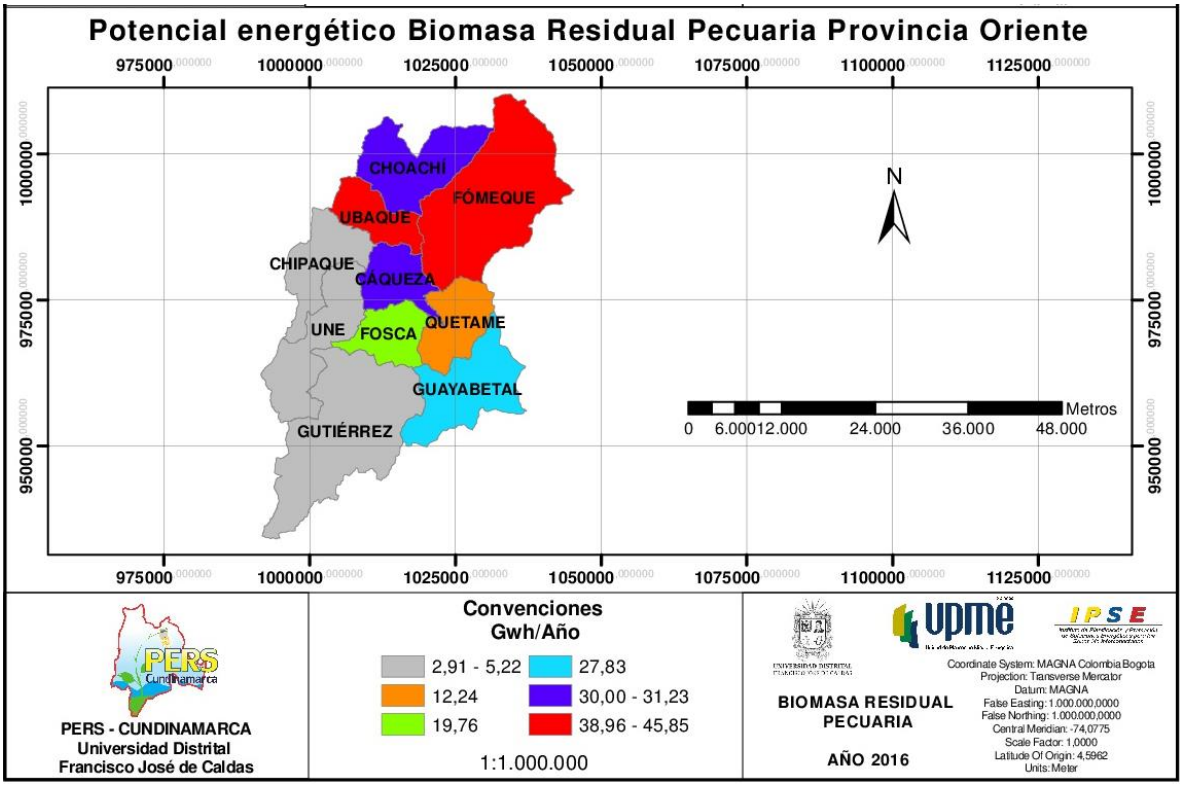


Figura 138 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Oriente.

Provincia de Rionegro

El sector pecuario de esta provincia genera el 2,7% del potencial energético del departamento, posicionándose como la segunda provincia con menor aporte. Posee 130.730 aves, 88.954 bovinos y 9.233 porcinos (ICA, 2015), desarrollando menos del 2% de la población avícola y porcina, y un poco más del 8% del ganado bovino, produciendo en total más de 412.000 toneladas de residuos primarios.

Del potencial total de la provincia solo el 5,44% es obtenido por medio de procesos termoquímicos y más del 94% a través del proceso de digestión anaerobia. Este primer potencial se obtiene exclusivamente de Pacho, puesto que es el único que cuenta con aves de engorde; mientras que el segundo potencial proviene fundamentalmente de los desechos primarios de la especie bovina, ver Tabla 67.

Tabla 67 Potencial energético de la Provincia de Rionegro.

Municipio	Termoquímico Engorde (5,44%)		Anaerobio (94,56%)						Potencial energético termoquímico (GWh/año)	Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)	Potencial energético total Sector Pecuario (GWh/año)
			Avícola (1,39%)		Bovino (94,79%)		Porcino (3,83%)				
	GWh/ año	%	GWh/ año	%	GWh/ año	%	GWh/ año	%			
El Peñón	0,00	0,00	0,05	4,94	2,41	3,19	0,08	2,56	0,00	2,54	2,54
La Palma	0,00	0,00	0,13	12,09	2,92	3,87	0,08	2,77	0,00	3,14	3,14
Pacho	4,59	100,00	0,10	8,87	18,43	24,38	2,29	75,00	4,59	20,82	25,41
Paime	0,00	0,00	0,04	3,59	2,16	2,85	0,16	5,18	0,00	2,35	2,35
San Cayetano	0,00	0,00	0,02	1,67	9,87	13,05	0,15	5,07	0,00	10,04	10,04
Topaipí	0,00	0,00	0,05	4,81	3,98	5,26	0,04	1,16	0,00	4,06	4,06
Villagómez	0,00	0,00	0,03	2,71	1,79	2,37	0,08	2,67	0,00	1,90	1,90
Yacopí	0,00	0,00	0,68	61,32	34,04	45,03	0,17	5,60	0,00	34,89	34,89
Total provincia	**4,59**	**100,00**	**1,11**	**100,0**	**75,60**	**100,0**	**3,05**	**100,0**	**4,59**	**79,76**	**84,34**

El 69% del potencial obtenido por medio de la digestión anaerobia está concentrado en solo dos de los ocho municipios: Pacho y Yacopí. En este último municipio se generan los principales aportes de los sectores avícola ponedor y bovino. La mayor participación de la especie porcina se encuentra en Topaipí. El municipio de San Cayetano presenta cerca del 12% del potencial pese a ser el territorio con menor aporte avícola, ver Figura 139 En total la provincia posee un potencial energético asociado a la biomasa residual pecuaria de 84.34 GWh/año, ver Figura 140.

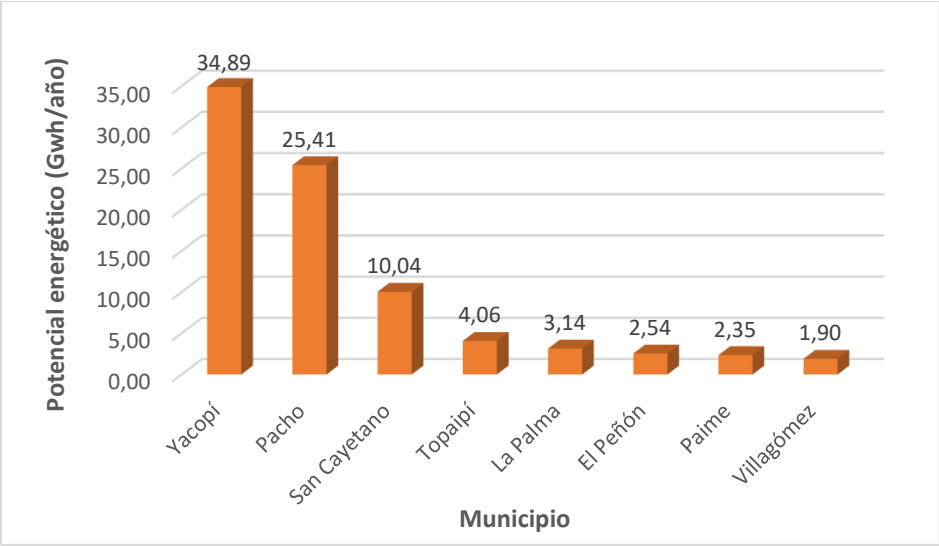


Figura 139 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Rionegro.

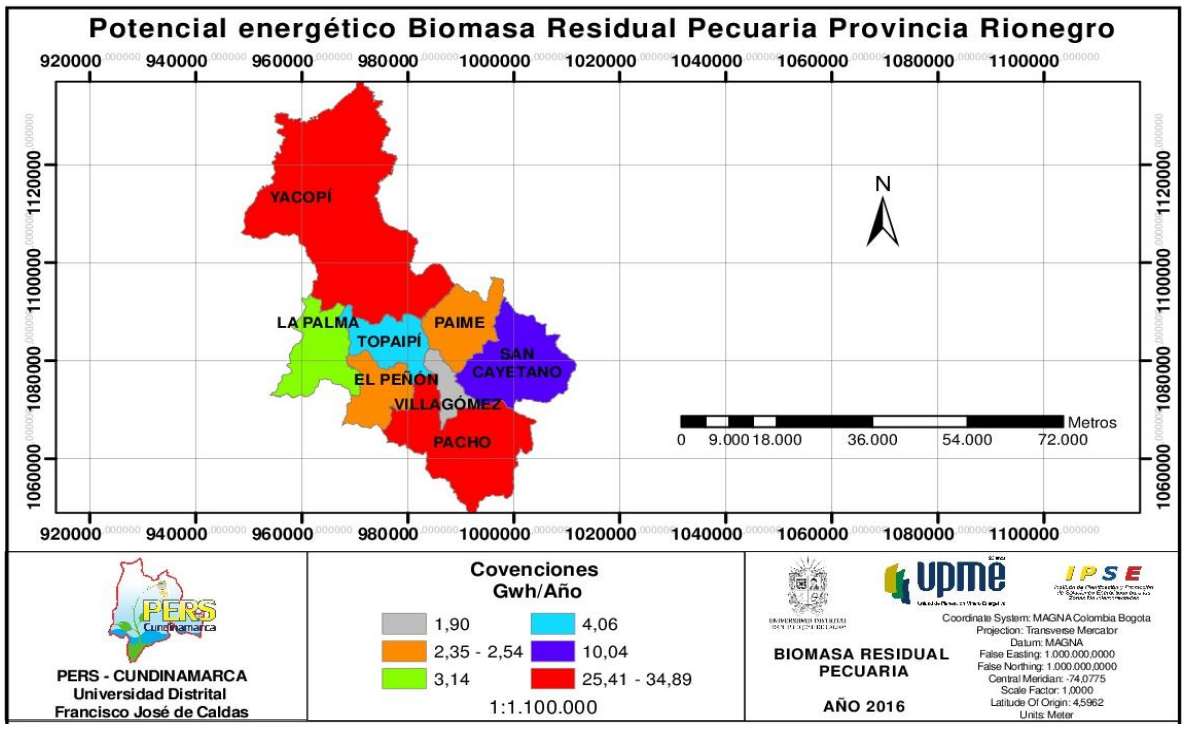


Figura 140 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Rionegro.

Este potencial podría satisfacer el consumo de 66.045 y 1.534 habitantes, respectivamente, cubriendo así alrededor del 87% de la demanda de la provincia,

presentándose de esta forma la biomasa pecuaria como una importante alternativa para el 65.8% de la población, la cual es de tipo rural (Caracterización socioeconómica del departamento de Cundinamarca. PERS Cundinamarca, 2016).

Provincia de Sabana Centro

El sector pecuario de Sabana Centro se posiciona en el sexto lugar de aporte energético del departamento con un 7,08% del potencial total, produciendo al año más de 620.000 toneladas de excrementos gracias a la contribución de 105.324 cabezas bovinas, 2'937.899 aves y 18.563 porcinos, concentrando en él aproximadamente el 9% de las dos primeras especies y casi el 4% de la última (ICA, 2015).

Como aparece en la Tabla 68, el mayor aporte energético de la provincia es generado a través del proceso de digestión anaerobia con el 60,6% del potencial total, de esta contribución el 71,24% se deriva de los desechos bovinos, el 24,19% de la especie avícola y tan solo el 4,58% de porcinos, presentándose así como uno de los territorios con mayor potencial asociado a las aves ponedoras. Por otra parte, los procesos termoquímicos tiene una participación cercana al 40% obteniéndose de siete de los once municipios: Cajicá, Chía, Gachancipá, Nemocón, Sopó, Tabio y Tocancipá.

Tabla 68 Potencial energético de la Provincia de Sabana Centro.

Municipio	Termoquímico (39,34%)		Anaerobio (60,66%)						Potencial energético termoquímico (GWh/año)	Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)	Potencial energético total Sector Pecuario (GWh/año)
	Engorde		Avícola (24,19%)		Bovino (71,24%)		Porcino (4,58%)				
	GWh/ año	%	GWh/ año	%	GWh/ año	%	GWh/ año	%			
Cajicá	6,41	7,37	9,29	28,67	3,53	3,70	0,25	4,14	6,41	13,08	19,49
Cogua	0,00	0,00	3,69	11,38	11,44	11,98	0,58	9,38	0,00	15,70	15,70
Chía	8,92	10,26	4,84	14,94	3,69	3,87	0,72	11,69	8,92	9,25	18,17
Gachancipá	25,98	29,88	2,20	6,79	5,93	6,21	1,31	21,35	25,98	9,44	35,41
Nemocón	8,92	10,26	5,42	16,71	11,80	12,36	0,48	7,74	8,92	17,69	26,61
Sopó	1,90	2,19	1,93	5,94	12,17	12,75	0,31	5,12	1,90	14,42	16,32
Tabio	1,90	2,19	0,77	2,38	6,15	6,44	0,13	2,18	1,90	7,05	8,96
Tenjo	0,00	0,00	1,79	5,51	18,03	18,89	0,41	6,65	0,00	20,23	20,23
Tocancipá	32,90	37,85	2,09	6,43	5,93	6,21	0,24	3,86	32,90	8,25	41,15
Zipaquirá	0,00	0,00	0,41	1,26	16,81	17,60	1,71	27,88	0,00	18,93	18,93
Total provincia	**86,94**	**100,00**	**32,42**	**100**	**95,48**	**100,0**	**6,14**	**100**	**86,94**	**134,03**	**220,97**

A diferencia de otros territorios, cada uno de los municipios de esta provincia contribuye con importantes porcentajes al potencial energético total, siendo Tocancipá y Tabio los de mayor y menor participación con el 41% y el 9% respectivamente, ver Figura 141. A nivel termoquímico los principales municipios son Tocancipá y Gachancipá con unos aportes cercanos al 68% de este potencial. En el potencial derivado del proceso de digestión anaerobia son Tenjo, Cajicá y Zipaquirá aquellos con la mayor participación de los sectores bovino, avícola ponedor y porcino respectivamente, siendo las principales contribuciones a esta tecnología brindados por los municipios de Tenjo, Zipaquirá, Nemocón, Cogua, Sopó y Cajicá.

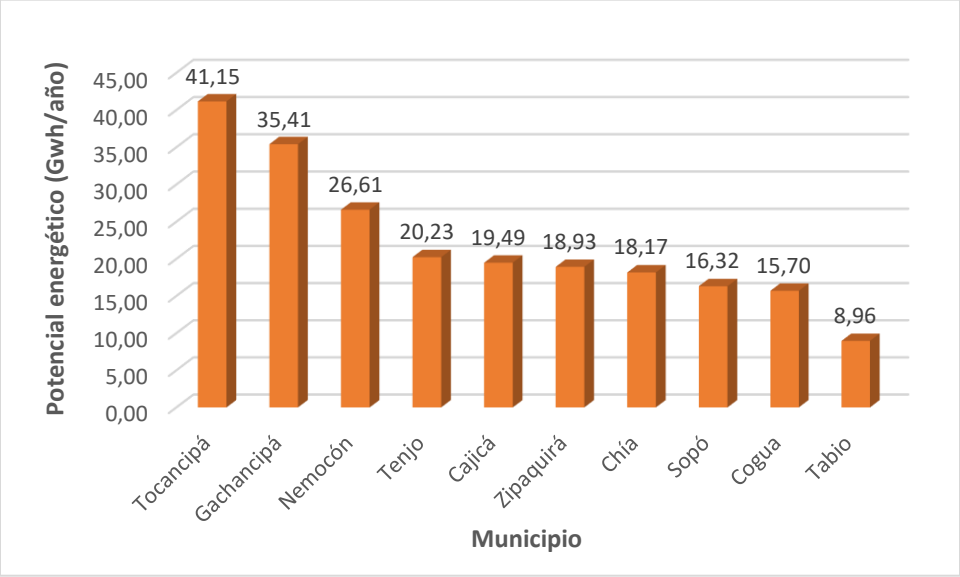


Figura 141 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en Sabana Centro.

Como se observa en el Figura 142, esta provincia presenta un potencial energético total de 220,97 GWh/año, siendo su menor aporte dado por el municipio de Tabio con 8,96 GWh/año, estas contribuciones podrían satisfacer el consumo de 173.078 y 7.016 habitantes respectivamente (FEDESARROLLO - EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ, 2013), con lo que se podría cubrir como mínimo la demanda eléctrica del 1,65% de la población de la provincia, o empleando todo su potencial se podría suplir cerca del 40% de la demanda de la provincia, convirtiéndose en una posible solución energética para el 30,7% de la población que es de tipo rural (Caracterización socioeconómica del departamento de Cundinamarca. PERS Cundinamarca, 2016).

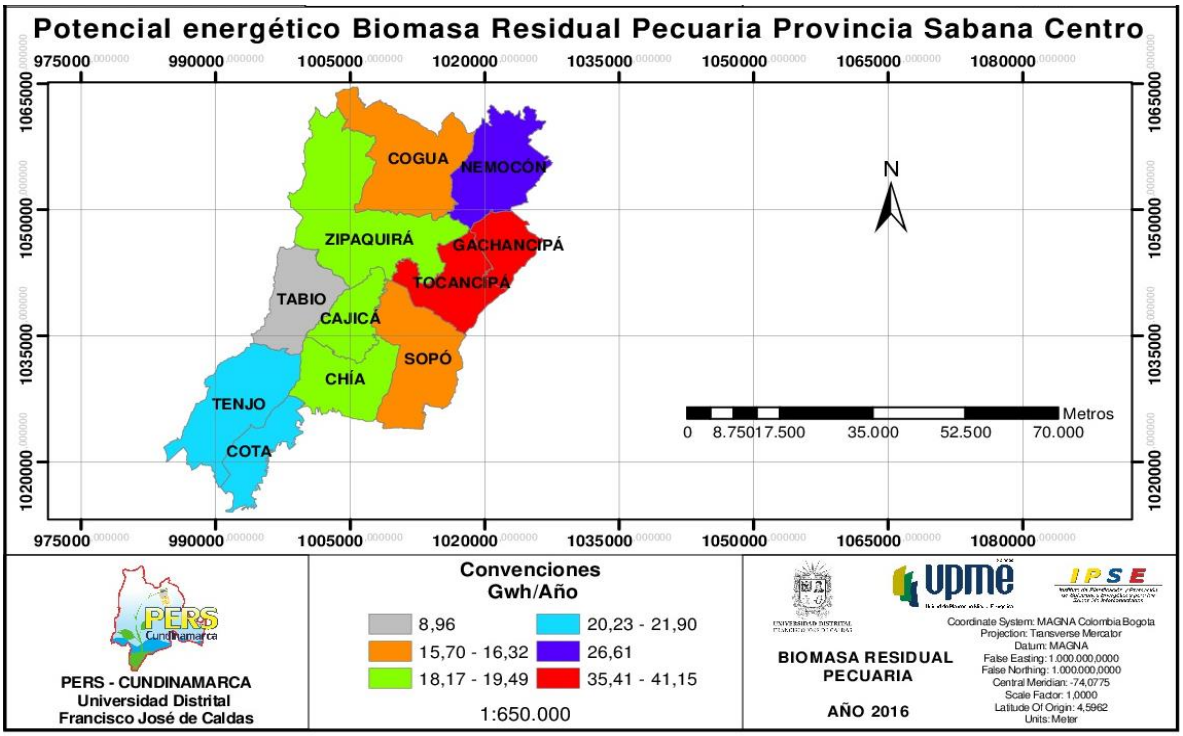


Figura 142 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Sabana Centro.

Provincia de Sabana Occidente

El sector pecuario de esta provincia genera el 7,09% del potencial energético total departamental siendo la quinta provincia con mayor aporte, posee en total 2'323.390 aves, 91.132 bovinos y 17.677 porcinos (ICA, 2015), produciendo así anualmente más de 498.000 toneladas de residuos primarios. Del potencial total de esta provincia el 55,47% es obtenido por medio de procesos termoquímicos y un 44,53% a través del proceso de digestión anaerobia. Este primer aporte está relacionado con 6 municipios que cuentan con aves de engorde; por otra parte, el segundo se deriva de los desechos de: ganado bovino con un 79,55%, el sector avícola con el 14% y el sector porcino con un 5%, ver Tabla 69.

A nivel municipal Facatativá presenta el mayor potencial de digestión anaerobia, termoquímico y por ende total de la provincia con el 39% de éste, de igual forma su aporte es el más alto en cuanto a las especies bovina y porcina, Figura 143 y Figura 144. El Rosal, Cota, Madrid y Bojacá también tienen una considerable participación en esta biomasa, y este último municipio presenta el mayor potencial de la especie avícola. Tres municipios no poseen potencial derivado de los procesos termoquímicos.

Tabla 69 Potencial energético de la Provincia de Sabana Occidente.

Municipio	Termoquímico Engorde (55,47%)		Anaerobio (44,53%)						Potencial energético termoquímico (GWh/año)	Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)	Potencial energético total Sector Pecuario (GWh/año)
			Avícola (14,82%)		Bovino (79,55%)		Porcino (5,63%)				
	GWh/ año	%	GWh/ año	%	GWh/ año	%	GWh/ año	%			
Bojacá	8,44	6,87	4,88	33,43	5,97	7,62	0,18	3,22	8,44	11,04	19,47
Cota	16,54	13,47	2,11	14,42	3,10	3,96	0,15	2,75	16,54	5,36	21,90
El Rosal	23,38	19,03	3,60	24,67	8,19	10,45	0,20	3,56	23,38	12,00	35,38
Facatativá	64,94	52,87	2,23	15,28	15,11	19,27	3,39	61,12	64,94	20,74	85,68
Funza	4,33	3,52	0,002	0,01	8,93	11,39	0,18	3,21	4,33	9,11	13,44
Madrid	5,20	4,23	1,71	11,67	12,38	15,78	0,37	6,75	5,20	14,46	19,65
Mosquera	0,00	0,00	0,02	0,17	7,67	9,79	0,77	13,91	0,00	8,47	8,47
Subachoque	0,00	0,00	0,03	0,22	13,68	17,44	0,15	2,70	0,00	13,86	13,86
Zipacón	0,00	0,00	0,02	0,13	3,38	4,31	0,15	2,79	0,00	3,55	3,55
Total provincia	**122,8**	**100**	**14,61**	**100**	**78,42**	**100**	**5,55**	**100**	**122,82**	**98,59**	**221,41**

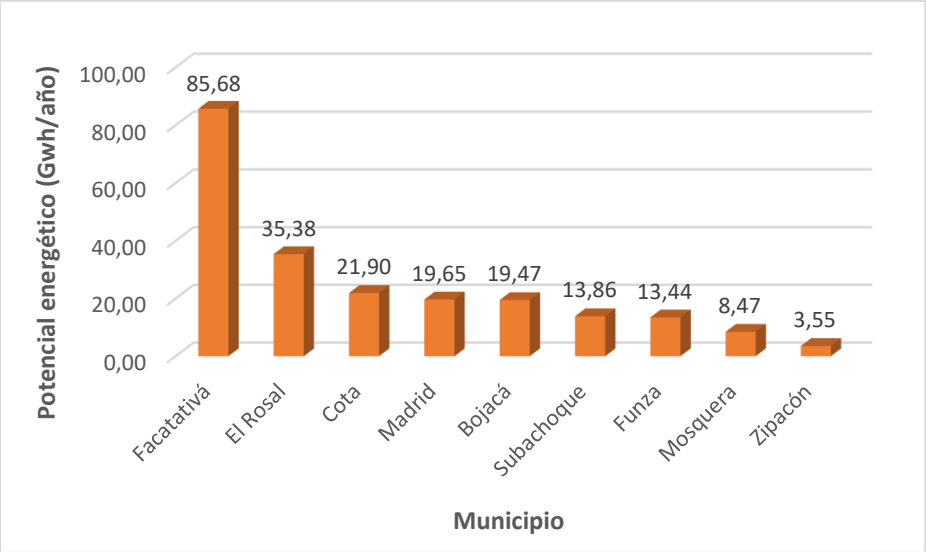


Figura 143 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Sabana Occidente.

La provincia posee un potencial energético asociado a la biomasa residual pecuaria de 221,41 GWh/año, este potencial podría satisfacer el consumo de 173.382 habitantes, cubriendo el 40% de la demanda, presentándose estos aportes como una alternativa para el 15,9% de la población de este territorio, la

cual es rural (Caracterización socioeconómica del departamento de Cundinamarca. PERS Cundinamarca, 2016).

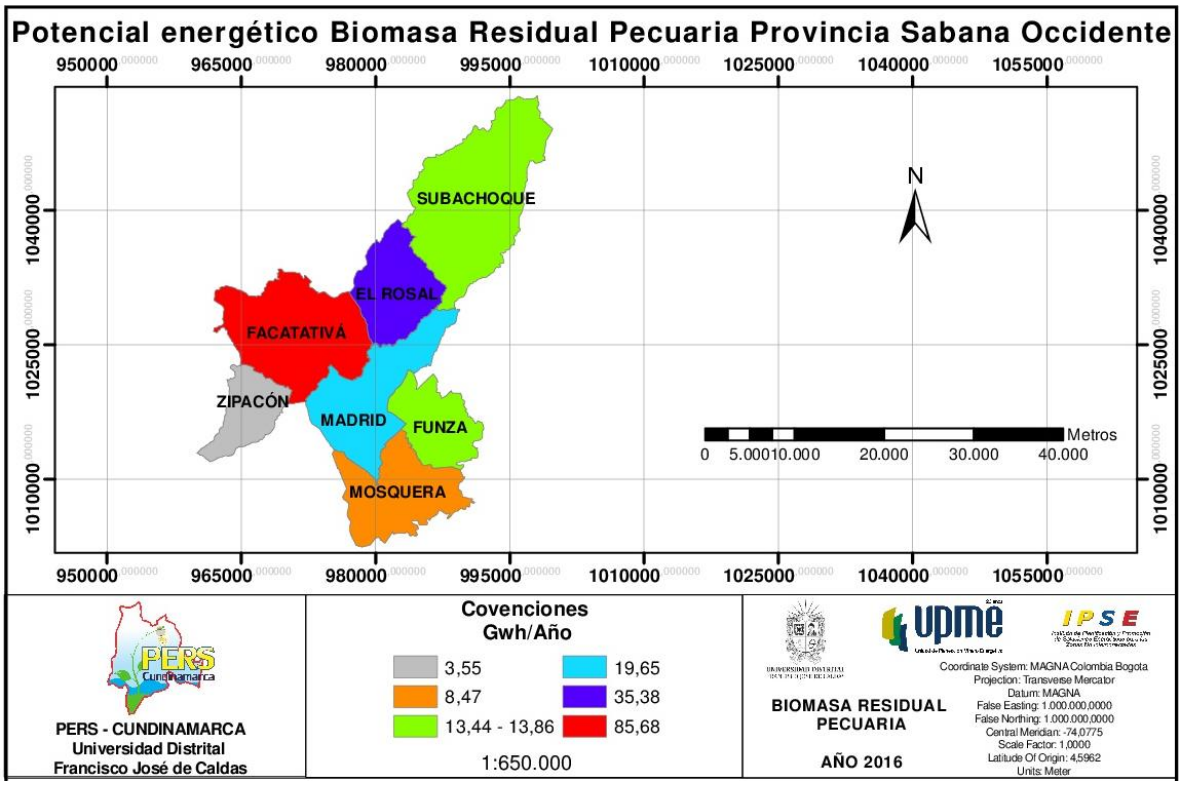


Figura 144 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Sabana Occidente.

Provincia de Soacha

El sector pecuario de esta provincia ocupa el último lugar de aporte energético del departamento con un 0,7% del potencial total, produciendo anualmente más de 93.000 toneladas de excrementos gracias a la contribución de 19.136 cabezas bovinas, 47.980 aves y 3.777 porcinos (ICA, 2015).

Por medio del proceso anaerobio la provincia presenta un aporte del 86,54%, dentro del cual la especie bovina predomina con una participación del 91,04% dejando a las dos especies restantes con aportes del 7,67% de porcinos y del 1,29% por parte del sector avícola. El potencial restante, 13,46%, se obtiene por medio de procesos termoquímicos, cuyos aportes son generados en Soacha, Tabla 70.

Tabla 70 Potencial energético de la Provincia de Soacha.

Municipio	Termoquímico Engorde (13,46%)		Anaerobio (86,54%)						Potencial energético termoquímico (GWh/año)	Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)	Potencial energético total Sector Pecuario (GWh/año)
			Avícola (1,29%)		Bovino (91,04%)		Porcino (7,67%)				
	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%			
Sibaté	0,00	0,00	0,20	82,52	9,90	59,22	0,66	47,04	0,00	10,76	10,76
Soacha	2,86	100,00	0,04	17,48	6,82	40,78	0,75	52,96	2,86	7,61	10,46
Total provincia	**2,86**	**100**	**0,24**	**100**	**16,72**	**100**	**1,41**	**100**	**2,86**	**18,37**	**21,22**

A nivel municipal ambos territorios presentan aportes energéticos similares tanto en su potencial total como en el potencial aportado por las especies bovina y porcina, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Figura 146. Esta provincia presenta un potencial energético total de 21,22 GWh/año, estas contribución podría satisfacer el consumo de 16.617 habitantes (FEDESARROLLO - EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ, 2013), cubriendo el consumo eléctrico del 3,15% de la población, convirtiéndose así en una posible solución energética para las pocas áreas de tipo rural.

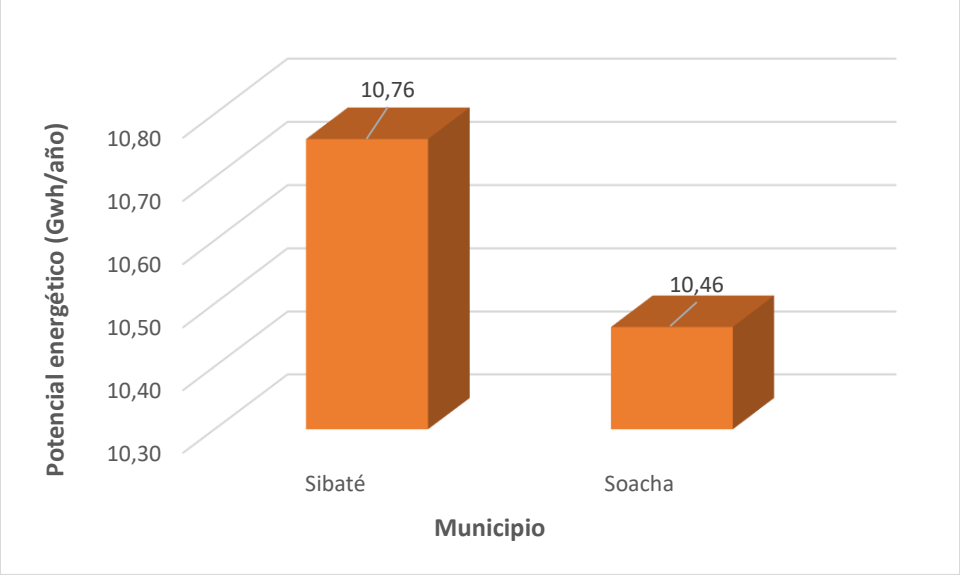


Figura 145 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en Soacha.

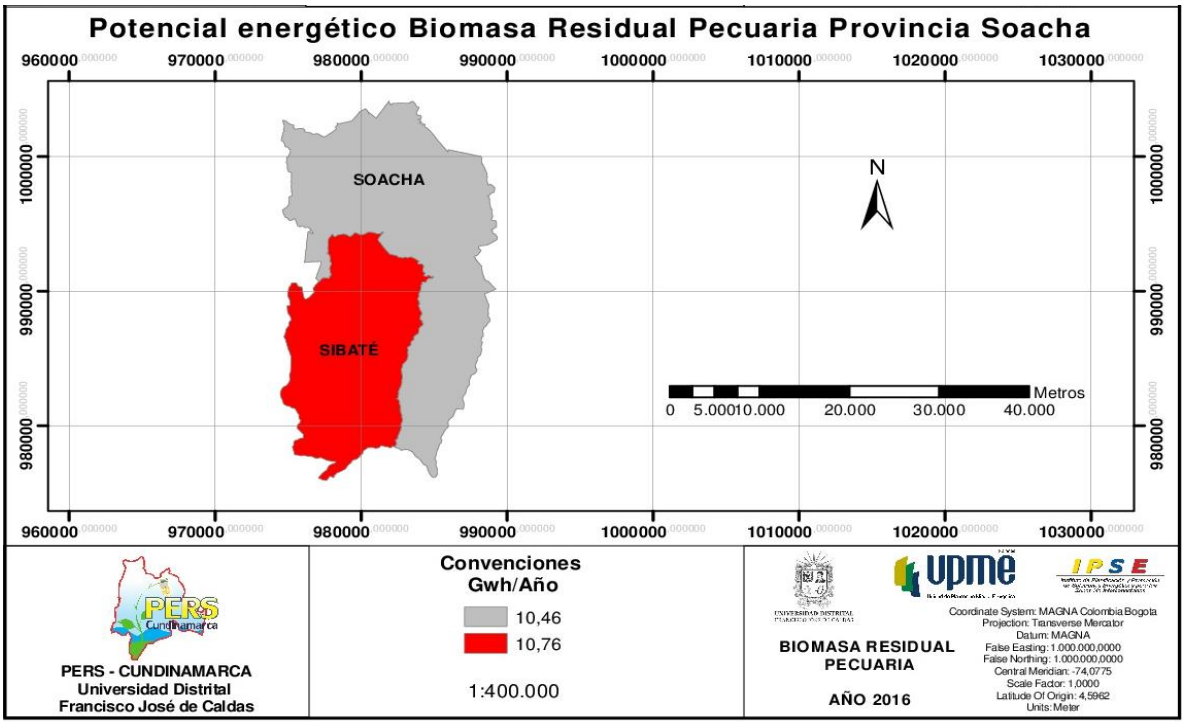


Figura 146 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Soacha.

Provincia de Sumapaz

La provincia de Sumapaz produce anualmente más de 564.000 toneladas de excrementos gracias a la contribución de 7.997.519 aves, 64.538 cabezas bovinas y 78.087 porcinos (ICA, 2015), ocupando el primer lugar de aporte energético pecuario del departamento con un 20,78% del potencial total, convirtiéndose en la provincia de mayor interés y proyección para el desarrollo de futuros proyectos de aprovechamiento de la biomasa residual pecuaria en búsqueda de energías alternativas en Cundinamarca.

El mayor aporte energético en la provincia es producido a través de procesos termoquímicos con el 83,67%, encontrándose una participación nula de esta tecnología en 2 de los 10 municipios, mientras que la mayor participación, 47,04%, se da en Fusagasugá, donde al mismo tiempo se presenta el mayor aporte del potencial pecuario de la provincia. Por otra parte, el 16,33% restante del potencial total se debe al proceso de digestión anaerobia, dentro del cual el sector bovino genera la más considerable contribución representado con un 51%, el ganado avícola un 26,16% y la especie porcina con un 22,84%, ver Tabla 71.

Tabla 71 Potencial energético de la provincia de Sumapaz.

Municipio	Termoquímico Engorde (83,67%)		Anaerobio (16,33%)						Potencial energético termoquímico (GWh/año)	Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)	Potencial energético total Sector Pecuario (GWh/año)
			Avícola (26,16%)		Bovino (51%)		Porcino (22,84%)				
	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%			
Arbeláez	115,08	21,20	2,42	8,75	5,32	9,84	1,23	5,07	115,08	8,97	124,05
Cabrera	0,00	0,00	0,19	0,67	5,93	10,97	0,14	0,59	0,00	6,26	6,26
Fusagasugá	255,44	47,05	22,09	79,71	11,82	21,88	13,22	54,61	255,44	47,13	302,57
Granada	13,42	2,47	0,12	0,45	4,72	8,73	0,25	1,05	13,42	5,09	18,51
Pandi	16,45	3,03	0,11	0,40	2,57	4,76	0,31	1,27	16,45	2,99	19,45
Pasca	8,23	1,52	0,07	0,26	7,12	13,17	0,45	1,84	8,23	7,63	15,86
San Bernardo	12,99	2,39	0,05	0,18	4,17	7,72	0,43	1,77	12,99	4,65	17,64
Silvania	98,11	18,07	2,14	7,74	6,36	11,78	7,56	31,25	98,11	16,07	114,18
Tibacuy	23,21	4,27	0,48	1,73	2,95	5,47	0,30	1,24	23,21	3,74	26,94
Venecia	0,00	0,00	0,03	0,12	3,07	5,68	0,32	1,30	0,00	3,41	3,41
Total provincia	**542,9**	**100**	**27,72**	**100**	**54,03**	**100**	**24,20**	**100**	**542,93**	**105,95**	**648,88**

Fusagasugá es el municipio con el mayor aporte energético total pecuario del departamento con 302,57 GWh/año, ver Figura 147. Este municipio representa más del 50% del potencial termoquímico de la provincia y es el de mayor potencial en digestión anaerobia en las 3 especies: bovina, avícola y porcina.

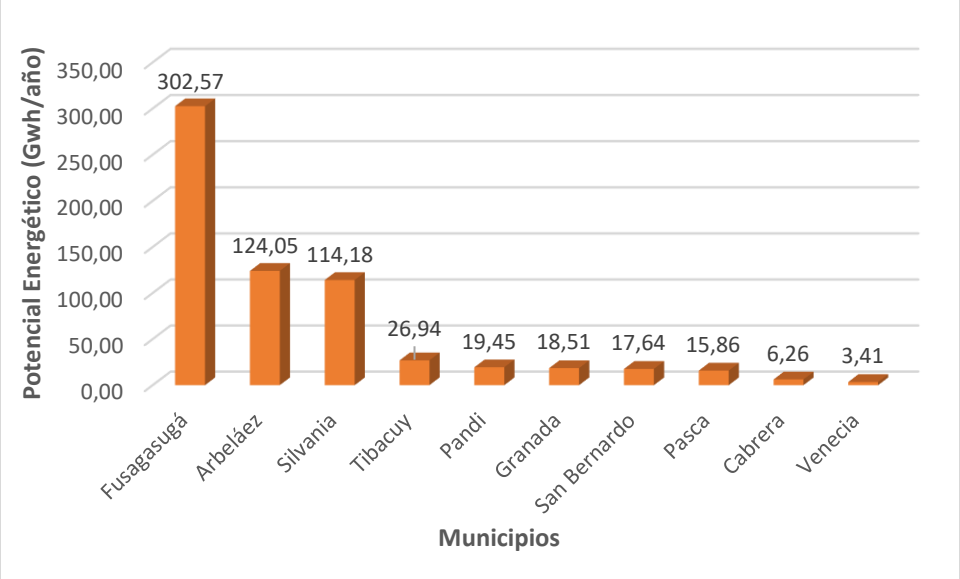


Figura 147 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la provincia de Sumapaz.

Arbeláez y Silvania, ocupan el segundo y tercer puesto en cuanto a potencial pecuario, los cuales junto con Fusagasugá tienen más potencial del que existe en 5 de las 15 provincias de Cundinamarca. De otro lado, Cabrera y Venecia presentan la menor contribución de potencial energético pecuario con una participación nula en los procesos termoquímicos. La provincia de Sumapaz presenta un potencial energético total de 648,88 GWh/año, siendo su menor aporte dado por el municipio de Venecia con 3,41 GWh/año, Figura 148.

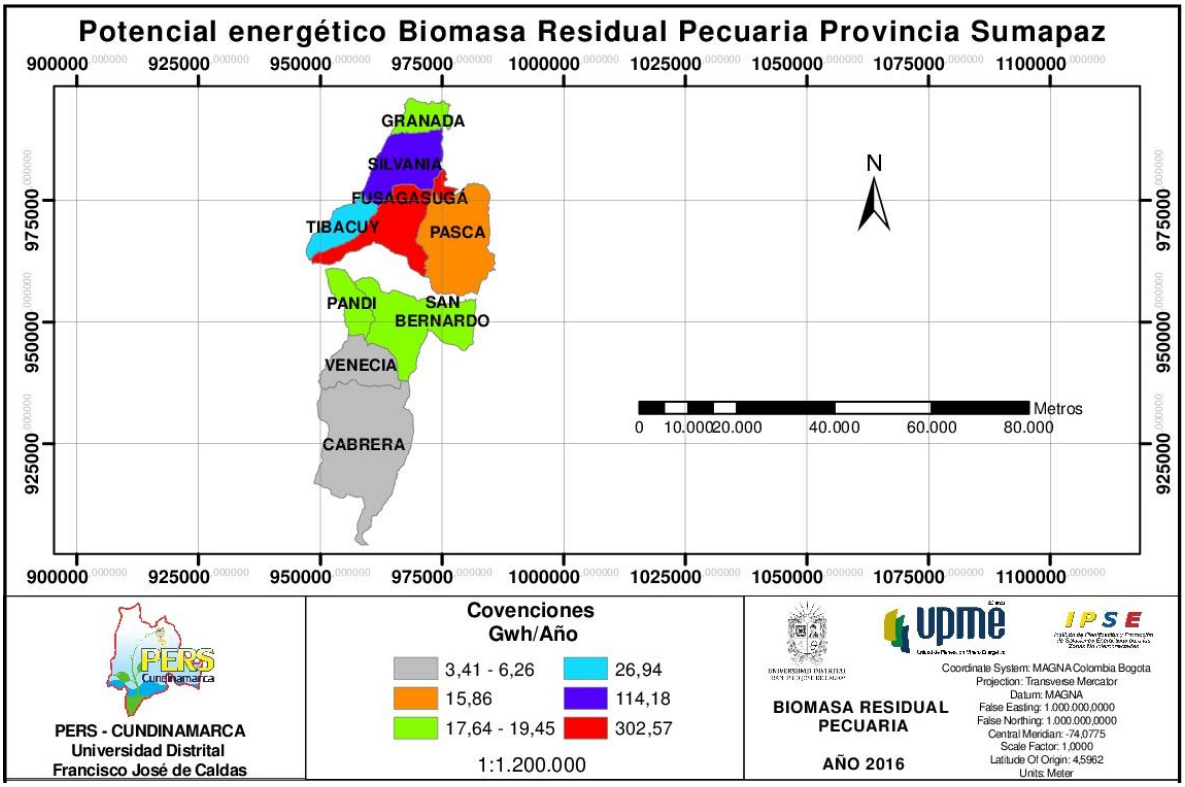


Figura 148 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Sumapaz.

El potencial energético de Sumapaz podría satisfacer el consumo de aproximadamente 236.941 habitantes (FEDESARROLLO - EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ, 2013), cubriendo casi 2 veces la demanda de la población y convirtiéndose en una posible solución energética para la población rural que representa el 66,7% de la provincia (Caracterización socioeconómica del departamento de Cundinamarca. PERS Cundinamarca, 2016).

Provincia del Tequendama

Tequendama produce anualmente más de 357.000 toneladas de excrementos debido al aporte generado por biomasa residual pecuaria primaria de 43.553 cabezas bovinas, 3.707.491 aves y 83.699 porcinos (ICA, 2015), ocupando el tercer lugar de aporte energético pecuario del departamento con un 9,94% del potencial total, posicionándose como una provincia de gran interés para la implementación y desarrollo de las tecnologías termoquímicas y anaerobias, siendo esta primera de mayor importancia.

El mayor aporte energético generado en la provincia es producido a través de procesos termoquímicos con el 74,48%, donde el municipio de Tena es quien muestra la mayor participación de esta tecnología, posicionándose así como el territorio de mayor potencial pecuario, seguido de La Mesa quien ocupa el segundo lugar de contribución termoquímica y total pecuaria de la provincia, presentándose una participación nula por parte del municipio de Viotá. Por otra parte, el 25,52% restante del potencial total se debe al proceso de digestión anaerobia, dentro del cual la especie bovina es la encargada de generar el mayor aporte con un 45,68%, seguida de las dos especies restantes con aportes del 33,55% de porcinos y del 20,77% por parte del sector avícola, ver Tabla 72.

Tabla 72 Potencial energético de la Provincia del Tequendama.

Municipio	Termoquímico Engorde (74,48%)		Anaerobio (25,52%)						Potencial energético termoquímico (GWh/año)	Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)	Potencial energético total Sector Pecuario (GWh/año)
			Avícola (20,77%)		Bovino (45,68%)		Porcino (33,55%)				
	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%			
Anapoima	18,09	7,82	0,01	0,08	3,02	8,33	0,86	3,24	18,09	3,89	21,97
Anolaima	20,70	8,95	2,54	15,45	4,56	12,61	0,70	2,63	20,70	7,81	28,50
Apulo	3,64	1,57	0,02	0,12	2,48	6,85	0,20	0,74	3,64	2,70	6,33
Cachipay	19,22	8,31	8,26	50,15	2,07	5,71	1,07	4,03	19,22	11,39	30,62
El Colegio	15,67	6,78	0,34	2,05	5,01	13,83	0,72	2,70	15,67	6,06	21,74
La Mesa	56,89	24,60	2,46	14,96	4,88	13,49	2,95	11,10	56,89	10,30	67,19
Quipile	3,90	1,68	0,02	0,15	2,67	7,36	0,22	0,84	3,90	2,91	6,81
San Antonio Tequendama	28,23	12,21	1,15	6,97	3,58	9,89	13,73	51,64	28,23	18,45	46,68
Tena	64,94	28,08	0,69	4,22	2,33	6,43	3,89	14,62	64,94	6,91	71,85
Viotá	0,00	0,00	0,96	5,85	5,62	15,52	2,25	8,45	0,00	8,83	8,83
Total provincia	**231,2**	**100**	**16,46**	**100**	**36,20**	**100**	**26,58**	**100**	**231,27**	**79,25**	**310,52**

San Antonio del Tequendama es el municipio que presenta el mayor aporte energético a través del proceso de digestión anaerobia, mostrando la más alta contribución del sector porcino de la provincia, posicionándose en el segundo lugar de mayor participación del potencial pecuario. Cachipay tiene el mayor potencial del sector avícola y el menor potencial por parte del sector bovino, ocupando el cuarto lugar de la provincia en cuanto se refiere al potencial total pecuario. Finalmente, Viotá, Quipile y Apulo son los municipios que presentan el menor aporte de la provincia, encontrándose en Viotá el mayor aporte del sector bovino, ver Figura 149 y Figura 150.

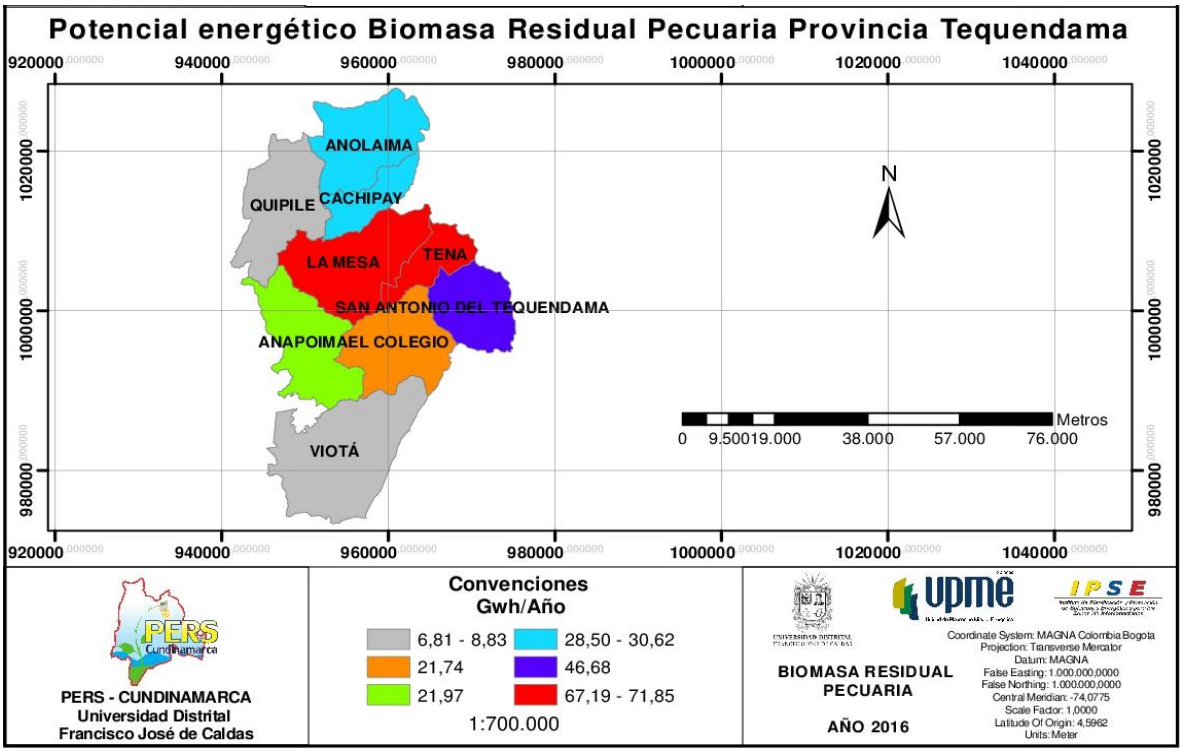


Figura 149 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia del Tequendama.

La Provincia del Tequendama presenta un potencial energético total de 310,52 GWh/año, esta contribución podría satisfacer el consumo de aproximadamente 243.160 habitantes, es decir que podría cubrir más del 100% de la demanda de la población, convirtiéndose en una posible solución energética para el 65,7% de la población que es de tipo rural.

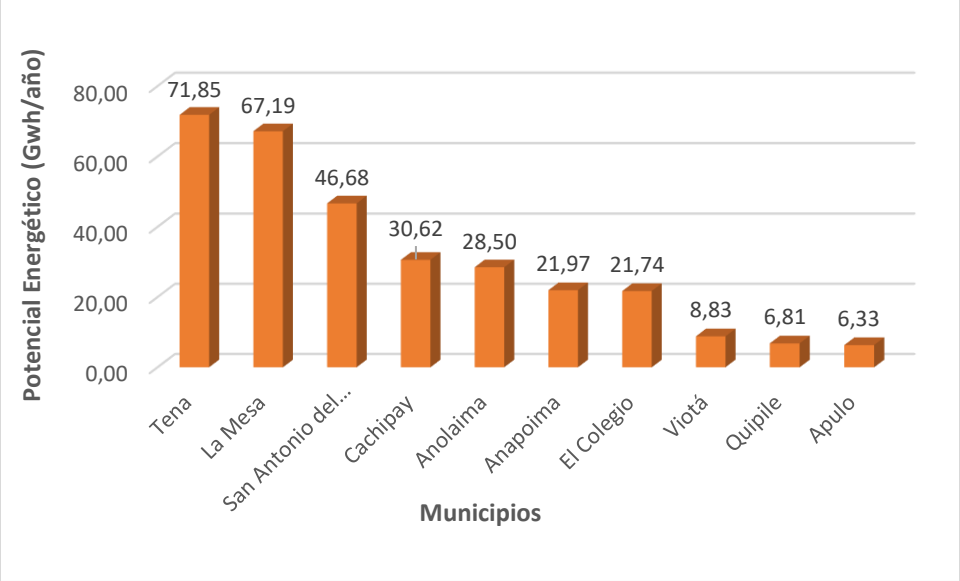


Figura 150 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en Tequendama.

Provincia de Ubaté

La provincia de Ubaté ocupa el duodécimo lugar de aporte energético pecuario del departamento con un 2,93% del potencial total y produce anualmente más de 477.000 toneladas de excrementos gracias a la contribución de 95.595 cabezas bovinas, 40.240 aves y 5.400 porcinos (ICA, 2015).

El aporte energético pecuario de la provincia se da en su mayoría por medio del proceso anaerobio, correspondiente al 99,93%, dentro del cual la especie bovina predomina con una participación del 97,34%, dejando a las dos especies restantes con aportes del 2,02% de porcinos y del 0,64% por parte del sector avícola. Por otra parte, el potencial restante 0,07% se obtiene por medio de procesos termoquímicos, cuyo único aporte es generado por el municipio de Lenguazaque con 0,06 GWh/año, ver
Tabla 73.

El municipio de Guachetá presenta el mayor aporte total y por medio del proceso de digestión anaerobia, encontrándose con las mayores contribuciones del sector bovino y porcino de la provincia, y de manera contraria presenta el menor potencial de la especie avícola. Simijaca le sigue en el segundo lugar, con mayor participación en el ganado bovino. Por otra parte, Ubaté presenta la menor contribución del sector bovino y ocupa el penúltimo lugar a nivel general, y

Sutatausa es el municipio que presenta el menor aporte de potencial energético total pecuario de la provincia siendo inferior a los 2 GWh/año, ver Figura 151.

Tabla 73 Potencial energético de la provincia de Ubaté.

Municipio	Termoquímico Engorde (0,07%)		Anaerobio (99,93%)						Potencial energético termoquímico (GWh/año)	Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)	Potencial energético total Sector Pecuario (GWh/año)
			Avícola (0,64%)		Bovino (97,34%)		Porcino (2,02%)				
	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%			
Carmen de Carupa	0,00	0,00	0,10	17,10	13,89	15,64	0,15	7,95	0,00	14,14	14,14
Cucunubá	0,00	0,00	0,03	4,56	4,65	5,23	0,39	21,04	0,00	5,06	5,06
Fúquene	0,00	0,00	0,07	11,71	10,12	11,39	0,33	17,62	0,00	10,51	10,51
Guachetá	0,00	0,00	0,02	3,12	15,65	17,61	0,45	24,19	0,00	16,11	16,11
Lenguazaque	0,06	100,00	0,11	19,12	8,81	9,92	0,07	4,00	0,06	9,00	9,06
Simijaca	0,00	0,00	0,03	5,19	15,30	17,23	0,22	11,84	0,00	15,55	15,55
Susa	0,00	0,00	0,10	16,42	8,36	9,41	0,05	2,48	0,00	8,50	8,50
Sutatausa	0,00	0,00	0,03	5,43	1,50	1,69	0,06	3,27	0,00	1,60	1,60
Tausa	0,00	0,00	0,07	11,82	6,40	7,20	0,08	4,11	0,00	6,54	6,54
Ubaté	0,00	0,00	0,03	5,52	4,16	4,68	0,06	3,49	0,00	4,26	4,26
Total provincia	**0,06**	**100**	**0,58**	**100**	**88,84**	**100**	**1,85**	**100**	**0,06**	**91,27**	**91,34**

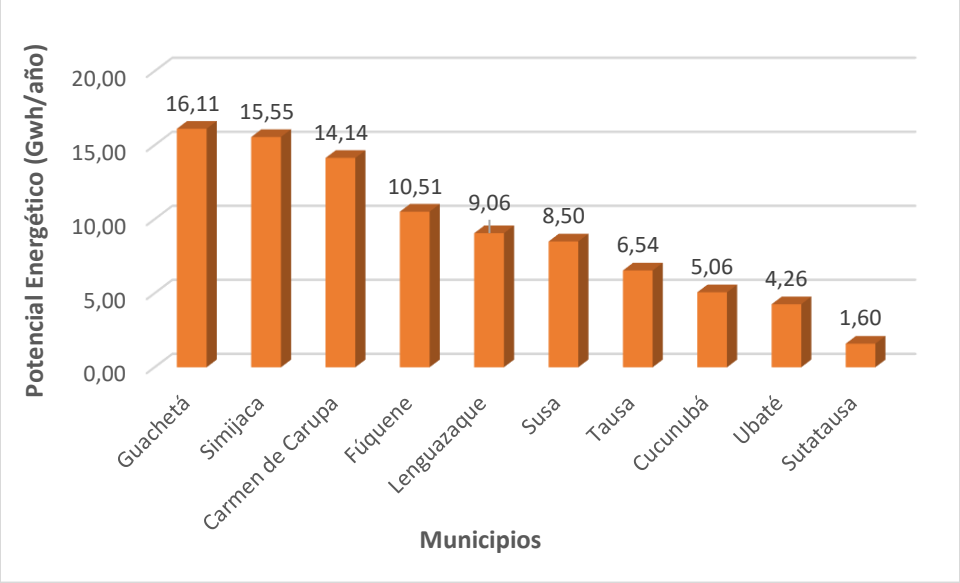


Figura 151 Potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la provincia de Ubaté.

La provincia de Ubaté presenta un potencial energético total de 91,34 GWh/año, y el menor aporte es dado por el municipio de Sutatausa con 1,6 GWh/año, Figura 152, estas contribuciones podrían satisfacer el consumo de aproximadamente 71.524 y 1.249 personas respectivamente (FEDESARROLLO - EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ, 2013). Con el potencial total de la provincia se podría cubrir el 59% de la demanda de la población, convirtiéndose en una posible solución energética para el 58,3% de la población que es de tipo rural (Caracterización socioeconómica del departamento de Cundinamarca. PERS Cundinamarca, 2016).

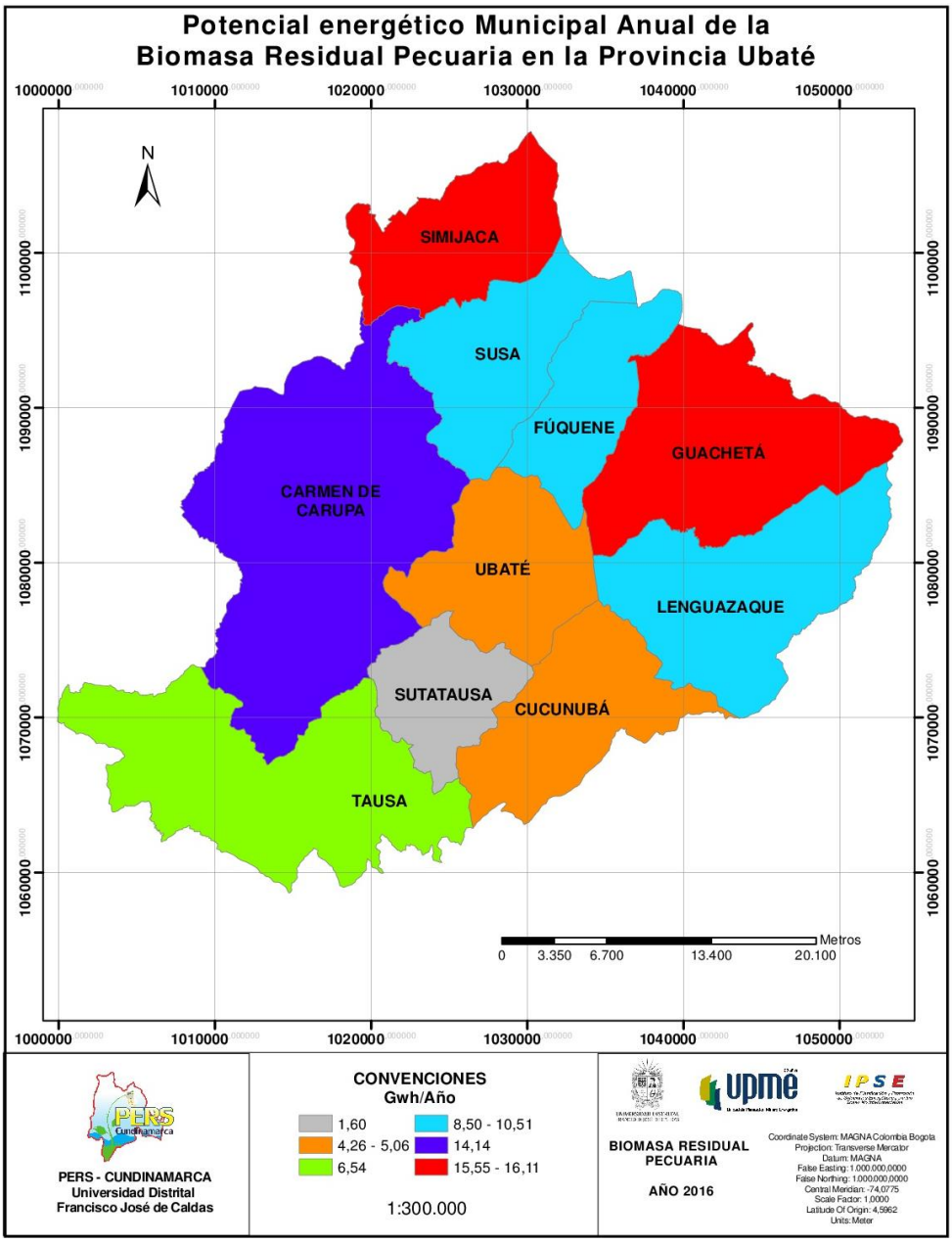


Figura 152 Mapa de potencial energético total de la biomasa residual pecuaria en la Provincia de Ubaté.

6. Biomasa Forestal

6.1 Metodología para el reconocimiento de potencial de biomasa forestal

Para el cálculo del poder energético que se tiene en el departamento de Cundinamarca por medio de la biomasa forestal, es necesario hacer uso de la cartografía en formato SHP de la cobertura vegetal del departamento para la identificación de las especies vegetativas que se encuentran en el mismo, esta información fue suministrada por el Instituto Agustín Codazzi. De igual forma, por medio del uso de la leyenda nacional de cobertura de la tierra (Corín Land Cover) (IDEAM - Instituto de Hidrología M. y., 2010), se establecen procedimientos en coberturas de tierras y las metodologías de estudio a usar, en los aspectos relevantes a la aplicación del manual fundamenta básicamente el uso de coberturas de tipo boscoso o arbustivo, que clasifica los diferentes tipos de suelos presentes en el país y de allí se parte de la base de catalogar la arborización presente en el sitio de estudio y las variables naturales implícitas que se pueden encontrar en las diferentes especies forestales en Cundinamarca.

El modelo matemático para el cálculo del poder calorífico en el departamento de Cundinamarca, se parte del prototipo de regresiones lineales que permita el cálculo de poder calorífico aprovechable por los diferentes tipos de especies y bosques que se encontraron, lo primero que se hizo fue identificar las especies dentro del área de trabajo para lo cual fue necesario hacer un estudio de caracterización en la zona, se clasificaron las especies de árboles nativas y plantas existentes.

En lo correspondiente a la cuantificación de las especies a evaluar, se hará uso de la herramienta computacional ArcGis, a partir de la información almacenada obtenida mediante el proceso, se vinculara dichos datos con la finalidad de generar un mapa base de la investigación que permita ilustrar de forma gráfica el nivel de energía forestal aprovechable en la región.
Con la estructura anteriormente descrita se desarrollaron dos tipos de estudios para identificar la cantidad de biomasa forestal y posteriormente el poder calorífico que este aportaría por provincias.

- **PRIMER ESTUDIO: BOSQUES PLANTADOS**

Para el desarrollo de este estudio se consideran las restricciones aplicadas en la determinación de la vegetación plantada aprovechable, fundamentalmente la filtración de áreas protegidas, que solamente se vinculan en el caso de estudio de

bosques plantados .La simbología es denominada pex, debido a la discriminación de los bosques naturales y protegidos, lo cual indica que la vegetación que contiene este polígono es plantada exótica, pero no es la única denominación que se encuentra expresada, el significado de la simbología adicional es la vegetación plantada exótica mezclada con bosques naturales o con vegetación arbustiva, de igual forma estos polígonos son tenidos en cuenta para el desarrollo del estudio, esta información se observa gráficamente en la Figura 153. Para ejecutar con éxito el estudio es necesario realizar el análisis por provincia, a continuación se expone el estudio para la provincia de Soacha, ya que este procedimiento se hace iterativo para cada una de las mismas.

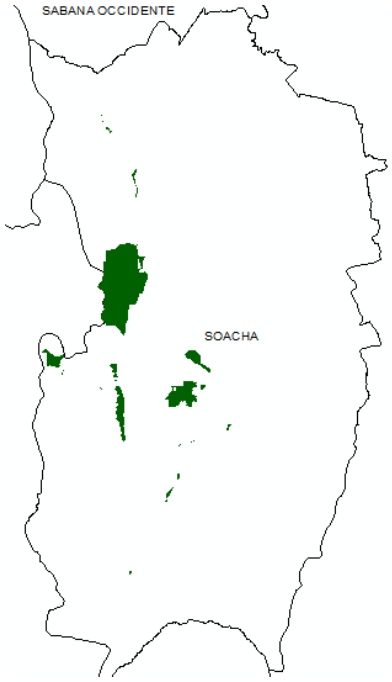


Figura 153 Vegetación pex aprovechable en Soacha.

Para realizar el estudio del poder calorífico es importante conocer la biomasa promedio de esta vegetación. En el artículo "*modelos de regresión no lineal para la estimación de biomasa en algunos ecosistemas boscosos de Colombia*" (Burgos & Pérez, 2004), se explica cómo se obtiene el valor de la biomasa promedio. Como se puede observar en la Tabla 74, existen diferentes tipos de biomasa promedio dependiendo de la región, en este caso se utiliza la biomasa promedio en la región andina. Además, se observa que la biomasa promedio para los bosques plantados es de 191,592 (Ton/ha).

Tabla 74 Valores de biomasa (Ton/Ha) de plantaciones por regiones. Fuente: (Burgos & Pérez, 2004)

Región	Edad	Volumen promedio (m^3/ha)	Biomasa promedio (Ton/ha)
Andina	12.3	309.05	191.592
Atlántica	7.99	147.32	109.437
Orinoquía	6.17	128.97	89.022
Pacífica	8.69	278.64	203.704

El cálculo del poder calorífico se encuentra en función del contenido de la humedad (López, 2016), por esta razón en la Tabla 75 se muestra poder calorífico superior en función del contenido de humedad.

Tabla 75 Poder calorífico superior en función del contenido de humedad. Fuente: (López, 2016)

Madera	Humedad CH%
Acacia Bracatinga	31.85
Acacia Japonesa	31.87
Acacia Negra	31.20
Aliso	31.35
Arrayan	32.06
Cedro	30.05
Cerezo	30.56
Cedro	33

Como se analiza el valor de la humedad [M] varía entre 32% a 33%, por lo cual para efectos de este estudio se toma un valor promedio de 32,5%. Según lo expuesto en el libro "*manual de combustible de madera*" (biomasa., 2008) para calcular el poder calorífico en (MJ/kg) de la madera con un contenido de humedad se utiliza la siguiente fórmula.

$$PCI_H = \frac{PCI_0 * (100 - M) - 2.44 * M}{100} = 32.5\%$$

Una vez se tiene el valor de humedad, nos dirigimos a la gráfica de poder calorífico inferior (biomasa., 2008) y a partir de esta, obtenemos el valor de PCI_0 (poder calorífico inicial).

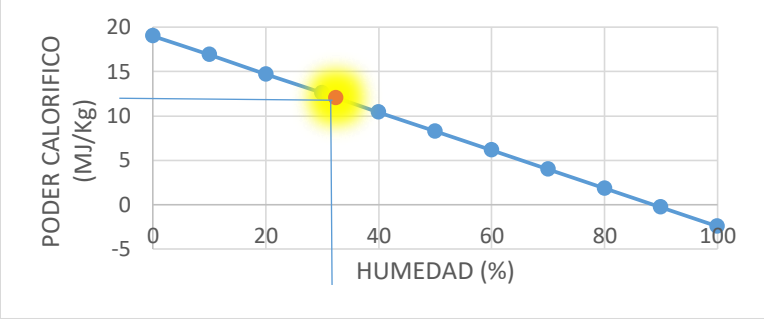


Figura 154 Poder calorífico inferior como función de la humedad seca y húmeda.

Reemplazando en la ecuación se obtiene el poder calorífico que se puede obtener en la provincia de Soacha, dando como resultado:

$$PCI_H = 12{,}032\ Mj/kg\ = 12032\ Mj/Tn$$

Para determinar las hectáreas de la vegetación plantada existente en esta provincia, se toman los atributos de florística aprovechable obtenida de la herramienta ArcGis como se ve en la Figura 155.

OBJECTID *	Shape *	PERIMETER	SIMBOLO	ORIGEN	DESCRIPTO	FLORISTICA	FRAN_VIDA	NOM_FV	TIPO_GEN	COBERTUR	ha2	ton_bioma	Energ_Gwh	Shape_Len	Shape_Are
1	Polygon	34794,0781	Pex/Mx	Antropico	Plantaciones	Dodonaea visco	2200-2799	Andina baja	Vegetación b	6823051	322,12714	61716,9830	206,27187	20559,5144	3221271,37
8	Polygon	8193,36914	Pex	Antropico	Plantacion de	NA	NA	NA	Vegetación b	1135155,12	113,51498	21748,5620	72,68853	8193,34908	1135149,75
7	Polygon	5198,88183	Ma/Pex	Natural interv	Matorral abie	Asteraceas, me	2200-2799	Andina baja	Vegetación a	1202511,62	97,98485	18773,1133	62,74392	6883,88831	979848,475
5	Polygon	10081,4062	Pex	Antropico	Plantacion de	NA	NA	NA	Vegetación b	2385674,5	63,1229	12093,8426	40,42031	8276,41577	631228,959
3	Polygon	9419,85546	Pex	Antropico	Plantacion de	NA	NA	NA	Vegetación b	1730528,75	33,97692	6509,70606	21,75688	3604,61421	339769,190
4	Polygon	3069,89086	Pex	Antropico	Plantacion de	NA	NA	NA	Vegetación b	313992,5	31,39908	6015,81254	20,10618	3069,88148	313990,823
10	Polygon	3425,58349	Pex	Antropico	Plantacion de	NA	NA	NA	Vegetación b	328801,593	25,76478	4936,32573	16,4983	3282,04232	257647,826
11	Polygon	2522,10668	Pex	Antropico	Plantacion de	NA	NA	NA	Vegetación b	221552,625	22,15512	4244,74375	14,18688	2522,10063	221551,237
9	Polygon	20534,2343	Bd/Pex	Natural interv	Bosques den	Weinmannia tom	2800-3199	Andina alta	Vegetación b	2715063,5	13,51381	2589,13789	8,65347	5284,06385	135138,134
2	Polygon	17139,0371	Pex	Antropico	Plantacion de	NA	NA	NA	Vegetación b	4045934	11,51462	2206,10908	7,37331	5277,05298	115146,187
6	Polygon	1950,69335	Pex	Antropico	Plantacion de	NA	NA	NA	Vegetación b	204834,656	7,50373	1437,65464	4,80496	1213,34514	75037,2763

Figura 155 Atributos de florística aprovechable pex en Soacha.

Una vez se tiene el valor de poder calorífico y de las hectáreas plantadas en la zona se calcula el valor potencial de energía eléctrica.

$$Hectaria\ de\ la\ zona = 743\ ha$$

$$Biomasa\ promedio = 191{,}592\ (Ton/ha)$$

$$Toneladas\ de\ biomasa = 191{,}592\ (Ton/ha) * 743\ ha\ = 142271{,}991\ Tn$$

$$Energia\ electrica = \ 12032\ Mj/Tn\ *\ 142271{,}991\ Tn$$

$$Energia\ electrica = \ 1711816593\ Mj$$

$$Energia\ electrica = 475504609{,}1\ KWh = 475{,}5046091\ GWh$$

Este procedimiento se realizó para las 15 provincias que existen en el departamento de Cundinamarca.

Tabla 76 Potencial energético de vegetación plantada para el departamento de Cundinamarca.

PROVINCIA	BOSQUES PLANTADOS (GWh)
ALMEIDAS	8058,97733
ALTO MAGDALENA	3283,314748
BAJO MAGDALENA	53,8217033
GUALIVÁ	79,3704045
GUAVIO	2432,994266
MAGDALENA CENTRO	136,762090
MEDINA	224,241088
ORIENTE	667,68216
RIONEGRO	2876,2563
SABANA CENTRO	5790,5105
SABANA OCCIDENTE	1158,9662
SOACHA	475,5046
SUMAPAZ	596,15449
TEQUENDAMA	509,7302
UBATÉ	9175,3294
TOTAL (GWh)	35519,616

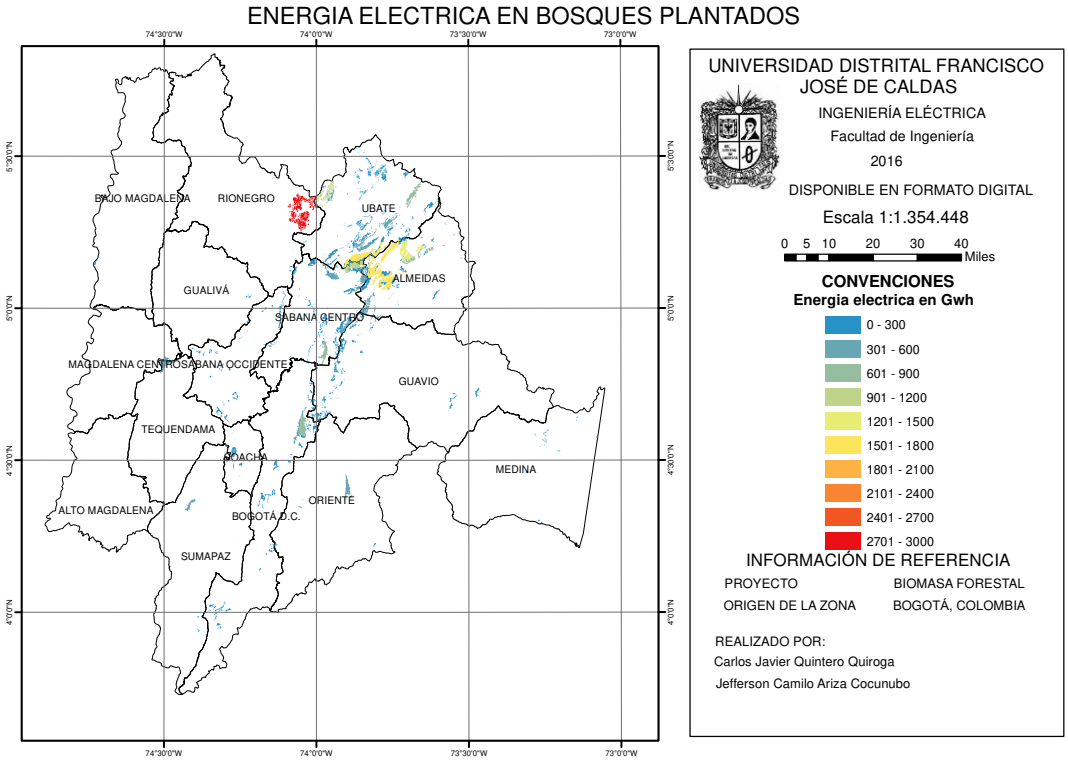


Figura 156 Mapa de potencial de energía eléctrica en bosques plantados.

- **SEGUNDO ESTUDIO: BOSQUES NATURALES WEINMANNIA TOMENTOSA**

En el segundo caso el cálculo de energía aprovechable en el departamento de Cundinamarca se realiza para una sola especie natural, debido a la gran dimensión de información que llevaría a analizar todas las especies naturales presentes en el departamento, y que no daría cabida al desarrollo de este trabajo. La especie elegida para realizar el análisis y posterior cálculo de energía es conocida con nombre científico de "Weinmannia tomentosa" o con nombre convencional de "Encenillo". Se elige esta especie debido a que posee mayor cobertura en el departamento, según lo demuestra el Shapefile original suministrado, lo cual permite analizar el tipo de árbol predominante. Además, la especie posee propiedades físicas que dan como resultado buenos niveles en la quema de la madera para evaluar poder calorífico y posteriormente aprovechamiento energético. Para el correspondiente análisis se expone la información de la provincia de Sumapaz, como se puede ver en la Figura 157.

ORIGEN	DESCRIPTOR_	FLORISTICA	FRAN_VIDA	NOM_FV	TIPO_GEN	COBERTURA_	HA3	ton_biomas	Energ_Gwh
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	100339784	4726.13	2112910.88671	9062.60347
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	31171272	3117.11	1393566.41573	5977.22313
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	7327816	731.522	327041.52832	1402.73199
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	4015421.25	401.54	179516.49162	769.97416
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	2612025.25	161.555	72226.39058	309.79022
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	1401840.125	140.183	62671.61321	268.8083
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	1196514.875	119.651	53492.37301	229.43711
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	971419.0625	97.1413	43428.95938	186.27356
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	954746.875	95.4742	42683.64943	183.07681
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	921396.1875	92.1391	41192.62704	176.68159
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	887600.375	88.7596	39681.75338	170.20121
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	607561.625	60.7558	27162.09476	116.50245
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	498442.1875	49.8439	22283.71182	95.57831
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	470972.53125	47.097	21055.65584	90.31098
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3200	Andina alta	Vegetación boscosa	7617925	38.8352	17362.05343	74.46855
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	272070.25	27.2069	12163.38862	52.17067
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	267079.25	26.7078	11940.25611	51.21362
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	250154.4375	25.0153	11183.59051	47.96816
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	161605.65625	16.1605	7224.87454	30.98861
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	161192.734375	16.1192	7206.41063	30.90942
Natural	Bosques densos	Weinmannia tomentosa	2800-3199	Andina alta	Vegetación boscosa	95800.445313	9.58	4282.93057	18.37016

Figura 157 Atributos de florística aprovechable natural en Sumapaz.

En la Figura 157 es posible evidenciar datos propios de la especie e información adicional como lo es "Energ_GWH", los cuales ya fueron calculados para la posterior representación de energía de la región.

La Figura 158, representa el mapa de la provincia de estudio, el cual se encuentra demarcada el área aprovechable en colores que representa la cantidad de energía viable a usar en la zona.

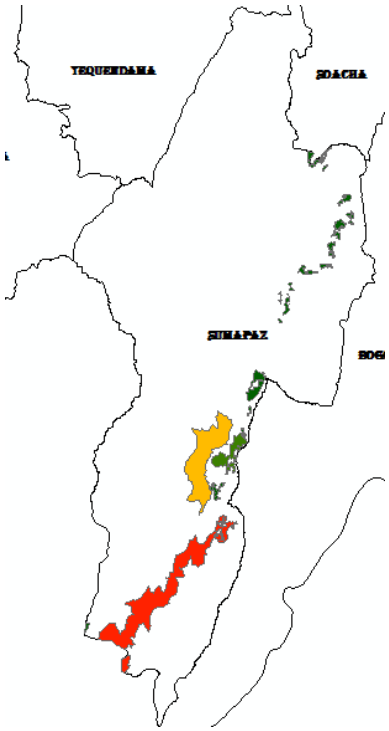


Figura 158 Vegetación natural aprovechable en Sumapaz.

A continuación se presentan los procedimientos por los cuales se obtuvo el cálculo de la energía aprovechable en la región.

Para el cálculo de la biomasa se referencia la información presente en el texto "*Biomasa y crecimiento de especies forestales nativas*" (Camacho, 2014), el cual expresa el valor de la biomasa estimada según la zona de vida del cual expresa el valor de la biomasa estimada según la zona de vida de "*Holdrige*", la cual es la metodología de cálculo adoptada siguiendo los parámetros de la "Leyenda nacional de cobertura de la tierra CORIN LAND COVER" (IDEAM - Instituto de Hidrología M. y., 2010).

ZONA DE VIDA HOLDRIDGE *ET AL.* (1971)	OBJETO DEL ESTUDIO	BIOMASA ESTIMADA	CARBONO ESTIMADO	FUENTE
BOSQUE HÚMEDO PREMONTANO	Sistema Agroforestal *Cordia alliodora* con Cacao y Plátano.	447,07 ton/Ha	64,54 Ton/Ha	Aristizábal & Guerra, 2002
BOSQUE MUY HÚMEDO MONTANO BAJO	Bosque natural dominado por *Quercus humboldtii*	120.26 ton/Ha	67,47 Ton/Ha	Pérez, López & Díaz, en prep.
BOSQUE MUY HÚMEDO PREMONTANO	Bosque natural dominado por *Quercus humboldtii*	172.4 ± 24.7 ton/Ha	86.2 ± 12.4 Ton/Ha	Aristizábal, 2011
BOSQUE SECO MONTANO	Bosque natural dominado por *Weinmannia tomentosa*	130.46 ton/Ha	72,75 Ton/Ha	Pérez, López & Díaz, en prep.
BOSQUE PLUVIAL TROPICAL	Bosque pluvial Tropical	216,8 ton/Ha	——	Quinto & Moreno, 2011

Figura 159 Cálculo de biomasa para vegetación natural.

Para el conocimiento de la zona de vida a la cual pertenece la provincia, se determina con la información presente en la Tabla 77.

Tabla 77 Información específica de la provincia de Sumapaz.

PROVINCIA	ALTITUD [m]	TEMPERATURA PROMEDIO ºC	PRECIPITACIÓN (mm-ANUAL)	HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE %
ARBELÁEZ	1417	20	1485	
CABRERA	2560	15	1420	
FUSAGASUGÀ	1728	21	1137	85
GRANADA	2500	11	89	90
PANDÍ	1024	24	1978	
PASCA	2180	15	1046	85
SAN BERNARDO	1600	20	1406	
SILVANIA	1470	20	1421	80
TIBACUY	1647	19	1403	79
VENECIA	1600	18	1748	
PROMEDIO	1722,6	18,3	1393,8	83,8

HUMEDAD MADERA	16,6
ZONA DE VIDA	Bosque húmedo premontano
BIOMADA ESTIMADA	447,07 Ton/Ha

La Tabla 77 representa los valores de altitud, temperatura promedio, precipitación y humedad relativa por municipios y de allí se expresan los valores promedios para la provincia. Con la información anterior es necesario referenciarse al "*triángulo de Holdrige"* para así conocer a cuál zona de vida pertenece la provincia.

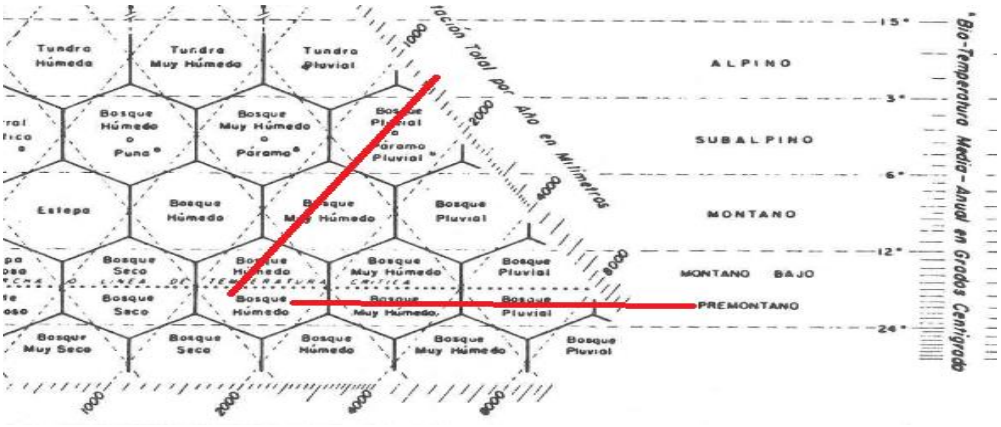


Figura 160 Cálculo de zona de vida de Holdrige.

Adicional a lo anteriormente planteado es necesario conocer el valor de la humedad de la madera, para esto es necesario utilizar una "*tabla de hidroscopia",* que permite relacionar por medio de la humedad del ambiente, la humedad de la madera en la zona, y así obtener la energía aprovechable.

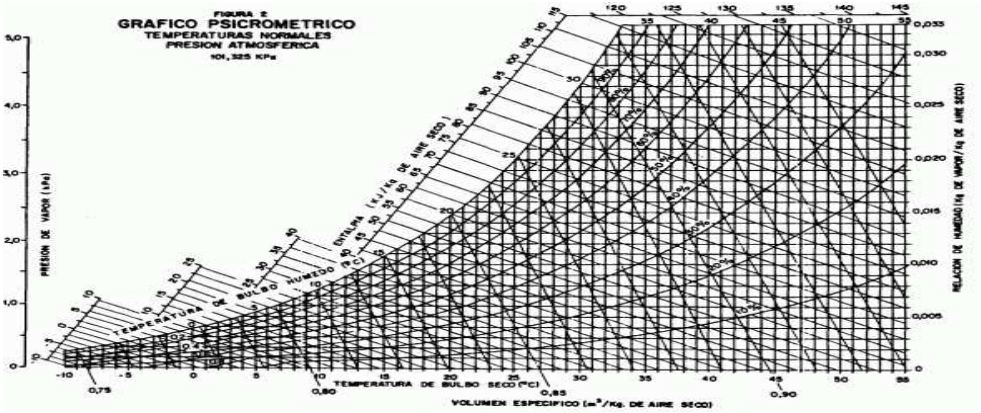


Figura 161 Tabla de Hidroscopia.

A partir de esta información se procede a realizar el cálculo de la misma forma como se plantea en el primer caso de estudio. Una vez realizados los cálculos se presentan los datos de la *Tabla* 7, que contiene la información de energía aprovechable para cada provincia.

Tabla 78 Potencial energético de vegetación natural de especie para el departamento de Cundinamarca.

PROVINCIA	WEINMANNIA TOMENTOSA (GWh)
ALMEIDAS	2525,338183
ALTO MAGDALENA	1760,631805
BAJO MAGDALENA	-
GUALIVÁ	1476,418482
GUAVIO	11516,7984
MAGDALENA CENTRO	-
MEDINA	2935,8578
ORIENTE	10416,87
RIONEGRO	121,9881
SABANA CENTRO	789,66952
SABANA OCCIDENTE	693,5837
SOACHA	94,7656
SUMAPAZ	19345,282
TEQUENDAMA	-
UBATÉ	1241,9172
TOTAL (GWh)	52919,12

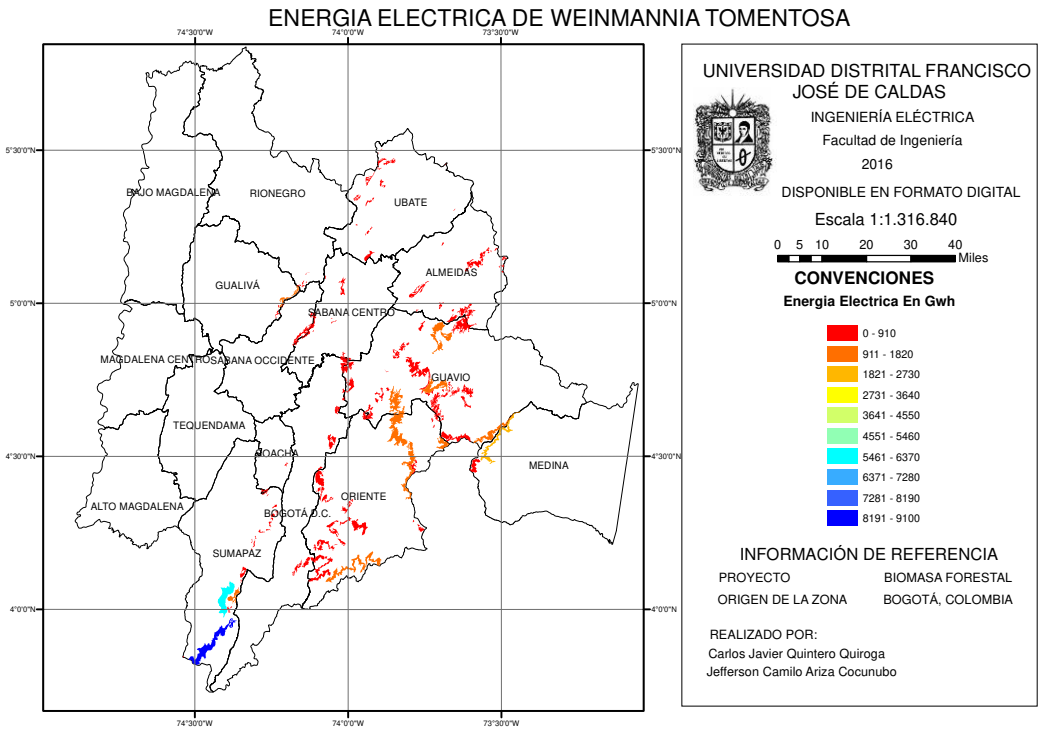


Figura 162 Mapa de potencial de energía de Weinmannia Tomentosa.

- **TERCER ESTUDIO: BOSQUES NATURALES TOTAL**

En el tercer caso de estudio se realiza el análisis de energía aprovechable en el departamento de Cundinamarca para especies naturales en su totalidad, y para el desarrollo del mismo se vincula la información de una sola especie natural, pero tomando toda la dimensión forestal natural existente como si tuviese el comportamiento de la especie Weinmannia Tomentosa, debido a la gran dimensión de información que llevaría analizar todas las especies naturales presentes en el departamento, que no daría cabida al desarrollo del presente trabajo, por consiguiente se realiza este estudio que estimada de una u otra forma un valor aproximado de energía forestal natural total aprovechable en el departamento.

El proceso de cálculo y procedimiento es el mismo al del segundo estudio, pero variando los datos de áreas. Para completar el presente estudio se realizará el mismo procedimiento al del segundo caso pero modificando la provincia a estudiar, para evidenciar el comportamiento de los bosques naturales en los diferentes zonas del departamento.

Tabla 79 Potencial energético de vegetación natural de especie para el departamento de Cundinamarca.

PROVINCIA	BOSQUES NATURALES (GWh)
ALMEIDAS	7394,0467
ALTO MAGDALENA	39659,9725
BAJO MAGDALENA	11873,267
GUALIVÁ	37494, 6776
GUAVIO	31012,128
MAGDALENA CENTRO	52456,6576
MEDINA	46602,635
ORIENTE	24821,084
RIONEGRO	33315,385
SABANA CENTRO	3861,81666
SABANA OCCIDENTE	3686,42227
SOACHA	583,3264
SUMAPAZ	80215,5386
TEQUENDAMA	48876,346
UBATÉ	3737,2224
TOTAL (GWh)	388095,848

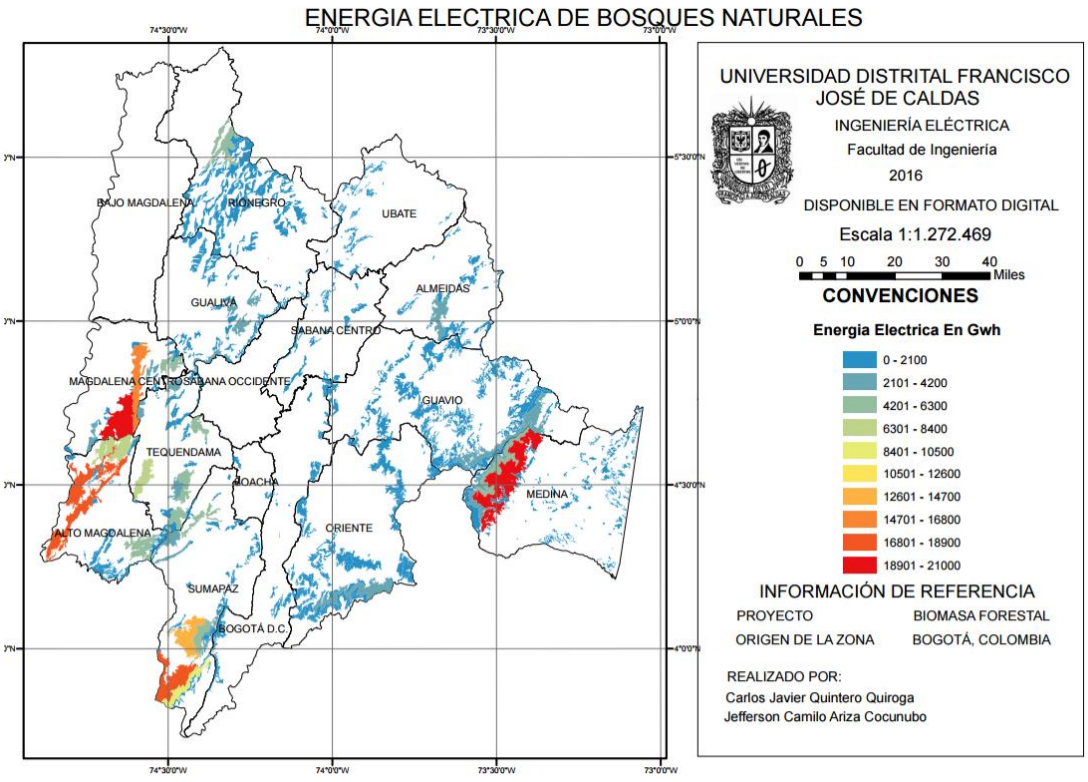


Figura 163 Mapa de potencial de energía bosques naturales.

6.2 Potencial energético de biomasa forestal por provincias

En estas sección se presentan los mapas del potencial energético de la Weinmannia Tormentosa, de los bosques plantados y de los bosques naturales (para el cálculo se asume que todos son Weinmannia Tormentosa) para cada una de las provincias del departamento.

Provincia de Almeidas

Se observa en la Figura 164 que en el caso de la Weinmannia tomentosa se puede obtener un poder energético de 2.525,33 GWh.

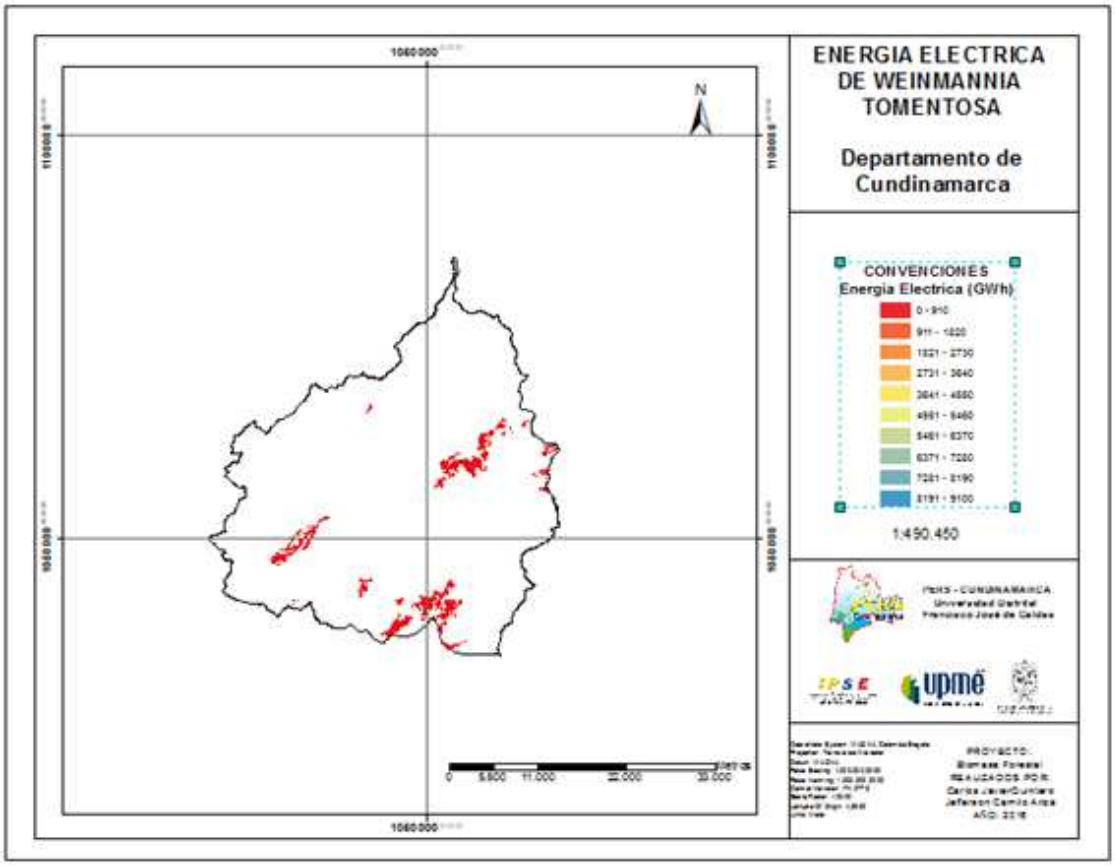


Figura 164 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa-Provincia de Almeidas.

En la Figura 165 se presenta el mapa correspondiente a los bosques plantados y se estima que se puede obtener un poder energético de 8.058,97 GWh. Por último la Figura 166 corresponde al caso de estudio en el que se asume que los bosques naturales son de la especie de Weinmannia tomentosa, y se estima que el poder energético aprovechable es 7.394,04 GWh.

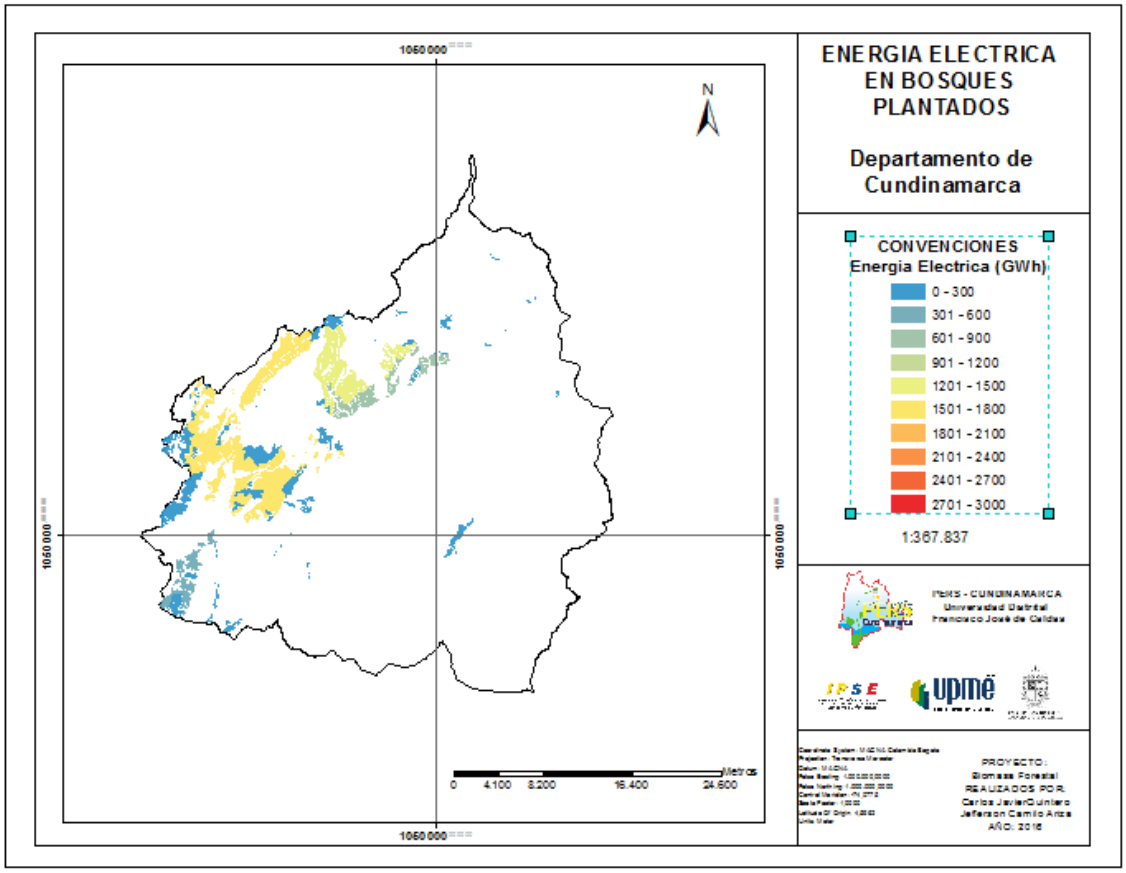


Figura 165 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados-Provincia de Almeidas.

De esta forma se puede deducir que con el caso que pertenece a la Figura 165, es con la que se podría obtener más energía eléctrica en la provincia de Almeidas, seguido por el caso de estudio que pertenece a la Figura 166 y por último está el caso de estudio que pertenece a la Figura 164.

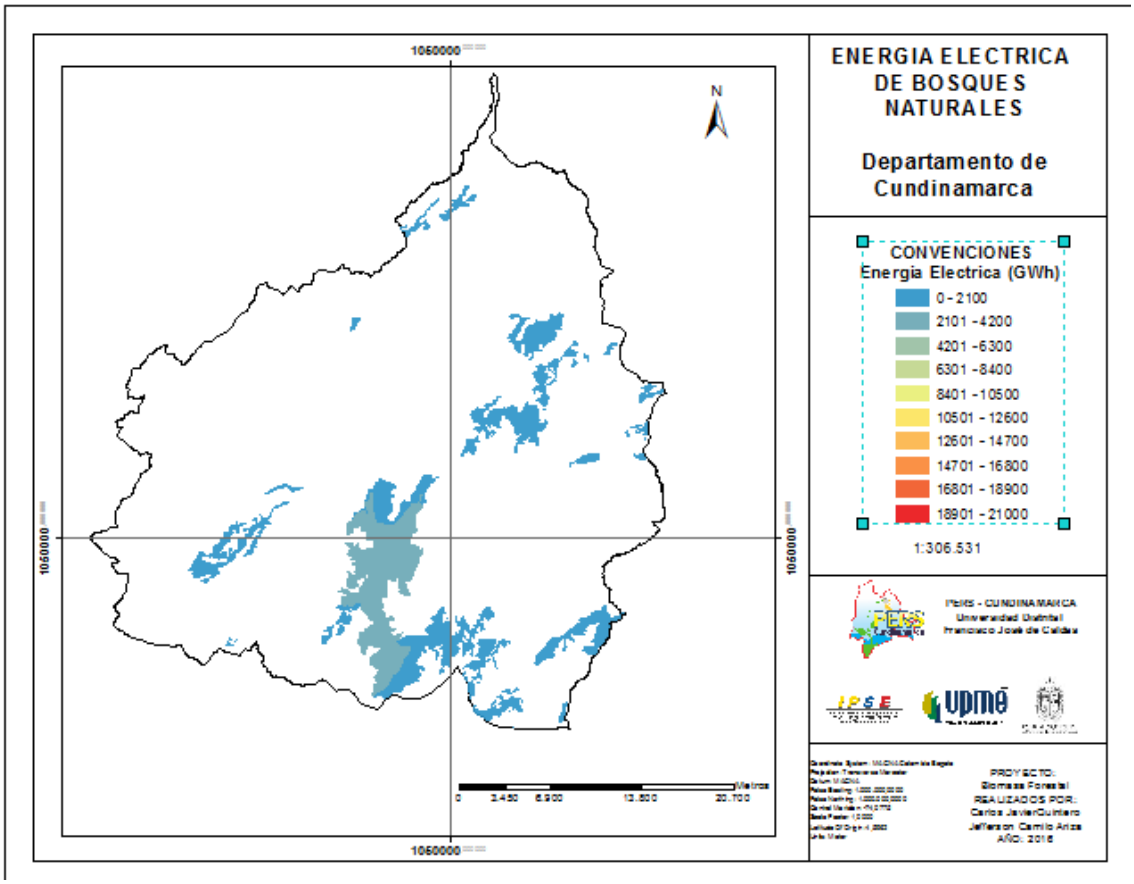


Figura 166 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Almeidas.

Provincia de Alto Magdalena

Se observa en la Figura 167 que en esta provincia la Weinmannia tomentosa no representa una fuente biomasa aprovechable para la energía eléctrica.

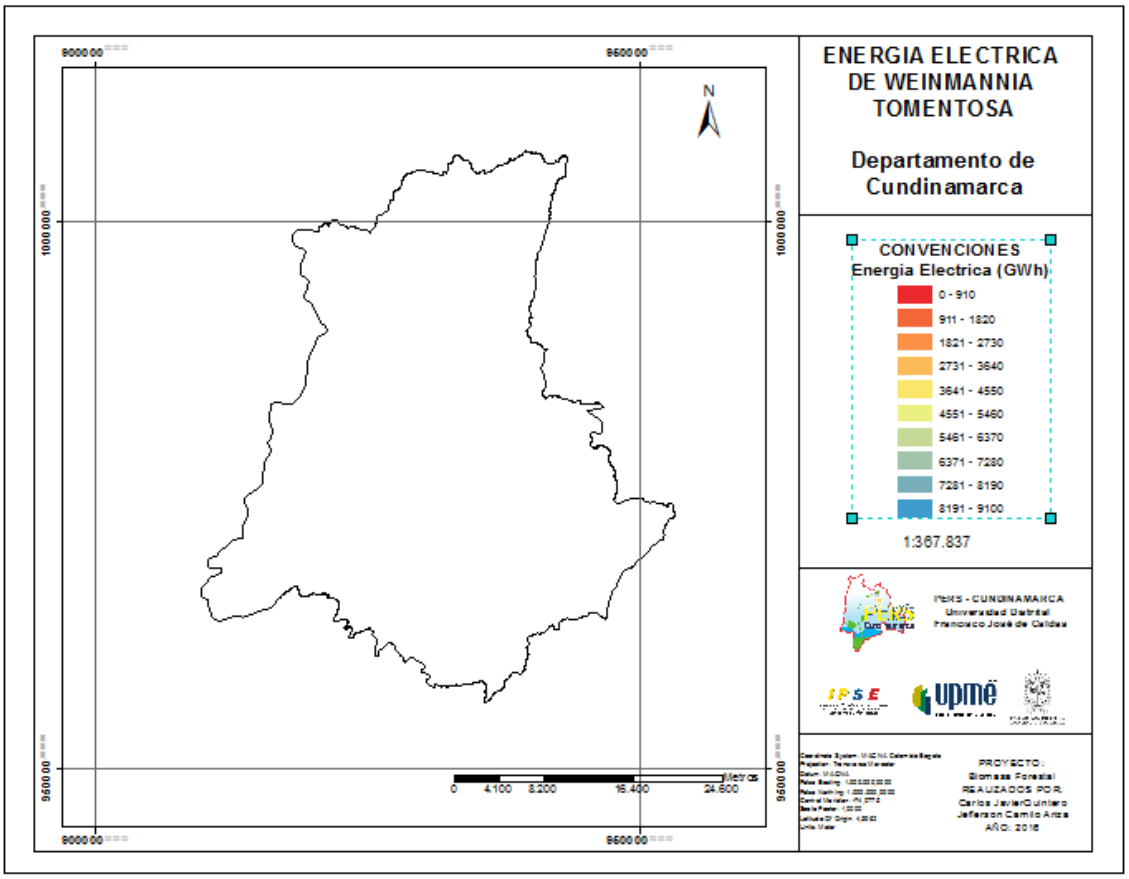


Figura 167 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa-Provincia de Alto Magdalena.

Algo similar se ocurre en el caso que se presenta en la Figura 168, correspondiente a los bosques sembrados, y en donde se observa que no existe biomasa aprovechable para energía eléctrica.

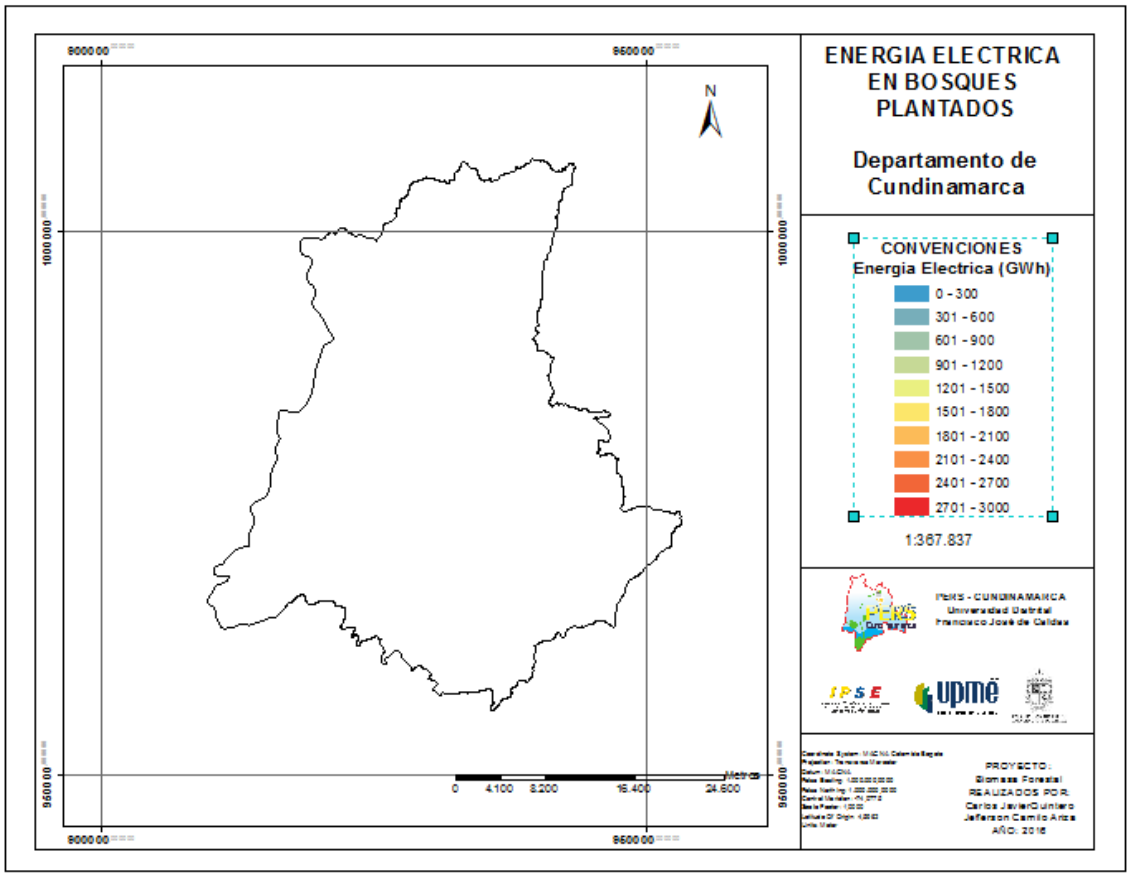


Figura 168 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Alto Magdalena.

Por último en la Figura 169, que pertenece al caso de estudio en el que se asume que los bosques naturales son de la especie de Weinmannia tomentosa, se estima que el poder energético aprovechable es 39.659,97 GWh. Es decir que los bosques naturales representan un gran potencial para este tipo de biomasa, en especial en la región noroccidental de la provincia.

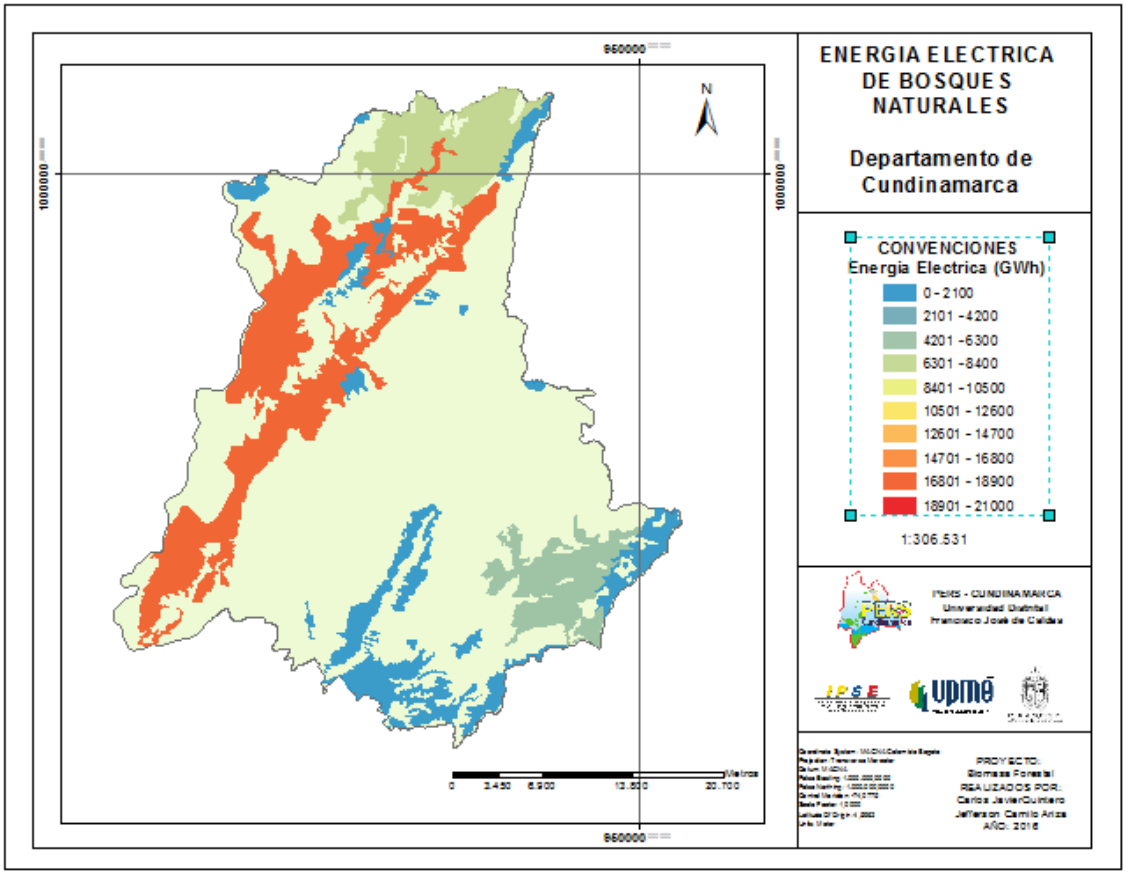


Figura 169 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Alto Magdalena.

Provincia de Bajo Magdalena

En la Figura 170, que pertenece al caso de estudio de Weinmannia tomentosa, no existe biomasa aprovechable para energía eléctrica.

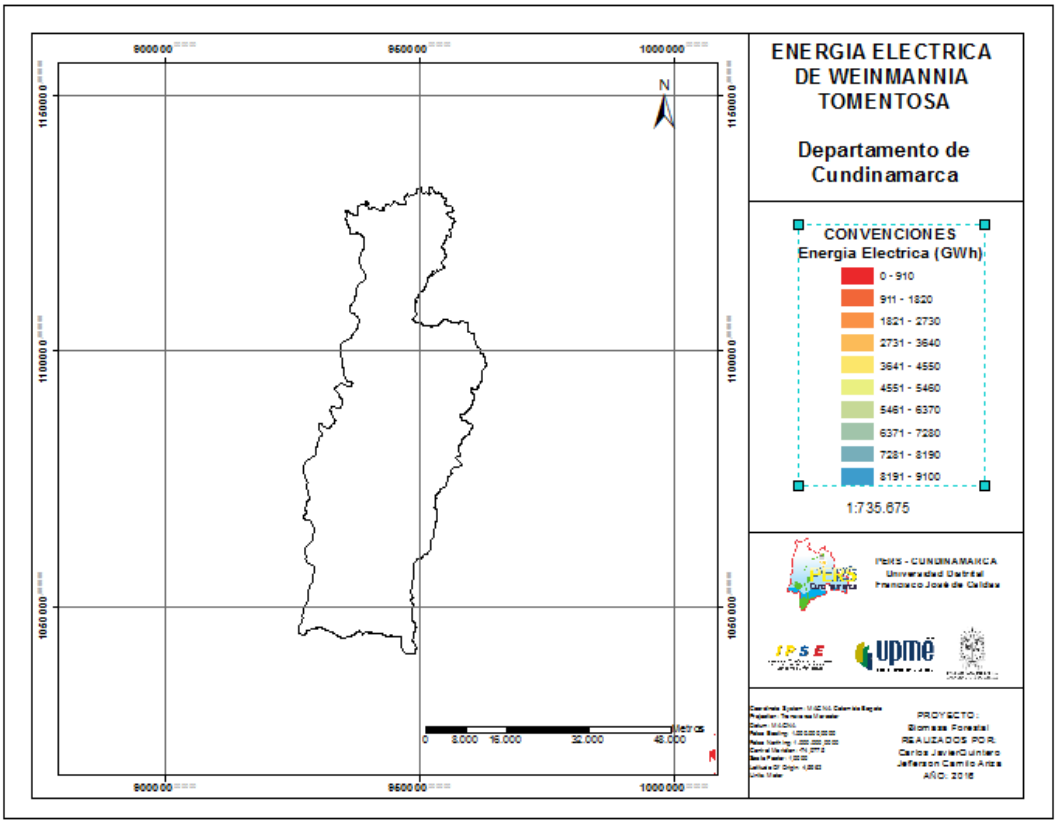


Figura 170 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Bajo Magdalena.

En la Figura 171 se presenta el mapa correspondiente al caso de estudio de los bosques plantados, y se estima que se puede obtener un poder energético de 53,821 GWh.

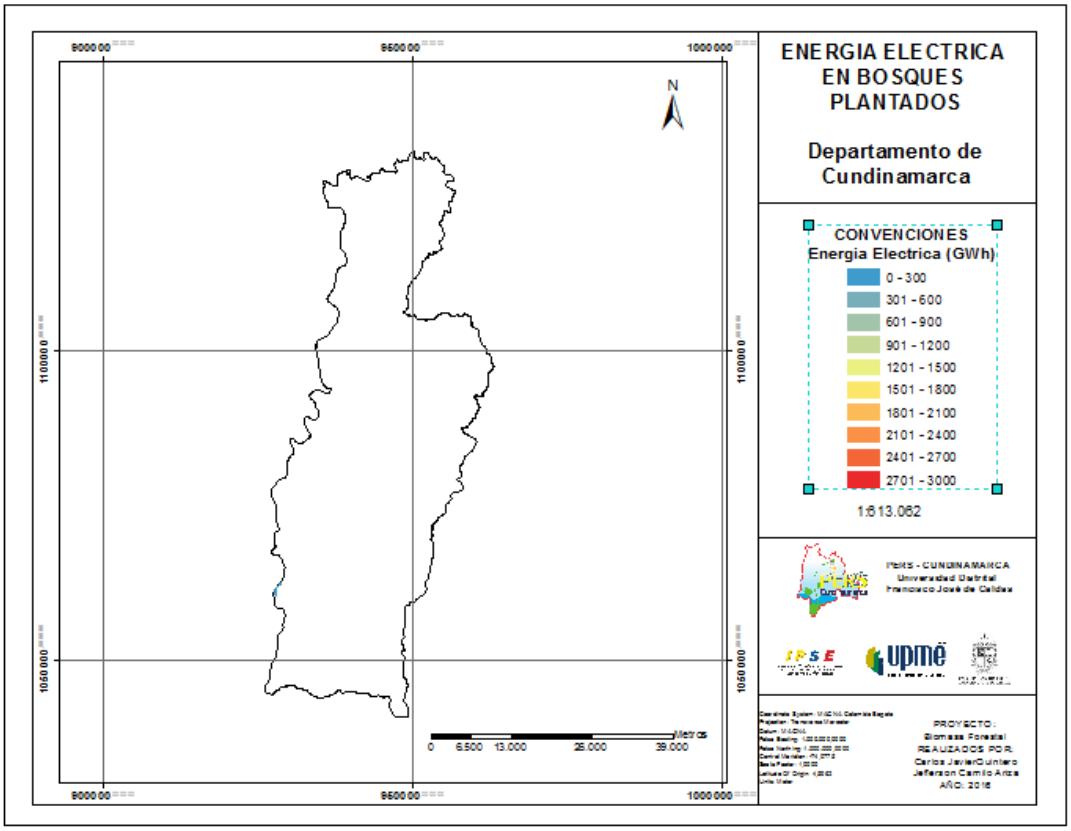


Figura 171 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Bajo Magdalena

Por último, el caso de estudio en el que se asume que los bosques naturales son de la especie de Weinmannia tomentosa se observa en la Figura 172. En este caso se estima que el poder energético aprovechable es de 3.686,42 GWh.

De esta forma se puede concluir que con el caso de la Figura 172, es con la que se podría obtener más energía eléctrica en la Provincia de Bajo Magdalena, seguida del caso de la Figura 171.

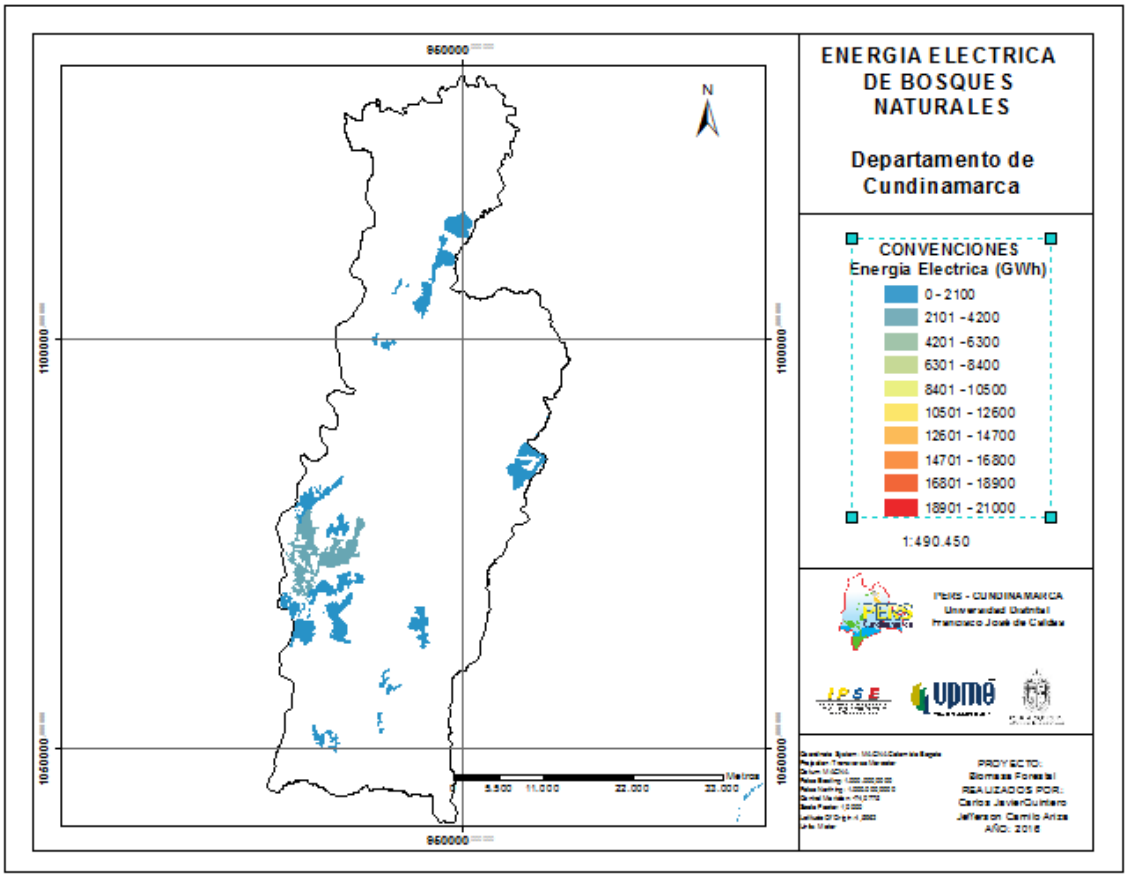


Figura 172 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Bajo Magdalena.

Provincia de Gualivá

Se observa en la Figura 173 que en el caso de la Weinmannia tomentosa, hay una pequeña región al oriente de la provincia en la cual se cuenta con este cultivo. Además, se estima que puede tener un poder energético de 1.476,41 GWh.

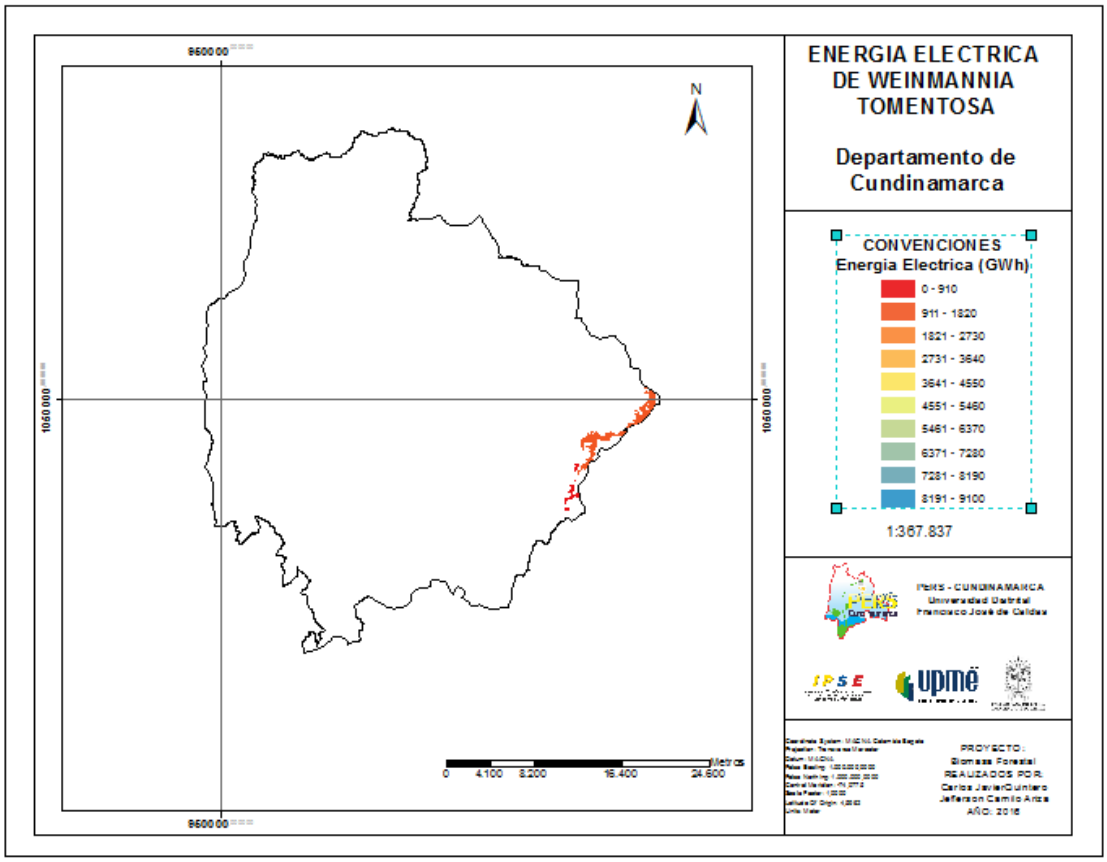


Figura 173 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Gualivá.

La Figura 174 corresponde al caso de estudio de los bosques plantados, en donde se observa que hay una región muy pequeña en la cual se presenta esta condición, por lo que se estima que puede obtener un poder energético de 79,37 GWh.

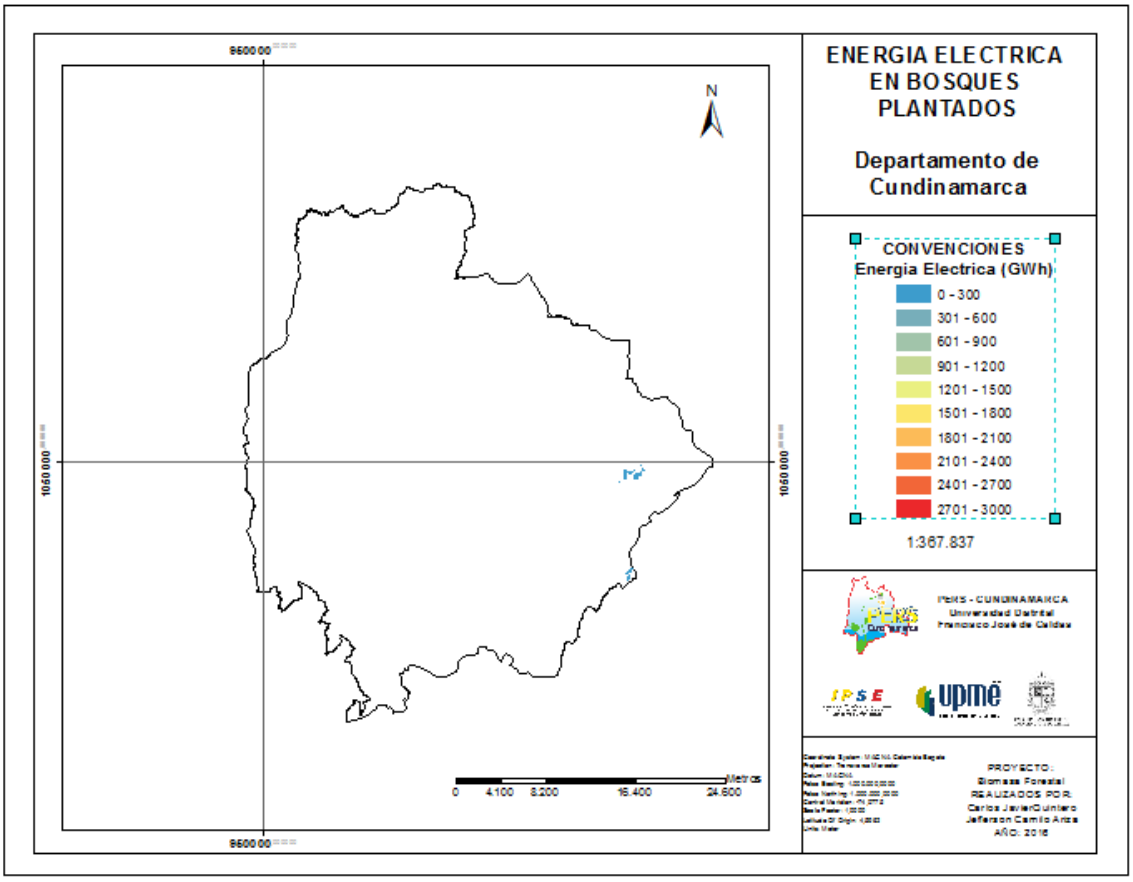


Figura 174 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Gualivá.

Por último en el caso de los bosques naturales se estima que el poder energético aprovechable es 37.494,67 GWh (ver Figura 175).

De esta forma se puede deducir que con el caso de la Figura 175, es con la que se podría obtener más energía eléctrica en la provincia de Gualivá, seguido por el caso de estudio de la Figura 173 y por último está el caso de estudio que pertenece a la Figura 174.

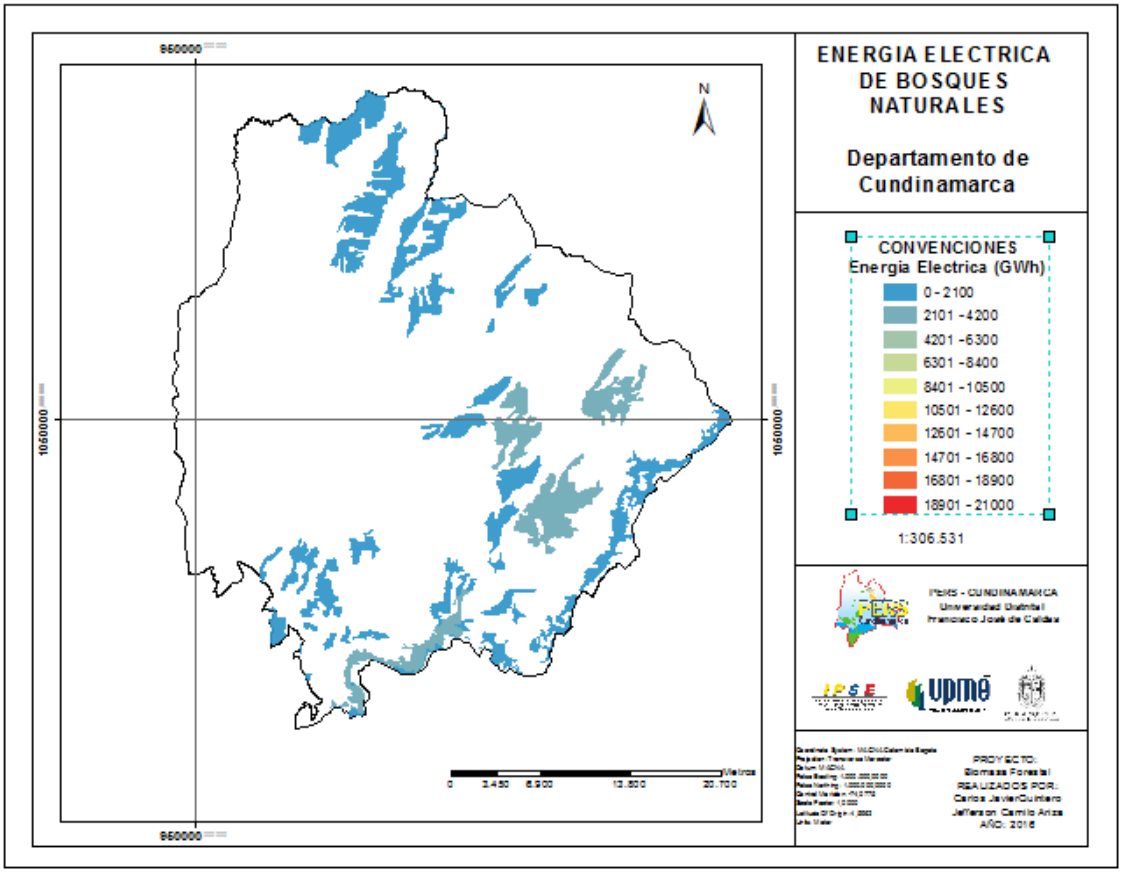


Figura 175 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Gualivá.

Provincia de Guavio

En la Figura 176 se observa el potencial energético de la Weinmannia tomentosa en la provincia de Guavio. Se evidencia que hay potencial en diferentes regiones de la provincia, en especial en la zona centro – occidente. Se estima que se puede obtener un poder energético de 11.516,79 GWh.

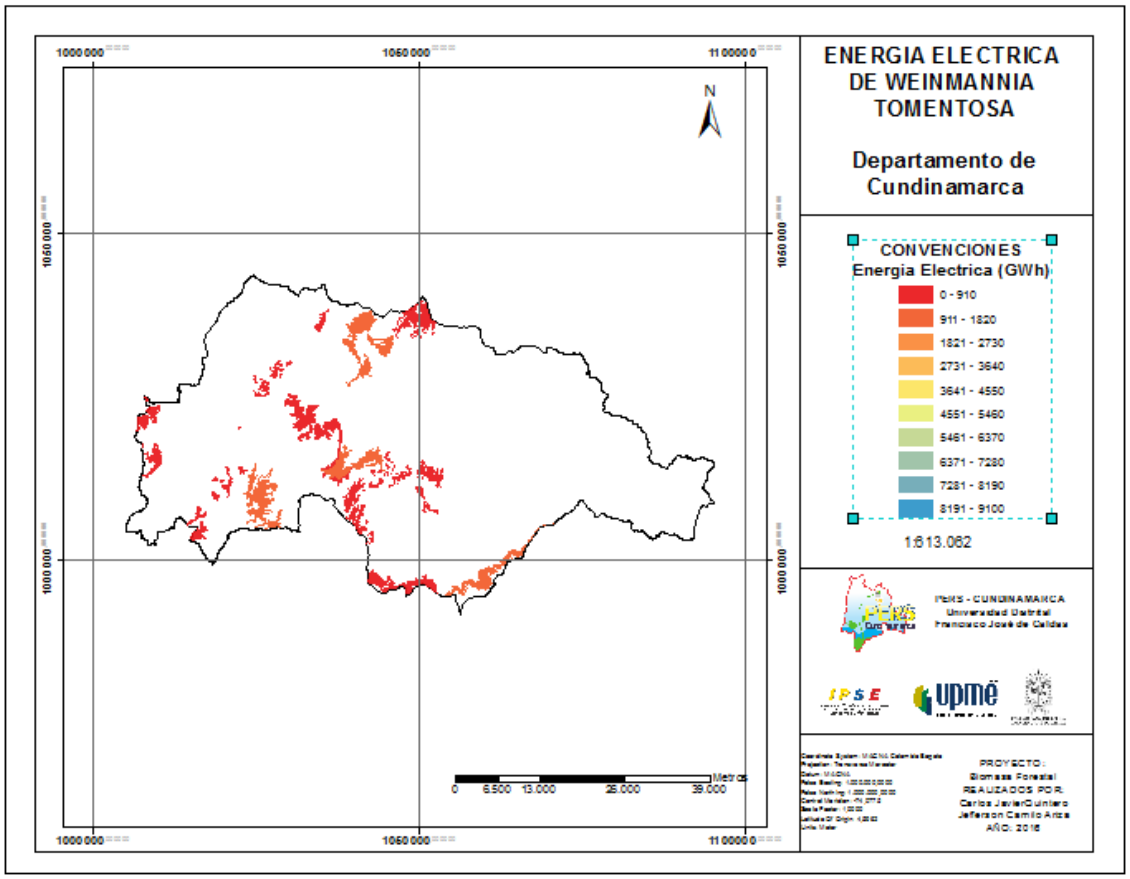


Figura 176 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Guavio.

En la Figura 177, que pertenece al caso de estudio de los bosques plantados, se observa que se tiene un potencial concentrado fundamentalmente en la zona occidental de la provincia y se estima que puede tener un poder energético de 2.432,99 GWh.

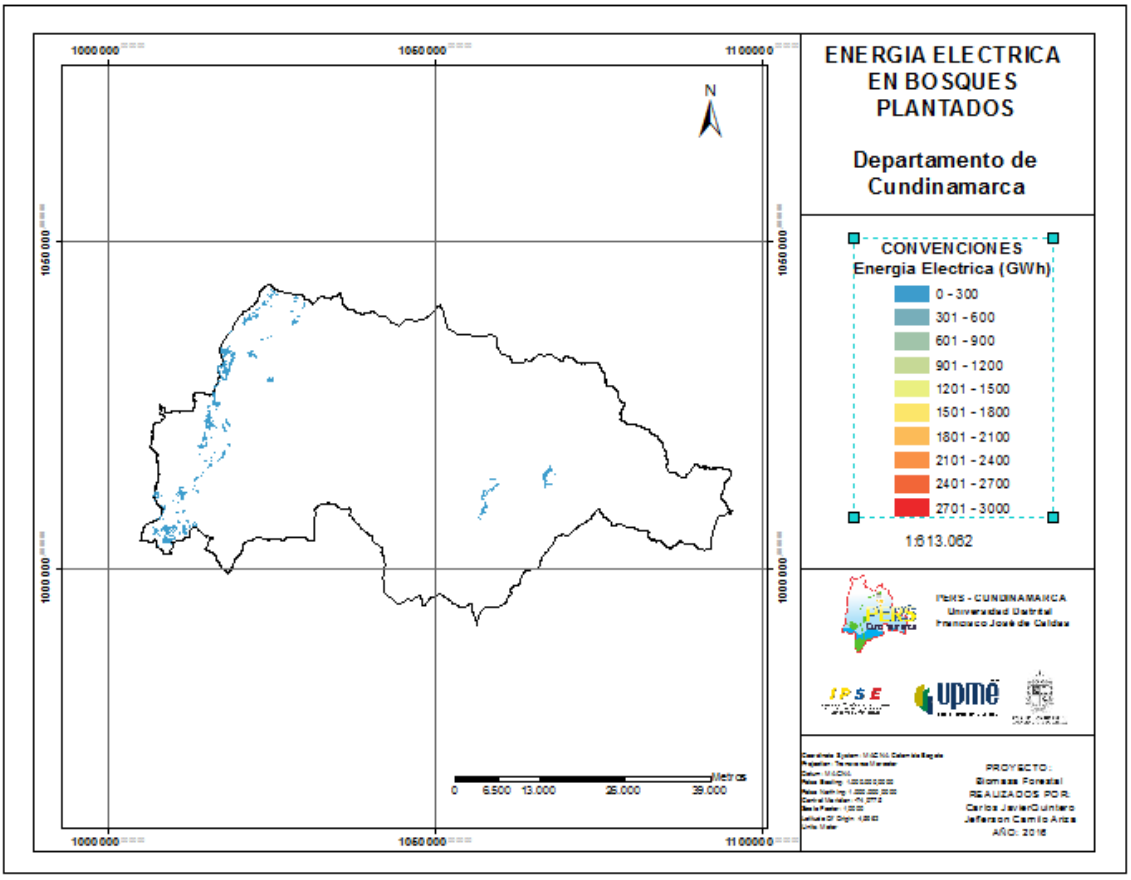


Figura 177 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Guavio.

Por último, en el caso en el que se estima que los bosques naturales son de la especie de Weinmannia tomentosa, en la Figura 178 se observa que hay una distribución por toda la provincia con una mayor concentración en la zona oriental. Se estima que el poder energético aprovechable es de 31.012,12 GWh.

De esta forma se puede decir que con el caso de la Figura 178, es con la que se podría obtener más energía eléctrica en la provincia de Guavio, seguido por el caso de la Figura 176 y por último está el caso de la Figura 177.

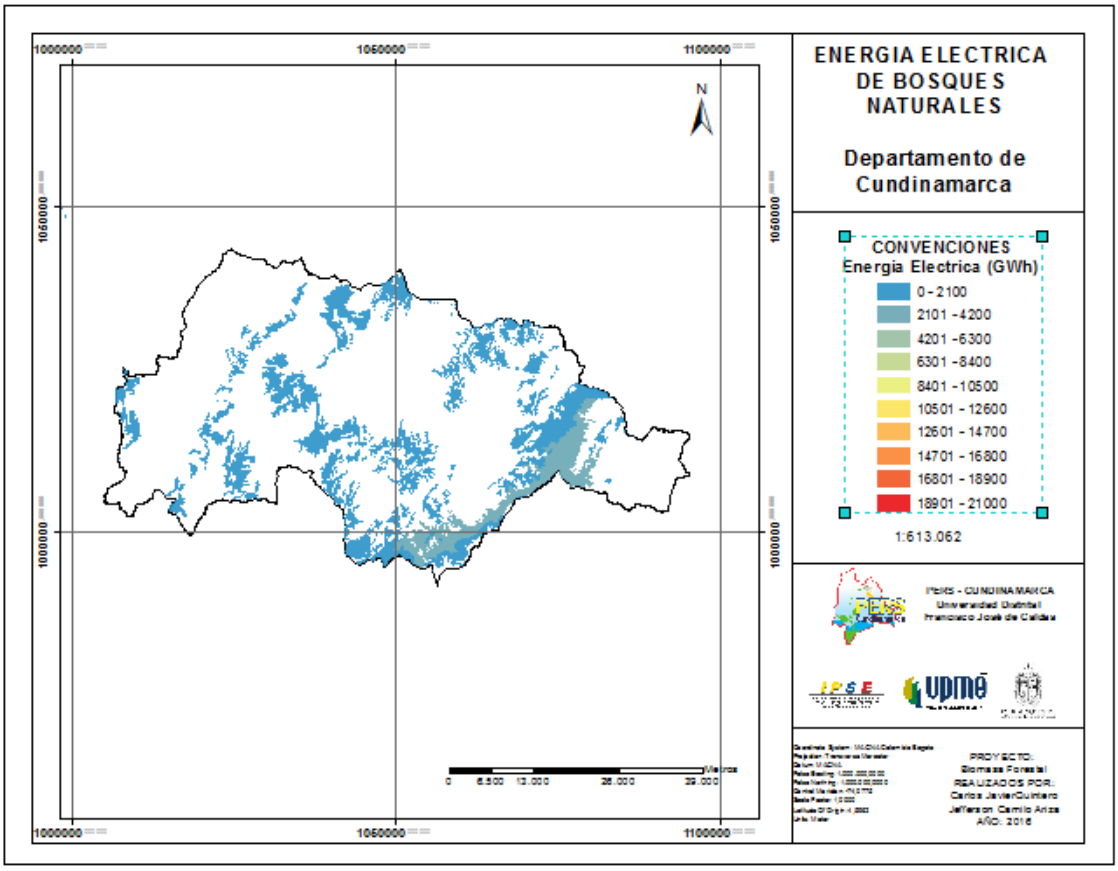


Figura 178 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Guavio.

Provincia de Magdalena Centro

En la Figura 179 se observa que no existe biomasa aprovechable para la energía eléctrica proveniente de plantaciones de Weinmannia tomentosa.

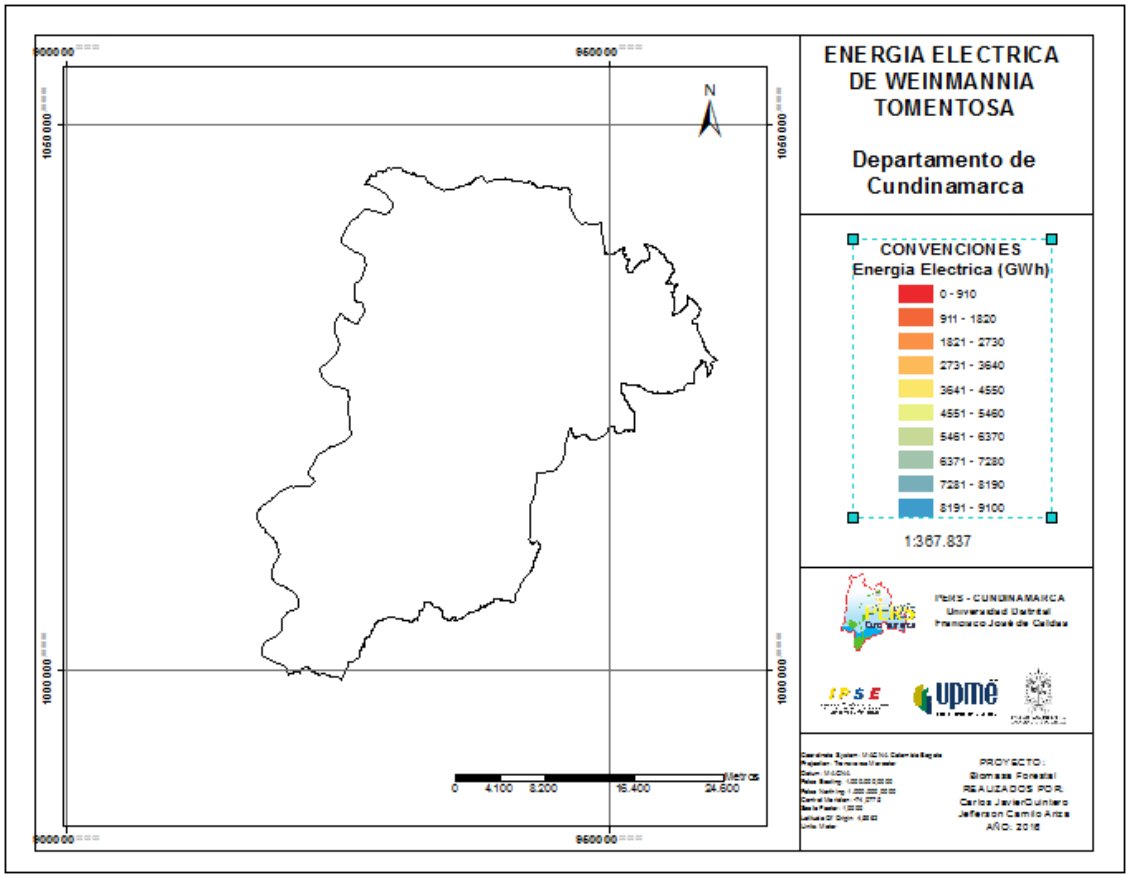


Figura 179 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa-Provincia de Magdalena Centro.

De otro lado, en la provincia de Sabana Centro hay una pequeña región en el municipio de Guayabal de Síquima, ver Figura 180, con bosques plantados, de los cuales se estima que se podría obtener un poder energético de 136,76 GWh.

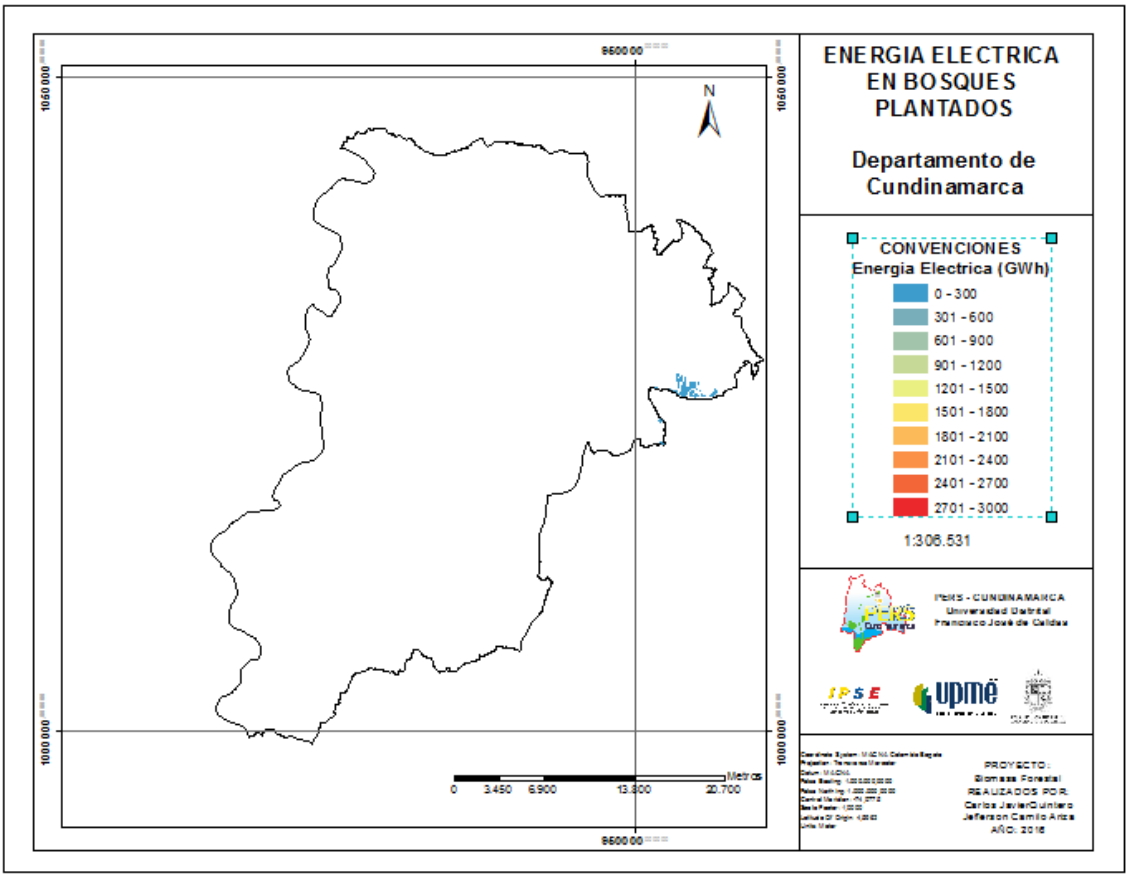


Figura 180 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Magdalena Centro.

A partir de la Figura 181 se puede estimar que el poder energético aprovechable de los bosques naturales de la provincia, Asumiendo para el cálculo que todos son de la especie de Weinmannia tomentosa, es 52.456,65 GWh.

Se puede concluir que para la provincia de Magdalena Centro el caso de la Figura 181, es con el que se podría obtener más energía eléctrica, seguido del caso de la Figura 180.

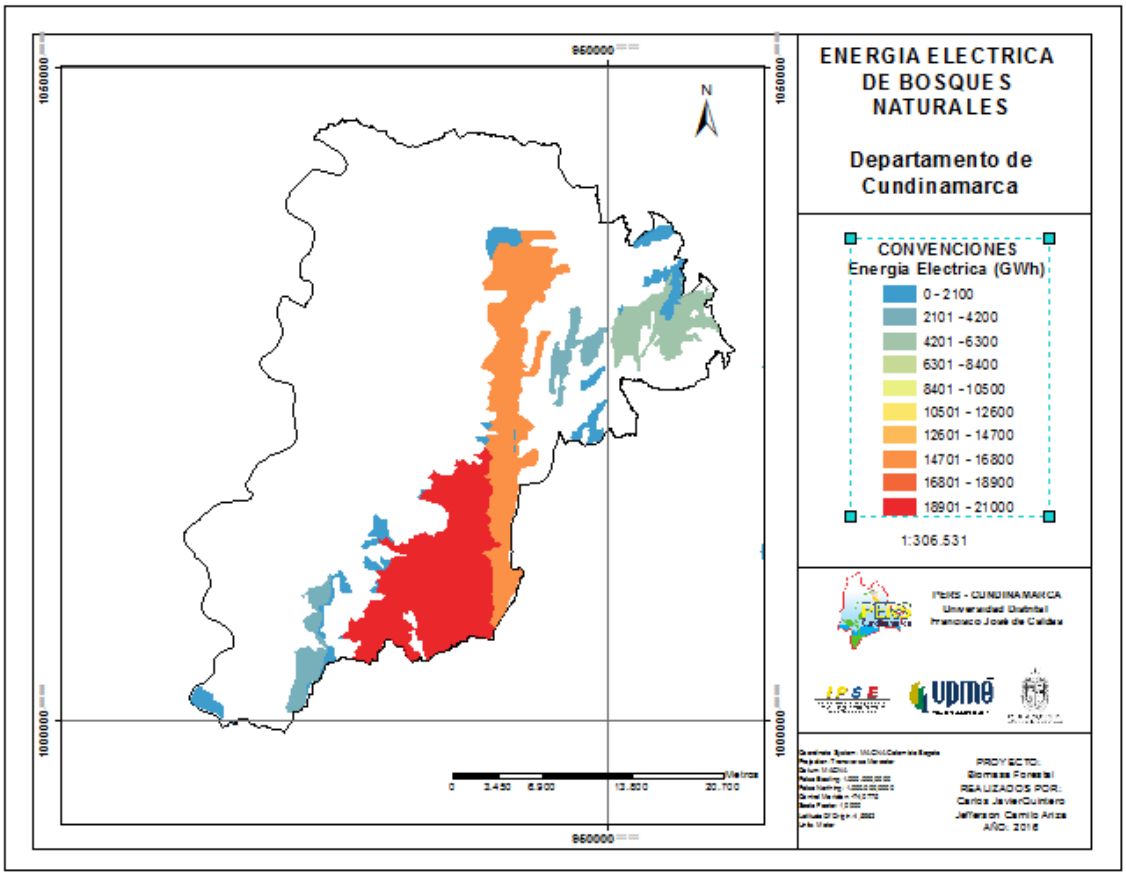


Figura 181 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Magdalena Centro.

Provincia de Medina

En el borde occidental de la provincia de Medina, es decir en límites con la provincia de Guavio, se cuenta con un pequeño potencial energético debido a las plantaciones de la Weinmannia tomentosa, ver Figura 182. Se estima que se puede obtener un poder energético de 2.935,85 GWh.

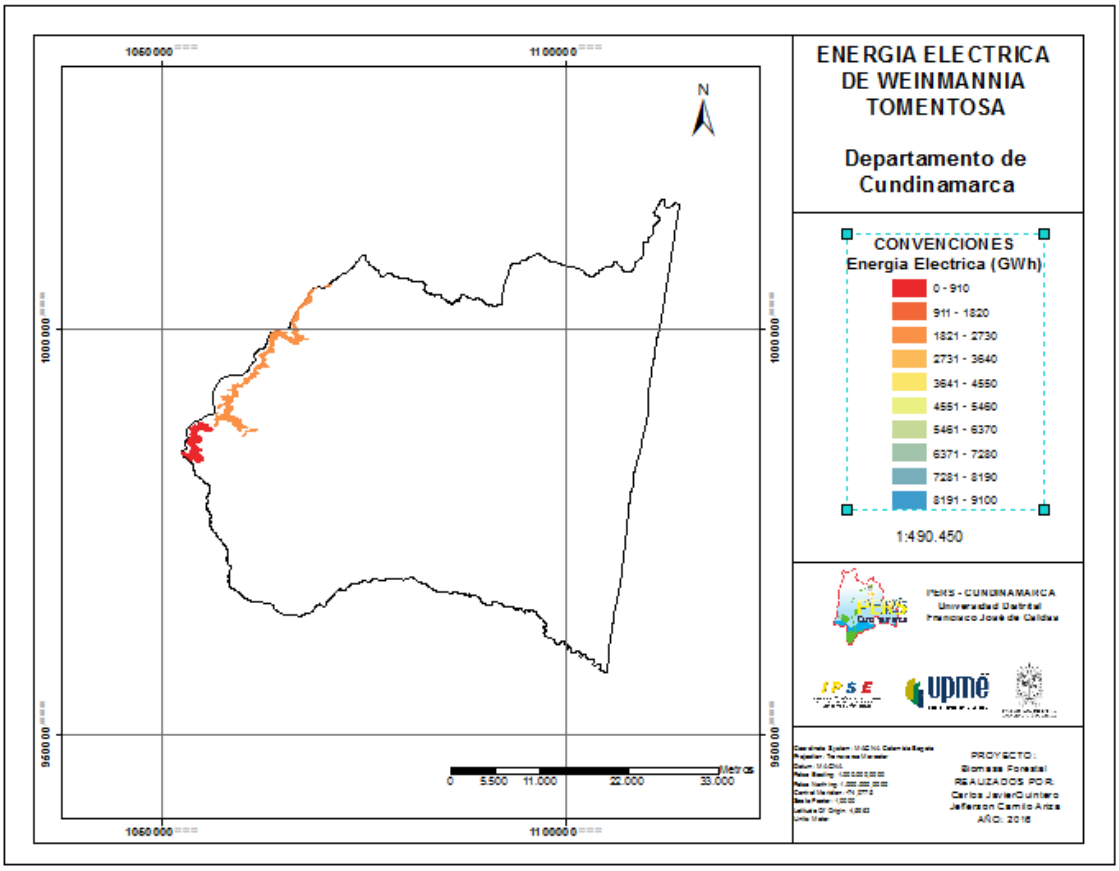


Figura 182 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa-Provincia de Medina.

Mientras que en el caso de los bosques plantados se estima que se puede obtener un poder energético de 224,24 GWh. Estos bosques se encuentran dispersos en pequeñas regiones de la provincia, como se observa en la Figura 183.

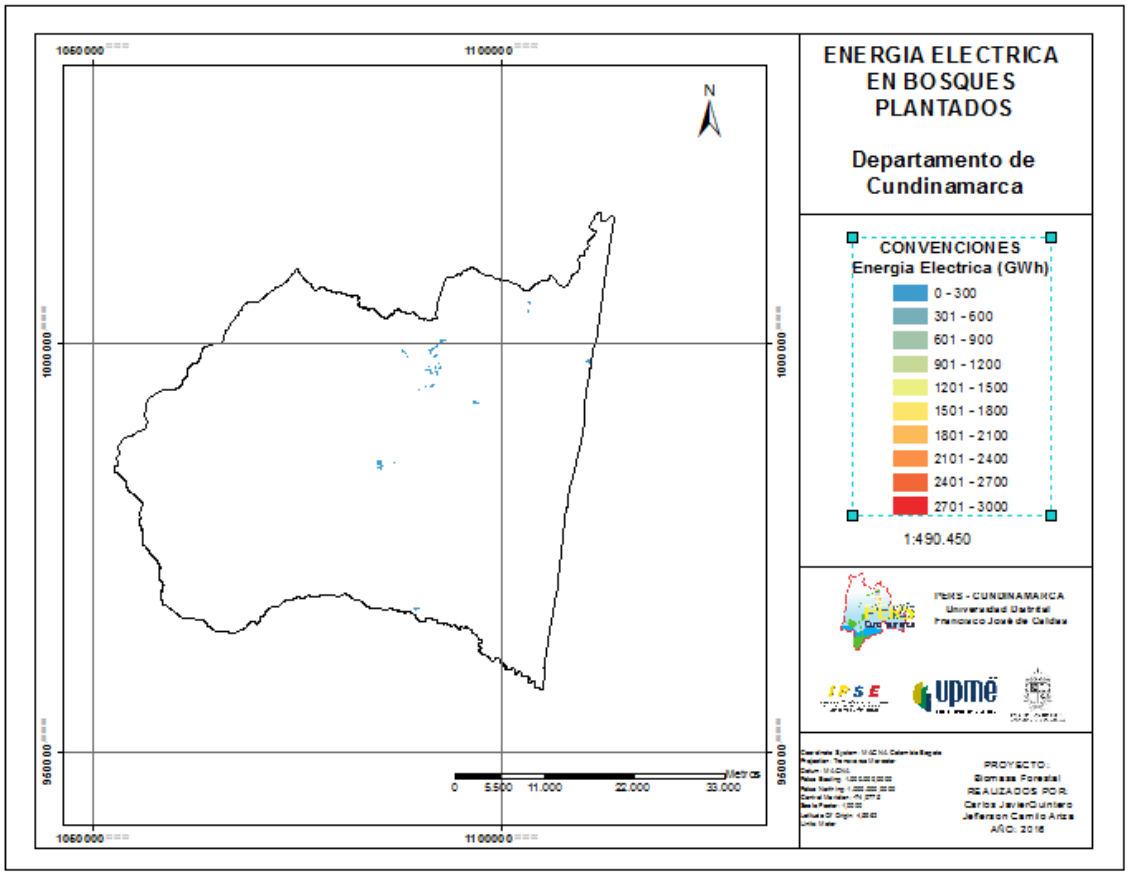


Figura 183 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Medina.

A partir de la Figura 184 se estima que el poder energético aprovechable de los bosques naturales, asumiendo para el cálculo que todos son de la especie de Weinmannia tomentosa, es de 46.602,63 GWh. Este potencial se encuentra principalmente localizado en la región occidental de la provincia, en límites con la provincia de Guavio.

De esta forma se puede concluir que con el caso de la Figura 184 se podría obtener la mayor cantidad de energía eléctrica en la provincia de Medina, seguido por el caso de la Figura 183 y por último está el caso de la Figura 182.

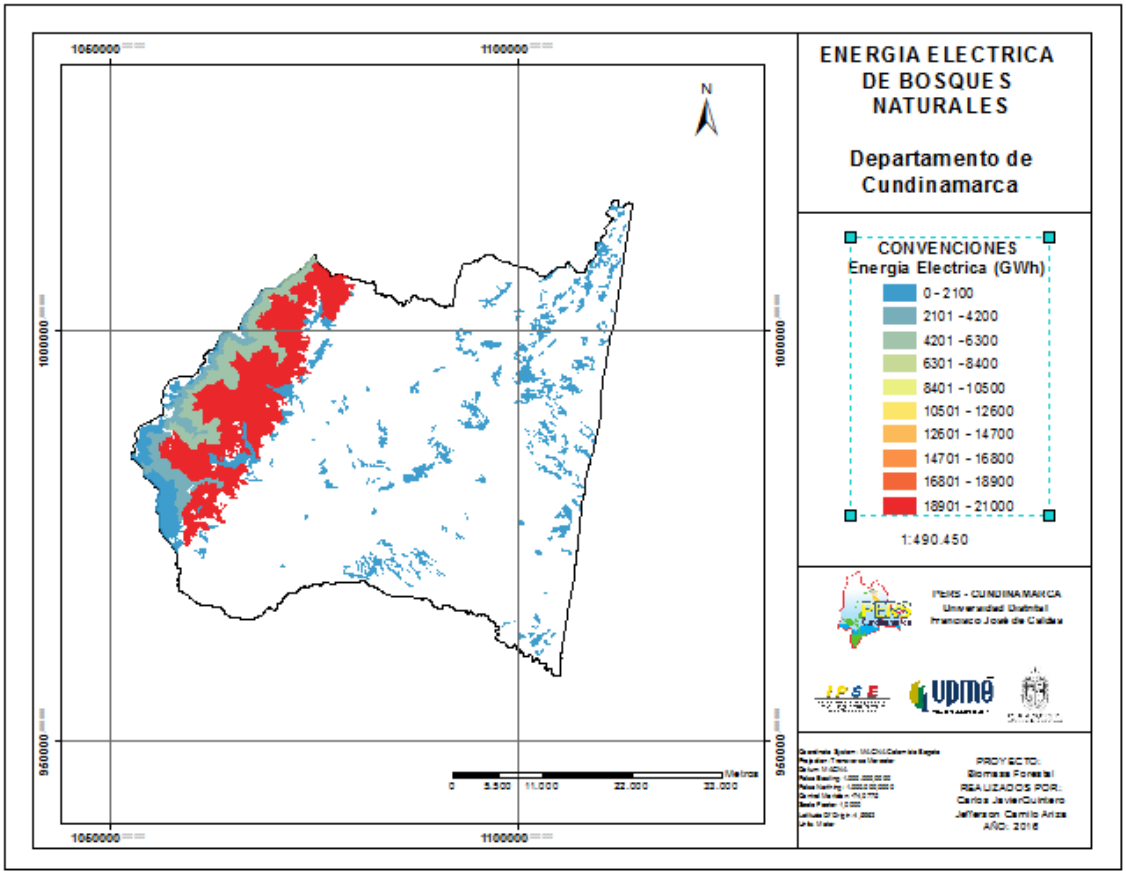


Figura 184 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Medina.

Provincia de Oriente

En el caso de las plantaciones de Weinmannia tomentosa que se presentan en la Figura 185, se estima que se puede obtener un poder energético de 10.416,87 GWh.

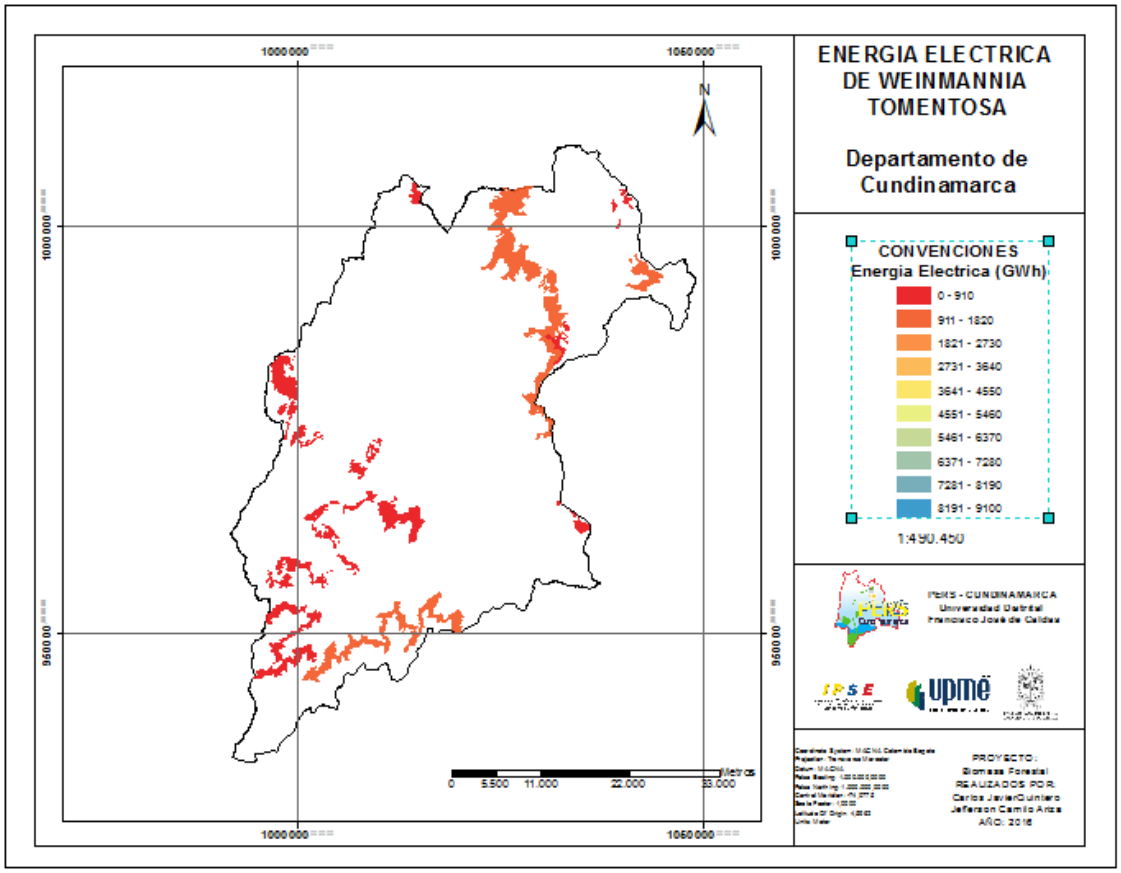


Figura 185 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Oriente.

De otro lado, en el caso de los bosques plantados, en la Figura 186 se observa que existen unas pequeñas zonas dispersas con potencial, especialmente en el municipio de Cáqueza, a partir de los cuales se estima que se puede obtener un poder energético de 667,68 GWh.

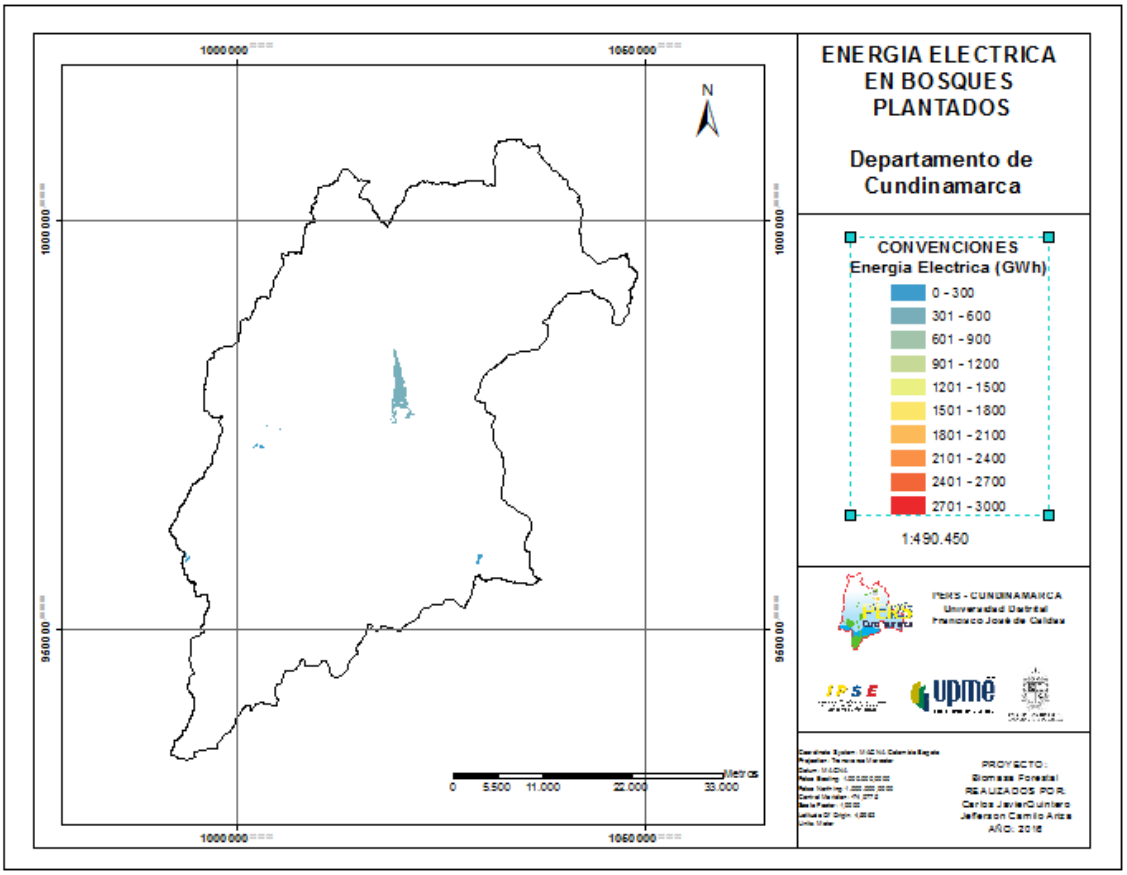


Figura 186 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Oriente.

Por último, en la Figura 187 se observa que el poder energético aprovechable de los bosques naturales es de aproximadamente 24.821,08 GWh, concentrados principalmente en la región sur y oriente de la provincia.

A partir de los mapas anteriores se puede concluir que con el caso de la Figura 187 se podría obtener más energía eléctrica en la provincia de Oriente, seguido por el caso de la Figura 185 y por último está el caso de la Figura 186.

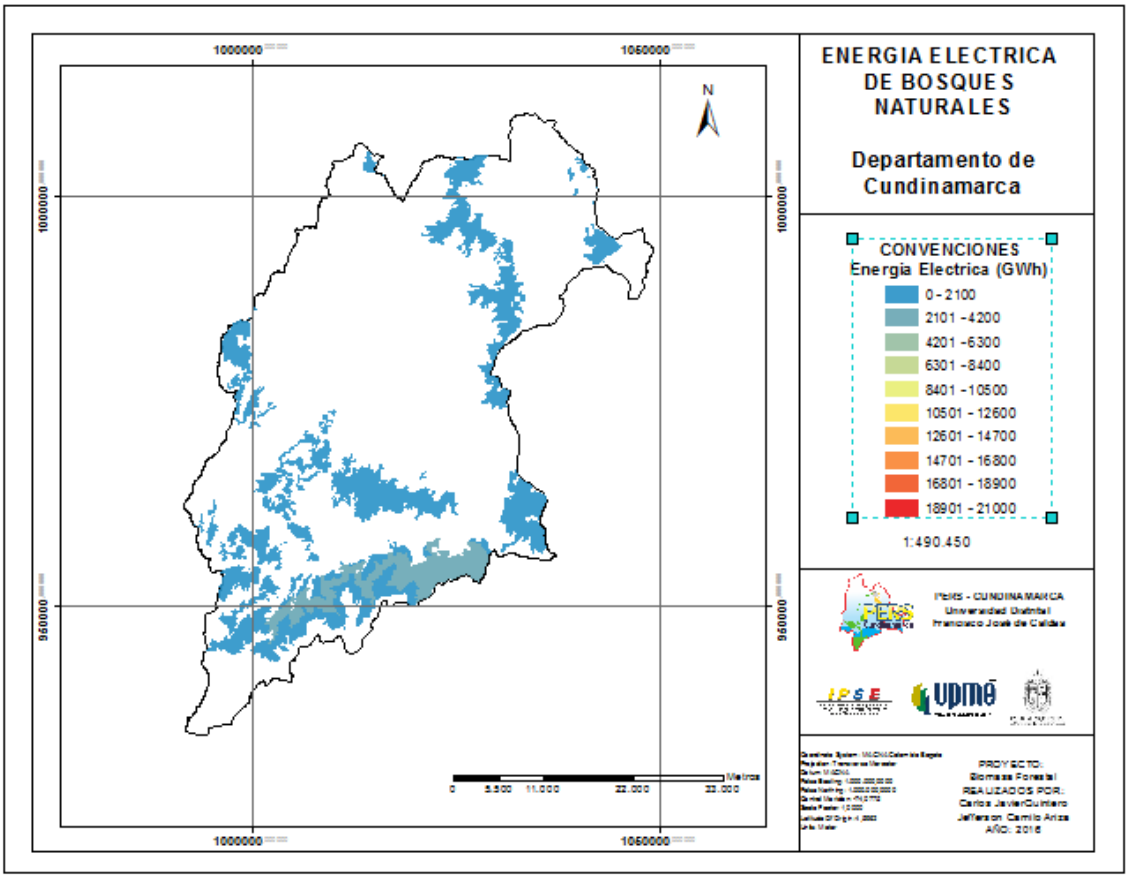


Figura 187 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Oriente.

Provincia de Rionegro

En la Figura 188 se observa que solamente una región muy pequeña en el municipio de Pacho se cuenta con potencial energético debido a las plantaciones de Weinmannia tomentosa, y se puede estimar que el poder energético es de 121,98 GWh.

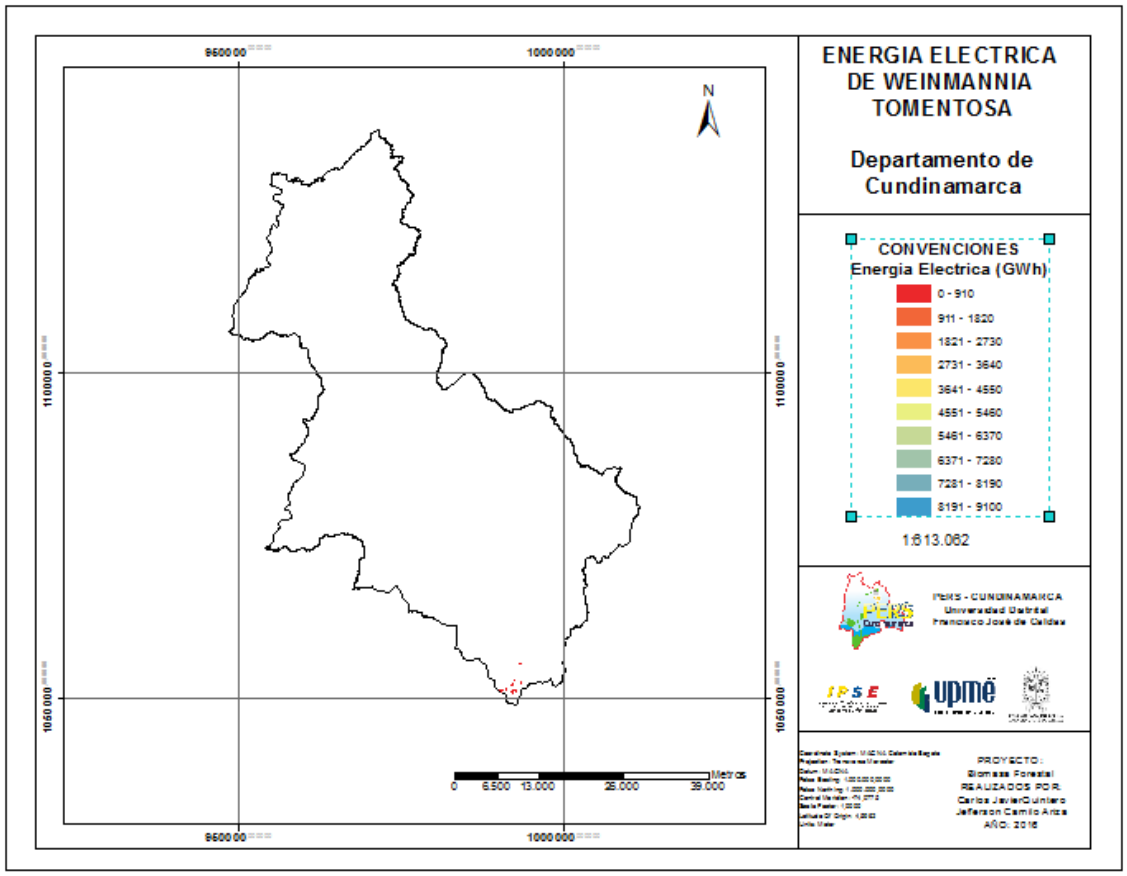


Figura 188 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Rionegro.

En el caso de los bosques plantados se estima que se puede obtener un poder energético de 2.876,25 GWh. Este potencial se encuentra localizado casi en su totalidad en el municipio de San Cayetano, ver Figura 189.

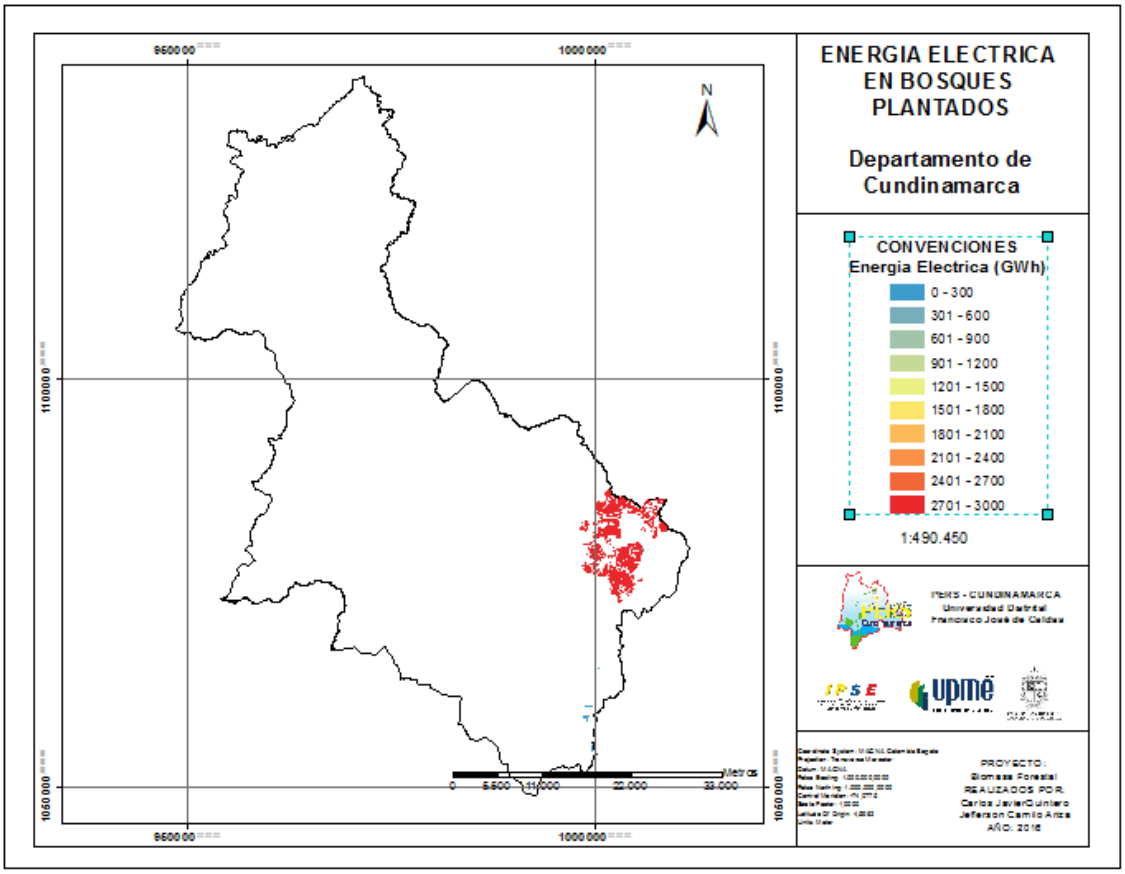


Figura 189 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Rionegro.

En la Figura 190 se observa el potencial energético de la provincia debido a los bosques naturales y se estima que el poder energético aprovechable es de 33.315,38 GWh.

De esta forma se tiene que con el caso de la Figura 190 se podría obtener más energía eléctrica en la provincia de Rionegro, seguido por el caso de la Figura 189 y por último está el caso de la Figura 188.

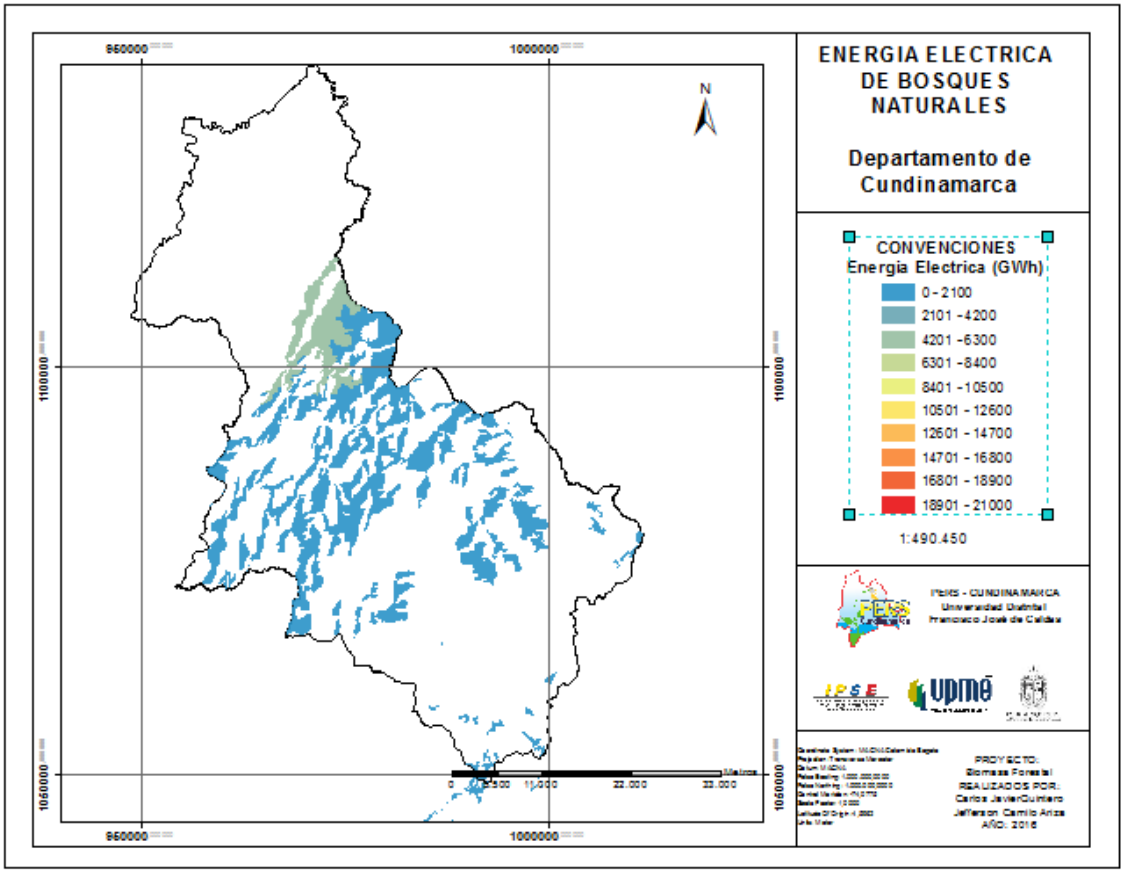


Figura 190 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Rionegro.

Provincia de Sabana Centro

En la Figura 191 se observa que para el caso de las plantaciones de Weinmannia tomentosa, el principal potencial se encuentra en el municipio de Zipaquirá, seguido por los municipios de Tabio, Tenjo y Chía. Además, se estima que se puede obtener un poder energético de 789,66 GWh.

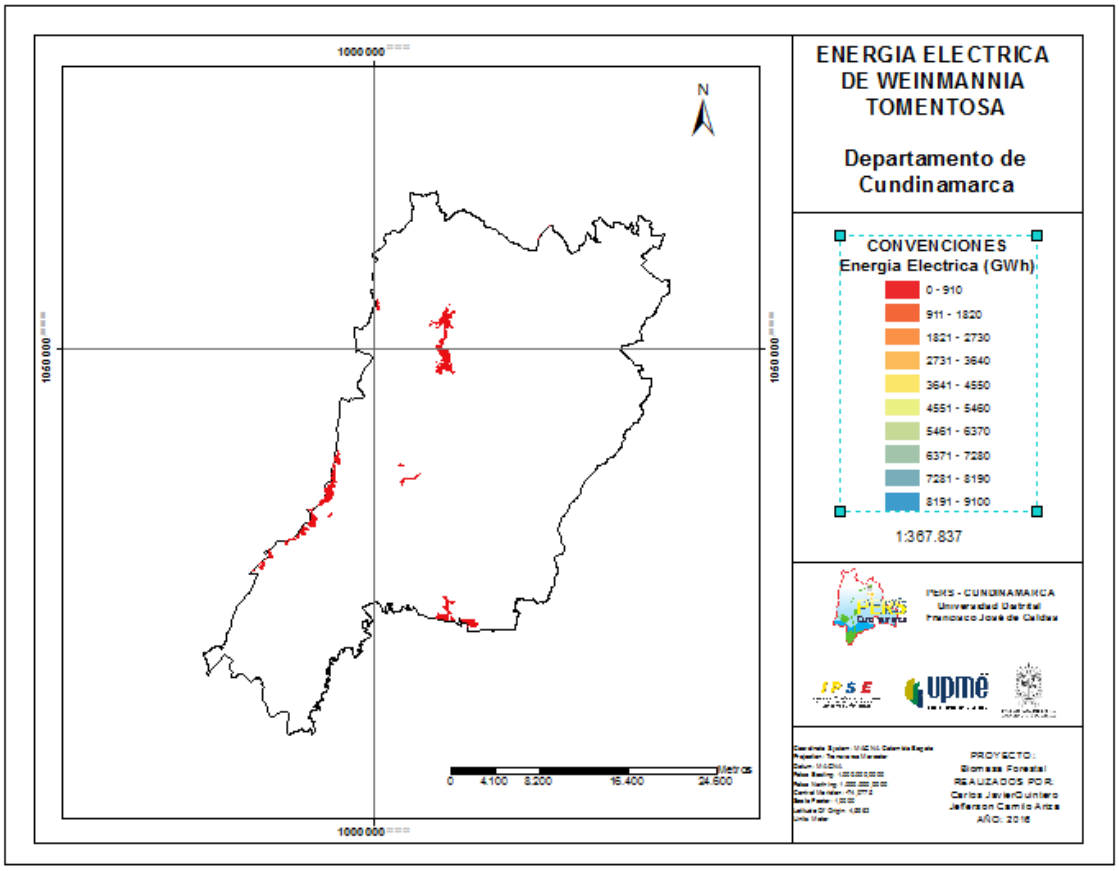


Figura 191Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Sabana Centro.

En el caso de los bosques plantados que se presenta en la Figura 192, se estima que se puede obtener un poder energético de 5.790,51 GWh distribuido en diferentes municipios de la provincia, especialmente en las regiones oriente y norte.

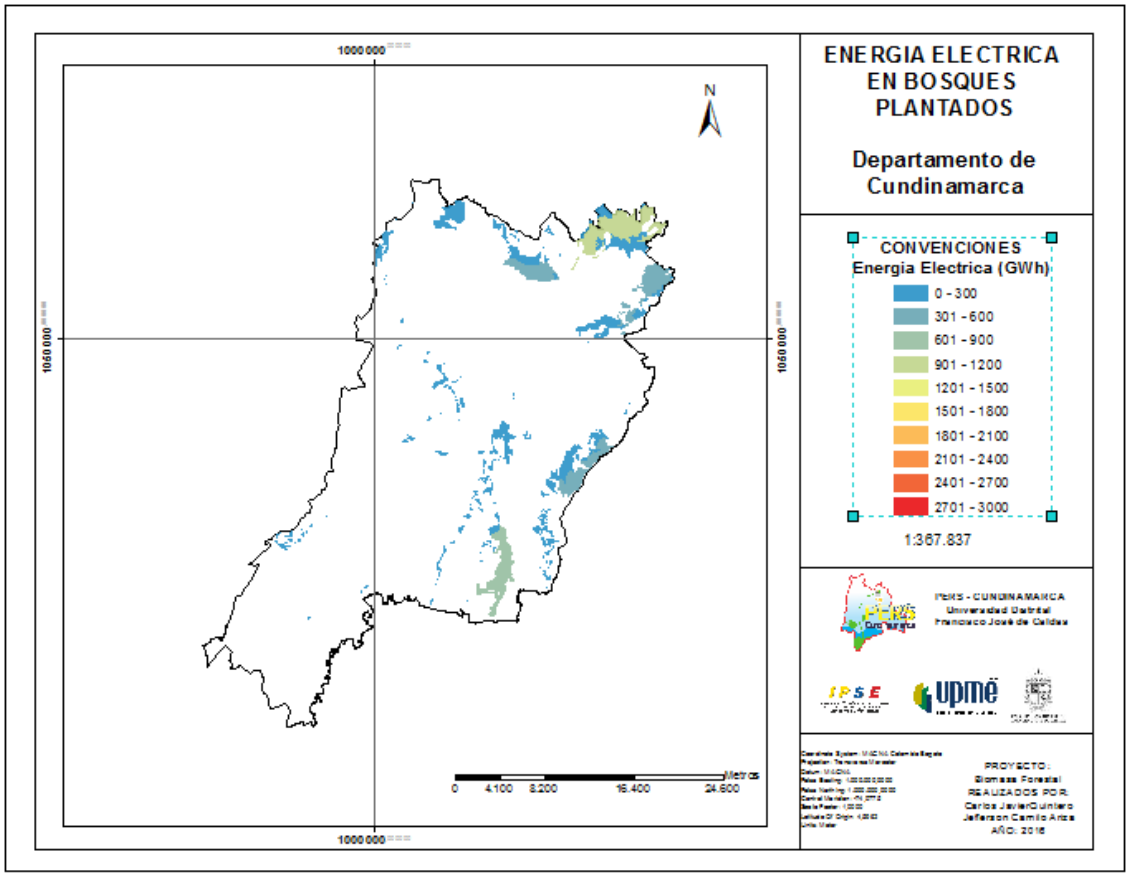


Figura 192 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Sabana Centro.

Finalmente, en la Figura 193 se observa que para el caso de los bosques naturales, asumiendo para los cálculos que todos son de la especie de Weinmannia tomentosa, se estima que el poder energético aprovechable es de 3.861,81 GWh.

En conclusión, con el caso de la Figura 192 se podría obtener la mayor energía eléctrica en la provincia de Sabana Centro, seguido por el caso de la Figura 193 y por último está el caso de la Figura 191.

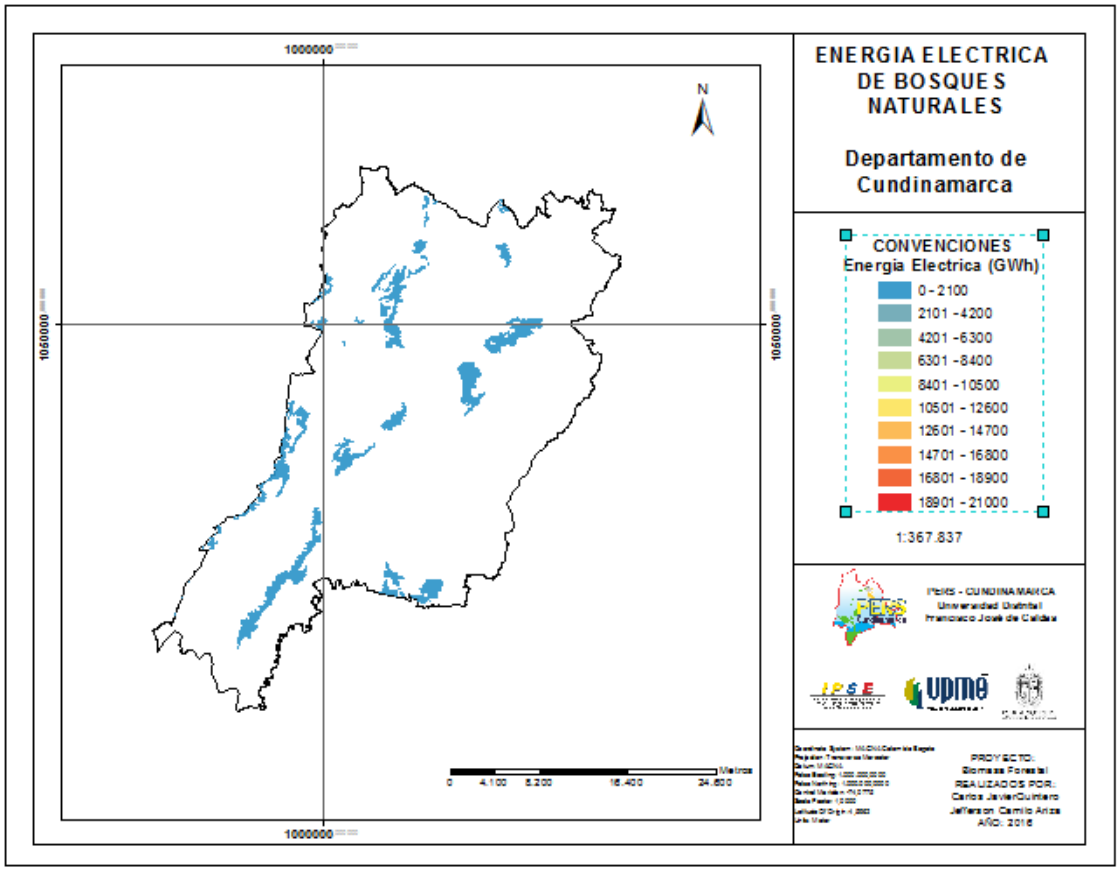


Figura 193 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Sabana Centro.

Provincia de Sabana Occidente

Para el caso de las plantaciones de Weinmannia tomentosa que se presenta en la Figura 194 se estima que se puede obtener un poder energético de 693,58 GWh. Estas plantaciones se encuentran localizadas en el municipio de Subachoque.

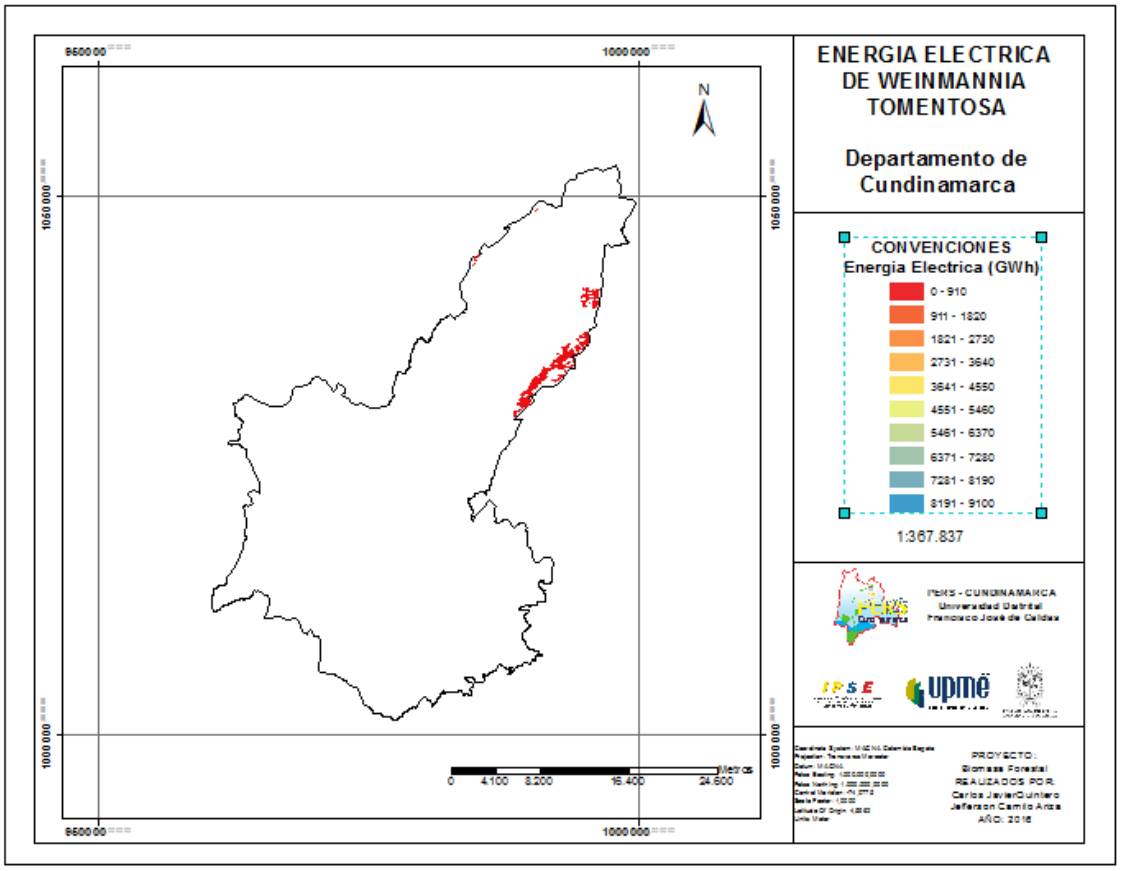


Figura 194 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Sabana Occidente.

En la Figura 195 se presenta el mapa con el potencial energético de los bosques plantados, a partir del cual se estima que se puede obtener un poder energético de 1.158,96 GWh.

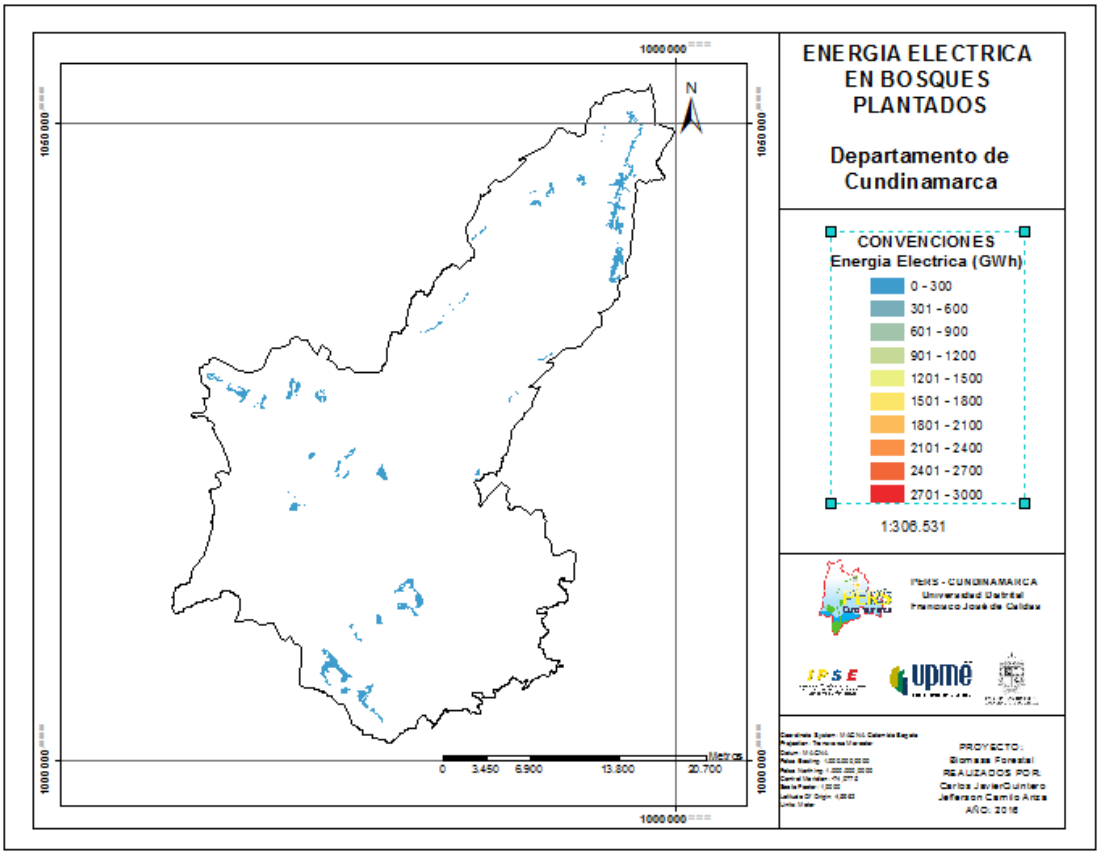


Figura 195 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Sabana Occidente.

Para el caso de los bosques naturales, en el cual se asume que todos son de la especie de Weinmannia tomentosa, se estima que el poder energético aprovechable es 3.686,42 GWh. En la Figura 196 que este potencial está fundamentalmente localizado en los límites de la provincia, tanto al oriente como al occidente.

Por lo tanto, con el caso de la Figura 196 se podría obtener más energía eléctrica en la provincia de Sabana Occidente, seguido por el caso de la Figura 195 y por último está el caso de la Figura 194.

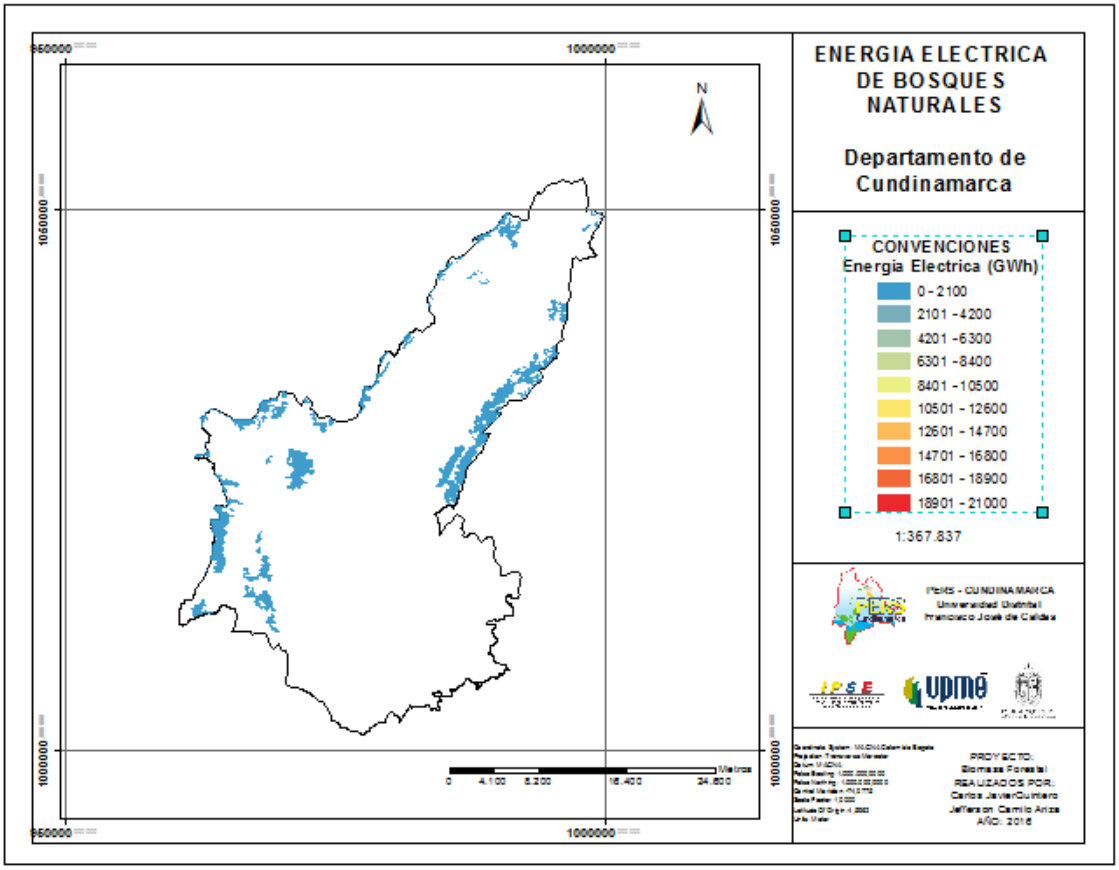


Figura 196 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Sabana Occidente.

Provincia de Soacha

Se observa en la Figura 197, que corresponde al caso de las plantaciones de Weinmannia tomentosa, que existen dos pequeñas regiones en las cuales se tiene potencial debido a estas plantaciones, una localizada al sur del municipio de Sibaté y la otra al suroccidente del municipio de Soacha. A partir de esta información, se estima que se puede obtener un poder energético de 94,76 GWh.

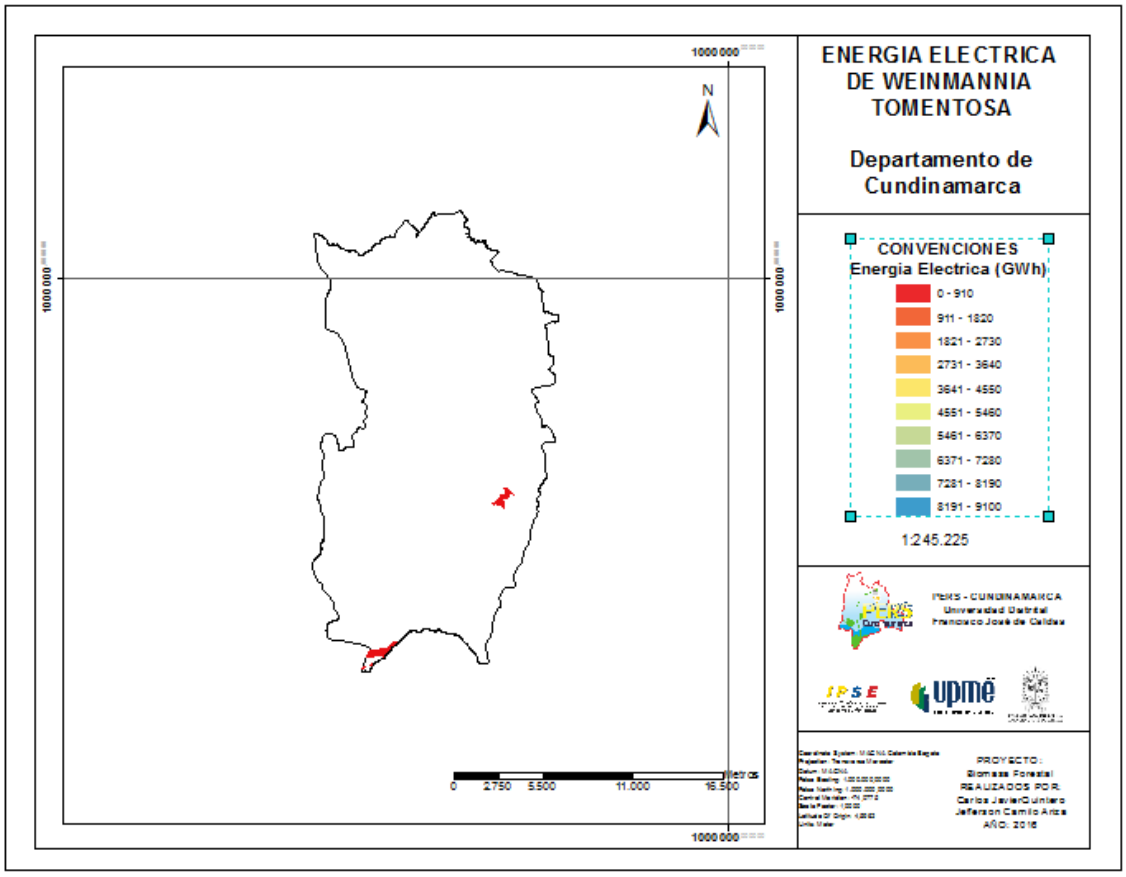


Figura 197 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Soacha.

En el caso de los bosques plantados de la Figura 198, se estima que se puede obtener un poder energético de 475,50 GWh, el cual está concentrado principalmente en el municipio de Sibaté, especialmente al norte del mismo.

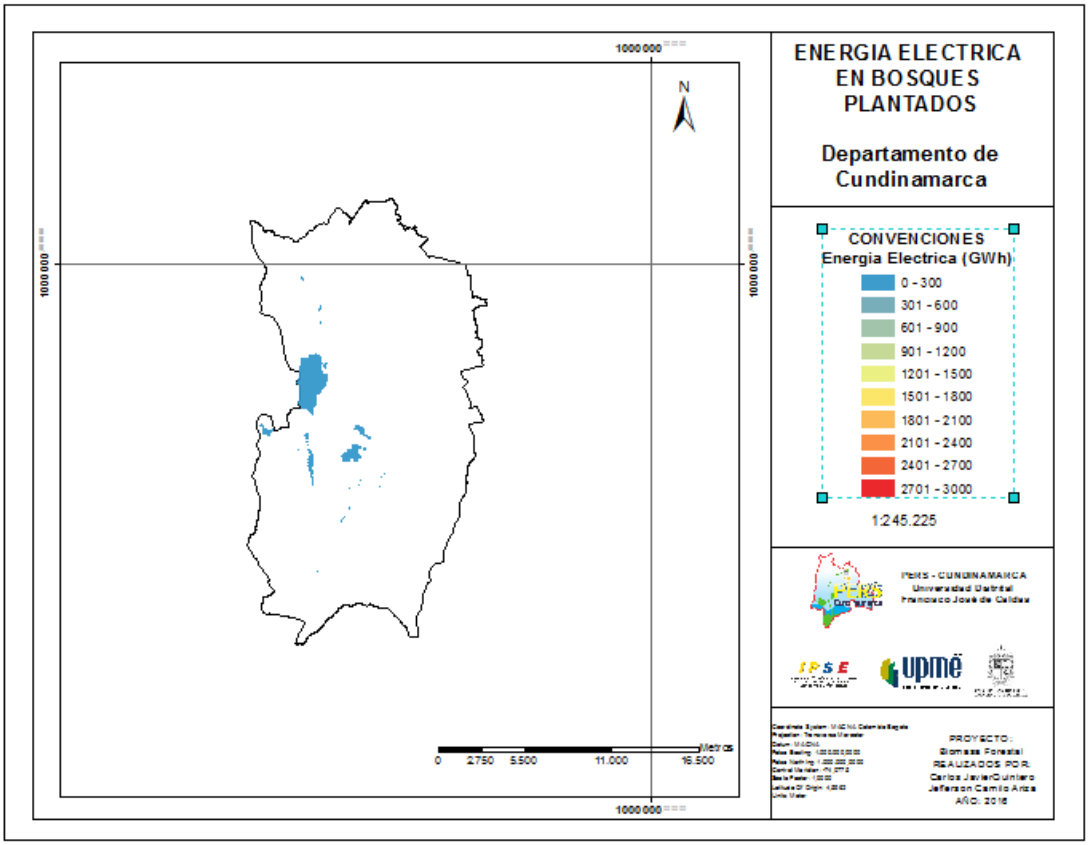


Figura 198 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Soacha.

Por último, en la Figura 199 se observa que el potencial energético debido a los bosques naturales, asumiendo para el cálculo que todos son de la especie de Weinmannia tomentosa, se encuentra principalmente localizado en el municipio de Soacha, con una pequeña concentración al sur de Sibaté. En este caso se estima que el poder energético aprovechable es 583,32 GWh.

Finalmente, con el caso Figura 199 es con el que se podría obtener más energía eléctrica en la provincia de Soacha, seguido por el caso de Figura 198 y por último está el caso de la Figura 197.

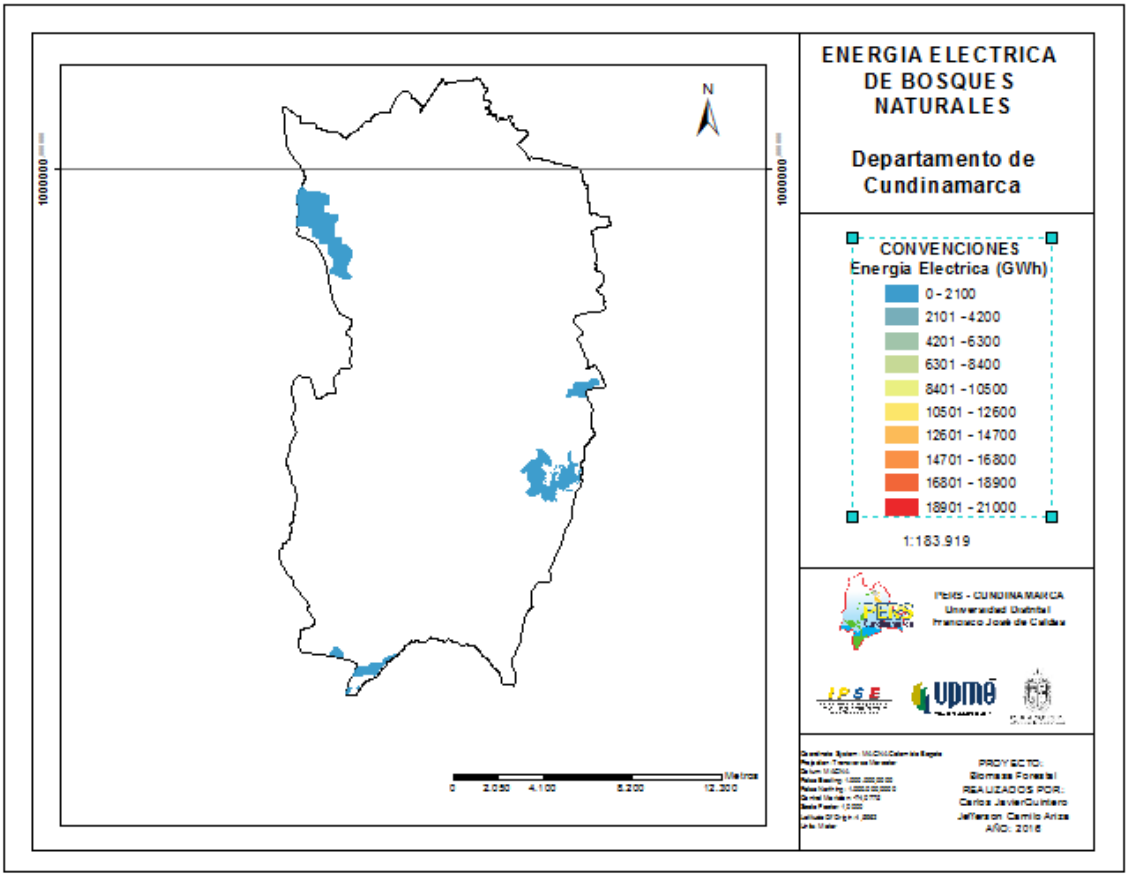


Figura 199 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Soacha.

Provincia de Sumapaz

En la Figura 200 se observa que el potencial energético debido a las plantaciones de Weinmannia tomentosa se encuentra localizado en los municipios de Cabrera, Pasca y San Bernardo, siendo el primero el de mayor potencial. A partir de este mapa se estima que se puede obtener un poder energético de 19.345,28 GWh.

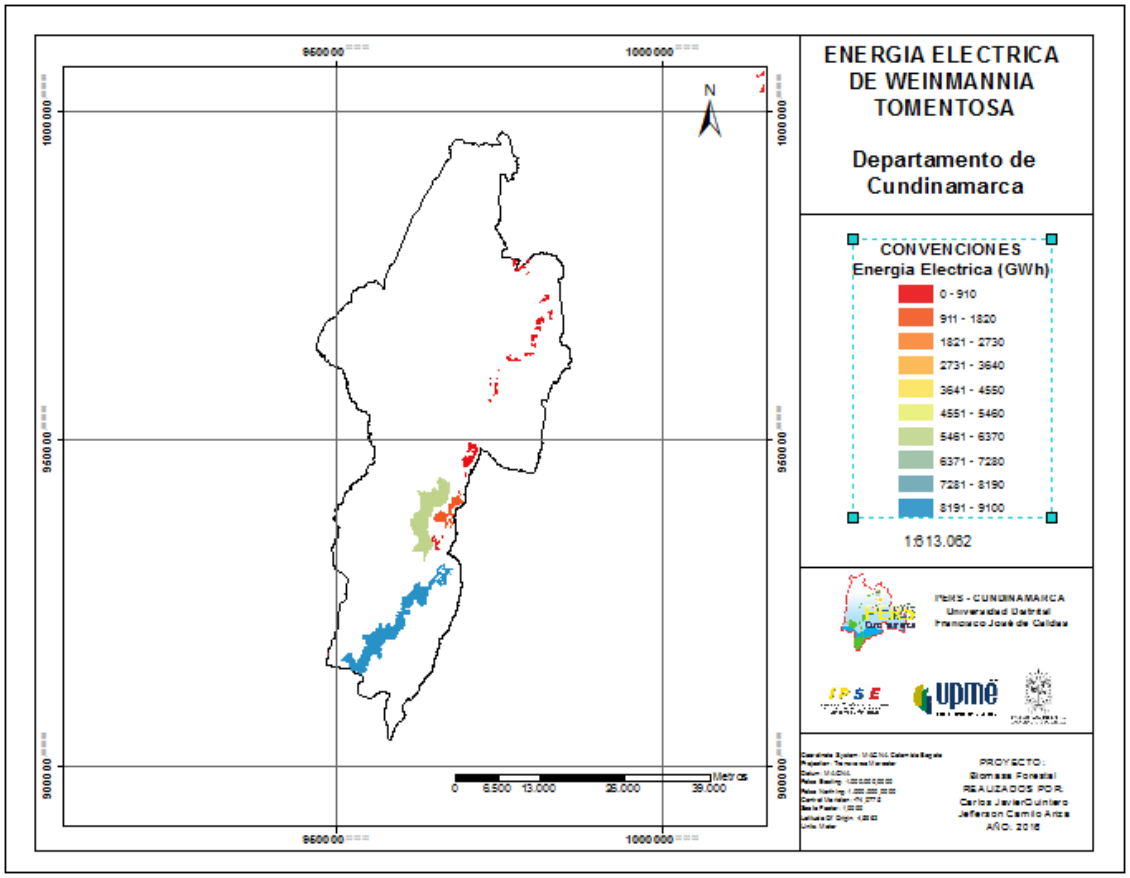


Figura 200 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Sumapaz.

En la Figura 201 se observa que para el caso de los bosques plantados se puede obtener un poder energético de 596,15 GWh. Este potencial se encuentra localizado fundamentalmente en una pequeña región entre los municipios de Tibacuy y Silvania.

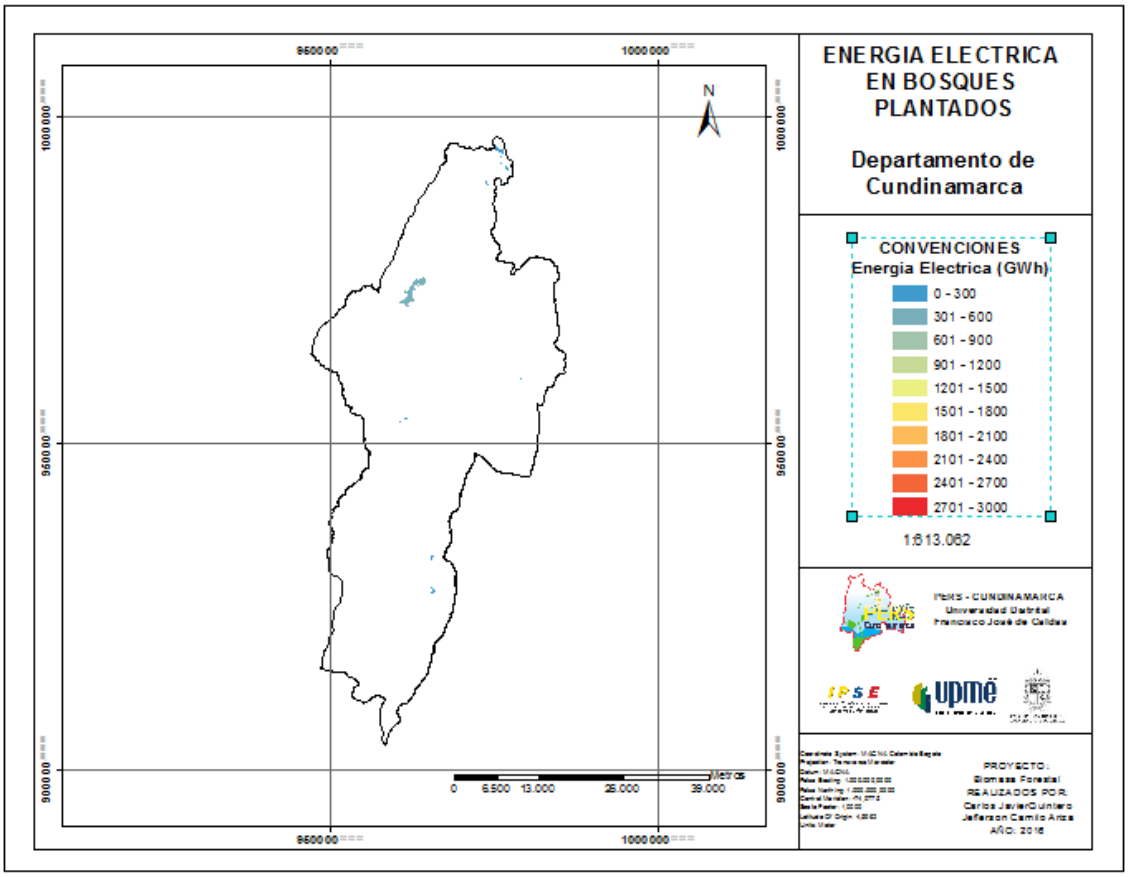


Figura 201 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Sumapaz.

De otro lado, en el caso en el que se asume que los bosques naturales son de la especie de Weinmannia tomentosa, se estima que el poder energético aprovechable es 80.215,53 GWh, el cual se encuentra distribuido en toda la provincia.

De esta forma se puede concluir que con el caso de la Figura 202 se podría obtener más energía eléctrica en la provincia de Sumapaz, seguido por el caso de la Figura 200 y por último está el caso de la Figura 201.

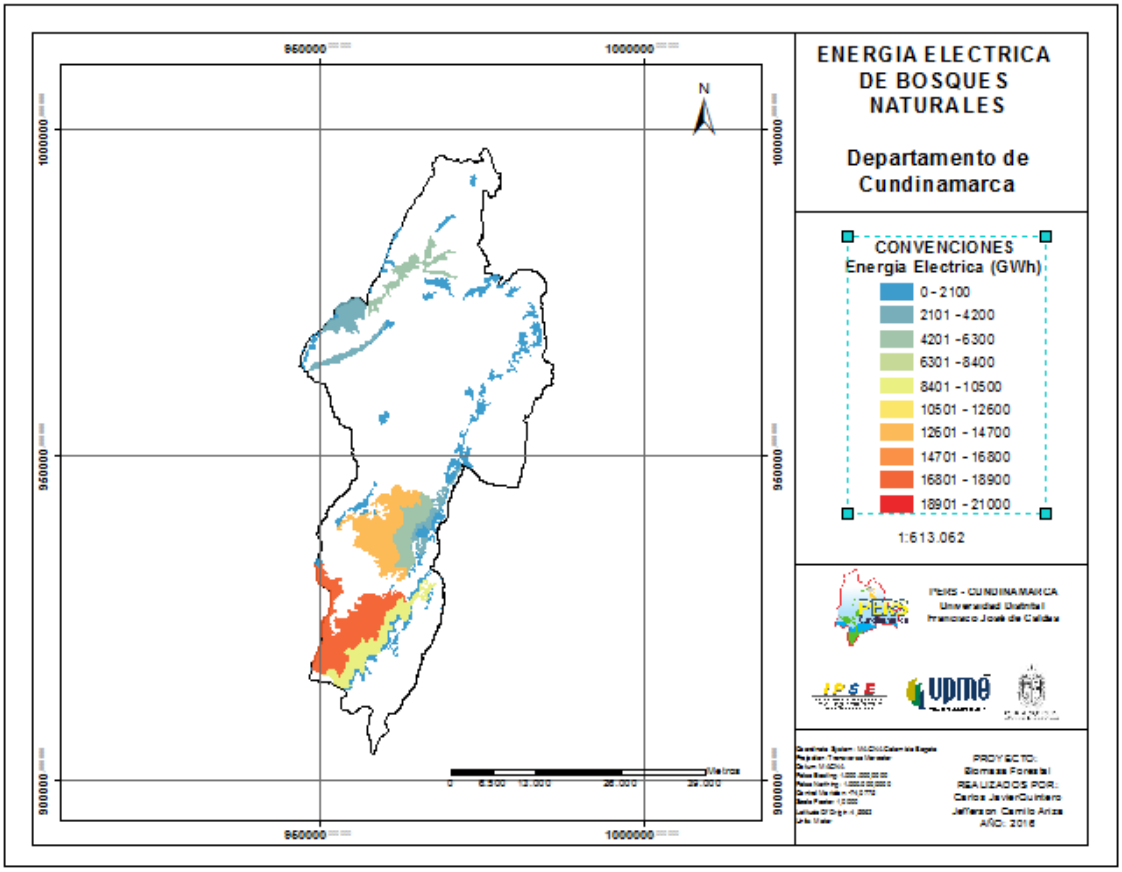


Figura 202 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Sumapaz.

Provincia del Tequendama

En el caso de las plantaciones de Weinmannia tomentosa, en la Figura 203 se observa que en la Provincia del Tequendama no se cuenta con biomasa de esta especie, por lo que en este caso no se obtiene energía eléctrica.

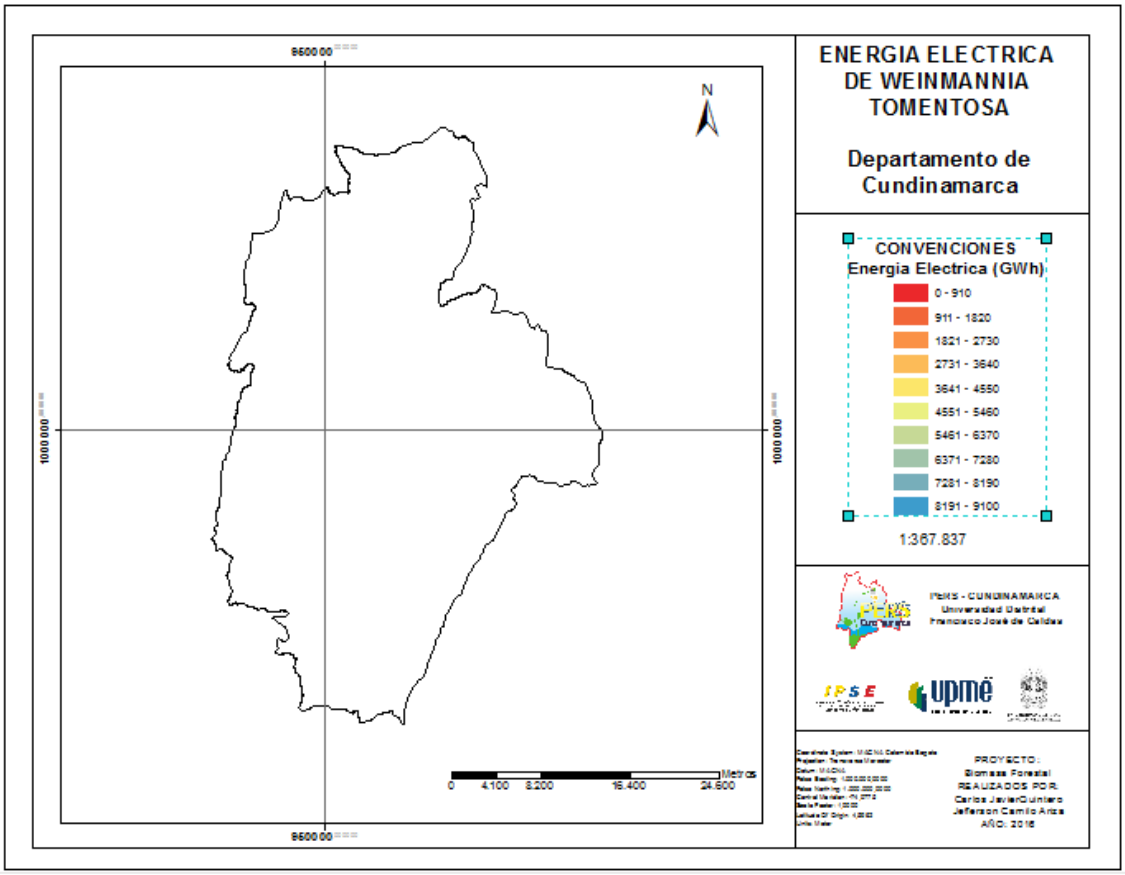


Figura 203 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia del Tequendama.

En la Figura 204, que corresponde al caso de los bosques plantados, se estima que se puede obtener un poder energético de 509,73 GWh. Este potencial se encuentra totalmente localizado en el municipio de Anolaima.

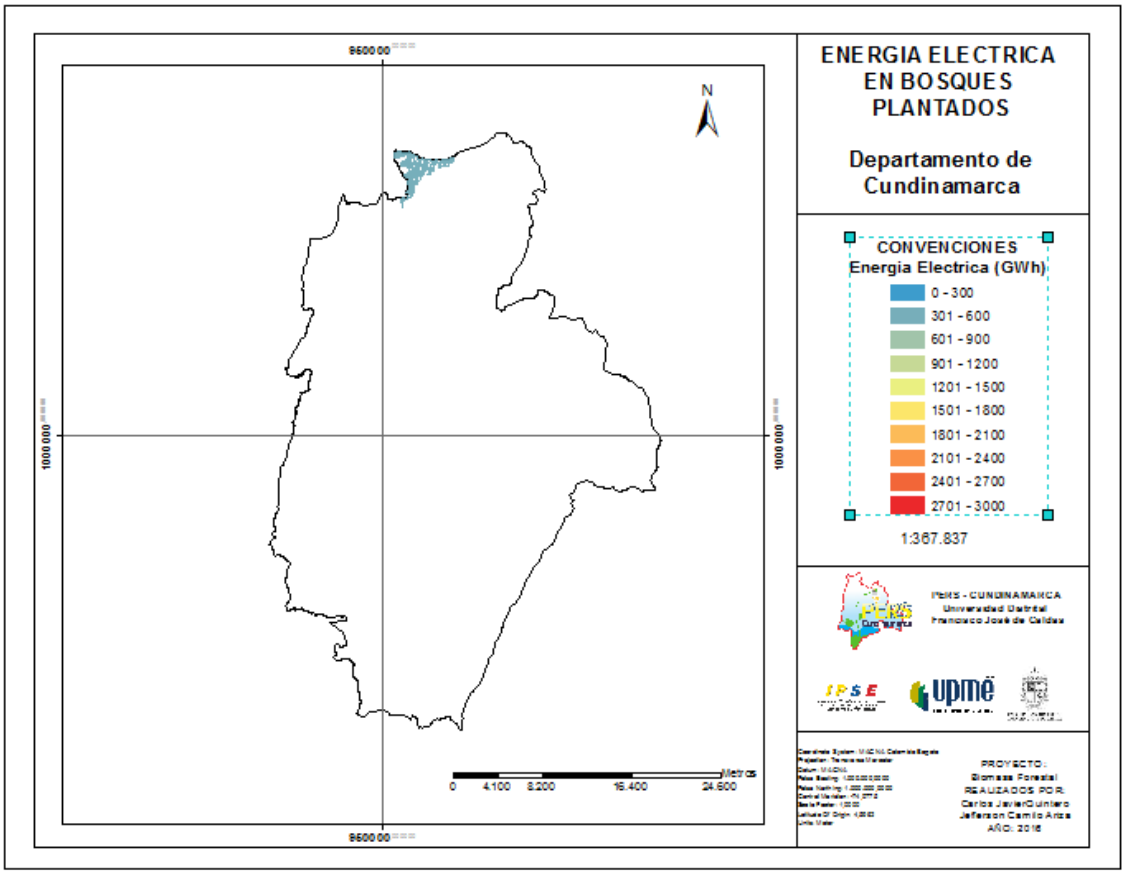


Figura 204 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia del Tequendama.

Por último, en el caso de los bosques naturales, se estima que el poder energético aprovechable es de 48.876,34 GWh, el cual se encuentra localizado en varias regiones de la provincia.

Por lo tanto, con el caso de la Figura 205 se podría obtener más energía eléctrica en la Provincia del Tequendama, seguido por el caso de la Figura 204.

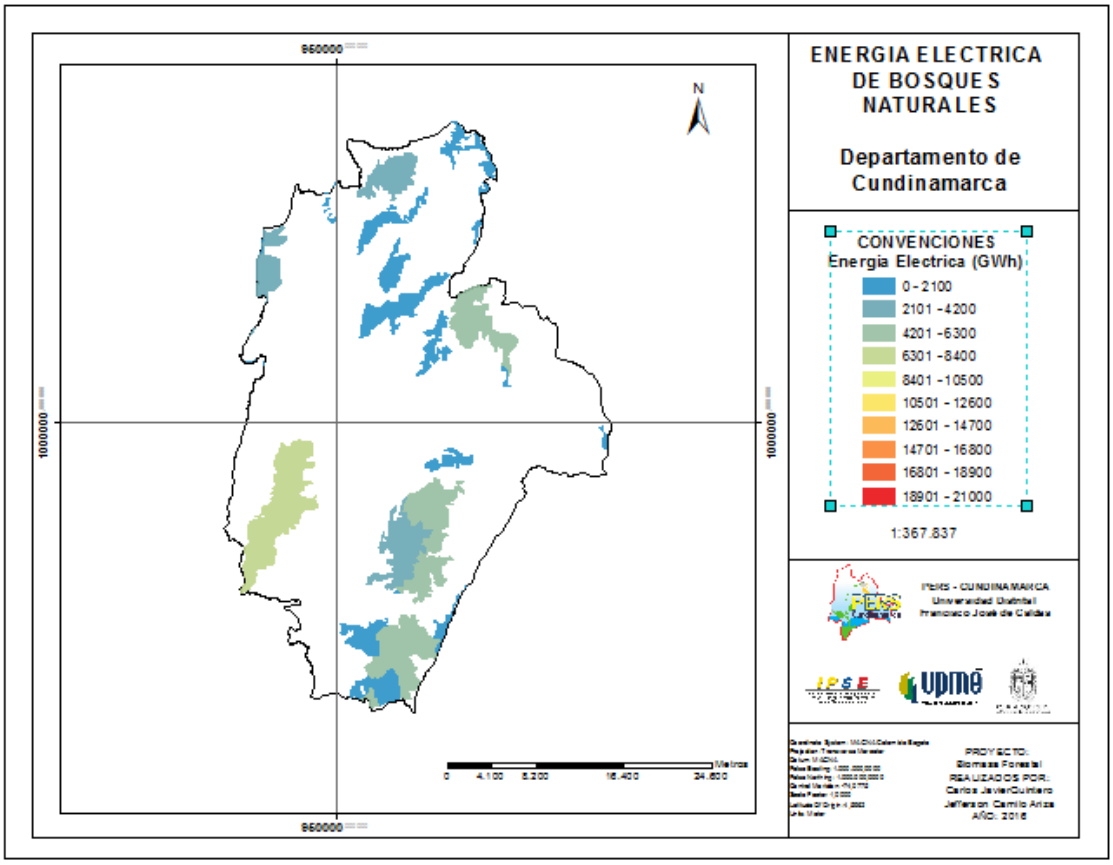


Figura 205 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia del Tequendama.

Provincia de Ubaté

En la Figura 206 se observa que para el caso de las plantaciones de Weinmannia tomentosa, el potencial energético se encuentra localizado en el occidente de la provincia, en los municipios de Simijaca, Carmen de Carupa y Tausa. Además, se estima que se puede obtener un poder energético de 1.241,91 GWh.

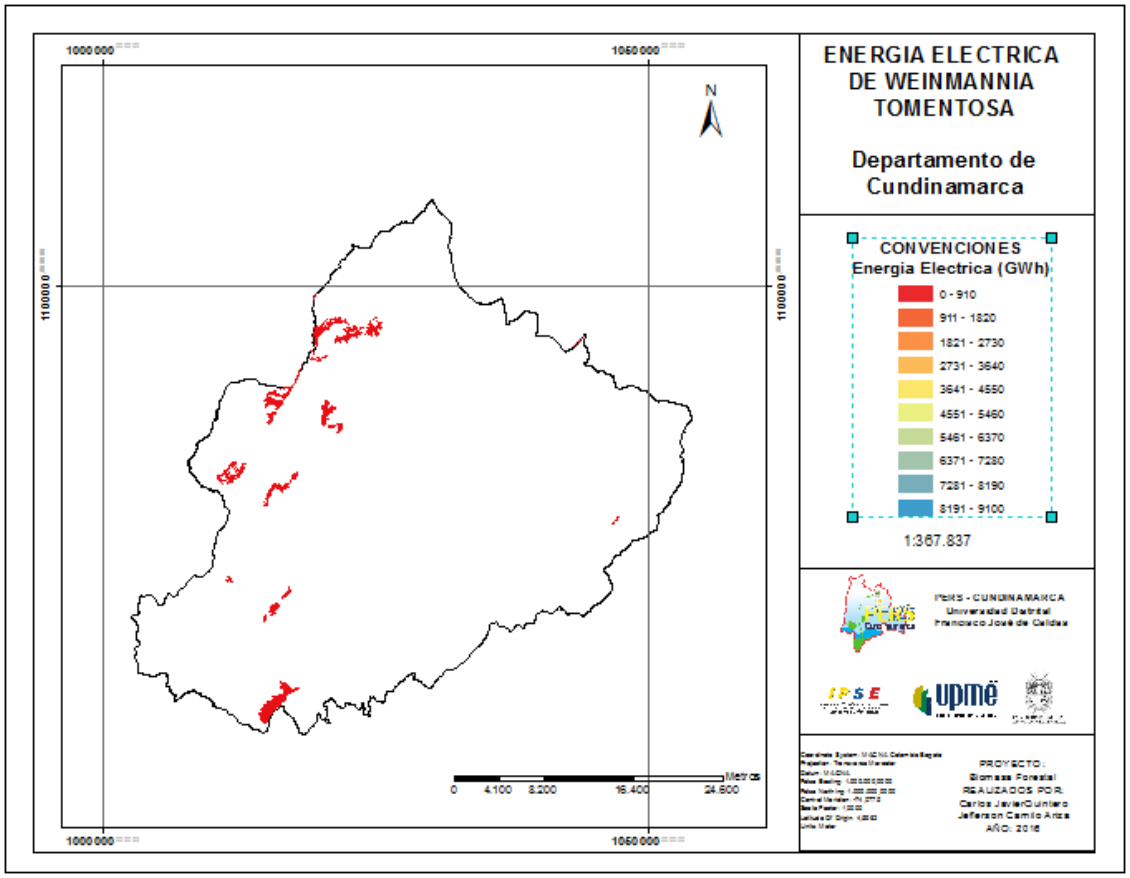


Figura 206 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de Weinmannia tomentosa- Provincia de Ubaté.

De otro lado, en el caso de los bosques plantados se estima que se puede obtener un poder energético de 9.175,32 GWh, distribuido a lo largo y ancho de toda la provincia, con una mayor concentración hacia la región centro – oriente.

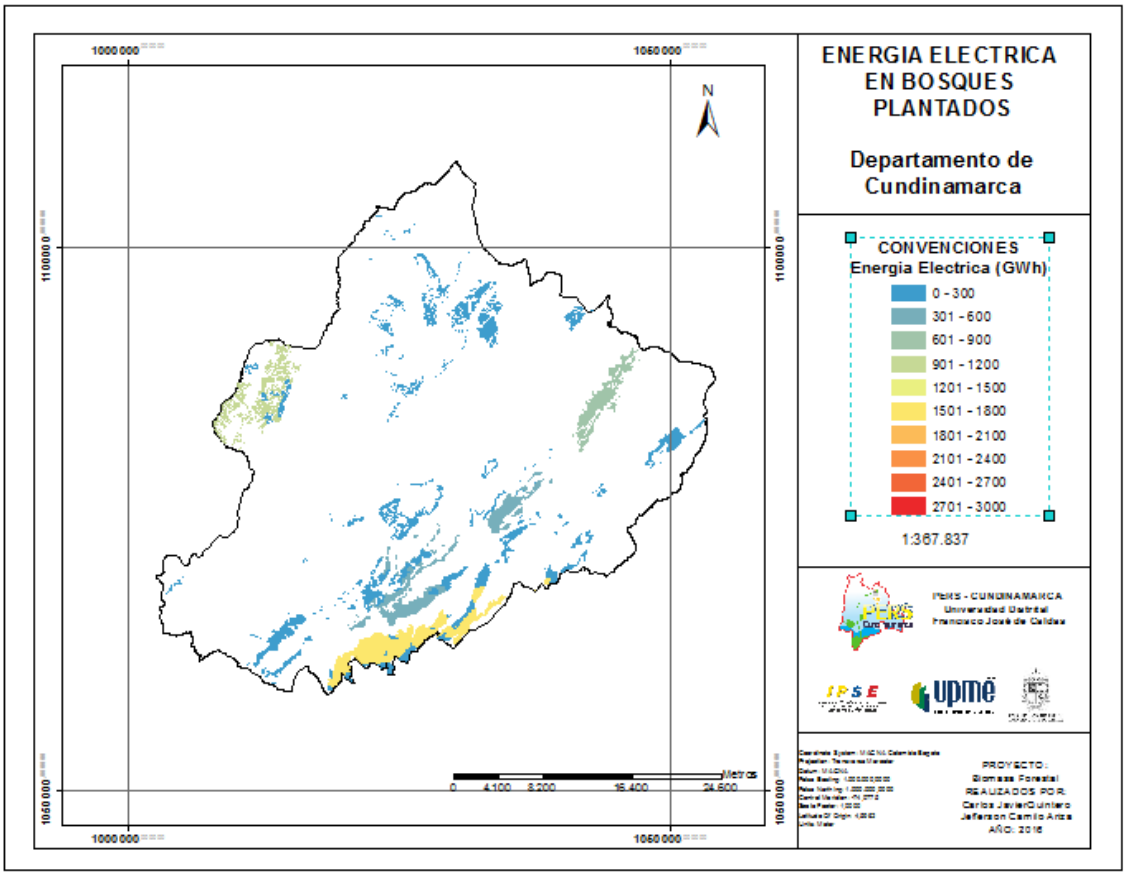


Figura 207 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal de los bosques plantados- Provincia de Ubaté.

En la Figura 208, que corresponde al caso de estudio de los bosques naturales, asumiendo para el cálculo que todos son de la especie de Weinmannia tomentosa, se estima que el poder energético aprovechable es 3.737,22GWh. Nuevamente este potencial energético se encuentra localizado en el occidente de la provincia, principalmente en los municipios de Simijaca, Carmen de Carupa y Tausa.

Como conclusión, con el caso de la Figura 207 es con la que se podría obtener más energía eléctrica en la provincia de Ubaté, seguido por el caso de la Figura 208 y por último está el caso de la Figura 206.

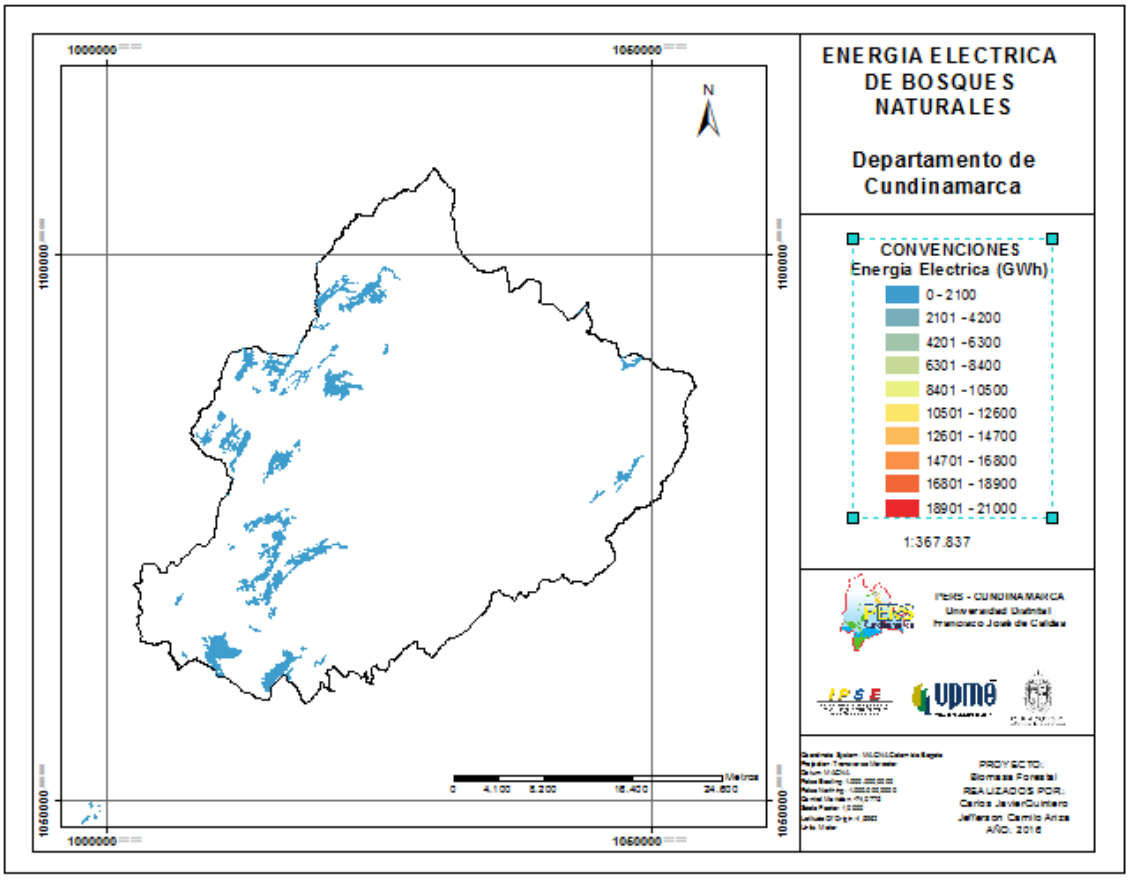


Figura 208 Mapa de potencial energético de la biomasa forestal total tomada como Weinmannia tomentosa- Provincia de Ubaté.

La Tabla 80 los resultados de este análisis. En esta tabla se observa que la provincia con mayor potencial energético debido a la biomasa forestal es la provincia de Sumapaz, mientras que la provincia con menor potencial es la provincia de Soacha. Para el caso de las plantaciones de Weinmannia tomentosa, la mejor condición se observa en la provincia de Sumapaz, mientras que para los bosques plantados y los bosques naturales las mejores condiciones se presentan en las provincias de Ubaté y Sumapaz, respectivamente.

Tabla 80 Potencial energético de la biomasa forestal para el departamento de Cundinamarca.

PROVINCIA	WEINMANNIA TOMENTOSA (GWh)	BOSQUES PLANTADOS (GWh)	BOSQUES NATURALES (GWh)	TOTAL (GWh)
ALMEIDAS	2525,3382	8058,9773	7394,0467	17978,3622
ALTO MAGDALENA	1760,6318	3283,3147	39659,9725	44703,9191
BAJO MAGDALENA	-	53,8217	11873,2670	11927,0887
GUALIVÁ	1476,4185	79,3704	37494,6776	39050,4665
GUAVIO	11516,7984	2432,9943	31012,1280	44961,9207
MAGDALENA CENTRO	-	136,7621	52456,6576	52593,4197
MEDINA	2935,8578	224,2411	46602,6350	49762,7339
ORIENTE	10416,8700	667,6822	24821,0840	35905,6362
RIONEGRO	121,9881	2876,2563	33315,3850	36313,6294
SABANA CENTRO	789,6695	5790,5105	3861,8167	10441,9967
SABANA OCCIDENTE	693,5837	1158,9662	3686,4223	5538,97217
SOACHA	94,7656	475,5046	583,3264	1153,5966
SUMAPAZ	19345,2820	596,1545	80215,5386	100156,975
TEQUENDAMA	-	509,7302	48876,3460	49386,0762
UBATÉ	1241,9172	9175,3294	3737,2224	14154,469
TOTAL (GWh)	52919,1200	35519,6160	425590,5257	514029,262

La Tabla 80 muestra el resumen del potencial energético aproximado del departamento discriminado por provincias y el total almacenado en bosques tanto naturales como plantados. Es claro que el potencial energético aproximado de los bosques en Cundinamarca, alrededor de 514.029 GWh podría cubrir la demanda nacional, aproximadamente 70.000 GWh para el año 2016, por varios años.

Es necesario aclarar la explotación de esta energía depende fuertemente de múltiples factores como es la eficiencia de la tecnología para la conversión en energía eléctrica. En la actualidad las tecnologías de conversión de energía de los bosques en energía eléctrica tiene eficiencias que en promedio no superan el 15%, ya que la mayoría de ellas se basan en la quema controlada de la madera producto del talado y procesado de los árboles. Unido a esto, la baja renovación de esta energía debido a que el recambio de los bosques esta aproximadamente entre los 10 y 15 años y la emisión de gases efecto invernadero como el CO_2, y las políticas de conservación hace que el aprovechamiento de esta energía no sea una opción viable y su uso se restrinja a bajas escalas, como para la cocción con estufas de alta eficiencia y calentamiento de agua en zonas rurales.

7. Energía Hidráulica

Colombia es uno de los países más rico en recursos hídricos del planeta, sus principales cursos de agua son los ríos Amazonas, Magdalena, Cauca, Guaviare, Putumayo y el Caquetá, que recorren el territorio agrupándose en 18 cuencas principales y en múltiples subcuencas y microcuencas que se convierten en un sistema interconectado para la interacción de aspectos biofísicos, socioeconómicos y culturales del país (UPME U. d., 2015).

En Cundinamarca se encuentran la cuenca del rio Magdalena y la cuenca del rio Meta la primera está conformada por siete subcuencas y la segunda por tres subcuencas, las características de cada una de ellas se encuentran en la Tabla 81.

Tabla 81 Principales características de las Subcuencas en el departamento de Cundinamarca.

CUENCA DEL RÍO MAGDALENA			
SUBCUENCAS	**LOCALIZACIÓN**	**ÁREA (HA)**	**% APROX DE PRESENCIA**
Magdalena Alto	Noroccidente	142.877	5,5%
Magdalena Central	Occidente	93.397	3,3%
Río Bogotá	Nororiente a Suroccidente	551.484	24%
Río Sumapaz	Suroccidente	271.153	11,2%
Río Negro	Noroccidente	303.906	12,8%
Río Carare (Minero)	Norte	197.406	8%
Río Suarez	Norte	132.031	-
CUENCA DEL RÍO META			
SUBCUENCAS	**LOCALIZACIÓN**	**ÁREA (HA)**	**% APROX DE PRESENCIA**
Río Humea	Oriente	227.560	9,3%
Río Negro	Sur - Oriente	252.086	10,5%
Río Upia	Oriente	249.096	10,3%

Partiendo del informe de 2004 realizado por la Corporación Autónoma regional de Cundinamarca, CAR; el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC; la Universidad Nacional de Colombia y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM para el estudio nacional de agua (IDEAM - Instituto de Hidrología M. y., 2014), se obtuvo el resumen de la oferta de aguas superficiales de las cuencas de primer orden para la zona de jurisdicción de la CAR en el departamento de Cundinamarca, dando como resultado el análisis resumido en la Tabla 82.

En la Tabla 82 se encuentran por columnas el nombre del afluente principal de la cuenca, las precipitaciones en milímetros de agua, el rendimiento de la cuenca o la cantidad de agua que fluye por unidad de área en la cuenca, y el caudal en metros cúbicos por segundo.

Tabla 82 Oferta de aguas superficiales en el departamento de Cundinamarca, discriminadas por cuencas. Fuente: Estudio de nacional de suelos, IDEAM 2004

CUENCA	PRECIPITACIÓN (mm)	RENDIMIENTO (L/S. km^2).	CAUDAL (m^3/s)
Río Machetá	1.174,58	24,45	11,77
Río Suárez- Ubaté	947,81	9,87	12,59
Río Magdalena	1.452,02	9,6	14,24
Río Blanco	1.343,26	34,5	24,73
Río Sumapaz	1.167,86	16,72	36,12
Río Minero	2.261,33	43,01	38,73
Río Bogotá	926,17	10,06	52,58
Río Negro	1.869,60	27,95	102,24

Para las aguas superficiales, los caudales más bajos se encuentran en la cuenca del Río Machetá y los más altos en las cuencas del río Negro y Minero. La cuenca del río Bogotá, a pesar de que presenta una baja pluviosidad tiene un alto caudal, es importante tener en cuenta que esta cuenca se encuentra totalmente en el Departamento y cubre 24% del territorio, mientras que otras cuencas son compartidas y el departamento posee únicamente sus partes altas, donde sus caudales son menores pero aprovechables para proyectos con Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) a filo de agua.

Con la generación a partir de las PCH's se busca dar suministro a zonas aisladas que abastecen pequeños asentamientos; la energía hidroeléctrica parte del principio básico de la transformación de la energía potencial del agua almacenada en un nivel superior, en energía cinética, (UPME U. d., 2015). Teniendo en cuenta la oferta hídrica en Cundinamarca, los planes de incluir PCH's en el departamento han facilitado la identificación de proyectos a filo de agua, por lo tanto, al realizar un estudio de caudales y caídas hidráulicas en las 15 provincias, se seleccionó los caudales medios mensuales en 208 estaciones que cubren un periodo de tiempo de cinco años, comprendido entre enero de 2010 y diciembre de 2015 sirviendo de base para establecer la viabilidad técnica de los proyectos.

7.1 Metodología para reconocimiento de potencial hídrico

La metodología para el aprovechamiento del recurso hídrico en PERS Cundinamarca, se realizó con la ayuda de diferentes entes gubernamentales, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM; la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR; La Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia, Corporinoquia; la Corporación Autónoma Regional del Guavio, CORPOGUAVIO; el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC; la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; y la Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, que aportaron sus recursos técnicos y administrativos.

Sin embargo, y debido a los cambios climáticos y los avances de la tecnología para la medición del recurso hídrico, es importante señalar que la información que se presente requiere de un proceso de actualización y mejora continua en periodos de tiempo especificados, para adaptarlo a los criterios técnicos ambientales vigentes del proyecto a evaluar. Para la evaluación de los proyectos con generación de energía eléctrica a partir de PCH's en las diferentes provincias del departamento de Cundinamarca, se llevaron a cabo las actividades descritas a continuación.

1. Búsqueda de información para la identificación del número de estaciones meteorológicas y su naturaleza. Las entidades que se utilizaron para tal fin fueron la CAR Cundinamarca, el IDEAM y Corporinoquia. En primera instancia se realizó el acercamiento a la corporación autónoma de Cundinamarca para la obtención de datos en las estaciones que miden el caudal y los perfiles topográficos de las cuencas. Estos datos se solicitaron a través de la página web (https://www.car.gov.co/) diligenciando el formulario de petición.

   La información recibida por la CAR Cundinamarca no contenía los datos de 19 municipios, los cuales fueron solicitados a la corporación correspondiente, en el caso de la provincia de Medina y Guavio a CORPOGUAVIO y para la provincia de Oriente a CORPORINOQUIA. Esta última remitió la petición al IDEAM, donde se realizó la solicitud de la información completando también registros de estaciones que no están en la base de datos de la CAR Cundinamarca. El IDEAM maneja una plataforma para la realización de las solicitudes con ayuda de un mapa que describe la ubicación y las características propias de la estación.

   Los perfiles topográficos necesarios para el estudio de la caída se realizaron con los planos a escala 1: 100.000 del IGAC para el departamento de Cundinamarca, cada plancha tiene las curvas de nivel a 50 m entre sí. Para el perfil topográfico es necesario seguir la trayectoria de la corriente y ubicar los puntos para ser graficados.

2. Definición de las regiones hidrológicas. Se realizó con base en la división administrativa por provincias que conforma el departamento de Cundinamarca. Según el atlas del potencial hidroenergético en Colombia (UPME U. d., 2015), un aspecto fundamental para la evaluación del potencial en proyectos filo de agua son las agrupaciones hidrológicas, considerando parámetros morfométricos e hidroclimatológicos que dividen a Cundinamarca en dos: agrupación hidrológica Magdalena – Cauca y Orinoco.

El procedimiento utilizado para esta división se conoce como "*análisis de clúster*" dividiendo el número total de parámetros en uno más reducido con características comunes, (UPME U. d., 2015). Para la validación de los datos que se obtuvieron en esta parte del estudio de la Oferta Energética de PERS Cundinamarca, se tomaron como referencia los mapas obtenidos en el atlas. La división que se realiza es otro indicativo para evaluar el comportamiento de los caudales en el departamento.

3. La selección y caracterización de estaciones de caudal, con periodo de registro mensual, a partir de la información contenida en la base de datos de la CAR y el IDEAM. Para la cuantificación de la cantidad de agua que circula en una cuenca es necesario un equipo de medición. En Colombia se utilizan dos formas de medición, una directa con un instrumento instalado para medir el nivel de la superficie del agua con respecto a un nivel de referencia, Limnímetro (LM), ver Figura 209; y una continua o en intervalos de tiempo regulares con un dispositivo que registra automáticamente el nivel de agua detectado por un sensor, Limnígrafo (LG).

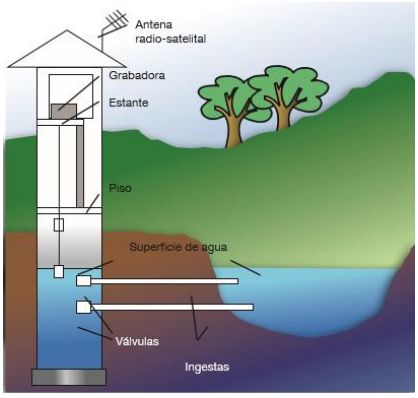


Figura 209 Limnímetro. Fuente: Atlas 2015

Por diversos factores como daños, falta de calibración o mantenimiento y suspensión, las estaciones pueden no realizar los registros, lo que dificulta el procesamiento de la información para realizar cualquier estudio que involucre este tipo de datos, para el caso concreto de la evaluación del potencial hidroenergético en Cundinamarca es necesario realizar un método basado en ecuaciones de regresión que permita estimar el caudal cuando no se cuenta con registros.

Para la toma de decisiones sobre la implementación de un proyecto en alguna de las provincias del departamento, se analizó el caudal registrado en cada estación caracterizando su distribución espacial y temporal. El análisis característico de

datos dio como resultado que espacialmente el caudal se comporta igual en regiones hidrológicas; y temporalmente se agrega en una escala mensual (UPME U. d., 2015).

Al realizar la discriminación de los datos en las estaciones hidrológicas que registran a partir de LM o LG proporcionadas por el IDEAM y por la CAR, se obtuvieron en total 208, también se analizaron los datos obtenidos por las estaciones que miden las precipitaciones en mm de agua, el resumen de las estaciones analizadas se presenta en la Tabla 83.

Tabla 83 Número de estaciones de medición utilizadas para el estudio del aprovechamiento hidroenergético en el departamento de Cundinamarca.

PROVINCIAS	ESTACIONES ANALIZADAS					
	HIDROLOGICAS			CLIMATOLOGICAS		
	CAR	IDEAM	TOTAL	CAR	IDEAM	TOTAL
Alto Magdalena	7	0	7	6	0	6
Centro Magdalena	0	2	2	0	0	0
Bajo Magdalena	3	2	5	0	0	0
Rionegro	8	1	9	2	1	3
Ubaté	34	0	34	0	0	0
Gualivá	7	0	7	5	0	5
Tequendama	30	0	30	17	0	17
Sumapaz	22	2	24	18	0	18
Almeidas	17	1	18	9	0	9
Guavio	4	7	11	0	0	0
Soacha	5	0	5	3	0	3
Sabana Occidente	19	0	19	14	0	14
Sabana Centro	29	0	29	19	0	19
Medina	0	2	2	0	0	0
Oriente	0	6	6	0	0	0

En la Figura 210 se puede observar la distribución de las 208 estaciones en la red de drenaje del departamento. Las tres provincias con mayor número de estaciones son Ubaté, Tequendama y Sabana Centro, con estaciones de medición de propiedad de la CAR Cundinamarca. En el caso contrario, las provincias con el menor número de estaciones para medir caudal son Magdalena Centro y Medina, estas son provincias con municipios grandes en extensión territorial pero sin cuencas relevantes.

Los registros de las estaciones están en su mayoría incompletos, el 57% de estas pueden utilizarse para la evaluación del potencial hidroeléctrico en el departamento. Debido a que las regresiones calculadas no tienen factores de correlación cercanos a la unidad; dificulta el cálculo de datos en periodos de tiempo inexistentes, en consecuencia, provoca un comportamiento atípico que afecta directamente el promedio anual del caudal en las provincias.

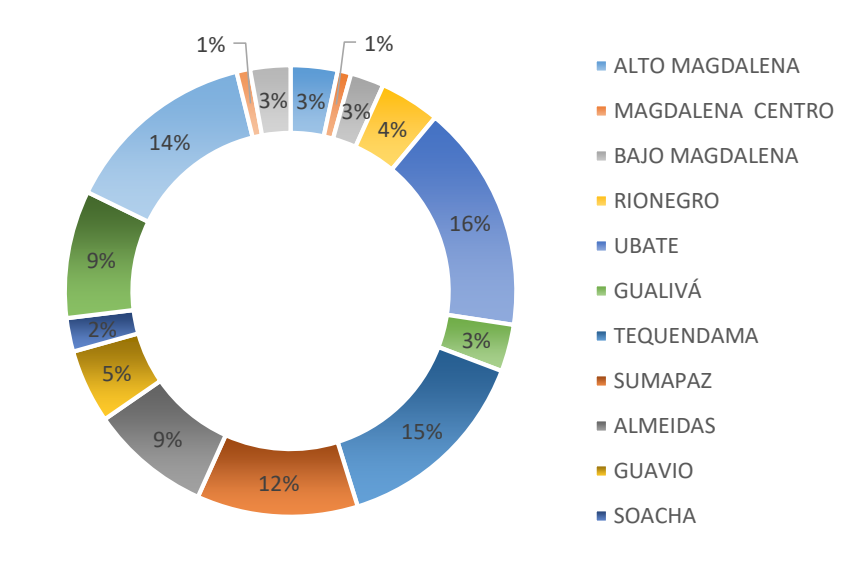


Figura 210 Diagrama de distribución espacial de las estaciones, Provincias de Cundinamarca. Fuente de figura: Autoría Propia

Otro factor que reduce el número de estaciones utilizadas fue el ajuste en los puntos de registro sobre la corriente del rio para obtener el valor de la caída hidráulica.

7.1.1. Caudales medios mensuales en el departamento de Cundinamarca

Al realizar la revisión de los caudales medios mensuales a lo largo de la red de drenaje en el departamento de Cundinamarca, se realizó un ajuste a los datos con la implementación de un modelo de regresiones, el cual facilita la determinación de la dinámica aproximada del comportamiento en un periodo de cinco años.

El análisis de regresiones se realizó con ayuda del programa de Microsoft EXCEL, con este se completaron los datos en las estaciones tomando como referencia el caudal y el periodo de tiempo de registro que se obtuvo con la información de los diferentes entes gubernamentales, ver metodología para el reconociendo del potencial hídrico, este análisis se hace siempre que la provincia contenga cuencas con registro de caudal y estas sean meteorológica y topográficamente homogéneas, es decir que variables como los parámetros del rio principal (longitud, desnivel y pendiente), parámetros geomorfológicos (área, pendiente, perímetro, desnivel, elevación, densidad de corrientes) y parámetros climáticos (precipitación, rendimiento, escorrentía, temperatura, evaporación real, evaporación potencial) sean estables, en el atlas del potencial hidroenergético se

realizó un modelo estadístico con estas variables introduciéndolas casi en su mayoría.

Para el estudio de las diferentes provincias se evidencia que faltan datos puntuales, un dato de caudal en el año o máximo tres por lo tanto se utilizan ecuaciones polinómicas que tengan valores de R cuadrado, (R), iguales a uno lo que asegura que la interrelación de los datos sea la correcta. En su mayoría las ecuaciones tienen orden seis y los valores de R son iguales o superiores a 0,85; como ejemplo se muestra la figura Figura 211, la cual presenta el caudal (eje y) para el mes de febrero y los años que ha estado activa datos proporcionados por la CAR Cundinamarca en el eje x. Esta es la estación de medición Providencia registrada con el código 2119754, su medición es a partir de un Limnímetro (LM), ubicada en la provincia de Sumapaz, en el municipio de Pasca, la estación está presente en el río cuja el cual aporta directamente al río Sumapaz.

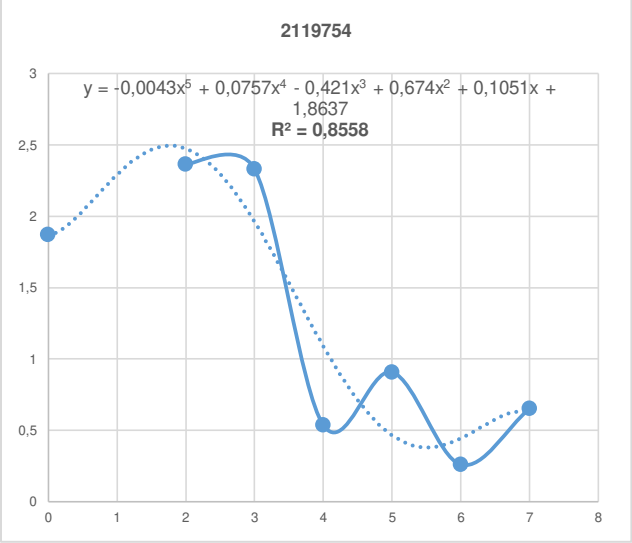


Figura 211 Municipio de Pasca en la provincia de Sumapaz. Fuente de figura: Autoría Propia.

Con la estimación realizada por las ecuaciones de regresión, los registros se completaron y se obtuvieron histogramas de los valores promedios anuales para las diferentes estaciones de medición, para un periodo de tiempo de 5 años.

La Figura 212 corresponde a los datos de la provincia de Almeidas, la cual en gran medida pertenece a la zona hidrográfica del Orinoco, con caudales medios máximos en los meses de mayo hasta agosto. El dato máximo para el caudal medio es de 3,24 m^3/s en el mes de Julio.

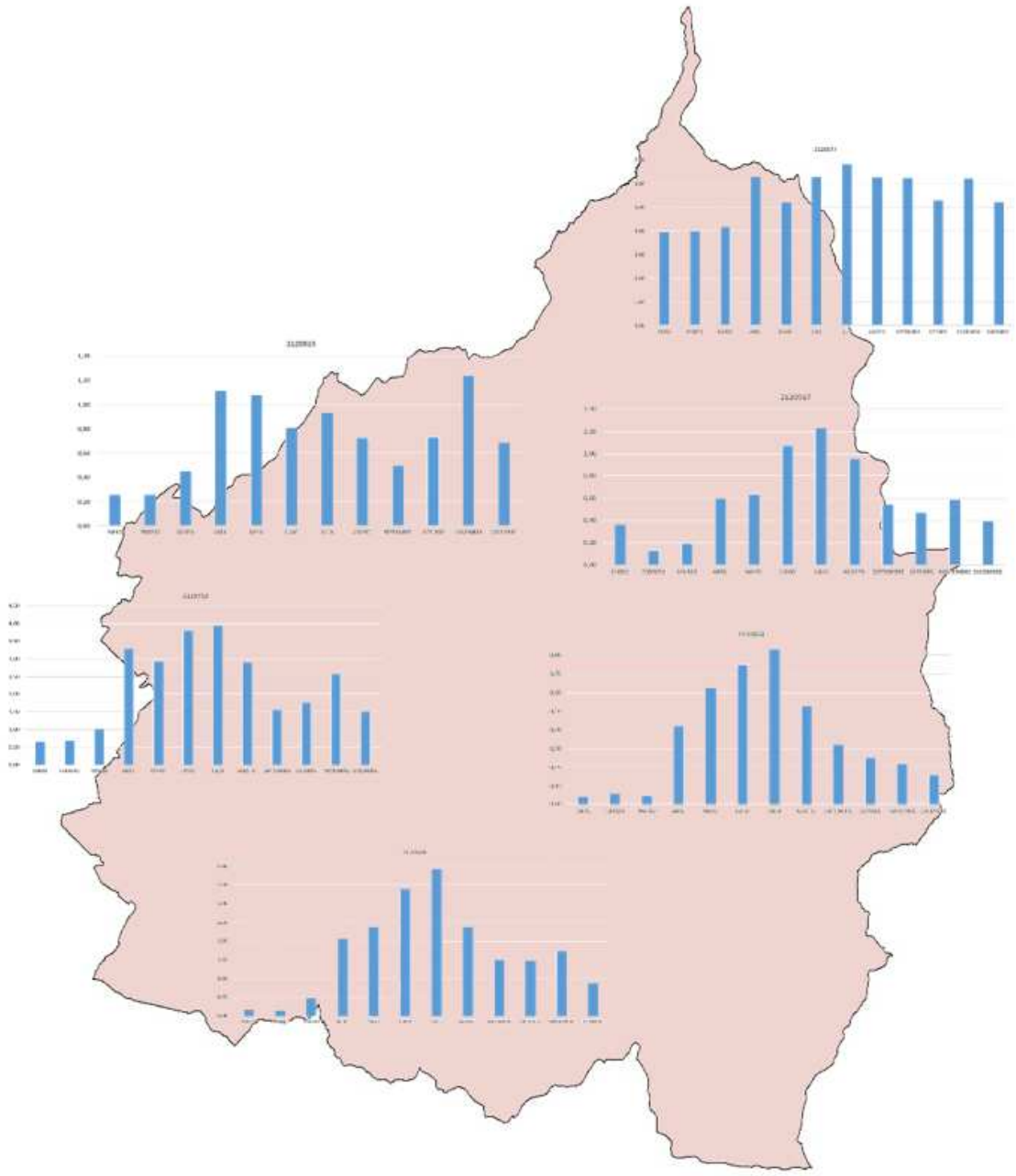


Figura 212 Comportamiento de los caudales medios mensuales, Provincia de Almeidas. Fuente de figura: Autoría Propia.

En la Figura 213 se presenta la Provincia del Tequendama, perteneciente a la región hidrográfica de Magdalena – Cauca, la cual abarca el 60% de las provincias del departamento. Se presentan dos picos de valores máximos en el año, en el

mes de mayo y otro en el mes de noviembre. El valor máximo registrado es de 1,99 m^3/s en el mes de noviembre.

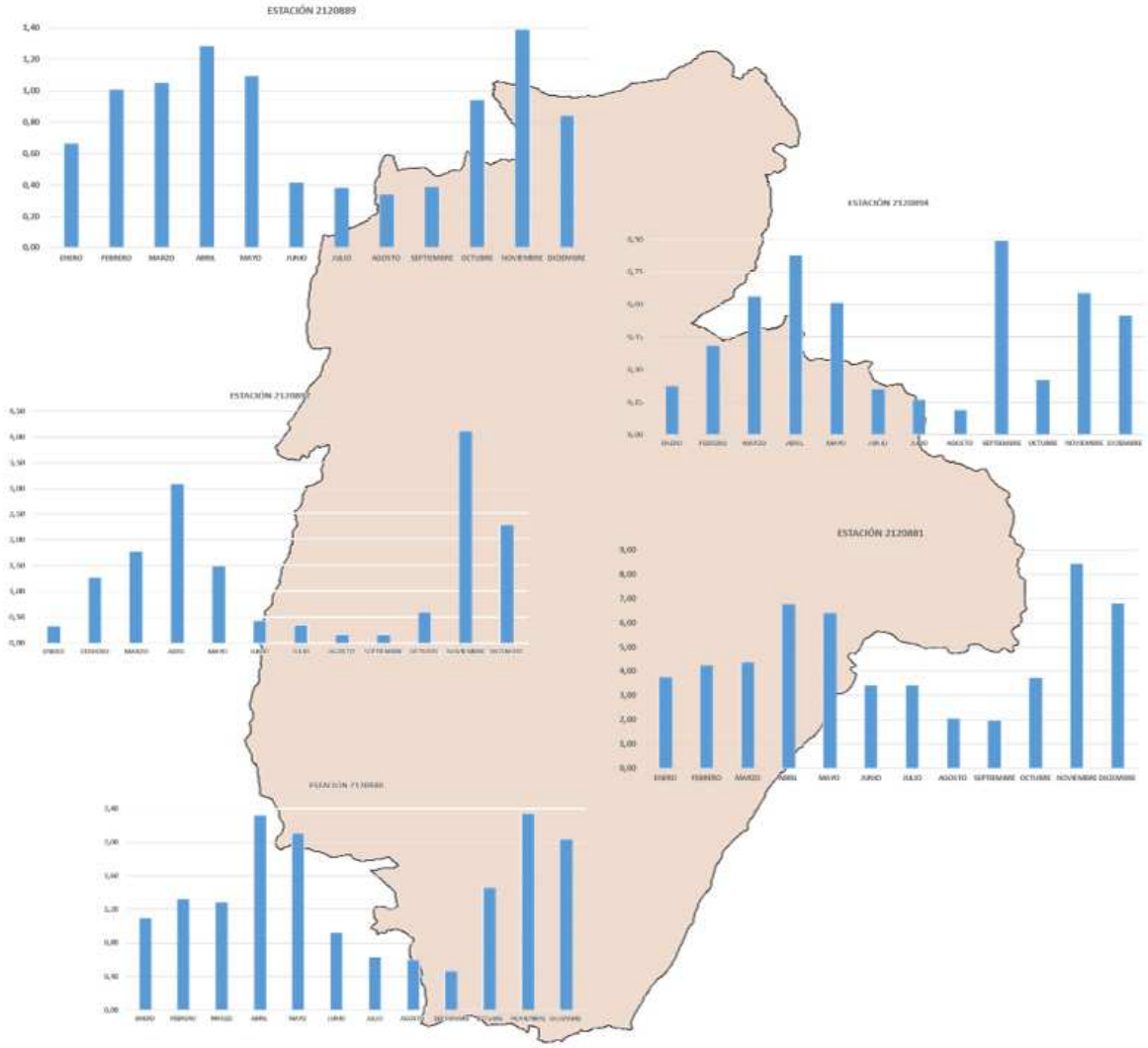


Figura 213 Comportamiento de los caudales medios mensuales, Provincia del Tequendama. Fuente de figura: Autoría Propia.

En las Figura 212 y la Figura 213 se muestran 2 de las 15 provincias que conforman el departamento y donde se evidencia que los picos de caudal predominan en meses diferentes. A continuación se presenta un análisis por provincia.

Provincia de Almeidas

La provincia cuenta con 7 municipios ubicada al nororiente del departamento de Cundinamarca, pertenece a la zona hidrográfica del Orinoco. Esta zona hidrográfica se caracteriza por contar con un solo pico de caudal; el máximo valor en el mes de julio, 3,24 m^3/s, y el valor menor en marzo, 1,30 m^3/s.

En la Figura 214 se muestra el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en las estaciones que están presentes en la provincia de Almeidas con los filtros respectivos que se realizaron a estos datos (valores despreciables, estaciones sin medición por tiempos extendidos, entre otros). Para este caso de las nueve estaciones con los datos completos en los cinco años del estudio no se utilizó una de ellas. Además, se presenta el valor aproximado del caudal que excede el 95% (Q95%), el cual se emplea para el cálculo de la energía firme (UPME U. d., 2015). El Q95% para la provincia de Almeidas es de 1,56 m^3/s.

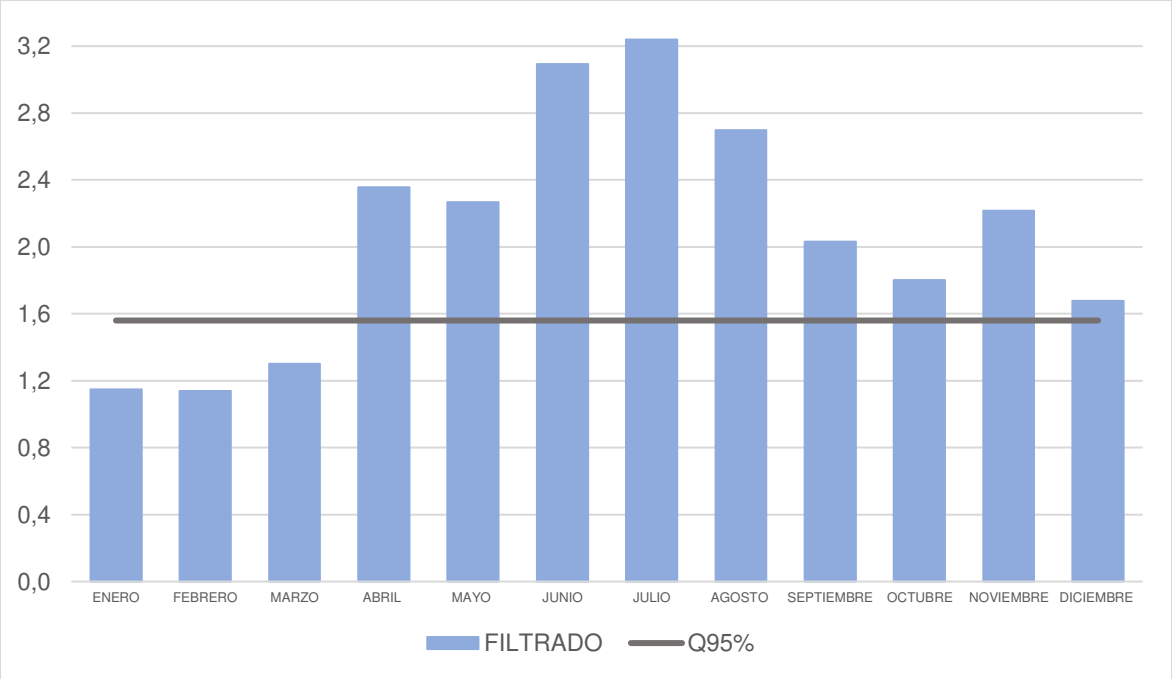


Figura 214 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Almeidas.

Provincia de Alto Magdalena

La provincia cuenta con 8 municipios, está ubicada en la zona alta del Río Magdalena y pertenece a la zona hidrográfica de Magdalena-Cauca. Esta zona

hidrográfica se caracteriza por contar con dos picos de caudal. El máximo valor se registra en el mes de noviembre, 46,01 m^3/s, y el valor menor en septiembre, 21,47 m^3/s.

En la Figura 215 se muestra el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en las estaciones que están presentes en la Provincia de Alto Magdalena. Para este caso, de las seis estaciones con los datos completos en los cinco años del estudio no se utilizaron dos de ellas. El Q95% para la Provincia de Alto Magdalena es de 21,9 m^3/s.

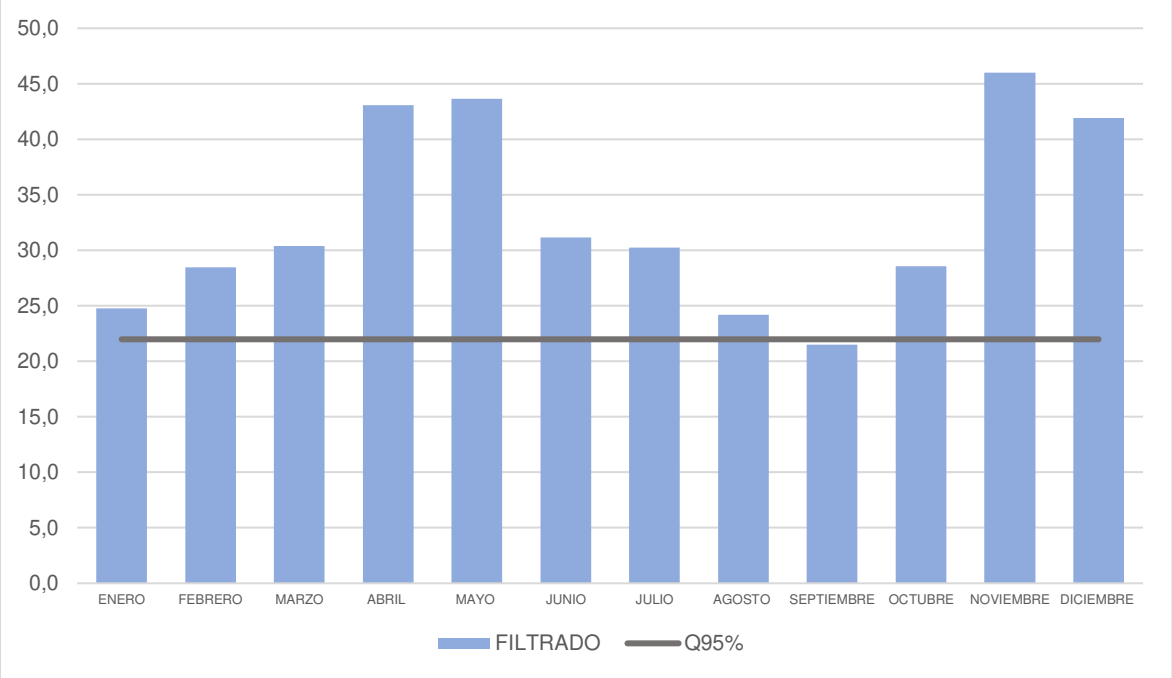


Figura 215 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Alto Magdalena.

Provincia de Bajo Magdalena

La provincia cuenta con 3 municipios y está ubicada al noroccidente del departamento de Cundinamarca, pertenece a la zona hidrográfica del Magdalena-Cauca. Esta zona hidrográfica se caracteriza por contar con dos picos de caudal; el máximo valor en el mes de noviembre, 0,76 m^3/s, y el menor valor en julio, 0,32 m^3/s.

En la Figura 216 se muestra el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en las estaciones que están presentes en la Provincia de Bajo

Magdalena. Para este caso se utilizaron tres estaciones con los datos completos en los cinco años del estudio. El Q95% para la Provincia de Bajo Magdalena es de 0,41 m^3/s.

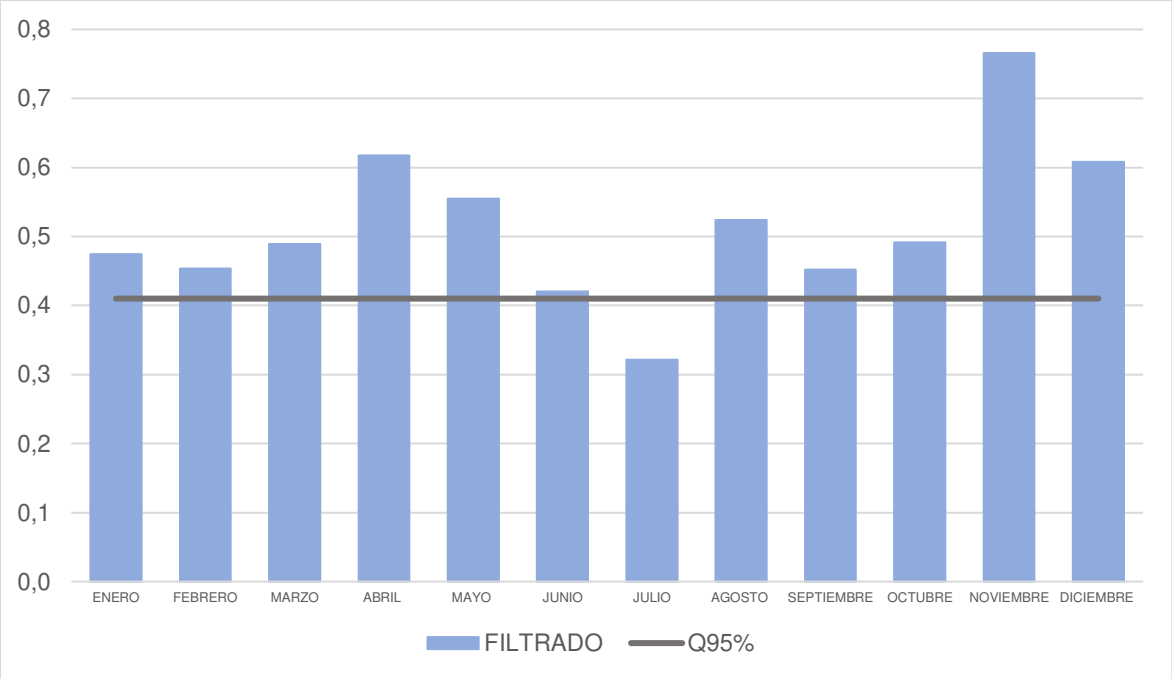


Figura 216 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Bajo Magdalena.

Provincia de Gualivá

La provincia cuenta con 12 municipios y está ubicada en el centro noroccidental del departamento de Cundinamarca, pertenece a la zona hidrográfica del Magdalena-Cauca y cuenta con una precipitación de promedio de 1.500 mm anualmente con dos periodos de lluvia. Esta zona hidrográfica se caracteriza por contar con dos picos de caudal; el máximo valor en el mes de abril, 13,74 m^3/s, y el valor menor en agosto, 2,73 m^3/s.

En la Figura 217 se muestra el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en las estaciones que están presentes en la provincia de Gualivá. Para este caso de las cinco estaciones con los datos completos en los cinco años del estudio no se utilizaron dos de ellas. El Q95% para la provincia de Gualivá es de 4,66 m^3/s.

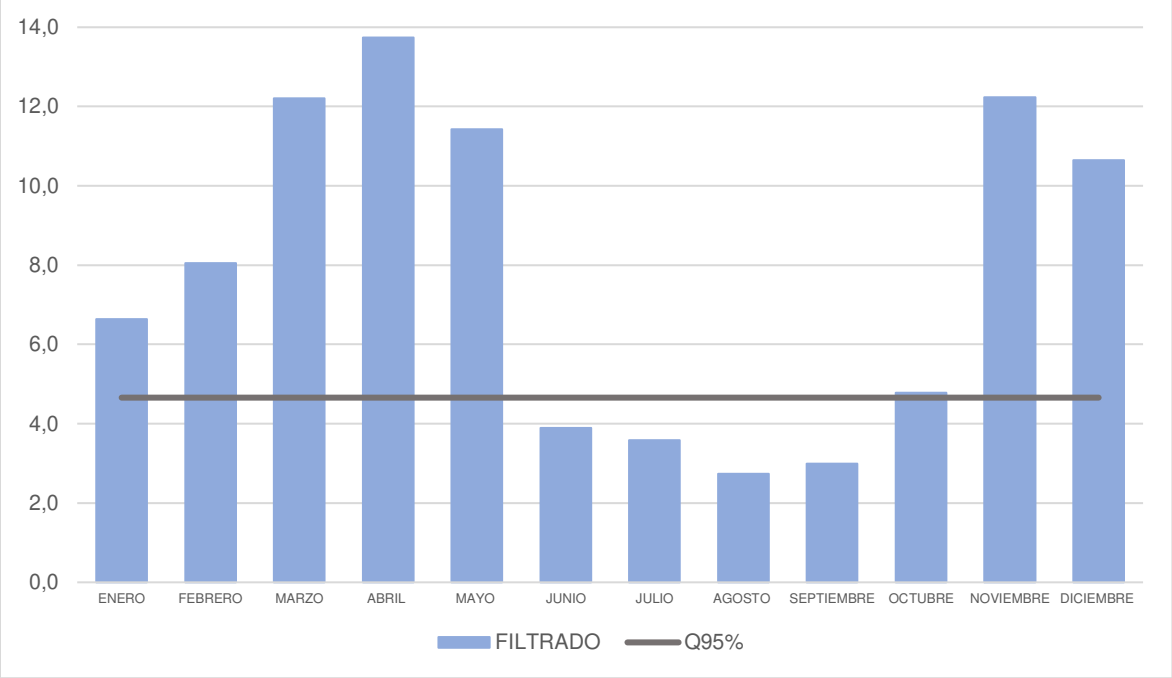


Figura 217 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Gualivá.

Provincia de Rionegro

La provincia cuenta con 8 municipios y está ubicada en el extremo noroccidental del departamento de Cundinamarca y pertenece a la zona hidrográfica del Magdalena-Cauca. Esta zona hidrográfica se caracteriza por contar con dos picos de caudal; el máximo valor en el mes de mayo, 24,35 m^3/s, y el menor valor en agosto, 3,52 m^3/s.

En la Figura 218 se muestra el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en las estaciones que están presentes en la provincia de Rionegro. Para este caso, de las tres estaciones con los datos completos en los cinco años del estudio no se utilizó una de ellas. El Q95% para la provincia de Rionegro es de 9,05 m^3/s.

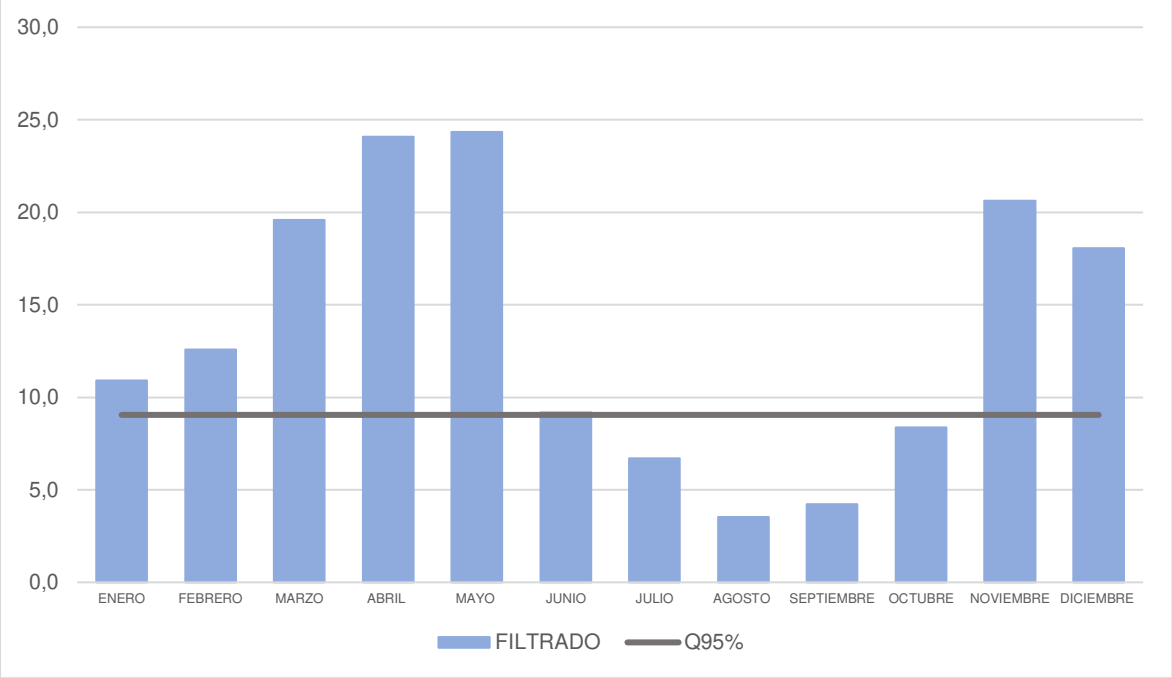


Figura 218 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Rionegro.

Provincia de Sabana Centro

La provincia cuenta con 11 municipios ubicada en el centro del departamento de Cundinamarca, es recorrida de norte a sur por el Río Bogotá, pertenece a la zona hidrográfica del Magdalena-Cauca. Esta zona hidrográfica se caracteriza por contar con dos picos de caudal; el máximo valor en el mes de mayo, 7,76 m^3/s, y el valor menor en febrero, 3,40 m^3/s.

En la Figura 219 se muestra el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en las estaciones que están presentes en la provincia de Sabana Centro. Para este caso, de las diecinueve estaciones con los datos completos en los cinco años del estudio no se utilizaron cuatro de ellas. El Q95% para la provincia de Sabana Centro es de 4,42 m^3/s.

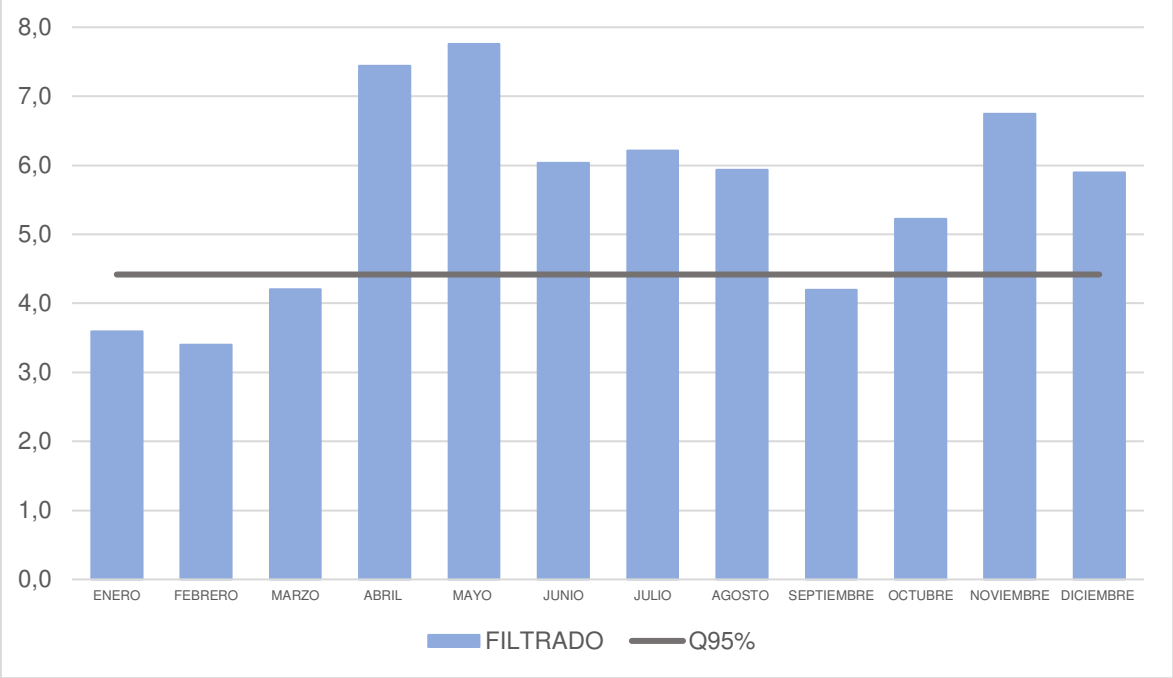


Figura 219 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Sabana Centro.

Provincia de Sabana Occidente

La provincia cuenta con 8 municipios, pertenece a la zona hidrográfica del Magdalena-Cauca. Esta zona hidrográfica se caracteriza por contar con dos picos de caudal; el máximo valor se presenta en el mes de noviembre con 5,65 m^3/s, y el menor caudal se registra en septiembre con 2,36 m^3/s.

En la Figura 220 se muestra el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en las estaciones que están presentes en la provincia de Sabana Occidente. Para este caso, de las catorce estaciones con los datos completos en los cinco años del estudio no se utilizaron seis de ellas. El Q95% para la provincia de Sabana Occidente es de 2,36 m^3/s.

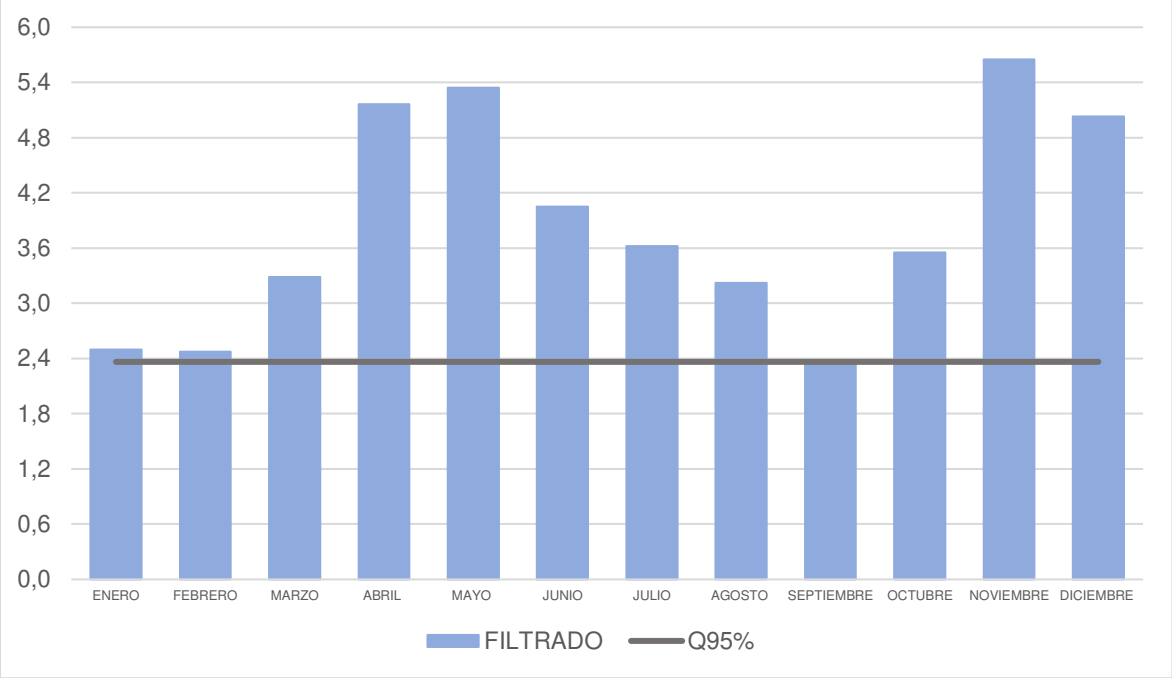


Figura 220 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Sabana Occidente.

Provincia de Soacha

La provincia cuenta con 2 municipios, pertenece a la zona hidrográfica del Magdalena-Cauca. Esta zona hidrográfica se caracteriza por contar con dos picos de caudal; el máximo valor ocurre en el mes de abril, 0,319 m^3/s, y el menor valor se presenta en febrero, 0,068 m^3/s.

En la Figura 221 se muestra el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en las estaciones que están presentes en la provincia de Soacha. Para este caso se utilizaron tres estaciones con los datos completos en los cinco años del estudio. El Q95% para la provincia de Soacha es de 0,18 m^3/s.

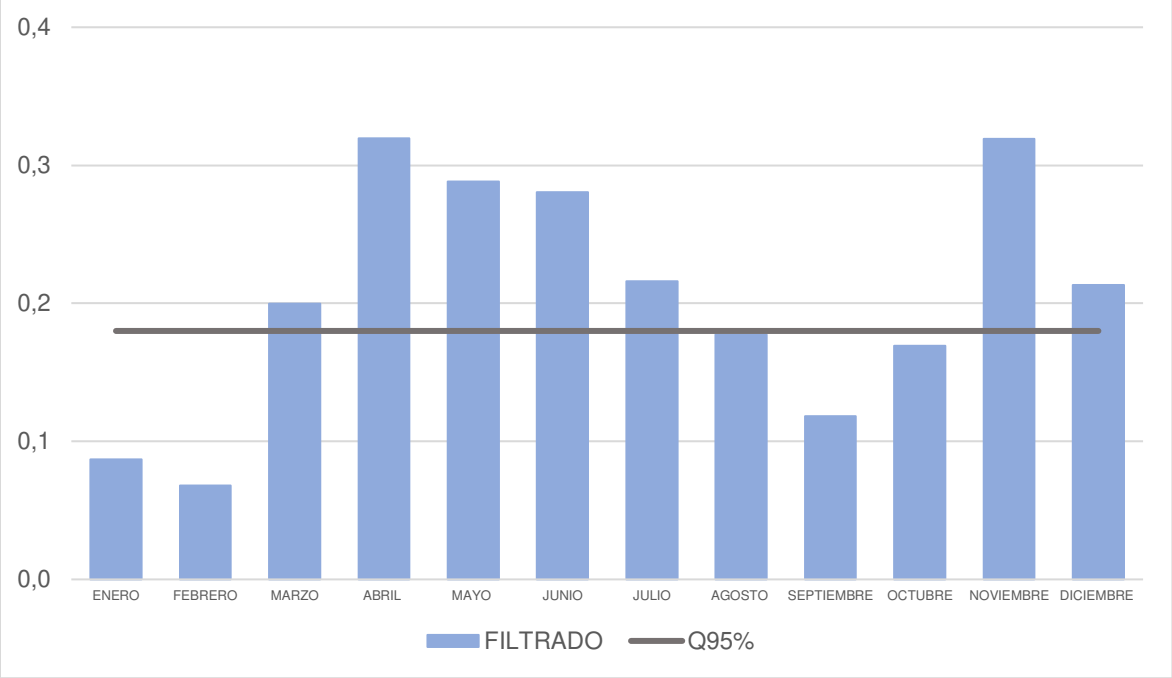


Figura 221 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Soacha.

Provincia de Sumapaz

La provincia cuenta con 10 municipios y está ubicada al suroccidente de Bogotá en el departamento de Cundinamarca, el río principal de esta cuenca es el Sumapaz con una longitud de 120 km, pertenece a la zona hidrográfica del Magdalena-Cauca. Esta zona hidrográfica se caracteriza por contar con dos picos de caudal; el máximo valor en el mes de noviembre con 2,70 m^3/s, y el valor menor en enero con 0,88 m^3/s.

En la Figura 222 se muestra el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en las estaciones que están presentes en la provincia de Sumapaz. Para este caso, de las dieciocho estaciones con los datos completos en los cinco años del estudio no se utilizaron cuatro de ellas. El Q95% para la provincia de Sumapaz es de 1,50 m^3/s.

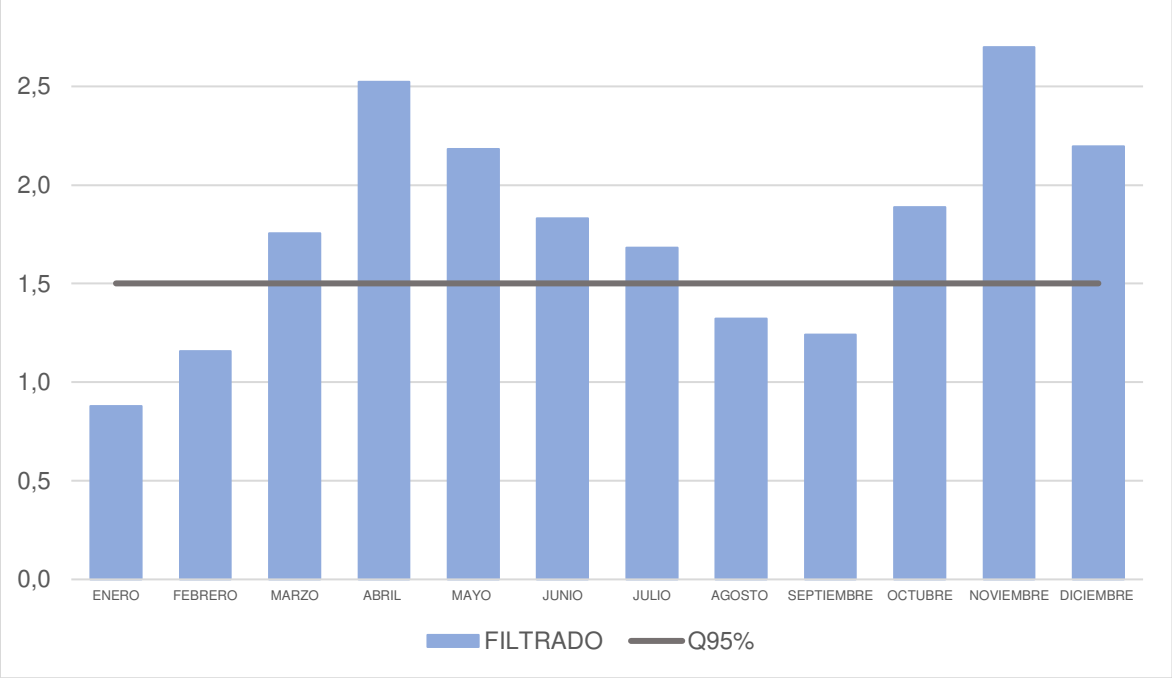


Figura 222 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Sumapaz.

Provincia del Tequendama

La provincia cuenta con 10 municipios y está ubicada en el suroccidente del departamento de Cundinamarca, pertenece a la zona hidrográfica del Magdalena-Cauca. Esta zona hidrográfica se caracteriza por contar con dos picos de caudal; el máximo valor se presenta en el mes de noviembre, 1,99 m^3/s, y el menor valor ocurre en agosto, 0,39 m^3/s.

En la Figura 223 se muestra el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en las estaciones que están presentes en la Provincia del Tequendama. Para este caso, de las diecisiete estaciones con los datos completos en los cinco años del estudio no se utilizaron cuatro de ellas. El Q95% para la Provincia del Tequendama es de 0,79 m^3/s.

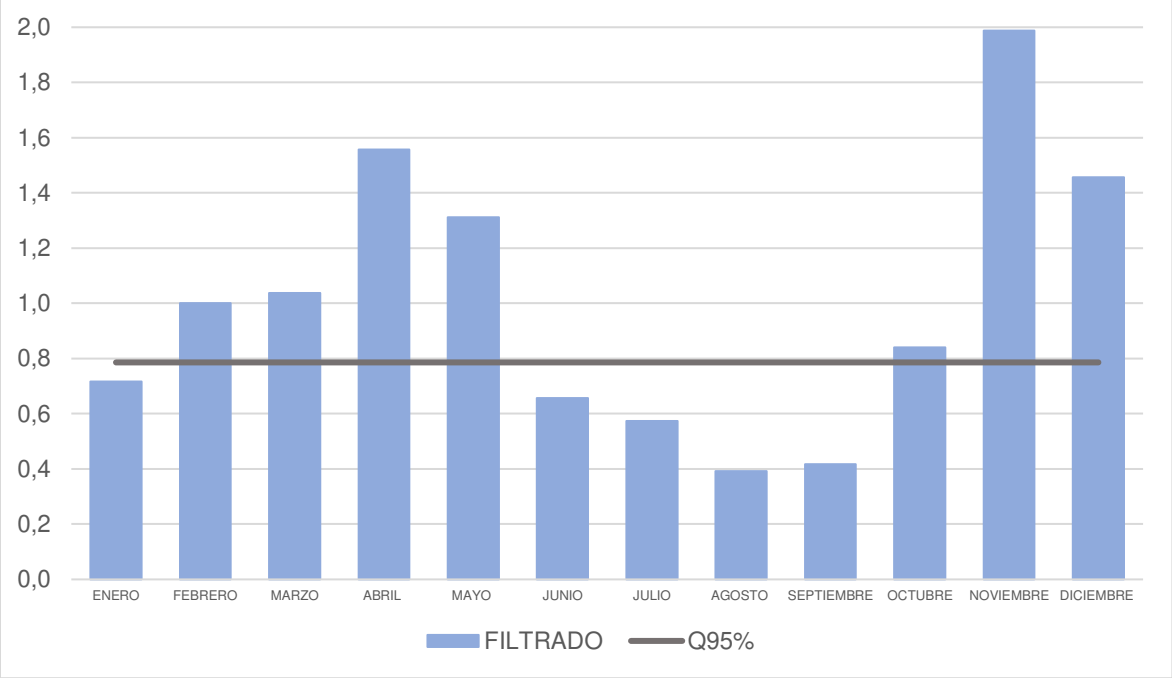


Figura 223 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia del Tequendama.

Provincia de Ubaté

Esta provincia cuenta con 10 municipios y se localiza al norte del departamento de Cundinamarca, pertenece a la zona hidrográfica del Magdalena-Cauca. Esta zona hidrográfica se caracteriza por contar con dos picos de caudal; el máximo valor se registra en el mes de abril con 1,70 m^3/s, y el menor valor se presenta en septiembre con 0,39 m^3/s.

En la Figura 224 se muestra el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en las estaciones que están presentes en la provincia de Ubaté. Para este caso, de las veinticinco estaciones con los datos completos en los cinco años del estudio no se utilizaron seis de ellas. El Q95% para la provincia de Ubaté es de 0,65 m^3/s.

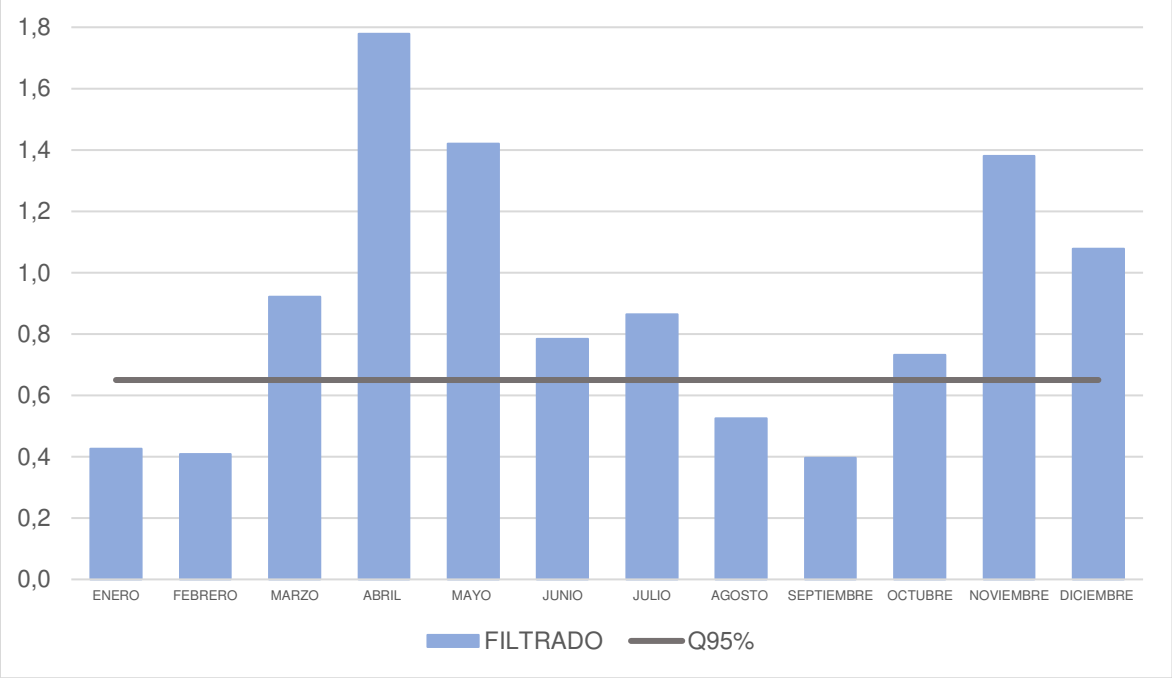


Figura 224 Histograma del comportamiento dinámico del promedio anual de los caudales medios mensuales, Provincia de Ubaté.

Provincias sin análisis

En el proceso de obtención de la información algunas provincias como el caso de Guavio, Medina y Oriente que no pertenecen a la CAR Cundinamarca fueron remitidas directamente al IDEAM, del cual recibimos un total de 18 estaciones que miden caudal con un intervalo de tiempo distinto al planteado en el estudio, o con años enteros sin datos de caudal, lo cual supone conocer las curvas de duración de caudal en la zona de ubicación de la estación, estas son obtenidas con los parámetros meteorológicos, topográficos y el raster de coeficiente de variación reportado en el estudio nacional de agua, datos que no se obtienen en este análisis.

Para estas provincias se puede optar por el Atlas de Potencial Hidroenergético como una alternativa donde se obtienen puntos aproximados para la realización de un proyecto de aprovechamiento filo de agua, cabe aclarar que ellos si presentan las curvas de duración de caudal en las zonas hidrográficas lo que posibilita saber un aproximado del comportamiento dinámico de este, el valor máximo de los caudales para estas provincias se encuentre entre los meses de mayo y agosto con valores entre 5 m^3/s y 9 m^3/s (UPME U. d., 2015).

En la provincia de Magdalena Centro jurisdicción de la CAR Cundinamarca existen dos estaciones que pertenecen al IDEAM, las cuales no cumplen con las especificaciones del estudio, datos del caudal medio mensual en un periodo de cinco años desde enero de 2010 hasta diciembre de 2015, como esta provincia pertenece a la zona hidrográfica de Magdalena medio se puede suponer gracias la atlas que los meses con mayor nivel de caudal son junio y noviembre con máximos de 7,2 m^3/s aproximadamente (UPME U. d., 2015).

El análisis que se plantea es el mismo para cualquier estación y al presentarse otro intervalo de tiempo es necesario conocer las condiciones morfológicas y topográficas de la cuenca en ese mismo periodo.

7.1.2. Caídas hidráulicas en el departamento de Cundinamarca

La caída hidráulica es la diferencia de cota entre el punto de captación del agua y las turbinas; a mayor diferencia de cota, mayor potencia hidráulica disponible.

Teniendo en cuenta que el departamento de Cundinamarca está ubicado en la zona andina que por su orografía presenta las mayores caídas hidráulicas, en este estudio se realizó una discriminación por cuencas, lo que facilita el análisis de la red de drenaje en el departamento. Cada uno de los ríos analizados en la red de drenaje se estudió en tramos de 200 m. En la Tabla 84 se presentan los valores máximos y medios de las caídas hidráulicas por cada área hidrográfica (UPME U. d., 2015). Estos valores se tomaron como referencia para el porcentaje de caída en las cuencas analizadas.

Tabla 84 Caídas hidráulicas en metros por área hidrográfica en el departamento de Cundinamarca.

LONGITUD HORIZONTAL DE CONDUCCIÓN	**0,2 [km]**	
ÁREA HIDROGRÁFICA	Medio	Máximo
Magdalena- Cauca	19	357
Orinoco	10	277

El 66% de los municipios del departamento de Cundinamarca pertenecen al área hidrográfica de Magdalena – Cauca, que tiene un máximo de 357 me por área hidráulica en 200 m de conducción horizontal, asumiendo esta longitud como la existente entre la captación y la turbina.

El porcentaje de caídas medias en las estaciones utilizadas en el estudio comprenden un rango entre el 20,22% de la pendiente en la cuenca del rio Bogotá y el 47,01% de la pendiente en la cuenca del rio Batatas.

7.2 Evaluación teórica del potencial hidroenergético en el departamento de Cundinamarca

La energía eléctrica es un factor determinante para la economía y el desarrollo de una región, considerando los bajos costos de la generación hidroeléctrica y su confiabilidad en comparación con otro tipo de fuente de energía, su aprovechamiento en orden descendente de pequeño a micro (Ortíz, 2013), seguirá siendo una solución particular para zonas aisladas o Zonas no Interconectadas (ZNI).

El alcance de una pequeña central hidroeléctrica se puede identificar según la Organización Latinoamericana de Energía y del caribe, OLADE; en función de la capacidad instalada y el tipo de usuario, proponiendo la clasificación que se presenta en la Tabla 85 (Ortíz, 2013).

Tabla 85 Clasificación de las PCH's, según la capacidad instalada y el tipo de usuario. Fuente: (Ortíz, 2013)

TIPO	POTENCIA [kW]	USUARIO
PICO CENTRAL	0,5- 5	Finca
MICROCENTRAL	5- 50	Caserío
MINICENTRALES	50- 500	Cabecera municipal
PEQUEÑA CENTRALES	500-1000	Municipio

La Figura 225 presenta la variación de la potencia según la caída en metros. Las clasificaciones de las fuentes bibliográficas utilizan un rango similar de potencias, por lo tanto para la evaluación del potencial hidroenergético se hará uso de esta información.

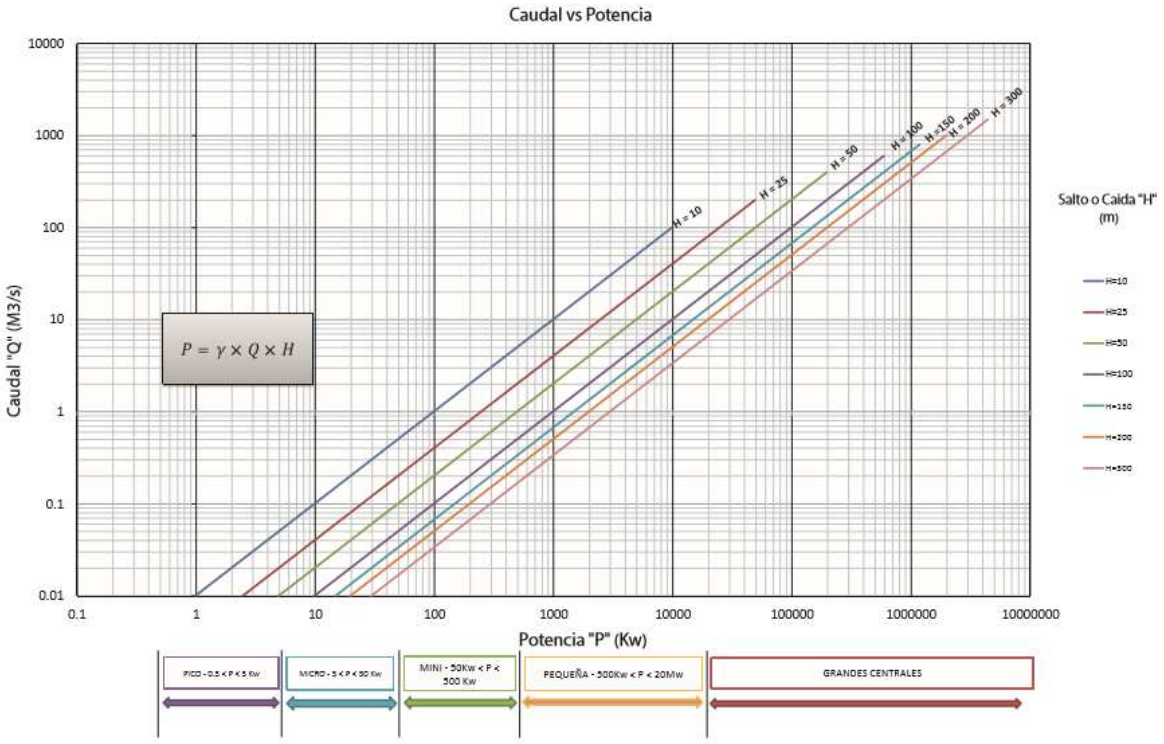


Figura 225 Variación del potencial hidroenergético con el caudal y la caída hidráulica. Fuente: (UPME U. d., 2015)

Para el estudio de aprovechamiento de potencial hidroenergético desarrollado en el marco de PERS Cundinamarca, los parámetros más importantes son el caudal y la caída hidráulica, para el primero se desarrolló la metodología anterior, resumiéndose a continuación y en el esquema de decisión de la Figura 226.

1. Como se trata de aprovechamientos a filo de agua, no se cuenta con almacenamiento para la regulación de caudales, por lo que el caudal empleado en la ecuación del potencial corresponde al disponible en épocas secas, con un determinado porcentaje de confiabilidad (UPME U. d., 2015).

2. Teniendo en cuenta lo anterior, y para garantizar la disponibilidad del recurso hídrico, se adoptó como caudal aprovechable el correspondiente a una probabilidad de exceder el 95% (Q95), éste será siempre un valor inferior al caudal medio del río en el sitio del aprovechamiento.

3. Con ayuda de los datos en las diferentes provincias del departamento se calculó el caudal medio anual para la explotación del recurso hídrico, obteniendo los caudales sobre la red de drenaje en Cundinamarca,

comprendidos entre 0,32 m^3/s en la provincia de Soacha y el máximo 46,01 m^3/s para la Provincia de Alto Magdalena.

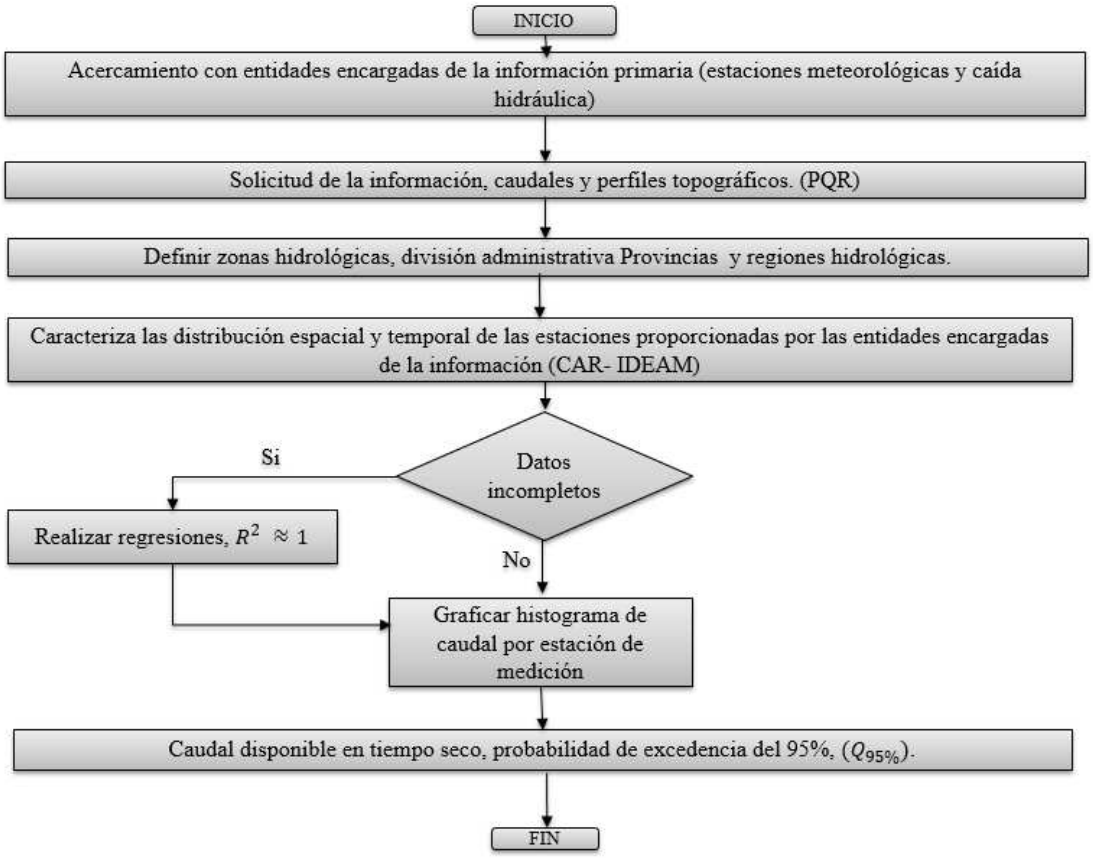


Figura 226 Esquema de decisión, Caudal. Fuente: Autoría Propia

4. Con el valor del caudal Q95 para cada provincia y las caídas hidráulicas de las cuencas, se calcula la potencia como el producto de estas variables y la eficiencia del sistema. En (Ortíz, 2013) se presenta una buena aproximación para la potencia hidráulica total, dada por la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{P_H = 9,81 \times H_{est} \times Q} \qquad \boldsymbol{(kW)}$$

Dónde: $\boldsymbol{H_{est}}$ es la altura estática en (m), $\boldsymbol{Q}$ el caudal con una probabilidad de excedencia del 95% en (m^3/s) y la aproximación del peso del agua y el volumen es 9,81.

5. Al multiplicar las variables, se obtiene el potencial hidroenergético teórico. Por ejemplo, para la zona hidrográfica del río Frío y otros que desembocan directamente al río Cauca se tiene una potencia teórica de 460.300 kW,

mientras que en la zona de las afluentes directas al Magdalena entre los ríos Seco y Negro la potencia es de 174.254 kW. Este valor de potencial no contempla la eficiencia de los equipos mecánicos, el cual es particular de cada proyecto y del tipo de turbina (UPME U. d., 2015), y no contempla las perdidas hidráulicas entre la captación de la PCH y la casa de máquinas, incluyendo la conducción.

6. Los valores de potencial obtenidos y consignados en los mapas desarrollados por el equipo de PERS Cundinamarca, no contemplan proyectos simultáneos, es decir que si se instala una central, el potencial hidroenergético de ésta afecta directamente la posibilidad de aprovechar el potencial hidroenergético de una central aguas abajo.

Finalmente, en la Figura 227 se presenta el mapa de aprovechamiento del recurso hidroenergético para cada uno de los tipos de pequeñas centrales. Se evidencia que hay un potencial para el desarrollo de 18 soluciones de este tipo.

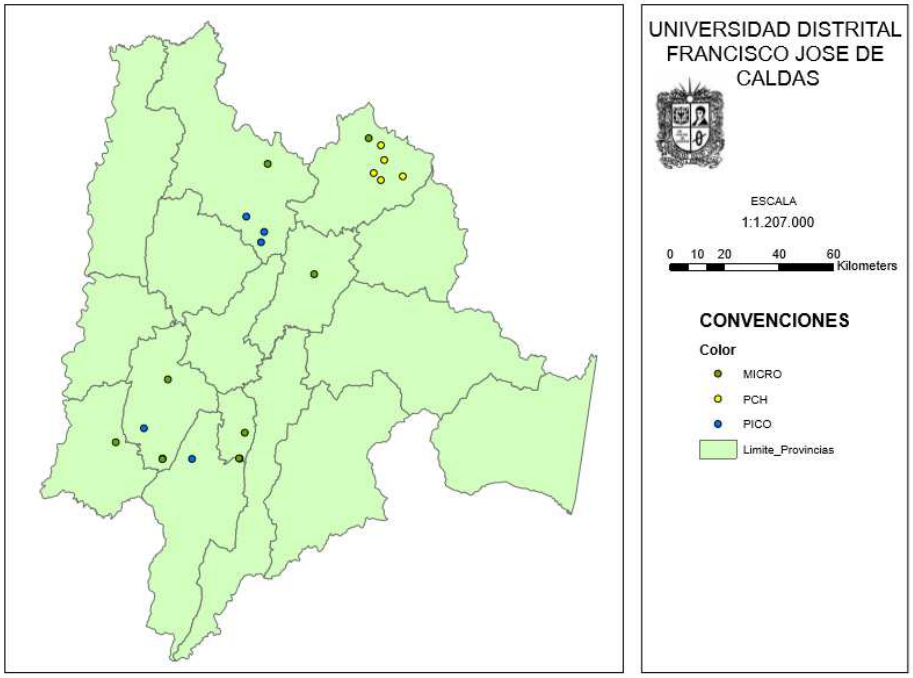


Figura 227 Mapa de aprovechamiento del recurso hidroenergético para cada uno de los tipos de pequeñas centrales en el departamento de Cundinamarca. Fuente: Autoría Propia.

En conclusión, en 7 de las 15 provincias hay algún potencial hidroenergético. Solamente en la provincia de Ubaté existen condiciones para el desarrollo de 5 PCH's, en las demás provincias se pueden implementar microcentrales (7) y picocentrales (6).

8. Referencias

AEMET. (2006). Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de clima de EUMETSAT. Madrid - España.

Agugliaro, F. M. (2007). Gasificación de residuos de invernadero para la obtención de energía eléctrica en el sur de españa: ubicación mediante SIG.

Ahmad F, U. I. (2004). Empirical models for the correlation of monthly average daily global solar radiation with hours of sunshine on a horizontal surfacce at Karachi, Pakistan. *Turkish Journal of Physics.*, 301-7.

Akinoglu BG, E. A. (1990). A further comparison and discussion of sunshine based models to estimate global solar radiation. *Energy*, 865-72.

Almorox J, H. C. (2004). Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. . *energy conversion and management* , 1529-35.

Alvarez, J. (2012). *Caracterización de la gasificación de la tusa de la palma de aceite.* Bogotá D.C.: Universidad de los Andes.

Ampratwun DB, D. A. (1999). Estimation of solar radiation from the number of sunshine hours. *Applied Energy*, 413-30.

Andalucía, J. d. (2008). Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía. *Consejería de Agricultura y Pesca*, 21-74.

Angstrom. (1924). Solar and terrestrial radiation. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 121-5.

Arteaga-Péreza, L. E., Casas-Ledón, Y., Cabrera-Hernández, J., & Rodríguez Machín, L. (2015). Gasificación de biomasa para la producción. *Revistes Catalanes amb Accés Obert*.

Badescu, V. (2008). *Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface.* Bucharest: Springer.

BARRERA, D. F. (2012). *PIRÓLISIS DE RESIDUOS DE COSECHA DE CAÑA DE AZÚCAR (RAC).* Cali, Valle del Cauca: Universidad del Valle.

Berga, J. V. (1995). *Contribución al Estudio de la Radiación Solar y de la Determinación de la Turbiedad Atmosférica. Aplicaciones a Valencia y Sevilla.* Valencia: Universidad Politécnica de Valencia- Departamento de Termodinámica Aplicada.

BHATTARCHARYA S., J. L. (2005). Assessment of sustainable energy potential of non- plantation biomass resorces in China. Biomass and Bioenergy. China.

biomasa., A. -A. (2008). *Manual de combustibles de madera.* Valladolid.

Blanco Leal, L. (2014). *Modelado y simulación del proceso de pirolisis rápida de biomasa en un reactor de lecho fluidizado.* Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

BUN-CA, B. U. (2002). Manuales Sobre Energía Renovables para América Central. San José.

Camacho, L. M. (2014). *Biomasa y crecimiento de especies forestales. .* Bogotá: Fundación Natura.

(2016). *Caracterización socioeconómica del departamento de Cundinamarca. PERS Cundinamarca.* Bogotá: Gobernación de Cundinamarca.

Castiblanco Rozo, C. H. (2012). El consumo de energía durante el proceso de biodiesel y el etanol en Colombia. *Revista Gestión y Ambiente, Volumen 15 - No. 3*, 5-26.

Chile, M. d. (2011). Manual de Biogas. Santiago de Chile.

Chile, M. d. (s.f.). *Energías renovables - Centro de Energías Renovables. .* Chile.

CONtextoganadero. (16 de septiembre de 2016). *Una lectura rural de la realidad Colombiana.* Obtenido de Panorama del consumo de carnes en Colombia en la última década.: http://www.contextoganadero.com/economia/panorama-del-consumo-de-carnes-en-colombia-en-la-ultima-decada

Cortes Marín, E. (s.f.). *Fuentes de potencia para la agricultura - Monografía.* Palmira: Universidad Nacional de Colombia.

Cundinamarca., S. d. (2014). *Estadísticas Agropecuarias Vol 23.* Bogotá: Gobernación de Cundinamarca.

DANE. (24 de 11 de 2015). *Censo Nacional Agropecuario 2014.* Obtenido de www.dane.gov.co/index.php/Censo-Nacional-Agropecuario-2014

Díaz Duarte, M. A. (s.f.). *Factibilidad y diseño básico de generación eléctrica centralizada a partir de cultivo de biomasa a base de riego con agua producida.* Bogotá: Universidad de los Andes. .

Dogniaux R, L. M. (1983). Classification of radiation sites in terms of different indies of atmospheric transparency. En *Solar energy research and development in the European Community, series F* (pág. vol 2). Dordrecht, Holland: Reidel.

Duffie JA, B. W. (1991). *Solar engineering of thermal processes.* New York: Wiley.

Escalante Hernández, H. (2011). Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Bogotá D.C.: UPME.

Espectador, E. (2010). *SAVE THE PLANET, Consejos para salvar el medio ambiente: Fincas ecológicas*. Obtenido de www.elespectador.com/impreso/articuloimpreso-223981-fincas-ecologicas

FAO, O. d. (2014). *Residuos agrícolas y ganaderos - Bioenergía y seguridad alimentaria evaluación rápida.* USA.

FEDESARROLLO - EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ. (2013). *Análisis de la situación energética de Bogotá y Cundinamarca.* Bogotá.

FJ, N. (1988). A study of solar radiation moedls for the coastal region of south China . *Solar Energy*, 227-35.

G., L. (1992). An emprirical realtion for estimating global irradiation for Tennessee - USA. *Energy conversion and management* .

García Arboleda, W. (2013). *Potencial de la suplementación con biomasa obtenida a partir de la producción de bioetanol en ganaderías de clima frío dedicadas a la producción de leche.* Medellín: Universidad Nacional de Medellín.

García Díaz, N. (2008). *El consumo de energía durante el proceso de biodiesel y el etanol en Colombia.* Bogotá D.C.: Universidad de los Andes.

GEOCARBON. (10 de 11 de 2016). Obtenido de www.gecarbon.org/Boletines/Boletin/BoletinGEC_033.pdf

Glower J, M. J. (1958). The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 84-172.

Gualteros Sanchez, J. (2011). *Estudio prospectivo de la cadena productiva del biodiesel a partir de palma africana en Colombia.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

I, B. (1965). Monthly maps of mean daily insolation for United States. *Solar Energy*, 145-59.

ICA, I. C. (2015). *Censo Agropecuario 2015.* Bgotá.

IDEAM - Instituto de Hidrología, M. y. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia.* Bogotá.

IDEAM - Instituto de Hidrología, M. y. (2014). *Estudio Nacional de Agua.* Bogotá.

IDEAM - Instituto de Hidrología, M. y. (s.f.). *Estui.*

IDEAM. (2010). *Atlas de viento de Colombia.* Bogotá.

IDEAM. (2015). *Atlas de radiación solar interactive.* Obtenido de http://atlas.ideam.gov.co/ visorAtlasRadiacion.html

JA, P. (1940). Evaporation from water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of Australia.*, 114-8.

Jain S, J. P. (1988). A comparison of the Angstrom-type correlations and the estimation of monthly average daily global irradiation. *Solar Energy*, 93-98.

Janjai, S. (2010). A method for estimating direct normal solar irradiation from satellite data for a tropical environment. Solar Energy, 84(9).

Javier Burgos, J. A. (2004). Modelos de regresión no lineal para la estimación de biomasa en algunos ecosistemas boscosos de Colombia. *Colombia Forestal*, 8-17.

Jin Z, Y. W. (2005). General formula for estimation of monthly averge daily global solar radiation in China. *Energy conversion and management.*, 257-68.

K., B. (2009). Correlations for estimation of daily global solar radition with hours of bright sunshine in Turkey. *Energy* , 485-501.

Katiyar AK, P. C. (2010). Simple correltion for estimating the global solar radiation on horizaontal surfacces in India. *Energy* , 1-6.

La Orbita geoestacionaria. (2008). En *SISTEMA DE AUMENTACION BASADO EN SATELITES (SBAS)* (págs. 70-97).

Lezcano Oquendo, D. (2011). *Estudio exergético para identificar y evaluar potencialidades en energías renovables en el territorio Colombiano, para*

planeamiento energético en periodos futuros. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Li H, M. w. (2011). Global solar radiation estimation with sunshine duration in Tibet, China. *Renewable Energy*.

Lizarazo Hernández, S. (2013). *Evaluación técnico económica de la producción de bioetanol a nivel experimental a partir de almidón de papa en el departamento de Boyacá.* Bogotá D.C. : Universidad Nacional de Colombia.

Londoño, L. (2012). *Estimación de la cantidad de gases producto del bagazo de caña en ambientes con: O2, vapor de agua, y mezclas de O2 con vapor de agua.* Bogotá: Universidad de los Andes.

López, N. (2016). *Determinación del poder calorífico de algunas maderas de las zonas Andina, Subandina y Tropical Colombiana.* Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Louche A, N. G. (1991). Correlations for direct normal and global horizontal irradiation on a French Mediterranean site. . *Solar Energy*, 261-6.

M., E.-M. (2005). Sunshine and global solar radiation estimation at different sites un the Egypt. *Journal of atmospheric and solar-terrestrail physics* .

MA, A. (1990). Characteristic distribution of global radiation fo Amman, Jordan. *Solar and Wind Technology* , 261-266.

Martínez, M. G. (2011). *Nutrición, sanidad e instalaciones de empresas porcinas.* Bogotá: UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA-UNAD.

Martins, F. R. (2007). Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA project. Solar Energy, 81(4).

Matínez Prada, R. (2010). *Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental en Colombia.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Meteorología, O. M. (2011). *Guía de prácticas climatológicas .* Obtenido de http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl /guide/documents/wmo_100_es.pdf

Mola, A. L. (2003). Atlas de energía solar. Lima-Perú.

NREL. (2013). *www.nrel.gov/gis/solar.html*. Obtenido de www.nrel.gov/gis/solar.html

Ogelman H., E. A. (1984). A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data. *Solar Energy*, 619-25.

Onofre Sierra Gómez, F. A. (2013). *Gobernacion de cundinamarca Secretaria de agricultura y desarrollo rural.* Recuperado el 06 de septiembre de 2015, de http://cundinet.cundinamarca.gov.co:8080/aplicaciones/gobernacion/centroDocumental/doc-agricultura.nsf/0/99AB2A78F1D621CE05257E890058228A/$FILE/ESTADISTICAS%20AGROPECUARIAS.pdf

Ortíz, R. (2013). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, Ortiz Flórez Ramiro .* Universidad del Valle.

PC, J. (1986). *Global irradiation estimation for italian locations. Solar and wind technology.* Lusaka, Zambia.: The University of Zambia.

PESA., P. e. (2007). *Proyecto tipo: Producción y manejo de aves traspatio.* México.

Plata Campo, L. (2006). *Biomasa agrícola y forestal como fuente competitiva de energía alternativa en zonas no interconectadas: perspectivas y viabilidad de implementación en Colombia.* Bogotá: Universidad de los Andes.

Raja IA, T. J. (1990). Distribution of global insolation over Pakistan. *Solar energy* , 63-71.

Rentizelas A., K. S. (2009). Comparative techno-economic analysis of ORC and gasification for. *Energy conversion and management*. Obtenido de pure.strath.ac.uk/portal/files/26927134/ECM_publisher_version_pdf.pdf

Reynoso Castellanos, J. (s.f.). *Prototipo para la generación de biogás a partir de desechos orgánicos en una casa urbana. .* México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Rios, L. (2009). Producción de biodiesel de aceite de palma con catalizadores básicos heterogéneos comparados con los homogéneos convencionales. *Energética 42*, 45-52.

Ruales Salcedo, A. (2015). *Evaluación del potencial energético y bioactivo de los residuos generados por la producción y transformación de la uva.* Manizales: Univesidad Nacional de Colombia.

Said R, M. M. (1998). Estimation of global and diffuse radiation at Tripoli. *Renewable Energy*, 221-7.

Scharmer, K. &. (2000). *Fundamentals and maps Vol 1.* Paris.

Secretaría General de Agricultura, G. y. (2008). *Potencial energético de la Biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía.* Andalucía, España.

SERI, S. E. (2005). *Unused Biomass extraction in agriculture, forestry and fishery.* Vienna, Austria.

SORDI A., S. S. (2002). Potencial de Energía Primaria de Residuos Vegetais no Paraná. . *4º Encontro de Energia no Meio Rural* (págs. 1-20). Campinas, Brasil: Agrener.

Twidell JW, R. I. (1990). Diurnal variation of global insolation over five locations in Pakistan. *Solar Energy*, 73-6.

Ulgen K, H. A. (2002). Comparison of solar radiation correlations for Izmir, Turkey. *International Journl of Energy Research*, 413-30.

UNICEF. (s.f.). *Participación ciudadana y gestión integral de residuos.*

UPME, U. d. (15 de Octubre de 2015). *Atlas de Biomasa Residual de Colombia .* Obtenido de www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia__.pdf.

UPME, U. d. (2015). *Atlas de potencial Hidroenergético de Colombia.* Bogotá.

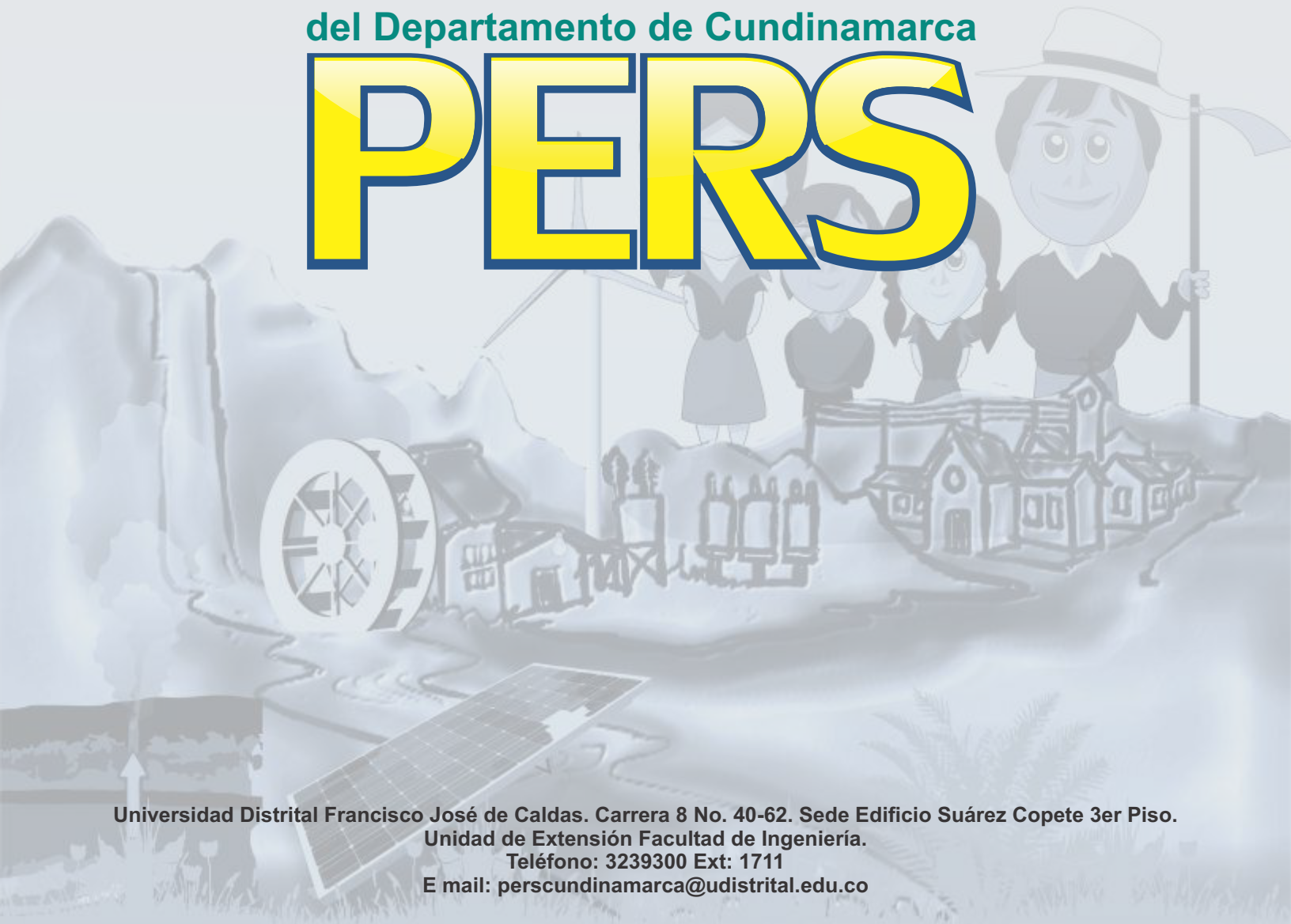
WASTE. (s.f.). *Magazine on line. Energías renovables Biomasa.* Obtenido de waste.ideal.es/biomasa.htm

CONVENIO INTERINSTITUCIONAL UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA – UPME - CV-003/15, INSTITUTO DE PLANIFICACION Y PROMOCION DE SOLUCIONES ENERGETICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS – IPSE -005/2015 Y LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS – UDFJC PARA LA REALIZACIÓN DEL PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE PARA EL DEPARTAMENTO DEL CUNDINAMARCA – PERS CUNDINAMARCA

Plan de Energización Rural Sostenible

del Departamento de Cundinamarca

PERS



Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Carrera 8 No. 40-62. Sede Edificio Suárez Copete 3er Piso.
Unidad de Extensión Facultad de Ingeniería.
Teléfono: 3239300 Ext: 1711
E mail: perscundinamarca@udistrital.edu.co